

Entwicklung eines statistischen Designs für die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 2)

Forschungsprojekt

gefördert durch das Bundesministerium
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Förderkennzeichen 05HS021

— **Schlussbericht** —

Universität Hamburg
Zentrum Holzwirtschaft
Arbeitsbereich Weltforstwirtschaft

Fachhochschule Eberswalde
Fachbereich für Wald und Umwelt, Fachgebiet Bodenkunde

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)
Abteilung Boden und Umwelt

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Sachgebiet 2 Standort und Umwelt

Forschungsprojekt

**Entwicklung eines statistischen Designs für die zweite
Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 2)**

Auftraggeber:	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn
Projektträger:	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn
Auftragnehmer:	Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Weltforstwirtschaft
Projektleitung:	<i>Prof. Dr. Michael Köhl</i> <i>Teilprojektleiter: Prof. Dr. Winfried Riek</i> Fachhochschule Eberswalde, Fachbereich für Wald und Umwelt, Fachgebiet Bodenkunde <i>Teilprojektleiter: Dr. Klaus v. Wilpert</i> Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Abteilung Boden und Umwelt <i>Teilprojektleiter: Dr. Christian Kölling</i> Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Sachgebiet 2 Standort und Umwelt
Bearbeitung:	Markus Ellinger* Falko Hornschuch ⁺ Karl-Heinz Mellert ⁺⁺ Thomas Riedel ^{**} Gernot Rücker ⁺⁺ Jürgen Schäffer*

Bearbeitungszeitraum: Januar 2006 – Dezember 2007

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit den Mitteln des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn unter dem Förderkennzeichen 05HS021 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt bei den Autoren.
Hamburg im April 2008

*) Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Abteilung Boden und Umwelt
+) Fachhochschule Eberswalde, Fachgebiet Bodenkunde
++) ZEBRIS Jürgen Brendel und Gernot Rücker GbR, Unterauftragnehmer der LWF
**) Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Weltforstwirtschaft

Danksagung

Das Projekt „Entwicklung eines statistischen Designs für die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)“ in dessen Rahmen die vorliegende Untersuchung durchgeführt wurde, wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aus Hochschulmitteln finanziert, hierfür danken wir. Besonderer Dank gilt Herrn Volz und Herrn Kohr, die sowohl während der Entstehungsphase als auch während der Laufzeit das Projekt ständig unterstützt und beraten haben.

Die administrative Bearbeitung des Projektes wurde auf Seiten des Bundes von der BLE übernommen. In Person von Frau Neumann war uns immer eine kompetente Beratung gegeben, so dass auch manche verwaltungstechnische Hürde jeder Zeit in beiderseitigen Einverständnis genommen werden konnte. Vielen Dank für die gute Zusammenarbeit.

Ebenso gilt unser Dank dem Institut für Waldökologie und Waldinventuren der Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft, heute Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Frau Wellbrock und Herr Schobel begleiteten das Projekt in wissenschaftlichen Fragestellungen und manch langen Diskussionen. Die BZE I als auch die benötigten Daten der BWI wurden ebenfalls freundlicherweise vom vTI-WOI zur Verfügung gestellt.

Ohne die Akzeptanz des Projektes innerhalb der BZE-Bund/Länder-Kommission wären manche Auswertungen vorallem zur Erstellung des Fehlerbudget nicht möglich gewesen. Durch die ständige Bereitschaft der Landesvertreter mit Rat und Tat zur Verfügung zu stehen, ihr Wissen einfließen zu lassen und deren Bereitschaft zwei Fragebögen zur BZE I und II auszufüllen, wozu sie oft in „verstaubten“ Archiven nachlesen mussten, hat zum Erfolg des Projektes enorm beigetragen. An dieser Stelle gilt den Ländern gebührend Dank, welche geeignete Datensätze für die geostatistischen Auswertungen als auch zur Fehlerbudgetierung bereitgestellt haben.

Zum Gelingen des Projektes hat weiterhin der Gutachterausschuss Forstliche Analytik, namentlich Herr König und Herr Blum im besonderen Maße beigetragen. Ohne den Ringversuchsdaten – die im vollen Umfang bereitgestellt wurden – wäre ein Großteil der Arbeiten zur Fehlerbudgetierung nicht möglich gewesen. Vielen Dank an dieser Stelle auch für die Beantwortung der vielen Fragen.

Unser besonderer Dank gilt allen Kräften, die bei der Gewinnung von Daten beteiligt waren. Dies gilt ebenfalls für das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, welches das Bodendauerbeobachtungsprogramm finanziert, sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), welche die umfangreichen Aufnahmen innerhalb des Forschungsprojektes „Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe“ (FKZ: RI 1219/1-1) finanziert hat. Ohne diesen beiden wesentlichen Datensätzen wäre ein großer Teil der geostatistischen Analysen im hier vorliegenden Endbericht nicht möglich gewesen.

Dem Team um Prof. Helmut Küchenhoff und Dr. Thomas Kneip (Statistisches Institut der LMU München) dankt die Firma Zebis GbR für die Unterstützung in geostatistischen Fragen.

Den Mitarbeitern des Institutes für Weltforstwirtschaft der Uni Hamburg danke ich, Thomas Riedel für die oft langen Diskussionen zu verschiedensten statistischen Fragestellungen.

Zusammenschau

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines statistischen Designs für die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)“ sollte ein Auswertekonzept, sowie Methoden zur Fehlerquantifizierung für die BZE II entwickelt werden. Im Focus der Betrachtungen lagen dabei die Problematiken zum Einfluß des Probenahmefehlers, bedingt durch das Probennahmedesign auf der Probefläche und zur Trennbarkeit von zeitlicher und räumlicher Veränderungen auf Grund des Versatzes der Satelliten- und Profilproben zum Wiederholungszeitpunkt. Hierfür standen kleinräumig wiederholt genommene Bodenproben von Probeflächen im nordostdeutschen Tiefland, von Level II-Flächen Baden-Württembergs, geprägt durch unterschiedliche geologische Ausgangssubstrate und Depositionseinflüsse und von den, über ein sehr weites Standortsspektrum erhobenen, bayerischen Dauerbeobachtungsflächen zur Verfügung. Die aus den Probeflächendaten gewonnenen Erkenntnisse flossen anschließend in die Generierung von Modellböden, an hand derer die genannten Fragestellungen analysiert wurden. Die Ergebnisse der Simulationen fanden Eingang in die Kalkulation eines Gesamtfehlerbudgets.

Stratifizierungs- und Hochrechnungsansätze für Zustands- und Veränderungsrechnung

Die Fragen des Vermerkes des Referates 533 des BMVEL (533-7673-1/4) vom 30.07.2004 wurden im Kapitel 2 aufgenommen und sowohl aus inventur-theoretischer Sicht als auch auf Basis der Rückmeldungen zu den beiden entwickelten Fragebögen beantwortet. Die Problematik der Netzverschiebungen und Festlegung des Stichprobenmittelpunktes seitens der Stichprobentheorie kann als irrelevant betrachtet werden, solange das systematische Netz keinen Formationen im Gelände folgt, so dass bestimmte natürliche Einheiten über- und andere unterrepräsentiert sind.

Solange verschiedene Netzverdichtungen räumlich getrennt sind, sollte zur Hochrechnung auf die Flächengewichtung der Verdichtungsgebiete zurückgegriffen werden. Überlagern sich dagegen verschiedene Netzdichten innerhalb eines Bundeslandes so sind die Straten schätzer über die Punktgewichtung zu aggregieren. Die Methode der Einzelpunktwichtung bietet den Vorteil, dass die sogenannten „übergeordneten“ Straten auch über die Landesgrenzen hinweg gebildet werden können.

Die zusätzliche Varianzkomponente „Probennahmedesign auf der Probefläche“ ist für den Hochrechnungprozess von Zustands- und Veränderungsschätzern irrelevant. Hier muss keine Trennung in „methodische“ Straten erfolgen. Sollten dagegen statistische Tests erfolgen bei denen Varianzgleichheit gefordert ist, sollte auf eine Trennung in „methodische“ Straten geachtet werden.

Veränderte Laborverfahren zwischen BZE I und II könne zu erheblichen, methodisch-bedingten Differenzen zwischen beiden Inventurzeitpunkten führen. So konnte am Bsp. des deutschen und des europäischen Verfahrens zur Bestimmung der AKe die Differenz zwischen beiden in $\mu\text{mol/g}$ berechnet werden. Diese betrugen bis zu 95 %, wobei die Bestimmtheitsmaße zwischen beiden Verfahren nahe 0 liegen.

Die Stratifizierung nach „natürlichen“ Straten lässt sich zur Senkung der Stichprobenvarianz nutzen. Für Zielgrößen deren Varianz sich nur kaum anhand dieser Straten erklären lässt, ist eine Poststratifizierung zu empfehlen. Dagegen sollten inventur-methodisch bedingt zur Vermeidung von Verzerrungen zumindest pro Aussageeinheit folgende Straten differenziert werden:

-
- Ermittlung des Grobbodenanteils und der Trockenraumdichte
 - Ermittlung des Humusanteiles im Mineralboden
 - Wenn nur Flächen mit bestimmten Merkmalsausprägungen (Bestockungstypen, Standortstypen) erhoben wurden
 - Grünanteilentfernung bei Humusproben

Die auf Grund des Inventurdesigns der BZE statistisch zulässigen Zustand- als auch Veränderungsschätzer sind in den Kapiteln 2 und 3 beschrieben. Für die Auswertung ist unbedingt auf die Beachtung der Wald- und Nichtwaldverteilung und damit auch der Erfassung aller Wald und Nichtwaldpunkte zu achten. Werden die Nichtwaldpunkte des BZE-Netzes nicht erfasst und damit die Wald/Nichtwaldverteilung nicht berücksichtigt, werden sowohl die Varianzen der Totalvorräte als auch der flächenbezogenen Vorräte teilweise dramatisch unterschätzt.

Kleinräumige geostatistische Bodenanalysen im nordost-deutschen Tiefland

Die Untersuchung verfolgte das Ziel, die kleinräumige, vom Bestand selbst geschaffene Bodenheterogenität in Waldbeständen des Tieflandes zu analysieren und ihre Ursachen aufzuklären. Diese Ergebnisse sollten Teil einer weitergehenden Auswertung zur Modellierung des raumabhängigen Stichprobenfehlers bei BZE-Probenahmedesigns sein (Teilprojekt 4, Kapitel 7). Dazu konnte auf Untersuchungsflächen und bereits vorhandene Bodenproben zurückgegriffen werden, die im Zusammenhang mit dem DFG-Projekt „Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe“ (FKZ: RI 1219/1-1) eingerichtet bzw. gezogen wurden. Die zur Verfügung stehenden Mineralbodenproben stammten aus jeweils zwei Rot-Buchen- (*Fagus sylvatica*), Trauben-Eichen- (*Quercus petraea*) und Wald-Kiefern- (*Pinus sylvestris*) Reinbeständen auf (mittel- bis) tiefgründigen, grundwasserfernen Sandböden und wurden entlang von 80 m langen Kreuztransekten mit Beprobungsabständen von 0,40 m bis 1,60 m und aus den Tiefenstufen 0-5 cm, 5-10 cm ... 30-40 cm gewonnen.

Die vorliegenden Ergebnisse zu Humusmächtigkeit, Horizontierung, pH-Wert und Humusgehalt (6 Flächen) wurden durch die Analyse weiterer, BZE-relevante Kennwerte (Kationenaustauschkapazität, Elementgehalte, Basensättigung, C, N, TRD) ergänzt. Diese Untersuchungen erfolgten an den Proben der bewirtschafteter Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände, die für die BZE repräsentativ sind und darüber hinaus auch an den Proben des Kiefern-Naturwaldes, in dem Niederschlagsmessungen in hoher räumlicher Auflösung vorgenommen wurden (4 Flächen).

Alle Daten wurden deskriptiv statistisch sowie mittels geostatistischer Methoden ausgewertet. Durch die hohe Aufnahmeintensität konnten Variogramme in sehr hoher Güte für nahezu alle untersuchten Parameter berechnet werden.

Unter Einbeziehung von Vegetations-, Bestandes- und Niederschlagsdaten wurde punktbezogen analysiert, welche Prozesse und Wechselwirkungen zu einer spezifischen Ausprägung der Bodenheterogenität führen (Mikroskala). Bestandesbezogen (Makroskala) wurden die Bodenmuster in ihrem Zusammenhang mit der (Haupt-) Baumart und der Waldgeschichte (Naturnähe bzw. Hemerobie) interpretiert.

- In den untersuchten Waldökosystemen auf Sandböden variieren die Autokorrelationslängen verschiedener Bodenparameter meistens zwischen ca. 2,50 - 8,50 m (Mittelwert 6,9 m, Median 6,0 m).
- Es lassen sich keine deutlichen baumartenspezifischen Unterschiede der Autokorrelationslängen von Bodenkennwerten herausarbeiten.
- In allen Naturwäldern zeigen sich höhere Variabilitätskoeffizienten für die Parameter pH-Wert, Humus-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt, als in den jeweiligen Wirtschaftswäldern.

-
- In den Naturwäldern sind die Autokorrelationslängen beim pH-Wert und der Basensättigung generell größer als in den jeweiligen Wirtschaftswäldern. Beim Humus-, C- und N-Gehalt sowie bei der effektiven Kationenaustauschkapazität trifft das nur für Buche und Eiche zu. (Die Sonderstellung des Kiefern-Wirtschaftswaldes hinsichtlich Variationskoeffizient und Autokorrelationslänge der C-assoziierten Parameter wird darauf zurückgeführt, dass er auf einer jungsteinzeitlich noch aktiven Binnendüne mit Brandspuren [Holzkohlereste in verschiedenen Tiefenstufen, fossile A-Horizonte] stockt.)
 - In den verschiedenen Tiefenstufen weist ein und derselbe Parameter oft unterschiedliche Autorrelationslängen auf, was an den kleinräumig variablen Horizonttiefen liegen kann.
 - Der Nuggeteffekt hängt stark vom untersuchten Parameter ab und wird mit strukturellen Bodeneigenschaften erklärt. Ein Baumarteneinfluss auf den Nuggeteffekt ist vor allem beim pH-Wert erkennbar (Kiefer mit großen, Buche mit kleinen Nuggeteffekten). Wahrscheinlich spielt hierfür der Kontrast bestandesstrukturbedingter Niederschlags- und Depositionsumverteilung eine Rolle.
 - Einige Parameter sind miteinander korreliert und bilden damit ähnliche Muster ab. Eine Folge ist, dass nicht nur der Humusgehalt, sondern auch Kationenaustauschkapazität, pH-Wert und Basensättigung einer Tiefenstufe mit den Horizontgrenzen in Zusammenhang stehen.
 - Vergleiche der ökosystemspezifischen Baumabstände und Wurzelausdehnungen mit den Autokorrelationslängen der Bodenkennwerte lassen vermuten, dass für die kleinräumige Heterogenität des pH-Wertes hauptsächlich die oberirdische, für die des Humusgehaltes die unterirdische Bestandesstruktur verantwortlich sind. Die Bodenmuster von pH-Wert und Sättigungsgraden erweisen sich damit als kurzlebiger als die des Humusgehaltes und der Kationenaustauschkapazität.
 - Die Untersuchungsmethode sollte bei optimiertem Probenahmedesign (Stichprobenzahl, Probenabstände) auf weitere Untersuchungsbestände ausgedehnt werden, um Erwartungswerte für verschiedene Ökosysteme (Baumart), Substrate und Nutzungen definieren zu können.

Variabilität und kleinräumige Heterogenität bodenchemischer Kenngrößen auf baden-württembergischen Versuchsflächen

Für die Untersuchung der Variabilität und kleinräumigen Heterogenität bodenchemischer Kenngrößen wurde auf Ergebnisse früherer Erhebungen von 10 baden-württembergischen Level II – Flächen und zusätzlich zwei in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden gedüngten bzw. gekalkten Versuchspartzen zurückgegriffen. Auch aus der Ökosystemfallstudie Conventwald lag eine Beprobung aus den Jahren 1995/1996 vor, die in die Auswertungen einbezogen werden konnte. In einer Nachbeprobung wurden auf den Level II – Flächen und den zwei behandelten Flächen zusätzlich 980 Bodenproben in den BZE-Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm gewonnen. Auf diese beiden Tiefenstufen wurden die Auswertungen fokussiert. Insgesamt standen für die Variographie 1377 Datensätze zur Verfügung.

Vor Durchführung der Variogrammanalysen wurden die Datensätze auf Normalverteilung geprüft, der überwiegende Teil der Datensätze musste logtransformiert werden. Da in dieser Untersuchung vorrangig kleinräumige Nachbarschaftseffekte aufgedeckt werden sollten und deterministische Trends auf höheren räumlichen Auflösungsebenen nicht betrachtet werden sollten, wurde die Länge des maximalen Abstandsvektors auf 20 m begrenzt. Die Anzahl der Lagklassenbelegung (bei 2m-Abstandsklassen) lag durch die 40 zusätzlichen je Fläche beprobten Punkte auch in den kleinen Abstandsklassen über 30. Für die parameter- und flächenübergreifende Interpretation wurden einheitlich isotrope gauss'schen Modelle verwendet und mittels ihrer Bestimmtheit, des ermittelten Ranges sowie der Lage von Nugget und Sill in vier Güteklassen klassifiziert. Für die weiteren Auswertungen wurden nur Variogramme der Güte 1 und 2 (Bestimmtheit über 30 % bzw. 10 %, Autokorrelationslänge < 20 m und Sill > Nugget) einbezogen.

Von den untersuchten Kenngrößen weisen das C/N-Verhältnis, die Austauschkapazität sowie die Aluminiumsättigung im Vergleich zu den weiteren untersuchten Parametern niedrigere Variationskoeffizienten auf (im Durchschnitt der Flächen unter 30 %), eine höhere Variabilität ist bei den pH-Werten, der Basensättigung, den basischen Neutralkationen Kalium und Magnesium sowie dem Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt gegeben (Variationskoeffizienten zwischen 30 % und 50 %). Die Calciumsättigung erreicht mit Variationskoeffizienten von über 75 % die höchste Variabilität. Auf den gedüngten/gekalkten Flächen und der carbonatischen Fläche in Tuttlingen ist die Variabilität der pH-Werte gegenüber den unbehandelten bzw. versauerten Flächen erhöht. Die Kalkungseffekte sind am deutlichsten an der höheren Variabilität der Magnesiumsättigung erkennbar.

Insgesamt wurden 285 Variogrammanpassungen durchgeführt, in 2/3 der Fälle konnten dabei keine kleinräumigen Nachbarschaftseffekte nachgewiesen werden. Tendenziell nimmt mit zunehmender Bodentiefe auch die Anzahl an Variogrammanpassungen zu.

Anhand der Untersuchungsergebnisse lässt sich kein Substrateffekte auf die Ausprägung kleinräumiger Nachbarschaftseffekte erkennen. Auf Flächen mit hoher Deposition scheinen sich Nachbarschaftseffekte zu verlieren, die Kalkung wirkt dieser Entwicklung scheinbar entgegen.

Neben dem geringen Anteil an Variogrammodellen der Güte 1 und 2 weist auch ein hoher Anteil der Nuggetvarianz von über 0.4 auf einen hohen Anteil zufälliger Streuung und wenig straff ausgeprägten Nachbarschaftseffekten hin. In der Tiefe nimmt der Nuggetvarianzanteil sogar noch zu.

Die mittleren Autokorrelationslängen liegen auf den Level II – Flächen in 0 bis 5 cm bei 7.4 m bzw. 9.8 m in 5 bis 10 cm. Für die Proben aus der Ökosystemfallstudie Conventwald liegen die Autokorrelationslängen im Wertespektrum, das auch auf den Level II – Flächen nachgewiesen wurde. Vermutlich spiegelt sich in dieser Autokorrelationsreichweite das räumliche Muster des Kronendachs wider, Hinweise hierauf konnten aus den paarweisen Tests der unterschiedlichen Überschirmungssituationen abgeleitet werden.

Ein enger korrelativer Zusammenhang war erwartungsgemäß zwischen dem Kohlenstoffgehalt und dem Stickstoffgehalt sowie Kohlenstoffgehalt und Austauschkapazität gegeben. Erstaunlicherweise ist die Basensättigung als summarischer Parameter und auch die Calciumsättigung weniger stark als die Magnesiumsättigung mit dem Kohlenstoffgehalt korreliert.

Der offensichtlich geringe Anteil klar identifizierbarer Nachbarschaftsbeziehungen an der Gesamtvarianz bodenchemischer Zustandsgrößen lässt eine Flächencharakterisierung anhand der BZE-Daten als wenig aussichtsreich erscheinen. Die Variabilität kann nur massenstatistisch erfasst werden und muss am Probepunkt minimiert werden.

Kleinräumige Variabilität von Waldboden- Dauerbeobachtungsflächen in Bayern

Anhand der Daten von 33 Standorten des Bayerischen Waldboden Dauerbeobachtungsprogramms (BDF) wurden die durch kleinräumige Variabilität verursachten Unsicherheiten bei der Charakterisierung von Böden geschätzt. Hierbei wurden die Parameter C_{org} und N_{tot} -Konzentrationen sowie -Vorräte und C / N - Verhältnis, effektive Kationen-Austausch-Kapazität (Ake), Basensättigung (BS), pH-Wert des Bodens und Grobbodenfraktion (> 2 mm) untersucht. In die Metaanalyse wurden pro Bodenparameter 3780 Datensätze zur Erzeugung aggregierter Kennwerte wie Schiefe, Variationskoeffizient (CV), Moran's I und Anteil der räumlich strukturierten Varianz (SV) einbezogen. Die zentralen Ergebnisse sind folgende:

- Ein Einfluß des Standorts auf die räumliche Struktur deutete sich zwar an, ein durchgängiger und kausal konsistenter Effekt konnte aber nicht nachgewiesen werden.
- Es zeigt sich aber, dass die Gesamtvarianz einiger Parameter mit steigendem Tongehalt tendenziell zurück geht und dass das Niveau der Streuung (CV) der untersuchten Boden-Parameter sich erheblich unterscheidet.

-
- Die Rangfolge der Parameter hinsichtlich der Streuung ist (in aufsteigender Reihenfolge): pH-Wert, C/N - Verhältnis, C und N -Konzentration, BS und Ake, C- und N- Vorräte.

Einfluss verschiedener Probenahmevarianten auf die Stichprobenvarianz

Der Einfluss verschiedener Probenahmevarianten auf die Stichprobenvarianz (und damit die Unsicherheit der Parameter Schätzungen) wurde durch Monte-Carlo-Stichproben aus simulierten 2D Zufallsfelder untersucht. Als Grundlage hierfür wurden für Deutschland typische, jedoch nicht flächenrepräsentative, aus den Teilprojekten zur Erfassung der kleinräumigen Variabilität abgeleitete Modellböden mit entsprechenden geostatistischen Eigenschaften erzeugt und mit verschiedener Probenahmevarianten beprobt. Die Grundvarianten der Probenahme wurden bezeichnet als K9 (Zentralpunkt und acht Satelliten), S8 (acht Satelliten) und Z9 (neun Profilbeprobungen). Zudem wurden Varianten mit gutachterlicher Vorauswahl bzw. Ausschluss von Störungen einbezogen.

- Die kreisförmige Probenanordnung (K9) war nicht mit einer Varianzerhöhung verbunden.
- Die Variante S8 ohne Zentralpunkt ist nur mit einer marginalen Einbusse der Sicherheit verbunden.
- Bei den Varianten Z9 (9 Proben aus dem Profil) und Z1 (1 Profilprobe) erhöht sich die Varianz hingegen um den Faktor 3-4 bzw. 6-9.
- Gutachterliche Vorauswahl bzw. Ausschluss von Störungen führen theoretisch zu einer deutlichen Erhöhung der Präzision. In der Praxis sind sie aber nur von Vorteil, wenn klar definierte und für den Probennehmer sichtbare Mikrosites (z.B. hot spots) von der Mittelwertschätzung ausgeschlossen werden sollen.
- Probenahmeverfahren mit gutachterlicher Vorauswahl führen pro Probennehmer zu einem unbekannten systematischen Fehler, da verschiedene Probennehmer unterschiedliche individuelle Maßstäbe für die Vorauswahl setzen.
- Der Varianzexpansionsfaktor (VEF) der Probenahmevarianten unterscheidet sich in Abhängigkeit vom Histogramm (Normalverteilung / Lognormalverteilung) der untersuchten Verteilung nur geringfügig. Probenahmevarianten, die mit einem Ausschluss einer Teilpopulation von Werten verbunden sind (siehe oben) beeinflussen den VEF stärker.

Fehlerbudgetierung

Innerhalb des Projektes war es nur möglich die Fehlerquellen „Stichprobenfehler“, „Probennahmedesign auf der Probefläche“, „Fehler innerhalb eines Labores“, „Fehler zwischen den Laboren“ und „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ zu quantifizieren. Der Stichprobenfehler ergibt sich aus der Varianz der Zielgröße im Inventurgebiet und der Anzahl Stichproben die gezogen wurden und stellt eine Standardgröße im Bereich der Inventuren dar. Senken lässt sich der Stichprobenfehler durch die Anwendung geeigneter Stratifizierungsverfahren und durch die Steigerung des Stichprobenumfanges.

Bestandteil des Stichprobenfehlers ist die zusätzliche Varianzkomponente „Probennahmedesign auf der Probefläche“, die in dem Sinne kein Fehler darstellt, sondern durch die Anzahl Proben zur Mischprobenbildung und der räumlichen Autokorrelation der Parameter auf der Probefläche beeinflusst ist. Diese zusätzliche Varianzkomponente kann ohne räumlichen Autokorrelation der Parameter auf der Probefläche in Relation zum K9-Verfahren (8 Satelliten + Zentralprofil) neun mal höher sein, wenn nur eine Probe auf der Fläche gezogen wird. Wäre es Konsens, sich auf ein einheitliches Probennahmedesign mit 8 oder 9 Proben zur Mischprobenbildung zu einigen, ist eine Senkung der Stichprobenvarianz um bis zu 40 % und damit des Stichprobenfehlers bei der

Zustandserfassung um bis zu 3 % in den Straten möglich, in denen nur das Zentralprofil beprobt wird.

Die durch Vereinheitlichung des Probennahmedesigns auf der Probefläche mit neun Einzelproben und durch die Anwendung stratifizierter Stichprobenpläne realisierte Varianzreduktion führt zu einer besseren Detektierbarkeit von signifikanten Veränderungen.

Auf Grund der Tatsache, dass sich die Differenzen zwischen den Laboren systematisch an Hand einer Funktion mit einem Bestimmtheitsmaß nahe 1 erklären lassen, kann sich dieser Fehler labor-weise aus den Einzeldaten „herausrechnen“ lassen. Sollte sich dieser Sachverhalt der Ringversuchsdaten 2005 und 2007 in weitergehenden Untersuchungen beweisen, spielt der „Fehler zwischen den Laboren“ am Gesamtfehlerbudget eine untergeordnete Rolle. Dagegen sind die „Fehler innerhalb eines Labores“ und „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ neben dem Stichprobenfehler bedeutend für das Fehlerbudget. Die „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ lassen sich durch konsistente Analysemethoden über mehrere Inventurzeitpunkte hinweg vermeiden, solange keine neuen Verfahren zur Verfügung stehen, die ökonomisch oder technisch effizienter sind. Lassen sich die „Fehler innerhalb eines Labores“ z.B. halbieren, wären Senkungen des Root Mean Square Errors in Abhängigkeit der Zielgröße bis hin zu 50 % möglich.

Summary

Stratification approaches and up-scaling procedures to estimate states and changes

In a notation of department 533 in the Federal Ministry of consumer protection, food and agriculture from July 30th 2004 some unsettled questions for the statistical analyses were described. These questions were answered in chapter 2 from the statistical point of view and with the answers of two questionnaires to the implementation of inventory methods in the federal states. The question related to the displacement of inventory grids between the federal states and the kind of definition for the sampling point locations is irrelevant for the analysis in that way the parameters of interest are distributed randomly and the sampling grid do not follow some formations in terrain, like mountain ridges or river valleys. In the case that the sampling grid is only located on such special formations they were over-represented in the drawn sample and others were under-represented.

The question concerning the handling of different condensations of sampling grids can be answered in the following way: The up-scaling of different condensations, which are spatially disjointed, should be done by weighting the area of each condensation, i.e. different federal states. With this method the estimate of variance leads to a smaller value, because the areas are not random variables, estimated with an error. A point-weighted procedure must be chosen for areas where two or more condensations of sampling grids coincide. A point weighted procedure allows a special analysis across different condensation of sampling grids.

The error component „Sampling design on the sampling point“ can be interpreted as an add-on variance component, which is already included in the sampling error and is therefore irrelevant for up-scaling procedures. Relevance increases for statistical tests with a required equality of variances. In this case a differentiation between strata with different sampling schemes is recommended.

Monumental differences between the results of the first and the second German Soil Condition Survey are caused by changing laboratory-analysing techniques. As example the German and the European technique to measure the CEC in $\mu\text{mol/g}$ lead to a difference of 95 %.

The differentiation into „natural strata“ can be used to decrease the sampling error. Since the variance for some parameters can not be explained by these natural strata, a post-stratification approach is recommended. To reduce biases at least on strata level the following separation into units should be applied:

- Detecting the part of coarse texture of the soil and bulk density
- Detecting the part of humus in mineral soils
- If samples only drawn on areas with special characteristics (forest types, soil types)
- If the part of living biomass is eliminated

Dependent to the inventory design the statistical valid estimates are described in chapters 2 and 3. In these up-scaling procedures it is recommended to include not only the sample points located in the forest but also those located in non-forest areas. A correct estimation of area related parameter such as carbon/ha can only be realised by including the distribution and the variance of forest and non-forest patterns.

Small scale geo-statistical soil analyses in northeast Germany

In six pure beech, oak and pine stands (three natural and regularly managed forests, respectively) on sandy soils in North-Brandenburg and West-Poland, soil samples were taken along 80 m cross-transects with high resolution (sample distance 0,40 m to 1,60 m; sample depths 0-5 cm, 5-10 cm, ... 30-40 cm). Furthermore along these transects stand structural data as well as parameters to describe the ground vegetation and rooting intensity were recorded.

- In the natural forests generally occur higher variabilities of the soil parameters pH-value, humus, carbon and nitrogen content.
- In the examined forest ecosystems the autocorrelation lengths of soil properties vary between 2,50 and 8,50 m (mean = 6,9 m, median = 6,0 m).
- Between the autocorrelation length of the examined soil parameters and the influence of tree species no considerable dependence couldn't be detected.
- In the natural forests the autocorrelation lengths of pH-value and base saturation are generally higher than in the regularly managed forests. Concerning humus, C- and N-content as well as the effective cation exchange capacity this result could only be demonstrated for the examined beech and oak stands.
- In different soil depths often the same soil parameter shows various autocorrelation lengths.
- The nugget effect generally depends on the examined particular parameter, what can be explained by the relation to soil structure properties. The tree species influence the nugget effect of the pH-value (pine stands show high, beech stands low nugget effects).
- The comparison of the ecosystem specific mean tree distances and the spatial rooting structure, respectively, with the autocorrelation lengths of soil properties allows the conclusion, that the small-scale heterogeneity of the pH-value is caused by the aboveground and the soil humus content by the subsurface stand structure.

Variability and small scale heterogeneity of soil chemical parameters on investigation sites in Baden-Wuerttemberg

For the investigation of variability and small scale heterogeneity of soil chemical parameters results of earlier investigations from the 10 Level II – plots in Baden-Wuerttemberg as well as two fertilized/limed sites in the close vicinity to these plots were available. Further more data from the ecosystem study site Conventwald could be used for the analysis. In order to broaden the data basis additionally 980 soil probes were taken accordingly to the German soil survey program in the depth layers from 0 to 5 cm and 5 to 10 cm. In Total 1377 point data could be used for the variographie.

Prior to the variogram analyses the assumption of distributional normality was checked, most of the data sets had to be log transformed. Because the focus of this study was set on the detection of small scale variability and not on the identification of deterministic trends on higher spatial scales, the maximum lag-distance was limited to 20 m. Due to the 40 additional point data gathered within this study the counts within the lag distances of 2 m exceeded 30 even in the small distance classes.

For the interpretation of neighbourhood effects for the different parameters, different sites and depth layers only the outputs of the isotropic Gaussian models were used. The model output was classified into four quality classes using the degree of determination, the length of the range and the relation between range and sill. For the further interpretation only models with a goodness of fit classified into quality class 1 or 2 (degree of determination > 30 % respectively 10 %, range < 20 m, and sill > range) were used.

The coefficient of variation (VC) was smallest for the C/N-ratio, the aluminium saturation and the effective exchange capacity (averaged coefficients less than 30 %). A higher variability was found for the pH-values, the base saturation, the saturation of the basic cations potassium and magnesium and the carbon and nitrogen contents (averaged coefficients between 30 % and 50 %). The highest variation was found for the calcium saturation exceeding coefficients of 75 %. At the fertilized/limed sites as well as at the carbonatic site Tuttlingen the variation of the pH-values are higher compared with the untreated and acidified sites. The effect of liming on the variability of cation saturation can most obviously be recognized for the magnesium saturation.

In total 285 theoretical variogram models were calculated, in 2/3 of the cases the quality class of 1 or 2 wasn't achieved. From the first to the second depth layer the chance for adapting variogram models with sufficient accuracy increases. An effect of different substrate classes on small scale neighbourhood effects could not be observed. On sites with high deposition loads neighbourhood effects are less expressive, liming seems to provoke more pronounced neighbourhood effects.

Beneath the small total number of variogram models of the quality class 1 or 2, the relation between nugget variance and sill of 0.4 indicates a high random variation and little spatial neighbourhood effects in the investigated data.

The averaged ranges of the variogram models on the Level II - plots are 7.4 m for the depth layer from 0 to 5 cm and 9.8 m for the layer from 5 to 10 cm. The autocorrelation lengths for the data of the ecosystem study Conventwald are comparable to the data found on the Level II - plots.

It seems to be plausible that these autocorrelation ranges reflect the influence of tree crowns on the sites. Hints for this hypotheses were found in the results of pairwise tests for crown strata, that were divided up by different classes of canopy closure.

As expected, strong correlations were realized between carbon and nitrogen content as well as between carbon and effective exchange capacity. Surprisingly the summary parameter base saturation and the calcium saturation were less correlated with the carbon content than the magnesium saturation.

Obviously the little amount of clear neighbourhood effects in relation to the overall variance impedes of an areal characterisation on plot level of the soil survey. Thus the variability can only be statistically detected in larger sample units and the influences on the plot level must be minimized.

Small scale variation at Bavarian soil monitoring sites

Data from the Bavarian forest soil monitoring programme (BDF) were used to estimate the effect of small scale variation on the uncertainty of soil property measurements. We performed a meta analysis based on geo-statistical parameters derived from 33 BDF sites. The data set involved Corg- and Ntot- concentrations and pools as well as the C/N-ratio, effective cation exchange capacity (CEC), base saturation (BS), pH and coarse soil fraction (> 2 mm). For the meta analysis 3780 records per soil parameter were used to calculate the skewness, the coefficient of variation (cv), Moran's I and the portion of spatially structured variance in the data. Most important results were:

- Observed spatial patterns of soil parameters could not clearly be related to site conditions.
- However, total variance of some parameters tended to decrease with increasing clay content and the level of variation (cv) of the studied soil parameters differed significantly.
- The ranking of parameters with respect to variation is (in ascending order): pH, C/N-ratio, C and N-concentration, BS und CEC, C- and N-pools.

Influence of different sampling variances on the sample variance

The influence of different sampling designs on the sample variance (and hence uncertainty of parameter estimates) was examined by Monte-Carlo sampling of simulated 2D random fields re-

presenting model soils with typical geo-statistical properties. Sampling designs were named K9 (circular design, sampling the central point and eight satellites), S8 (same as K9 without sampling the central point) and Z9 (nine samples from a profile at the central point), Z1 (only 1 sample) and R9 (nine random samples). Additionally, designs with an expert based pre-selection and exclusion of disturbances were included. Main results are:

- Circular sampling designs (K9, S9) were not associated with increasing variances
- Design S8 without central sampling resulted in minor certainty reduction.
- With design Z9 (9 samples taken from one soil profile) and Z1 (1 sample taken from soil profile), variances increased to 3-4 folds and to 6-9 folds, respectively.
- Pre-selection by an expert or exclusion of disturbances theoretically leads to a significant increase of precision, but to a systematic bias in estimating means. For practical purposes, these sampling designs are only advantageous if clearly defined microsites (host spots) are to be excluded from the estimation of the mean.
- The variance expansion factors ($VEF = \text{Percent increase in variance when compared with a random sampling of nine samples}$) of each sampling design are only slightly influenced by the shape of the histogram (norm or lognormal) of the examined distribution. In contrast the VEF is strongly affected by the application of sampling designs that aim at the exclusion of extreme values (see above).

Error budgeting

In the scope of this project it was only possible to quantify the error sources sampling error, sampling design on the sampling point, errors within a laboratory, error between laboratories and errors related to different laboratory methodology. The sampling error is a standard value in the field of analysing inventory data. It depends on the variance of the parameter in the inventory area and the number of sampling points. Increasing the sampling fraction (number of sampling points) or introducing stratified sampling schemes are methods to reduce the sampling error.

Part of the sampling error is the add-on variance component, caused by different sampling designs on the sampling point, especially by the number of samples drawn to produce the composite sample per sampling point. This add-on variance component can lead to an nine times greater part of the overall variance of a sample if only one sample is taken in opposite to 9 samples (8 satellites + 1 profile).

The sampling design on the sampling point can be harmonised for all federal states of Germany with 9 samples for producing the composite sample. This could reduce the sample variance to 40 % and the sampling error to 3 % in these strata, were sampling design is switched to 8 or 9 samples per plot.

The realized reduction of variance caused by harmonizing the sampling design on the sampling plots with nine subsamples and by applying stratified sampling schemes leads to a better detection of significant changes over time.

The analyses have shown, that the differences between the laboratory measurements are strictly systematic. This bias could be recalculated from the sample related to an predefined overall mean. So this error source plays a manageable role in the overall budget. Still errors within laboratories, errors related to different laboratory methodologies, together with the sampling error play an important role in the overall error budget. The errors related to different laboratory methodology could be avoided by using consistent laboratory methodologies over time. If it were possible to decrease the error within one laboratory, the amount of this error source could be reduced up to 50 %.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Ziele	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Design der BZE	3
1.3	Ziele des Projektes	3
1.4	Gliederung dieses Berichts	5
2	Stratifizierungs- und Hochrechnungsansätze	7
2.1	Regeln zur Stratifizierung	8
2.1.1	Netzverschiebungen und Festlegung des Stichprobenmittelpunktes	8
2.1.2	Netzverdichtung	9
2.1.3	Probennahmedesign auf der Probefläche	9
2.1.4	Veränderte Laborverfahren zwischen BZE I und II	9
2.1.5	Variablen zur Stratifizierung	10
2.2	Stratifizierte Hochrechnungsansätze	11
2.2.1	Schätzung von Mittelwerten	11
2.2.2	Anteils- und Flächenschätzungen	12
2.2.3	Schätzung von Totalwerten	12
2.2.4	Quotientenschätzer	13
2.3	Definition des Holzbodens	13
2.4	Repräsentativität des Holzbodenschätzers	14
2.5	Nominal- und Ordinaldaten	16
2.6	Test auf Normalverteilung	16
2.7	Hochrechnung nicht normalverteilter Daten	20
3	Folgeinventurkonzepte	23
3.1	Die Wiederbeprobung bei der BZE	24
3.2	Wiederholungsstichprobe ohne teilweisen Ersatz	24
3.2.1	Unverbundene Stichproben	24

3.2.2	Verbundene Stichproben	25
3.2.3	Wiederbeprobung der selben Individuen pro Stichprobenelement	25
3.2.4	Empfehlung	25
4	Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland	27
4.1	Hintergrund und Untersuchungsziel	27
4.2	Stand der Wissenschaft	28
4.3	Methodik	29
4.3.1	Literaturrecherche und Katalogisierung	29
4.3.2	Untersuchungsflächenauswahl	29
4.3.3	Holzmesskundliche und bestandesstrukturelle Aufnahme	30
4.3.4	Bestimmung des Bestandes- und Freilandniederschlags	30
4.3.5	Bodenkundliche Untersuchungen	32
4.3.5.1	Bodengrube	32
4.3.5.2	Transektuntersuchung I an 221 Punkten	32
4.3.5.3	Transektuntersuchung II an 49 Intensiv-Untersuchungs-Punkten	33
4.3.6	Deskriptive Statistik und Geostatistik	34
4.4	Ergebnisse und Diskussion	38
4.4.1	Horizontierung	38
4.4.1.1	Variabilität der Horizontmächtigkeiten bzw. -grenzen	38
4.4.1.2	Räumliche Muster der Horizontmächtigkeiten	39
4.4.2	Bodenreaktion	41
4.4.2.1	Variabilität von pH-Wert und Protonenkonzentration	41
4.4.2.2	Räumliche Muster des pH-Wertes	43
4.4.3	Organische Bodensubstanz	48
4.4.3.1	Variabilität des Humusgehaltes in den Beständen	48
4.4.3.2	Räumliche Muster des Humusgehaltes	48
4.4.4	Kationenaustauschkapazität, Basensättigung und Sättigungsgrade einzelner Elemente	53
4.4.4.1	Variabilität von Kationenaustauschkapazität und Sättigungsgraden	53
4.4.5	Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt sowie C/N-Verhältnis	65
4.4.5.1	Variabilität der C- und N-Gehalte sowie des C/N-Verhältnisses	65
4.4.5.2	Räumliches Muster des C- und N-Gehaltes sowie des C/N-Verhältnisses	65
4.4.6	Zusammenschau der Variabilität und räumlichen Heterogenität der Bodenparameter	66
4.4.7	Interkorrelationen zwischen den Parametern	74

4.4.7.1	Humusgehalt - Trockenrohichte	74
4.4.7.2	Humusgehalt - C- und N-Gehalt - Kationenaustauschkapazität . .	74
4.4.7.3	Humusgehalt - pH-Wert	75
4.4.7.4	Bodenchemie - Durchwurzelung	75
4.4.8	Ursachen für die Ausprägung von Bodenfaktoren	81
4.4.8.1	Einfluss der Bestandesstruktur	81
4.4.8.2	Einfluss der Bodengenese (Horizontierung)	93
5	Geostatistische Analysen in Südwest-Deutschland	97
5.1	Einleitung	97
5.1.1	Auswertungsziele der Bodenzustandserhebung	97
5.1.2	Probenahme bei der Bodenzustandserhebung	97
5.1.3	Geostatistik und räumliche Variabilität	98
5.1.4	Ziele des Projekts	98
5.2	Material und Methoden	99
5.2.1	Versuchsflächen	99
5.2.1.1	Charakterisierung der Flächen	99
5.2.1.2	Probenahmedesign und Vorversuche	101
5.2.2	Variographie	105
5.2.3	Empirische Variogramme	105
5.2.3.1	Parametrische Semivariogramm-Modelle	107
5.2.3.2	Gütebeurteilung der Variogramme	109
5.2.3.3	Autokorrelationsprüfung mittels Moran-Test	110
5.2.3.4	Einflussgrößen auf die Datenvariabilität	110
5.2.3.5	Verwendete Software	110
5.3	Ergebnisse	111
5.3.1	Variabilität und räumliche Heterogenität der bodenchemischen Kenngrößen	111
5.3.1.1	Bodenreaktion	111
5.3.1.2	Austauschkapazität (AKe)	112
5.3.1.3	Basensättigung	114
5.3.1.4	Calciumsättigung	117
5.3.1.5	Magnesiumsättigung	118
5.3.1.6	Kaliumsättigung	119
5.3.1.7	Aluminiumsättigung	122
5.3.1.8	Kohlenstoffgehalt	122
5.3.1.9	Stickstoffgehalt	124

5.3.1.10	C/N-Verhältnis	125
5.3.2	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Variabilität und räumlichen Heterogenität auf den Level II-Flächen	128
5.3.2.1	Parameterspezifische Variabilität	128
5.3.2.2	Variabilität der Parameter auf den einzelnen Versuchsflächen . . .	128
5.3.2.3	Parameterspezifische Güteklassifikation	129
5.3.2.4	Vergleich der räumlichen Heterogenität auf den Versuchsflächen .	131
5.3.2.5	Nuggetvarianz und Autokorrelationslänge	131
5.3.3	Moran's Test auf räumliche Autokorrelation	134
5.3.4	Einflussgrößen auf die Datenvariabilität	134
5.3.5	Interkorrelationen zwischen den Parametern	138
5.3.6	Ergebnisse der Nelderversuche im Conventwald	140
5.4	Synopsis und Schlussfolgerungen	141
6	Geostatistische Analysen in Bayern	143
6.1	Kleinräumige Variabilität von Waldboden- Dauerbeobachtungsflächen in Bayern .	143
6.1.1	Einleitung	143
6.1.2	Material und Methoden	145
6.1.2.1	Statistik und Geostatistik	147
6.1.3	Ergebnisse	153
6.1.3.1	Häufigkeitsverteilung und Schiefe	153
6.1.3.2	Beziehung von Moran's I und räumlich strukturierter Varianz . . .	154
6.1.3.3	Variabilität der Bodenparameter	156
6.1.3.4	Effekte von Humusform, Standortstyp und Tiefengradient der Basensättigung	157
6.1.3.5	Kritische Differenzen	161
6.1.4	Diskussion	162
6.1.4.1	Typisierung von Böden nach ihren räumlichen Eigenschaften . . .	162
6.1.4.2	Räumliche Heterogenität als Problem für die Detektion zeitlicher Änderungen	163
6.1.4.3	Verbesserungsmöglichkeiten in den Probenahmedesigns	165
6.1.5	Synopsis und Schlussfolgerungen	165
6.2	Variabilität von Nitrat in einem südbayerischen Waldgebiet	167
6.2.1	Fragestellung und Methode	167
6.2.2	Ergebnisse	167
6.2.2.1	Konfidenzintervall	168
6.2.2.2	Räumliche Abhängigkeit	169

6.2.2.3	Zeitliche Gültigkeit einer einmaligen Stichprobe	170
6.2.3	Fazit	171
7	Simulationen zum Einfluß des Probennahmedesigns	173
7.1	Einleitung	173
7.2	Methode	173
7.2.1	Definition des Inventurorts	175
7.2.2	Grundlagen für die Generierung von Modellböden	175
7.2.2.1	Literaturrecherche	175
7.2.2.2	Datenakquisition und Datenanalyse	176
7.2.2.3	Geostatistische Analyse der Ergebnisse von TP2, TP3 und TP4	176
7.3	Geostatistik	176
7.4	Studiendesign	177
7.5	Ergebnisse und Diskussion	179
7.5.1	Räumliche Eigenschaften von Böden	179
7.5.1.1	Literaturrecherche	180
7.5.1.2	Datenakquisition	184
7.5.1.3	Geostatistische Analyse von TP2, TP3 und TP4	184
7.5.1.4	Modellböden	185
7.5.2	Monte Carlo-Simulation mit verschiedenen Probenahmedesigns	192
7.5.2.1	Überlegungen zum systematischen Einfluss des Probenahmeschemas	192
7.5.2.2	Normalverteilte Bodenparameter	194
7.5.2.3	Lognormalverteilte Bodenparameter	196
7.5.2.4	Sonderfälle	200
7.6	Schlussfolgerungen	204
7.7	Empfehlungen	204
8	Erstellung eines Fehlerbudgets	207
8.1	Stichprobenfehler	208
8.2	Feldfehler	210
8.2.1	Fehler bedingt durch das Probennahmedesign	210
8.2.2	Fehler bei der Probennahme	213
8.2.3	Potentielle Fehlerquellen zwischen Probennahme und Probenvorbereitung	214
8.3	Laborfehler	214
8.3.1	Fehler Probenvorbereitung	214
8.3.2	Messfehler pro Labor	215
8.3.2.1	Methodenentwicklung zur Schätzung des Fehlers in einem Labor	215

8.3.2.2	Ergebnisse zur Schätzung des Fehlers in einem Labor	218
8.3.3	Messdifferenzen zwischen den Laboren	224
8.3.4	Differenzen durch unterschiedliche Aufschlußverfahren	231
8.4	Beurteilung der Fehlerbudgetierung	231
8.5	Empfehlungen	233
9	Ausblick	235
9.1	Zusammenfassung	235
9.2	Mögliche Ergänzungsuntersuchungen	243
10	Technische Umsetzung	245
10.1	Universität Hamburg	245
10.1.1	AP 0 Projektkoordination	245
10.1.2	AP 4 Datenakquisition	245
10.1.3	Vergleich Projektziele vs. realisierte Ergebnisse	246
10.1.4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	247
10.2	Fachhochschule Eberswalde	247
10.2.1	Zielstellung	247
10.2.2	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	247
10.2.3	Veröffentlichungen aus Ergebnissen des Teilprojektes (chronologisch)	249
10.2.4	Im Rahmen des Teilprojektes betreute und abgeschlossene Diplomarbeiten (chronologisch)	249
10.3	FVA Freiburg	250
10.3.1	Vergleich Projektziele vs. realisierte Ziele	250
10.4	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Fa. Zebris	251
10.4.1	AP 3 Datenakquisition I (Literaturstudie und Bodendatenakquisition) . . .	251
10.4.2	AP 5 Geostatistische Analyse	251
10.4.3	AP 6 Fehlersimulation	251
10.4.4	Vergleich Projektziele vs. realisierte Ergebnisse	251
A	Vermerk 533-7673-1/4	267
B	Fragebögen	277
C	Metaanalyse	291
C.1	Fundierung der Szenarien durch Studienergebnisse	291
C.1.1	Einleitung	291
C.1.2	Methode	291

C.1.2.1	Datenaufbereitung	291
C.1.2.2	Vorbemerkungen	292
C.1.2.3	Vorgehensweise	292
C.1.3	Ergebnisse	292
C.1.3.1	Range	292
C.1.3.2	Nugget	293
C.1.3.3	Nugget x Range: Fundierung der Szenarien durch Studienergebnisse	294
D	Datenspezifikation für die Akquisition von Bodendaten	297
D.1	Bodendaten (Rohdaten)	297
D.1.1	Allgemeine Beschreibung	297
D.1.2	Kopfdaten	297
D.1.3	Standorts- /pedonbezogene Daten	297
D.1.4	Horizont- bzw. tiefenstufenbezogene Daten	298
D.2	Analyse-Ergebnisse	298
D.3	Literatur_BZE.mdb	299
D.4	Bodendatenbank GEOSTAT.mdb	299
E	Statistische Kenngrößen	301
F	Sonderanhang FH Eberswalde	A
G	Sonderanhang FVA Freiburg	C

Abbildungsverzeichnis

1.1	BZE-Plot-Design	5
1.2	Projektstruktur	6
2.1	Vergleich verschiedener Holzbodenschätzer basierend auf verschiedenen Netzen . .	15
2.2	Mögliche statistische Auswertungen auf verschiedenen Skalenniveaus	16
2.3	un-transformierter Mittelwert + VI und Median für den Ca-Gehalt	20
2.4	transformierte Verteilungen für den Ca-Gehalt	21
3.1	Simulierte mittlere Veränderung des pH-Wertes	26
4.1	Systematische Probenahme entlang des Kreuztransekts	33
4.2	Prinzipbild eines empirischen Semivariogramms mit angepasstem sphärischen Modell	36
4.3	Mächtigkeit der Auflage- und der obersten Mineralbodenhorizonte	40
4.4	Variogramm der Of-Horizontmächtigkeit im Buchenwald	40
4.5	Variogramm der Of-Horizontmächtigkeit im Kiefernwald	42
4.6	pH-Werte in verschiedenen Tiefenstufen	42
4.7	Variationskoeffizient des pH-Wertes in verschiedenen Tiefen	43
4.8	Variationskoeffizient des Protonengehaltes in verschiedenen Tiefen	43
4.9	Variogramme des pH-Wertes	44
4.10	Autokorrelationslängen des pH-Wertes in verschiedenen Bodentiefen	44
4.11	Humusgehalt in verschiedenen Tiefenstufen	49
4.12	Variationskoeffizient des Humusgehaltes in verschiedenen Tiefen	49
4.13	Variogramm des Humusgehaltes auf BN und BW	50
4.14	Autokorrelationslängen des Humusgehaltes in verschiedenen Bodentiefen	50
4.15	Kationenaustauschkapazität, BS-, Ca-Sättigung in %	55
4.16	Mg-, K-, Na-Sättigung in %	57
4.17	Al-, Fe-, Mn-Sättigung in %	60
4.18	Variogramm für Kationenaustauschkapazität 0-5 cm	62
4.19	Variogramm für Basensättigung 0-5 cm	62

4.20	Variogramm für K-Sättigung in 30-40 cm im Kiefern-Naturwald mit geschachtelter Struktur	64
4.21	Variogramm für Na-Sättigung	64
4.22	C-, N-Gehalt und C/N in 0-5 cm Tiefe	67
4.23	C-, N- und C/N-Variogramme in 0-5 cm Tiefe	67
4.24	Zusammenhang zwischen Trockenrohdichte und Humusgehalt	74
4.25	Zusammenhang zwischen Humusgehalt und pH-Wert im Kiefern-Naturwald	76
4.26	Anordnung von Einzelbäumen im Dreiecksverband	84
4.27	Variabilität des Bestandesniederschlags sowie Beziehung zwischen Niederschlagssumme und Oberbodenfeuchte	88
4.28	Zusammenhang zwischen Niederschlagssumme und Bestandesstrukturindices sowie zwischen aktueller Feuchte nach Regenperiode und Bestandesstrukturindices	88
4.29	Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der Bodenvegetation und Bestandesstruktur- und Strahlungsindices	90
4.30	Variabilität der Horizontierung im Kiefern-Naturwald	93
4.31	Zusammenhang von Ah-Anteil und Humusgehalt bzw. pH-Wert im Buchen-Wirtschaftswald	95
4.32	Zusammenhang von Ah-Anteil und Humusgehalt bzw. pH-Wert im Kiefern-Naturwald	96
5.1	Auswahl der Zusatzpunkte in Bezug zu Punkten der Erstbeprobung	101
5.2	Auswahl von 40 Probepunkten durch Verschiebung des Gitters um 0.5 m in x-Richtung	102
5.3	Histogramm der Belegung der Punktabstandsklassen für 40 Zusatzproben je Tiefenstufe	103
5.4	Abnahme der Varianz von Kohlenstoffgehalt und Austauschkapazität im Conventwald	103
5.5	Überblick über die Lage der Bohrpunkte in den Untersuchungsvarianten der Ökosystemfallstudie Conventwald	104
5.6	Parameterspezifische Boxplots der Schiefe für die Tiefenstufe 0 bis 5 cm	106
5.7	Parameterspezifische Boxplots der Schiefe für die Tiefenstufe 5 bis 10 cm	106
5.8	Klassisches, robustes und standardisiertes Variogramm für die Austauschkapazität im Conventwald	108
5.9	Modell eines theoretischen Semivariogramm	109
5.10	pH-Werte in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm	112
5.11	Semivarianz und theoretische Variogramme der pH-Werte (Tiefenstufe 0 bis 5 cm)	113
5.12	Austauschkapazitäten (AKe) auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen .	114
5.13	Semivarianz und theoretische Variogramme für die Austauschkapazität der unbehandelten Fläche in Heidelberg	115
5.14	Basensättigung auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen	116
5.15	Semivarianz und theoretische Variogramme für die Basensättigung auf der dolomit-behandelten Fläche in Ochsenhausen	117
5.16	Calciumsättigung auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen	118

5.17	Magnesiumsättigung auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen	120
5.18	Kaliumsättigung auf den Versuchsflächen	121
5.19	Aluminiumsättigung auf den Versuchsflächen	122
5.20	Kohlenstoffgehalt auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen	124
5.21	Semivarianz und theoretische Variogramme für den Kohlenstoffgehalt auf der Versuchsfläche Conventwald	125
5.22	Stickstoffgehalt auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen	125
5.23	C/N-Verhältnisse auf den Versuchsflächen	127
5.24	Parameterspezifischen Variationskoeffizienten	129
5.25	Parameterspezifischen Güteklassifikation der Variogramme	130
5.26	Anpassungsgüten der theoretischen Variogramme auf den Versuchsflächen	132
5.27	Häufigkeiten der Relation von Nugget zu Sill und der Autokorrelationslängen . . .	133
5.28	Das theoretische Semivariogramm des Stickstoffes auf der Kalkfläche in Heidelberg und der Austauschkapazität in Rotenfels	134
5.29	Zusammenhang zwischen Bestimmtheit der theoretischen Variogramme und Moran's I	135
5.30	Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und weiteren bodenchemischen Kenngrößen	138
5.31	Korrelation der bodenchemischen Parameter mit Kohlenstoff	139
6.1	Parameter-Standortsmatrix als Arbeitshypothese	144
6.2	Probenahmedesign der BZE und der bayerischen Bodendauerbeobachtungsflächen im Vergleich	148
6.3	Tiefenprofiltypen der Basensättigung (TGBS) und Stratenbesetzung	149
6.4	Beispiel eines Variogramms mit einem sill von 1 und einem range von 9; der Nugget-Effekt = 0	150
6.5	Charakterisierung der räumlich strukturierten Varianz (SV) anhand des Verhältnisses von partial sill zu sill	151
6.6	Variogramms der Ake der BDF Zusmarshausen	152
6.7	Quantile der Stichprobe gegen die theoretischen Quantile der Normalverteilung des Grobodenanteil	153
6.8	Schiefe der untersuchten Parameter aller 33 BDF im humosen Oberboden	154
6.9	Zusammenhang zwischen Moran's I und der räumlich strukturierten Varianz	155
6.10	Beispiele von Variogrammen mit signifikanten räumlichen Korrelationen	155
6.11	Räumlich strukturierte Varianz bei Bodenkennwerten im humosen Oberboden . . .	156
6.12	Variation von Bodenkennwerten im humosen Oberboden und im B-Horizont	157
6.13	Räumlich strukturierte Varianz des C/N-Verhältnisses und des Tiefengradienten der Basensättigung	158
6.14	Räumlich Strukturierte Varianz der Basensättigung bei unterschiedlichen Standortstypen	159

6.15	Räumliche strukturierte Varianz der Basensättigung im humosen Oberboden . . .	160
6.16	Variationskoeffizient von wichtigen Bodenkennwerten im Humus in Abhängigkeit vom Tongehalt des Oberbodens	160
6.17	Kritische Differenzen in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten	161
6.18	Histogramme der Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung im Rothschwaiger Forst	168
6.19	95 %-Konfidenzintervalle der Nitratkonzentration im Unterboden des Rothschwaiger Forstes in Abhängigkeit von der Stichprobengröße	169
6.20	Variogramm der Nitratkonzentration im Rothschwaiger Forst auf der kleinräumigen Skala	170
6.21	Variogrammwolken der Nitratkonzentrationen im Rothschwaiger Forst mit angepasster nonlinearer Lowess-Funktion	171
6.22	Modellgüte der Geoadditiven Regression zur Ermittlung der Raum und Zeit-Effekte von Nitrat	172
7.1	Zusammenfluss der Variogrammanalysen aus den Teilprojekten	174
7.2	Veranschaulichung der 4 grundlegenden Probenahmeschemata	178
7.3	2D-Zufallsfläche, Kantenlänge 40 m, mit Probenahmekreis K9 mit Zentralpunkt . .	179
7.4	Datenbasis der Bodenprobenahmen	180
7.5	Typische räumliche Muster des Bodens	181
7.6	Räumliche Muster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser	184
7.7	2D-Feld mit einem Nugget-Effekt von 100 %	186
7.8	Beispiele von 2D-Zufallsfeldern mit unterschiedlichen Korrelationslängen und geringem, mittlerem bzw. hohem Rauschen	187
7.9	Beispiele von 2D-Zufallsfelder mit unterschiedlichen Korrelationslängen sowie schwachem Nuggeteffekt bei Lognormalverteilung	188
7.10	Beispiele von 2D-Zufallsfelder mit einer in 45^{circ} Richtung ausgeprägten Anisotropie	189
7.11	Beispiele von 2D-Zufallsfelder mit ausgeprägter Fleckigkeit	189
7.12	Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit regelmäßigen hot spots	190
7.13	Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit regelmäßigen hot spots in linearer Anordnung .	190
7.14	Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit linearer Struktur	191
7.15	robefläche mit den Probenahmepunkten von 1000 Zufallsziehungen mit dem Schema K9	192
7.16	Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit linearer Struktur	192
7.17	Ergebnis eines Simulationslaufes bei Normalverteilung	193
7.18	Richtigkeit und Präzision als Gütekriterien von Stichprobenverfahren	194
7.19	Abhängigkeit der VEF von der Stichprobengröße bei räumlich nicht autokorrelierten Daten	195
7.20	Varianzexpansionsfaktoren der Probenahmevarianten K9, S8, Z9 und Z1	196
7.21	Ergebnis eines Simulationslaufes bei Lognormalverteilung Grundgesamtheit	198

7.22	Häufigkeitsverteilungen von 1000 Stichprobenmittelwerten aus Stichproben unterschiedlichen Umfangs	199
7.23	Varianzexpansionsfaktoren bei lognormalverteilter und normalverteilter Grundgesamtheit	200
7.24	Anisotropes Feld: Ergebnis von 100 Simulationsläufen mit je 1000 Beprobungen der Grundgesamtheit	201
7.25	VEF für anisotrope Felder im Vergleich zu Standardfeldern mit Normalverteilung.	202
7.26	Feld mit Periodizität: Ergebnis von tausend Beprobungen der Grundgesamtheit . .	203
7.27	VEF bei Beprobung des Feldes mit und ohne Rückgasse	203
8.1	Entwicklung des Stichprobenfehlers in Abhängigkeit der Anzahl Stichproben	208
8.2	Entwicklung des Stichprobenfehlers unter natürlichen Straten	209
8.3	Entwicklung des Stichprobenfehlers unter Post-Straten	209
8.4	Hypothese zur Entstehung der VEF	210
8.5	Übertragung der Regression zwischen dem mittleren C-Gehalt und deren Std und Zuweisung dieser Funktion auf die BZE-Daten	211
8.6	Zusammenhang zwischen Varianz und Probennahmedesign	212
8.7	Steigerung des Stichprobenfehlers, wenn die zusätzliche Varianzkomponente um 10 bis 50 % steigt	213
8.8	Übertragung der Regression zwischen der $\sqrt{H^+}$ -Konzentration und deren Standardabweichungen auf die BZE-Daten	216
8.9	Übertragung der Regression zwischen der $\ln(Ca)$ -Gehalt und deren Standardabweichungen auf die BZE-Daten	217
8.10	Regressionsfunktion zwischen pH-Wert, der H^+ -, sqrt-transformierten H^+ -Konzentration, Ca- und $\ln(Ca)$ - sowie C-Gehalt auf die std	218
8.11	Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens	219
8.12	Fehlerbudget für den Ca-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens	220
8.13	Fehlerbudget für die untransformierte und quadratwurzel-transformierte, modellierte pH-Wert-Veränderung in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens	222
8.14	Verteilungsfunktion des pH-Wertes, der H^+ - und der sqrt-transformierten H^+ -Konzentration	223
8.15	Beziehung zwischen den Labormittelwerten verschiedener an der BZE beteiligter Labore	225
8.16	Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens ohne Bias .	227
8.17	Fehlerbudget für den Ca-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens ohne Bias	228
8.18	Fehlerbudget für die modellierte pH-Wert-Veränderung den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens ohne Bias	229
8.19	Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens inkl. Fehler zwischen den Laboren	230
8.20	Regression zwischen den Labormittelwerten für AKe(D) und AKe(E)	232

C.1	Streuung von Nugget-Werten der Bodenparameter nach Datenherkunft	293
-----	--	-----

Tabellenverzeichnis

1.1	Überblick zum BZE-Netz	4
2.1	Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Humusparameter über ganz Deutschland	17
2.2	Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Bodenparameter in Tiefenstufe 1 über ganz Deutschland	17
2.3	Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Humusparameter in den Bundes- ländern	18
2.4	Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Bodenparameter in den Bundeslän- dern	19
2.5	Test auf Normalverteilung verschieden transformierter Ca-Gehalte	22
4.1	Charakterisierung der Untersuchungsflächen	31
4.2	Bodenkundliche Untersuchungen: Probenzahl für die jeweiligen Parameter	35
4.3	Anzahl der Wertepaare der ersten 20 Verschiebungsschritte	37
4.4	Variabilität der Horizontgrenzen im Buchen-Natur- und -Wirtschaftswald	38
4.5	Variabilität der Horizontgrenzen im Eichen-Natur- und -Wirtschaftswald	39
4.6	Variabilität der Horizontgrenzen im Kiefern-Natur- und -Wirtschaftswald	39
4.7	Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme zur Hori- zontierung	41
4.8	Häufigkeitsverteilung der pH-Werte	45
4.9	Häufigkeitsverteilung der Protonengehalte	46
4.10	Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme zur Hori- zontierung zum pH-Wert	47
4.11	Häufigkeitsverteilung des Humusgehaltes	51
4.12	Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme des Hu- musgehaltes	52
4.13	Häufigkeitsverteilung der Kationenaustauschkapazität	53
4.14	Häufigkeitsverteilung der Basensättigung	54
4.15	Häufigkeitsverteilung der Calciumsättigung	55
4.16	Häufigkeitsverteilung der Magnesiumsättigung	56

4.17 Häufigkeitsverteilung der Kaliumsättigung	56
4.18 Häufigkeitsverteilung der Natriumsättigung	57
4.19 Häufigkeitsverteilung der Aluminiumsättigung	58
4.20 Häufigkeitsverteilung der Eisensättigung	59
4.21 Häufigkeitsverteilung der Mangansättigung	59
4.22 Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Kationenaustauschkapazität und Basensättigung	61
4.23 Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Calcium- und Magnesiumsättigung	62
4.24 Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Kalium- und Natriumsättigung	63
4.25 Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Aluminium- und Eisensättigung	63
4.26 Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Mangansättigung . .	64
4.27 Häufigkeitsverteilung des C-, des N-Gehaltes und C/N-Verhältnisses in 0-5 cm Tiefe	66
4.28 Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der C-, der N-Gehalte und der C/N-Verhältnisse in 0-5 cm Tiefe	68
4.31 Gesamtübersicht über die Autokorrelationslängen	68
4.29 Gesamtübersicht über die Variabilität von pH, Humus, Horizont, usw.	70
4.30 Arithmetisches Mittel der rangskalierten Variationskoeffizienten aus allen Tiefenstufen	71
4.32 Arithmetisches Mittel und Median der Autokorrelationslänge aus allen Tiefenstufen	71
4.33 Gesamtübersicht über den Nuggeteffekt	71
4.34 Arithmetisches Mittel und Median des Nuggeteffektes aus allen Tiefenstufen	73
4.35 Korrelationskoeffizienten zwischen dem Humusgehalt und C-, N-Gehalt, KAK . . .	75
4.36 Variationskoeffizienten und Ranges des C- und Humus-Gehaltes sowie der KAK in 0-5 cm	75
4.37 Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelsvorrat, lebende+tote Buchenwurzeln und ausgewählten Bodenparametern für BN und BW	77
4.38 Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelsvorrat, lebende+tote Eichenwurzeln und ausgewählten Bodenparametern für EN und EW	78
4.39 Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelsvorrat, lebende+tote Buchenwurzeln und ausgewählten Bodenparametern	79
4.40 Vergleich zwischen Baumzahl von Urwäldern und Wirtschaftswäldern	86
4.41 Modellparameter zur Schätzung des Wurzelvorrates der Bodenvegetation	91
4.42 Modellparameter zur Schätzung des Wurzelvorrates (lebende+tote Feinwurzeln) . .	92
4.43 Bestimmtheitsmaße der Wurzelvorrat-Schätzung	93
4.44 Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelmasse bzw. Humusgehalt und dem Strukturindex	94
4.45 Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes und dem pH-Wert bzw. Humusgehalt	94

4.46	Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes an der Tiefenstufe 10-30 cm und pH-Wert bzw. Humusgehalt	95
4.47	Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes an der Tiefenstufe 10-30 cm und KAK, BS und austauschbaren Elementgehalten	96
5.1	Übersicht über die Level II – Flächen in Baden-Württemberg	100
5.2	Gütekriterien für die Anpassungsgüte der theoretischen Variogramme	110
5.3	Theoretischen Variogrammanpassungen für die Protonenkonzentrationen	113
5.4	Theoretischen Variogrammanpassungen für die Austauschkapazität	115
5.5	Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für die Basensättigungen	117
5.6	Theoretischen Variogrammanpassungen für die Calciumsättigung	119
5.7	Variogrammanpassungen für die austauschbaren Magnesiumsättigung	121
5.8	Theoretischen Variogrammanpassungen für die Kaliumsättigung	121
5.9	Theoretischen Variogrammanpassungen für die Aluminumsättigung	123
5.10	Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für den Kohlenstoffgehalt	124
5.11	Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für den Stickstoffgehalt	126
5.12	Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für die C/N-Verhältnisse	127
5.13	Mittlere Variationskoeffizienten	128
5.14	Parameterspezifische Rangverteilung der Variationskoeffizienten	130
5.15	Mittlere Autorkorrelationslängen für die untersuchten Parameter	133
5.16	Ergebnis des Wilcoxon Rangsummentests für die Versuchsfläche im Conventwald .	135
5.17	Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für die Versuchsfläche Ochsenhausen (ungekalkt)	137
5.18	Güteklassen der Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Buchenmischbestand und das Fichtenbaumholz	140
5.19	Güteklassen der Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Fichten- und Buchenstangenholz	141
5.20	Übersicht über die Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Conventwald	142
6.1	Kurzbeschreibung der untersuchten Bodendauerbeobachtungsflächen	146
6.2	Wichtige Prozesse, die in mitteleuropäischen Böden zu Bodenveränderungen führen und die hierzu untersuchten Bodenkennwerte	147
6.3	Substrattypen der bayerischen Standortsklassifikation und Stratenbesetzung	147
6.4	Kritische Differenzen von Bodenparametern im humosen Oberboden	162
7.1	Untersuchte Probenahmeschemata	178
7.2	Recherchierte Artikel zur kleinräumigen Variabilität	182

7.3	Eignung der akquirierten Daten für den Untersuchungsansatz im TP 4 des HS-Projekts	185
7.4	Varianzexpansionsfaktoren für Stichprobengrößen der BZE II	195
8.1	Varianzexpansion gegenüber der Grundvarianz in Abhängigkeit vom Probennahme- design auf der Probesträche	211
8.2	Bestimmtheitsmaß und Koeffizienten der Potenzfunktionen für die Zuweisung von Laborstandardabweichungen für BZE-Werte	221
8.3	Bestimmtheitsmaß und Koeffizienten der Potenzfunktionen für die Zuweisung von Standardabweichungen zwischen den Laboren für BZE-Werte	226
8.4	Kennwerte der Differenzen in % zwischen AKED und AKEE	231
10.1	Gegenüberstellung der Projektziele und der Projektergebnisse	248
B.1	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (A)	278
B.2	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (B)	279
B.3	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (C)	280
B.4	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (A)	281
B.5	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (B)	282
B.6	Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (C)	283
B.7	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (A)	284
B.8	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (B)	285
B.9	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (C)	286
B.10	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (A)	287
B.11	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (B)	288
B.12	Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (C)	289
C.1	Häufigkeit und Perzentilwerte von Ranges [m] nach Bodenparameter und Daten- herkunft	293
C.2	Häufigkeit und Perzentilwerte von Nuggets nach Bodenparameter und Datenherkunft	294
C.3	Zellenbesetzung der Szenarien Nugget x Range	294
E.1	Übersicht über statistischen Kenngrößen auf den Versuchsflächen in der Tiefe 0 bis 5 cm	301
E.2	Übersicht über statistischen Kenngrößen auf den Versuchsflächen in der Tiefe 5 bis 10 cm	303
E.3	Mittlere Variationskoeffizienten auf den Level II – Versuchsflächen	307

Kapitel 1

Hintergrund und Ziele

1.1 Hintergrund

„Die Waldböden sind für den Natur- und den Wasserhaushalt in Deutschland von zentraler Bedeutung. Einerseits bedecken Wälder etwa ein Drittel der Landesfläche, andererseits erfüllen die Wälder und insbesondere die Waldböden wichtige Funktionen im Stoff- und Wasserhaushalt ganzer Landschaften (z. B. Filterung von Luft und Niederschlägen bzw. Wasser, Speicherung von Kohlenstoff und Wasser). Außerdem werden die Wälder in Deutschland extensiv, d. h. mit geringer Eingriffsintensität bewirtschaftet. Die Wälder sind daher vergleichsweise naturnahe und ungestörte Ökosysteme. Aufgrund dieser Tatsache stellen sie ein wichtiges Refugium für viele Tier- und Pflanzenarten dar. Der aktuelle Zustand der Waldböden ist das Ergebnis sehr langfristiger natürlicher Entwicklungen, die allerdings in den letzten Jahrhunderten zunehmend durch menschliche Einwirkung beeinflusst und z. T. überprägt wurden. Hier sind insbesondere zu nennen:

- Historische Waldnutzungen: Über mehrere Jahrhunderte waren die Wälder infolge menschlicher Nutzungen übermäßigen Nährstoffausträgen ausgesetzt (z. B. durch Streunutzung, Waldweide, Brandrodung mit Ackernutzung, Kahlschläge, Entnahme von Leseholz).
- Waldbauliche Entscheidungen: Die heutigen Wälder sind zum großen Teil das Ergebnis waldbaulicher Entscheidungen, die mehrere Generationen zurückliegen. Besondere Bedeutung hat dabei die Baumartenwahl.
- Luftverunreinigungen: In den letzten einhundert Jahren wurde die Entwicklung der Waldböden zunehmend durch einen neuen Faktor beeinflusst: Industrialisierung und Wirtschaftswachstum führten zu einem starken Anstieg der Verbrennung fossiler Energieträger und der damit einhergehenden Umweltbelastung. Mit Einführung der Hochschornsteinpolitik gewann dieser Faktor flächendeckend an Bedeutung. Anthropogene Stoffeinträge stellen seit einigen Jahrzehnten den bedeutsamsten Belastungsfaktor der Waldböden dar. Sie haben maßgeblich zur Versauerung und Eutrophierung der Waldböden sowie zur Anreicherung oder auch zur Freisetzung von Schwermetallen und anderen Schadstoffen beigetragen.
- Klimaänderung: Die anthropogen verursachte Klimaänderung beeinflusst zunehmend die Waldökosysteme, die Waldböden und die in ihnen ablaufenden Prozesse. Allerdings ist noch offen, welche Entwicklungen sich ergeben und welches Ausmaß diese annehmen werden.

1. Hintergrund und Ziele

Diese Belastungen sind – wie bereits die erste, zwischen 1987 – 1993 durchgeführte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE I) ergeben hat – real und nachweisbar. Sie beeinträchtigen auf großer Fläche die Erfüllung der Waldfunktionen und stellen eine erhebliche Gefahr für die langfristige Erhaltung dieser Lebensgrundlage dar. Mit einem zeitlichen Abstand von 15 - 20 Jahren folgt nun eine Wiederholungsinventur (BZE II).“

Quelle: BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BONN (GERMANY). REFERAT 533 (2006)

Die Notwendigkeit zur Durchführung der BZE 2 begründet sich aus: a) den in Rahmen der Klimarahmenkonvention eingegangenen Verpflichtungen, wie der Erstellung von Treibhausgas-Inventaren und Berichterstattung nach dem Kyotoprotokoll sowie b) aus dem Bundes-Bodenschutzgesetz (1998). So sind die zuständigen Behörden verpflichtet insb. nach § 9 BBodSchG für den Fall, dass schädliche Bodenveränderungen vorliegen, im Sinne der Gefährdungsabschätzung geeignete Maßnahmen zur Ermittlung des Sachverhalts zu ergreifen (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BONN (GERMANY). REFERAT 533, 2005).

„Ziel der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) ist es insbesondere, im Sinne der Vorsorge die Kenntnisse über die Waldböden zu vertiefen. Diese Information soll dazu beitragen, die Waldböden vor weiteren schädlichen Veränderungen zu bewahren. Dabei werden insbesondere folgende Themenbereiche bearbeitet:

1. Bodenversauerung (Pufferfunktion),
2. Schadstoffbelastung (Filter-, Stoffumwandlungsfunktion),
3. Stickstoffsättigung (Stoffumwandlungsfunktion),
4. Kohlenstoffspeicherung (Stoffumwandlungsfunktion),
5. Wasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen,
6. Waldböden als natürliche Produktionsgrundlage der Forstwirtschaft.

Innerhalb dieser Themen soll die BZE II folgendes leisten:

- a Es soll ein Inventar von zentralen Bodeneigenschaften erstellt werden.
- b Es soll ein Beitrag zum besseren Verständnis ökosystemarer Zusammenhänge geleistet werden, v. a. zu den Fragen:
 - Wie wirken verschiedene Bodeneigenschaften auf Waldernährung, Waldwachstum, Kronenzustand und Sickerwasserqualität?
 - Welche Ursachen sind für die Eigenschaften von Waldböden verantwortlich?
 - Es sollen Ergebnisse von Intensiv-Messflächen aus dem Level II-Programm oder anderen Fallstudien verallgemeinert und in ihrer Flächenbedeutung dargestellt werden.
- c Es sollen Veränderungen von Bodeneigenschaften im Zeitraum zwischen BZE I und BZE II aufgedeckt und erklärt werden.
- d Aus den Bodeneigenschaften sollen Bewertungen für die Risikoabschätzung sowie für die Planung und Kontrolle von Maßnahmen abgeleitet werden.“

Quelle: BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BONN (GERMANY). REFERAT 533 (2006)

1.2 Design der BZE

Zu Beginn der deutschlandweiten Waldschadenserhebung (WSE) und -berichterstattung wurde ein systematisches 8 x 8 km Raster generiert, an dessen Schnittpunkten die Waldschadensmesspunkte angelegt wurden. Um Zusammenhänge zwischen Waldschäden und Bodenzuständen bzw. -veränderungen ableiten zu können, entschied man sich, das vorhandene WSE-Netz zu nutzen und auf dessen Beprobungspunkten die Probeflächen der BZE zu installieren. Die Bodenzustandserhebung erfolgt nur im Wald. Wald im Kontext der BZE bezieht sich ausschließlich auf den, nach der Bundeswaldinventur (BWI) definierten Holzboden. Die BZE ist aus technischer Sicht eine rein terrestrische, einphasige, systematische Punktstichprobe.

Der *Bund* hat zu beiden BZE-Zeitpunkten einen Rahmen zum Netz- und Probeflächendesign der Stichprobenpunkte in Form einer Arbeitsanleitung gegeben, im folgenden als Standardverfahren beschrieben, in dem gewisse länderspezifische Modifikationen zulässig sind (siehe BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE BZE (1990) und WELLBROCK ET AL. (2006)). Diese landesspezifischen Modifikationen des Aufnahmeverfahrens wurden im Rahmen dieses Projektes in Form eines Fragebogens landesweise abgefragt und sind in Kapitel 2 beschrieben.

So wurden z.B. landesspezifische Netzmodifikationen, siehe hierzu Tabelle 1.1 zugelassen, um den Ländern die Möglichkeit zu geben, mit einem veränderten Startpunkt des 8x8 km Netzes bzw. durch die Wahl einer anderen Netzgestaltung bestimmte landestypische Formationen besser abdecken zu können und damit die Aussagekraft der BZE auf Landesebene zu erhöhen. Die BZE-Landesnetze sind somit an den Landesgrenzen zueinander verschoben. In den neuen Bundesländern hat man sich Anfang der 1990er Jahre auf ein einheitliches Stichprobenraster von 8x8 km geeinigt.

In einigen Bundesländern konnten zum Zeitpunkt der BZE I Waldpunkte bei der Aufnahme entfallen oder unter Beachtung bestimmter Regeln verschoben werden, wenn der Stichprobenpunkt in einer natürlichen Formation lokalisiert ist, die nicht oder nur von untergeordnetem Interesse war. Solche natürlichen Formationen können z.B. Bestockungs- oder Bodentypen sein. So wurden in Baden-Württemberg zum ersten Zeitpunkt der BZE nur Nadelwälder beprobt. Zur Erhebung der Böden unter Laubwald wurde für die BZE II eigens ein separates Inventurnetz in Baden-Württemberg installiert. Zum zweiten Zeitpunkt der BZE darf ein Inventurpunkt nur verschoben werden, wenn dieser eine deutliche Störung aufweist, die nach der BZE-Arbeitsanleitung eine Verlegung des Punktes rechtfertigt.

Die Abbildung 1.1 zeigt eine schematische Darstellung der BZE-Probefläche und deren Integration in das Design der WSE-Fläche. Die Standard-BZE-Probefläche besteht aus einem Kreis mit 10 m Radius. Auf dessen Umfanglinie werden in einem Abstand von 45 Grad bzw. 50 Gon (8 Haupthimmelsrichtungen bei der BZE I) 8 Satellitenbohrungen bis zu einer Tiefe von 90 cm gewonnen. Fakultativ ist eine Probennahme in zwei weiteren Tiefenstufen (90 - 140, 140 - 200 cm) möglich. Bei der BZE II erfolgte ein Versatz dieser 8 Satelliten zur BZE I im Uhrzeigersinn um 10 Gon, da der Boden an den Satelliten des ersten Aufnahmezeitpunktes gestört ist bzw. die Probe an sich zerstört wurde. Am Mittelpunkt des Kreises wird das Bodenprofil angelegt. Bei der Erstbeprobung entspricht der Probekreismitelpunkt der Mitte der Profilstirnwand. Wird der BZE-Punkt wiederholt beprobt, ist die vormalige Profilwand neu zu präparieren. D.h. sie wird soweit abgestochen, dass keine weiteren Störungen, z.B. des Wasserhaushaltes oder durch Oxidationsprozesse zu erwarten sind. Mindestens sollten jedoch 0,5 m abgestochen werden. Sollte die Neupräparation nicht möglich sein, wird das Profil in unmittelbarer Nähe neu angelegt.

1.3 Ziele des Projektes

Aus den oben genannten Zielen der BZE, deren terrestrisches (Folge-) Inventurdesign und den landesspezifischen Modifikationen ergaben sich im Vorfeld der BZE II einige grundsätzliche mathematisch-statistische Fragen, welche in einem Vermerk des Referates 533 des BMVEL (533-

1. Hintergrund und Ziele

Tabelle 1.1: Überblick zu den Landesspezifika des BZE-Netzes

BL	VDG	Punkte BZE I	Landesnetz verschoben zu	GK- Streifen ^c	GF ^d	Holzbodenfläche BWI II	SF% ^e
SH	04x04 ^b	5	MV, NI, HH	3	0,250	159.281	3,90
SH	04x08 ^b	35	MV, NI, HH	3/4	0,500	159.281	3,90
HH	04x08	2	SH, NI	3	0,500		
HH	08x08	2	SH, NI	3	1,000		
NI	04x08 ^a	120	HB, NW, HE, MV, ST, TH, BB	2/3/4	0,250	1.114.229	2,50
NI	08x12 ^a	72	HB, NW, HE, MV, ST, TH, BB	2/3/4	0,750	1.114.229	2,50
HB	08x08	4	NI	3	1,000		
NW	08x08	140	NI, RP, HE	2/3	1,000	860.462	3,20
HE	08x08	139	RP, NW, NI, TH, BY, BW	3	1,000	834.279	3,00
RP	04x12 ^a	129	NW, HE, BW, SL	2/3	0,375	814.148	1,50
RP	16x16 ^a	21	NW, HE, BW, SL	2/3	2,000	814.148	1,50
SL	02x04	72	RP	2	0,125	97.667	8,30
BW	08x08 ^b	123	RP, HE, BY	3	1,000	1.330.121	1,20
BW	08x16 ^b	54	RP, HE, BY	3	1,500	1.330.121	1,20
BY	08x08	419	BW, HE, TH, SN	3/4	1,000	2.483.532	1,60
TH	08x08	95	BY, HE, NI	4	1,000	507.493	2,90
ST	08x08	76	NI	4	1,000	476.973	4,50
SN	08x08	67		4/5	1,000	495.423	3,00
BB	08x08	147		4	1,000	1.032.660	2,90
BE	04x08	1		4	0,500		
MV	08x08	74	SH, NI	4/5	1,000	514.468	2,20

^a Verdichtungsgebiete überlagern bzw. überschneiden sich räumlich, wobei zwischen den Netzen an vereinzelter Punkten Koinzidenzen entstehen.

^b Verdichtungsgebiete sind räumlich getrennt und überschneiden sich nicht.

^c Gauss-Krüger-Streifen in den Bundesländern.

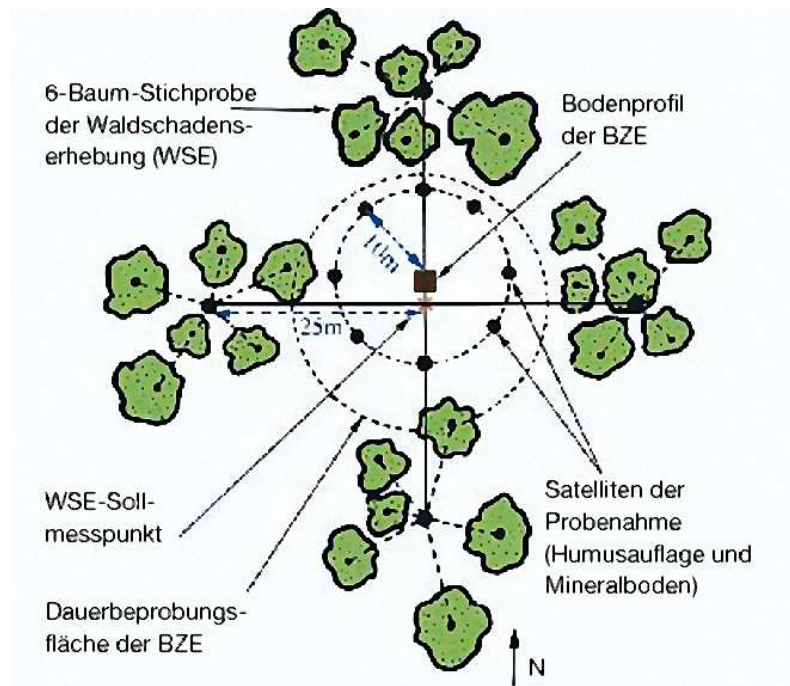
^d Gewichtungsfaktor

^e Stichprobenfehler in %

7673-1/4) vom 30.07.2004 festgehalten wurden (siehe Anhang A).

Die wichtigsten Fragen sollen an dieser Stelle nochmals aufgeführt werden:

1. Welche Einheiten eignen sich als Stratifizierungseinheiten?
2. Welche statistischen Verfahren sind für die Auswertung zulässig?
3. Welchen Einfluß hat der systematische Versatz des Stichprobenmittelpunktes bei Eigenarten des Geländes, welche eine Untersuchung unmöglich machen oder örtlich eng begrenzte, tiefgreifende Veränderungen durch menschliche Eingriffe auf die statistische Auswertung?
4. Die Probennahme zum ersten Zeitpunkt der Inventur erfolgte nicht zerstörungsfrei. Die Probennahme zum zweiten BZE-Zeitpunkt muss somit zwingend an anderer Stelle erfolgen. D.h. die Profilwand wird um mindestens 0,5 m abgetragen und die Satelliten im 10 Gon im Uhrzeigersinn versetzt. Wie wirkt sich dieser Versatz auf die statistische Auswertung aus? Wie hoch ist die kleinräumige Variabilität der Bodenparameter? Welchen Anteil haben zeitliche und räumliche Veränderung an der Entwicklung eines Parameters über die Zeit?
5. Wie ist der Einfluß veränderter Analyseverfahren zu beurteilen?
6. Welche Fehler treten bei der BZE auf und sind bei der Auswertung/Interpretation zu beachten?
7. Welche Größenordnungen können diese Fehler erreichen?



Quelle: RABEN ET AL. (2000)

Abbildung 1.1: Terrestrisches Design eines BZE-Plots

Hierdurch motiviert entstand das, dem hier vorliegenden Endbericht zugrundeliegende Projekt „Entwicklung eines statistischen Designs zur Bodenzustandserhebung (BZE II)“, welches durch Hochschulmittel des *BMELV* finanziert wurde. Das Projekt nahm die Fragen des Vermerkes (533-7673-1/4) auf und untergliedert sich in die Arbeitspakete:

- Stratendefinition
- Folgeinventurkonzepte
- Geostatistische Analyse
- Fehlersimulationen
- Auswahl geeigneter statistischer Stichprobefahren und deren Schätzalgorithmen
- Erstellung eines Gesamtfehlerbudget und Empfehlung eines statistischen Auswertedesigns

deren Zusammenfluss in der Abbildung 1.2 dargestellt ist.

1.4 Gliederung dieses Berichts

Die Gliederung dieses Berichts hält sich streng an die Gliederung des Projektantrages und seiner Arbeitspakete, entsprechend der Abb. 1.2. So werden die Vorschläge zur Stratifizierung des Inventurgebietes in Kapitel 2 auf Basis stichproben-theoretischer Betrachtungen und der Auswertung der Fragebögen beschrieben. Die für die Hochrechnung nötigen Zustandsschätzer werden hier ebenfalls präsentiert.

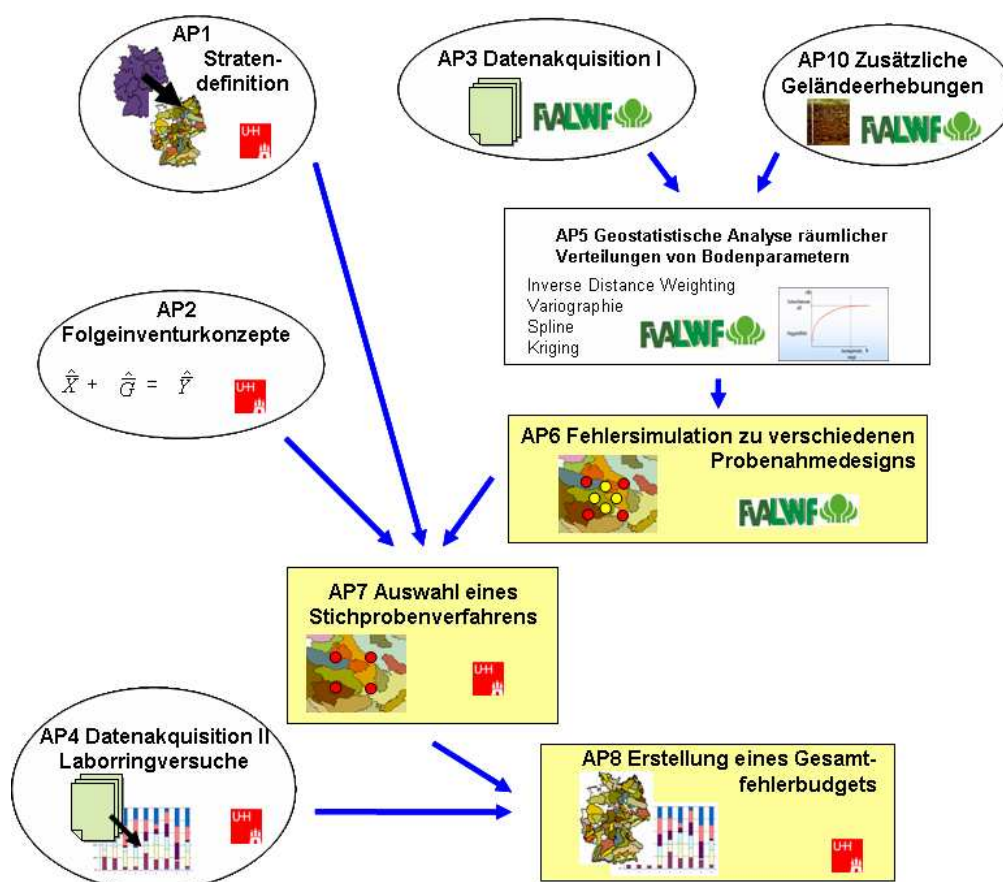


Abbildung 1.2: Projektstruktur

In Kapitel 3 werden verschiedene Verfahren zur Schätzung von Veränderungen diskutiert.

In den drei folgenden Kapiteln, „Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland“, Seite 27, „Geostatistische Analysen in Südwest-Deutschland“, Seite 97 und „Geostatistische Analysen in Bayern“, Seite 143 wird das Arbeitspaket 5 „Geostatistische Analyse räumlicher Verteilungen von Bodenparametern“ dargestellt, welches in Arbeitsteilung zwischen den beteiligten Instituten FH Eberswalde, LWF Freising/Zebis GbR und FVA Freiburg entstanden ist. Die Aufnahmen und Ergebnisse der AP 3 und 10 sind hier eingeflossen.

Darauf aufbauend wurden im Kapitel 7, Seite 173 Simulationen zu verschiedenen Probenahmedesigns auf der Probefläche durchgeführt, wobei auch Sonderstandorte berücksichtigt wurden. Hier werden Empfehlungen zu einem optimalen Probenahmedesign auf der Probefläche gegeben.

Das AP 7 ist in die Arbeiten der Kapitel 2 und 3 eingeflossen, da die Auswahl eines für die Auswertung der BZE geeigneten Stichprobenverfahrens nicht losgelöst von den AP 1 und 2 erfolgen kann.

Im Kapitel 8, Seite 207 werden Methoden zur Quantifizierung einzelner Fehlerquellen erarbeitet und anschließend inklusive des Fehlers zum Probenahme Design auf der Probefläche in ein Gesamtfehlerbudget integriert, so dass hier eine methodische Grundlage zur Abschätzung des Fehlerrahmens in Abhängigkeit einer Zielgröße gegeben werden konnte. Konkrete Fehlerrahmen konnten nicht berechnet werden, da hierfür das entsprechende Datenmaterial für die BZE II noch nicht vorlag.

Kapitel 2

Stratifizierungs- und Hochrechnungsansätze

Thomas Riedel

Das Arbeitspaket Stratendefinition verfolgt zwei, zum Teil diametrale Ziele:

1. Durch verschiedene Stratifizierungsansätze soll untersucht werden, welches Merkmal gut geeignet ist, einen möglichst großen Teil der Varianz in der gesamten Stichprobe zu erklären. D.h. nach der Anwendung dieses Merkmals als Stratifizierungsvariable ist die Varianz innerhalb der Straten möglichst klein und die Varianz zwischen den Straten möglichst groß. Durch einen solchen stratifizierten Hochrechnungsansatz ist es möglich, den Stichprobenfehler der BZE gegenüber einer unstratifizierten Stichprobe zu senken. Zusätzlich entstehen somit möglichst homogene Straten zu mehreren Inventurzeitpunkten, d.h., das Rauschen der Zielgrößen wird in dem vorliegenden Falle zu beiden Zeitpunkten minimiert. Tatsächliche Veränderungen über die Zeit sind somit auch auf einem vergleichsweise geringeren Niveau signifikant detektierbar, als unter Verzicht der Stratifizierung. Erweist sich ein Merkmal als entsprechend effiziente Stratifizierungsvariable, so führt die Etablierung vieler Straten zu einer stärkeren Stichprobenfehlersenkung als die Etablierung weniger Straten. Hierdurch entstehen zweierlei Probleme: a) Bestimmte Straten können mit keinem oder nur einem Stichprobenpunkt besetzt sein. Die Berechnung der Varianz wäre nicht möglich. b) Je mehr Straten etabliert werden, desto geringer ist die Anzahl Proben pro Stratum.
2. Der unter b) genannte Sachverhalt führt dann zu Problemen, wenn verschiedene statistische Test durchgeführt werden sollen, die trennscharfe Aussagen erst ab einer bestimmten Anzahl Stichproben zulassen. Dies spielt z.B. bei der Überprüfung auf Normalverteilung der Zielgrößen eine Rolle, als auch bei den, in den Arbeitspaketen 5 und 6 durchgeführten geostatistischen Analysen.

Folglich müssen in einem ersten Schritt übergeordnete Straten definiert werden, in denen die Anzahl Stichproben ausreicht, die entsprechenden statistischen Testverfahren zuverlässig anwenden zu können; z.B. Test auf Normalverteilung der Zielgröße. In einem zweiten Schritt kann bei entsprechenden Besatz der übergeordneten Straten weitere untergeordnete Straten etabliert werden, die zu einer weiteren Senkung des Stichprobenfehlers beitragen.

Um die hier genannten Ziele zu erreichen, wurden zum einen prä- als auch poststratifizierte Ansätze hinsichtlich der Eignung bestimmter Merkmale als Stratifizierungsvariable untersucht. Zum Anderen wurden Fragebögen entwickelt, in denen die methodischen Unterschiede bei der Erhebung und der Analyse des Datenmaterials zwischen den Bundesländern als auch zwischen beiden Inven-

turzeitpunkten herausgearbeitet werden sollten. Die Ergebnisse der Befragungen sollen Eingang in die Etablierung von Straten finden, um zumindest innerhalb der übergeordneten Straten keine zusätzlichen Verzerrungen der Schätzparameter auf Grund von methodischen Unterschieden im Aufnahmeverfahren und in der Analyse zu erhalten.

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse der Umfragen zu den angewandten BZE-Methoden in den Ländern zu beiden Inventurzeitpunkten dargestellt werden. Aufbauend werden Aggregationen von Bundesländern zu übergeordneten Straten auf Basis gleicher oder zumindest tolerabler Abweichungen in der Aufnahmemethodik vorgeschlagen.

2.1 Regeln zur Stratifizierung

Im Vermerk 533-7673-1/4 des BMELV vom 30.07.2004 (siehe: A) wurden unterschiedliche Fragen hinsichtlich der BZE-Aufnahmemethodik und deren statistischen Bedeutung aufgeworfen. Diese Fragen wurden in den ausgearbeiteten Fragebögen vom Projekt erfasst. Die von den meisten Bundesländern beantworteten Fragebögen, deren Aggregation und Zusammenstellung der Auswertungen wurden bereits dem Institut für Waldökologie und Waldinventuren des vTI übergeben. Anschließend soll nur noch eine kurze Auswertung erfolgen.

Einige der Fragen des genannten Vermerks können jedoch auch auf Basis der Stichprobentheorie beantwortet werden.

2.1.1 Netzverschiebungen und Festlegung des Stichprobenmittelpunktes

Die Stichprobentheorie und alle darauf aufbauenden Schätzalgorithmen definieren als Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Theorie die Ziehung einer zufälligen, uniformen Stichprobe. D.h. jeder Probepunkt bzw. jede Stichprobeneinheit innerhalb des Inventurgebietes muss die selbe Auswahlwahrscheinlichkeit haben (LANZ, 2001).

Im Umkehrschluß ist es auch zulässig, zu definieren, dass die jeweilige betrachtete Zielgröße zufällig und uniform im Inventurgebiet verteilt ist. Nimmt man diesen Sachverhalt als gegeben, ist es zulässig, wie in der Vergangenheit aus verschiedensten Gründen geschehen, systematische Stichprobenraster zu definieren. Diese bieten zusätzlich den Vorteil, dass bei entsprechender Netzdichte gleichzeitig verschiedene Formationen, z.B. Straten proportional zu ihrer Größe bzw. zu ihrem Anteil am Inventurgebiet erfasst werden können.

An dieser Stelle wird eine zufällige und uniforme Verteilung der Zielmerkmale der BZE angenommen. Geht man zusätzlich davon aus, dass das gewählte systematische Netz keinen bestimmten Formationen in der Landschaft folgt, d.h. die Probepunkte fallen auf Grund der Rasterweite des Netzes nicht ständig auf z.B. Bergrücken oder Flußtäler und lassen alle übrigen Landschaftskomponenten aus, kann von einer flächenrepräsentativen, unverzerrten, zufälligen und uniformen Stichprobe ausgegangen werden.

Sowohl die Problematik der Netzverschiebungen zwischen den Bundesländern oder anderen europäischen Ländern als auch die Festlegung des BZE-Stichprobenmittelpunktes auf den WZE-Flächen, sowie die Verschiebung der Satelliten bei „krass“ wechselnden Standortbedingungen kann unter diesen Umständen als vernachlässigbar angenommen werden, solange keine Systematik der Verschiebung zu Grunde liegt, d.h. bestimmte Landschaftsformationen systematisch ausgeschlossen werden.

2.1.2 Netzverdichtung

Solange unterschiedliche Netzverdichtungen auf separaten räumlichen Einheiten etabliert werden, können diese – ähnlich wie bei der BWI – als räumlich von einander getrennte Straten angesehen werden, die bei der Berechnung eines Gesamtschätzers über alle Straten hinweg mit den Flächenanteilen zu wichten sind (siehe Abschnitt 2.2.1). Da jedoch einige Bundesländer nicht klar voneinander räumlich zu differenzierende Verdichtungsgebiete in Abhängigkeit von bestimmten Zielparametern etabliert haben, muss eine Gewichtung jedes einzelnen Probepunktes in Abhängigkeit von seiner Zugehörigkeit zum jeweiligen Verdichtungsgebiet – wie bei der BZE I – erfolgen (siehe Tabelle 1.1). Die Methode der Einzelpunktichtung bietet den Vorteil, dass die sogenannten „übergeordneten“ Straten auch über die Landesgrenzen hinweg gebildet werden können.

2.1.3 Probennahmedesign auf der Probefläche

Im Vorgriff auf die Ergebnisse der Kapitel 7 und 8 kann festgehalten werden, dass die Fehlerkomponente resultierend aus dem Probennahmedesign auf der Probefläche ein varianzanalytisches Problem darstellt und an sich schon im Stichprobenfehler enthalten ist. Diese Fehlerkomponente spielt sowohl bei der Quantifizierung des Stichprobenfehlers als auch des Gesamtfehlerbudget nur eine untergeordnete Rolle.

Anders verhält sich dies, wenn anhand der BZE-Daten keine Hochrechnungen sondern statistische Tests, insbesondere Tests, bei denen Varianzgleichheit vorausgesetzt wird, erfolgen sollen. Der Anteil dieser Fehlerkomponente nimmt degressiv mit der Anzahl Proben, die zur Bildung der Mischproben herangezogen werden, als auch mit dem Abstand der Einzelproben auf der Probefläche ab. Wie stark und wie schnell der Anteil dieser Fehlerkomponente abnimmt, hängt auch von der räumlichen Autokorrelationslänge des betrachteten Bodenparameters als auch dem Grundrauschen der Zielvariable auf der Probefläche ab (siehe Abschnitt 7). Generell ist aber mit einem geringeren Anteil dieser Fehlerkomponente zu rechnen, wenn die Mischproben aus 8 Satelliten- oder aus 8 Satelliten- und einer Zentralprofilprobe gewonnen werden und nicht nur aus einer oder mehreren Proben aus den Profilwänden.

Da aus diesem Grund nicht unbedingt mit einer Varianzgleichheit zwischen verschiedenen Probennahmedesigns zu rechnen ist, sollte an dieser Stelle eine Stratentrennung zwischen den Bundesländern mit unterschiedlichen Probenahmedesigns bei der Durchführung von statistischen Test, bei denen Varianzgleichheit vorausgesetzt wird, erfolgen.

2.1.4 Veränderte Laborverfahren zwischen BZE I und II

Die Laborverfahren werden nach 3 Klassen differenziert.

1. Probenvorbereitung nach HFA = Mahlen der Proben mit ausschließlich speziell zugelassenen Materialien + Mahldauer
2. Aufschlußverfahren nach HFA, z.B. Königswasseraufschluß
3. Analyseverfahren nach HFA = tatsächlich angewandtes Messverfahren

Nach Expertenaussagen (Hr. Blum, GAFA, Hr. v. Wilpert, FVA Freiburg) führen die Klassen Probenvorbereitung und Analyseverfahren bei der Bestimmung von Elementgehalten bzw. -vorräten zu vernachlässigbaren Fehlern¹. Dagegen ist die Wahl des Aufschlußverfahrens von enormer Bedeutung für den letztendlich gemessenen Elementgehalt bzw. gemessenen Konzentrationen. Unterschiede in den Elementgehalten bzw. Konzentrationen können somit nur in Abhängigkeit des gewählten

¹ Andere Analyseverfahren, z.B. die Korngrößenanalyse nach Köhn oder durch Laser können jedoch auch zu nicht vergleichbaren Ergebnissen führen und sind somit nicht vernachlässigbar.

Aufschlußverfahrens interpretiert und gegenübergestellt werden. Innerhalb des Projektes konnte als Fallbeispiel die deutsche und die europäische Methode zur Bestimmung der AKE einer einzelnen Probe herangezogen werden (siehe 8). Hier zeigen sich Unterschiede von bis zu 95% bei der AKE-Messung für ein Element einer einzigen Probe. Im Mittel kann ein Unterschied zwischen beiden Verfahren von 28% festgestellt werden, wobei keines der beiden Verfahren das andere jeweils konsequent über- oder unterschätzt. Die Bestimmtheitsmaße für eine lineare Regression zwischen beiden Verfahren liegen erstaunlicherweise nahe 0.

Unterstellt man, dass diese Unterschiede auch bei anderen Aufschlußarten auftreten können, muss für eine nachträgliche Auswertung der BZE I-Daten eine Stratifizierung nach Bundesländern, in denen unterschiedliche Aufschlußverfahren zur Anwendung kamen, erfolgen. Dies gilt auch für die Berechnung von Veränderungen. Die Hochrechnung von Zustandsschätzern bei der BZE II ist dagegen unproblematisch, da sich hier die Länder durchgehend auf ein Aufschlußverfahren pro Element geeinigt haben.

2.1.5 Variablen zur Stratifizierung

Aus den von statistischer Seite beantworteten Fragen und durch Auswertung der Fragebögen können folgende Stratifizierungsregeln abgeleitet werden. 1.) sind dies die „natürlichen“ Prästraten und die „Post-“ Straten, die zum einen der Senkung der Varianz dienen, zum anderen sich aber auch an bereits nachgewiesenen natürlichen Prozessen und Zusammenhängen orientieren. Prä- und Poststratifizierungen unterscheiden sich – wie dies der folgende Abschnitt zeigt – hinsichtlich der Varianzberechnung. 2.) sind dies die auf Grund methodischer Unterschiede zwischen den Bundesländern zu etablierenden Straten, damit zumindest innerhalb dieser Straten möglichst durch methodische Differenzen unbeeinflusste Schätzer abgeleitet werden können. Deren Aggregation über die Straten hinaus führt zu verzerrten Schätzwerten, was jedoch nicht quantifizierbar ist, da nicht verschiedene Inventurmethode innerhalb eines Stratum untersucht werden konnten.

1. Natürliche Straten

- Wald / Nichtwald
- anstehendes Gestein
- Substrattypen
- Humusformen
- Bodenformen u.a.

2. Poststraten

- die betrachtete Zielgröße an sich
- C/N-Verhältnis
- C/P-Verhältnis
- Pufferbereiche
- Sensitivitätsklassen nach RIEK (1999)

3. Methodische Straten

- Ermittlung des Grobbodenanteils und der Trockenraumdichte
- Ermittlung des Humusanteiles im Mineralboden
- Netzverdichtungen
- Wenn nur RFlächen mit bestimmten Merkmalsausprägungen (Bestockungstypen, Standortstypen) erhoben wurden
- Grünanteilentfernung bei Humusproben

2.2 Stratifizierte Hochrechnungsansätze

Bevor ein Vergleich von Prä- und Poststratifizierungen vorgenommen werden kann, soll an dieser Stelle der Hochrechnungsprozess und die dazugehörigen Algorithmen aufgezeigt werden.

2.2.1 Schätzung von Mittelwerten

Die auf den einzelnen BZE-Probeflächen gewonnenen (Misch-)Proben und die daraus abgeleiteten bzw. analysierten Variablen werden als lokale Dichte der Zielgröße an diesem Probepunkt definiert. Somit handelt es sich bei der BZE um eine einphasige, rein terrestrische Punktstichprobe, deren aggregierte Schätzwerte stets unter Berücksichtigung aller Wald- und Nichtwaldproben berechnet werden.

Hintergrund ist: Das Vorhandensein einer Zielgröße und deren Ausprägung an einem Punkt, z.B. der Kohlenstoffvorrat oder der Waldstatus wird als zufälliger Prozess angesehen. D.h. erst nach der Erhebung beider Zielgrößen können diese in Form eines Quotientenschätzers in Verbindung gebracht werden (COCHRAN, 1977). Blieben die Nichtwaldpunkte als auch die Nichtholzbodenpunkte bei der Hochrechnung unberücksichtigt, könnte für die Zufallsgröße „Anzahl Stichproben im Wald“ kein empirischer Fehler berechnet werden. Die Varianz des Waldanteiles oder eines Stratenanteiles muss jedoch bei der Varianzschätzung der Zielgröße berücksichtigt werden, da ein anderes Stichprobennetz oder die Verschiebung des Stichprobennetzes zu anderen, variierenden Wald- oder Stratenanteilen führen würde (siehe Abschnitt 2.4). Die Nichtberücksichtigung der Wald- bzw. Stratenverteilung würde zu einer verzerrten (Unter-) Schätzung der Varianz des Mittelwertes bezogen auf den Holzboden führen (SCOTT und KÖHL, 1993; KÖHL, 1994) und damit zu einer Unterschätzung des Stichprobenfehlers sowie zu einem zu engen Vertrauensintervall.

Auf diesen Sachverhalt wird deswegen hingewiesen, da bei der BZE I in den meisten Bundesländern nur die Punkte registriert wurden, die in der Klasse „Holzboden“ lokalisiert sind. Die „fehlenden“ BZE-Punkte in den Klassen „Nichtholzboden“ und „Nichtwald“, müssten in diesem Falle nachgeneriert werden.

Der Mittelwert einer Zielgröße in einem Stratum unter Berücksichtigung aller Wald- und Nichtwaldproben wird nach SCOTT und KÖHL (1993) geschätzt durch:

$$\hat{\bar{Y}}_l = \frac{\sum_{j=1}^{n_l} I_{lj} Y_{lj}}{n_l} \quad (2.1)$$

mit $n_l = \sum I_{lj}$ und $I_{lj} = 1$, wenn $j \in l$ sowie $I_{lj} = 0$, wenn $j \notin l$. Die Varianz dieses Stratenmittelwertes berechnet sich nach:

$$v\langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle = \frac{\sum_{j=1}^{n_l} (Y_{lj} - \hat{\bar{Y}}_l)^2}{n_l(n_l - 1)} \quad (2.2)$$

Der Gesamtschätzer für eine Zielgröße und deren Varianz über alle Straten hinweg für eine einfache Stichprobe ist ein, mit den Flächen- oder Punktanteilen gewichteter Mittelwert aus den einzelnen Stratenschätzern:

$$\hat{\bar{Y}}_{st} = \sum_{l=1}^L \frac{\lambda(U_l)}{\lambda(U)} \hat{\bar{Y}}_l = \sum_{l=1}^L \frac{n_l}{n} \hat{\bar{Y}}_l \quad (2.3)$$

Handelt es sich um eine prä-stratifizierte Stichprobe, d.h. werden die Hilfsmerkmale der zur Stratifizierung genutzten Variable vor bzw. unabhängig von der terrestrischen Aufnahme erhoben, berechnet sich die Varianz des Stichprobenmittelwertes nach:

$$v\langle \hat{\bar{Y}}_{st} \rangle = \sum_{l=1}^L \left(\frac{\lambda(U_l)}{\lambda(U)} \right)^2 v\langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle = \sum_{l=1}^L \left(\frac{n_l}{n} \right)^2 v\langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle \quad (2.4)$$

Wird dagegen die Hilfsinformation zur Stratifizierung aus den bereits erhobenen Daten extrahiert, berechnet sich die Varianz des Stichprobenmittelwertes (siehe COCHRAN (1977); RIEDEL (2007)) nach:

$$v\langle \hat{\bar{Y}}_{st} \rangle = \frac{\sum_{l=1}^L \left(\frac{n_l}{n}\right) s^2 \langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle}{n} + \frac{\sum_{l=1}^L \left(1 - \frac{n_l}{n}\right) s^2 \langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle}{n^2} \quad (2.5)$$

mit $s^2 \langle \hat{\bar{Y}}_l \rangle = \frac{\sum_{i=1}^L (Y_{l,i} - \hat{\bar{Y}}_l)^2}{n_l - 1}$.

2.2.2 Anteils- und Flächenschätzungen

Anteile, wie z.B. der Holzbodenanteil am Untersuchungsgebiet berechnen sich nach:

$$\hat{p}_l = \frac{n_l}{n} \quad (2.6)$$

mit $n_l = \sum j$ und $j = 1$, wenn $j \in l$ sowie $j = 0$, wenn $j \notin l$.

Die Varianz dieses Anteilsschätzers unter Verwendung einer einfachen Punktstichprobe berechnet sich nach:

$$v\langle \hat{p}_l \rangle = \frac{p_l q_l}{n} = \frac{p_l (1 - p_l)}{n} \quad (2.7)$$

Die Fläche, hier z.B. die Holzbodenfläche eines Stratum $\hat{\lambda}(U_l)$ kann über die Beziehung

$$\hat{\lambda}(U_l) = \hat{p}_l \lambda(U) \quad (2.8)$$

hergeleitet werden. Ist $\lambda(U)$ bekannt und als fehlerfrei erhoben definiert, berechnet sich die Varianz der Fläche $\hat{\lambda}(U_l)$ nach:

$$v\langle \hat{\lambda}(U_l) \rangle = \lambda^2(U) v\langle \hat{p}_l \rangle \quad (2.9)$$

Wurde $\lambda(U)$ hingegen ebenfalls mittels einer Stichprobe innerhalb eines Vertrauensintervalls geschätzt, so ist dies bei der Varianzschätzung von $\hat{\lambda}(U_l)$ zu berücksichtigen:

$$v\langle \hat{\lambda}(U_l) \rangle = \hat{\lambda}(U) v\langle \hat{p}_l \rangle + v\langle \hat{\lambda}(U) \rangle \hat{p}_l \quad (2.10)$$

2.2.3 Schätzung von Totalwerten

Ist $\lambda(U)$ bekannt, berechnet sich das Total einer Zielgröße, z.B. der totale organische Kohlenstoffvorrat im Boden eines bestimmten Gebietes über Formel 2.11 und dessen Varianz nach Formel 2.12 (KÖHL, 1994):

$$\hat{Y} = \lambda(U) \hat{\bar{Y}} \quad (2.11)$$

$$v\langle \hat{Y} \rangle = \lambda^2(U) v\langle \hat{\bar{Y}} \rangle \quad (2.12)$$

Wurde dagegen $\lambda(U)$ bzw. $\lambda(U_l)$ nach Formel 2.8 geschätzt, erfolgt die Berechnung des Totals über Formel 2.13 und dessen Varianz nach Formel 2.14:

$$\hat{Y} = \hat{\lambda}(U) \hat{\bar{Y}} \quad (2.13)$$

$$v\langle \hat{Y} \rangle = \hat{\lambda}(U) v\langle \hat{\bar{Y}} \rangle + v\langle \hat{\lambda}(U) \rangle \hat{\bar{Y}} \quad (2.14)$$

2.2.4 Quotientenschätzer

Der Quotientenschätzer, z.B. der organische Kohlenstoffvorrat pro Hektar berechnet sich aus dem Total der Zielgröße im Gesamtgebiet durch die Holzboden- bzw. Stratenfläche $\lambda(U_l)$:

$$\hat{R} = \frac{\hat{Y}}{\hat{\lambda}(U_l)} \quad (2.15)$$

Ein intuitiv verständlicher Varianzschätzer dieses Quotienten, bestehend aus zwei Zufallsvariablen basierend auf einer verbundenen einfachen Zufallsstichprobe unter Berücksichtigung der Kovarianz beider Zielgrößen, wird in LOETSCH und HALLER (1964) bzw. in DE VRIES (1986) präsentiert:

$$v\langle \hat{R} \rangle = \hat{R}^2 \left\langle \frac{v\langle \hat{U}_l \rangle}{\hat{\lambda}^2(U_l)} + \frac{v\langle \hat{Y} \rangle}{\hat{Y}^2} - 2 \frac{s_{U_l Y}}{n \hat{\lambda}(U_l) \hat{Y}} \right\rangle \quad (2.16)$$

Soll die Varianz des Quotientenschätzers basierend auf zwei von einander unabhängig erhobenen Zielgrößen berechnet werden, so entfällt in Formel 2.16 der Kovarianzterm. Der Varianzschätzer für einen Quotientenschätzer basierend auf zwei unverbundenen Stichproben berechnet sich folglich nach:

$$v\langle \hat{R} \rangle = \hat{R}^2 \left\langle \frac{v\langle \hat{U}_l \rangle}{\hat{\lambda}^2(U_l)} + \frac{v\langle \hat{Y} \rangle}{\hat{Y}^2} \right\rangle \quad (2.17)$$

2.3 Definition des Holzbodens

Der Grund für die Vorstellung beider Varianten (Formeln 2.16 und 2.17) des Varianzschätzers für Quotientenschätzer liegt in der Tatsache begründet, dass es denkbar wäre, den Flächenschätzer für die Bezugsgröße Holzboden

1. über die BZE-Probepunkte als verbundene Stichprobe von Zielgröße und Holzbodenstatus unter Berücksichtigung der Kovarianz oder
2. über die BWI-Probepunkte als unverbundene Stichprobe auf Basis einer weitaus höheren Stichprobendichte

zu schätzen.

Die Schätzung der Holzbodenfläche lässt sich aus beiden Inventuren berechnen. Jedoch entstehen – unter Verwendung der oben aufgeführten Schätzer – nach genauerer Betrachtung der Ergebnisse verzerrte Berechnungen für die Quotientenschätzer.

Die Ursache lässt sich damit begründen, dass nicht an allen Holzboden-Punkten z.B. auf Grund des hohen Skelettanteils im Boden eine Probe genommen und anschließend analysiert werden konnte. In Folge dessen treten in der Datenbank NULL-Werte auf. Für den Umgang mit diesen NULL-Werten bei der Hochrechnung stehen drei Alternativen zur Verfügung:

1. Für die Fehlwerte wird 0 eingesetzt. Dies führt jedoch zu einer verzerrten Schätzung des Mittelwertes, sowie dessen Varianz und hätte weitreichende Konsequenzen. Wenn z.B. bei der Berechnung des mittleren pH-Wertes von Karbonatböden auf Grund der Tatsache, dass keine Proben genommen werden konnten, viele 0-Werte auftreten, würde die Schätzung des Mittelwertes sehr niedrig ausfallen.

2. Setzt man anstatt 0-Werten einen konstanten Mittelwert für die NULL-Werte ein, würde zwar der Mittelwert „weniger“ verzerrt geschätzt, aber dessen Varianz würde stark unterschätzt.
3. Für die Auswertungen werden nur die Proben als Holzboden-Proben angesehen, an denen auch eine Probe genommen werden konnte. Alle anderen Punkte sind Nichtholzboden-Punkte.

Die beiden ersten Methoden sind für eine korrekte, unverzerrte Hochrechnung nicht zulässig. Nur durch die Implementierung der letztgenannten Methode zum Umgang mit Fehlwerten kann die Schätzung von unverzerrten Mittelwerten und deren Varianzen erzielt werden.

Durch Anwendung dieser Methode wird jedoch die Definition des Holzbodens verändert. Nicht der sowohl bei BWI und BZE definierte Holzboden (bestockte Waldfläche) ist nun als Bezugsfläche anzusehen, sondern nur noch der Holzboden, auf dem Proben genommen werden konnten und die Analyse der Proben plausible Werte erbracht hat und diese auch wirklich in die Datenbank eingespeist wurden. Somit ist die Bezugsfläche der BZE nicht der Holzboden an sich, sondern nur noch der „beprobbare Holzboden“.

Hieraus ergeben sich zwei sehr weit reichende Konsequenzen:

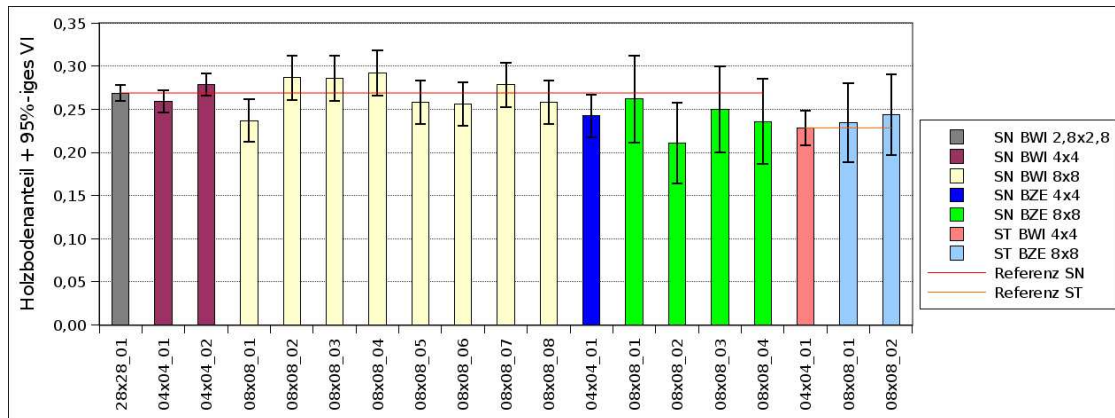
1. Die Bezugsfläche „beprobbarer Holzboden“ der BZE lässt sich nur aus den BZE-Daten schätzen, nicht aus den BWI-Daten.
2. Die Bezugsfläche „beprobbarer Holzboden“ der BZE kann in Abhängigkeit von der Eindring-Tiefe der Probengewinnungs-Werkzeuge von Tiefenstufe zu Tiefenstufe verschieden sein.

2.4 Repräsentativität des Holzbodenschätzers

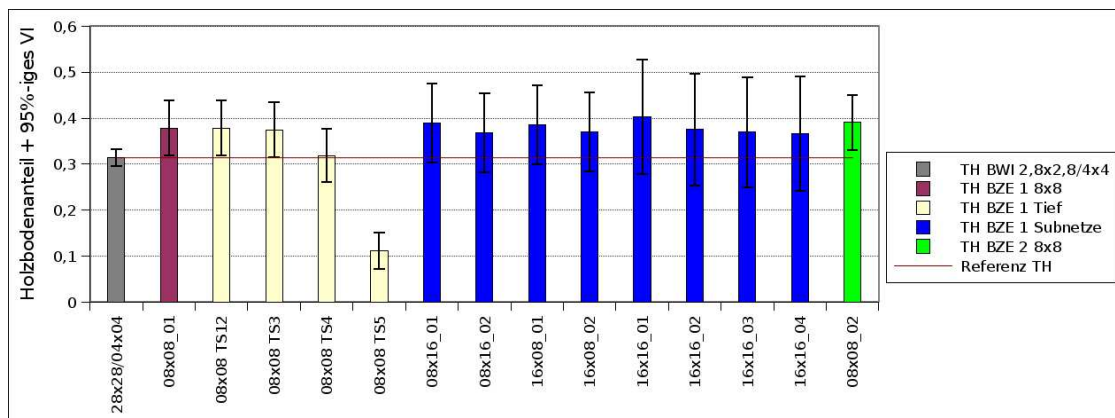
Wie Repräsentativ ist der Holzbodenschätzer auf Basis des weiteren BZE-Stichprobennetzes gegenüber des dichteren BWI-Stichprobennetzes? Zur Beantwortung dieser Fragestellungen konnten die georeferenzierten BWI II- und BZE-Punktinformationen über den Holzbodenstatus der Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen genutzt werden, da für diese Länder sowohl für die BWI II- als auch für die BZE-Punkte ein vollständiger Datensatz, inkl. aller Wald- und Nichtwaldpunkte, zur Verfügung stand. Am Bsp. Sachsen-Anhalt wurde der BWI II-Holzbodenschätzer des 4 x 4 km-Netzes dem BZE I als auch dem BZE II-Holzbodenschätzern basierend auf ein und dem selben 8 x 8 km-Netz und ihren 95%-igen Vertrauensintervallen gegenübergestellt. In Sachsen standen für beide Inventuren verdichtete Stichprobennetze zur Verfügung; im Falle der BWI II das 2,83 x 2,83 km-Netz und für die BZE I das 4 x 4 km-Netz. Aus beiden Netzen wurden Unterstichproben mit unterschiedlichen Startpunkten generiert und für jedes dieser resultierenden Netze der Holzbodenschätzer und dessen Vertrauensintervall berechnet. Die Ergebnisse für beide Bundesländer sind in Abbildung 2.1 dargestellt.

An dieser Stelle wird unterstellt: Wenn der Holzbodenschätzer des am stärksten verdichteten Netzes (dem der BWI II) vom Vertrauensintervall des generierten Subnetzes abgedeckt wird, so wird diese Unterstichprobe als repräsentativ angesehen. Die Holzbodenschätzer in Sachsen-Anhalt sind demnach zu beiden Zeitpunkten repräsentativ. In Sachsen beinhalten sowohl die Vertrauensintervalle der 4 x 4 km- als auch der 8 x 8 km-BWI-Subnetze (mit einer Ausnahme: 08x08_01) den Holzbodenschätzer des 2,83 x 2,83 km-BWI-Netzes. Dagegen unterschätzt das zweite generierte BZE-Subnetz (08x08_02) den ursprünglichen BWI-Holzbodenschätzer so stark, dass dieser vom 95%-igen Vertrauensintervall des Subnetzes nicht abgedeckt wird. Es handelt sich hierbei um jenes 8 x 8 km-Subnetz mit dem nordwestlichsten Startpunkt. Es beinhaltet vergleichsweise wenig Holzbodenplots im Erzgebirge als auch in den größeren Waldgebieten der Lausitz. Hiervon beeinflusst

ist auch der Holzbodenschätzer des ursprünglichen 4 x 4 km-BZE-Netzes, dessen obere Grenze des 95%-igen Vertrauensintervalls gerade noch den BWI-Holzbodenschätzer abdeckt. Bei dem ersten generierten BZE-Subnetz (08x08_01) handelt es sich jedoch um jenes Netz, dessen erhobene Daten dem Bund für die bundesweite Auswertung der BZE I zur Verfügung gestellt wurden. Dessen geschätzter Anteilswert unterscheidet sich vom BWI-Anteilswert um lediglich 0,007 und zieht einen Flächendifferenz beider Schätzwerte von rund 13.000 ha Holzbodenfläche für das Land Sachsen nach sich.



(a) Sachsen (SN) und Sachsen-Anhalt (ST)



(b) Thüringen (TH)

Abbildung 2.1: Vergleich verschiedener Holzbodenschätzer basierend auf den BWI- und BZE-Netzen der Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen bzw. daraus generierter Subnetze mit unterschiedlichen Startpunkten und ein Vergleich des „beprobaren Holzbodens“ verschiedener Tiefenstufen in Thüringen

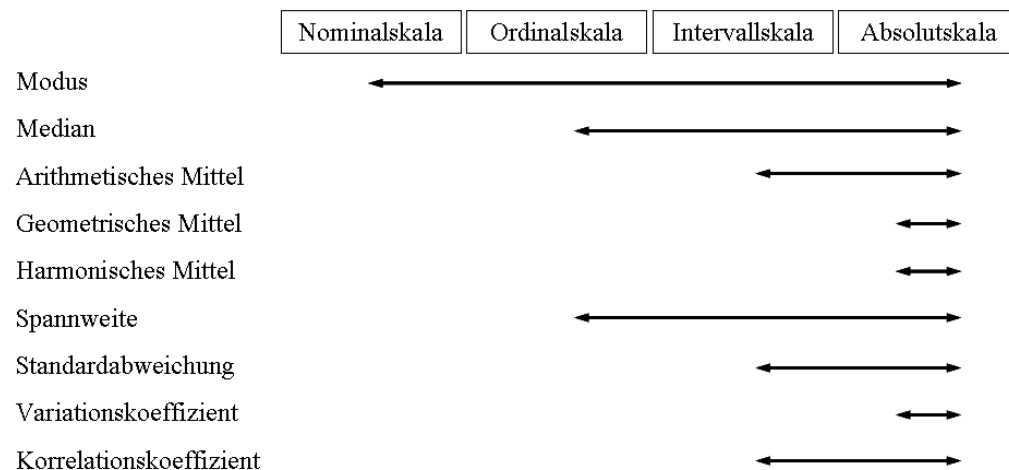
Nachdem die Holzbodenschätzer auf Basis aller BZE-Holzboden- und -Nichtholzboden-Punkte in den drei Bundesländern als repräsentativ angesehen werden können, sei an dieser Stelle jedoch nochmal auf die Möglichkeit der von Tiefenstufe zu Tiefenstufe variierenden Holzbodenfläche hingewiesen. Die Abbildung 2.1b verdeutlicht, dass mit zunehmender Tiefenstufe immer weniger Proben genommen werden können. Somit verringert sich die „beprobare Holzbodenfläche“ von Tiefenstufe zu Tiefenstufe. Die Repräsentativität für bestimmte, auf die Tiefenstufe bezogene Analysen bzw. Parameter nimmt von Tiefenstufe zu Tiefenstufe ab. Sollte dieser Trend z.B. an Steilhängen oder Bergkuppen schon in geringeren Tiefenstufen auftreten als auf Sand- oder Talböden, so sind die Schätzwerte nur noch für jene Straten repräsentativ, in denen genügend Proben in der jeweiligen Tiefenstufe genommen werden konnten, nicht mehr für den gesamten Holzboden

und auch nicht für die Straten mit sehr wenigen Proben. D.h., nur wenn in allen Straten eine repräsentative Aufnahme pro Stratum und Tiefenstufe erfolgte, kann ein unverzerrter, repräsentativer Gesamtschätzer für übergeordnete Straten, wie z.B. Bundesländer berechnet werden. Dies bedeutet auch, dass z.B. Bundeslandwerte nur vergleichbar sind, wenn trotz gleicher Erhebungsmethoden auch vergleichbare Werkzeuge zur Probengewinnung zur Anwendung kamen. Ist dies nicht der Fall, können z.B. skelettreiche Böden auf Grund der Werkzeugwahl repräsentativ in einer bestimmten Tiefenstufe erhoben worden sein, in einem anderen Bundesland dagegen nicht.

2.5 Nominal- und Ordinaldaten

Die Angabe von arithmetischen Mittelwerten und deren Fehler ist für Daten auf nominalen und ordinalen Skalenniveaus nicht zulässig. So lassen sich für Nominaldaten, wie z.B. Boden- oder Humusarten Häufigkeitsverteilungen oder Anteile berechnen. Sie können weiterhin als Eingangsgrößen für Stratifizierungen dienen oder z.B. für die Erstellung von Diversitätsindizes nutzen. Zur Vertiefung sei hier auf BOLTE ET AL. (2007) verwiesen.

Sollen Lagemaße für Ordinaldaten, wie die Nährstoffstufen oder Austauscher-Bereiche angegeben werden, ist der Median zu verwenden. Dessen Variation lässt sich mittels Spannweiten, Quartilen oder Perzentilen unter Beachtung der Anzahl möglicher Stufen beurteilen. Statistisch zulässige analytische Methoden zeigt die Abbildung 2.2.



Quelle: KÖHL (1998)

Abbildung 2.2: Mögliche statistische Auswertungen auf verschiedenen Skalenniveaus

2.6 Test auf Normalverteilung

Die BZE I Daten gliedern sich in Angaben zum Mineralboden und zur Humusaufgabe. Darin finden sich Vorratswerte zu verschiedenen Parametern, gemessen während der Laboranalysen als auch abgeleitete Verhältniswerte.

Natürliche Parameter, speziell Bodendaten liegen häufig nicht in Form einer Normalverteilung vor. Das Vorhandensein dieser bzw. die Unterstellung einer Normalverteilung der zu analysierenden Daten ist jedoch Voraussetzung für viele statistische, parametrische Tests und analytischer Aussagen z.B. zu Mittelwerten und deren Vertrauensintervallen. Sollen jedoch nichtparametrische

Tests durchgeführt oder lediglich Mittelwerte und Varianzen, sowie deren Verhältnis zum Stichprobenumfang (Stichprobenfehler) dargestellt werden, ist die Normalverteilung der betrachteten Größe nicht zwingend erforderlich. Hierdurch werden jedoch Nachteile, z.B. der Form eines nicht robusten Mittelwertes gegenüber Ausreißern in Kauf genommen.

Ziel des Projektes ist es ein Gesamtfehlerbudget zu erstellen. Hierzu sind Angaben zu Varianzen, Vertrauensintervallen, sowie oberen und unteren Grenzen notwendig. D.h. die zu analysierenden Parameter sollten zumindest näherungsweise über das gesamte Inventurgebiet oder wenigstens innerhalb der zu definierenden Straten normalverteilt vorliegen. Aus diesem Grund wurden alle untersuchten Parameter auf Normalverteilung im gesamten Inventurgebiet und in einzelnen Straten getestet. Ein Parameter gilt als normalverteilt, wenn sich der Wert für die Schiefe der Verteilung zwischen 1 und -1 bewegt und der Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) den Signifikanzwert von 0,05 überschreitet. Die Tabellen 2.1 und 2.2 sollen dies an den Parametern des Humus und des Mineralbodens (Tiefenstufe 1) verdeutlichen. Eine Zusammenfassung, ob Parameter in den Bundesländern zum Zeitpunkt der BZE I normal skaliert oder log-transformiert normal verteilt sind, zeigen die Tabellen 2.3, Seite 18 und 2.4, Seite 19.

Tabelle 2.1: Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Humusparameter über ganz Deutschland

ZG	N	normal skaliert				N	ln transformiert			
		Mean	Median	Skewness	KS-Test		Mean	Median	Skewness	KS-Test
CORGHU	1600	22,51	18,39	7,045	0,000	1578	2,77	2,92	-0,644	0,000
CMENGE	1602	63,67	50,29	4,343	0,000	1581	3,80	3,93	-0,660	0,000
NVHU	1600	960,23	778,14	9,924	0,000	1579	6,53	6,66	-0,719	0,000
PVHU	1600	52,61	42,23	6,350	0,000	1577	3,64	3,76	-0,660	0,000
KVHU	1598	160,53	82,88	21,778	0,000	1577	4,49	4,43	0,167	0,115
CAVHU	1594	379,10	207,00	20,837	0,000	1575	5,40	5,34	0,435	0,000
MGVHU	1595	121,85	56,37	14,456	0,000	1576	4,08	4,04	0,336	0,012
MNVHU	1595	45,07	29,60	2,938	0,000	1575	3,35	3,40	-0,684	0,009
FEVHU	1192	577,69	344,55	8,966	0,000	1173	5,74	5,86	-0,565	0,045
ALVHU	1595	632,72	353,00	12,638	0,000	1576	5,81	5,87	-0,467	0,047
PBVHU	1596	9,44	5,43	25,537	0,000	1567	1,49	1,71	-0,626	0,000
CUVHU	1595	1,45	0,87	5,715	0,000	1544	-0,16	-0,09	-0,509	0,003
ZNVHU	1595	5,52	3,90	17,708	0,000	1574	1,30	1,37	-0,528	0,000
CDVHU	1555	0,04	0,02	11,452	0,000	1533	-3,73	-3,65	-0,274	0,001

Tabelle 2.2: Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Bodenparameter in Tiefenstufe 1 über ganz Deutschland

ZG	N	normal skaliert				N	ln transformiert			
		Mean	Median	Skewness	KS-Test		Mean	Median	Skewness	KS-Test
CORG	1700	65234,3	58497,2	1,924	0,0000	1700	10,94	10,97	-0,212	0,0068
NV	1696	4118,2	3496,1	1,690	0,0000	1696	8,10	8,15	-0,947	0,0002
PV	1706	1144,8	991,3	2,549	0,0000	1706	6,86	6,89	-0,354	0,0099
KV	1666	160,9	116,0	2,738	0,0000	1665	4,74	4,75	-0,370	0,1302
CAV	1661	3076,9	274,1	19,222	0,0000	1660	6,09	5,61	0,898	0,0000
MGV	1669	329,6	48,7	9,145	0,0000	1668	4,29	3,88	0,913	0,0000
NAV	1647	41,6	29,5	2,250	0,0000	1609	3,29	3,42	-0,653	0,0000
ALV	1657	1088,2	935,7	1,483	0,0000	1616	6,45	6,88	-3,070	0,0000
MNV	1655	143,8	75,8	4,774	0,0000	1542	4,06	4,46	-1,533	0,0000
FEV	1657	59,1	33,0	5,871	0,0000	1468	3,18	3,78	-2,361	0,0000
HV	1235	9,3	6,4	3,335	0,0000	1107	1,89	1,97	-1,053	0,0001

2. Stratifizierungs- und Hochrechnungsansätze

Tabelle 2.3: Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Humusparameter in den Bundesländern

ZG	SH		NI		NRW		HE		RP		BW		BY		SL		BB		MV		SN		ST		TH	
	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln
CORGHU	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
CMENGE	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
NVHU	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1
PVHU	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
KVHU	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
CAVHU	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
MGVHU	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
MNVHU	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
FEVHU	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1			0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
ALVHU	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
PBVHU	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
CUVHU	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
ZNVHU	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
CDVHU			0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl die Humus- als auch die Bodenparameter in der Grundgesamtheit nicht normal, allerdings auch nicht log-normal verteilt sind. Stratifiziert man jedoch nach Bundesländern so sind die meisten Parameter log-normal verteilt, einige wenige normalverteilt. Einzige Ausnahme bildet das Bundesland Bayern, welches mit mehr als 400 Proben die mit Abstand höchste Anzahl BZE-Punkte aufweist. Innerhalb Bayerns sind die meisten untersuchten Variablen weder log-normal noch normal verteilt.

Stratifiziert man das Bundesgebiet nach Haupthumusarten, Hauptbodentypen, Substrattypen, und Gesteinsarten so sind innerhalb dieser Klassen unabhängig vom Bundesland die Mehrzahl der Parameter log-normal oder auch normal verteilt, so lange die Anzahl Proben pro Stratum einen Wert von etwa 150 nicht übersteigt. Somit kann für fast alle Parameter die Hypothese der Normal- bzw. der Log-Normalverteilung nicht abgelehnt werden, sobald die BZE-Proben innerhalb der Bundesländer in weitere Klassen untergliedert werden. Überschreitet die Anzahl Proben pro Stratum diesen Wert, werden so gut wie alle Parameter als nicht normal oder log-normal-verteilt beschrieben. Zwei Gründe bzw. die Kombination beider Gründe können Ursache für den genannten Sachverhalt sein:

1. Die Klassenwahl differenziert die Proben in der Art, dass in den Klassen wirklich normal- bzw. log-normal-verteilte Daten auftreten.
2. Die Klassifizierung nach Bundesländern + weitere Klassen reduziert die Proben pro Klasse so stark, dass sowohl die Berechnungsgrundlage für die Schiefe der Verteilung als auch die Trennschärfe des KS-Tests sehr gering ausfällt.

Die hier präsentierten Ergebnisse beruhen ausschließlich auf der Überprüfung der Normalverteilung metrischer oder log-transformierter Variablen. Weitere Transformationen, wie die Quadrat- oder Kubikwurzeltransformation sind möglich und sollten hinsichtlich einer besseren Anpassung an die Normalverteilung von Fall zu Fall berücksichtigt werden.

Tabelle 2.4: Test auf Normal- und LogNormalverteilung der Bodenparameter in den Bundesländern

ZG	SH		NI		NRW		HE		RP		BW		BY		SL		BB		MV		SN		ST		TH	
	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln	n	ln
Tiefenstufe 1																										
CORG	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
NV	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
PV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
KV	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
CAV	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
MGV	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
NAV	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
ALV	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
MNV	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
FEV	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
HV	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Tiefenstufe 2																										
CORG	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
NV	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
PV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
KV	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
CAV	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
MGV	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
NAV	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1
ALV	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
MNV	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
FEV	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
HV	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Tiefenstufe 3																										
CORG	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
NV	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
PV	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1
KV	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
CAV	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
MGV	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
NAV	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
ALV	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
MNV	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
FEV	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
HV	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

2.7 Hochrechnung nicht normalverteilter Daten

Ein klassisches Bsp. eines nicht normalverteilten Parameters ist der Ca-Gehalt des Holzbodens, hier dargestellt an Hand der thüringischen BZE I-Daten. Berechnet man ungeachtet der tatsächlichen Verteilung mit den oben aufgeführten Formeln den mittleren Ca-Gehalt in g/kg Holzboden für die ersten 30 cm Mineralboden, so ergibt sich hierfür ein Wert von 7,09 g/kg. Je nach Stratifizierung lässt sich der Stichprobenfehler von 33% (unstratifiziert, NoS) auf 20% (poststratifiziert, POST) senken, das Vertrauensintervall (VI) wird enger. Für eine Zufallsstichprobe, bei der die Werte der Stichprobenelemente normalverteilt sind, gilt: *Mittelwert* = *Median*. Wie jedoch die Abbildung 2.3 zeigt, liegt der Median des Ca-Gehaltes bei nur 0,13 g/kg.

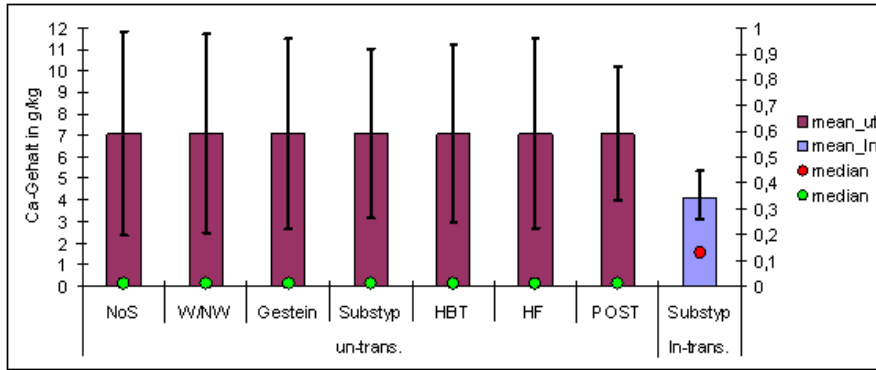


Abbildung 2.3: un-transformierter Mittelwertschätzer + VI und Median für den Ca-Gehalt in g/kg der Tiefenstufe 0 - 30 cm in Thüringen im Vergleich zum In-transformierten Mittelwertschätzer + VI und Median

Testet man nun verschiedene Transformationen auf Normalverteilung (Abbildung 2.4), so sind auch diese im Falle des Ca-Gehaltes für den gesamten Stichprobenumfang nicht normalverteilt. Wird dagegen eine Stratifizierung z.B. nach Substrattypen vorgenommen, kann die Hypothese einer Log-Normalverteilung der Stichprobenwerte innerhalb der Straten bis auf eine Ausnahme (Substrattyp 2) nicht abgelehnt werden (Tabelle 2.5). Im Falle der Ausnahme sind die Werte nach der Quadratwurzeltransformation normalverteilt. Jedoch ist es erforderlich, sich für ein und die selbe Transformation in allen Straten zu entscheiden, wenn eine gewichtete Hochrechnung der Straten schätzer zu einem Schätzer einer übergeordneten Einheit erfolgen soll.

Der Mittelwert einer transformierten Zielgröße ($'$) in einem Stratum unter Berücksichtigung aller Wald- und Nichtwaldproben wird nach SCOTT und KÖHL (1993) geschätzt durch:

$$\hat{\bar{Y}}'_l = \frac{\sum_{j=1}^{n_l} I_{lj} Y'_{lj}}{n_l} \quad (2.18)$$

mit $n_l = \sum I_{lj}$, $I_{lj} = 1$, wenn $j \in l$ sowie $I_{lj} = 0$, wenn $j \notin l$ und $Y'_{lj} = \text{trans}(Y_{lj})$. Sollen die Stichprobenwerte log-transformiert hochgerechnet werden, sind alle 0- oder NULL-Werte nach der Transformation durch 0 zu ersetzen. Die Varianz dieses transformierten Stratenmittelwertes berechnet sich nach:

$$v\langle \hat{\bar{Y}}'_l \rangle = \frac{\sum_{j=1}^{n_l} (Y'_{lj} - \hat{\bar{Y}}'_l)^2}{n_l(n_l - 1)} \quad (2.19)$$

Gleichbedeutend erfolgt die Substitution von $Y'_{lj} = \text{trans}(Y_{lj})$ in die entsprechenden Formeln des Abschnitts 2.2.

Der straten-gewichtete, log-transformierte Schätzer für den Ca-Gehalt in g/kg Holzboden beträgt -1,08 mit einem Vertrauensintervall von -1,344 bis -0,812. Werden diese Werte rücktrans-

formiert, liegt der straten-gewichtete, rücktransformierte Mittelwert bei 0,34 innerhalb eines Vertrauensintervalles von 0,261 bis 0,444 mit einem Stichprobenfehler von nun nur noch 12,5%. Der über diesen Weg geschätzte Ca-Gehalt liegt gegenüber einer Hochrechnung ohne Transformation wesentlich näher am Median.

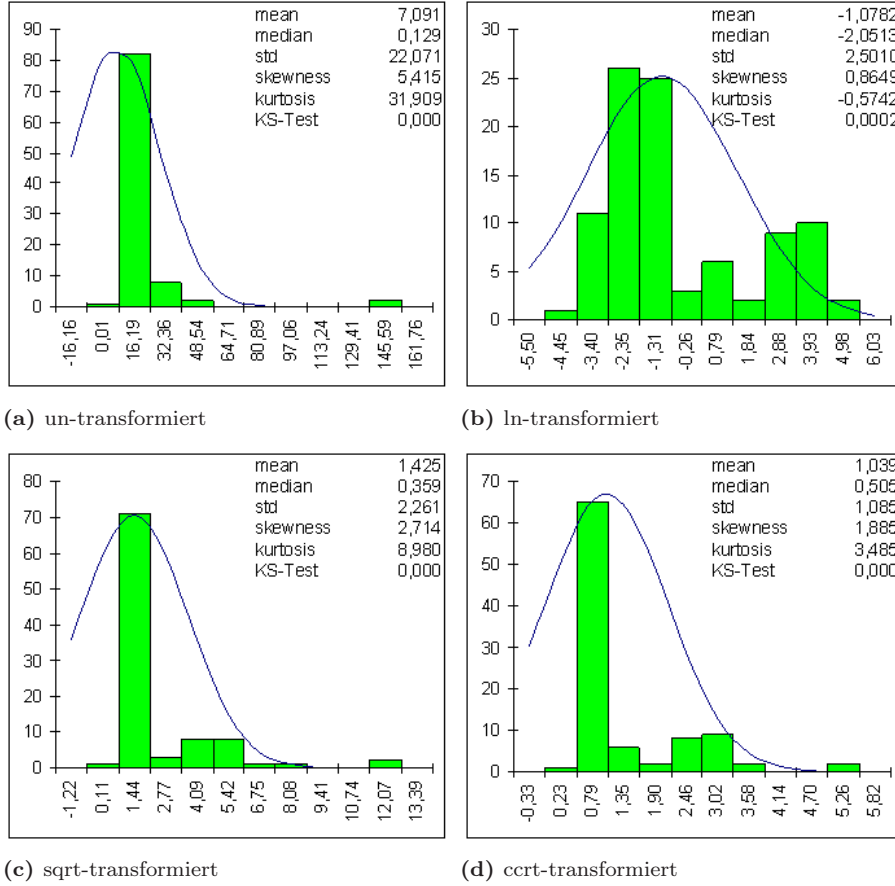


Abbildung 2.4: un-, ln-, quadratwurzel- und kubikwurzel-transformierte Verteilungen des Stichprobenumfanges für den Ca-Gehalt in g/kg der Tiefenstufe 0 - 30 cm in Thüringen

Die Rücktransformation sowohl der Zustands- als auch der Veränderungsschätzer ist für Quadratwurzel- oder Kubikwurzeltransformationen unproblematisch. Veränderungen, berechnet auf Basis log-transformierter Daten könne dagegen nicht einfach in die Originalskalierung überführt werden. Bsp. pH-Wert: Angenommen, der mittlere rücktransformierte pH-Wert zum Zeitpunkt 1 beträgt 3,8, der mittlere rücktransformierte pH-Wert zum Zeitpunkt 2 wurde mit 4,3 geschätzt. Dies entspricht H^+ -Konzentrationen von $\hat{X}' = 0,000158$ bzw. $\hat{Y}' = 0,000063$. Die Differenz beträgt $\hat{Y}' - \hat{X}' = \hat{G}' = -0,000095$. Folge: Ein negativer Wert könnte nicht Rücktransformiert werden. Zur Lösung dieses Problems muss der transformierte Wert zum Zeitpunkt 1 addiert werden und nach der Transformation wieder untransformiert subtrahiert werden.

$$\hat{G} = (\hat{G}' + \hat{X}') - \hat{X} \quad (2.20)$$

Dies gilt ebenfalls für die Berechnung der oberen und unteren Grenzen des Vertrauensintervalls solange $\pm t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1} < \hat{X}'$ ist. Übersteigt dagegen $\pm t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}$ den Wert von \hat{X}' entstehen wiederum

2. Stratifizierungs- und Hochrechnungsansätze

Tabelle 2.5: Test auf Normalverteilung un-, ln-, sqrt- und ccrt-transformierter Ca-Gehalt innerhalb der Substrattyp-Straten Thüringens

	UT	LN	SQRT	CCRT	UT	LN	SQRT	CCRT	UT	LN	SQRT	CCRT
	Substratyp 1				Substratyp 2				Substratyp 3			
n	16	16	16	16	10	10	10	10	4	4	4	4
mean	35,76	3,17	5,34	2,99	8,59	1,14	2,45	1,71	1,65	0,32	1,22	1,13
median	19,55	2,97	4,42	2,69	6,21	1,82	2,49	1,84	1,10	0,09	1,05	1,03
std	43,72	0,82	2,79	0,96	8,66	1,91	1,69	0,89	1,26	0,64	0,44	0,26
skewness	2,31	1,42	2,00	1,84	0,64	-0,59	0,06	-0,15	1,94	1,76	1,87	1,84
kurtosis	4,19	1,52	3,16	2,66	-0,95	-1,39	-1,70	-1,74	3,80	3,28	3,61	3,51
KS-Test	0,04	0,33	0,10	0,14	0,84	0,75	0,90	0,87	0,55	0,69	0,61	0,63
	Substratyp 4				Substratyp 5				Substratyp Rest			
n	24	24	24	24	29	29	29	29	12	12	12	12
mean	0,15	-2,44	0,33	0,47	0,09	-2,74	0,28	0,42	0,24	-2,31	0,39	0,50
median	0,09	-2,41	0,30	0,45	0,07	-2,72	0,26	0,40	0,08	-2,52	0,28	0,43
std	0,25	0,92	0,20	0,17	0,07	0,85	0,11	0,12	0,49	1,22	0,32	0,25
skewness	4,30	0,87	2,92	2,22	1,26	-0,16	0,61	0,36	3,24	0,99	2,67	2,27
kurtosis	19,82	1,71	11,03	7,31	0,94	-0,64	-0,38	-0,62	10,80	2,55	7,75	6,00
KS-Test	0,00	0,81	0,12	0,30	0,39	1,00	0,72	0,88	0,04	0,74	0,17	0,32

negative Werte, die nicht rücktransformiert werden könnten. Die untere Grenze des Vertrauensintervalls könnte nicht berechnet werden. Sie liegt jedoch bei oder unterhalb 0, so dass die Aussage getroffen werden kann: Die Veränderung ist nicht signifikant. Diese Problematik spielt vorallem bei der Schätzung des Laborfehlers eine Rolle, wenn für den Vertrauensbereich in dem der gemessenen Laborwert liegen kann das 95 % Intervall nach Tschebyscheff angewandt wird (siehe Abschnitt 8.3.2).

Kapitel 3

Folgeinventurkonzepte

Thomas Riedel

Im Allgemeinen können zwei Arten von Folgeinventurkonzepten definiert werden (COCHRAN (1977), DE VRIES (1986), KÖHL (1994)):

1. Wiederholungsstichprobe ohne teilweisen Ersatz, bei der periodisch eine bestimmte Anzahl Stichproben zum Zwecke der Ableitung von Veränderungen wiederholt aufgenommen werden.
2. Wiederholungsstichprobe mit teilweisem Ersatz (Sampling with Partial Replacement, SPR), bei der nur eine Unterstichprobe zu mindestens zwei Inventurzeitpunkten zur genaueren Schätzung von Veränderungen wiederholt aufgenommen werden und zusätzlich von Inventurzeitpunkt zu Inventurzeitpunkt zur genaueren Schätzung des Zustandes neue Stichprobenelemente aufgenommen werden.

Die Veränderungen werden bei der SPR-Methode in zwei Schritten geschätzt. Im ersten Schritt wird die Beziehung zwischen dem ersten Inventurzeitpunkt und dem Zweiten über Regressionsmodelle beschrieben, um anschließend im zweiten Schritt die Veränderungen auch für die Plots, die nicht wiederholt aufgesucht wurden, ableiten zu können. Zu vermuten ist jedoch, anders als bei den Baummessungen der BWI, dass es auf Grund der sehr stark ausgeprägten Heterogenität des Bodens auch in varianztechnisch „homogenen“ Straten keine zuverlässigen, verallgemeinerbaren Modelle zur Beschreibung von Veränderungen einzelner Bodenparameter gibt. Der Einsatz von SPR wäre an dieser Stelle fragwürdig.

Bei der CFI-Methode werden lediglich die wiederholt aufgenommenen Stichprobenelemente betrachtet und auf deren Basis Veränderungen bestimmt. Die BZE ist nach dieser Definition eine klassische Wiederholungsstichprobe ohne teilweisen Ersatz. Die Veränderungen können jedoch über drei verschiedene Verknüpfungsmethoden der Stichprobenelemente zwischen beiden Zeitpunkten hergeleitet werden, d.h. die Stichprobe als

1. Unverbundene Stichprobe
2. Verbundene Stichprobe
3. Wiederbeprobung der selben Individuen pro Stichprobenelement

betrachtet werden. Hieraus ergeben sich für die Hochrechnungen zu Mittel- und Totalwerten, sowie deren Varianzen entsprechende zu berücksichtigende Konsequenzen. Vorab soll jedoch ein kurzer Überblick zum Wiederholungsverfahren bei der BZE gegeben werden.

3.1 Die Wiederbeprobung bei der BZE

In der Regel wurden bei der BZE I die Bodenprofile so angelegt, dass der Mittelpunkt der Stirnwand mit dem Kreuzungspunkt des WZE-Kreuztransektes identisch ist. In den Ländern, in denen nicht nur das Profil beprobt wurde, wurden mit einem Radius von 10 m um diesen Mittelpunkt in den 8 Haupthimmelsrichtungen 8 Satellitenproben genommen. Die Proben aus den Profilwänden und/oder die Proben der Satelliten wurden zu einer Mischprobe pro Probefläche zusammengefasst. Sollten bei der BZE II die alten Bodenprofile nicht wieder auffindbar sein, oder sich die Profile der BZE I weiter als 30 m vom Schnittpunkt des Kreuztransektes entfernt sein, mussten die BZE-Probe auf diesem Schnittpunkt neu angelegt bzw. auf diesen verschoben werden.

Die Probennahme sowohl am Profil, als auch an den Satelliten sind nicht zerstörungsfrei. An den Probenahmenstellen liegen nach der Probennahme Störungen vor. Aus diesem Grund wird beim Wiederauffinden der Probefläche das Bodenprofil bis in einen Bereich in dem keine Störungen mehr zu erwarten sind (mindestens 50 cm) abgestochen. Die Satellitenproben wurden um 10 Gon im Uhrzeigersinn versetzt. Letzteres war auch bei der Neuanlage von Probeflächen zu berücksichtigen.

Alle Länder, außer Bayern haben sich für eine wiederholte BZE-Aufnahme auf diesem Stichprobennetz der BZE I entschieden. Bayern hat sein BZE-Stichprobennetz auf das Netz der BWI verschoben.

Die BZE ist somit zu beiden Inventurzeitpunkten eine Punktstichprobe, wobei dem Punkt zum jeweiligen Zeitpunkt die Analysewerte der Probefläche um diesen Punkt herum als „lokale Dichte“ zugewiesen werden.

3.2 Wiederholungsstichprobe ohne teilweisen Ersatz

Die hierfür benötigten Zustandsschätzer und deren Varianzen für ein bestimmtes Stichprobengebiet wurden in den Abschnitten zu den Stichprobenverfahren in Kapitel 2.2 beschrieben. Zur besseren Differenzierbarkeit werden die Zustandsschätzer von unterschiedlichen Zeitpunkten in der Nomenklatur wie folgt unterschieden:

$\hat{X}, v\langle\hat{X}\rangle$	geschätzte mittlere räumliche Dichte der Zielgröße und deren Varianz zum Zeitpunkt 1
$\hat{Y}, v\langle\hat{Y}\rangle$	geschätzte mittlere räumliche Dichte der Zielgröße und deren Varianz zum Zeitpunkt 2

3.2.1 Unverbundene Stichproben

Sind die Zustandsschätzer für zwei Zeitpunkte auf Basis zweier unabhängiger Stichproben, wie im Falle Bayerns ermittelt worden, ergibt sich die Veränderung G aus der Differenz der Mittelwerte beider Zeitpunkte:

$$\hat{G} = \hat{Y} - \hat{X} \quad (3.1)$$

und deren Varianz aus:

$$v\langle\hat{G}\rangle = v\langle\hat{X}\rangle + v\langle\hat{Y}\rangle \quad (3.2)$$

3.2.2 Verbundene Stichproben

Sind dagegen die Zustandsschätzer für zwei Zeitpunkte auf Basis ein und derselben Stichprobe (Continuous Forest Inventory, CFI) ermittelt worden, ergibt sich die Veränderung G ebenfalls aus der Differenz der Mittelwerte beider Zeitpunkte nach Formel 3.1. Die aufgenommenen Werte zu beiden Inventurzeitpunkten sind jedoch – im Unterschied zur unverbundenen Stichprobe – nicht unabhängig; die Werte korrelieren, wobei der Korrelationskoeffizient r_{YX} mit zunehmenden Zeitabstand zwischen zwei Inventuren abnimmt und gegen 0 sinkt. Somit fällt die Varianzschätzung für Veränderungen bei abhängigen, wiederholt aufgenommenen Proben immer dann gegenüber unverbundenen Stichproben geringer aus, wenn der Korrelationskoeffizient r_{YX} größer 0 ist. Der Vorteil bei der Anwendung der CFI - Methode liegt also eindeutig in der Reduktion der Varianz für die Schätzung einer Veränderung nach Formel 3.3. Die Varianz der Zustandsschätzungen wird nicht beeinflusst (KÖHL, 1994).

$$v\langle\hat{G}\rangle = v\langle\hat{X}\rangle + v\langle\hat{Y}\rangle - 2r_{YX}\sqrt{v\langle\hat{X}\rangle}\sqrt{v\langle\hat{Y}\rangle} \quad (3.3)$$

Permanente Probeflächen können bei der Erstinventur repräsentativ ausgewählt werden. Sie bürgen aber die Gefahr, vorallem bei deutlich markierten Proben, dass eine veränderte Bewirtschaftung im Gegensatz zur Umgebung nicht auszuschließen ist, sei es bewusst oder unbewusst. Die Proben werden, vor allem in Wirtschaftswäldern zunehmend unrepräsentativer. Somit kann man von den Stichprobenflächen später nicht mehr auf die ganze Waldfläche schließen. Inventurergebnisse, von denen man nicht weiß, ob sie den Zustand und die Entwicklung des Waldes unverfälscht wiedergeben und wie groß allenfalls die systematischen Fehler sind, können die Strategien, welche auf Basis dieser Ergebnisse entwickelt werden, wertlos machen oder im schlimmsten Fall zu ungewünschten, gegenläufigen Reaktionen führen.

3.2.3 Wiederbeprobung der selben Individuen pro Stichprobenelement

Mit dieser Methode könnten Veränderungen an jedem einzelnen Individuum mit Ausnahme von Mess- und Funktionsfehlern fehlerfrei hergeleitet werden, infolge dessen der Stichprobenfehler gegenüber einer Hochrechnung auf Basis verbundener Stichproben nochmals drastisch gesenkt werden könnte (RIEDEL, 2007). Anders als bei der BWI, bei der die selben Bäume pro Stichprobeneinheit wieder vermessen werden, schließt sich die Wiederbeprobung der selben Individuen pro Stichprobenelement bei der BZE auf Grund der „Zerstörung“ der Individuen (Satelliten und Profil) bei der Probennahme aus.

3.2.4 Empfehlung

Im Falle Bayerns ist die Wahl der Hochrechnungsalgorithmen für die Schätzung von Veränderungen bei den untersuchten Bodenparametern eindeutig. Es handelt sich hierbei um zwei unverbundene Stichproben, so dass die Hochrechnung an Hand der Formeln 3.1 und 3.2 erfolgen muss.

Für alle weiteren Bundesländer ist die Hochrechnung mittels der Formeln 3.1 und 3.3 zu empfehlen, da es sich hier um eine verbundene Stichprobe handelt. Verbunden deshalb, weil ein und die selbe Stichprobe auf einem identischen Netz wiederholt aufgenommen wird. In wie weit der Kovarianzterm der Formel 3.3 zu einer Reduktion des Stichprobenfehlers gegenüber einer unverbundenen Stichprobe führt, kann an dieser Stelle nicht eindeutig geklärt werden. Dies ist abhängig

1. von der Anzahl tatsächlich wieder aufgefundenen Proben im Wald, d.h. wie gut liegen die Probeflächen des ersten und zweiten Zeitpunktes der BZE übereinander und

3. Folgeinventurkonzepte

2. wie hoch ist die Autokorrelation der Bodenparameter zwischen dem Punkt der ersten Probennahme und dem Punkt der zweiten Probennahme (Satellit und Profil)

Abbildung 3.1 zeigt beispielhaft das deutliche Potential zur Reduzierung des Stichprobenfehlers der simulierten Veränderung des pH-Wertes bei einer verbundenen Stichprobe.

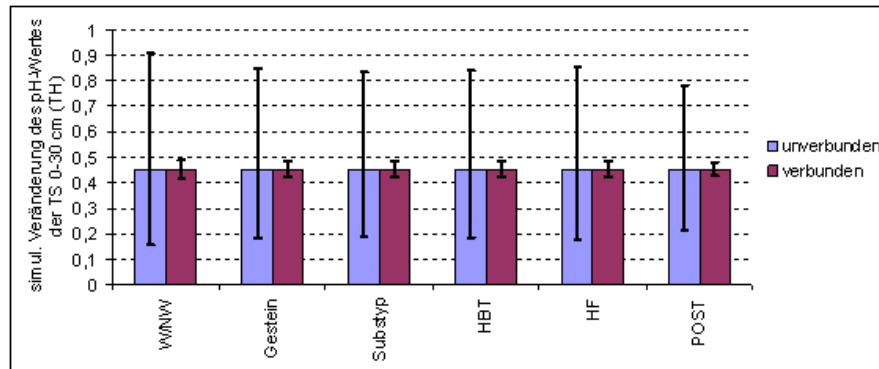


Abbildung 3.1: Auf Basis der Studie „Signalstärke“ simulierte mittlere Veränderung des pH-Wertes und deren Vertrauensintervall unter verschiedenen Stratifizierungen der Tiefenstufe 0 - 30 cm in Thüringen

Kapitel 4

Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

Falko Hornschuch, Winfried Riek

4.1 Hintergrund und Untersuchungsziel

Im Teilprojekt 2 (TP 2) des Forschungsverbundes zur „Entwicklung eines statistischen Designs zur Zweiten Bodenzustandserhebung (BZE II)“ sollte die kleinräumige, vom Bestand selbst geschaffene Variabilität BZE-relevanter Parameter in Waldbeständen des Tieflandes abgeschätzt werden. Gemeinsam mit den Ergebnissen aus dem Gebirgsraum (TP 3, Kapitel 5) sollten diese Analysen Teil einer weitergehenden Auswertung zur Modellierung des raumabhängigen Stichprobenfehlers bei BZE-Probenahmedesigns sein (TP 4, Kapitel 7). Wichtige Ursachen der Bildung räumlicher Bodenmuster waren aufzuklären.

Es konnte auf Untersuchungsflächen und bereits vorhandene Bodenproben zurückgegriffen werden, die im Zusammenhang mit dem DFG-Projekt „Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe“ (FKZ: RI 1219/1-1, Laufzeit 1.5.2004-30.4.2006, HORNSCHUCH und RIEK (2005, 2006a)) eingerichtet bzw. gewonnen wurden. Für diese Bodenproben aus Flächenpaaren von Natur- und Wirtschaftswäldern der Hauptbaumarten Rot-Buchen (*Fagus sylvatica*), Trauben-Eichen (*Quercus petraea*) und Wald-Kiefern (*Pinus sylvestris*) auf (mittelbis) tiefgründigen, grundwasserfernen Sandböden lagen zu Projektbeginn Analysedaten zur Horizontierung, dem pH-Wert und dem Glühverlust vor.

Im Rahmen des TP 2 sollten weitere, BZE-relevante Kennwerte (Kationenaustauschkapazität, Elementgehalte, Basensättigung, C, N, TRD) analytisch bestimmt und hinsichtlich ihrer kleinräumigen Variabilität ausgewertet werden. Diese Untersuchungen erfolgten an den Proben der bewirtschafteten Bestände, die für die BZE repräsentativ sind. Mittels dekritiver Statistik wurden Streuungsmaße der Bodenparameter der jeweiligen Fläche dargestellt. Geostatistische Verfahren (Variografie) dienten der Analyse räumlicher Muster und konnten das Maß und die Güte der räumlichen Autokorrelation aufzeigen (range, sill, nugget-Varianz).

Unter Einbeziehung von Vegetations-, Bestandes- und Niederschlagsdaten sollte diskutiert werden, welche Einflussfaktoren und Prozesse zu einer spezifischen Ausprägung der Bodenheterogenität führen. Die Analyse der Variationsursachen zielte darauf ab, für BZE-Punkte mit bekannten Standorts- und Bestandesbedingungen grobe Aussagen zur erwarteten Bodenvariabilität zu treffen. Dazu waren verschiedene Parameter, die bereits im DFG-Projekt erhoben wurden (Bestandesstruktur, Deckung und Zusammensetzung der Bodenvegetation, Humusmächtigkeit und

Horizonttiefe, Durchwurzelung) oder noch aufzunehmen waren (Bestandesniederschlag, aktuelle Oberbodenfeuchte, Oberbodendichte) punktgenau mit den lokalen Bodenkennwerten (pH-Wert, Gehalte, Sättigungsgrade usw.) in Beziehung zu setzen und deren Einfluss zu analysieren (Mikroskala). Darüber hinaus sollten die Bodenmuster bestandesbezogen in ihrem Zusammenhang mit der (Haupt-) Baumart und der Waldgeschichte (Naturnähe bzw. Hemerobie) interpretiert werden (Makroskala).

4.2 Stand der Wissenschaft

Erst seit den 1980er Jahren wurde die Bedeutung der raum-zeitlichen Heterogenität ökologischer Parameter durch viele Forscher erkannt (KOLASA und ALLEN, 1991; LI und REYNOLDS, 1994, 1995; GUO, 2001). Dabei wurde die Heterogenität als ein komplexes Muster der Natur begriffen, was mehr als nur die Variation gewisser Merkmalsgrößen bedeutet (LI und REYNOLDS, 1995; WIENS, 2000). Die erste Übersichtsarbeit zum Thema „Bodenheterogenität“ (syn.: Bodendiversität) stammt von (BECKET und WEBSTER, 1971). Der Stand der Forschung gegen Ende des 20. Jahrhunderts wurde von (BURROUGH, 1993) zusammengefasst. In seiner Dissertation legt GUO (2001) im Zusammenhang der Untersuchung eines gestörten Forstökosystems eine theoretische und empirische Grundlage zur Quantifizierung räumlicher und zeitlicher Heterogenität, indem er das Heterogenitätskonzept systematisch darstellt. Der Begriff der räumlichen „Bodenheterogenität“ unterscheidet sich vom Begriff der „Bodenvariabilität“ insofern, als sich letztere auf einzelne Merkmale bezieht (Variabilität des pH-Werts, der Auflagemächtigkeit, usw.). „Heterogenität“ wird hingegen im Sinne der Konstellation mehrerer Merkmale verstanden, woraus unterschiedliche räumliche Strukturen sowie kleinräumig differenziert ausgeprägte Wirkungen, Prozesse und Interaktionen des Stoffhaushalt resultieren.

Während bei landschaftsökologischen Studien die Variabilität meist auf der Skalenebene von Kilometern untersucht wurde (ALLEN und STARR, 1982; URBAN ET AL., 1987; O'NEILL ET AL., 1991; TURNER ET AL., 1993, 1997; ROBERTSON und GROSS, 1994; FORMAN, 1994, 1995; PICKETT und DADENASSO, 1995; DREYHAUPT, 2002), wurde die Diversität von Bodenkenngrößen im Skalenbereich von Metern oder Zentimetern analysiert (FRANKENLAND ET AL., 1963; MARTH, 1995; GÖTTLEIN ET AL., 1996). Die Muster von Bodeneigenschaften in topischer Dimension korrelieren oft mit Pflanzenindividuen oder Bestandesstrukturen (s.u.).

Auch die zeitliche Dimension schwankt stark und kann auf der Skala von Sekunden bis tausenden Jahren betrachtet werden (URBAN ET AL., 1987). Eine starke räumliche Variabilität kann eine geringfügigere zeitliche Dynamik überlagern (LAVERMAN ET AL., 2000; KIRWAN ET AL., 2005). Unter Wald ist die zeitliche Variation der Nährstoffverfügbarkeit geringer als unter Grasland oder einer Gebüschformation (JAMES ET AL., 2003).

Verschiedene Bodenkennwerte können bei gleichem Maßstab unterschiedlich großen Variabilitäten unterliegen (BECKET und WEBSTER, 1971; OLIVER und WEBSTER, 1987; DAHIYA ET AL., 1984; SCHMIDT, 1985; SEEBOLDT, 1985; GRIGAL ET AL., 1991; WILSON und MEYERS, 2001). Eine Reihe von Parametern ist mit anderen eng verbunden und bilden damit ähnliche Muster ab (GONZALEZ und ZAK, 1994; LAVERMAN ET AL., 2000, 2002; GILLIAM ET AL., 2005), unterschiedliche Elemente können aber auch ganz verschiedene Verteilungsmuster aufweisen (FRATTERIGO ET AL., 2005) und Störungen, wie Kahlschlag, Unterbau oder Waldbrand, die i.d.R. Variabilitäts-erhöhend wirken, können die räumliche Merkmalsausprägung beeinflussen (s.u.).

Mit dem Problem der maßstabsabhängigen Generalisierung von Bodeneinheiten auf Bodenkarten angesichts vorhandener Variabilitäten beschäftigen sich AGBU und OLSON (1990). Modellierungen erlauben die Verbindung von Karteninformationen mit Felddaten (GOOVEARTS und JOURNEL, 1995) und die Berücksichtigung der Heterogenität des Standortes bei der Regionalisierung von Zustandsgrößen (DREYHAUPT, 2002; CARDILLE ET AL., 2005; VUURENS ET AL., 2005).

Zur Einschätzung der räumlichen Bodenvariabilität können statistische Streuungsmaszahlen wie Varianz, Standardabweichung und Variationskoeffizienten herangezogen werden (MADER, 1963; BALL und WILLIAMS, 1968; BECKET und WEBSTER, 1971; REHFUESS und KANTARCI, 1977; BLYTH und MACLEOD, 1978; MOLLITOR ET AL., 1980; QUESNEL und LAVKULICH, 1980; SCHMIDT, 1985; SEEBOLDT, 1985; BRECHTEL, 1990; GRIGAL ET AL., 1991; FOURNIER ET AL., 1994; LAIHO ET AL., 2004; ANTOS ET AL., 2003).

Hohe Bedeutung zur Beschreibung sowohl der Biodiversität als auch struktureller Merkmale hat der aus der Informationstheorie stammende „SHANNON-Index“ (syn. „SHANNON-WEAVER-“, „SHANNON-WIENER-Index“, „BOLTZMANN'sche Entropiefunktion“) erlangt. Viele andere vorgeschlagene Indices lassen sich auf diesen zurückführen und tragen nach Meinung von HAEUPLER (1982) kaum zu neuem Erkenntnisgewinn bei. GOLASZEWSKI (2002) hat verschiedene Indikatoren zur Beschreibung der Bodenheterogenität getestet und hebt die Brauchbarkeit des leicht zu handhabenden „SMITH'S Index“ hervor. KOSZINSKI ET AL. (2006) schlagen zur Beschreibung der räumlichen Muster von Sickerflüssen einen „heterogeneity index“ (HI) vor, der auf STAGNITTI zurückgeht und mit dem speziell das potenzielle Risiko der Grundwasserkontamination ermittelt werden kann, der also in erster Linie auf die hydrologischen Bodeneigenschaften abzielt.

Große Bedeutung haben geostatistische Auswertungsverfahren zur Beschreibung von Bodenvariabilität erlangt (CAMBELL, 1978; BURGESS und WEBSTER, 1980; YOST ET AL., 1982; DAHIYA ET AL., 1985; TRANGMAR ET AL., 1985; WEBSTER, 1985; PERRIER und WILDING, 1986; HELFERSRIEDER ET AL., 1987; BÖTTCHER und STREBEL, 1988a,b,c; ROBERTSON ET AL., 1988, 1993; GONZALEZ und ZAK, 1994; TORGENSEN ET AL., 1995; SALDANA ET AL., 1998; LISTER ET AL., 2000; STOYAN ET AL., 2000; WEBER, 2000; GUO, 2001; FRATTERIGO ET AL., 2005; BENS ET AL., 2006). Diese Verfahren finden praktische Anwendung beispielsweise bei der Optimierung von Beprobungskonzepten (MCBRATNEY und WEBSTER, 1983; DAHIYA ET AL., 1985; WEITZ ET AL., 1993; RIEK und POFAHL, 1998; BAERT ET AL., 1998; CONANT ET AL., 2003) oder der Konstruktion von Bodenkarten (HENNIGS, 1991). Durch forstliche Eingriffe bewirkte, also zeitliche Veränderungen räumlicher Muster von Bodenkennwerten, untersuchen PERIE ET AL. (2006) mittels Spektralanalyse. Auch BÖTTCHER und STREBEL (1988a,b,c) verwenden diese Methode, um die räumliche Verteilung von Elementkonzentrationen im Grundwasser zu analysieren.

Die Methoden der Geostatistik wurden ursprünglich für die angewandte Geologie bzw. Lagerstättenkunde entwickelt (AKIN und SIEMES, 1988). Anwendungen fanden sich bald auch in anderen Wissenschaften, wie der Meteorologie, der Ökologie und dem Forstwesen (ROSSI ET AL., 1992; GOOVAERTS, 1997; WEBSTER und OLIVER, 2001). Über Stand und Perspektiven geostatistischer Auswertungsmethoden in der Bodenkunde referieren ausführlich BURROUGH (1993); ROBERTSON und GROSS (1994); GOOVAERTS (1999); ELKATEB ET AL. (2003).

4.3 Methodik

4.3.1 Literaturrecherche und Katalogisierung

Durch eigene Literaturrecherchen wurden ca. 300 Titel zum Thema „Bodenheterogenität“ und deren Ursachen (Nähe, Vegetationsstruktur etc.) erfasst, mit Schlagworten versehen und mit Hilfe des Softwareprogramms CITAVI katalogisiert.

4.3.2 Untersuchungsflächenauswahl

Im Zusammenhang des o. g. DFG-Projektes „Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Nähe“ wurden auf historisch alten Waldstandorten Brandenburgs und Westpolens (Neumark) Rot-Buchen- (*Fagus sylvatica*), Trauben-Eichen- (*Quercus pe-*

traea) und Wald-Kiefern-Reinbestände (*Pinus sylvestris*) auf grundwasserfernen Sand-Braunerden und Sand-Podsolen unterschiedlichen Nutzungsgrades (Natur- und Wirtschaftswälder) ausgewählt (HORNSCHUCH und RIEK, 2005, 2006a).

Die jeweiligen Vegetationstypen sind weitgehend standortgerecht und naturnah. Die Laubbaumbestände werden in ihrer Zusammensetzung im Wesentlichen durch das Großklima geprägt (zonale Vegetation). Während sich die Buchen-Flächen im ozeanisch beeinflussten (süd-)östlichen Arealrand des baltischen Tieflands-Buchenwaldes Nordbrandenburgs und der Neumark befinden, wurden die Eichen-Flächen im subkontinental geprägten, niederschlagsarmen Teil Mittel-/Südostbrandenburgs ausgewählt. Die Kiefern-Reinbestände verdanken ihre Existenz einer begrenzten Nährstoff- und Wasserversorgung auf periglaziären Flugsanddünen. Das gilt für den Kiefern-Wirtschaftswald jedoch nur in Verbindung mit (historisch) starker Forstnutzung, da aufgrund höherer Wasserhaltefähigkeit durch einen bedeutsamen Feinstsandanteil des Dünensubstrats ohne anthropogenen Einfluss die Buche konkurrieren kann und ein Blaubeer-Kiefern-Buchenwald als potenziell-natürliche Vegetation wahrscheinlich ist.

Da anthropogen nicht oder kaum beeinflusste Urwälder in Mitteleuropa weitgehend fehlen, wurden Naturwälder, d.h. Waldflächen, die (von einem definierten Zeitpunkt an) ohne jeden weiteren Eingriff ihrer natürlichen, ungelenkten Eigenentwicklung überlassen bleiben, ausgewählt. Als Grundlage dienten historische Karten und Beschreibungen von Naturwäldern. Geeignete bewirtschaftete Referenzbestände (Wirtschaftswälder) wurden unter Vorgabe der Naturwald-Standortsbedingungen aus dem „Datenspeicher Wald“ ausgefiltert. In Tabelle 1 werden die Flächen charakterisiert.

Im Rahmen des TP 2 wurden darüber hinaus keine neuen Untersuchungsflächen eingerichtet und beprobt.

4.3.3 Holzmesskundliche und bestandesstrukturelle Aufnahme

Es wurden alle Stammkoordinaten und Stammdurchmesser in 1,30 m Höhe (Brusthöhendurchmesser, BHD) aller Bäume innerhalb eines Abstandes von 10 m zum Kreuztransekt (s.u.), sowie die Koordinaten aller Bohrpunkte ermittelt (Theodolith DT 6, Nokia, Japan, mechanische Kluppe oder elektronische Kluppe Mantax). Für die Flächen Kiefern-Natur-, Kiefern-Wirtschafts- und Buchen-Wirtschaftswald wurden die Baumhöhen gemessen. Außerdem wurden nach Möglichkeit Lage und Durchmesser von Baumstubben und stehenden sowie liegenden Totholzes bestimmt. Aufgrund des raschen Überwachsens mit Beersträuchern (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idea*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) und Astmoosen (v.a. *Scleropodium purum*, *Pleurozium schreberi*) war letzteres in den Kiefernbeständen nicht vollständig möglich. Weiterhin wurden an 49 „Intensiv-Untersuchungs-Punkten“ im 3,20m-Abstand (s. Abschn. 4.3.5.3, Seite 33) im Rahmen des DFG-Projektes Durchmischungsgrad mit toten Bäumen und die Dispersion der Stämme (Winkelmaß) ermittelt (HORNSCHUCH und RIEK, 2006a). In den Eichen- und Kiefernbeständen erfolgte die Aufnahme hemisphärischer Kronenbilder (Fisheye-Aufnahmen, s. WAGNER (1995)), die mittels der Software „Gap Light Analyzer (GLA) 2.0“ ausgewertet wurden. Damit wurden Überlichtungsgrad, Blattflächenindex (LAI) und lokale Strahlungsparameter berechnet (FRAZER ET AL., 1999). Aus den Strukturdaten sollten Indizes abgeleitet werden, die den lokalen Bestandaufbau beschreiben. Zusammenhänge zwischen dem Einfluss dieser Bestandesstrukturen auf die Ausprägung von Bodenfaktoren waren zu ermitteln (Kap. 4.4.8.1, Seite 81).

4.3.4 Bestimmung des Bestandes- und Freilandniederschlags

In der stark strukturierten Kiefern-Naturwaldfläche in der Schorfheide, 20 km nordwestlich von Eberswalde wurden zwischen Anfang Mai 2006 und November 2006 entlang des Kreuztransektes am Ort der „Intensiv-Untersuchungs-Punkte“ im Abstand von 3,20 m (s. Abschn. 4.3.5.3) 49

Tabelle 4.1: Charakterisierung der Untersuchungsflächen

Kurz- bez.	Ökosystemtyp ^a , (Hemerobietyp)	Baumart (Alter in 2000)	Region, ggf. Schutzgebiet, Naturraum	Forstrevier, -abteilung	Geologie	Bodentyp, Feinboden- form ^b	Humus- form	Stand- orts- gruppe ^b
BN	Perlgras-Bu-Wald, (Bu-Naturwald)	Bu (differenziert)	Neumark (Polen), Drawa-Nationalpark, NSG Heilige Hallen von Regenthin = Reservat Radecin, Drawa-Niederung	Obwod Ochrony Debina 247b	Pomm. Stadium Weichsel-Eiszeit, flach abgelagerte Schmelzwassersande, z.T. durchragt von Geschiebelehm, grundwasserbeeinflusst	Braunerde, Pa- rabraunerde, nicht klassifiziert	Of-Mull	K 2 – R 2
BW	Flattergras-Bu- Wald, (Bu-Wirtsch.-Wald)	Bu (121)	Brandenburg, BR Schorfh.-Chorin, Theerofener Becken	Theerofen 154a1	Pomm. Stadium Weichsel-Eiszeit, mächtige Schmelzwassersande der Angermünder Staffel, in Vergangenheit grundwasserbeeinflusst	Podsolige Sand- Braunerde, Kb S	mullart. Moder	K'''2
EN	Waldreitgr.-Ei-Wald (Ei-Naturwald)	TrEi (differenziert)	Brandenburg, Amt Schlaubetal, Lieberoser Heide (Hochfläche) und Schlaubegebiet	Fünfeichen 59a3	Brandenburger Stadium Weichsel- Eiszeit, wellige Grundmoräne, geschiebereicher, geringmächtiger Decksand auf Geschiebelehm	Podsolige Sand- Braunerde, Ne S	rohhumusart. M'''2 Moder	
EW	Waldreitgr.-Ei-Wald (Ei-Wirtsch.-Wald)	TrEi (116)	Brandenburg, Amt Schlaubetal, Lieberoser Heide (Hochfläche) und Schlaubegebiet	Dammendorf 84a1	Brandenburger Stadium Weichsel- Eiszeit, wellige Grundmoräne, geschiebereicher Decksand auf Geschiebelehm	Podsolige Sand- Braunerde, Lw S	rohhumusart. M'''2 Moder	
KN	Beerkr.-Ki-Wald ... Blaub.-Ki-Forst, (Ki-Naturwald)	Ki (differenziert)	Brandenburg, BR Schorfh.-Chorin, NSG Kienhorst – Köllnseen – Eichheide, Kienschorfheide, Schorfheide-Sander	Kienhorst 95a2	Pomm. Stadium Weichsel-Eiszeit, spätglaziale Flugsand-Düne im Bereich des Sanders der Haupteisrandlage	Sand- Rostpodsol, Sk S	Rohhumus	Z''2
KW	Blaub.-Ki-Forst ... Beerkr.- Ki-Wald, (Ki-Wirtsch.-Wald)	Ki (78)	Brandenburg, Naturpark Barnim, Barnimer Heide, Melchower Dünen	Melchow 65a	Pomm. Stadium Weichsel-Eiszeit, (spätglazial-) holozäne Flugsand- Düne auf Schmelzwassersanden im Randbereich des Eberswalder Urstromtals	Sandraker ^c , Sand- Rostpodsol, Sw S « Sk S 7 : 3	Rohhumus	Z''2

^a Ökosystemtyp nach HOFMANN (1997, 2002)^b nach SEA 95 (1996-1997)^c stark podsoligem Regosol nach KA 5 (AD-HOC-AG BODEN, 2005)

Regensammler aufgebaut, um im 14-tägigen Rhythmus die Höhe und Differenzierung des Bestandesniederschlags festzustellen. Laufende Werte des Freilandniederschlags im Untersuchungsgebiet (Schorfheide) wurden von der Landesforstanstalt Eberswalde ermittelt und zur Verfügung gestellt. Die Datenerhebung sollte zur Klärung bodenchemischer und bodenphysikalischer Heterogenität dienen. Parallel wurden an diesen Punkten ereignisbezogen gravimetrische Wassergehalte des Oberbodens bestimmt (Kap. 4.4.7.4, Seite 75, 4.3.5.3, Seite 33).

4.3.5 Bodenkundliche Untersuchungen

Eine Reihe von Geländearbeiten und die Bodenprobenahme erfolgten bereits durch das o.g. DFG-Projekt in den Jahren 2004 und 2005. Im Rahmen des DFG-Projektes wurden an 9282 Proben pH-Werte und Glühverluste bestimmt. An dem gewonnenen Probematerial wurden durch das TP 2 weitere BZE-relevante Bodenkennwerte ermittelt: AKe, Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn, BS, C, N sowie an zusätzlich volumengerecht entnommenen Proben TRD.

4.3.5.1 Bodengrube

Für die Grundcharakterisierung der Böden wurde in Anlehnung an die BZE-Anleitung auf jeder Untersuchungsfläche eine mindestens 1 m tiefe Bodengrube mit Profilwand angelegt. An den Profilwänden erfolgte die Bestimmung der morphologischen Humusform, die Aufnahme des Bodenprofils bzw. der Horizontierung und die Bestimmung des Bodentyps. Die bodenphysikalischen Untersuchungen beschränkten sich auf die Ermittlung der Lagerungsdichte in den jeweiligen Bodenhorizonten der Profilgrube durch volumengerechte Probenentnahme. Die Trockenmasse der organischen Auflage wurde mittels Stechrahmen 15 x 20 cm ggf. mit mehreren Parallelen flächenbezogen bestimmt. An der Profilwand wurden horizontweise Proben entnommen und chemisch analysiert.

4.3.5.2 Transektuntersuchung I an 221 Punkten

Um den Einfluss der Bestandesstruktur und -geschichte auf bodenchemische Parameter verschiedener Tiefenstufen analysieren zu können, ohne dass ein geogen bedingter Substrat oder Bodenartwechsel vorliegt, wurde für das Untersuchungstransekt ein homogener Standortsbereich des Bestandes ausgewählt, bei dem keine Rückegassen oder alten Forstwege erkennbar waren.

Die Probenahme zur Untersuchung der bodenchemischen Variabilität der Parameter pH-Wert, Humusgehalt und austauschbare Elementgehalte geschah entlang eines Kreuztransekts (Abbildung 4.1, Seite 33). Das Kreuztransekt wurde zunächst nach Himmelsrichtung ausgerichtet und soweit um den Mittelpunkt gedreht, bis keine oder nur wenige Baumindividuen den Linienvverlauf unterbrochen hatten, die die Probenahme verunmöglicht oder erschwert hätten. In wiederkehrenden Intervallabschnitten mit jeweils 40, 80 und 160 cm-Punkt-Abständen wurden 221 Bodensäulen je Fläche mittels Wurzelbohrer (l=40 cm, d=8cm, Fa. UGT Müncheberg) entnommen. Nach der Horizontansprache und Bestimmung der Mächtigkeit von Humus- und Mineralbodenhorizonten wurde der Mineralboden in sieben Tiefenstufen (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-40 cm) zerlegt. Um auszuschließen, dass Ofh-Material in die oberste Tiefenstufe gelangen konnte, wurde die Grenzfläche zwischen O- und A-Horizont (0 cm Tiefe) dabei systematisch 1 cm tiefer als die am geöffneten Wurzelbohrer zunächst sichtbare Grenze zwischen organischer Auflage und Mineralboden definiert. Auf diese Weise wurden aus den sechs Untersuchungsflächen 9282 einzelne Bodenproben gewonnen, die zur weiteren Verarbeitung luftgetrocknet wurden. An allen Bodenproben wurden pH-Werte sowie Glühverluste ermittelt. Die AKe bzw. austauschbaren Elementgehalte wurden für die Tiefen 0-5 cm, 10-15 cm und 30-40 cm in den Wirtschaftswaldflächen analysiert (1889 Proben). An allen 221 Probepunkten der sechs Untersuchungsflächen wurde der C- und N-Gehalt in der Tiefenstufe 0-5 cm ermittelt (insgesamt 1326 Einzelproben).

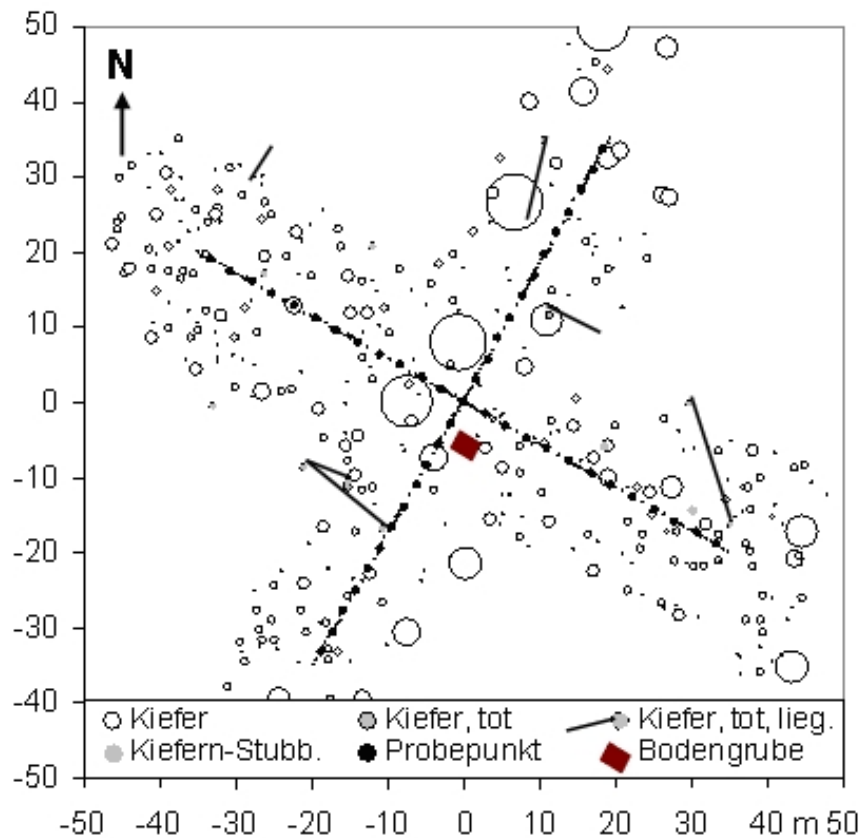


Abbildung 4.1: Systematische Probenahme entlang des Kreuztransekts mit Probepunkt-Abstandsintervallen von 40, 80, 160 cm, $n = 221$ am Beispiel der Fläche Kiefern-Naturwald (KN). Die 49 Probepunkte mit intensiveren Untersuchungslevel im Abstand von 3,20 m sind etwas stärker gezeichnet.

Aus dem trockenen Siebrückstand aller 221 Punkte je Fläche wurden die Baum- ($d < 2$ mm, $d > 2$ mm) und Bodenvegetationswurzeln isoliert und deren Trockenmasse bestimmt (SEIDENGLANZ und BANDICK, 2006; FISZKAL, 2007).

4.3.5.3 Transektuntersuchung II an 49 Intensiv-Untersuchungs-Punkten

An 49 Punkten entlang der Transektlinien, die einen einheitlichen Abstand von 3,20 m aufwiesen, erfolgten weitergehende Untersuchungen. Im Kiefern-Natur- und Kiefern-Wirtschaftswald wurde an diesen Punkten nach einer Trocken- und nach einer Regenperiode Oberbodenmaterial (0-10 cm) zur gravimetrischen Bestimmung der aktuellen Feuchte entnommen.

Die Lagerungsdichte des mineralischen Oberbodens (0-5 cm Tiefe) wurde durch eine Diplomarbeit (KOCH, 2007) ermittelt. Hierzu wurde jeweils in unmittelbarer Nähe der 49 Punkte der Oberboden (0-5 cm Tiefe) mittels Stechzylinder (100 cm^3) volumengerecht beprobt. An diesem Probematerial wurde zusätzlich der Humusgehalt mittels Glühverlust bestimmt, um die Beziehung zwischen Humusgehalt und Trockenrohddichte festzustellen. An den 49 Intensiv-Untersuchungs-Punkten der Naturwälder BN, EN und KN wurden die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte auch in den Tiefenstufen 10-15 cm und 20-25 cm ermittelt. Ziel dieser Untersuchung ist, das Verhältnis

von Humus- und Kohlenstoffgehalt in Sandböden in Abhängigkeit der Baumart und Bodentiefe zu ermitteln (BÖHLICK, 2008). Außer den Bodenuntersuchungen, den Niederschlagsmessungen und der Kronenfotografie erfolgte an diesen Punkten im Rahmen des DFG-Projektes oder durch Diplomarbeiten die Analyse der Bodenvegetation (HORNSCHUCH und RIEK, 2006a) und des Regenwurmbesatzes (HAMMER und ZEH, 2007).

4.3.6 Deskriptive Statistik und Geostatistik

Mittels des Softwareprogramms SPSS 13.0 wurden einfache statistische Kenngrößen ermittelt (deskriptive Statistik) und Box-and-Whisker-Plots erstellt.

Die geostatistische Auswertung erfolgte durch die omnidirektionale Berechnung von Semivariogrammen mit dem Programm VARIOWIN 2.2 (PANNATIER, 1996). Das (Semi-) Variogramm macht eine Aussage über die statistische Verteilung der Differenzen in den Probenwerten in Abhängigkeit vom Abstandsvektor. Das Variogramm wird als Varianz des Inkrements von zwei Zufallsvariablen einer Zufallsfunktion definiert:

$$2\gamma(x_1, x_2) = \text{Var}(Z(x_1) - Z(x_2)) \quad (4.1)$$

mit $Z(x_i)$ = Realisierung einer bestimmten Zufallsvariablen der ortsabhängigen Variable $z(x)$ am Punkt x_i .

Im experimentellen Semivariogramm werden die halben, mittleren quadrierten Differenzen der Werte zwischen Punkten mit gleichen Abständen $h = 1d, 2d, \dots$ dargestellt. Die Berechnung des Variogrammwertes γ erfolgt nach folgender Gleichung (AKIN und SIEMES, 1988):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} (z(x_i + h) - z(x_i))^2}{n(h)} \quad (4.2)$$

mit $n(h)$ = Anzahl der Wertepaare für jede Schrittweite h .

Das Probenahmedesign (Abb. 4.1) gewährleistete aufgrund seiner geschachtelten Struktur eine sehr große Anzahl von Probepaaren in verschiedenen Abstandsklassen (Tab. 4.3). Durch die Beprobung entlang 80 m langer Transektlinien wurde ein größeres, mehr oder weniger homogenes Bestandesareal abgegriffen und vermieden, dass mit flächigen Probeverdichtungen zufälligerweise mehr oder weniger homogene Patches beprobt werden. Probepaare der kürzesten Abstandsklasse (0,40 cm) verteilten sich auf 9 (10) Abschnitte des Kreuztransektes.

Das Prinzip eines Semivariogramms ist in Abb. 4.2, Seite 36 dargestellt. Wie üblich, wird im Folgenden das Semivariogramm auch kurz als Variogramm bezeichnet, obwohl es sich nur bei der Ordinatenbezeichnung 2γ um ein „richtiges“ Variogramm handelt. Hauptaugenmerk wurde auf den Bereich des Ursprungs mit dem Nuggeteffekt (Nuggetvarianz, Restfehler, nugget-effect, C_0) und den Variogrammanstieg bis zum Erreichen des Schwellenwertes (Grenzwert, obere Schranke, sill, C) gelegt. Wenn der Graf sich asymptotisch dem Schwellenwert nähert und nicht mehr ansteigt ($C = \gamma(\infty)$), sind die Bedingungen der Stationarität zweiter Ordnung erfüllt. Dort, wo er sich dem Schwellenwert auf 95 % genähert hat, wird an der Abszisse die Autokorrelationslänge (Reichweite, Aussageweite, Erhaltungsneigung, range, a) abgelesen (HEINRICH, 1994). Mit Autokorrelationslänge bezeichnet man die Entfernung, ab der zwei Proben keine Korrelation mehr miteinander aufweisen. Sie gibt den Radius der Erhaltungsneigung an. Da die Probepunkte auf der Untersuchungsfläche nicht immer nur auf einer Linie mit den Abstandsintervallen h liegen, sondern zwei- oder dreidimensional verteilt sind, ist im Variogramm auf der Abszisse der Betrag des Abstandsvektors $|h|$ angegeben. Bei der Modellanpassung schneidet der Graf die Ordinate $\gamma(|h|)$ i.d.R. oberhalb des Ursprungs (0;0). Die Differenz zwischen Schnittpunkt und Koordinatenursprung wird als Nuggeteffekt (C_0) bezeichnet und kann als Messfehler oder Mikrovariabilität, die unterhalb des Probenahmeabstandes liegt oder als strukturell bedingte, nicht mehr auflösbare Varianz aufgefasst

Tabelle 4.2: Bodenkundliche Untersuchungen: Probenzahl für die jeweiligen Parameter

Parameter	Datenerhebung im Rahmen von Projekt									
	DFG		BLE / Diplomarbeit							
	Horizont- ierung	pH, Glüh- verlust	TRD TRD	aktuelle Feuchte ^a	C-, N-Gehalt			AKe, BS, K-, Ca-, Mg-, Na-, Mn-, Al-, Fe-Sättigg.		
Tiefenstufe (cm)	0...40	alle	0-5	0-5	0-5	10-15	20-25	0-5	10-15	30-40
Buche-Naturwald	221	221	49	2 x 49	221	49 ^b	49 ^b	49 ^b	-	-
Buche-Wirtsch.wald	221	221	49	2 x 49	221	-	-	221	221	221
Eiche-Naturwald	221	221	49	2 x 49	221	49 ^b	49 ^b	49 ^b	-	-
Eiche-Wirtsch.wald	221	221	49	2 x 49	221	-	-	221	221	221
Kiefer-Naturwald	221	221	49	2 x 49	221	49 ^b	49 ^b	221 ^b	221 ^b	221 ^b
Kiefer-Wirtsch.wald	221	221	49	2 x 49	221	-	-	221	221	221

^a in den Kiefernbeständen gezielt nach einer Feuchte- und Trockenperiode, in den Buchen- und Eichenbeständen in Zusammenhang mit der Probenahme Regenwürmer und TRD (Diplomarbeiten)

^b in der ursprünglichen Projektskizze nicht vorgesehen, z.T. durch Diplomarbeiten bearbeitet

werden (AKIN und SIEMES, 1988; HEINRICH, 1994)). Der Schwellenwert im experimentellen Semivariogramm ist gleich der statistischen Varianz aller Probewerte. Nach Anpassung eines geeigneten Variogrammodells erhält man den Nuggeteffekt (C_0) und den Schwellenwert mit $C = s^2 - C_0$.

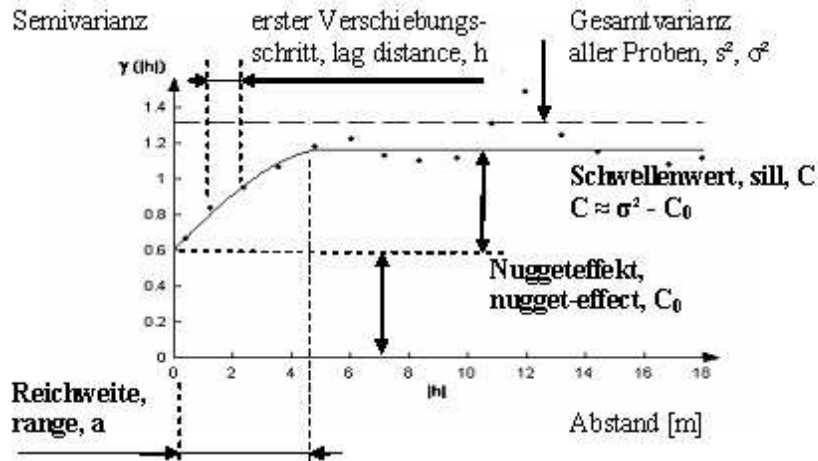


Abbildung 4.2: Prinzipbild eines empirischen Semivariogramms mit angepasstem sphärischen Modell

Abbildungsbeispiel (Abb. 4.2, Seite 36): VARIOWIN-Eingabe: lag spacing: 1,20 m; lags: 15; VARIOWIN-Ausgabe: data variance: 1,314; nach Modellanpassung (sphärisches Modell): range: 5,219; nugget-effect: 0,616; sill: 0,560.

Theoretisch ginge die Variogrammkurve durch den Ursprung und der Schwellenwert wäre so groß wie die Probenvarianz ($C_0 = 0, C = \sigma^2$). Wäre die Abszisse enger skaliert, würde man für größere Probenabstände einen zweiten Schwellenwert erkennen (geschachtelte Struktur). Bei dem gewählten Abstand der Verschiebungsschritte von $|h|$ (Betrag des Abstandsvektors) = 1,20 m werden von VARIOWIN 248 Probepaare nicht dem ersten lag mit $|h| = 1,20$ m zugeordnet, weil diese zueinander einen Probenabstand von weniger als die Hälfte der Schrittweite 1,20 m aufweisen. Ins Variogramm wird ein „0-ter“ lag bei einem Abstandsvektor $|h| \approx 0,40$ m eingefügt, was der Klassenmitte aller Proben mit $|h| < |h|_{lag \frac{1}{2}} = 0,60$ m entspricht (s. Tab. 4.3, Seite 37, mit Ausnahme der 5 Punkte in der Mitte des Kreuztransektes gibt es unterhalb des Abstandsintervalls $< 0,80$ cm nur den diskreten Abstand 0,40 cm in den Transektabschnitten mit verdichteter Probeentnahme). Durch einen Proportionalitätseffekt (s.u.) liegt lag 0 bei vorliegender Untersuchung häufig über der Ausgleichskurve.

Weil Ausreißer einen starken störenden Einfluss auf das experimentelle Variogramm haben, indem die großen Werte zu den kleinen Werten quadriert in die Variogrammberechnung eingehen (AKIN und SIEMES, 1988), wurden für die Variogrammberechnung in der Regel ausreißerbereinigte Datensätze verwendet. Von der Berechnung wurden solche Messwerte ausgeschlossen, die mehr als die dreifache Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert entfernt lagen. Die Variogrammanalyse an den einzelnen Datensätzen (Fläche, Tiefenstufe, Parameter) wurde bei unterschiedlicher Schrittweite (Abstände der klassifizierten Paare, lag distance, lag spacing) und Anzahl der Gruppen (Verschiebungsschritte, number of lags) durchgeführt. Jeweils an den optimal gestalteten Variogrammen wurde die Anpassung mit dem üblichen sphärischen (z.B. Abb. 4.4a, Seite 40), exponentiellen (z.B. Abb. 4.4, Seite 40) oder dem Gauß'schen Modell vorgenommen (z.B. Abb. 4.5a, Seite 42). Dadurch unterscheiden sich ggf. die Variogrammlänge (Entfernung, Abszisse, $|h|$), was beim optischen Vergleich der Variogrammgrafiken zwischen Flächen oder Tiefenstufen beachtet werden muss.

Bei der Variogramminterpretation zur Ermittlung der kleinräumigen Heterogenität war die

Tabelle 4.3: Anzahl der Wertepaare der ersten 20 Verschiebungsschritte (lag) für die in vorliegender Arbeit am häufigsten verwendeten Schrittweiten (lag spacing)

Verschiebungsschritt (lag)	Schrittweite (lag spacing)						
	0,40 m	0,70 m	0,75 m	0,80 m	0,90 m	1,20 m	1,60 m
0 ^a	0	0	0	128	240	248	464
1	248	604	604	540	612	1040	1272
2	356	668	684	628	708	916	1248
3	248	620	636	772	676	1088	1348
4	436	344	676	684	1008	916	1128
5	272	708	676	668	692	888	1044
6	364	612	628	660	604	756	988
7	280	620	564	484	588	788	820
8	404	380	312	628	708	676	1052
9	336	540	556	580	540	740	1196
10	348	532	516	540	432	640	1412
11	280	516	540	424	540	860	1888
12	364	264	416	420	652	836	1772
13	272	400	500	504	504	964	1744
14	316	500	424	500	548	1240	1500
15	224	424	508	456	504	1456	1576
16	348	372	280	564	820	1508	1428
17	240	416	548	424	504	1352	1224
18	324	500	488	684	852	1080	1364
19	192	504	572	488	928	1156	1256
20	324	224	560	764	1328	1104	1520
Entfernung	4 m	7 m	7,5 m	8 m	9 m	12 m	16 m
lag 10 u. 20	8 m	14 m	15 m	16 m	18 m	24 m	32 m

^a VARIOWIN-Ausgabe eines zusätzlichen Punktes zwischen $|h| = 0m$ und $|h| = lag1$, wenn der lag-Abstand viel größer als der kleinste Probenahme-Abstand ist, siehe z.B. Abb. 4.2, Seite 36

Hauptstruktur maßgebend, mögliche geschachtelte Strukturen, Locheffekte (hole-effects) und Driftkomponenten wurden nicht analysiert. Beispiele für Variogramme mit geschachtelten Strukturen, an die 2 Modelle angepasst wurden, sind Abb. 4.9, Seite 44 und 4.23, Seite 67. In den entsprechenden Tabellen sowie den Abbildungen in der Anlage wird nur das Modell der ersten Struktur berücksichtigt. Auch das abgebildete Variogramm (Abb. 4.2, Seite 36) lässt eine zweite Struktur mit einem range > 18 m vermuten, weil der (erste) Schwellenwert niedriger als die Gesamtprobenvarianz der Fläche ist. Im Fall von Locheffekten ergibt sich i.d.R. ein höherer (erster) Schwellenwert als die Probenvarianz (AKIN und SIEMES, 1988). Das Beprobungskonzept mit stellenweise verdichteter (geclusteter) Probeentnahme hat zur Folge, dass Proportionalitätseffekte auftreten können, d.h. dass sich die lokale Varianz proportional zum lokalen Mittelwert ändert (HEINRICH, 1994). Durch die Berechnung standardisierter (relativer) Variogramme wurden störende Einflüsse dieser Art vermieden (PANNATIER, 1996). Dabei werden sill und Nugget-Effekt als prozentualer Anteil der Probenvarianz, die den Wert 1 erhält, angegeben.

In Tab. 4.3, Seite 37 sind für den Fall, dass alle 221 Proben je Fläche und Tiefenstufe verrechnet wurden, die Anzahl der Wertepaare angegeben, die von VARIOWIN 2.2 für die am häufigsten gewählten Schrittweiten gebildet werden. Die in der Literatur angegebene Mindestanzahl an 30 - 50 Paaren je Variogrammwert (Verschiebungsschritt) wird damit deutlich überboten. Die Anzahl aller Paare, die VARIOWIN 2.2 für eine Untersuchungsfläche mit o.g. Beprobungsdesign berechnet, beträgt 24310.

Die Wahl der Schrittweite und -anzahl (lag spacing, lag number), das verwendete Modell und

die von VARIOWIN 2.2 ausgegebenen Werte für Probenvarianz, Nuggetvarianz, Reichweite (range), Schwellenwert (sill) und Anzahl der nicht berücksichtigten Ausreißer wurden notiert sowie die zugehörigen Variogramm-Grafiken dokumentiert. Wo möglich, wurde das Verhalten der Parameter nicht mittels der standardisierten, sondern auch der nicht standardisierten experimentellen Variogramme modelliert. Wurden für einen Bodenwert aufgrund verschiedener Schrittweiten mehrere auswertbare Variogramme erstellt, fanden in den Tabellen des Textteils die jeweiligen Mittelwerte für Reichweite, Nuggeteffekt und Schwellenwert Eingang.

4.4 Ergebnisse und Diskussion

4.4.1 Horizontierung

4.4.1.1 Variabilität der Horizontmächtigkeiten bzw. -grenzen

Am geöffneten Bohrer wurden an jedem der 221 Punkte die Horizontgrenzen gemessen. Da nur eine Mineralbodensäule von etwas mehr als 40 cm Länge vorlag, kann keine Aussage über die Obergrenze des Cv-Horizontes getroffen werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass unterhalb des AhBv- oder Bhs-Horizontes noch ein Übergangshorizont folgt. Im Bestand Buchen-Naturwald lag die Untergrenze des AhBv-Horizontes in 46 der Fälle (20,8 %) tiefer als 40 cm, weshalb die Aussagen zur Variabilität der Untergrenze hier nur eingeschränkte Gültigkeit haben. Bei der organischen Auflage wurde die Mächtigkeit bestimmt, bei den Mineralbodenhorizonten deren Untergrenze.

Die Dicke des Of(h)-Horizontes nimmt entsprechend der schlechteren Nährstoffausstattung von den Buchen- über die Eichen- zu den Kiefernbeständen zu. In den Naturwäldern von Eiche und Kiefer variiert die Mächtigkeit der Auflage (rohhumusart. Moder und Rohhumus) stärker als in Wirtschaftswäldern (Tab. 4.4, Seite 38, Abb. 4.3a, Seite 40). Der Buchen-Naturwald zeichnet sich durch die beste Humusform (F-Mull) aus, weshalb die Of-Lage durchgängig sehr geringmächtig und vergleichsweise homogen ausgeprägt ist.

Tabelle 4.4: Variabilität der Horizontgrenzen im Buchen-Natur- und -Wirtschaftswald

	BN			BW		
	Of	Ah	AhBv	Of	AhAhe	AhBv
N	221	221	182	221	221	217
Mittelwert	0,8303	-10,1538	-27,3324	1,0543	-10,8484	-24,0724
Median	0,5	-10	-27	0,5	-11	-23,5
Standardabweichung	0,68552	2,82301	6,00075	0,88766	3,67558	6,27931
Variationskoeffizient	82,56	27,8	21,95	84,19	33,88	26,09
Varianz	0,47	7,969	36,009	0,788	13,51	39,43
Schiefe	2,917	-1,063	-0,424	1,792	-0,314	-0,596
Spannweite	4	21	29	5	24	38,5
Minimum	0,5	-25	-43	0	-24	-48
Maximum	4,5	-4	-14	5	0	-9,5

Die höhere Variabilität der Untergrenze der A-Horizonte in den bewirtschafteten Buchen- und Kiefernwäldern ist vermutlich auf das Pflügen zurückzuführen, denn einmalige, nicht sehr intensive Bodenbearbeitung in Zusammenhang der Vorbereitung von Pflanzung oder Naturverjüngung erhöht die Bodenheterogenität (Tab. 4.5, Seite 39, Abb. 4.3b, Seite 40).

Im stark podsoligen Regosol (AD-HOC-AG BODEN (2005), Sandranker nach SEA 95 (1996-1997)) des Kiefern-Wirtschaftswaldes (Tab. 4.6, Seite 39) variieren die Untergrenzen des Ahe- und Bhs-Horizontes außerordentlich stark, während die Entwicklungstiefen des Ah- und AhBv-

Tabelle 4.5: Variabilität der Horizontgrenzen im Eichen-Natur- und -Wirtschaftswald

	EN			EW		
	Of	AheAeh	BhsBsv	Of	AheAeh	BshBhs
N	221	221	221	221	221	221
Mittelwert	3,8258	-6,6946	-16,1176	4,3462	-7,2738	-14,5674
Median	4	-6,5	-15	4	-7	-13,5
Standardabweichung	1,82351	2,82652	5,3022	1,37058	3,07903	4,26199
Variationskoeffizient	47,66	42,22	32,9	31,54	42,33	29,26
Varianz	3,325	7,989	28,113	1,878	9,48	18,165
Schiefe	0,466	-0,325	-0,993	0,213	-1,068	-1,067
Spannweite	11	16,5	35	8,5	23,5	33
Minimum	0	-16,5	-35	0	-23,5	-33
Maximum	11	0	0	8,5	0	0

Horizontes im Buchen-Naturwald sehr gleichmäßig sind.

Tabelle 4.6: Variabilität der Horizontgrenzen im Kiefern-Natur- und -Wirtschaftswald

	KN			KW		
	Of	AheAeh	BhsBsv	Of	AheAeh	BshBhs
N	218	221	221	221	221	221
Mittelwert	5,8096	-13,3077	-23,914	6,9774	-9,7104	-18,0452
Median	5,5	-13	-23	7	-9	-17
Standardabweichung	2,10425	3,92346	5,81255	1,41644	4,26293	5,5545
Variationskoeffizient	36,22	29,48	24,31	20,3	43,9	30,78
Varianz	4,428	15,394	33,786	2,006	18,173	30,852
Schiefe	1,085	0,082	-0,197	0,255	-1,713	-0,679
Spannweite	16	22,5	37	9,5	29	28
Minimum	1	-25,5	-43	2,5	-29	-34
Maximum	17	-3	-6	12	0	-6

4.4.1.2 Räumliche Muster der Horizontmächtigkeiten

Das Muster der Auflagemächtigkeit dürfte sich gegenüber anderen bodenkundlichen Merkmalen und Kennwerten der Bodenfestphase als das am schnellsten veränderliche bzw. veränderbare erweisen. Vergleicht man die Flächen hinsichtlich der Hauptbaumart, zeigen sich keine artspezifischen Trends (Tab. 4.7, Seite 41). Die Autokorrelationslängen der Auflagemächtigkeit sind in den natürlichen Laubwäldern (BN, EN) größer als in den entsprechenden Wirtschaftswäldern (Abb. 4.4, Seite 40). Möglicherweise werden weiträumige Muster durch das Befahren und durch Rückearbeiten gestört. Auch eine etwas andere Humusdynamik kann eine Rolle spielen. Während die räumliche Variabilität des geringmächtigen L-Mull des Buchen-Naturwaldes fast überall nur vom vorjährigem Streufall und stark von Laubverblasung und Anreicherung an geeigneten Strukturen abhängig ist, hat die organische Auflagesubstanz im Wirtschaftswald eine längere Verweildauer und bildet das Kronen- und Lückenmuster möglicherweise besser ab.

Im Kiefern-Naturwald ist die relativ kleinräumig und sehr stark variierende Mächtigkeit der Rohhumusaufgabe von der Heterogenität des Bestandesaufbaus mit sehr alten und großen Kiefern sowie lückigen Bereichen abhängig (Abb. 4.5a, Seite 42).

Im Kiefern-Wirtschaftswald, der aus mehr oder weniger gleichalten und gleichmäßig verteilten Baumindividuen aufgebaut ist, lässt die hohe Erhaltungsneigung der insgesamt sehr mächtigen Rohhumusschicht darauf schließen, dass weniger Einzelbäume als vielmehr die Bestandesareale musterbildend wirken (Abb. 4.5b, Seite 42). Außerdem können Einzelbäume aufgrund der relativ

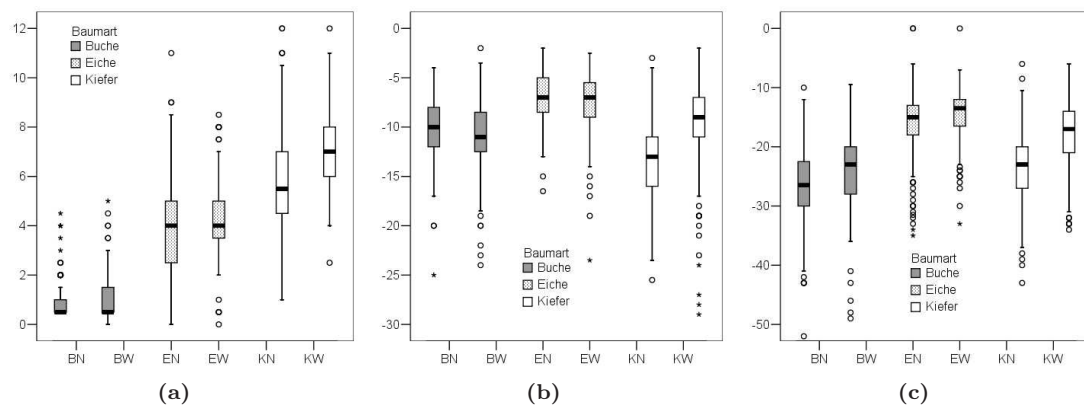


Abbildung 4.3: Mächtigkeit der Auflage- und der obersten Mineralbodenhorizonte: (a) Mächtigkeit der organischen Auflage in cm; (b) Untergrenze des A- (Ah, Aeh, Ahe, Ae) Horizontes in cm; (c) Untergrenze des AhBv- (Buche) bzw. Bsh-Horizontes (Ei, Ki) in cm

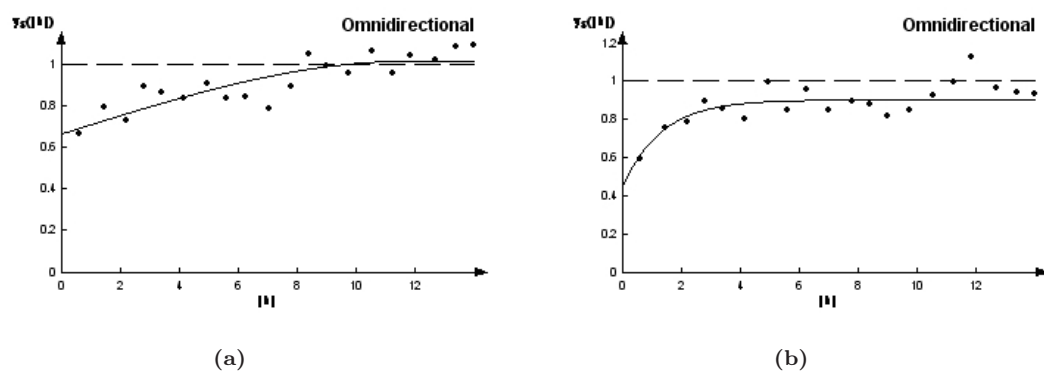


Abbildung 4.4: (a) Variogramm der Of-Horizontmächtigkeit im Buchen-Naturwald (spärliches Modell); (b) Variogramm der Of(h)-Horizontmächtigkeit im Buchen-Wirtschaftswald (exponentielles Modell)

kurzen Umtriebszeit den Auflagehumus nicht so nachhaltig beeinflussen, wie das im Naturwald der Fall ist.

Bezüglich des humusreichen A(e)h-Mineralbodenhorizontes weisen alle Naturwälder ähnliche Autokorrelationslängen auf (Tab. 4.7, Seite 41). Im Buchen-Wirtschaftswald fallen die sehr großräumigen, im Kiefern-Wirtschaftswald dagegen kleinflächigen Unterschiede ins Auge. Wenn man das Ergebnis im letztgenannten Kiefernbestand unberücksichtigt lässt, scheint bei Podsolierung (EN, EW, KN) die Mächtigkeit des humusreichen Ahe-Horizontes zu großen range-Werten zu tendieren oder keine Autokorrelation aufzuweisen.

Die Untergrenze des Bhs-Anreicherungshorizontes variiert in den Eichen- und Kiefernbeständen kleinräumig stark. Über größere Entfernungen ist der AhBv-Übergangshorizont in den Buchenbeständen autokorreliert. In BN konnte die Berechnung allerdings nur an 80 % der Proben erfolgen, weil der Übergang vom AhBv- zum Bv-Horizont nicht bei allen Bodensäulen oberhalb der Beprobungstiefe von 40 cm beobachtet wurde.

Tabelle 4.7: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme zur Horizontierung

	Horizont ^a	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	Of/Ofh	221	217	220	221	218	219
	Ah/Ahe	218	218	219	218	220	217
	AhBv/Bsh	175	218	216	219	220	221
Range	Of/Ofh	12,72	3,82	7,84	3,88	4,74	7
	Ah/Ahe	8,8	25,6	11,9	–	9,4	5,4
	AhBv/Bsh	11	7,62	4,5	1,07	4,87	7,14
Nuggeteff. (standardisiert)	Of/Ofh	0,67	0,42	0,57	0,72	0,65	0,62
	Ah/Ahe	0,78	0,8	0,61	–	0,73	0,76
	AhBv/Bsh	0,62	0,72	0,73	0,62	0,44	0,44
Sill (standardisiert)	Of/Ofh	0,36	0,49	0,48	0,31	0,37	0,31
	Ah/Ahe	0,2	0,25	0,38	–	0,27	0,23
	AhBv/Bsh	0,32	0,29	0,28	0,39	0,46	0,52
Nuggeteff. (n. standardisiert)	Of/Ofh	–	–	–	1,332	1,8199	1,216
	Ah/Ahe	–	–	1,8	–	10,1248	7,68
	AhBv/Bsh	–	21,76	3,7374	10,35	13,3295	13,175
Sill (nicht standardisiert)	Of/Ofh	–	–	–	0,783	2,2048	0,285
	Ah/Ahe	–	–	1,24	–	3,45	2,28
	AhBv/Bsh	–	11,2189	2,7299	4,5	12,71	15,5

^a Horizontabfolge BN, BW: Of(h) - Ah - AhBv; EN, EW, KN, KW: Ofh - Ahe - Bhs/Bsh; – nicht modellierbar

4.4.2 Bodenreaktion

4.4.2.1 Variabilität von pH-Wert und Protonenkonzentration

Statistische Aussagen zur Variabilität der Bodenreaktion sind nicht einfach, da es sich beim pH-Wert um logarithmierte Werte der Protonengehalte handelt. Der Protonengehalt steigt in sauren Böden naturgemäß sehr rasch an, womit auch eine höhere Standardabweichung verbunden ist. Damit ist dieser Kennwert für den Vergleich von Böden unterschiedlichen Säure-Basen-Niveaus nicht geeignet. Der Variationskoeffizient des pH-Wertes, der Variationskoeffizient des Protonengehaltes und die Standardabweichung des pH-Wertes zeigen bei unterschiedlicher Skalierung aber vergleichbare Tiefentrends (Tab. 4.8, Seite 45, Abb. 4.6, Seite 42 bis 4.8, Seite 43).

Im Buchen-Wirtschaftswald zeigen sich gegenüber dem Buchen-Naturwald in allen Tiefenstufen kleinere Werte für Standardabweichung und Variationskoeffizient des pH-Wertes. Unterhalb von 15 cm ist die Variabilität auch im Flächenvergleich mit Eiche und Kiefer am niedrigsten.

Insbesondere die viel höhere Standardabweichung in 0-10 cm Tiefe im Buchen-Naturwald ist als ein Streuungsmaß für die Heterogenität des pH-Wertes vor dem Hintergrund der natürlichen Walddynamik, dem Basenpumpeneffekt bei lokal höher anstehender Lehmschicht oder stärkerer Versauerungstendenzen im Stammfußbereich von Altbuchen mit bedeutendem Stammabfluss zu interpretieren. Innerhalb 0-10 cm und 25-40 cm Tiefe ist die pH-Wert-Variabilität auch gegenüber den Eichen- und Kiefernbeständen größer. Im unteren Abschnitt kann dafür der stellenweise höher anstehende Lehmkörper höherer Pufferkapazität verantwortlich gemacht werden. Im Vergleich zu Eiche und Kiefer ist der Oberboden deutlich heterogener als der Unterboden, es besteht ein gerichteter Tiefengradient. Insbesondere für das Muster des pH-Wertes wurde in vielen Arbeiten die Bedeutung der Stammverteilung und des Stammabflusses herausgearbeitet. (Verwendet man die Variabilitätskoeffizienten der Protonengehalte zeigt sich die gegenüber dem Wirtschaftswald höhere Diversität allerdings nur in der oberen und den unteren Tiefenstufen des Buchen-Naturwaldes, s. Abb. 4.8a, Seite 43).

In den Eichenbeständen sind die obersten Tiefenstufen tendenziell homogener als tiefere Be-

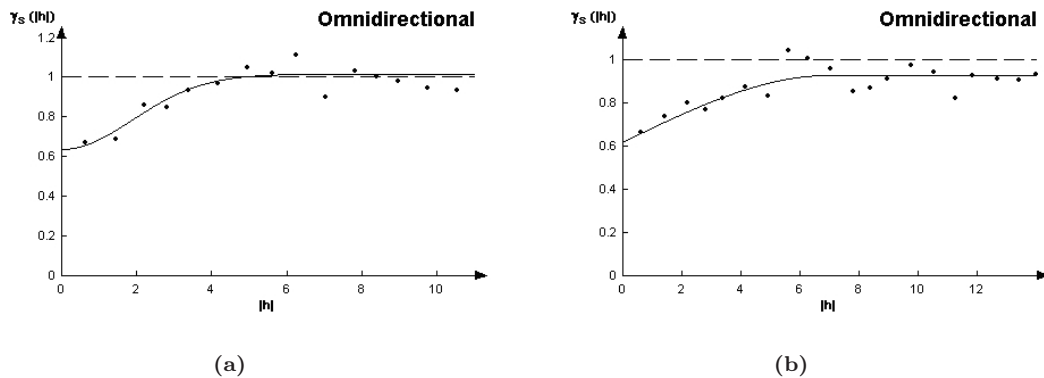


Abbildung 4.5: (a) Variogramm der Ofh-Horizontmächtigkeit im Kiefern-Naturwald (Gauß'sches Modell); (b) Variogramm der Ofh-Horizontmächtigkeit im Kiefern-Wirtschaftswald (spärisches Modell)

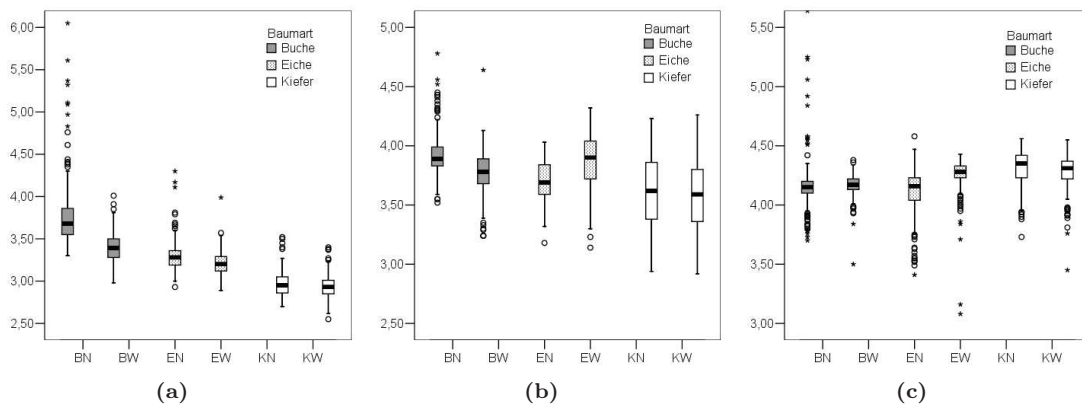


Abbildung 4.6: pH-Werte in den Tiefenstufen (a) 0-5 cm, (b) 10-15 cm und (c) 30-40 cm

reiche. Der Eichen-Wirtschaftswald ist gegenüber seines natürlichen Vergleichsbestandes in einer Tiefe von 5-20 cm durch eine höhere pH-Wert-Heterogenität gekennzeichnet.

Die beiden Kiefernbestände zeigen einen erstaunlich ähnlichen Kurvenverlauf ihrer Streuungsmaße bezüglich des pH-Wertes (Abb. 4.7c, Seite 43 und 4.8c, Seite 43). Die höhere Streuung des pH-Wertes in 10-25 cm Tiefe dürfte auf den lokal unterschiedlich stark ausgeprägten bzw. tief reichenden Bhs-Horizont zurückzuführen sein, während das wenig verwitterte Dünen-Ausgangsmaterial (tiefe Bereiche) und die sauren und eluierten oberflächennahe Schichten relativ homogen sind. Die relativ große Variabilität des pH-Wertes in den untersuchten Kiefernbeständen ist bemerkenswert, denn reife Kiefernwälder zeichnen sich nach LISTER ET AL. (2000)¹ durch niedrige Variationskoeffizienten aus. Die von LISTER ET AL. (2000) untersuchten Bestände haben mit $4,9 \pm 0,21$ allerdings viel höhere pH-Werte. Es fällt jedoch auf, dass der pH-Wert in 0-5 cm weniger stark als in anschließenden Tiefenstufen schwankt. Im Kiefern-Wirtschaftswald ist hier sogar die geringste Heterogenität aller 6 Untersuchungsflächen festzustellen, während im mittleren Profil die Variabilität am höchsten ist. Wahrscheinlich ist das auf die starke Podsoligkeit des Bodens zurückzuführen (Untergrenze Bhs, Abschn. 4.4.1.1).

¹ Weitergehende Literatur findet sich in LISTER ET AL. (2000).

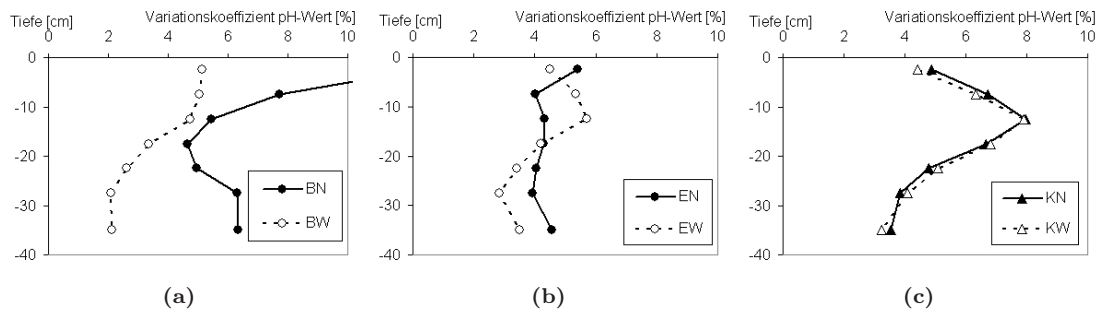


Abbildung 4.7: Variationskoeffizient des pH-Wertes in verschiedenen Tiefen der Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände in %

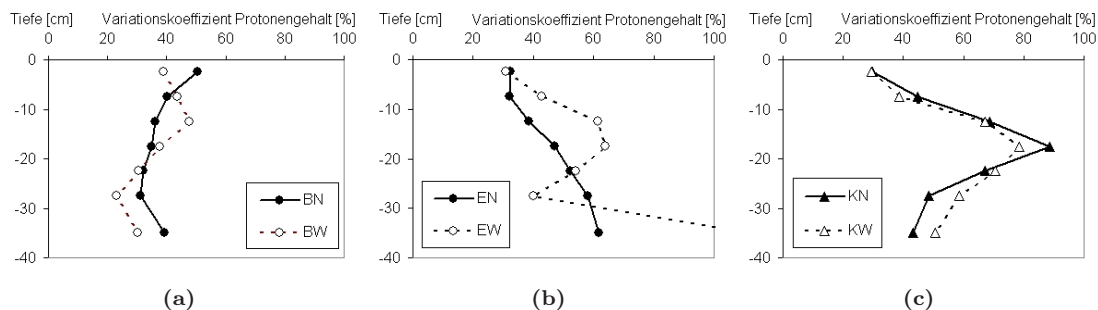


Abbildung 4.8: Variationskoeffizient des Protonengehaltes (als Ausdruck der pH-Streuung) in verschiedenen Tiefen der Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände in %

4.4.2.2 Räumliche Muster des pH-Wertes

Die geostatistische Analysen zeigen größere Autokorrelationslängen in Naturwäldern gegenüber Wirtschaftswäldern (Tab. 4.10, Seite 47). Das gilt für alle Tiefenstufen mit Ausnahme des Unterbodens der Buchenbestände, was aber geogene Ursachen hat. Die Nuggetvarianz, also der Restfehler, ist dabei in den bewirtschafteten Wäldern größer. Das kann so interpretiert werden, dass hier nicht nur die Bestandesstruktur als räumliches Phänomen, sondern auch andere (Stör-) Größen das Muster des pH-Wertes gestalten.

Das Muster ist dabei in den verschiedenen Tiefenstufen ganz unterschiedlich (Tab. 4.8, Seite 45, Abb. 4.10, Seite 44). Das tiefgründige und einheitliche Substrat der Dünen in der Schorfheide (Kiefern-Naturwald) und auch die Sandersande des Theerofener Beckens (Buchen-Wirtschaftswald) bewirkt hohe Autokorrelationslängen dieses Faktors, die im Unterboden noch gut festzustellen sind. Durch die Vegetationsstruktur und Bestandesgeschichte ist der Oberboden i.d.R. kleinräumiger differenziert (kleine ranges). Stellenweise nur flach mit Schmelzwassersand überdeckt ist die kalkreiche Moränenplatte der Drawa-Niederung mit dem Buchen-Naturwald, wo auf kurze Distanz bereits zwei Bodentypen dokumentiert werden konnten (Braunerde, Parabraunerde). Die kleinräumigere Heterogenität des Untergrundes kann durch den Wechsel der zwei Substrattypen Sand und Lehm oder das Vorhandensein und die Tiefe eines Bt-Horizontes bedingt sein.

Die Tiefenstufe 5-10 cm in den Kiefernbeständen, die einen Elluvialhorizont repräsentiert, sticht gegenüber der oben (Ah(e)) oder unten (Bsh) angrenzenden Tiefenstufen hervor. Allerdings ist die Erhaltungsneigung im Naturwald hier relativ größer und im stärker podsoligen Wirtschaftswald

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

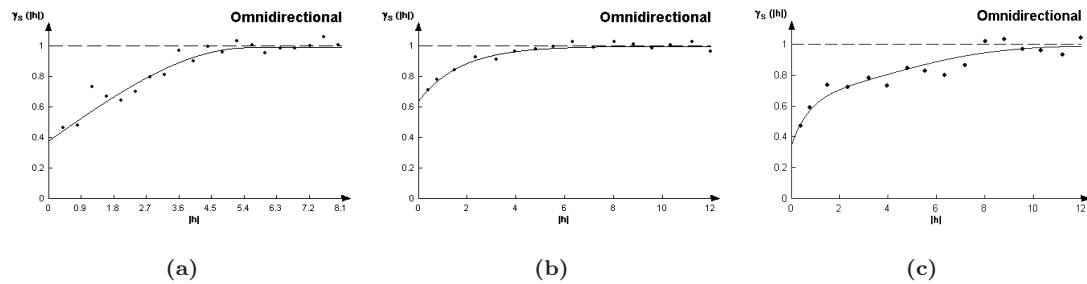


Abbildung 4.9: (a) Variogramm des pH-Wertes in 0-5 cm im Buchen-Wirtschaftswald; (b) Variogramm des pH-Wertes in 10-15 cm im Buchen-Wirtschaftswald; (c) Variogramm des pH-Wertes in 30-40 cm im Buchen-Wirtschaftswald mit geschachtelter Struktur (Struktur 1: exponentielles, 2: Gauß'sches Modell)

kleiner. Mit Ausnahme des Bestandes KW ist der Nuggeteffekt klein, i.d.R. < 50 %.

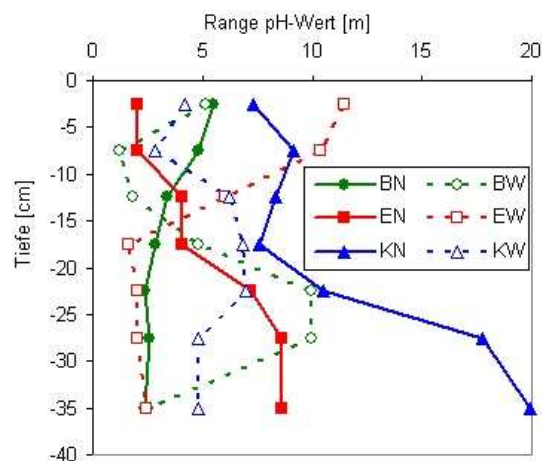


Abbildung 4.10: Autokorrelationslängen (range) des pH-Wertes in verschiedenen Bodentiefen

Tabelle 4.8: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW ^a	KN	KW
N	alle	221	221	221	219	221	221
Mittelwert	0-5	3,7938	3,399	3,2966	3,2097	2,9728	2,9339
	5-10	3,8246	3,5333	3,4758	3,4894	3,2344	3,2171
	10-15	3,9307	3,7750	3,7026	3,8603	3,6033	3,5831
	15-20	4,0339	3,9480	3,9353	4,1237	3,9543	3,9056
	20-25	4,1148	4,0481	4,0557	4,2231	4,1543	4,0993
	25-30	4,1686	4,1150	4,1169	4,2611	4,2544	4,2058
Median	30-40	4,1732	4,1681	4,1052	4,2537	4,3124	4,2771
	0-5	3,68	3,39	3,28	3,20	2,95	2,93
	5-10	3,78	3,53	3,48	3,48	3,18	3,18
	10-15	3,89	3,78	3,69	3,90	3,62	3,59
	15-20	4,01	3,97	3,97	4,16	4,01	3,96
	20-25	4,08	4,06	4,09	4,25	4,21	4,14
VC	25-30	4,13	4,12	4,16	4,28	4,29	4,24
	30-40	4,15	4,17	4,16	4,28	4,35	4,31
	0-5	12,51	5,13	5,41	4,49	4,89	4,43
	5-10	7,71	5,05	4,01	5,34	6,74	6,32
	10-15	5,44	4,74	4,31	5,71	7,98	7,92
	15-20	4,64	3,36	4,29	4,21	6,67	6,81
Schiefe	20-25	4,96	2,61	4,05	3,41	4,77	5,11
	25-30	6,30	2,10	3,92	2,83	3,86	4,10
	30-40	6,33	2,14	4,56	3,50	3,56	3,23
	0-5	3,413	0,389	2,049	0,886	0,898	0,429
	5-10	3,832	-0,111	0,586	0,158	0,567	1,146
	10-15	3,171	-0,143	-0,138	-0,575	-0,138	-0,012
Spannweite	15-20	2,077	-0,989	-0,817	-1,626	-0,98	-0,749
	20-25	3,053	-1,123	-1,178	-1,811	-1,156	-1,313
	25-30	5,174	-0,865	-1,519	-2,02	-1,042	-1,489
	30-40	3,448	-2,213	-1,469	-4,631	-0,995	-1,932
	0-5	3,53	1,03	1,37	1,1	0,82	0,85
	5-10	2,74	0,93	1,27	0,91	1,11	1,19
Minimum	10-15	2,15	1,40	0,85	1,18	1,29	1,34
	15-20	1,55	0,86	0,92	1,24	1,36	1,24
	20-25	1,83	0,87	1,18	1,27	1,23	1,14
	25-30	2,82	0,70	1,42	0,83	0,98	1,15
	30-40	2,06	0,88	1,17	1,35	0,83	1,10
	0-5	3,30	2,98	2,93	2,89	2,70	2,55
Maximum	5-10	3,39	3,04	2,98	3,03	2,74	2,80
	10-15	3,52	3,24	3,18	3,14	2,94	2,92
	15-20	3,57	3,37	3,34	3,27	3,01	3,18
	20-25	3,72	3,46	3,42	3,42	3,24	3,34
	25-30	3,78	3,63	3,41	3,65	3,55	3,41
	30-40	3,70	3,50	3,41	3,08	3,73	3,45
Maximum	0-5	6,83	4,01	4,30	3,99	3,52	3,40
	5-10	6,13	3,97	4,25	3,94	3,85	3,99
	10-15	5,67	4,64	4,03	4,32	4,23	4,26
	15-20	5,12	4,23	4,26	4,51	4,37	4,42
	20-25	5,55	4,33	4,6	4,69	4,47	4,48
	25-30	6,60	4,33	4,83	4,48	4,53	4,56
	30-40	5,76	4,38	4,58	4,43	4,56	4,55

^a zwei Probepunkte komplett verworfen: deutlich zu hoher pH-Werte, Ca- und Basensättigung

Tabelle 4.9: Häufigkeitsverteilung der Protonengehalte

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW ^a	KN	KW
N	alle	221	221	221	219	221	221
Mittelwert	0-5	3,6732	3,3658	3,2673	3,1877	2,9508	2,9152
	5-10	3,7664	3,4963	3,4544	3,4506	3,1851	3,1769
	10-15	3,8931	3,7365	3,673	3,7993	3,5088	3,4925
	15-20	4,0019	3,9255	3,899	4,0794	3,8577	3,8131
	20-25	4,0812	4,0337	4,0189	4,1925	4,0998	4,0370
	25-30	4,1272	4,1058	4,0791	4,2406	4,219	4,1636
	30-40	4,1237	4,1571	4,0554	4,2029	4,2821	4,2492
VC	0-5	50,54	38,81	32,41	30,94	29,85	29,35
	5-10	40,32	43,57	32,13	42,72	44,84	38,58
	10-15	36,29	47,61	38,49	61,34	68,66	67,09
	15-20	34,85	37,59	47,01	63,96	88,69	78,40
	20-25	32,23	30,59	52,29	54,27	67,3	70,60
	25-30	31,23	23,09	57,99	40,01	48,56	58,71
	30-40	39,22	30,31	61,88	111,39	43,21	50,55

^a zwei Probepunkte komplett verworfen: deutlich zu hoher pH-Werte, Ca- und Basensättigung

Tabelle 4.10: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme zur Horizontierung zum pH-Wert

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW ^a	KN	KW
N	alle	221	221	221	219	221	221
Range	0-5	5,51	5,16	–	11,44	7,32	4,2
	5-10	4,8	1,2	2,03	10,4	9,18	2,88
	10-15	3,42	1,8	4,05	–	8,33	6,24
	15-20	2,82	4,8	4,05	1,64	7,56	6,84
	20-25	2,4	9,96	7,2	2,05	10,54	6,96
	25-30	2,58	9,96	8,64	2,05	17,76	4,8
	30-40	2,34	(2,52/8,00)*	8,64	2,46	19,91	–
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,38	0,64	–	0,43	0,54	0,78
	5-10	0,54	0,2	0,19	0,71	0,28	0,72
	10-15	0,11	0,47	0,42	–	0,26	0,52
	15-20	0,25	0,4	0,41	0,35	0,52	0,58
	20-25	0,1	0,62	0,52	0,32	0,61	0,7
	25-30	0,21	0,56	0,41	0,2	0,63	0,87
	30-40	0,19	(0,29/0,53)*	0,34	0,7	0,8	–
Sill (standardisiert)	0-5	0,61	0,36	–	0,8	0,47	0,25
	5-10	0,54	0,68	0,81	0,38	0,71	0,31
	10-15	1	0,51	0,55	–	0,75	0,48
	15-20	0,85	0,65	0,56	0,52	0,45	0,44
	20-25	0,98	0,48	0,35	0,64	0,39	0,39
	25-30	0,83	0,45	0,48	0,78	0,26	0,15
	30-40	0,86	(0,52/0,47)*	0,54	0,3	0,42	–
Nuggeteff. (nicht standardisiert)	0-5	–	0,0144	–	0,0096	0,0177	–
	5-10	0,0297	0,008	–	0,0224	0,0183	0,0293
	10-15	0,0055	0,0092	–	–	0,0243	0,0464
	15-20	0,0084	0,0062	–	0,0075	0,0301	0,0396
	20-25	0,03	–	–	0,006	0,0258	0,027
	25-30	–	–	–	0,004	0,0177	–
	30-40	–	–	–	–	–	–
Sill (nicht standardisiert)	0-5	–	0,0162	–	0,0165	0,0102	–
	5-10	0,0531	0,0173	–	0,0224	0,0279	0,0148
	10-15	0,05	0,0227	–	–	0,0536	0,0365
	15-20	0,038	0,012	–	0,0207	0,0374	0,034
	20-25	0,018	–	–	0,0171	0,0114	0,0197
	25-30	–	–	–	0,0162	0,009	–
	30-40	–	–	–	–	–	–

^a zwei Probepunkte komplett verworfen: deutlich zu hoher pH-Werte, Ca- und Basensättigung

4.4.3 Organische Bodensubstanz

4.4.3.1 Variabilität des Humusgehaltes in den Beständen

Tabelle 4.11, Seite 51 gibt Auskunft über die Häufigkeitsverteilung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz. Nahezu alle Tiefenstufen des Buchen-Wirtschaftswaldes weisen gegenüber dem naturnahen Referenzbestand niedrigere Variabilitäten auf (Abb. 4.12a, Seite 49). Nur im Bereich 5-10 cm zeigt der Wirtschaftswald eine höhere Heterogenität als der Naturwald, was vielleicht durch das streifenweise erfolgte Einpflügen von Humussubstanz erklärt werden kann, da der Humus-Tiefengradient viel stärker als das Säure-Base-Gefälle ausgeprägt ist. So wiesen auch REHFUESS und KANTARCI (1977); RAKEI (1991); WESSOLEK und RIEK (1997) eine Erhöhung der Oberbodenheterogenität nach, die durch das Pflügen von Waldböden zustande kam. Unterhalb von 15 cm hat der Buchen-Wirtschaftswald die niedrigsten Variabilitätskoeffizienten von allen 6 Flächen aufzuweisen, was mit dem pH-Befund übereinstimmt (Abschn. 4.4.2).

Fast ebenso geringe Humusgehaltsschwankungen wie im Buchen- wurden im Eichen-Wirtschaftswald ermittelt. Im Eichen-Naturwald sind sie nicht nur im Verhältnis zum Eichen-Wirtschaftswald, sondern auch gegenüber den Buchen- und Eichenbeständen relativ hoch. Unter den Flächenpaaren ist der Unterschied zwischen der Humusheterogenität bei Eiche demnach am größten und das, obwohl die Standortverhältnisse beider Bestände ausgesprochen ähnlich sind.

Die höhere Variabilität des Humusgehaltes in den Naturwäldern von Buche und Eiche könnte auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass der Hauptanteil des Feinwurzelsystems durch relativ wenige großkronige Uraltbäume gebildet wurde. Nach dem Absterben der Bäume (und Wurzeln) sind die Humusgehalte hier aufgrund des typischen Herzwurzelsystems mit hoher Wurzeldichte in Stammnähe (ANDERS ET AL., 2004) lokal erhöht, während die weiträumigen Zwischenstamm-bereiche nur auf vergleichsweise niedrigem Niveau durchwurzelt waren und hier weniger Humus gebildet wurde. In bewirtschafteten Buchen- und Eichenwäldern mit homogenen Strukturen sind die Variationen von Durchwurzlung und Humusgehalt demnach aufgrund der optimierten Bestockungsdichten der einschichtigen Bestände geringer.

Der Eichen-Naturwald wird im Blick auf die Variabilität des Humusgehaltes nur vom Kiefern-Wirtschaftswald überboten. Bis 10 cm Tiefe weist auch der Kiefern-Naturwald höhere Humus-Heterogenitäten auf. Diese Diversität im Oberboden von Kiefernbeständen hängt sehr wahrscheinlich mit dem oberflächennahen Feinwurzelsystem der Kiefer zusammen. Gegenüber dem Wirtschaftswald ist im Kiefern-Naturwald eine höhere Heterogenität nur in den oberen 10 cm festzustellen (Abb. 4.12c, Seite 49), was mit dem Verlauf des pH-Heterogenitäts-Profil übereinstimmt (Abschn. 4.4.2). Dieser Tiefenbereich weist im Naturwald einen höheren Humusanteil auf, als im schwach entwickelten Boden (Regosol) des Wirtschaftswaldes. Wegen des extensiven, sehr weit reichenden Wurzelsystems der Kiefern lässt sich im Stammbereich keine deutliche Erhöhung der Feinwurzeldichte feststellen (HORNSCHUCH ET AL., 2007). Damit ergibt sich auch keine höhere Variabilität des Humusgehaltes, die auf das Vorhandensein von Altkiefern in Naturwäldern zurückgeführt werden könnte.

4.4.3.2 Räumliche Muster des Humusgehaltes

Bezüglich des Humusgehaltes ist die Streuung der Punkte im Variogramm wesentlich größer als beim pH-Wert. Das bedeutet, dass die räumlichen Muster und Interkorrelationen schwächer ausgebildet sind. Auch der Nuggeteffekt ist insgesamt gesehen viel größer. Eine Tendenz zwischen den Baumarten oder der Hemerobie (Natürlichkeit) ist nicht erkennbar (Tab. 4.12, Seite 52).

In den jeweiligen Naturwäldern der Buchen- und Eichenbestände zeigen sich gegenüber der bewirtschafteten Fläche in nahezu allen Tiefenstufen (Abb. 4.14, Seite 50) größere Autokorrelationslängen des Humusanteils, was möglicherweise daran liegt, dass flächige Störungen seltener auftreten (längere Standzeiten, kein sofortiges Nachpflanzen in Lücken, keine gleichmäßige Boden-

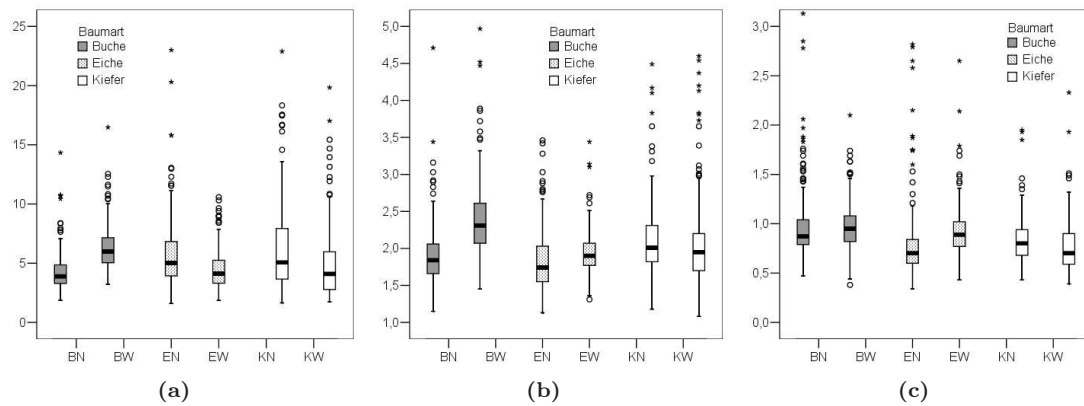


Abbildung 4.11: Humusgehalt in % in verschiedenen Tiefenstufen 0-5 cm, 10-15 cm und 30-40 cm

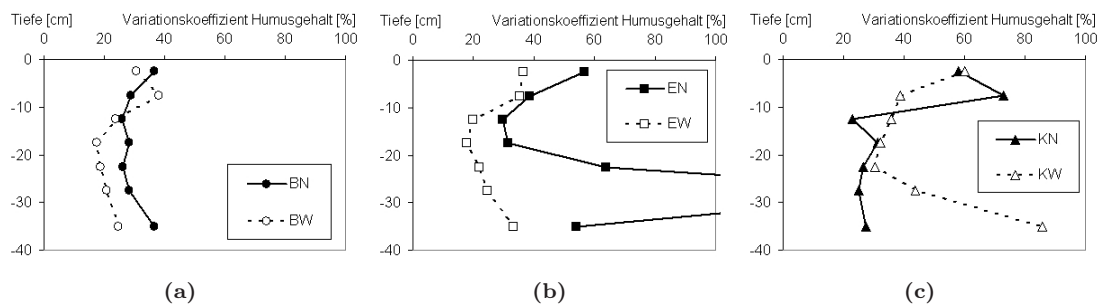


Abbildung 4.12: Variationskoeffizient des Humusgehaltes in verschiedenen Tiefen der Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände in %

bearbeitung). Die Autokorrelationslänge im Buchen-Naturwald nimmt ein Mehrfaches des entsprechenden Wertes im Buchen-Wirtschaftswald an (Abb. 4.13, Seite 50). Auch in anderen Tiefenstufen ist die Autokorrelationslänge des Buchen-Wirtschaftswaldes vergleichsweise gering (Abb. 4.14, Seite 50).

Anders als beim pH-Wert besteht im Kiefern-Naturwald für den Humusgehalt besonders im Oberboden eine geringere (kürzere) Erhaltungsneigung (um 3,50 m) als im Kiefern-Wirtschaftswald (bis 20 m!). In diesem Naturwald-Fall ist die hohe Variabilität des Humusgehaltes also mit kurzen Ranges verbunden. Dieses Ergebnis weicht von der Erwartung ab, korrespondiert aber mit der Kenntnis der Feinwurzelverteilung und könnte an dem sehr homogenen Bestandesaufbau in Verbindung mit einem geringen Humusgehalt liegen. Im Naturwald konnte – trotz des extensiven Kiefernwurzelsystems – die Feinwurzelmasse am besten in Beziehung zur Bestandesstruktur gestellt werden, wenn nur die Strukturparameter des unmittelbaren Umkreises ($r < 4$ m) berücksichtigt wurden (HORNSCHUCH und RIEK (2006a); HORNSCHUCH ET AL. (2007)). Während hier ein größerer Suchkreisradius das Ergebnis eher verschlechterte, wurden im Kiefern-Wirtschaftswald bei Berücksichtigung der Stammabstände und -dimensionen für alle Bäume mit $r < 10$ m die straffesten Korrelationen gefunden. Wahrscheinlich besteht eine räumliche Beziehung, weil Wurzeldichte und Humusgehalt deutlich positiv korreliert sind. Ähnlich wie die Ahe-Mächtigkeit scheinen die nichtmodellierbaren oder hohen range-Werte für den Humusgehalt im Oberboden der Kiefernbestände ein Spezifikum eines stärker podsoligen und humusarmen Horizontes zu sein. Allerdings sind sowohl im Natur- als auch im Wirtschaftswald die Autokorrelationslängen der Feinwurzel-dichte gering. Der Nuggeteffekt ist mit ca. 70 % relativ groß.

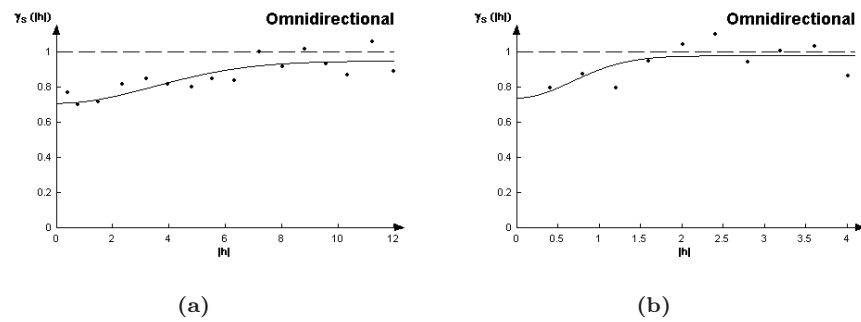


Abbildung 4.13: (a) Variogramm des Humusgehaltes in 0-5 cm in Fläche BN;
(b) Variogramm des Humusgehaltes in 0-5 cm in Fläche BW

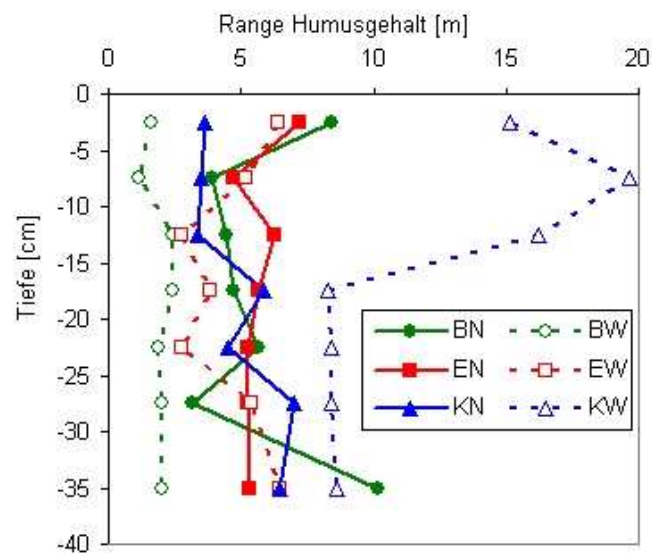


Abbildung 4.14: Autokorrelationslängen (range) des Humusgehaltes in verschiedenen Bodentiefen

Tabelle 4.11: Häufigkeitsverteilung des Humusgehaltes in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	alle	221	221	221	221	221	221
Mittelwert	0-5	4,31	6,30	5,84	4,51	6,33	4,90
	5-10	2,47	3,48	2,53	2,46	2,60	2,26
	10-15	1,91	2,41	1,85	1,97	2,10	2,09
	15-20	1,59	1,89	1,52	1,77	2,12	1,74
	20-25	1,35	1,56	1,33	1,54	1,64	1,41
	25-30	1,14	1,28	1,21	1,29	1,22	1,11
	30-40	0,98	0,97	0,81	0,94	0,84	0,81
Median	0-5	3,89	5,98	5,02	4,11	5,06	4,09
	5-10	2,33	3,12	2,32	2,29	2,29	2,01
	10-15	1,84	2,31	1,74	1,90	2,01	1,95
	15-20	1,51	1,87	1,42	1,73	2,02	1,68
	20-25	1,29	1,54	1,21	1,49	1,57	1,36
	25-30	1,08	1,27	0,99	1,26	1,17	1,01
	30-40	0,88	0,95	0,70	0,89	0,80	0,70
Variations koeffizient	0-5	36,67	30,66	56,63	36,39	58,07	59,98
	5-10	28,93	37,99	38,72	35,38	73,05	38,77
	10-15	26,00	23,68	29,81	19,80	22,85	35,71
	15-20	28,19	17,63	31,42	17,94	31,31	32,01
	20-25	26,27	18,70	63,90	22,08	26,54	30,26
	25-30	28,17	20,76	180,74	24,66	24,97	43,74
	30-40	36,62	24,70	54,07	33,19	27,43	85,65
Schiefe	0-5	2,39	1,35	3,39	1,26	1,56	1,86
	5-10	2,52	3,28	5,40	6,37	8,03	3,24
	10-15	4,22	2,44	5,54	4,50	1,78	3,44
	15-20	3,67	0,79	3,97	1,47	5,32	5,60
	20-25	2,53	0,67	10,76	1,95	1,28	1,55
	25-30	2,63	0,87	14,00	1,54	1,37	2,84
	30-40	2,84	0,99	3,60	3,91	1,64	10,51
Spannweite	0-5	12,48	13,27	28,98	8,73	21,24	18,12
	5-10	5,69	10,09	10,87	10,29	21,56	7,34
	10-15	5,10	4,78	6,42	4,38	3,31	6,34
	15-20	3,91	2,12	4,66	2,50	7,82	6,65
	20-25	3,00	1,87	11,91	2,94	3,57	3,07
	25-30	2,35	1,98	32,25	2,47	2,09	3,82
	30-40	2,66	1,72	3,06	3,11	1,52	9,46
Minimum	0-5	1,86	3,21	1,59	1,85	1,65	1,72
	5-10	1,50	1,85	1,16	1,37	1,23	1,21
	10-15	1,15	1,45	1,13	1,31	1,18	1,08
	15-20	0,92	1,01	0,83	1,02	1,05	0,90
	20-25	0,67	0,81	0,69	0,75	0,42	0,53
	25-30	0,67	0,59	0,55	0,60	0,68	0,41
	30-40	0,47	0,38	0,34	0,43	0,43	0,39
Maximum	0-5	14,34	16,48	30,57	10,58	22,89	19,84
	5-10	7,19	11,94	12,03	11,66	22,79	8,55
	10-15	6,25	6,23	7,55	5,69	4,49	7,42
	15-20	4,83	3,13	5,49	3,52	8,87	7,55
	20-25	3,67	2,68	12,60	3,69	3,99	3,60
	25-30	3,02	2,57	32,80	3,07	2,77	4,23
	30-40	3,13	2,10	3,40	3,54	1,95	9,85

Tabelle 4.12: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Vario-
gramme des Humusgehaltes

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	217	218	217	217	216	216
	5-10	216	218	219	216	219	215
	10-15	218	217	220	218	216	216
	15-20	217	218	218	219	219	218
	20-25	216	218	215	218	219	218
	25-30	217	219	215	216	218	216
	30-40	217	218	214	218	218	218
Range	0-5	8,40	1,64	7,20	6,40	3,62	15,12
	5-10	3,89	1,15	4,70	5,18	–	19,68
	10-15	4,44	2,42	6,24	2,79	3,34	16,20
	15-20	4,74	2,42	5,64	3,81	5,83	8,28
	20-25	5,67	1,86	5,22	2,75	4,54	8,40
	25-30	3,18	2,03	–	5,39	7,03	8,40
	30-40	10,20	2,03	5,35	6,48	6,48	8,64
Nuggeteff. (standard isiert)	0-5	0,71	0,74	0,90	0,81	0,56	0,79
	5-10	0,41	0,54	0,84	0,70	–	0,58
	10-15	0,60	0,71	0,75	0,67	0,62	0,80
	15-20	0,70	0,73	0,62	0,67	0,57	0,74
	20-25	0,65	0,66	0,72	0,82	0,60	0,80
	25-30	0,69	0,61	–	0,75	0,55	0,67
	30-40	0,45	0,20	0,83	0,60	0,79	0,69
Sill (standard isiert)	0-5	0,24	0,24	0,09	0,20	0,45	0,12
	5-10	0,61	0,47	0,18	0,31	–	0,46
	10-15	0,41	0,35	0,31	0,34	0,41	0,25
	15-20	0,32	0,33	0,39	0,37	0,36	0,30
	20-25	0,36	0,33	0,33	0,18	0,35	0,23
	25-30	0,37	0,39	–	0,27	0,48	0,37
	30-40	0,66	0,75	0,19	0,39	0,28	0,32
Nuggeteff. (nicht standard isiert)	0-5	–	–	–	–	4,40	3,93
	5-10	0,15	–	–	0,15	–	0,17
	10-15	0,05	0,14	–	0,05	0,08	–
	15-20	0,05	0,06	–	–	0,10	0,07
	20-25	–	0,04	–	–	0,10	0,09
	25-30	–	0,04	–	0,05	0,04	0,07
	30-40	0,04	0,01	–	0,03	0,02	0,03
Sill (nicht standard isiert)	0-5	–	–	–	–	6,87	1,77
	5-10	0,08	–	–	0,07	–	0,25
	10-15	0,06	0,07	–	0,02	0,06	–
	15-20	0,03	0,04	–	–	0,09	0,05
	20-25	–	0,03	–	–	0,07	0,05
	25-30	–	0,02	–	0,03	0,05	0,04
	30-40	0,04	0,03	–	0,02	0,02	0,01

4.4.4 Kationenaustauschkapazität, Basensättigung und Sättigungsgrade einzelner Elemente

Gemäß Projektentwurf war nur an den Proben der Wirtschaftswälder BW, EW und KW eine Analyse der AKe und Elementsättigungen vorgesehen (Tab. 4.2, Seite 35). Für den Kiefern-Naturwald (KN) konnte eine Bearbeitung im Rahmen der Projektlaufzeit und -mittel zusätzlich ermöglicht werden. Außerdem wurden im Zusammenhang einer Diplomarbeit über die Regenwurmfauna die AKe und die Elementsättigungen an den 0-5cm-Proben der 49 Intensiv-Untersuchungs-Punkte der Flächen BN und BW ermittelt. Da der Probeabstand dieser Punkte entlang der Transekte 3,20 m beträgt, konnten allerdings keine geostatistischen Berechnungen mit der gewünschten Auflösung erfolgen. Obwohl diese Werte in den folgenden Tabellen über die Häufigkeitsverteilung mit aufgenommen wurden, muss beim Vergleich der Streuungsmaße (z.B. Variationskoeffizient) mit den 0-5cm-Proben der Bestände BW, EW, KN und KW berücksichtigt werden, dass sich eine relativ hohe Variabilität auch aus der geringeren Stichprobenzahlen ergeben kann ($n = 49$ gegenüber $n = 221$).

4.4.4.1 Variabilität von Kationenaustauschkapazität und Sättigungsgraden

Kationenaustauschkapazität Die Kationenaustauschkapazität ist in Sandböden im Wesentlichen an die Humussubstanz gebunden. Genau wie bei dieser ist die Variabilität der AKe in den Kiefernbeständen KN und KW am höchsten (Tab. 4.13, Seite 53, Abb. 4.15a, Seite 55). In der Regel ist die Streuung in der ersten (0-5 cm) und untersten Tiefenstufe (30-40 cm) größer als im mittleren Bereich. Im Buchenbestand BW unterliegt der Variationskoeffizient innerhalb der Untersuchungstiefe jedoch keiner größeren Veränderung.

Tabelle 4.13: Häufigkeitsverteilung der Kationenaustauschkapazität in $\mu\text{mol/g}$ Boden

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	3,161	3,004	2,593	2,162	2,283	2,205
	10-15	-	1,746	-	1,55	1,333	1,449
	30-40	-	0,953	-	0,816	0,472	0,562
Median	0-5	2,711	2,986	2,305	2,104	1,959	1,963
	10-15	-	1,707	-	1,531	1,338	1,427
	30-40	-	0,942	-	0,739	0,44	0,521
Variations- koeffizient	0-5	48,67	18,95	35,75	18,48	41,89	37,91
	10-15	-	17,05	-	17,39	19,44	24,61
	30-40	-	17,32	-	34,33	30,9	30,93
Schiefe	0-5	3,167	0,645	2,849	1,038	1,696	1,471
	10-15	-	1,48	-	0,487	0,634	1,679
	30-40	-	0,809	-	3,974	1,96	3,391
Spannweite	0-5	8,688	2,759	4,66	2,182	6,051	4,599
	10-15	-	2,448	-	1,789	1,831	2,861
	30-40	-	1,104	-	2,347	1,026	1,639
Minimum	0-5	1,878	2,014	1,647	1,409	0,459	1,046
	10-15	-	1,082	-	0,9	0,733	0,682
	30-40	-	0,533	-	0,463	0,28	0,31
Maximum	0-5	10,566	4,773	6,307	3,591	6,51	5,645
	10-15	-	3,531	-	2,689	2,564	3,544
	30-40	-	1,637	-	2,809	1,306	1,949

Sättigungen basisch reagierender Elemente Auch die Basensättigung variiert in den Kiefernbeständen KN und KW am stärksten, sieht man von den hohen Streuungsmaßen im Eichen- (und Buchen-) Naturwald ab, die möglicherweise durch eine vergleichsweise geringe Stichprobenzahl ($n = 49$ gegenüber 221) verursacht wird (Tab. 4.14, Seite 54, Abb. 4.15b, Seite 55).

Während die Buchenbestände gut mit Calcium versorgt sind, finden sich sehr niedrige Sättigungen in EW. Die Sättigung mit Magnesium nimmt von den Buchen- über die Eichen- zu den Kiefernbeständen ab, wobei der Regosol-Podsol der Fläche KW die niedrigsten Werte aufweist. Die Böden der Kiefernbestände zeichnen sich durch eine geringe Verfügbarkeit von Kalium aus, während die Werte für Natrium hier besonders hoch sind.

Im Oberboden (0-5 cm) ist die Variabilität der basischen Kationen Ca, Mg, K und Na in den Buchenbeständen BN und BW am geringsten (Tab. 4.15, Seite 55 bis 4.18, Seite 57, Abb. 4.15c, Seite 55 bis 4.16c, Seite 57). In den Buchenbeständen übersteigt mit zunehmender Tiefe (10-15, 30-40 cm) die Variabilität aber die Streuung der Sättigungswerte von EW und sogar KN und KW. Die hohe Na-Variabilität im Unterboden aller Bestände liegt an seiner hohen Mobilität (Auswaschung) und ist wahrscheinlich auch methodisch bedingt (Nachweisgrenze).

Tabelle 4.14: Häufigkeitsverteilung der Basensättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	51,59	38,48	24,87	14,95	22,66	20,81
	10-15	-	12,40	-	8,05	10,43	7,42
	30-40	-	11,30	-	10,45	12,05	9,13
Median	0-5	46,78	36,85	19,34	13,71	20,89	19,87
	10-15	-	11,39	-	7,60	8,90	6,94
	30-40	-	10,77	-	9,39	10,56	8,81
Variations- koeffizient	0-5	36,90	32,66	60,28	35,93	42,20	37,35
	10-15	-	42,00	-	27,48	45,31	37,93
	30-40	-	28,84	-	47,91	49,15	23,67
Schiefe	0-5	0,80	0,51	1,42	1,74	0,70	0,75
	10-15	-	3,70	-	1,38	1,29	3,02
	30-40	-	4,03	-	3,62	2,85	1,85
Spannweite	0-5	73,21	61,39	66,76	34,72	49,29	43,96
	10-15	-	41,42	-	12,96	26,55	21,32
	30-40	-	29,77	-	38,80	37,23	18,97
Minimum	0-5	25,30	14,27	8,54	7,06	6,78	6,52
	10-15	-	5,58	-	4,37	4,36	4,01
	30-40	-	6,59	-	4,00	5,85	4,16
Maximum	0-5	98,51	75,66	75,31	41,79	56,07	50,48
	10-15	-	46,99	-	17,33	30,92	25,33
	30-40	-	36,36	-	42,80	43,08	23,14

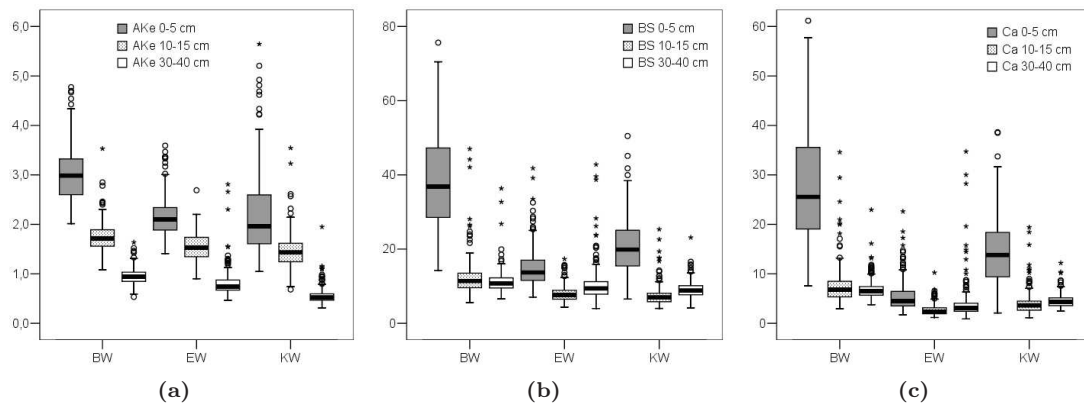


Abbildung 4.15: Tiefenstufen 0-5 cm (jeweils linke Box), 10-15 cm (jeweils mittlere Box) und 30-40 cm (jeweils rechte Box) der Wirtschaftswald-Flächen BW, EW, KW; (a) Kationenaustauschkapazität $\mu\text{mol/g}$ Boden, (b) Basensättigung in %, (c) Calcium-Sättigung in %

Tabelle 4.15: Häufigkeitsverteilung der Calciumsättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	39,51	27,54	14,96	5,46	14,78	14,44
	10-15	-	7,65	-	2,69	6,32	4,02
	30-40	-	6,87	-	4,06	6,23	4,55
Median	0-5	33,76	25,55	9,95	4,51	12,90	13,81
	10-15	-	6,75	-	2,39	5,29	3,63
	30-40	-	6,51	-	3,08	5,11	4,38
Variations- koeffizient	0-5	47,46	40,29	86,06	57,91	56,96	47,32
	10-15	-	51,35	-	43,00	58,46	60,19
	30-40	-	30,81	-	98,81	68,47	31,59
Schiefe	0-5	0,97	0,52	1,77	2,09	0,76	0,78
	10-15	-	3,30	-	2,24	1,21	3,30
	30-40	-	2,91	-	5,01	3,01	1,65
Spannweite	0-5	71,71	53,60	57,90	20,90	40,32	36,55
	10-15	-	31,68	-	9,08	19,32	18,27
	30-40	-	19,20	-	33,85	26,55	9,76
Minimum	0-5	15,76	7,57	3,10	1,71	2,09	2,09
	10-15	-	2,91	-	1,16	1,60	1,13
	30-40	-	3,76	-	0,88	2,24	2,45
Maximum	0-5	87,46	61,17	60,99	22,62	42,40	38,64
	10-15	-	34,59	-	10,25	20,92	19,40
	30-40	-	22,96	-	34,73	28,79	12,20

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

Tabelle 4.16: Häufigkeitsverteilung der Magnesiumsättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	5,84	5,95	4,68	4,17	3,57	2,51
	10-15	-	1,95	-	1,57	1,33	0,95
	30-40	-	1,27	-	1,50	0,98	0,59
Median	0-5	5,71	5,69	4,31	3,92	3,32	2,28
	10-15	-	1,65	-	1,44	1,09	0,86
	30-40	-	1,11	-	1,30	0,67	0,47
Variations- koeffizient	0-5	34,99	30,49	43,42	36,04	36,22	38,66
	10-15	-	63,06	-	37,70	50,84	38,37
	30-40	-	68,24	-	49,32	99,12	47,25
Schiefe	0-5	2,92	1,51	0,85	1,29	1,05	1,26
	10-15	-	6,45	-	2,13	1,51	2,24
	30-40	-	6,64	-	3,43	3,39	2,05
Spannweite	0-5	13,50	11,97	7,51	9,20	9,32	5,05
	10-15	-	13,04	-	4,42	3,91	2,37
	30-40	-	9,56	-	5,73	6,34	1,85
Minimum	0-5	2,74	2,55	1,76	1,77	0,45	1,12
	10-15	-	1,10	-	0,71	0,55	0,46
	30-40	-	0,27	-	0,66	0,32	0,26
Maximum	0-5	16,25	14,52	9,27	10,98	9,77	6,17
	10-15	-	14,13	-	5,12	4,46	2,83
	30-40	-	9,83	-	6,39	6,66	2,11

Tabelle 4.17: Häufigkeitsverteilung der Kaliumsättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	5,73	4,26	4,52	4,63	2,99	2,84
	10-15	-	1,96	-	3,07	1,44	1,60
	30-40	-	1,77	-	3,66	2,39	2,51
Median	0-5	5,78	4,08	4,06	4,56	2,86	2,72
	10-15	-	1,84	-	2,94	1,34	1,58
	30-40	-	1,48	-	3,42	2,34	2,60
Variations- koeffizient	0-5	24,41	22,77	36,40	31,19	30,54	30,33
	10-15	-	42,63	-	31,22	30,56	27,40
	30-40	-	90,18	-	38,22	40,98	33,54
Schiefe	0-5	-0,38	0,96	1,73	1,09	0,73	1,38
	10-15	-	1,37	-	0,91	1,09	0,53
	30-40	-	10,05	-	1,86	2,32	-0,21
Spannweite	0-5	7,49	6,05	8,89	9,43	5,78	5,74
	10-15	-	5,94	-	5,37	2,15	2,44
	30-40	-	22,02	-	10,34	9,57	5,59
Minimum	0-5	1,92	2,37	2,48	2,02	0,56	1,10
	10-15	-	0,59	-	1,45	0,69	0,63
	30-40	-	0,29	-	1,18	0,45	0,43
Maximum	0-5	9,41	8,42	11,37	11,45	6,33	6,84
	10-15	-	6,54	-	6,82	2,84	3,07
	30-40	-	22,31	-	11,52	10,02	6,01

Tabelle 4.18: Häufigkeitsverteilung der Natriumsättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	0,52	0,73	0,71	0,69	1,32	1,02
	10-15	-	0,84	-	0,72	1,34	0,85
	30-40	-	1,40	-	1,24	2,46	1,47
Median	0-5	0,53	0,71	0,60	0,66	1,20	0,99
	10-15	-	0,82	-	0,67	1,18	0,77
	30-40	-	1,33	-	1,11	2,12	1,27
Variations- koeffizient	0-5	30,44	33,48	48,65	35,65	35,82	28,92
	10-15	-	30,35	-	37,13	45,57	34,62
	30-40	-	60,31	-	41,66	54,77	52,65
Schiefe	0-5	0,04	0,89	3,42	3,03	1,35	1,32
	10-15	-	1,31	-	1,55	2,98	1,60
	30-40	-	0,44	-	1,08	1,43	1,40
Spannweite	0-5	0,64	1,25	2,23	2,39	3,01	1,92
	10-15	-	1,91	-	1,50	5,06	1,83
	30-40	-	3,68	-	2,76	7,75	4,47
Minimum	0-5	0,20	0,33	0,28	0,32	0,57	0,53
	10-15	-	0,35	-	0,31	0,59	0,44
	30-40	-	0,10	-	0,32	0,52	0,39
Maximum	0-5	0,84	1,58	2,50	2,71	3,58	2,46
	10-15	-	2,26	-	1,82	5,65	2,27
	30-40	-	3,78	-	3,08	8,27	4,86

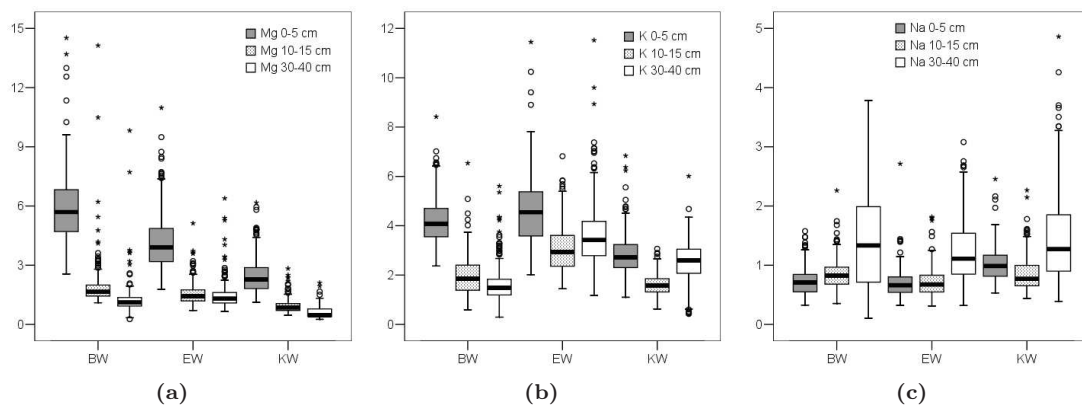


Abbildung 4.16: Tiefenstufen 0-5 cm (jeweils linke Box), 10-15 cm (jeweils mittlere Box) und 30-40 cm (jeweils rechte Box) der Wirtschaftswald-Flächen BW, EW, KW; (a) Magnesium-Sättigung in %, (b) Kalium-Sättigung in %, (c) Natrium-Sättigung in %

Sättigungen sauer reagierender Elemente Bei den mittleren Sättigungen und Variabilitäten der sauer reagierenden Elemente Aluminium, Eisen und Mangan ergibt sich ein differenzierteres Bild (Tab. 4.19, Seite 58 bis 4.21, Seite 59, Abb. 4.17, Seite 60). Während die Al-Sättigung, die in den Buchenbeständen am niedrigsten und im Bestand EW am höchsten ist, mit zunehmender Tiefe ansteigt, liegen die Konzentrationen von Fe und Mn im Oberboden höher als in der Tiefe. In der Reihe Bu - Ei - Ki nimmt die Fe-Sättigung zu und die von Mn ab. Der Sättigungsgrad von Fe streut in den Buchenbeständen am stärksten, von Mn in den Eichen- und Kiefernbeständen. Die Aluminiumsättigung weist im Gegensatz zu allen anderen Elementen eine linksschiefe Häufigkeitsverteilung auf.

Tabelle 4.19: Häufigkeitsverteilung der Aluminiumsättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	34,20	47,65	62,48	69,94	59,55	57,80
	10-15	-	79,45	-	86,21	80,65	81,17
	30-40	-	85,22	-	87,35	87,49	86,51
Median	0-5	35,47	49,25	66,16	70,59	60,24	58,19
	10-15	-	80,53	-	86,75	81,71	83,09
	30-40	-	85,75	-	88,47	88,80	86,60
Variations- koeffizient	0-5	52,16	27,96	24,00	9,14	18,32	14,50
	10-15	-	7,85	-	4,66	9,26	8,42
	30-40	-	4,28	-	6,67	6,61	3,39
Schiefe	0-5	-0,36	-0,39	-1,20	-0,96	-0,13	-0,36
	10-15	-	-2,39	-	-1,29	-0,92	-2,01
	30-40	-	-3,18	-	-3,79	-2,49	-1,04
Spannweite	0-5	59,24	64,04	68,71	36,24	61,29	48,90
	10-15	-	47,62	-	24,01	44,78	49,18
	30-40	-	31,17	-	49,41	38,03	19,76
Minimum	0-5	0,54	14,32	14,21	45,46	28,26	29,53
	10-15	-	42,27	-	69,65	48,61	41,13
	30-40	-	59,36	-	45,52	56,00	71,88
Maximum	0-5	59,78	78,36	82,92	81,70	89,55	78,43
	10-15	-	89,89	-	93,66	93,39	90,31
	30-40	-	90,53	-	94,93	94,03	91,65

Tabelle 4.20: Häufigkeitsverteilung der Eisensättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	1,17	3,36	4,42	6,07	4,75	6,47
	10-15	-	0,91	-	3,40	3,65	5,38
	30-40	-	0,34	-	0,89	1,15	1,41
Median	0-5	0,77	3,22	5,00	5,99	4,67	6,04
	10-15	-	0,66	-	3,05	3,50	5,07
	30-40	-	0,30	-	0,88	1,12	1,33
Variations- koeffizient	0-5	88,89	47,47	38,36	20,53	23,17	28,26
	10-15	-	90,82	-	51,70	45,12	43,76
	30-40	-	54,42	-	29,84	37,70	38,40
Schiefe	0-5	1,62	0,28	-0,84	0,50	0,23	0,58
	10-15	-	4,28	-	0,71	0,44	1,60
	30-40	-	5,18	-	0,68	0,90	3,68
Spannweite	0-5	4,49	7,95	5,81	9,84	8,31	9,74
	10-15	-	7,53	-	8,66	8,65	20,23
	30-40	-	2,10	-	1,79	2,70	4,96
Minimum	0-5	0,15	0,51	0,66	1,28	0,82	2,56
	10-15	-	0,21	-	0,63	0,70	1,09
	30-40	-	0,09	-	0,27	0,26	0,27
Maximum	0-5	4,64	8,46	6,47	11,12	9,13	12,29
	10-15	-	7,73	-	9,29	9,34	21,32
	30-40	-	2,19	-	2,06	2,96	5,23

Tabelle 4.21: Häufigkeitsverteilung der Mangansättigung in %

	Tiefe cm	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	0-5	48	220	48	219	212	220
	10-15	-	221	-	219	221	221
	30-40	-	221	-	218	221	221
Mittelwert	0-5	9,77	5,69	1,89	0,75	0,35	0,16
	10-15	-	4,40	-	0,66	1,10	0,69
	30-40	-	1,88	-	0,69	0,73	0,62
Median	0-5	9,65	5,01	1,06	0,56	0,23	0,11
	10-15	-	4,25	-	0,52	0,85	0,53
	30-40	-	1,83	-	0,38	0,55	0,48
Variations- koeffizient	0-5	53,62	54,79	138,65	79,14	93,81	120,98
	10-15	-	44,19	-	63,87	80,27	74,72
	30-40	-	39,23	-	157,72	85,70	85,65
Schiefe	0-5	0,89	1,18	4,31	3,41	2,33	6,35
	10-15	-	0,69	-	1,54	1,70	1,12
	30-40	-	0,54	-	6,47	2,26	3,64
Spannweite	0-5	26,46	16,01	16,23	4,93	1,91	2,17
	10-15	-	10,63	-	2,49	5,58	2,44
	30-40	-	3,48	-	11,84	3,83	4,80
Minimum	0-5	0,72	0,96	0,45	0,16	0,03	0,03
	10-15	-	0,92	-	0,11	0,04	0,04
	30-40	-	0,68	-	0,06	0,08	0,03
Maximum	0-5	27,19	16,97	16,67	5,09	1,94	2,20
	10-15	-	11,55	-	2,60	5,61	2,48
	30-40	-	4,16	-	11,90	3,91	4,83

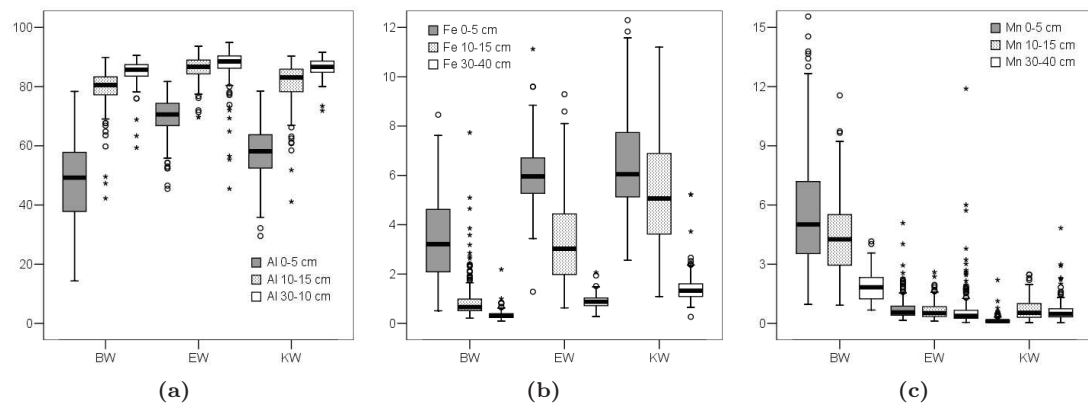


Abbildung 4.17: Tiefenstufen 0-5 cm (jeweils linke Box), 10-15 cm (jeweils mittlere Box) und 30-40 cm (jeweils rechte Box) der Wirtschaftswald-Flächen BW, EW, KW; (a) Aluminium-Sättigung in %, (b) Eisen-Sättigung in %, (c) Mangan-Sättigung in %

Räumliches Muster der Kationenaustauschkapazität und Sättigungsgrade Die Autokorrelationslänge der Kationenaustauschkapazität in der obersten Tiefenstufe ist im Eichen-Wirtschaftswald am kleinsten (2,91 m, Abb. 4.18b, Seite 62) und im Kiefern-Wirtschaftswald am größten (10,80 m, Abb. 4.18c, Seite 62, Tab. 4.22, Seite 61). Auffällig ist, dass der Kiefern-Naturwald eine sehr kleine Autokorrelationslänge im Oberboden aufweist, während sie in den tieferen Lagen von KN größer ist und stärker denen des Bestandes KW ähnelt. Im Allgemeinen beobachtet man einen Trend zu größeren Ranges in der Tiefe. Mit Ausnahme des hohen Wertes bei BW in 30-40 cm ergibt sich ein ähnliches räumliches Muster wie beim Humusgehalt. Bei der Basensättigung sind die Verhältnisse bezüglich Flächen und Tiefenstufen uneinheitlich (Tab. 4.22, Seite 61). Die Laubbaumbestände BW und EW zeichnen sich im Oberboden durch relativ große Ranges aus (Abb. 4.19a,b, Seite 62). Mit zunehmender Tiefe werden die Ranges kleiner, so dass die niedrigsten Werte in 30-40 cm in EW ermittelt wurden. Der Nuggeteffekt ist bei AKe und BS i.d.R. hoch und liegt nur in den Kiefernbeständen in 0-5 cm Tiefe deutlich unter 50. Im Unterboden des Bestandes KW sind die Autokorrelationslängen der Na- und K-Sättigung sehr hoch (Tab. 4.24, Seite 63). Sie hängen weniger mit den (historischen) Bestandesstrukturen zusammen, die sich auf den Unterboden durchgepaust und archiviert hätten. Bei Na kann das wegen der schwachen Austauscherbindung und hohen Mobilität dieses Elementes ausgeschlossen werden. Weiterhin ist die K-Sättigung am Austauscher durch die aktive Aufnahme sogar nicht austauschbaren Kaliums durch Pflanzenwurzeln starken Veränderungen unterworfen. Auch der Range der Fe-Sättigung in BW ist in 30-40 cm Tiefe sehr viel höher als im Oberboden, was nicht auf den Bestand, vielleicht aber auf früheren Grundwassereinfluss zurückgeführt werden kann (Tab. 4.25, Seite 63).

Tabelle 4.22: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Kationenaustauschkapazität und Basensättigung

	Tiefe cm	Kationenaustauschkapazität (AKe)				Basensättigung (BS)			
		BW	EW	KW	KN	BW	EW	KW	KN
Range	0-5	3,24	2,91	10,80	2,87	6,48	9,18	3,55	5,72
	10-15	5,67	1,52	10,92	8,46	7,20	4,62	5,68	5,25
	30-40	12,41	4,97	–	7,20	5,50	3,03	4,33	6,27
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,74	0,70	0,78	0,67	0,71	0,81	0,40	0,32
	10-15	0,68	0,40	0,70	0,58	0,83	0,80	0,70	0,70
	30-40	0,49	0,30	–	0,63	0,70	0,79	0,68	0,78
Sill (standardisiert)	0-5	0,23	0,28	0,22	0,31	0,31	0,20	0,62	0,80
	10-15	0,36	0,59	0,35	0,43	0,18	0,22	0,23	0,34
	30-40	0,51	0,67	–	0,45	0,30	0,23	0,33	0,18
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0-5	0,68	–	0,31	0,37	113,60	15,80	21,06	23,24
	10-15	0,04	0,03	0,05	0,03	–	–	–	11,80
	30-40	0,01	0,01	–	0,01	–	7,90	–	–
Sill (n. standardisiert)	0-5	0,31	–	0,23	0,32	46,40	4,40	33,48	73,04
	10-15	0,03	0,04	0,04	0,03	–	–	–	8,80
	30-40	0,02	0,02	–	0,01	–	2,70	–	–

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

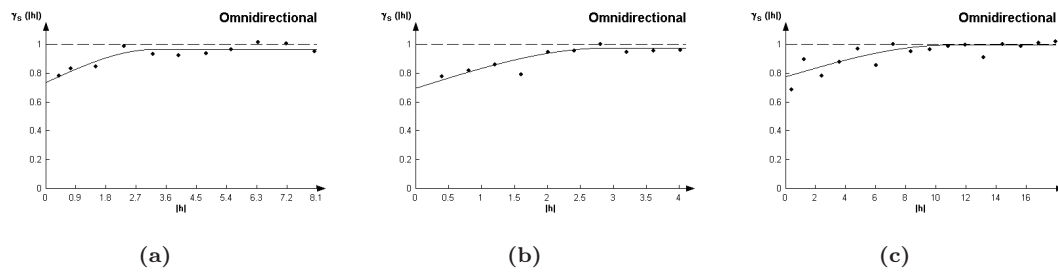


Abbildung 4.18: Variogramm für Kationenaustauschkapazität 0-5 cm; (a) Buchen-Wirtschaftswald, (b) Eichen-Wirtschaftswald, (c) Kiefern-Wirtschaftswald

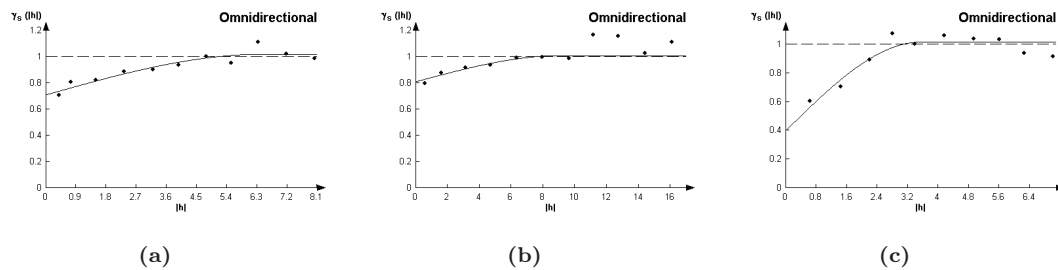


Abbildung 4.19: Variogramm für Basensättigung 0-5 cm; (a) Buchen-Wirtschaftswald, (b) Eichen-Wirtschaftswald, (c) Kiefern-Wirtschaftswald

Tabelle 4.23: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Calcium- und Magnesiumsättigung

	Tiefe cm	Calciumsättigung (Ca)				Magnesiumsättigung (BS)			
		BW	EW	KW	KN	BW	EW	KW	KN
Range	0-5	6,16	8,40	3,98	6,05	6,82	–	2,84	5,61
	10-15	7,70	7,20	4,69	5,68	5,68	4,76	–	–
	30-40	6,60	–	3,44	6,60	6,53	4,26	–	–
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,70	0,71	0,37	0,32	0,74	–	0,70	0,73
	10-15	0,82	0,63	0,68	0,65	0,50	0,73	–	–
	30-40	0,69	–	0,65	0,83	0,27	0,74	–	–
Sill (standardisiert)	0-5	0,31	0,29	0,66	0,79	0,28	–	0,30	0,37
	10-15	0,23	0,42	0,34	0,38	0,60	0,29	–	–
	30-40	0,30	–	0,30	0,13	0,87	0,27	–	–
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0-5	85,19	4,22	15,54	18,20	1,70	–	0,44	–
	10-15	–	0,66	1,86	–	–	–	–	–
	30-40	–	–	0,98	–	0,08	–	–	–
Sill (n. standardisiert)	0-5	32,39	2,31	27,30	54,60	0,58	–	0,30	–
	10-15	–	0,38	1,41	–	–	–	–	–
	30-40	–	–	0,34	–	0,17	–	–	–

Tabelle 4.24: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Kalium- und Natriumsättigung

	Tiefe cm	Kaliumsättigung (K)				Natriumsättigung (Na)			
		BW	EW	KW	KN	BW	EW	KW	KN
Range	0-5	6,46	4,97	4,47	3,69	23,28	3,03	4,05	7,10
	10-15	16,20	3,55	3,60 ^a	2,88	9,13	3,55	3,55	–
	30-40	9,48	4,19	39,78	4,32 ^a	–	2,77	33,60	–
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,53	0,70	0,83	0,78	(19,0 ^a)			
	10-15	0,62	0,64	0,41 ^a	0,50	0,52	0,76	0,60	–
	30-40	0,64	0,40	0,36	0,42 ^a	– (^a)	0,51	0,75	–
Sill (standardisiert)	0-5	0,49	0,30	0,18	0,22	0,60	0,49	0,24	0,67
	10-15	0,40	0,32	0,43 ^a	0,47	0,52	0,23	0,37	–
	30-40	0,38	0,70	0,79	0,50 ^a	– (^a)	0,42	0,35	–
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0-5	0,48	–	0,40	0,38	–	0,02	0,05	0,07
	10-15	0,26	–	0,0940 ^a	0,08	–	0,04	0,04	–
	30-40	0,34	0,60	0,25	0,3010 ^a	–	0,11	–	–
Sill (n. standardisiert)	0-5	0,38	–	0,16	0,16	–	0,02	0,02	0,15
	10-15	0,28	–	0,0660 ^a	0,07	–	0,01	0,02	–
	30-40	0,55	1,08	0,47	0,2729 ^a	–	0,14	–	–

^a Variogramm mit geschachtelter Struktur

Tabelle 4.25: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Aluminium- und Eisensättigung

	Tiefe cm	Aluminiumsättigung (Al)				Eisensättigung (Fe)			
		BW	EW	KW	KN	BW	EW	KW	KN
Range	0-5	5,99	8,88	6,00	5,89	7,92	5,68	8,40	2,84 ^a
	10-15	7,70	–	7,20	4,90	7,56	10,80	–	11,90
	30-40	7,70	3,83	4,26	3,55	43,12	3,55	8,40	–
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,79	0,74	0,37	0,37	0,80	0,61	0,60	0,39 ^a
	10-15	0,63	–	0,50	0,44	0,60	0,68	–	0,53
	30-40	0,65	0,70	0,47	0,65	0,54	0,63	0,70	–
Sill (standardisiert))	0-5	0,22	0,37	0,72	0,73	0,25	0,35	0,40	0,52 ^a
	10-15	0,36	–	0,55	0,54	0,47	0,42	–	0,55
	30-40	0,35	0,32	0,44	0,26	0,58	0,35	0,29	–
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0-5	129,60	25,92	39,60	37,19	–	0,22	–	0,4680 ^a
	10-15	14,49	–	21,84	20,28	0,12	1,61	–	1,20
	30-40	–	–	3,59	–	–	0,04	0,08	–
Sill (n. standardisiert)	0-5	44,99	17,64	74,40	85,20	–	0,45	–	0,4440 ^a
	10-15	4,83	–	29,64	30,68	0,17	2,39	–	1,61
	30-40	–	–	3,31	–	–	0,02	0,06	–

^a Variogramm mit geschachtelter Struktur

Tabelle 4.26: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Mangansättigung

	Tiefe cm	Mangansättigung (Mn)			
		BW	EW	KW	KN
Range	0-5	7,70	14,62	1,23	3,69
	10-15	5,35	5,04	7,32	8,40
	30-40	6,00	–	3,60	4,26
Nuggeteff. (standardisiert)	0-5	0,83	0,60	0,30	0,67
	10-15	0,30	0,60	0,66	0,71
	30-40	0,34	–	0,30	0,69
Sill (standardisiert)	0-5	0,19	0,48	0,70	0,40
	10-15	0,59	0,39	0,31	0,31
	30-40	0,59	–	0,67	0,31
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0-5	6,81	–	0,00	0,03
	10-15	0,83	–	0,14	0,36
	30-40	0,18	–	0,04	0,13
Sill (n. standardisiert)	0-5	1,99	–	0,01	0,03
	10-15	1,94	–	0,07	0,34
	30-40	0,29	–	0,06	0,15

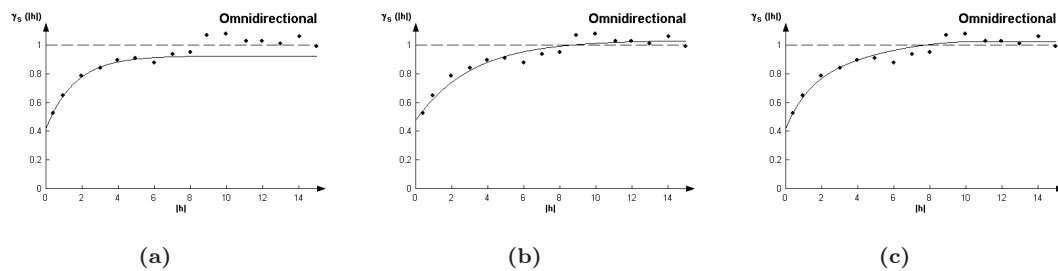


Abbildung 4.20: (a) Variogramm für K-Sättigung in 30-40 cm im Kiefern-Naturwald mit geschachtelter Struktur. Graf bei Berücksichtigung des Nahbereichs (exponentielles Modell), (b) wie (a), jedoch Graf bei Berücksichtigung der großräumigeren Struktur (exponentielles Modell), (c) wie (a), jedoch Graf ist an erste (exponentielles) und zweite Struktur (sphärisches Modell) angepasst, mit Range 4,05 m und 10,50 m

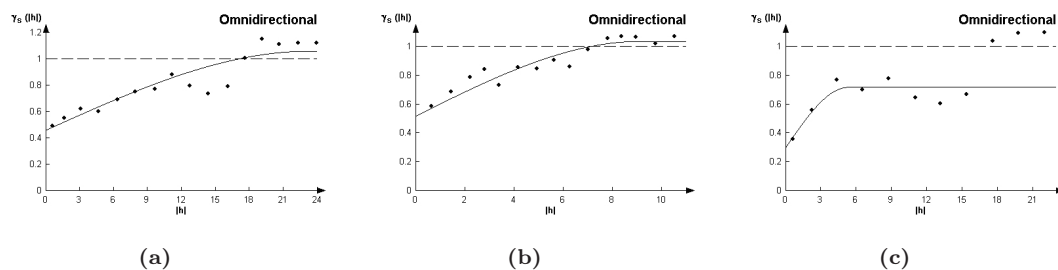


Abbildung 4.21: Variogramm für Na-Sättigung; (a) in 0-5 cm im Buchen-Wirtschaftswald, (b) in 10-15 cm im Buchen-Wirtschaftswald, (c) in 30-40 cm im Buchen-Wirtschaftswald mit geschachtelter Struktur

4.4.5 Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt sowie C/N-Verhältnis

Untersuchungen zur Variabilität und den räumlichen Muster des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes sowie des C/N-Verhältnisses erfolgten auf allen Untersuchungsflächen für die oberste Tiefenstufe bis -5 cm.

Über das Projektziel hinausgehend wurden auch die C- und N-Gehalte an den 10-15 cm- und 20-25 cm-Proben der 49 Intensiv-Untersuchungs-Punkte der Flächen BN, EN und KN ermittelt (Tab. 4.2, Seite 35). Diese Analysen wurden in Zusammenhang einer Diplomarbeit vorgenommen, durch die der Einfluss der Baumart und der Bodentiefe auf das Verhältnis von Humus- zu Kohlenstoffgehalt in Sandböden untersucht werden soll (BÖHLICK, 2008). Da der Probeabstand dieser Punkte entlang der Transekte 3,20 m beträgt, konnten hierfür jedoch keine geostatistischen Berechnungen mit der gewünschten Auflösung erfolgen. Diese Werte werden daher im folgenden Kapitel nicht, dafür aber in Abschn. 4.7 berücksichtigt, wo der Zusammenhang zwischen Humus-, C- und N-Gehalt in Abhängigkeit von der Bodentiefe beleuchtet wird.

4.4.5.1 Variabilität der C- und N-Gehalte sowie des C/N-Verhältnisses

Entsprechend der Flächenauswahl war eine Verringerung des Stickstoffgehaltes und eine Erweiterung des C/N-Verhältnisses von den Buchen- über die Eichen hin zu den Kiefernbeständen zu erwarten. Der mittlere N-Gehalt im Oberboden (0-5 cm) des Kiefernbestandes KN ist jedoch relativ hoch und sein C/N-Verhältnis enger als die Werte beider Eichenbestände (Tab. 27-28). Mit Ausnahme des Bestandes BN mit hohem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt, aber geringer Variabilität, besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Mittelwert und Variationskoeffizient (Tab. 4.27, Seite 66, Abb. 4.22a, Seite 67). Die Variabilität ist in den Buchenbeständen und dem Eichen-Wirtschaftswald relativ gering und in den Kiefernbeständen sehr hoch.

Ähnlich sind die Verhältnisse bezüglich des Stickstoffgehaltes, dessen höchste Schwankung im Eichen-Naturwald festgestellt wurde und darin von den Kiefernbeständen gefolgt wird (Tab. 4.27, Seite 66, Abb. 4.22b, Seite 67). Ein Zusammenhang zwischen Mittelwert und Variabilität besteht indes nicht.

Die Variationskoeffizienten für das C/N-Verhältnis sind auf jeder Fläche geringer als die der entsprechenden C- und N-Gehalte (Tab. 4.27, Seite 66, Abb. 4.22c, Seite 67). Die geringste Variabilität weist der Buchenbestand BN, und die höchste der Eichen-Naturwald und Kiefern-Wirtschaftswald auf. Im Flächenvergleich erhöhen sich die Variationskoeffizienten, je weiter das mittlere C/N-Verhältnis ist. Die Kiefernbestände weisen überraschend geringe C/N-Werte auf, offenbar ist die allgemeine Immissionsbelastung auch in sehr ausgedehnten bzw. relativ zivilisationsfernen Waldgebieten (z.B. innere Schorfheide mit KN) wirksam und beeinflusst den lokalen Bodenchemismus.

4.4.5.2 Räumliches Muster des C- und N-Gehaltes sowie des C/N-Verhältnisses

Im Hinblick auf die Autokorrelationslängen der C- und N-Gehalte sowie des C/N-Verhältnisses sind Flächen mit der gleichen Baumart nicht zwangsläufig ähnlicher, als Flächen mit unterschiedlicher Bestockung (Tab. 4.28, Seite 68, Abb. 4.23, Seite 67). Im Buchenbestand BW sind die Autokorrelationslängen der Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff mit Werten von 2,49 m (C) und 2,20 m (N) am niedrigsten und BN verzeichnet mit 12,60 m und 26,40 m die großräumigsten Muster. Auch die Kiefernbestände KN (niedrig) und KW (hoch) liegen relativ weit auseinander.

Die Autokorrelationslängen für das C/N-Verhältnis variieren zwischen 2,35 m (EW) und 18,48 m (KW). In den Beständen EN und EW entsprechen die C/N-Ranges dem N- (EW) oder dem N- und C-Range (EN). Aufgrund unterschiedlicher Autokorrelationslängen von C und N und der damit verbundenen Überlagerung räumlicher Muster ergeben sich aber in den anderen Flächen für das C/N-Verhältnis ein von C und N abweichender Range. So können ähnliche Ranges für C und

Tabelle 4.27: Häufigkeitsverteilung des Kohlenstoffgehaltes, des Stickstoffgehaltes und des C/N-Verhältnisses in 0-5 cm Tiefe

	BN	BW	EN	EW	KN	KW
N	220	219	219	217	221	219
Kohlenstoffgehalt						
Mittelwert	2,449	3,496	3,298	2,578	3,693	3,093
Median	2,186	3,312	2,9	2,344	2,897	2,408
Variationskoeffizient	39,33	32,27	54,39	37,02	60,97	66,23
Schiefe	1,519	1,384	2,54	1,596	1,553	1,589
Spannweite	5,545	8,475	12,281	6,851	12,122	10,563
Minimum	1,063	1,499	0,799	1,034	0,963	0,898
Maximum	6,608	9,974	13,08	7,885	13,085	11,46
Stickstoffgehalt						
Mittelwert	0,145	0,201	0,138	0,103	0,167	0,101
Median	0,135	0,193	0,116	0,095	0,138	0,087
Variationskoeffizient	35,46	33,32	62,8	39,63	58,96	56,58
Schiefe	1,367	0,971	2,81	1,228	1,331	1,351
Spannweite	0,31	0,412	0,594	0,256	0,549	0,304
Minimum	0,065	0,083	0,038	0,034	0,041	0,027
Maximum	0,375	0,495	0,632	0,29	0,591	0,331
C/N-Verhältniss						
Mittelwert	16,8	17,63	24,79	25,62	22,36	29,95
Median	16,72	17,85	23,84	25,22	22,07	29,29
Variationskoeffizient	9,26	11,79	14,8	11,93	12,27	17,54
Schiefe	-0,62	3,05	1,44	0,3	0,89	1,27
Spannweite	11,57	26,61	23,99	21,04	19	34,49
Minimum	8,62	8,72	18,2	14,75	15,18	19,94
Maximum	20,19	35,33	42,2	35,79	34,18	54,43

N mit einer etwa gleich (EN) oder doppelt so großen C/N-Autokorrelationslänge verbunden sein. Im Bestand BN ist die Autokorrelationslänge des C/N-Verhältnisses bei der ersten Struktur mit 7,20 m kleiner als beim C- und N-Gehalt (12,60 m, 26,40 m), während die zweite Struktur mit 23 m die Größenordnung von N erreicht (Abb. 4.23c, Seite 67).

4.4.6 Zusammenschau der Variabilität und räumlichen Heterogenität der Bodenparameter

Durch die folgende Zusammenstellung wird deutlich, dass die verschiedenen Bodenparameter oft ein unterschiedliches Muster ihrer kleinräumigen Ausprägung aufweisen. Auch im Hinblick auf die Tiefenverteilung der Parameter ergibt sich ein sehr differenziertes Bild und durch die Zusammenfassung aller Tiefenstufen je Parameter oder verschiedener Parameter können vermutete baumarten- und nutzungsspezifische Muster anhand der Autokorrelationslängen nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden.

Die Variationskoeffizienten nehmen je nach Bodenparameter unterschiedliche Größenordnungen an. So sind die Streuungsmaße für den pH-Wert oder das C/N-Verhältnis geringer als z.B. beim Humus-, C- oder N-Gehalt und bei den Elementsättigungen ist die relative Variabilität von Al geringer als die des selteneren Elementes Mn. Ebenso hat bei ein und demselben Parameter auch die Tiefenstufe Einfluss. Daher wurden die Streuung innerhalb der jeweiligen Tiefenstufe zwischen den Flächen verglichen und für die Tab. 4.29, Seite 70 rangskalierte Variationskoeffizienten berechnet, die für Tab. 4.30, Seite 71 anschließend gemittelt wurden.

Unter den Wirtschaftswäldern ist die relative Schwankung der Bodenparameter unter Kiefer

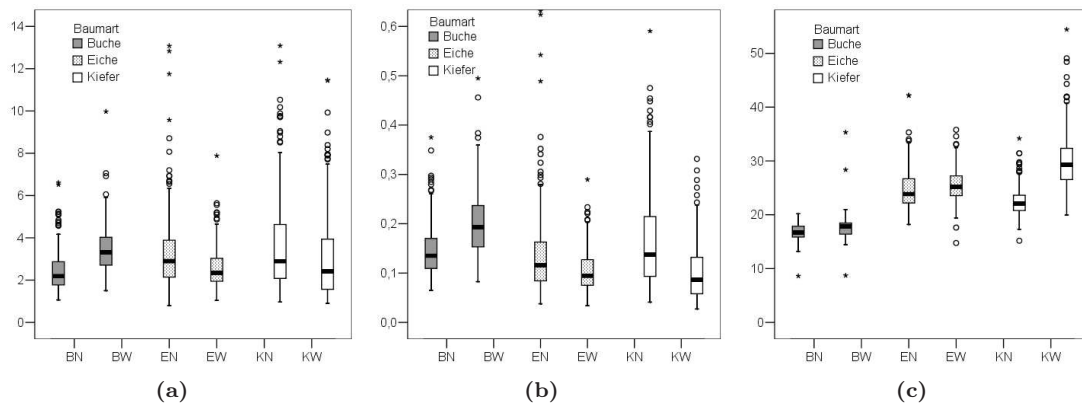


Abbildung 4.22: (a) Kohlenstoff-Gehalt in %, (b) Stickstoff-Gehalt in %, (c) C/N-Verhältnis in 0-5 cm Tiefe

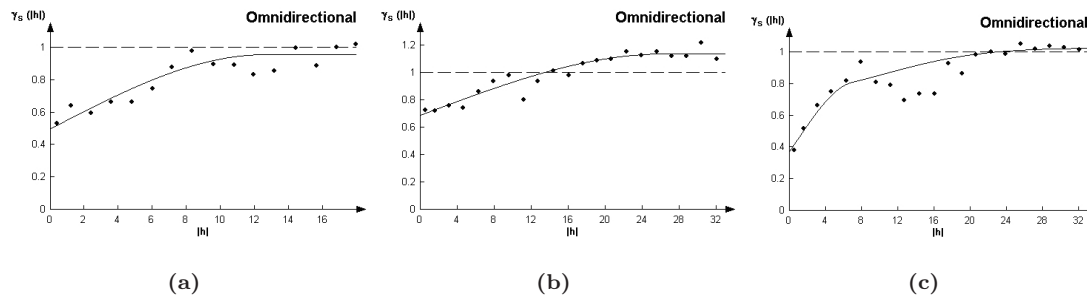


Abbildung 4.23: (a) Variogramm des C-Gehaltes, (b) Variogramm des N-Gehaltes, (c) Variogramm des C/N-Verhältnisses mit geschachtelter Struktur (Struktur 1: sphärisches, 2: Gauß'sches Modell) in 0-5 cm im Buchen-Naturwald

(KW) tendenziell am höchsten und unter Buche (BW) am niedrigsten. Die Naturwaldvariante von Buche und Eiche weist bei allen Parametern größere Variabilitäten als die entsprechende bewirtschaftete Referenzfläche auf. Für den Kiefern-Naturwald lässt sich für den pH-Wert zwar eine größere Streuung nachweisen, die Gehalte an Humus, Kohlenstoff und Stickstoff jedoch variieren im Wirtschaftswald stärker. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass im Oberboden von KW stellenweise Holzkohle gefunden wurde, wodurch das Ergebnis möglicherweise verzerrt wird.

Auf der Skala der Bestände sind für die untersuchten Waldökosysteme die Autokorrelationslängen verschiedener Bodenparameter relativ kurz. Im Oberboden (0-5 cm) schwanken sie zwischen 1,2 m (Kiefern-Wirtschaftswald, Mn-Sättigung) und 26,4 m (Buchen-Naturwald, N-Gehalt) bei einem Mittelwert von 6,9 m (Median 6,0 m). Genau wie bei den Variabilitäten sind auch die räumlichen Muster des pH-Wertes in den Naturwaldvarianten von Buche, Eiche und Kiefer größer als in den jeweiligen Wirtschaftswäldern (Tab. 4.31, Seite 68 und 4.32, Seite 71). Beim Humus-, C- und N-Gehalt trifft das nur für BN und EN zu. Zwischen den Baumarten sind die Korrelationslängen nicht deutlich voneinander abgesetzt. In den Tabellen 4.32, Seite 71 und 4.34, Seite 73 sind mittlere Autokorrelationslänge und Nuggeteffekt der Elementsättigungen u.a. ohne Kalium, Natrium und Eisen angegeben, da diese (im Unterboden) oft stark positiv abweichen.

Der Nuggeteffekt hängt stärker vom untersuchten Parameter als von der Fläche ab. So weisen z.B. der pH-Wert und das C/N-Verhältnis einen Nuggeteffekt von weniger als 50 % auf, während

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

Tabelle 4.28: Ergebnisse der Modellanpassungen an die experimentellen Variogramme der Kohlenstoffgehalte, der Stickstoffgehalte und der C/N-Verhältnisse in 0-5 cm Tiefe

	BN	BW	EN	EW	KN	KW
Kohlenstoffgehalt						
Range	12,6	-2,49	6,6	-4,2	3,98	12,92
Nuggeteff. (standardisiert)	0,5	-0,71	0,85	-0,76	0,58	0,74
Sill (standardisiert)	0,46	-0,29	0,15	-0,22	0,43	0,31
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0,34	-0,59	–	–	2,02	2,6
Sill (n. standardisiert)	0,28	-0,33	–	–	2,65	1,68
Stickstoffgehalt						
Range	26,4	-2,2	6,6	-2,17	3,62	10,88
Nuggeteff. (standardisiert)	0,69	-0,82	0,82	-0,64	0,67	0,84
Sill (standardisiert)	0,45	-0,18	0,19	-0,31	0,33	0,19
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0,00123	–	–	–	0,0045	0,00224
Sill (n. standardisiert)	0,00117	–	–	–	0,00468	0,00104
C/N-Verhältnis						
Range	7,20 (25) ^a	6	7,2	2,35	7,8	18,48
Nuggeteff. (standardisiert)	0,37 ^a	0,48	0,56	0,35	0,57	0,43
Sill (standardisiert)	0,46 ^a	0,47	0,42	0,56	0,43	0,77
Nuggeteff. (n. standardisiert)	0,75 ^a	0,96	5,83	5,13	3,66	–
Sill (n. standardisiert)	0,90 ^a	1,02	4,18	4,18	1,98	–

^a geschachtelte Struktur

sich die Autokorrelationslängen des Humus-, C-, und N-Gehaltes sowie der AKe und der Basensättigung wegen hoher Werte (z.T. > 70 %) schwerer oder nicht modellieren lassen (Tab. 4.33, Seite 71 und 4.34, Seite 73). Die Unterschiede in Bezug auf den nicht erklärbaren Anteil räumlicher Heterogenität im unteren Skalenbereich können mit den Eigenschaften des Trägers des jeweiligen Bodenparameters zusammenhängen. Während sich durch den Bodenwasserhaushalt und Fließbewegungen ein eher gradueller pH-Wert-Gradient ergibt, können aus strukturellen Gründen Merkmale, die in Verbindung mit der Festsubstanz des Bodens stehen, z.B. der Humusgehalt, auch kleinräumig stärker variieren. Unter den Elementsättigungen zeigen die von Mn, K und Al einen niedrigen und die von Ca und Mg eher einen hohen Nuggeteffekt. Der Nuggeteffekt steigt bei den pH-Werten in der Reihenfolge BN/BW < EN/EW < KN/KW. Bei den Elementgehalten stellt sich die umgekehrte Reihenfolge ein, hier ist der höchste Wert im Buchen-Wirtschaftswald. Damit deutet sich an, dass der Nuggeteffekt mancher Parameter nicht unabhängig von der jeweiligen Baumart ist. In Bezug auf den pH-Wert könnte die unterschiedlich starke Neierschlagsumverteilung eine Rolle spielen.

Tabelle 4.31: Gesamtübersicht über die Autokorrelationslängen in m; * Of(h)-Horizont bei 0-5 cm, Ah(e)-Horizont bei 10-15 cm, AhBv- [BN, BW] / B(h)s-Horizont [EN, EW, KN, KW] bei 20-25 cm; ** Variogramm mit Driftkomponente; – nicht modellierbar; leere Zellen: keine Werte

Fläche	Parameter	Tiefenstufe in cm						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40
Buchen-Naturwald	Horizont*	12,72		8,8			11	
	pH	5,51	4,8	3,42	2,82	2,4	2,58	2,34
	Humus	8,4	3,89	4,44	4,74	5,67	3,18	10,2
	C	12,6						
	N	26,4						
Buchen-Wirtschaftswald	C/N	7,2						
	Horizont*	3,82		25,6			7,62	
	pH	5,16	1,2	1,8	4,8	9,96	9,96	(2,52)**
	Humus	1,64	1,15	2,42	2,42	1,86	2,03	2,03
		Fortsetzung nächste Seite						

4.4. Ergebnisse und Diskussion

Fläche	Parameter	Tiefenstufe in cm						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40
wald	C	2,49						
	N	2,2						
	C/N	6						
	AKe	3,24		5,67				12,41
	BS	6,48		7,2				5,5
	Ca	6,16		7,7				6,6
	Mg	6,82		5,68				6,53
	K	6,46		16,2				9,48
	Na	23,28		9,13				–
	Al	5,99		7,7				7,7
	Fe	7,92		7,56				43,12
	Mn	7,7		5,35				6
	Horizont*	7,84		11,9			4,5	
	pH	–	2,03	4,05	4,05	7,2	8,64	8,64
Eichen-Naturwald	Humus	7,2	4,7	6,24	5,64	5,22	–	5,35
	C	6,6						
	N	6,6						
	C/N	7,2						
Eichen-Wirtschaftswald	Horizont*	3,88					1,07	
	pH	11,44	10,4	–	1,64	2,05	2,05	2,46
	Humus	6,4	5,18	2,79	3,81	2,75	5,39	6,48
	C	4,2						
	N	2,17						
	C/N	2,35						
	AKe	2,91		1,52				4,97
	BS	9,18		4,62				3,03
	Ca	8,4		7,2				–
	Mg	–		4,76				4,26
	K	4,97		3,55				4,19
	Na	3,03		3,55				2,77
	Al	8,88		–				3,83
	Fe	5,68		10,8				3,55
	Mn	14,62		5,04				–
	Horizont*	4,74		9,4			4,87	
	pH	7,32	9,18	8,33	7,56	10,54	17,76	19,91
	Humus	3,62		3,34	5,83	4,54	7,03	6,48
Kiefern-Naturwald	C	3,98						
	N	3,62						
	C/N	7,8						
	AKe	2,87		8,46				7,2
	BS	5,72		5,25				6,27
	Ca	6,05		5,68				6,6
	Mg	5,61		–				–
	K	3,69		2,88				4,8
	Na	7,1		–				–
	Al	5,89		4,9				3,55
	Fe	2,84		11,9				–
	Mn	3,69		8,4				4,26
	Horizont*	7		5,4			7,14	
	pH	4,2	2,88	6,24	6,84	6,96	4,8	–
	Humus	15,12	19,68	16,2	8,28	8,4	8,4	8,64
	C	12,92						
	N	10,88						
	C/N	18,48						
Kiefern-Wirtschaftswald	AKe	10,8		10,92				–
	BS	3,55		5,68				4,33
	Ca	3,98		4,69				3,44
	Mg	2,84		–				–
	K	4,47		3,6				39,78
	Na	4,05		3,55				33,6
	Al	6		7,2				4,26
	Fe	8,4		–				8,4
	Mn	1,23		7,32				3,6

Tabelle 4.29: Gesamtübersicht über die Variabilität (Ränge 1-6 für Variabilitätskoeffizienten von pH, Humus, Horizont bzw. 1-3 für Parameter, die nur in den drei Wirtschaftswäldern und in KN untersucht wurden)

	Parameter	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40
		Buche / Tiefenstufe in cm							Eiche / Tiefenstufe in cm							Kiefer / Tiefenstufe in cm						
Naturwald	Horizont ^a	5		1		1			4		4		6			3		2		2		
	pH	6	6	3	4	5	6	6	5	1	1	3	3	4	5	3	5	6	5	4	3	4
	Humus	3	1	4	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	5	5	6	2	4	4	3	2
	C	3							4							5						
	N	2							6							5						
	C/N	1							5							4						
Wirtschaftswald	Horizont ^a	6		3		3			2		5		4			1		6		5		
	pH	4	2	2	1	1	1	1	2	3	4	2	2	2	3	1	4	5	6	6	5	2
	Humus	1	3	3	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	3	6	5	6	6	5	5	6
	C	1							2							6						
	N	1							3							4						
	C/N	2							3							6						
	AKe	2		1				1	1		2				3	3		3				2
	BS	1		3				2	2		1				3	3		2				1
	Ca	1		2				1	3		1				3	2		3				2
	Mg	1		3				3	2		1				2	3		2				1
	K	1		3				3	3		2				2	2		1				1
	Na	2		1				3	3		3				1	1		2				2
	Al	3		2				2	1		1				3	2		3				1
	Fe	3		3				3	1		2				1	2		1				2
	Mn	1		1				1	2		2				3	3		3				2

^a Of(h)-Horizont bei 0-5 cm, Ah(e)-Horizont bei 10-15 cm, AhBv- [BN, BW] / B(h)s-Horizont [EN, EW, KN, KW] bei 20-25 cm; leere Zellen: keine Werte

Tabelle 4.30: Arithmetisches Mittel der rangskalierten Variationskoeffizienten aus allen Tiefenstufen

	Hori- zonte ^a	pH- Wert	Humus- gehalt	pH + Humus ^a	AKe	BS	Element- sättig. ^a	Elements. o. K, Na ^a	C- + N- Gehalt ^a
BN	2,33	5,14	3,14	4,14					2,50
BW	4,00	1,71	1,57	1,64	1,33	2,00	2,05	2,00	1,00
EN	4,67	3,14	5,00	4,07					5,00
EW	4,22	2,57	2,00	2,29	2,00	2,00	2,00	1,87	2,50
KN	2,33	4,29	3,71	4,00					5,00
KW	4,00	4,14	5,57	4,86	2,67	2,00	1,95	2,13	5,00

^a zusammengefasst; leere Zellen: keine Werte bzw. bei KN unberücksichtigt

Tabelle 4.32: Arithmetisches Mittel und Median der Autokorrelationslänge aus allen Tiefenstufen

		Hori- zonte ^a	pH- Wert	Humus- gehalt	pH + Humus ^a	AKe	BS	Element- sättig. ^a	Element- sättig. o. K,Na,Fe ^a	C- + N- Gehalt ^a
BN	mean	10,84	3,41	5,79	4,6					19,5
	median	11	2,82	4,74	4,17					19,5
BW	mean	12,35	5,06	1,94	3,5	7,11	6,39	10,15 ^c	6,66	2,34
	median	7,62	4,8	2,03	2,23	5,67	6,48	7,63	6,57	2,34
EN	mean	8,08	5,77	5,73	5,75					6,6
	median	7,84	5,63	5,5	5,5					6,6
EW	mean	1,07	5,01	4,69	4,83	3,13	5,61	5,83	7,12	3,19
	median	1,07	2,26	5,18	3,81	2,91	4,62	4,76	6,12	3,19
KN	mean	6,34	11,51	5,14	8,57	6,18	5,75	5,49	5,46	3,8
	median	4,87	9,18	5,19	7,32	7,2	5,72	5,25	5,64	3,8
KW	mean	6,51	5,32	12,10 ^b	8,89	10,86	4,52	8,36	4,46	11,9
	median	7	5,52	8,64	7,71	10,86	4,33	4,37	4,12	11,9

^a zusammengefasst^b 0-15 cm: 17,00 m, 15-40 cm: 8,43 m^c ohne 30-40 cm (43,12): 7,74; leere Zellen: keine Werte

Tabelle 4.33: Gesamtübersicht über den Nuggeteffekt (standardisiert); * Of(h)-Horizont bei 0-5 cm, Ah(e)-Horizont bei 10-15 cm, AhBv- [BN, BW] / B(h)s-Horizont [EN, EW, KN, KW] bei 20-25 cm; ** Variogramm mit Driftkomponente; – nicht modellierbar; leere Zellen: keine Werte

Fläche	Parameter	Tiefenstufe in cm						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40
Buchen-Naturwald	Horizont*	0,67		0,78				0,62
	pH	0,38	0,54	0,11	0,25	0,1	0,21	0,19
	Humus	0,71	0,41	0,6	0,7	0,65	0,69	0,45
	C	0,5						
	N	0,69						
Buchen-Wirtschaftswald	C/N	0,37						
	Horizont*	0,42		0,8				0,72
	pH	0,64	0,2	0,47	0,4	0,62	0,56	0,29
	Humus	0,74	0,54	0,71	0,73	0,66	0,61	0,2
	C	0,71						
	N	0,82						
	C/N	0,48						
	AKe	0,74		0,68				0,49
	BS	0,71		0,83				0,7

Fortsetzung nächste Seite

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

Fläche	Parameter	Tiefenstufe in cm						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40
Eichen-Naturwald	Ca	0,7		0,82				0,69
	Mg	0,74		0,5				0,27
	K	0,53		0,62				0,64
	Na	0,46		0,52				–
	Al	0,79		0,63				0,65
	Fe	0,8		0,6				0,54
	Mn	0,83		0,3				0,34
	Horizont*	0,57		0,61				0,73
	pH	–	0,19	0,42	0,41	0,52	0,41	0,34
	Humus	0,9	0,84	0,75	0,62	0,72	–	0,83
Eichen-Wirtschaftswald	C	0,85						
	N	0,82						
	C/N	0,56						
	Horizont*	0,72		–				0,62
	pH	0,43	0,71	–	0,35	0,32	0,2	0,7
	Humus	0,81	0,7	0,67	0,67	0,82	0,75	0,6
	C	0,76						
	N	0,64						
	C/N	0,35						
	AKe	0,7		0,4				0,3
Kiefern-Naturwald	BS	0,81		0,8				0,79
	Ca	0,71		0,63				–
	Mg	–		0,73				0,74
	K	0,7		0,64				0,4
	Na	0,56		0,76				0,51
	Al	0,74		–				0,7
	Fe	0,61		0,68				0,63
	Mn	0,6		0,6				–
	Horizont*	0,65		0,73				0,44
	pH	0,54	0,28	0,26	0,52	0,61	0,63	0,8
Kiefern-Wirtschaftswald	Humus	0,56	–	0,62	0,57	0,6	0,55	0,79
	C	0,58		–				
	N	0,67		–				
	C/N	0,57		–				
	AKe	0,67		0,58				0,63
	BS	0,32		0,7				0,78
	Ca	0,32		0,65				0,83
	Mg	0,73		–				–
	K	0,78		0,5				0,42
	Na	0,5		–				–
Kiefern-Wirtschaftswald	Al	0,37		0,44				0,65
	Fe	0,39		0,53				–
	Mn	0,67		0,71				0,69
	Horizont*	0,62		0,76				0,44
	pH	0,78	0,72	0,52	0,58	0,7	0,87	–
	Humus	0,79	0,58	0,8	0,74	0,8	0,67	0,69
	C	0,74						
	N	0,84						
	C/N	0,43						
	AKe	0,78		0,7				–
Kiefern-Wirtschaftswald	BS	0,4		0,7				0,68
	Ca	0,37		0,68				0,65
	Mg	0,7		–				–
	K	0,83		0,41				0,36
	Na	0,76		0,6				0,75
	Al	0,37		0,5				0,47
	Fe	0,6		–				0,7
	Mn	0,3		0,66				0,3

Tabelle 4.34: Arithmetisches Mittel und Median des Nuggeteffektes aus allen Tiefenstufen

		Hori- zonte ^a	pH- Wert	Humus- gehalt	pH + Humus ^a	AKe	BS	Element- sättig. ^a	Element- sättig. o. K,Na,Fe ^a	C- + N- Gehalt ^a
BN	mean	0,69	0,25	0,60	0,43					0,59
	median	<i>0,67</i>	<i>0,21</i>	<i>0,65</i>	<i>0,43</i>					<i>0,59</i>
BW	mean	0,65	0,45	0,60	0,53	0,64	0,75	0,60	0,60	0,76
	median	<i>0,72</i>	<i>0,47</i>	<i>0,66</i>	<i>0,59</i>	<i>0,68</i>	<i>0,71</i>	<i>0,62</i>	<i>0,67</i>	<i>0,76</i>
EN	mean	0,64	0,38	0,78	0,58					0,84
	median	<i>0,61</i>	<i>0,41</i>	<i>0,79</i>	<i>0,57</i>					<i>0,84</i>
EW	mean	0,62	0,45	0,72	0,59	0,47	0,8	0,64	0,68	0,70
	median	<i>0,62</i>	<i>0,39</i>	<i>0,70</i>	<i>0,67</i>	<i>0,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,64</i>	<i>0,71</i>	<i>0,70</i>
KN	mean	0,61	0,52	0,62	0,56	0,63	0,60	0,57	0,61	0,63
	median	<i>0,65</i>	<i>0,54</i>	<i>0,59</i>	<i>0,57</i>	<i>0,63</i>	<i>0,70</i>	<i>0,59</i>	<i>0,66</i>	<i>0,63</i>
KW	mean	0,61	0,70	0,72	0,70	0,74	0,59	0,56	0,50	0,63
	median	<i>0,62</i>	<i>0,71</i>	<i>0,74</i>	<i>0,73</i>	<i>0,74</i>	<i>0,68</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>0,79</i>

^a zusammengefasst; 0-15 cm: 17,00 m, 15-40 cm: 8,43 m; leere Zellen: keine Werte

4.4.7 Interkorrelationen zwischen den Parametern

4.4.7.1 Humusgehalt - Trockenrohdichte

Zwischen dem Humusgehalt und der Trockenrohdichte in 0-5 cm Tiefe bestehen sehr enge Beziehungen (Abb. 4.24, Seite 74). Im Buchen-Naturwald reduziert sich dabei die Dichte bei steigendem Humusgehalt relativ stärker als im bewirtschafteten Buchenwald.

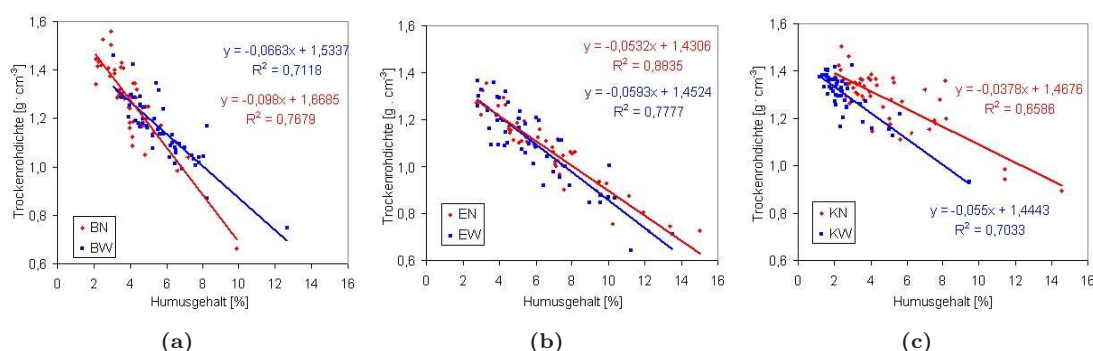


Abbildung 4.24: Zusammenhang zwischen Trockenrohdichte (g/cm^3) und Humusgehalt in % in den Buchen-, Eichen- und Kiefernbeständen in 0-5 cm Tiefe

Aufgrund der Bildung komplexer Humusstoffe ist die Humusstruktur in den weniger sauren Buchenbeständen relativ „locker“. Mit Erhöhung des Humusgehaltes nimmt die Lagerungsdichte daher rascher ab - insbesondere im Naturwald - als in den Eichen- und Kiefernbeständen, bei denen ein erheblich größerer Anteil an niedermolekularen Huminstoffen (z.B. Fulvosäuren) vorliegt. Der Einfluss eines steigenden Humusgehaltes auf die Lagerungsdichte nimmt in der Reihenfolge BN/BW > EN/EW > KN/KW ab, was sich anhand des geringeren (negativen) Grafenanstieges in Abb. 4.24b und 4.24c, Seite 74 zeigen lässt.

Zwischen Natur- und Wirtschaftswald bestehen keine deutlichen Unterschiede (Eichen) oder widersprüchliche Trends (Buche, Kiefer). Daher muss wahrscheinlich dem Säure-Basen-Status eine größere Bedeutung beigemessen werden, als der Bewirtschaftungsintensität.

4.4.7.2 Humusgehalt - C- und N-Gehalt - Kationenaustauschkapazität

In tonmineralarmen Sandböden dient vor allem die Humusmatrix als Adsorber für Nährelemente. Infolgedessen lassen sich in allen untersuchten Beständen hochsignifikante Korrelationen zwischen dem Humusgehalt und dem C-Gehalt, N-Gehalt sowie der Kationenaustauschkapazität feststellen (Tab. 4.35, Seite 75).

Der C-Gehalt weist die engste Bindung an den Humusgehalt auf, danach folgen der N-Gehalt und die Kationenaustauschkapazität. Im Buchen-Naturwald sind die Zusammenhänge in 0-5 cm Tiefe relativ schwach. In allen anderen Fällen wird mit zunehmender Tiefe die Korrelation lockerer. (Da sich die Werte in Tab. 4.35, Seite 75 u.U. auf unterschiedliche Stichprobenzahlen beziehen, sind die Korrelationskoeffizienten nicht immer unmittelbar miteinander zu vergleichen.)

Wegen dieses Zusammenhanges ähneln sich auch die Variationskoeffizienten und die Autokorrelationslängen des C- und Humusgehaltes. Darüber hinaus lassen sich mit Ausnahme von BN (hohe Ranges) und KN (niedrige Ranges) die Bestände hinsichtlich der Variationskoeffizienten und Autokorrelationslängen von C und Humus in der gleichen Reihenfolge anordnen: BW < EW < EN < KW (Tab. 4.36, Seite 75).

Tabelle 4.35: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen dem Humusgehalt und den Parametern Kohlenstoffgehalt, Stickstoffgehalt und Kationenaustauschkapazität bestimmter Tiefenstufen

	Tiefe [cm]	n	BN	BW	EN	EW	KN	KW
C-Gehalt	0-5	221	0,689 ^a	0,945 ^a	0,982 ^a	0,932 ^a	0,966 ^a	0,965 ^a
	10-15	49	0,909 ^a	-	0,920 ^a	-	0,867 ^a	-
	20-25	49	0,878 ^a	-	0,789 ^a	-	0,881 ^a	-
N-Gehalt	0-5	221	0,681 ^a	0,911 ^a	0,958 ^a	0,909 ^a	0,950 ^a	0,954 ^a
	10-15	49	0,821 ^a	-	0,846 ^a	-	0,719 ^a	-
	20-25	49	0,725 ^a	-	0,879 ^a	-	0,538 ^a	-
AKe	0-5	221/49	0,738 ^a	0,903 ^a	0,585 ^a	0,718 ^a	0,905 ^a	0,915 ^a
	10-15	221	-	0,823 ^a	-	0,425 ^a	0,600 ^a	0,553 ^a
	30-40	221	-	0,588 ^a	-	0,501 ^a	0,735 ^a	0,438 ^a

^a signifikant auf dem 0,01 Niveau

Die Kationenaustauschkapazität weist eine andere Streuung und ein abweichendes räumliches Muster auf. Erkennbar ist aber auch hier, dass die Kiefernbestände gegenüber der Buchen- und Eichenflächen eine große Variabilität aufweisen, während sie sich untereinander hinsichtlich der Mustergröße deutlich unterscheiden, indem KN sehr kleine und KW sehr große AKe-Autokorrelationslängen haben.

Tabelle 4.36: Variationskoeffizienten und Ranges des C- und Humus-Gehaltes sowie der Kationenaustauschkapazität in 0-5 cm

		BN	BW	EN	EW	KN	KW
Variationskoeffizient in %	C-Gehalt	39,33	32,27	54,39	37,02	60,97	66,23
	Humus-Gehalt	36,67	30,66	56,63	36,39	58,07	59,98
	AKe	-	18,95	-	18,48	41,89	37,91
Range in m	C-Gehalt	12,60	2,49	6,60	4,20	3,98	12,92
	Humus-Gehalt	8,40	1,64	7,20	6,40	3,62	15,12
	AKe	-	3,24	-	2,91	2,87	10,80

4.4.7.3 Humusgehalt - pH-Wert

Hochsignifikante negative Korrelationen bestehen zwischen dem Humusgehalt und der Bodenreaktion (pH-Wert) in allen Beständen und fast allen Tiefenstufen (Abb. 4.25, Seite 76, s. Kreuzkorrelationstabellen in HORNSCHUCH und RIEK (2006a)). Im Eluvialhorizont podsolierter Böden (EN, EW, KN, KW, siehe Abb. 4.25a: 5-10 cm) ist dieser Zusammenhang jedoch nicht immer erkennbar, wahrscheinlich weil die Huminstoffe im Sol-Zustand nicht sehr ortstreu sind.

Diese enge Beziehung hat aber nicht zur Folge, dass auch die mit geostatistischen Methoden beschriebenen räumlichen Muster (Autokorrelationslängen) deckungsgleich sind.

4.4.7.4 Bodenchemie - Durchwurzelung

Mögliche Rückkopplungsmechanismen ergeben sich zwischen bodenchemischen und wurzelökologischen Bedingungen. Die innerhalb des Bestandes kleinräumig variierende Ressourcenausstattung des Bodens kann differenzierte Wachstumsreaktionen des Feinwurzelsystems auslösen und Wurzelumsatzraten, Mineralisierung (bodenbiologische Aktivität) oder die Nekromasseakkumulation (Humusbildung) beeinflussen. Die aktive Nährelementaufnahme kann umgekehrt auch zur

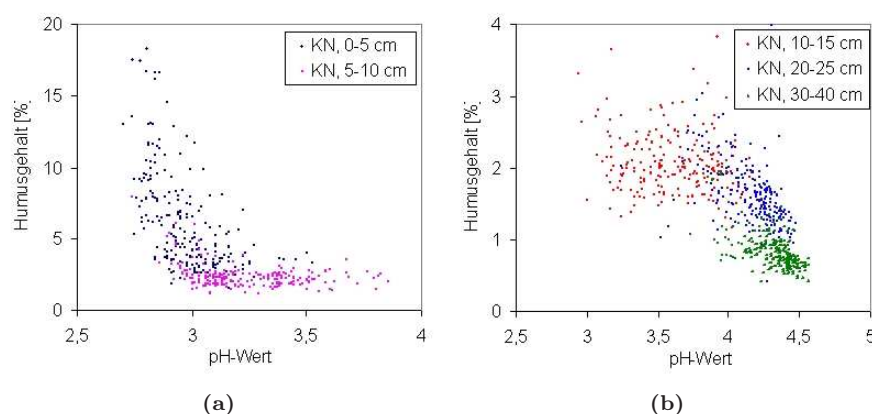


Abbildung 4.25: Zusammenhang zwischen Humusgehalt und pH-Wert in verschiedenen Tiefenstufen im Kiefern-Naturwald

Ressourcenverarmung entsprechend der Durchwurzelungsstärke und -muster führen. So versucht REYNOLDS (1970) eine mangelhafte Übereinstimmung zwischen ober- und unterirdischen Bestandesstrukturen damit zu erklären, dass das Wurzelwachstum in den Bodenarealen zyklisch verläuft, indem Wurzeln in nährstoffreichere Areale einwachsen, nach Erschöpfung der Ressourcen die Wurzeln absterben und wieder neue Parzellen erschlossen werden müssen.

Bei der Wurzelverteilung spielen zwei Mechanismen eine Rolle. Zum einen wird auf Bestandesebene eine Erhöhung der Wurzeldichte und des Spross-Wurzel-Verhältnisses bei Trockenheit oder Nährstoffarmut beobachtet. Auf diese Weise kann der Bestand unter weniger idealen Bedingungen seine Ernährung sichern. Andererseits tritt hinsichtlich der kleinräumigen Bodenvariabilität innerhalb der Bestände das gegenteilige Phänomen auf, indem attraktive Bodenbereiche stärker durchwurzelt werden.

In den Tabellen 4.37, Seite 77 bis 4.39, Seite 79 ist der Zusammenhang der Feinwurzeldichte mit einigen bodenchemischen Parametern dargestellt. Dabei wurde einerseits die Gesamtwurzelmenge den Parametern aus den Tiefenstufen 0-5, 10-15 und 30-40 cm (20-25 cm) gegenübergestellt ($n = 221$ oder $n = 49$). Andererseits konnte mit niedrigerer Stichprobenzahl auch die Wurzeldichte der genannten Tiefenstufen direkt mit dem umgebenden bodenchemischen Milieu in Beziehung gesetzt werden ($n = 17$). Die Wiederholungen hätten durch die Zusammenfassung dieser diskreten Probestücke aus unterschiedlichen Tiefen zwar erhöht werden können, doch ist dies wegen des natürlichen Gradienten von Wurzel- und Bodeneigenschaften mit der Tiefe nicht sinnvoll. Durch Probeinhomogenität könnten Scheinkorrelationen ermittelt werden, die zu Fehlschlüssen führen.

Die Ergebnisse aus den Korrelationsanalysen sollen im Folgenden kommentiert werden.

Verfügbares Bodenwasser Zwischen dem Bestandesniederschlag (KN) bzw. der Oberbodenfeuchte nach einer Regenperiode (KN, KW) und der horizontalen Wurzelverteilung waren keine signifikanten Beziehungen nachweisbar. Möglicherweise spiegelt die Niederschlags- und oberflächenbezogene Feuchtemessung in Kiefernbeständen die hydroökologische Oberbodensituation für die Kiefernwurzeln nur unzureichend wider, weil sich auch die Bodenvegetation an dieses Niederschlagsmosaik anpasst und an begünstigten Orten mit einer höheren Entnahme und Wurzelkonkurrenz durch die Bodenvegetationsdecke zu rechnen ist. Die horizontale Wurzelstruktur wird außerdem ganz wesentlich durch die Nährstoffkonzentrationen (Elementsättigungen / -gehalte) beeinflusst (s.u.).

In den Buchen- und Eichenbeständen konnte die Probenahme nicht am Witterungsgeschehen

Tabelle 4.37: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen Feinwurzelsvorrat ((g/m^2)), lebende+tote Buchenwurzeln $d < 2mm$) und ausgewählten Bodenparametern in verschiedenen Tiefenstufen der Buchenbestände BN und BW.

Flä- che	Wurzel- / Boden- block in cm	n	TRD	Boden- feuchte 1 u. 2	pH ($CaCl_2$)	Humus	AKe	BS	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	C	N	C/N
BN	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°-0,04	°0,017 °-0,04	0,05	0,195'	°0,017	°0,002	°0,179	°0,109	°-0,06	°-0,12	°-0,26	°-0,18	°0,021	0,176"	0,138'	0,177"
	0-40 / 10-15 ^b	221 (°49)	-	-	-0,045	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	°0,210	°0,003	°0,237
	0-40 / 30-40 ^b	221 (°49)	-	-	-0,071	0,161'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	°0,348'	°0,414"	°-0,17 20-25 cm
	0-5 / 0-5	17	-0,456	0,115 0,498'	0,365	0,201	°0,017	°0,002	0,01	0,115	0,194	-0,142	-0,142	-0,174	-0,113	0,203	0,201	0,289
	10-15 / 10-15	17	-	-	-0,147	0,194	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,007	0,184
	30-40 / 30-40	17	-	-	-0,137	0,257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,272	0,309 20-25 cm	-0,191
BW	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°-0,12	° -0,07 °0,220	-0,022	0,057	0,007	0,013	0,037	0,023	-0,063	-0,08	-0,052	-0,006	0,094	0,063	0,027	0,098
	0-40 / 10-15 ^b	221	-	-	-0,098	0,078	0,097	0,039	0,039	0,051	-0,024	-0,129	-0,056	-0,014	0,158'	-	-	-
	0-40 / 30-40 ^b	221	-	-	-0,31"	0,263"	0,342"	0,073	-0,063	0,144'	0,07	0,141'	-0,11	-0,025	0,143'	-	-	-
	0-5 / 0-5	17	-0,032	-0,206 0,167	0,076	-0,059	0,081	-0,034	-0,032	-0,074	0,191	-0,282	0,025	0,02	-0,142	-0,069	0	-0,72"
	10-15 / 10-15	17	-	-	0,251	-0,215	-0,277	0,005	-0,044	-0,184	0,071	0,029	0,1	-0,62"	0,164	-	-	-
	30-40 / 30-40	17	-	-	0,054	0,467'	0,265	-0,25	-0,363	0,402	-0,066	0,025	0,169	0,012	-0,049	-	-	-

^a , signifikant auf dem 0,05 Niveau; " signifikant auf dem 0,01 Niveau; ° Stichprobenzahl abweichend n = 49, Bodenfeuchte 1 und 2: nach Feuchte- und nach Trockenperiode^b Vergleich der Gesamtwurzelmenge 0-40 cm mit dem entsprechenden Bodenkennwert aus Tiefenstufe 0-5, 10-15, 30-40 bzw. 20-25 cm

Tabelle 4.38: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen Feinwurzelvorrat ((g/m^2) , lebende+tote Eichenwurzeln $d < 2mm$) und ausgewählten Bodenparametern in verschiedenen Tiefenstufen der Eichenbestände EN und EW.

Flä- che	Wurzel- / Boden- block in cm	n	TRD	Boden- feuchte 1 u. 2	pH ($CaCl_2$)	Humus	AKe	BS	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	C	N	C/N
EN	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°0,278	°-0,17 °- 0,284'	- 0,120'	0,337"	°0,132	°0,205	°0,130	°0,298'	°0,310'	°0,242	°- 0,29'	°0,178	°-0,05	0,317"	0,313"	-0,109
	0-40 / 10-15 ^b	221 (°49)	-	-	-0,1	0,180"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	°0,274	°0,179	°- 0,045
	0-40 / 30-40 ^b	221 (°49)	-	-	- 0,181"	0,232"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	°- 0,056	°- 0,061 20-25 cm	°- 0,129
	0-5 / 0-5	17	0,145	0,091 0,223	-0,354	0,299	0,083	0,201	-0,01	0,377	0,311	0,167	-0,272	0,338	-0,235	0,289	0,194	0,213
	10-15 / 10-15	17	-	-	-0,25	0,172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	-0,191	0,041
	30-40 / 30-40	17	-	-	-0,322	0,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,564'	0,338 20-25 cm	-0,071
EW	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°- 0,015	°- 0,076 °- 0,147	-0,07	-0,105	-0,128	-0,1	- 0,196"	-0,087	0,123	0,226"	0,101	- 0,165'	-0,078	-0,092	-0,074	-0,031
	0-40 / 10-15 ^b	221 (°49)	-	-	-0,073	-0,016	0,013	- 0,218"	- 0,243"	- 0,173'	-0,106	0,123	0,056	0,033	0,048	-	-	-
	0-40 / 30-40 ^b	221	-	-	0,113	0,037	-0,065	-0,084	- 0,219"	0,011	0,079	0,039	0,031	-0,055	0,167'	-	-	-
	0-5 / 0-5	17	-0,306	-0,137 0,235	-0,413	0,520'	0,657"	-0,071	-0,137	-0,12	0,076	-0,049	0,238	-0,135	0,032	0,559'	0,542'	-0,203
	10-15 / 10-15	17	-	-	0,092	-0,221	-0,181	-0,203	-0,213	-0,297	-0,064	0,211	0,147	-0,091	0,223	-	-	-
	30-40 / 30-40	17	-	-	0,173	-0,272	-0,15	0,221	0,137	0,125	0,12	-0,123	-0,265	-0,328	0,429	-	-	-

^a ' signifikant auf dem 0,05 Niveau; " signifikant auf dem 0,01 Niveau; ° Stichprobenzahl abweichend n = 49, Bodenfeuchte 1 und 2: nach Feuchte- und nach Trockenperiode^b Vergleich der Gesamtwurzelmenge 0-40 cm mit dem entsprechenden Bodenkennwert aus Tiefenstufe 0-5, 10-15, 30-40 bzw. 20-25 cm

Tabelle 4.39: Korrelationskoeffizienten (Spearman) zwischen Feinwurzelsvorrat ((g/m^2) , lebende+tote Kiefernwurzeln $d < 2mm$) und ausgewählten Bodenparametern in verschiedenen Tiefenstufen der Kiefernbestände KN und KW.

Flä- che	Wurzel- / Boden- block in cm	n	TRD	Boden- feuchte 1 u. 2	pH ($CaCl_2$)	Humus	AKe	BS	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	C	N	C/N
KN	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°0,137	°0,079 °0,012	-0,095	0,153'	0,139'	0,096	0,051	0,175'	0,323''	-0,021	-0,05	0,099	0,047	0,161'	0,168'	-0,083
	0-40 / 10-15 ^b	221 (°49)	-	-	- 0,135'	-0,007	-0,036	0,085	0,013	0,160'	0,353''	0,086	-0,138	0,114	-0,033	°0,118	°0,187	°- 0,110
	0-40 / 30-40 ^b	221 (°49)	-	-	- 0,257''	0,224''	0,189''	-0,052	-0,066	0,061	0,022	-0,051	-0,116	-0,011	-0,012	°0,237	°0,381''	°- 0,226
	0-5 / 0-5	17	-0,035	0,123 0,017	-0,397	0,336	0,299	-0,002	-0,096	-0,059	0,387	-0,12	0,027	0,123	-0,422	0,275	0,314	-0,105
	10-15 / 10-15	17	-	-	-0,029	0,450'	0,243	0,179	0,049	0,172	0,402	0,172	-0,284	0,213	0,071	0,468	0,509'	- 0,526'
	30-40 / 30-40	17	-	-	-0,321	0,266	0,387	0,079	-0,052	0,176	0,241	-0,134	-0,243	-0,042	0,325	0,759'' 20-25 cm	0,768'' 20-25 cm	-0,415 20-25 cm
KW	0-40 / 0-5 ^b	221 (°49)	°- 0,132	°- 0,127 °0,051	- 0,169'	0,174''	0,101	0,039	0,026	0,042	0,11	-0,022	-0,038	-0,056	0,051	0,128	0,154'	0,141
	0-40 / 10-15 ^b	221	-	-	- 0,132'	0,008	0,095	-0,078	-0,115	0,083	0,138	- 0,141'	-0,054	0,032	0,022	-	-	-
	0-40 / 30-40 ^b	221	-	-	-0,121	0,233''	0,177''	0,014	-0,143	0,059	0,160'	0,102	-0,101	-0,021	0,029	-	-	-
	0-5 / 0-5	17	0,196	0,108 0,301	-0,249	0,650''	0,449	0,706''	0,730''	0,551'	0,297	0,042	- 0,507'	- 0,505'	0,105	0,606'	0,603'	0,141
	10-15 / 10-15	17	-	-	0,115	-0,005	-0,157	-0,275	-0,245	-0,074	0,235	-0,343	0,157	-0,216	0,238	-	-	-
	30-40 / 30-40	17	-	-	-0,424	0,546'	0,542'	-0,065	-0,125	-0,325	-0,202	0,107	-0,164	-0,243	-0,208	-	-	-

^a , signifikant auf dem 0,05 Niveau; '' signifikant auf dem 0,01 Niveau; ° Stichprobenzahl abweichend n = 49, Bodenfeuchte 1 und 2: nach Feuchte- und nach Trockenperiode^b Vergleich der Gesamtwurzelmenge 0-40 cm mit dem entsprechenden Bodenkennwert aus Tiefenstufe 0-5, 10-15, 30-40 bzw. 20-25 cm

orientiert erfolgen, sondern geschah im Zusammenhang mit der Untersuchung der Regenwürmer und der Trockenrohdichte. Zu diesen Terminen war keine signifikante negative oder positive Korrelation des gravimetrischen Wasser- und Wurzelgehaltes zu ermitteln. Eine negative Tendenz spricht eher dafür, dass die Probeentnahme erst erfolgte, als die oberflächennahe Feuchtigkeit des Bodens durch eine entsprechende Bewurzelung reduziert wurde.

Humusgehalt und Kationenaustauschkapazität (AKe) In Sandböden fungiert die organische Substanz als wichtigster Austauscher. Sensitiver als die Buchenwurzeln in den entsprechend nährstoffreicheren Böden von BN und BW reagierten Kiefernwurzeln. Bereits geringe Unterschiede im Humusgehalt und der Austauschkapazität der Sandstandorte beeinflussten die Kiefern-Durchwurzelung im Oberboden bzw. verschiedenen Tiefen. Allerdings wurden die humusreichsten Bodenbereiche in den Kiefernbeständen nicht immer am stärksten durchwurzelt. Ursache dieser geringeren Wurzeldichte dürfte die Tatsache sein, dass - mit Ausnahme des humusverarmten Bleichhorizontes - innerhalb der betrachteten Tiefenstufe eine negative Korrelation zwischen Humusgehalt und pH-Wert besteht (s.o., HORNSCHUCH und RIEK (2006a)). In dieser sauren Umgebung ist der Vorrat der an der Humusmatrix adsorbierten basischen Nährelemente bei hoher potentieller Kationenaustauschkapazität relativ gering. Da die Kiefer eine hohe Toleranz aufweist, fehlen die Wurzeln in den stark sauren Bereichen aber nicht völlig und können der Aufnahme von Wasser, Stickstoff und anderen Elementen dienen. Da die Kationenaustauschkapazität, der Humus- und der Stickstoffgehalt eng miteinander verbunden sind, lässt sich die Feinwurzelpreferenz nicht eindeutig auf einen dieser Bodenfaktoren zurückführen.

Bodenreaktion (pH) und Basensättigung (BS) In den Buchen- und Eichenbeständen wird die Durchwurzelung kaum durch den pH-Wert oder die Basensättigung beeinflusst. Zwischen der Basensättigung und der Wurzeldichte besteht in KW eine positive Beziehung, allerdings ist sie nur in der obersten Bodenschicht (0-5 cm) signifikant.

In allen Beständen war die Feinwurzelmasse mit dem pH-Wert tendenziell bis signifikant negativ korreliert. Dieser Befund wird so erklärt, dass erhöhte Humusgehalte einen stärkeren trophotopischen Reiz auf die Wurzeln auslösen als höhere pH-Werte. Entsprechend der in allen Tiefenstufen hochsignifikant negativen Korrelation zwischen Humusgehalt und pH-Wert (s.o.) sind Bereiche mit hohem pH-Werten wegen der geringeren Humusgehalte für Wurzeln wenig attraktiv (SEIDENGLANZ und BANDICK, 2006). Welchen Anteil Wurzelexsudate an dem sauren Milieu bei gehäuftem Wurzelvorkommen hat, kann schwer beurteilt werden.

Elementsättigungen Mit nur einer Ausnahme sind keine signifikanten, positiven Korrelationen zwischen Calcium-Sättigung und Feinwurzeldichte nachweisbar. Für den Bestand EW ergeben sich sogar negative (Schein-) Korrelationen. Nur im sehr nährstoffarmen Regosol des Bestandes KW zeigt sich in 0-5 cm eine signifikante Beziehung. Offenbar reichen auch die lokal niedrigen Sättigungsgrade in den anderen 5 Böden für eine ausreichende Ernährung des entsprechenden Bestandes aus und eine Anpassung des Feinwurzelsystems an die heterogene Ca-Verteilung ist nicht notwendig.

Die deutlichsten positiven Zusammenhänge bestanden zwischen Wurzeldichte und Magnesiumsättigung. Für die Pflanze ist vor allem das wasserlösliche und austauschbare Magnesium von Bedeutung. Sehr geringe Mg-Gehalte haben podsolige Sandböden, was die enge positive Korrelation zwischen Mg-Sättigung und Wurzeldichte erklärt.

In der Regel weist Kalium von allen Nährstoffen den höchsten Gehalt in den Pflanzen auf. Im schlecht Kalium-versorgten Oberboden der Kiefernbestände besteht eine Präferenz der Wurzeln für einen erhöhten K-Sättigungsgrad. Da die Pflanzen (Bäume) befähigt sind, die K-Konzentration der Bodenlösung durch die Aufnahme an nichtaustauschbaren K zu verändern und andererseits Massenfluss und Diffusibilität von K gering ist, kann erwartet werden, dass auch die K-Sättigung

ihrerseits im Hauptwurzelraum stark durch die rezenten Bestandesstrukturen bzw. das Durchwurzelungsmuster beeinflusst werden.

Natrium spielt für die Ernährung der Pflanzen keine große Rolle.

Aluminium ist das häufigste Metall im Boden, aber kein Nährelement. Fast immer - wenn auch selten signifikant - wurde eine antagonistische Beziehung zwischen Al-Sättigung und Wurzelvorrat ermittelt. Hierfür dürfte nicht eine direkte Al-Toxizität, sondern der Mangel an Nährelementen am Austauscher infolge hoher Eintauschstärke von Al-Inonen nach erfolgter Tonmineralzerstörung im sauren Milieu den Ausschlag gegeben haben (z.B. Mg/Al-Antagonismus).

Mit Ausnahme der Bestände KN (und EN) ist die Eisensättigung negativ mit der Wurzeldichte korreliert. Allerdings kann eine Fe-Toxizität i.d.R. nur unter anaeroben Verhältnissen ausgelöst werden. Wahrscheinlich handelt es sich hier wie beim Al um eine Scheinkorrelationen, und die geringe Wurzeldichte wird durch den Mangel an anderen wichtigen, weniger häufigen Nährelementen verursacht. Außerdem decken die Pflanzen ihren Eisenbedarf vor allem aus den in der Bodenlösung vorliegenden organischen Fe(II)- und Fe(III)-Komplexen (SCHACHTSCHABEL ET AL., 1998). Eine Präferenz der Feinwurzeln für Mangan konnte in den Beständen BW und EW für die unteren beiden Tiefenstufen festgestellt werden. Auch wenn Aussagen zu BN und EN nicht möglich sind, scheint dieser Befund zusammen mit der relativ hohen Mn-Sättigung in BW (Tab. 4.21, Seite 59) darauf hinzuweisen, dass im Gegensatz zur Kiefer vor allem Buchen ihren höheren Mn-Bedarf durch intensivere Wurzelbildung in entsprechenden Bodenräumen decken müssen.

Kohlenstoff- (C) und Stickstoff-Gehalt (N) sowie C/N-Verhältnis Positiv beeinflussten erhöhte C-Gehalte die Durchwurzelung in vielen Tiefenstufen der Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Innerhalb der Bestände sind die Wurzeldichten desweiteren häufig positiv mit dem kleinräumig variablen Stickstoffgehalt korreliert. Wie beim Humus – von dessen Gehalt die C- und N-Gehalte stark abhängen – ist die Präferenz in den nährstoffärmeren Kiefernboden am stärksten.

Obwohl die Stickstoffverfügbarkeit geringer wird, hat eine Erhöhung des C/N-Verhältnisses im Buchenbestand BN keine negative Auswirkung auf die Durchwurzelungsdichte. Hier spielt offenbar die insgesamt bessere Nährstoffversorgung des Bestandes eine Rolle. Aber auch die Feinwurzeldichte in 0-5 cm in KW wird durch die räumliche Variabilität des C/N-Verhältnisses nicht signifikant beeinflusst, obwohl hier ein sehr weiter Wertebereich von 20 bis über 40 besteht. Im Kiefernbestand KN lässt sich in verschiedenen Tiefenstufen der negative Einfluss eines weiten C/N-Verhältnisses für die Ernährung durch geringere Wurzeldichte statistisch nachweisen, in den Eichenbeständen ist dieser Zusammenhang ebenfalls erkennbar, aber schwächer.

4.4.8 Ursachen für die Ausprägung von Bodenfaktoren

4.4.8.1 Einfluss der Bestandesstruktur

Strukturelle Unterschiede zwischen Beständen unterschiedlicher Baumarten Die Versuchsflächenanordnung erlaubt den Vergleich allgemeiner Streuungsmaße (Variabilitätskoeffizient usw.) und den Vergleich der Ortsabhängigkeit von Bodenmerkmalen (Autokorrelationslänge und Nugget-Effekt) zwischen Reinbeständen der Baumarten Rot-Buche, Trauben-Eiche und Wald-Kiefer.

Entsprechend der Standortsbedingungen werden Waldökosysteme durch verschiedene (Haupt-) Baumarten aufgebaut. Als Edifikatoren prägen sie das Ökosystem durch spezifische Struktureigenschaften, Stoffflüsse und Prozessabläufe. Dabei ist nicht nur an die oberirdische Situation zu denken, sondern auch an das Wurzelsystem. Die Ökosysteme unterscheiden sich nicht nur strukturell im Blick auf eine bestimmte Waldentwicklungsphase, z.B. die Optimalphase bzw. das Baumholzstadium, sondern teilweise auch bezüglich der Flächengröße der Elemente im natürlichen Mosaik-Zyklus (zyklische Regeneration), z.B. die Größe von Lücken, Verjüngunginseln und mehr oder

weniger hallenartig geschlossener Areale (Buche > Eiche). Die räumliche und zeitliche Bedeutung mancher Phasen- bzw. Stadien kann zwischen den Waldökosystemen variieren, so ist ein Plenterstadium für Gebirgs-Mischwälder typisch und in Buchenwäldern basenarmer Tieflandsstandorte selten. Die Dauer der jeweiligen Phasen koinzidiert wahrscheinlich mit dem Durchschnittsalter der Baumarten (Eiche » Buche > Kiefer) und wird durch das Klima beeinflusst. KORPEL (1995) stellte für Buchenwälder relativ kurze Zyklen fest, für Buchen-Tannen- sowie Eichen-Mischwälder längere und den längsten Zyklus für Fichtenwälder der oberen Bergstufe.

Die Bestandesstrukturen derjenigen Entwicklungsphase, die die relativ größte Fläche einnimmt bzw. Dauer beansprucht, dürften den nachhaltigsten Einfluss auf das Muster strukturabhängiger Bodeneigenschaften haben. In Buchenurwäldern nehmen Areale der Terminalphase eine große Fläche ein (TABAKU, 1999; DRÖSSLER, 2006). Analog dazu sind in bewirtschafteten Hochwäldern Altersstadien mit mehr oder weniger typischen und zeitlich stabilen Strukturen zu unterscheiden, ehe sie durch forstliche Maßnahmen oder wellenartig erfolgende Absterbeprozesse in andere übergehen. Mit zunehmendem Alter erfolgt eine zunehmend schärfere kleinräumige Differenzierung der Bestandesstruktur und in deren Folge der Ausprägung bestimmter Ökofaktoren. Eine Charakterisierung struktureller Unterschiede zwischen den Buchen-, Eichen und Kiefern-Ökosystemen soll anhand älterer Bestände mit Hochwaldcharakter (Baumholzstadium bzw. Optimal-/Terminalphase) erfolgen, weil hier von einer langen Phasenandauer und einem hohen Maß an innerer Differenzierung ausgegangen werden kann. Es soll versucht werden, das kleinräumige Muster von Bodeneigenschaften mit derartigen Bestandesstrukturen in Zusammenhang zu bringen.

Buchenbestände weisen bei relativ hoher Stammzahl ein sehr dichtes Kronendach auf. Dabei ist nicht nur der Blattflächenindex der Einzelbäume sehr hoch, die Buchen vermögen durch die Plastizität ihrer Kronenarchitektur kleinere Lücken schnell wieder zu schließen. Durch dieses hohe Kronenausladungsvermögen kann die Baumzahl in Altbeständen relativ gering sein. Die ältesten Buchen in den Tieflagenwäldern werden selten älter als 250- 300 Jahre (LEIBUNDGUT, 1993). Die Dauer eines Buchenwald-Zyklus wird mit 220-250 Jahren angegeben (DRÖSSLER, 2006). In der Literatur wird auch die Neigung natürlicher Altbestände zur Einschichtigkeit beschrieben (LEIBUNDGUT, 1993). Totholz wird relativ rasch zersetzt, weshalb in Urwäldern relativ wenig Baumleichen stehen bzw. liegen.

Da der Buchenwaldboden oft weniger als 3 % Freilandhelligkeit erhält, findet sich nur eine schütterere Bodenvegetation schattentoleranter Waldbodenpflanzen ein (ELLENBERG, 1996)). Ihr geringer Deckungs- und Bauwert dürfte nur einen geringen Einfluss auf andere Bodenparameter, wie Auflagemächtigkeit und -qualität sowie Humus-, C- oder N-Gehalt im Mineralboden haben. Die schütterere Bodenvegetation und der verhältnismäßig große Stammdurchmesser von Buchen bewirkt, dass das nicht sehr schnell zersetzbare Buchenlaub im Stammfußbereich (mit Ausnahme der Taschen zwischen Wurzelanläufen) im unbelaubten Zustand durch die Erhöhung der Windgeschwindigkeit leicht verblasen wird.

Der trichterförmige Kronenaufbau sammelt einen nicht unerheblichen Anteil Niederschlagswassers und führt ihn an der glatten Rinde über die Äste und dem Stamm dem Stammfußbereich zu (Stammablaufwasser). Dieses Verhalten ist bereits bei jungen Buchen festzustellen und im Alter stark ausgeprägt (ANDERS ET AL., 2002). Neben dem Stammabfluss ist ein erhöhter Bestandesniederschlag im Traufbereich festzustellen.

Buchen besitzen ein Herzwurzelsystem mit sehr hoher Feinwurzeldichte im Stammbereich (HORNSCHUCH, 2003; ANDERS ET AL., 2004). In Richtung Zwischenstammbereich ist ein deutlicher Wurzeldichtegradient festzustellen, aber auch hier ist die Wurzeldichte vergleichsweise hoch. Der Hauptwurzelbereich liegt bei ungefähr 5-30 cm Tiefe.

Eichenbestände haben einen geringeren Blattflächenindex und lichtere Kronenstrukturen. Bei dieser Lichtbaumart ist die Fähigkeit zum Kronenausbau im Alter beschränkt. Bereits im Jugendalter bewirkt die Konkurrenz um Licht einen stärkeren Freistand, d.h. geringere Baumzahlen als bei Buche. Auch Urwälder besitzen trotz großer Alters- und Durchmesserunterschiede eine einschichtige Struktur (LEIBUNDGUT, 1993) bzw. nur zwei bis drei soziologische Baumklassen (KORPEL,

1995). Aus solchen Urwäldern werden nicht nur sehr geringe Baumzahlen der Mittel- bzw. Unterschicht (20-30 Bäume), sondern auch der Oberschicht (mit 20-50, weit ausladenden Alteichen / ha) gemeldet (LEIBUNDGUT, 1993). Da Alteichen i.d.R. älter als 500 - 600 Jahre werden, nimmt der Jungwald nur einen Flächenanteil von nur wenigen Prozenten ein. Die Optimalphase wird von 150-200 jährigen Eichen gebildet und dauert mindestens 200 - 300 Jahre. Eichentotholz wird langsam zersetzt und bleibt oft viele Jahrzehnte liegen.

Der Blattflächenindex ist relativ gering, weshalb die Bodenvegetation einen recht hohen Deckungsgrad (Biomasse) aufweist und auch mehr oder weniger lichtbedürftige Arten vorkommen.

Die Kronenarchitektur und die rauhe Borke bewirken, dass i.d.R. kein Niederschlagswasser als Stammabfluss den Waldboden erreicht, nur bei jungen Eichen lässt sich ein nennenswerter Anteil Stammablaufwasser messen (ANDERS ET AL., 2002). Der Bestandesniederschlag, der auf den Waldboden auftrifft, differenziert sich entsprechend der Bestandesstrukturen weniger stark als in Buchen- und Kiefernbeständen. Nur im Traufbereich zeichnet sich eine Erhöhung ab, die bei bestimmten Baumkonstellationen auch einen höheren Wert als den Freilandniederschlag bedeuten kann. Das Wurzelsystem ist extensiver als das der Buchen. Das Wurzelprofil ist in der Tiefe 0-40 cm relativ einheitlich. Bei insgesamt geringerer Wurzeldichte als bei Buche fällt die Wurzelintensität mit zunehmender Tiefe nicht so rasch ab, wie bei Buche oder Kiefer (FISZKAL, 2007). Eichen erreichen größere Tiefen und umgehen damit Konkurrenzsituationen im Wurzelbereich mit der Begleitflora. Sie können daneben aber auch Oberflächenwurzelsysteme aufweisen, die weit über den Kronenradius hinausgehen. Die Enden der Seitenwurzeln verzweigen sich relativ stark (POLOMSKI und KUHN, 1998).

Als Nadelholzbestände weisen Wälder und Forsten, die aus Kiefern aufgebaut sind, deutlichere strukturelle Unterschiede zu den Buchen- und Eichenbeständen auf, als sie zwischen Buchen- und Eichenwäldern bestehen. Die Bestände sind sehr licht und ein gemäßigtes Waldinnenklima, wie man es von Buchen- und Eichenwäldern kennt, ist vergleichsweise schwach ausgebildet. Wie die Eiche ist auch die Kiefer eine Lichtbaumart, deren Kronenausladungsvermögen im Alter begrenzt ist. Die Kiefer weist trotz ihrer Lichtbedürftigkeit hohe Baumzahlen auf, weil die Kronen klein sind. Die Stammzahl im Totalreservat Pfinwald (Wallis, Schweiz) wird bei BHD > 8 cm mit 1200 ha^{-1} angegeben (LEIBUNDGUT, 1993). Der natürliche Lebensablauf mitteleuropäischer Kiefernwälder (*Pinus sylvestris*) lässt sich nur schlecht erfassen, weil viele Bestände kleinflächige „Dauerwälder“ (azonale Vegetation, z.B. der untersuchte Kiefern-Naturwald auf Flugsanddüne) oder Vor- bzw. Anfangswälder sind (Taiga). Unter den ungünstigeren Klimabedingungen Nord-schwedens hält sich das Kiefernstadium 500 Jahre, bis es vom Fichten-Schlusswald abgelöst wird (PAYER, 1997). Obwohl auch in Kiefernwäldern, die sich als Schlusswälder im Gleichgewichtszustand befinden, Jungwuchs selten ist, genügt er offenbar, um Ausfälle der Oberschicht zu ersetzen (LEIBUNDGUT, 1993). Meist handelt es sich um einschichtige Bestände. Ist in Vorwäldern eine Altersdifferenzierung erkennbar, lässt sich diese oft auf wenige Verjüngungsereignisse zurückführen, die durch äußere Störung (anthropogen, Feuer, Sturm) verursacht wurde. In Kiefernbeständen fallen Baumleichen rasch um, werden von der üppigen Bodenvegetation überwachsen und schnell zersetzt.

Der Bestandesniederschlag ist in dicht stehenden, jüngeren Beständen relativ gleichmäßig, in Altbeständen mit einem geringeren Bestockungsgrad lassen sich Verteilungsmuster nachweisen, die in Zusammenhang mit Traufstrukturen sowie mit Einzelbäumen und der Hauptwindrichtung stehen (ANDERS ET AL., 2002). Im Stamm- und Unterkronebereich ist die Mächtigkeit der Rohhumusaufgabe infolge starken Aufkommens von Nadel- und Rindenstreu höher. Das wird durch die gehemmte Mineralisierung durch die lokal stark sauren Bedingungen und den Niederschlagsmangel verstärkt. In lückigen Bereichen kommen u.U. lichtliebende Gräser zur Vorherrschaft (Faziesbildung), die sich ungünstig auf chemische und hydrologische Bodenbedingungen auswirken können. Das Grob- und Feinwurzelsystem der Kiefern ist ausgesprochen extensiv und weist weit über den Kronenrand hinaus. Die meisten Feinwurzeln werden in der obersten Mineralbodenschicht und der Humusaufgabe gebildet (HORNSCHUCH, 2003; ANDERS ET AL., 2004; HORNSCHUCH ET AL., 2007).

In der Tab. 4.40, Seite 86 werden ober- und unterirdische Bestandesstrukturdaten den Autokorrelationslängen von Bodeneigenschaften gegenübergestellt. Unter Annahme einer maximalen Gleichverteilung der (Z-)Bäume im Dreiecksverband mit jeweils hexagonalen Standflächen im einschichtigen Bestand (Abb. 4.26, Seite 84) wurde der mittlere Baumabstand aus der Baumanzahl wie folgt berechnet (PRETZSCH, 2002):

$$a = \sqrt{\frac{10000}{n}} 1,0746 = \frac{1}{\sqrt{n}} 107,46 \quad (4.3)$$

mit a = mittlerer Baumabstand in m und n = Baumanzahl in Stück/ha.

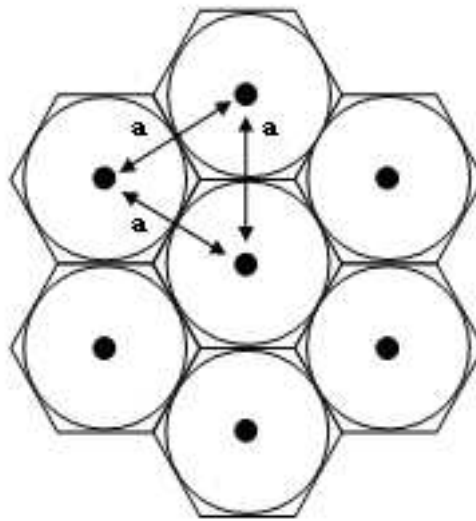


Abbildung 4.26: Anordnung von Einzelbäumen im Dreiecksverband. a = Abstände zu den nächsten Nachbarn (verändert aus PRETZSCH (2002))

Die Angaben zur Reichweite der Feinwurzelsysteme sind Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen, bei der die lokale Feinwurzelmasse anhand des oberirdischen Bestandesaufbaus mit Hilfe eines Strukturindex modelliert wurden (s.u.). Angegeben ist der Radius desjenigen Suchkreises, bei dem die Gesamtheit aller eingeschlossenen Bäume die Feinwurzelmasse eines Ortes bestmöglich erklärt. Der Einfluss, den ein Baum auf die Feinwurzelmasse hat, der in größerer Entfernung steht, lässt sich nicht mehr darstellen. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Feinwurzelmenge mit der Entfernung vom Stammfuß i.d.R. nicht linear, sondern exponentiell abnimmt. In den Beständen BN, BW und EN nimmt der Einfluss bis ca. 4 m besonders schnell ab, während in den Kiefernbeständen und bei EW ein nur schwacher Zusammenhang mit dem Einzelstamm bzw. der Stamm Entfernung besteht. Hier bestimmen lokale Unterschiede in der Bestandesdichte bzw. der Bestandesgrundfläche das Cluster der Feinwurzel dichte.

Zwischen dem mittleren Baumabstand und den für die Ökosysteme gemittelten Autokorrelationslängen verschiedener Bodenparameter und Tiefenstufen lassen sich keine Beziehungen erkennen (Tab. 4.40, Seite 86). Zwar weisen die Eichenbestände gegenüber den Buchen i.d.R. (aber nicht im konkreten, „rezenten“ Fall) höhere Baumabstände auf und auch die Autokorrelationslängen einiger Bodenparameter sind bei Eiche größer. Unter Kiefer – besonders bei KW – sind die Autokorrelationslängen aber ausgesprochen groß, obwohl Kiefernbestände durch relativ hohe Stammzahlen (niedrige Stammabstände) gekennzeichnet sind. Es fällt weiterhin auf, dass sich sowohl bestandesstrukturell als auch im Blick auf die Autokorrelationslängen der Kiefern-Natur-

stark vom Kiefern-Wirtschaftswald unterscheiden (KN sehr differenziert und kurze ranges). Es ist denkbar, dass die ausgesprochen großen Autokorrelationslängen in KW auf die geologisch und historisch nachgewiesene (anthropogene) Übernutzung und die häufigen Brände zurückzuführen sind (Entstehung von Räumen und Blöcken auf diesem Dünenstandort).

Bei der Aufklärung von Beziehungen zwischen der oberirdischen Bestandesstruktur und dem Muster der Ausprägung von Bodenfaktoren (Bodenheterogenität), sollten nicht nur absolute Baumzahlen oder Baumzahlen ab einem bestimmten BHD berücksichtigt werden, sondern auch die Anzahl der herrschenden und mitherrschenden Bäume sowie deren Kronenformen, weil sie die Muster der Niederschlagsverteilung und Deposition im Bestand bestimmen. Trauffeffekte spielen nicht nur in Kiefernbeständen eine Rolle, sondern auch bei Eichen und Buchen. Vor allem der Stammabfluss bei Buchen wird Einfluss auf die kleinräumige Bodenheterogenität haben. Dabei ist vor allem an den pH-Wert und die Sättigungsgrade verschiedener Elemente zu denken. Die Autokorrelationslängen des pH-Wertes von 5 bis 5,50 m im Oberboden der Buchenbestände unterstützen diese Vermutung.

Möglicherweise besteht aber ein nicht unbedeutender wechselseitiger kausaler Zusammenhang zwischen der räumlichen Heterogenität von Bodenparametern und dem spezifischen räumlichen Durchwurzelungsmuster der entsprechenden Baumarten. Mit zunehmender „Extensivität“ der Grob- und Feinwurzelsysteme (Buche < Eiche < Kiefer) nehmen auch die Autorrelationslängen des Humusgehaltes zu. Diese Tendenz trifft jedoch nicht für die Bestände BW und KN zu. Im Bestand BW sind die Autokorrelationslängen mit weniger als 2 m sehr gering. Der altersmäßig stark differenzierte Bestand KN weist ähnliche Humus-Autokorrelationslängen wie die Laubbaumbestände auf. Sein Feinwurzelsystem konnte nur bei kleinem Suchkreisradius ($r = 4$ m) modelliert werden (HORNSCHUCH ET AL., 2007).

Strukturelle Unterschiede zwischen Beständen unterschiedlicher Naturnähe Nach Fröhlich1951 und Rubner1968, bd. zitiert in KORPEL (1995), ist die Ausgeglichenheit des Bodenzustandes infolge Stabilität und fortwährendem Humusreichtum Ursache dafür, warum in ausgedehnten Urwäldern auf verschiedenen Expositionen die gleichen Wald- und Bodentypen vorgefunden werden. Zwischen Natur- und Wirtschaftswald wurden beträchtliche Unterschiede im Humusgehalt der oberen Horizonte und in der Oberflächenhumifikation zugunsten des Urwaldes festgestellt (Literaturnachweise bei KORPEL (1995)).

Dieser Homogenisierung der räumlichen Heterogenität naturnaher Böden auf der landschaftlichen Mesoskala entsprechen auf Bestandesebene die gegenüber Wirtschaftswäldern größeren Autokorrelationslängen, die im Buchen- und Eichen-Naturwald ermittelt wurden. Möglicherweise werden die etwas großräumigeren Muster in den Naturwäldern aber auch durch die Existenz und Dauer der Terminal- und Zerfallsphase verursacht. Gegenüber der Optimalphase im Naturwald bzw. dem Baumholzstadium des Wirtschaftswaldes sind die Baumzahlen hier verringert und der Einfluss einzelner großer Uraltbäume bzw. von Bestandeslücken wird größer. Der Flächenanteil, also auch die Dauer dieser Phase ist in Buchenurwäldern groß (DRÖSSLER, 2006). In den Naturwäldern ist die Stammzahldichte von herrschenden Bäumen durch großkronige Altbäume begrenzt, während im Wirtschaftswald auf eine gleichmäßige Stammverteilung und optimaler Ressourcenausnutzung (Konkurrenzminimierung) geachtet wird.

Naturnähe scheint gleichzeitig mit einer hohen Variabilität / Diversität der Ausprägung der Bodeneigenschaften verknüpft zu sein. In den untersuchten Naturwäldern von Buche, Eiche und Kiefer konnte rezent eine durchgehend höhere Strukturvielfalt im Vergleich zu den bewirtschafteten Referenzflächen nachgewiesen werden. Die Baumindividuen waren heterogener verteilt, die Stammdurchmesser und Baumhöhen streuten stärker und der Anteil stehenden und liegenden Totholzes war deutlich erhöht. Zur Quantifizierung dienten die Maßzahlen Durchmesser differenzierung, Durchmischung (lebende Bäume und stehendes Totholz), Winkelmaß und der Variationskoeffizient eines Strukturindex, der den Einfluss benachbarter Bäume berücksichtigt (s.u., HORNSCHUCH und RIEK (2006a)). Dieser strukturelle Qualitätsunterschied zwischen Urwald und

Tabelle 4.40: Vergleich zwischen Baumzahl (Ertragstafelwerte für mäßige Durchforstung n. SCHÖBER (1987), Untersuchungen aus Urwäldern, konkrete Untersuchungsflächen BN - KW), Wurzelausdehnung und gemittelten Autokorrelationslängen von Bodenparametern der konkreten Untersuchungsflächen

Baum-		mittlerer Baum-				Wurzelaus-		Autokorrelations-			
art		abstand in m				dehnung ⁱ		länge ^g in m			
	Alter f. Ertr.- tafel- wert ^a	1.Ertr.kl. verbl.+ aussch. Bestand ^a	2.Ertr.kl. verbl.+ aussch. Bestand ^a	Ur- wald ^{b c d}	konkrete U-Fläche	Skelett- wurzel bei Alter > 60.J. ^e	Fein- wurzel bei Alter > 60.J. ^f	pH	Humus	C- + N-Gehalt	Element- sättig. ^h
Buche	120	6,72	5,93	6,81 ^b	5,77			5,51	8,4	19,5	
BN,	140	7,99	7,04	5,07 ^c	(BN)			3,41	5,79		
BW	150	8,6	7,58	6,61 ^c		2,70-5,70	8,5				
				6,37 ^c							
				5,37 ^d	7,63		8	5,16	1,64	2,34	9,19
					(BW)			5,06	1,94		6,66
Eiche	120	7,43	6,85	13,33 ^b	3,79		8		7,2	6,6	
EN,	140	8,74	8,17	4,08 ^c	(EN)	2,80-20,00		5,77	5,73		
EW	200	12,49	11,59	7,29 ^c	5,15		≥ 10	11,44	6,4	3,19	7,6
					(EW)			5,01	4,69		7,12
Kiefer	100	5,56	4,95		3,99		4-6	7,32	3,62	3,8	4,98
KN,	120	6,39	5,79	≥ 3,10 ^c	(KN)	4,70-23,50		11,5	5,14		5,46
KW	140	7,04	6,65		4,41		≥ 10	4,2	15,12	7,07	4,42
					(KW)			5,32	12,1		4,46

^a

SCHÖBER (1987)

^b

(LEIBUNDGUT, 1993), Optimalphase, Buche: Kukavica (Serbien), Eiche: Prašnik (Slawonien), Kiefer: Pfinwald (Wallis)

^c

(KORPEL, 1995), Derbholz, Buche: Vihorlat/Kyov (Slowakei), Rožok (Slowakei), Havešová (Slowakei); Eiche: Boky (Slowakei), Kašivárová, Lesná (Slowakei)

^d

(DRÖSSLER, 2006) Havešová (Slowakei)

^e

(POLOMSKI und KUHN, 1998)

^f

optimaler Suchkreis für Feinwurzelmodellierung (HORNSCHUCH und RIEK, 2006a; HORNSCHUCH ET AL., 2007)

^g

für 0-5 cm (erste Zahl) und 0-40 cm (gemittelt, zweite Zahl, kursiv), siehe Tab. 4.31, Seite 68 und 4.32, Seite 71

^h

bei 0-5 cm: Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn, bei 0-40 cm: Ca, Mg, Al, Mn; – nicht modellierbar; leere Zellen: keine Werte

ⁱ

horizontale Wurzelausdehnung i. Lockersediment in m

Wirtschaftswald wird in der Literatur durchgehend beschrieben. Verschiedene Autoren weisen im Blick auf die Bodeneigenschaften auf die Häufung von aufgeklappten Wurzeltellern in Urwäldern hin, die beim Umfallen von Baumleichen oder Altbäumen entstehen (KOOP, 1982; SCHERZINGER, 1996). Auch die eigenen Untersuchungen erbrachten, dass mit der höheren bestandesstrukturellen Diversität der Naturwald-Untersuchungsflächen (BN, EN, KN) gegenüber den entsprechenden Wirtschaftswäldern (BW, EW, KW) höhere Streuungsmaße (Variationskoeffizienten usw.) der auf diesen Flächen untersuchten Bodenkennwerte Horizontmächtigkeit bzw. -tiefe, pH-Wert und Humusgehalt koinzidieren.

Strukturelle Unterschiede zwischen Arealen innerhalb der Bestände Am konkreten Ort kann die Bestandesstruktur durch einen Strukturindex (SI) der Form

$$SI = \sum \frac{KF}{E^h} \quad (4.4)$$

für alle Bäume mit $E \leq r$ (mit KF=Kreisfläche Stamm in m^2 , E=Entfernung des Baumes in m , h=nichtlinearer Parameter und r=Suchkreisradius) ausgedrückt werden (ANDERS ET AL., 2004; HORNSCHUCH ET AL., 2007).

Ein Lückenindex (LI) als die Summe der Kreisflächen im Verhältnis zur Entfernung des nächsten Baumes trägt der spezifischen Baumverteilung Rechnung:

$$LI = \sum \frac{KF}{E_{min}} \quad (4.5)$$

für alle Bäume mit $E \leq r$ und E_{min} =Entfernung zum nächsten Baum.

Aus der Überlegung heraus, dass manche Faktoren durch die Dimension und Nähe von Baumindividuen beeinflusst werden, lassen sich einfache Modelle ableiten, um diese Parametergrößen zu schätzen:

$$X = a_0 + a_1 \sum \frac{KF}{E^h} \quad (4.6)$$

oder

$$X = a_0 + a_1 \sum KF + a_2 \sum E^h \quad (4.7)$$

für alle Bäume mit $E \leq r$ mit X=Bodenparameter, z.B. Feinwurzelmasse FWM in g/m^2 , a_0 , a_1 , a_2 , h = bestandesspezifische Modellparameter und r=bestandesspezifischer Suchkreisradius.

Weiterhin wurden die Ergebnisse hemisphärischer Kronenaufnahmen (Kronenschluss, Blattflächenindex) mit Parametern verglichen, bei denen ein enger Zusammenhang mit der Überschirmung vermutet wurde (Niederschlag, aktuelle Feuchte, Bodenvegetation).

Einfluss der Bestandesstruktur auf Niederschlag und aktuelle Oberbodenfeuchte nach einer Regenperiode Die Kronenstruktur bestimmt, wie der Niederschlag im Bestand umverteilt wird und wie hoch die Bodenfeuchte nach Regenereignissen an bestimmten Orten ist. Untersuchungen im Kiefern-Naturwald ergaben, dass sich das Muster des Bestandesniederschlags zwischen den Messperioden bzw. Regenereignissen ähnelt und mit der Verteilung der aktuellen Oberbodenfeuchte (0-5 cm) nach einer Niederschlagsperiode korreliert (Abb. 4.27, Seite 88).

In den Abb. 4.28, Seite 88 werden für den Kiefern-Naturwald Strukturindices mit bestandeshydrologischen Daten verglichen. Beziehungen bestehen zwischen dem Niederschlag bzw. der Oberbodenfeuchte nach Regen und einem Lückenindex, der den geringsten Baumabstand und die Summe der Kreisflächen aller Stämme im Umkreis von $r = 6$ m berücksichtigt (niedriger Wert: lückig, s. Trendlinie). Weniger deutlich sind die Beziehungen zu einem einfachen Strukturindex ohne Beachtung der Baumdispersion ($r = 6$ m), dem Kronenindex und dem Blattflächenindex (LAI 0 – 60°). Die beiden letztgenannten Indices wurden anhand hemisphärischer Kronenfotos mit dem Programm „Gap Light Analyzer 2.0 (GLA)“ ermittelt (FRAZER et al., 1999). Der Kronenindex („%

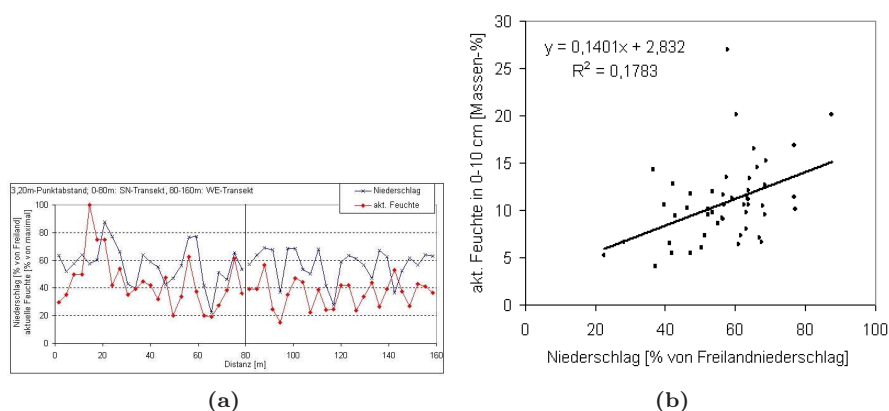


Abbildung 4.27: (a) Variabilität des Bestandesniederschlags [Niederschlagssumme Mai-Nov 2006 in % von Freiland] und der aktuellen Feuchte nach einer Regenperiode [% vom Maximalwert in 0-10 cm Tiefe] in KN, (b) Beziehung zwischen Niederschlagssumme [mm, 05-11.2006] und Oberbodenfeuchte nach Regenperiode [Massen-%]

Canopy openness“) gibt den prozentual sichtbaren Himmelsanteil ohne Berücksichtigung der umgebenden Geländetopografie wider. Der Blattflächenindex „LAI 4Ring“ berücksichtigt den Bereich zwischen dem Zenit bis zu einem Winkel von 60°. Zur besseren Darstellung in Abb. 4.28, Seite 88 wurde der Kronenindex durch den Faktor 10 dividiert.

Im strukturell homogenen Kiefern-Wirtschaftswald und in den Eichen-Beständen sind die Beziehungen noch schwächer ausgeprägt. Die Buchenwälder wurden nicht untersucht.

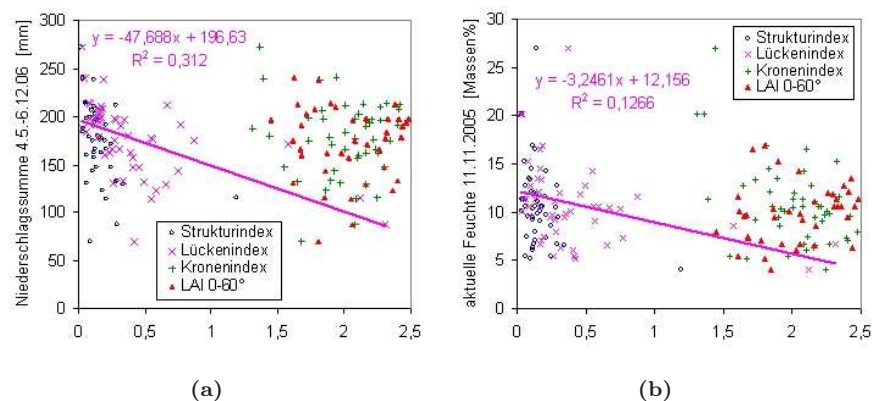


Abbildung 4.28: (a) Zusammenhang zwischen Niederschlagssumme und Bestandesstrukturindices im Kiefern-Naturwald. Trendlinie für Lückenindex, (b) Zusammenhang zwischen aktueller Feuchte nach Regenperiode und Bestandesstrukturindices im Kiefern-Naturwald. Trendlinie für Lückenindex

Zur Beschreibung der hydrologischen Differenzierung im Bestand, die Auswirkung auf bodenbildende Prozesse haben dürfte, ist die aktuelle Oberbodenfeuchte nur bedingt verwendbar. Aber auch bei direkten Niederschlagsmessungen (KN) zeigt sich, dass offenbar einfache Bestandesparameter nicht ausreichen, das Muster der Niederschlagsumverteilung im Bestand hinreichend genau zu modellieren. Dazu sind z.B. der Einfluss der Hauptwindrichtung, die Baumhöhen, die

Kronenform und im Fall von Buchenbeständen auch die Bestimmung der durch Stammabfluss beeinflussten Areale zu berücksichtigen (ANDERS ET AL., 2002).

Einfluss der Bestandesstruktur auf die Bodenvegetation Meistens ist das Verteilungsmuster der Bodenvegetation (sarten) Folge der durch die Bestandesstruktur verursachten kleinräumigen Bodenheterogenität (Wasser, Versauerung). Die Anwesenheit von Bodenvegetation oder bestimmter Bodenvegetationsarten ihrerseits kann einen Einfluss auf die kleinräumige Bodendiversität haben, der allerdings vergleichsweise gering ist.

Die Verteilung von Arten und ihre Deckungswerte z.B. nicht nur licht- oder hydroökologisch in Zusammenhang mit Bestandeslücken zu interpretieren. Beispielsweise hat die Stammnähe Einfluss auf das Muster von Niederschlagsverteilung, Humusqualität und pH-Wert und damit nur indirekt auf die Bodenvegetation. Im Stammfußbereich alter Buchen bilden sich markante Vegetationszonierungen aus, die auf die Versauerung des Oberbodens durch das Stammablaufwasser zurückzuführen sind (ELLENBERG ET AL., 1992; JOCHHEIM, 1985; WITTIG ET AL., 1985). Der nachgewiesene Befund, dass der Deckungsgrad der Drahtschmiele mit dem Strukturindex positiv und bei Blaubeere negativ korreliert ist (siehe Formel 4.4, HORNSCHUCH und RIEK (2006a)), hängt offenbar damit zusammen, dass unter Kiefernkronen die Rohhumuslage mächtiger und der Bestandesniederschlag herabgesetzt ist.

In vielen Waldbeständen ist die Strahlung ein begrenzender Faktor für das Wachstum von Waldbodenpflanzen. Allerdings lassen sich die Verteilungsmuster nicht mit senkrecht projizierten Kronenstrukturen decken, weil i.d.R. die direkte Sonneneinstrahlung maßgebend ist. Die aus hemisphärischen Kronenfotos unter Berücksichtigung der Sonnenbahn abgeleiteten Strahlungswerte (WAGNER, 1995; FRAZER et al., 1999) dürften also die tatsächlichen Wachstumsbedingungen am Waldboden besser zum Ausdruck bringen, als die Zugrundelegung eines Zahlenwertes, der von der Waldstruktur in 1,30 m Höhe um einen Punkt herum abgeleitet wurde (Strukturindex, Formel 4.4, Lückenindex, Formel 4.5).

Im Kiefern-Naturwald kommt die Drahtschmiele mit hoher Deckung vorzugsweise in besonnten Bereichen vor, während in schattigen Arealen häufig die Blaubeere zur Dominanz kommt. In den Eichenbeständen mit geringen bis mittleren Deckungsgraden lassen sich Zusammenhänge zwischen Strahlung und Bodenbewuchs feststellen (Abb. 4.29, Seite 90). Im dichten Buchen-Naturwald spielt direkte Sonneneinstrahlung eine untergeordnete Rolle, da die Sonnenflecken klein sind und schnell über den Waldboden wandern. Weil hier auch das diffuse Licht (Strahlung) ein sehr begrenzter und begrenzender Wachstumsfaktor ist, ergeben sich hochsignifikante negative Korrelationen zwischen Strukturindex und dem Deckungsgrad der Bodenvegetation (Kronenaufnahmen aus den Buchenbeständen liegen nicht vor). Eine hohe Dichte von Baumkeimlingen bzw. Jungwuchs ist im Eichen- und Buchen-Naturwald mit der Nähe zum nächsten Baumstamm, wo gehäuft die schweren Samen auftreten, hochsignifikant positiv korreliert.

Auch zwischen der Wurzelmasse der Bodenvegetation und dem Strukturindex des Bestandes (Formel 4.6) sind schwache Beziehungen nachzuweisen. Diese Wechselwirkung muss nicht nur lichtökologische Gründe haben (s.o.) sondern kann auch mit der Konkurrenz mit Baumwurzeln zusammenhängen (s. nächster Abschnitt). Besonders bei mäßig deckender Bodenvegetation, also in den Eichenbeständen, fanden sich in in dicht bestockten Arealen weniger Bodenvegetationswurzeln (Tab. 4.41, Seite 91).

Einfluss der Bestandesstruktur auf die Feinwurzeldichte Buchen besitzen ein Herzwurzelsystem. Besonders in Stammnähe ist die Grob- und Feinwurzeldichte ($d > 2$ mm, $d < 2$ mm) dadurch sehr hoch. Die Feinwurzeldichte nimmt mit zunehmender Stammmentfernung rasch ab (großer Wert des Parameterschätzers h , Tab. 4.42, Seite 92), wenngleich die Zwischenstammbereiche immer noch stark durchwurzelt sind (ANDERS ET AL., 2004). Es bestehen hochsignifikante Beziehungen zwischen dem Strukturindex aller lebenden Bäume (Formel 4.4) und der Gesamt-

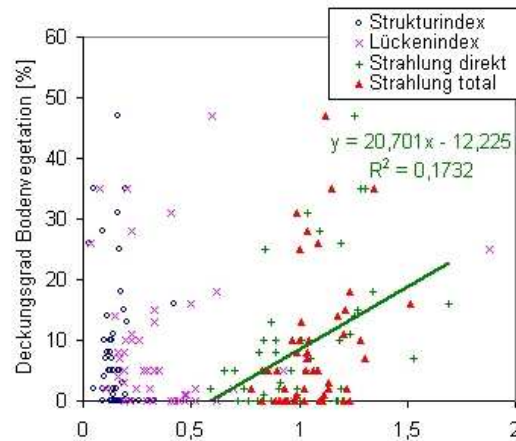


Abbildung 4.29: Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad der Bodenvegetation und Bestandesstruktur- und Strahlungsindices im Eichen-Naturwald. Die Strahlungsindices ergeben sich aus den prozentualen Werten der Direkt- und Gesamtstrahlung, die Gap Light Analyzer 2.0 berechnet hat, geteilt durch den Faktor 20. Trendlinie für Direktstrahlung.

feinwurzelmasse (leb. + tot), so dass diese aus den Strukturparametern modelliert werden kann (Tab. 4.42, Seite 92).

Weniger stark auf den Einzelstamm bezogen sind die Feinwurzelverhältnisse in den Eichenbeständen, da sich die Eichenwurzeln besonders stark am Ende der Wurzelstränge verzweigen (Polomski 1998). Außerdem wurden die besten Modellergebnisse erzielt, wenn der Suchkreisradius relativ groß gewählt wurde, d.h. dass ein bedeutender Wurzelanteil eines Baumes noch relativ weit vom Stamm entfernt zu finden ist (Tab. 4.42, Seite 92).

In den Kiefernbeständen ist die Bestandesstruktur-Wurzel-Beziehung aufgrund der extensiven, weit über den Kronenrand hinaus gehenden Bewurzelung noch schwächer (Tab. 4.42, Seite 92). Die Durchwurzelungsintensität an einem Ort hängt stärker von den Dimensionen der umgebenden Kiefern (Summe der Kreisflächen) ab, als von der Entfernung zu Einzelbäumen (kleiner Wert des Parameterschätzers h , Tab. 4.42, Seite 92) und lässt sich insgesamt ungenauer schätzen, als in Buchen- oder Eichenbeständen (s. Bestimmtheitsmaße R^2 in Tab. 4.42, Seite 92). In dicht bestockten Bestandesarealen mit starken Kiefern treten daher flächig höhere Wurzeldichten auf, ohne dass ein deutlicher Wurzeldichtegradient zu einzelnen Baumfüßen ausgebildet wäre (ANDERS ET AL., 2004). Am schwierigsten lässt sich die Beziehung zwischen Bestandesstruktur und der Feinwurzelverteilung im Bestand KN beschreiben. Offenbar weist die Feinwurzelverteilung aufgrund sehr großer Wurzelsysteme der teilweise über 300jährigen Kiefern keine klare Beziehung zu den Stammkoordinaten mehr auf (HORNSCHUCH ET AL., 2007).

Bei Untersuchungen in anderen Buchen- und Kiefern-Reinbeständen im Rahmen eines BMBF-Projektes zum Waldumbau (ANDERS ET AL., 2004), wo lebende und abgestorbene Feinwurzeln differenziert wurden, zeigte sich, dass zwischen der rezenten Bestandesstruktur und den lebenden Feinwurzeln engere Beziehungen bestanden, als zur Gesamtfuinwurzelmasse einschließlich der toten Wurzeln. Daher scheint die Verteilung des Nekromasseanteils nicht nur Resultat des Umsatzes rezenter Baumwurzelsysteme sondern auch früherer Bestandeskonstellationen zu sein. Allerdings bestanden in den hier untersuchten Flächen zwischen der Gesamt-Feinwurzelmasse (lebend + tot)

Tabelle 4.41: Modellparameter zur Schätzung des Wurzelvorrates der Bodenvegetation (0-40 cm, g/m^2) nach Formel 4.6 anhand nur lebender Bäume

	BN	BW	EN	EW	KN	KW
Stichprobenanzahl n	221	221	221	221	221	221
Suchkreisradius in m	6	8	9	6	4	8
Parameterschätzer a_0	7,772	39,408	6,495	87,4	48,536	3,151
Parameterschätzer a_1	-0,409	-103,544	0,727	-9,703	9,765	-0,721
Parameterschätzer h	-1,456	1,205	-1,401	-1,338	2,332	0,487
Standardfehler a_0	4,293	7,369	7,431	17,876	4,712	0,067
Standardfehler a_1	0,554	63,942	0,51	4,697	42,538	0,347
Standardfehler h	0,115	0,685	0,063	0,0339	2,216	0,27
Ober- / Untergrenze (95%- Konf.interv.) a_0	-0,689	24,884	-8,151	52,12	39,248	3,019
	16,233	53,932	21,141	122,68	57,824	3,284
Ober- / Untergrenze (95%- Konf.interv.) a_1	-1,502	-229,569	-0,278	-18,976	-74,076	-1,404
	0,683	22,48	1,732	-0,43	93,605	-0,037
Ober- / Untergrenze (95%- Konf.interv.) h	-1,683	-0,144	-1,533	-1,405	-2,035	-0,045
	-1,23	2,554	-1,284	-1,271	6,699	1,02
Korrelation $a_0 - a_1$	-0,57	-0,391	-0,756	-0,854	-0,373	-0,555
Korrelation $a_0 - h$	0,048	-0,664	-0,385	0,261	0,362	-0,093
Korrelation $a_1 - h$	-0,83	-0,327	0,887	-0,715	-0,996	0,773
Bestimmtheitsmaß R^2	0,008	0,013*	0,042*	0,049*	0,027*	0,047*
	n.s.					

^a ** signifikant auf dem 0,01-Niveau, * signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

und dem Strukturindex, der nur lebende Bäume berücksichtigt, stets engere Beziehungen, als zu einem Nachbarschaftsindex aus lebenden und toten Bäumen (Tab. 4.43, Seite 93 und 4.44, Seite 94).

Bei den Beständen KN, KW und BW wurden für die Modellierung nach Formel 4.6 statt der Kreisflächen auch die Baumhöhen und das aus Kreisfläche und Höhe berechnete Baumholzvolumen (BECK, n. publ.) eingesetzt. In den gleichaltrigen und wenig BHD-differenzierten Wirtschaftswäldern KW und BW erweist sich die Baumhöhe als ein Strukturparameter, der relativ eng mit der Wurzelichte korreliert ist (Tab. 4.43, Seite 93).

Einfluss der Bestandesstruktur auf den Humusgehalt In Sandböden ist die organische Bodensubstanz hauptsächlich ein Resultat des Wurzelumsatzes bzw. -abbaus, da es kaum Regenwürmer gibt, die Bestandteile des Auflagehumus in den Mineralboden einarbeiten können. Das Humus-Verteilungsmuster im Mineralboden müsste demnach Ähnlichkeiten mit der räumlichen Struktur des Feinwurzelsystems aufweisen. Da mit einem Bestandes-Strukturindex (SI, Formel 4) die Feinwurzelverteilung in den untersuchten Beständen relativ gut modelliert werden kann (Formeln 4.6 und 4.7, Tab. 4.42, Seite 92, s.a. SEIDENGLANZ und BANDICK (2006); FISZKAL (2007)), wurde versucht, mit diesem Modellansatz auch die Verteilung der organischen Bodensubstanz zu beschreiben. Dabei zeigt sich, dass ein SI, der ausschließlich dickere (ältere) Bäume sowie die Baumstubben, also alte Bestandesstrukturen berücksichtigt, besser mit dem Humusgehalt korreliert ist, als ein SI, der aus allen rezent lebenden Bäumen berechnet wird (Tab. 4.44, Seite 94).

Die hohen Humusvorräte in Bestandespartien mit vielen bzw. kräftigen Bäumen sind demnach auf den standortsbedingt raschen Abbau von toten Wurzeln bzw. Wurzelstreu im Mineralboden zurückzuführen. Die Korrelation zwischen Strukturindex und Humusgehalt wird – wie bei der Feinwurzelmasse entsprechend der räumlich-spezifischen Wurzelstruktur – in der Reihenfolge Kiefer < Eiche < Buche straffer. Bemerkenswert ist weiterhin, dass die bestandesspezifischen Autokorrelationslängen des Humusgehaltes ähnliche Werte annehmen, wie die Suchkreisradien, die zur opti-

4. Geostatistische Analyse im Nordostdeutschen Tiefland

Tabelle 4.42: Modellparameter zur Schätzung des Wurzelvorrates (lebende+tote Feinwurzeln, 0-40 cm, g/m^2) nach Formel 4.6 anhand nur lebender Bäume

	BN	BW	EN	EW	KN	KN	KW
Stichprobenanzahl n	221	221	221	221	221	221	221
Suchkreisradius in m	8	6	8	10	4	6	10
Parameterschätzer a_0	124,059	499,914	143,526	90,966	111,132	85,092	-30,831
Parameterschätzer a_1	529,7	770,933	380,219	1530,431	-73,465	4,123	597,1822
Parameterschätzer h	0,813	1,32	0,525	1,359	0,263	-1,231	0,489
Standardfehler a_0	18,01	19,538	31,899	35,535	4,608	11,29	72,745
Standardfehler a_1	190,91	238,308	106,136	146,411	47,342	1,802	240,392
Standardfehler h	0,263	0,359	0,173	0,131	0,5217	0,142	0,217
Ober- / Untergrenze (95%-Konf.interv.) a_0	88,564	461,407	80,656	20,927	102,049	62,839	-174,204
	159,555	538,421	206,396	161,005	120,214	107,344	112,543
Ober- / Untergrenze (95%-Konf.interv.) a_1	153,436	301,251	171,036	1241,854	-	0,57	123,392
	905,963	1240,615	589,403	1819,007	19,843	7,675	1070,973
Ober- / Untergrenze (95%-Konf.interv.) h	0,296	0,612	0,184	1,102	-0,765	-1,512	0,0618
	1,331	2,027	0,866	1,616	1,291	-0,95	0,915
Korrelation a_0 - a_1	-0,081	-0,478	-0,565	-0,633	-0,532	-0,07	-0,488
Korrelation a_0 - h	0,321	0,526	0,246	0,881	0,193	0,769	0,259
Korrelation a_1 - h	0,889	0,277	0,643	-0,238	-0,834	0,534	0,714
Bestimmtheitsmaß R^2	0,145**	0,049**	0,091**	0,349**	0,035**	0,033**	0,055**

^a ** signifikant auf dem 0,01-Niveau, * signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

malen Schätzung der lokalen Feinwurzelmasse anhand der Baumdimensionen und -entfernungen notwendig sind.

Einfluss der Bestandesstruktur auf den pH-Wert Der pH-Wert ist mit dem Strukturindex in den Buchen- und Kiefernbeständen negativ korreliert, statistisch signifikant aber erst in den unteren Tiefenstufen. In Buchenbeständen ist der saure Stammabfluss dafür verantwortlich zu machen, in den Kiefernbeständen ist die Nachlieferung von Nadel- und Rindenstreu mit ungünstigem C/N-Verhältnis im Unterkronenbereich starker Kiefern am größten. Auf den Eichenflächen wurden keine Zusammenhänge nachgewiesen.

Einfluss der Bestandesstruktur auf die Kationenaustauschkapazität und die Elementsättigung Sowohl die Kationenaustauschkapazität als auch die Basensättigung in 0-5 cm war mit dem Strukturindex in den Beständen Buchen- und Eichen-Wirtschaftswald negativ korreliert (Ake in BW und EW, BS in BW signifikant). Auf den anderen Flächen ergaben sich schwache positive Zusammenhänge. Nur im Kiefern-Naturwald wurde eine signifikante Korrelation zwischen SI und BS festgestellt. Entsprechend gab es signifikante negative Beziehungen zwischen Ca- und Mg-Sättigung zur Bestockungsdichte in BW und EW und eine positive Korrelation in KN. Zwischen Al-Sättigung und Bestandesstruktur konnte eine negative Beziehung in allen Naturwäldern ermittelt werden. Möglicherweise kann bei fehlender Stammzahlregelung und längeren Standzeiten in älteren Naturwald-Stadien ein Einfluss des Bestandesaufbaus auf die Verteilung austauschbarer Elemente nachgewiesen werden.

Einfluss der Bestandesstruktur auf die C- und N-Gehalte sowie das C/N-Verhältnis Im Buchen-Wirtschaftswald lassen sich keine signifikanten Beziehungen zwischen Strukturindex und den C- und N-Gehalten nachweisen. Im Eichen-Wirtschaftswald verringert sich der Stickstoffgehalt bei hohem Strukturindex. Trotz tendenziell abnehmender Kohlenstoffgehalte hat das ein höheres C/N-Verhältnis zur Folge. In dicht bestockten Arealen des Kiefern-Wirtschaftswaldes

Tabelle 4.43: Bestimmtheitsmaße (R^2) der Wurzelvorrat-Schätzung (lebende + tote Feinwurzeln, 0-40 cm, $n = 221$) in Abhängigkeit von Bestandesstrukturparametern nach Formel 4.6

Bäume Suchkreis	im	Baum- parameter Entfernung und:	BN	BW	EN	EW	KN	KW
nur lebende		Kreisfläche	0,145** ($r=8m$)	0,049** ($r=8m$)	0,091** ($r=8m$)	0,349** ($r=10m$)	0,035** ($r=4m$)	0,055** ($r=10m$)
		Baumhöhe	nicht berech- net	0,066** ($r=6m$)	nicht berech- net	nicht berech- net	0,003 n.s. ($r=4m$)	0,094** ($r=10m$)
		Baumholz- volumen	nicht berech- net	0,045** ($r=6m$)	nicht berech- net	nicht berech- net	0,037** ($r=4m$)	0,046** ($r=10m$)
lebende		Kreisfläche	0,089**	0,049**	0,047**	0,117**	0,034**	s.o., keine toten Ki
und tote			($r=8m$)	($r=8m$)	($r=8m$)	($r=10m$)	($r=4m$)	

^a ** signifikant auf dem 0,01-Niveau, * signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

erhöhen sich der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt, was aber keine Auswirkungen auf das C/N-Verhältnis hat.

4.4.8.2 Einfluss der Bodengenese (Horizontierung)

Nach der BZE-Anleitung werden u.a. die Tiefenstufen 5-10 cm und 10-30 cm beprobt. Da die Untergrenzen der Bodenhorizonte variieren, kommt es lokal zu einem unterschiedlichen Anteil, den die Horizonte (z.B. Ah, Bhs) an der entsprechenden Tiefenstufe und damit in der Bodenprobe haben (Abb. 4.30, Seite 93). Anhand der Horizontansprache und der tiefenstufenbezogenen Bodenanalyse der Bohrsäulen an allen 221 Punkten je Fläche wurde untersucht, ob Beziehungen zwischen dem Anteil des Ah- bzw. Ahe-Horizontes an der Tiefenstufen 5-10 cm und 10-30 cm und den Parametern Humus- und C-Gehalt, Kationenaustauschkapazität, Basensättigung sowie pH-Wert bestehen.

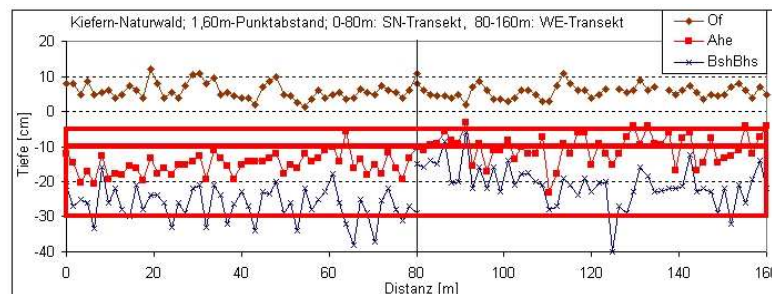


Abbildung 4.30: Variabilität der Horizontierung im Kiefern-Naturwald mit Hervorhebung der Tiefenstufen 5-10 und 10-30 cm (äquidistante Probepunkte mit dem Abstandsintervall von 1,60 m)

Tabelle 4.44: Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen Feinwurzelmasse bzw. Humusgehalt und dem Strukturindex, der alle lebenden Bäume (SI rezent) bzw. dem Strukturindex, der nur Stämme mit $d_{1,3} > 30$ cm sowie alle Baumstubben berücksichtigt (SI alt) (Modellparameter $h = 1$, $r = 6$ m, Fläche: Buchen-Naturwald)

Parameter	Tiefe	SI rezent	SI alt
Feinwurzelmasse in g/m^2	0-40 cm	0,337**	0,317**
Humusgehalt [%]	0-5 cm	0,067	0,161*
	5-10 cm	0,135*	0,241**
	10-15 cm	0,122	0,168*
	15-20 cm	0,148*	0,181**
	20-25 cm	0,162*	0,212**
	25-30 cm	0,177**	0,215**
	30-40 cm	0,319**	0,317**

^a ** signifikant auf dem 0,01-Niveau, * signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

In den Laubbaumbeständen ist der Ah(e)-Anteil der Tiefenstufe 5-10 cm positiv mit dem dortigen Humusgehalt korreliert (Tab. 4.45, Seite 94). In den Eichenbeständen sind die Beziehungen jedoch schwächer als unter Buche.

Bei podsoligen Böden korreliert der Anteil des Ahe-Horizontes an der Tiefenstufe 5-10 cm negativ mit dem dort gemessenen pH-Wert. Dagegen besteht in EW, KN und KW nur eine schwache oder keine deutliche Beziehung zum Humusgehalt in 5-10 cm, was mit der Huminstoffverlagerung in den Bhs/Bsh zusammen hängen könnte.

Tabelle 4.45: Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes und dem pH-Wert bzw. Humusgehalt in der Tiefenstufe 5-10 cm

Fläche	Korrelation nach Pearson		Korrelation nach Spearman	
	pH-Wert	Humusgehalt	pH-Wert	Humusgehalt
BN	n.s.	0,300**	n.s.	0,354**
BW	-0,442**	0,273**	-0,453**	0,394**
EN	n.s.	0,238**	n.s.	0,214**
EW	-0,384**	n.s.	-0,364**	0,132*
KN	-0,174**	n.s.	-0,180**	0,161*
KW	-0,493**	0,160*	-0,488**	n.s.

^a ** signifikant auf dem 0,01-Niveau, * signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

Während in den Buchen- und Eichenbeständen eher im oberen Teil der Tiefenstufe 10-30 cm schwach positive Zusammenhänge zwischen A(e)h-Anteil und Humusgehalt bestehen, ist in den Kiefernbeständen die Korrelation im unteren Teil des Bodenblocks bei 25-30 cm straffer, was an der vertikalen Huminstoffverlagerung an die Untergrenze des Ahe- bzw. Obergrenze Bhs-Horizontes (ein Bsh ist allerdings selten ausgebildet) in stark podsoligen Böden liegen dürfte (Tab. 4.46, Seite 95, Abb. 4.31a, Seite 95, Ausgleichsgerade). Der Anteil des Ah(e)-Horizontes an der Tiefenstufe 10-30 cm ist mit Ausnahme des basenreichen Buchen-Naturwaldes mit dem pH-Wert negativ korreliert. Vor allem zum pH-Wert in der oberen Hälfte des Bodenblocks bestehen deutliche Beziehungen (Tab. 4.46, Seite 95, Abb. 4.31b, Seite 95, Trendlinie). Dieser Befund lässt sich durch die enge negative Korrelation zwischen pH-Wert und Humusgehalt erklären (s.o., HORNSCHUCH und RIEK (2006a)).

Im Buchen-Naturwald lässt sich eine negative Korrelation zwischen pH-Wert und Ah-Anteil

Tabelle 4.46: Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes an der Tiefenstufe 10-30 cm und pH-Wert bzw. Humusgehalt der Tiefenstufen 10-15, 15-20, 20-25 und 25-30 cm

Korrelation nach	Fläche	pH-Wert				Humusgehalt			
		10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm	10-15cm	15-20cm	20-25cm	25-30cm
Pearson	BN	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,338"	0,314"	0,164'	n.s.
	BW	-0,443"	-0,378"	-0,276"	n.s.	0,359"	0,327"	0,183"	n.s.
	EN	-0,177"	-0,242"	n.s.	n.s.	0,266"	0,157'	n.s.	n.s.
	EW	-0,294"	-0,262"	-0,180"	n.s.	0,213"	n.s.	n.s.	n.s.
	KN	-0,513"	-0,487"	-0,449"	-0,371"	n.s.	0,209"	0,506"	0,588"
	KW	-0,356"	-0,433"	-0,407"	-0,233"	0,153'	n.s.	0,186"	0,213"
Spearman	BN	n.s.	n.s.	-0,158'	n.s.	0,293"	0,209"	0,153'	n.s.
	BW	-0,454"	-0,338"	-0,264"	-0,215"	0,430"	0,323"	0,206"	n.s.
	EN	-0,135'	-0,145'	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	EW	-0,410"	-0,303"	-0,227"	n.s.	0,151'	n.s.	0,160'	0,229"
	KN	-0,516"	-0,493"	-0,441"	-0,371"	n.s.	0,332"	0,544"	0,550"
	KW	-0,464"	-0,487"	-0,407"	-0,277"	n.s.	n.s.	0,353"	0,379"

^a " signifikant auf dem 0,01-Niveau, ' signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

nicht feststellen. Von allen Vergleichsbeständen ist der Boden hier am besten mit Basen ausgestattet. Eine antagonistische Beziehung zwischen pH und Humusgehalt ist zwar signifikant, aber vergleichsweise schwach. Der negative Zusammenhang zwischen Ah-Anteil und pH-Wert, wie er in den anderen Beständen nachgewiesen wurde, dürfte demnach nur für stark saure, podsolige Sandböden Gültigkeit haben.

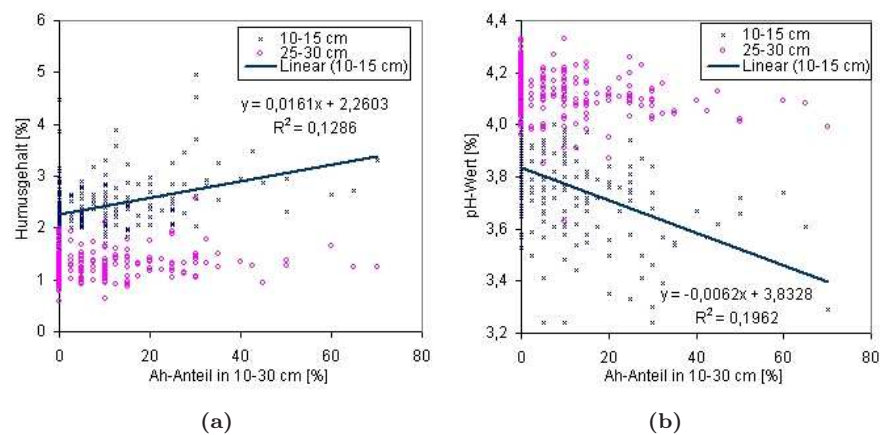


Abbildung 4.31: (a) Zusammenhang von Ah-Anteil und Humusgehalt im Buchen-Wirtschaftswald, (b) Zusammenhang von Ah-Anteil und pH-Wert im Buchen-Wirtschaftswald

In den Beständen BW, EW, KN und KW wurden Kationenaustauschkapazität und austauschbare Elementgehalte der Tiefenstufe 10-15 cm analysiert. Je tiefer der Ah(e)-Horizont reichte, desto höhere Kationenaustauschkapazitäten konnten auf allen Untersuchungsflächen für diese Tiefe festgestellt werden (Tab. 4.47, Seite 96). Im Blick auf die Basensättigung waren keine statistisch sicheren Abhängigkeiten nachweisbar. Der Aluminiumgehalt korrelierte negativ.

Es kann gefolgert werden, dass das Muster mancher Bodenparameter in bestimmten, „boden-genetisch heterogenen“ Tiefenstufen wesentlich von den Horizontanteilen, den sie aufweisen, abhängt. Dieser Zusammenhang zwischen Bodenparameter und Horizontanteil kann auch Ursache

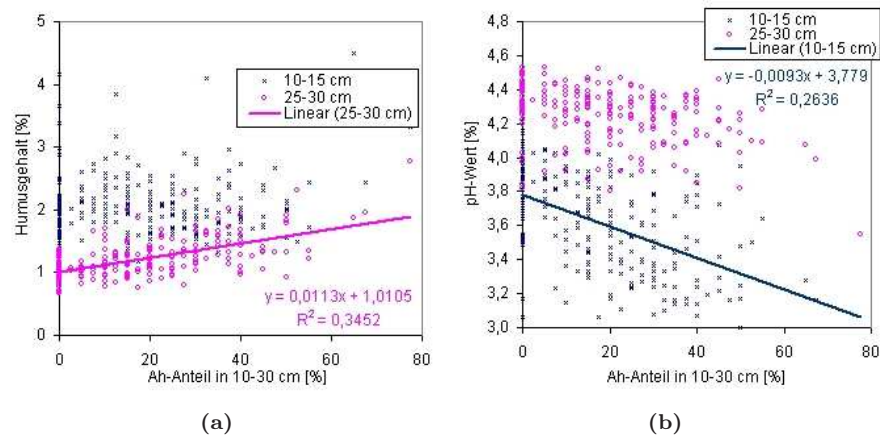


Abbildung 4.32: (a) Zusammenhang von Ah-Anteil und Humusgehalt im Kiefern-Naturwald, (b) Zusammenhang von Ah-Anteil und pH-Wert im Kiefern-Naturwald

dafür sein, dass sich die Autokorrelationslängen der Parameter pH-Wert (Abb. 4.10, Seite 44), Humusgehalt (Abb. 4.14, Seite 50), Kationenaustauschkapazität und Elementsättigungen (Tab. 4.22, Seite 61 bis 4.26, Seite 64) zwischen den Flächen nicht in gleicher Weise in den unterschiedlichen Tiefenstufen differenzieren.

Tabelle 4.47: Korrelation zwischen dem Anteil des Ah(e)-Horizontes an der Tiefenstufe 10-30 cm und Kationenaustauschkapazität, Basensättigung und austauschbaren Elementgehalten der Tiefenstufe 10-15 cm

Korrelation nach	Fläche	AKe	BS	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn
Pearson	BW	0,393"	n.s.	n.s.	0,183"	0,138'	n.s.	-	0,200"	n.s.
	EW	0,210"	n.s.	n.s.	n.s.	-	n.s.	0,275"	-	-
	KN	0,462"	n.s.	n.s.	n.s.	0,195"	-	0,171'	0,181"	0,154'
	KW	0,344"	n.s.	0,135'	0,188"	n.s.	-	-	n.s.	n.s.
Spearman	BW	0,437"	n.s.	n.s.	0,133'	n.s.	-	0,447"	0,260"	n.s.
	EW	0,386"	-	n.s.	n.s.	-	n.s.	0,284"	0,318"	-
	KN	0,478"	0,217"	n.s.	n.s.	0,261"	-	0,389"	n.s.	0,271"
	KW	0,439"	n.s.	n.s.	0,159'	0,136'	0,169'	0,481"	n.s.	-
						0,188"	0,276"	0,476"		0,262"

^a " signifikant auf dem 0,01-Niveau, ' signifikant auf dem 0,05-Niveau, n.s. nicht signifikant

Kapitel 5

Geostatistische Analysen in Südwest-Deutschland

Klaus v. Wilpert, Jürgen Schäffer, Markus Ellinger

5.1 Einleitung

5.1.1 Auswertungsziele der Bodenzustandserhebung

Ziel der Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald ist es, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderungen im Laufe der Zeit zu liefern. Dabei steht insbesondere der Versauerungsstatus, der Stickstoffstatus sowie die Bedeutung von Waldböden als Quelle bzw. Senke für Kohlenstoff im Vordergrund. Die Bodenzustandserfassung stellt ein Kernstück des forstlichen Umweltmonitorings dar. Von ihr werden Hinweise zur aktuellen Gefährdung der Böden durch Umweltbelastungen (anthropogene Stoffeinträge) sowie deren Stellung im Kohlenstoffkreislauf erwartet. Daneben soll aber auch der Erfolg von Gegenmaßnahmen im Bereich der Luftreinhaltung, der naturnahen Waldwirtschaft sowie von Bodenschutzkalkungen bewertet werden. Die erste Bodenzustandserhebung (BZE I) wurde in den Jahren 1987 bis 1993 durchgeführt. Die Wiederholung (BZE II) wird im Jahr 2008 abgeschlossen sein.

5.1.2 Probenahme bei der Bodenzustandserhebung

Der kleinste gedachte räumliche Ausschnitt aus der Pedosphäre, der gerade noch alle charakteristischen Eigenschaften eines Bodens erkennen lässt, wird als Pedon bezeichnet (REHFUESS, 1981). Es hat eine Grundfläche von etwa einem halben bis einem Quadratmeter. Diese Bodenelementarzelle wird in ihrer Struktur aufgrund der destruktiven Bodenprobenahme der BZE zerstört. Es kann also nicht derselbe Pedon bei der Wiederholungserhebung nochmals beprobt werden. Die Beprobung im Zuge der Wiederholungsinventur soll möglichst nahe an den Punkten der Erstbeprobung erfolgen, punktgenau ist dies jedoch nicht möglich.

Neben diesem Grundproblem des unterschiedlichen Beprobungsortes, das zu einer Überlagerung von räumlichen und zeitlichen Trends führt, ist bei integrierenden Auswertungen auf Bundesebene zu beachten, dass in den einzelnen teilnehmenden Bundesländern unterschiedliche Beprobungsverfahren angewandt werden. In Baden-Württemberg werden die tiefenstufenbezogenen Proben bei der Wiederholungsinventur wie bei der Erstinventur an drei Wänden des Bodenein-

schlags gewonnen. In Rheinland-Pfalz erfolgte die Bodenprobenentnahme entsprechend der Anleitung zur Bodenzustandserfassung (BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE BZE, 1990). Es wurden dort Proben am Bodenprofil und zusätzlich noch acht Bohrstockproben in einer Entfernung von 10 m zum Bodeneinschlag in den acht Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen gewonnen. In Sachsen wurden nur die Satellitenpunkte beprobt. Diese unterschiedlichen Vorgehensweisen bedingen eine unterschiedliche räumliche Repräsentanz der Mischproben an den Messnetzpunkten der BZE. Diese Repräsentanzunterschiede müssen bei der Auswertung der Erst- und Zweiterhebung sowie bei der Zusammenführung der Ergebnisse aus den Ländern auf der räumlichen Skalenebene des Bundesgebietes berücksichtigt werden.

5.1.3 Geostatistik und räumliche Variabilität

Erste Ansätze der Geostatistik wurden von KRIGE (1951) in den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts für den Bereich des Bergbaus entwickelt. Ziel der Arbeiten war es, eine verbesserte Schätzung des Goldvorkommens in einer südafrikanischen Lagerstätten zu entwickeln. Seine Ansätze wurden von MATHERTON (1963) aufgegriffen und weiterentwickelt. Mit diesen frühen Arbeiten wurde die Basis für einen sich schnell entwickelnden Zweig der angewandten Mathematik gelegt, die sich mit der Beschreibung und Schätzung von natürlichen Phänomenen beschäftigte. Über einen längeren Zeitraum hinweg wurden die Geostatistik v.a. im Bereich der Lagerstättenkunde angewandt, die klassischen Standardwerke beschäftigen sich nahezu ausschließlich mit diesbezüglichen Fragestellungen (ISAAKS und SRIVASTAVA, 1989). In den neueren Lehrbüchern zur Geostatistik werden weitere Fragestellungen aus dem Umweltbereich aufgegriffen (STOYAN ET AL., 1997; GOOVAERTS, 1997; WACKERNAGEL, 2003). Heute werden geostatistische Verfahren zur Beschreibung von räumlichen Heterogenitäten intensiv eingesetzt, z.B. LEGENDRE und FORTIN (1989); ROBERTSON ET AL. (1988); SCHÖNING (2005). Ein umfangreicher Überblick über neuere Quellen findet sich in Teilprojekt 2 dieses Hochschulvorhabens. Nach wie vor ist der Kenntnisstand zu parameterspezifischen kleinräumigen Variabilitäten von Waldböden typischer deutscher Waldstandorte unzureichend. Gerade bei den im Zuge der Bodenzustandserhebung abzuleitenden zeitlichen Entwicklungstrends kapazitativer und intensiver bodenchemischer Kenngrößen ist die Einbeziehung der kleinräumigen Variabilität dringend erforderlich, um die Größenordnung der zeitlichen Entwicklungen verlässlich abschätzen zu können (PAPRITZ und WEBSTER, 1995a,b).

5.1.4 Ziele des Projekts

Aufgabe des Teilprojektes der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg war es, die kleinräumige Heterogenität bodenchemischer Eigenschaften zusammen mit weiteren Variationsursachen mithilfe von Variogrammen aufzudecken. Hierbei sollte insbesondere ein hinsichtlich Ausgangssubstrat für die Bodenbildung und Depositionsbedingungen breites Kollektiv an Versuchsflächen in die Auswertung einbezogen werden. Da ein wesentliches Ziel der Wiederholung der Bodenzustandserfassung die Ableitung des zeitlichen Trends wesentlicher chemischer Zustandsgrößen ist, muss bei Durchführung destruktiver Probenahmen mit räumlich versetzter Wiederholungsbeprobung, die räumliche Heterogenität der betrachteten Größen abgeleitet werden und der zeitlichen Komponente gegenübergestellt werden. Daneben sollen die Ergebnisse dieses Teilprojektes Eingangsgrößen für die Modellierung von Zufallsfeldern liefern, die für die Simulationen unterschiedlicher Probenahmedesigns generiert werden. Die ermittelten Variabilitäten der Kenngrößen sind damit relevant für die Berechnung eines gesamten Fehlerbudgets.

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Versuchsflächen

Um Aussagen über die kleinräumige Variabilität bodenchemischer Zustandsgrößen für Waldstandorte treffen zu können, ist es notwendig, das Spektrum der vorkommenden Bodentypen und unterschiedlichen geologischen Ausgangssituationen in die Untersuchungen einzubeziehen. Auch externe Einflussgrößen wie z.B. die Depositionsgeschichte können sich auf das Verteilungsmuster der untersuchten Parameter auswirken und müssen als erklärende Prädiktoren bekannt sein. Bei der Anlage der 10 baden-württembergischen Level II – Flächen wurde darauf geachtet, dass diese die wesentlichen Boden- und Depositionstypen des Landes repräsentieren. Das Kollektiv dieser Flächen stellt daher einen repräsentativen Ausschnitt der Bodenverhältnisse in Baden-Württemberg dar und ist für die Bearbeitung der Fragestellung des Vorhabens besonders geeignet. Hinsichtlich der Bestockung handelt es sich ausschließlich um fichtendominierte Bestände, deren Alter zwischen 60 und 100 Jahren liegt. Die Bestände haben den Kulminationspunkt ihrer Wuchsdynamik bereits überschritten, so dass sich Umwelteinflüsse stärker auf den Waldzustand auswirken. Ein weiterer Grund für die Auswahl der Level II – Flächen für diese Untersuchung war die Tatsache, dass in den Jahren 1999 und 2003/2004 eine erste Beprobungskampagne zur Erfassung der Variabilität der bodenchemischen Zustandsgrößen erfolgte. Zusätzlich zu den unbehandelten Level II – Flächen wurden in Ochsenhausen und Heidelberg unmittelbar benachbart angelegte, gekalkte bzw. gedüngte Versuchsflächen untersucht. Bodenschutzkalkungen werden bundesweit flächig durchgeführt. In Baden-Württemberg wurde im Zeitraum zwischen 1984 und 2007 rund 350.000 ha Waldfläche gekalkt. Gerade in den Schwerpunktregionen der Säureeinträge, im Schwarzwald und Odenwald, lag ein Schwerpunkt der durchgeführten Maßnahmen. Es ist zu erwarten, dass ein nicht unerheblicher Teil der BZE-Messnetzpunkte in den zurückliegenden Jahren zwischen Erst- und Zweiterhebung gekalkt wurden. Die Erfassung der Variabilität der bodenchemischen Zustandsgrößen in gekalkten Oberböden ist daher sowohl für die Projektfragestellung als auch für die Interpretation der Ergebnisse der Wiederholung der Bodenzustandserfassung von erheblicher Bedeutung.

Neben der Level II – Fläche „Conventwald“ wurde eine kleinräumige Beprobung aus der unmittelbar benachbart liegenden Ökosystemfallstudie, die in den Jahren 1996/1997 durchgeführt wurde, in die Untersuchung mit einbezogen. Seit 1991 werden im Conventwald auf der Basis eines bestandesstrukturorientierten Ansatzes Messungen wesentlicher Ökosystemparameter durchgeführt. Auch die Bodenfestphasenbeprobung wurde nach Kronenstraten differenziert ausgeführt.

5.2.1.1 Charakterisierung der Flächen

Eine Übersicht über die Level II – Versuchsflächen in Baden-Württemberg gibt Tab. 5.1 Die behandelten Versuchsvarianten in Heidelberg und Ochsenhausen sowie die Flächen in der Ökosystemfallstudie entsprechen hinsichtlich der standörtlichen Voraussetzungen den benachbart liegenden Level II – Versuchsflächen.

Die Düngeversuchsfläche in Heidelberg wurde bereits im Jahr 1958 mit einer Grunddüngung von 2 t/ha kohlensaurem Kalk angelegt. In den Jahren 1958 und 1962 wurden jeweils 600 kg/ha Hyperphos, in den Jahren 1958, 1959, 1962 und 1965 je 200 kg/ha Kalkammonsalpeter ausgebracht. Weitere Düngungen erfolgten 1983 mit 600 kg/ha Bittersalz (MgSO₄), 1984 wurden zusätzlich 500 kg/ha Kalkammonsalpeter und 5 t/ha kohlensaurem Magnesiumkalk ausgebracht. Auf der gekalkten Versuchsparzelle in Ochsenhausen wurde im April 1994 Dolomit in einer Dosierung von 10 t Dolomit je ha ausgebracht, was einer dreifachen praxisüblichen Applikationsmenge entspricht.

Tabelle 5.1: Übersicht über die Level II – Flächen in Baden-Württemberg

Fläche	Nr.	Wuchsgebiet	Höhen- lage (m)	Substrat	Bodentyp	Humusform	potentielle natürliche Vegetation	Baumart
Altensteig (Alt)	809	Schwarzwald	501- 550	Verwitterungslehme und Decklehm über Quarz	Schwach podsolige Pseudogley- Braunerde	Mullmoder-Mull	submontaner Hainsimsen-Tannen- Buchen-Wald	Fi (Kie, Ta)
Convenwald (Con)	806	Schwarzwald	801- 850	Intermediäre und saure Magm. o. Metamorphite	Braunerde	Mullmoder	montaner Waldmeister-Tannen- Buchen-Wald	Fi (Ta, Bu)
Heidelberg (HDHNu und HDHCa)	802	Odenwald	501- 550	Verwitterungslehme und Decklehm über Quarz	Mäßig podsolige Braunerde bis Podsol-Braunerde	rohhumus-artiger Moder	submontaner Hainsimsen- Traubeneichen- Buchen-Wald	Fi
Müllheim (Mue)	805	Schwarzwald	1001- 1050	Intermediäre und saure Magm. o. Metamorphite	Braunerde bis Ranker-Braunerde	Moder	montaner Hainsimsen- Buchen-Wald mit Tanne	Fi (Bu)
Ochsenhausen (OCHNu und OCHDo)	808	Südwest- deutsches Alpenvor- land	651- 700	Karbonatfreie Lockersedimente	Pseudogley- Parabraunerde	Moder	montaner Hainsimsen- Buchen-Wald mit Tanne	Fi (Elä.)
Rosenfeld (Ros)	804	Neckarland	601- 650	Verwitterungslehme und Decklehm über Quarz	mäßig podsolige Braunerde	Rohhumus	submontaner Hainsimsen-Tannen- Buchen-Wälder	Fichte (Kie)
Rotenfels (Rot)	801	Schwarzwald	551- 600	Verwitterungslehme und Decklehm über Quarz	Braunerde-Podsol bis Podsol	rohhumus-artiger Moder	submontaner Hainsimsen-Buchen- Wald mit Tanne	Fi (Bu, Ta)
Tuttlingen (Tut)	803	Schwäbische Alb	701- 750	karbonathaltige Lockersedimente	Terra fusca	Mull	Submontaner Waldgersten-Buchen- Wald	Fi (Bu, Kie)
Walldürn (Wal)	811	Odenwald	501- 550	Verwitterungslehme und Decklehm über Quarz	Braunerde- Pseudogley	Moder	montaner Hainsimsen- Buchenwald	Fi
Welzheim (Wel)	810	Neckarland	551- 600	karbonathaltige Lockersedimente	stark podsolige Braunerde	F-Rohhumus	submontaner Hainsimsen-Tannen- Buchen-Wald	Fichte (Kie, Ta)

5.2.1.2 Probenahmedesign und Vorversuche

Level II – Flächen Auf den jeweils 0.25 ha großen (50 * 50 m) Level II – Versuchsflächen und der gekalkten Fläche in Heidelberg wurde bei der Ersterhebung ein quadratisches Gitterraster mit einer Maschenweite von 5 m * 5 m angelegt. Alle Schnittpunkte dieses Rasters waren potenzielle Probenahmepunkte (121 Punkte) der Erstbeprobung. Die Probenahmepunkte für die Ersterhebung wurden durch Zufallsauswahl ausgewählt. Das Gitternetz wurde für die Probenahme eingemessen und dokumentiert. Für die in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Level II – Versuchsflächen gekalkte Versuchsfläche in Ochsenhausen standen keine räumlich referenzierten Analysenergebnisse aus Vorläuferuntersuchungen zur Verfügung. Für diese Fläche wurde das Gitternetz neu angelegt und entsprechend der Vorgehensweise bei der Ersterhebung auf den Level II – Flächen 10 Referenzpunkte eingemessen und die Zusatzpunkte in Bezug zu diesen ausgewählt.

Ausgangspunkte für die Nachverdichtung waren die systematisch verteilten Probenahmepunkte der Ersterhebung. Für die Festlegung der weiteren Punkte wurden – falls aus der Ersterhebung mehr als 10 Wiederholungen vorlagen – 10 Punkte ausgewählt. Potenziell neu zu beprobende Stichprobenpunkte wurden auf einer um 0.5 m in x-Richtung verschobenen Transektlinie ausgewählt (siehe Abb. 5.1, Seite 101). Auf dieser Achse wurde die Auswahl auf Punkte beschränkt, deren y-Koordinate maximal ± 5 m von der ursprünglichen Referenzpunktkoordinate abwich.

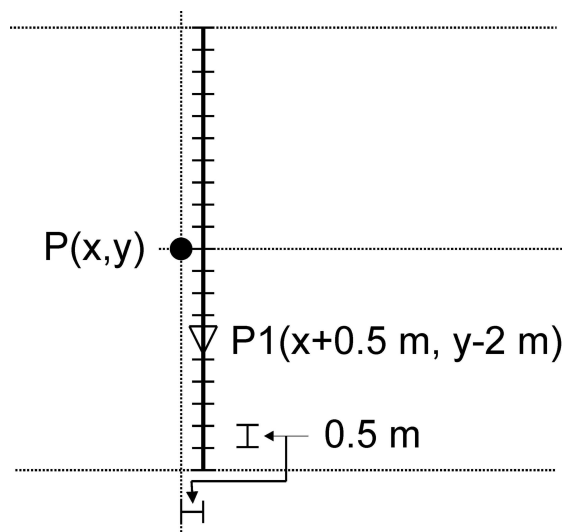


Abbildung 5.1: Auswahl der Zusatzpunkte (▽) in Bezug zu Punkten der Erstbeprobung (●)

Durch die Festlegung eines Punktabstandes von wiederum 0.5 m auf der Transektlinie ergab sich ein Kollektiv von 21 potenziellen Probenahmepunkten je Transektlinie, für die Versuchsflächen ergaben sich dadurch 210 potenzielle Stichprobenpunkte auf den 10 Linien, die tatsächlich zu beprobenden 40 Punkte wurden wiederum durch Zufallsauswahl aus diesem Kollektiv bestimmt. Somit liegen für die Tiefenstufe 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm jeweils mindestens 50 Proben je Versuchsfläche vor.

Beispielhaft ist die Auswahl der Zusatzpunkte für die Level II - Versuchsfläche Ochsenhausen in Abb. 5.2, Seite 102 dargestellt. Die 16 Stichprobenpunkte aus der Erstbeprobung liegen auf den Schnittpunkten des 5 * 5 m Gitters. Die 40 Zusatzpunkte (▽) wurden mittels des beschriebenen Algorithmus zufällig ausgewählt. Auf der Grundlage dieses Probenahmedesigns wurde für unterschiedlich große Nachbeprobungsstichproben Histogramme der Belegung der Punktabstandsklassen berechnet. Anhand dieser wurde geprüft, ob eine ausreichende Belegung der Abstandsklassen

realisiert werden kann.

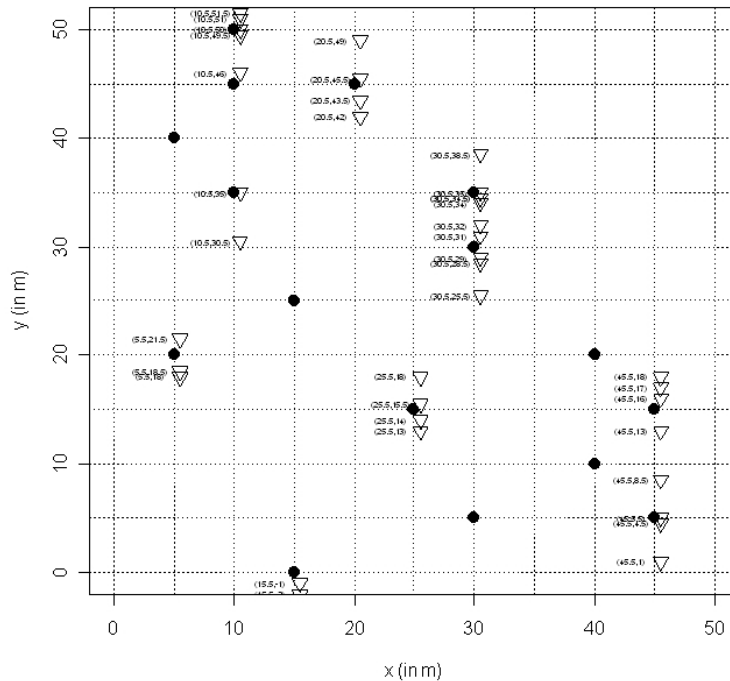


Abbildung 5.2: Auswahl von 40 Probepunkten (▽) durch Verschiebung des Gitters um 0.5 m in x-Richtung

In Abb. 5.3, Seite 103 ist für die Versuchsfläche Ochsenhausen die Belegung der Punktabstandsklassen unter Einbeziehung der Ergebnisse der Erstbeprobung (in diesem Fall 16 Proben) sowie der 40 zusätzlich ausgewählten Probenahmepunkte dargestellt. Die Darstellung ist durch die Vorgabe der Maximaldistanz (maxdist) von 10 m bzw. 20 m für die graphische auf der Ab-szisse auf die Darstellung gestaucht. In den höheren Lag-Klassen nimmt die Belegungszahl deutlich zu. In der Abbildung werden 10 Klassen dargestellt, d.h. bei einer Maximaldistanz von 10 m entspricht die lag-Klassenbreite 1 m, bei 20 m Maximaldistanz 2 m. In der Geostatistik werden für die Berechnung von empirischen Semivariogrammen Belegungen der Abstandsklassen mit mindestens 30 Beobachtungen (SCHABENBERGER und GOTWAY, 2005) vorgeschlagen. Diese Anzahl wird bei dem gewählten Versuchsdesign bei einer Abstandsklassenbreite von 1 m noch nicht erreicht, bei 2 m dann aber überschritten. Aufgrund dieser Voruntersuchungen wurde abgeleitet, dass mindestens 40 Zusatzproben je Tiefenstufe für eine valide Parametrisierung der Variogrammfunktionen erforderlich sind, um im Meterbereich Aussagen über kleinräumige Heterogenitäten treffen zu können.

Beprobte Tiefenstufen Im Rahmen der Ersterhebung wurden die Probenahmepunkte entsprechend der Vorgabe der Arbeitsanleitung zur Bodenzustandserfassung (BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE BZE, 1990) die Humusaufgabe sowie der Mineralboden in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm, 5 bis 10 cm, 10 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm beprobt. In die Nachbeprobung konnten aus Kapazitätsgründen nicht alle BZE-Tiefenstufen einbezogen werden. Da bodenverändernde Prozesse durch Stoffdepositionen (z.B. Versauerung und Eutrophierung) und Bewirtschaftungseingriffe (waldbauliche Behandlung, Kalkung) zunächst auf die Oberböden ein-

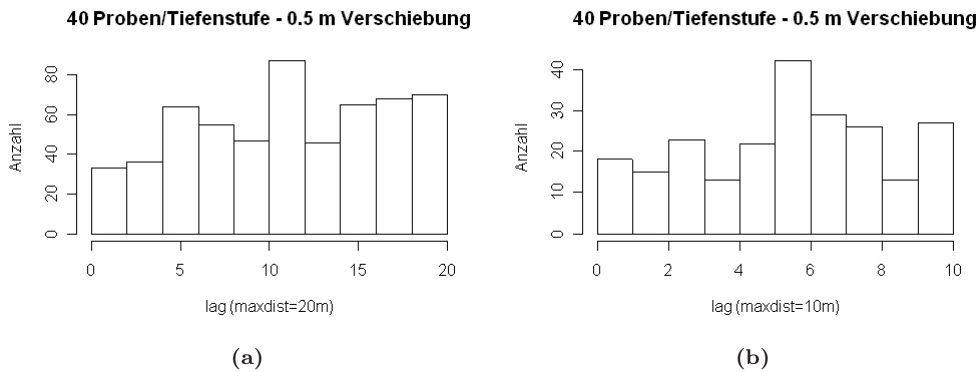


Abbildung 5.3: Histogramm der Belegung der Punktabstandsklassen für 40 Zusatzproben je Tiefenstufe. Die Maximaldistanz in der Histogrammdarstellung wird in 10 Lag-Klassen geteilt.

wirken, sind dort die größten Heterogenitäten der bodenchemischen Zustandsgrößen zu erwarten. Die zusätzliche Probenahme und Auswertungen wurden daher auf die Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm fokussiert. Abb. 5.4, Seite 103 zeigt zwei ausgewählte Beispiele für die Abnahme der Varianz der Zustandsgrößen Kohlenstoffgehalt und Austauschkapazität mit zunehmender Bodentiefe für die Level II – Versuchsfläche Conventwald.

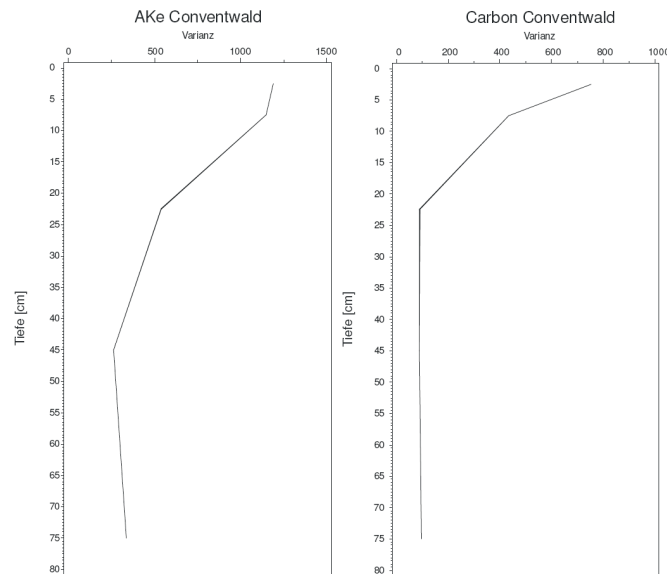


Abbildung 5.4: Abnahme der Varianz von Austauschkapazität und Kohlenstoffgehalt im Conventwald

Auf einzelnen Flächen ist aber auch eine Zunahme der Varianz mit der Bodentiefe festzustellen. Dies hängt i.d.R. mit einem Schichtwechsel im Solum zusammen. Bei der flächigen Probenahme kann es durchaus vorkommen, dass in einzelnen Tiefenstufen ein Schichtwechsel statt findet. So wird z.B. in Rosenfeld ab einer Bodentiefe von 60 cm teilweise basenreiche Bunte Mergel angeschnitten, die sich hinsichtlich ihrer bodenchemischen Eigenschaften vollständig anders verhalten als der weitgehend basenverarmte Oberboden.

Schwierigkeiten bei der Probenahme traten auf den Flächen Conventwald, Müllheim und Rotenfels auf. Im Conventwald und in Müllheim liegt ein sehr grüsiges Substrat mit geringen Feinbodenanteilen und lokalen Akkumulationen von organischer Substanz vor. Durch die hinzukommende Steilhanglage war ein exakter Tiefenbezug bei der Beprobung nicht immer einzuhalten. In Rotenfels ist ein großer Teil der Fläche mit Sandsteinblöcken überlagert. Mehrere Punkte mussten auf dieser Fläche, die sich ebenfalls durch lokale Feinboden- und Humusakkumulationen auszeichnet, versetzt werden.

Nelderversuche im Conventwald Bei der Probenahme zur Charakterisierung der bodenchemischen Eigenschaften der Boden-festphase im Conventwald wurden in den einzelnen Versuchsvarianten Mischbestand, Fichten- und Buchenbaumholz sowie Fichtenaltholz im Sommer 1996 und im Frühjahr 1997 zwischen 15 und 30 randomisiert verteilten Bohrpunkten bis 120 cm Bodentiefe beprobt. Die Anordnung der Probepunkte erfolgte in einem Spiralschema in Anlehnung an das von NELDER (1962) vorgeschlagene Design, um für geostatistische Auswertungen auch nahe Abstandsklassen zu repräsentieren. Ziel der Festphasenbeprobung war es, nicht nur ausgewählte Bestandesvarianten miteinander zu vergleichen, sondern auch die kleinräumige Heterogenität der bodenchemischen Ausstattung in Abhängigkeit von Kronendichteeffekten zu erfassen. In einer eingeschränkt zufälligen Auswahl wurde die Lage der Bohrpunkte nach den Kronendichtestufen Kronenkern / Kronenlücke stratifiziert (Abb. 5.5, Seite 104). Beim Bu-Stangenholz musste jedoch auf eine Unterscheidung nach Kronensituationen verzichtet werden, da hier zum Zeitpunkt der Beprobung das Kronendach weitgehend geschlossen war.

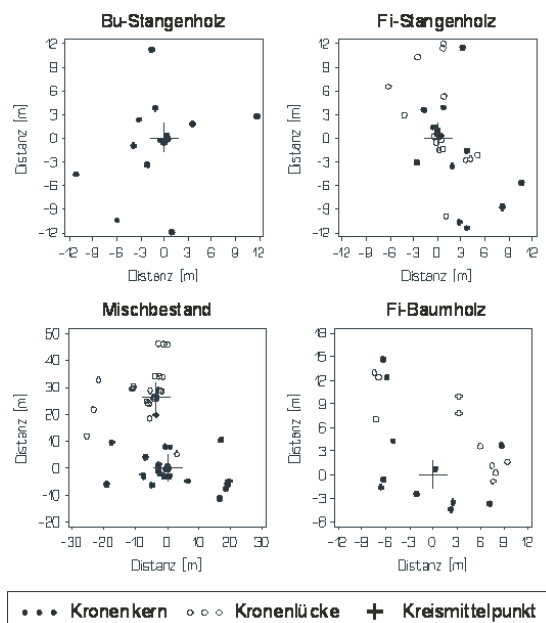


Abbildung 5.5: Überblick über die Lage der Bohrpunkte in den Untersuchungsvarianten der Ökosystemfallstudie Conventwald

Auch bei den übrigen Varianten musste durch den geringen räumlichen Anteil der Baumrücken an den Bestandesflächen eine gewisse Clusterung der Bohrpunkte in den Baumrücken in Kauf genommen werden. Im Bu-Ta-(Fi)-Mischbestand wurde aus Gründen der Laborkapazität nur die Hauptbaumart Buche beprobt. An jedem Bohrpunkt wurde Bodenmaterial bis 120 cm Tiefe mit einem motormanuellem Erdbohrgerät (COBRA) entnommen. Das Substrat wurde in 4 Tiefenklassen eingeteilt (0-15, 16-30, 31-60, 61-120 cm Tiefe).

5.2.2 Variographie

5.2.3 Empirische Variogramme

Die kleinräumliche Autokorrelation der Bodenparameter wird im Ergebnisteil mit Hilfe von Semi-variogrammen beschrieben. Die Variabilität einer regionalisierten Variablen $z(x)$ in einem räumlichen Zufallsfeld lässt sich als halbe quadrierte Differenz der Beobachtungswerte berechnen.

$$\gamma(x_i, x_j) = \frac{1}{2} \langle z(x_i) - z(x_j) \rangle \quad (5.1)$$

$Z(x_i)$ und $z(x_j)$: Beobachtungen an den Lokationen i und j .

Die Beobachtungswerte können über den Abstandsvektor h verknüpft werden.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \langle z(x+h) - z(x) \rangle \quad (5.2)$$

Die graphische Darstellung der quadrierten Differenz über dem Abstandsvektor wird als Variogrammwolke bezeichnet. Das experimentelle Semi-Variogramm ergibt sich aus den für die Abstandsklassen (Lags) gemittelten quadrierten Differenzen.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{h=1}^j \langle z(x+h) - z(x) \rangle^2 \quad (5.3)$$

Da Variogramme sehr sensitiv auf Ausreißerwerte reagieren, sollten diese vor der Berechnung eliminiert werden. WEBSTER und OLIVER (2007) empfehlen, Extremwerte für die Variogrammberechnung zu entfernen, um stabile Variogramme zu erhalten, diese aber wieder für die Schätzung und weitere Analysen einzubeziehen. Die beiden Autoren weisen darauf hin, dass eine an den Perzentilen der Verteilung orientierte Ausreißerkorrektur zu restriktiv sei. Nach SCHABENBERGER und GOTWAY (2005) ist bei der Ausreißerkorrektur zwischen Ausreißern in der Gesamtverteilung („distributional outliers“) und Ausreißern in ihrem räumlichen Kontext („spatial outliers“) zu unterscheiden. Ein Datensatz kann wesentlich mehr räumliche Ausreißer beinhalten als Verteilungsausreißer. Die Autoren empfehlen robuste Methoden wie z.B. eine Mediangelättung und Eliminierung der Ausreißer in Boxplots der mediangelätteten Residuen. Lagplots können ebenfalls zur Detektion von Ausreißern verwendet werden.

In unseren sehr heterogenen Datensätzen aus den Oberböden Versuchsflächen hätte die Beseitigung von Extremwerten eine Modellierung theoretische Variogrammfunktionen nahezu ausgeschlossen. Aufgrund der Vielzahl der zu berechnenden Variogramme wäre eine individuelle Ausreißerkorrektur nicht leistbar gewesen. Für die Berechnung der empirischen Variogramme wurden deshalb eine restriktive Vorgehensweise gewählt und die außerhalb des 1,5-fachen Interquartilabstandes liegenden Werte ausgeschlossen.

Geostatistische Analysen liefern nur in normalverteilten Grundgesamtheiten verlässliche Ergebnisse. Dies bedeutet, dass die Daten für die Variogrammanalyse normalverteilt sein sollen. Häufig tritt bei Stichproben bodenchemischer Parameter eine positive Asymmetrie bzw. Schiefe auf. Um die Schwierigkeiten bei nichtnormalverteilten Stichproben in diesen Fällen zu umgehen, kann eine Datentransformation durchgeführt werden. Neben der Logarithmustransformation kommen die Quadratwurzel-, Winkel und Logittransformation in Frage.

Vor Berechnung der theoretischen Semivariogramme wurden die untransformierten und log-transformierten Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Es wurde mit jener Datensatz weiter verwendet, der einen höheren p-Wert und damit eine bessere Anpassung an die Normalverteilung aufwies. Die Quadratwurzelanpassung wurde nur dann verwendet, wenn sowohl für die Ursprungsdaten wie auch für die log-transformierten Daten die Annahme einer Normalverteilung verworfen werden musste.

Nach WEBSTER und OLIVER (2007) sollte die Prüfung der Normalverteilungsannahme an Histogrammen der Ursprungsdaten erfolgen. Als Kriterium für die Durchführung einer Datentransformation schlagen die Autoren vor, die Schiefe nach Pearson aus dem 3. Moment der Daten zu verwenden. Dabei soll für Schiefewerte von 0 bis 0.5 keine Transformation durchgeführt werden. Liegt der Wert zwischen 0.5 und 1 sollte eine Quadratwurzelanpassung erfolgen, ab dem Wert von 1 empfehlen die Autoren eine Logarithmustransformation. Abb. 5.6, Seite 106 und Abb. 5.7, Seite 106 zeigen parameterspezifische Boxplots des Schiefeparameters für die beiden beprobten Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm der Level II – Versuchsflächen. Für alle betrachteten Parameter liegen die ermittelten Schiefen überwiegend im positiven Bereich. In beiden Tiefen zeichnen sich die Verteilungen für die Austauschkapazität sowie Aluminium-sättigung an den Austauschern durch geringere Asymmetrie aus, die Kohlenstoffgehalte zeichnen sich durch die höchste positive Asymmetrie aus. Über die von uns gewählte Vorgehensweise der Entscheidung für oder wider einer Transformation anhand des Shapiro-Wilk-Tests wurde tendenziell häufiger transformiert als dies bei Anwendung der von WEBSTER und OLIVER (2007) empfohlenen Schiefebeurteilung erforderlich gewesen wäre.

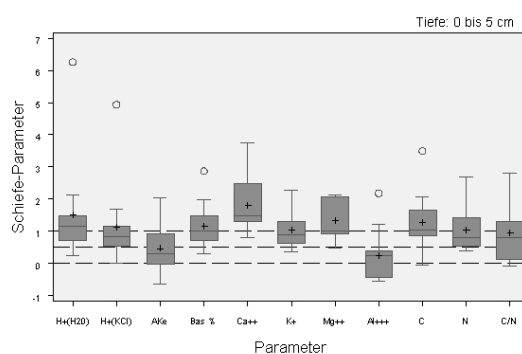


Abbildung 5.6: Parameterspezifische Boxplots der Schiefe für die Tiefenstufe 0 bis 5 cm

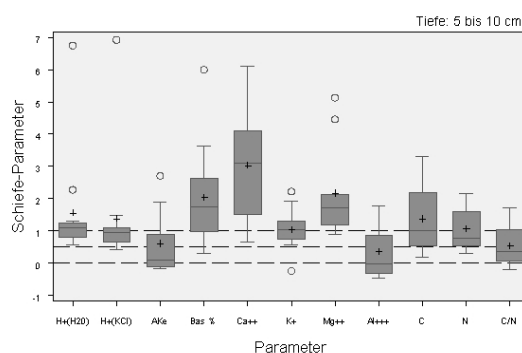


Abbildung 5.7: Parameterspezifische Boxplots der Schiefe für die Tiefenstufe 5 bis 10 cm

Eine weitere Möglichkeit der Variogrammschätzung, die weniger anfällig gegenüber Ausreißern als der in Formel 5.3 genannte klassische Schätzer ist, ist die Verwendung des von CRESSIE und HAWKINS (1980) vorgeschlagenen robusten Schätzers (Formel 5.4). Dieser Schätzer wird in der SAS-Routine `pproc variogram` optional angeboten, seine Verwendung wurde für die Variogramm-

berechnung überprüft.

$$\gamma(h) = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{N(h)} \sum_{h=1}^j |z(x+h) - z(x)|^{\frac{1}{2}} \right)^4}{0,457 + \frac{0,494}{N(h)}} \quad (5.4)$$

Neben der Verwendung von robusten Schätzern bei der Variogrammbestimmung können auch standardisierte Variogramme berechnet werden. Bei diesen wird der Semivariogrammwert der Lag-Klasse mit der Varianz innerhalb der Klasse standardisiert.

$$\gamma_s(h) = \frac{\gamma(h)}{\sigma_{-h} * \sigma_{+h}} \quad (5.5)$$

σ_{-h} bzw. σ_{+h} stellen die Varianzen der head-Verteilung und tail-Verteilungen der Beobachtungswerte dar. Dadurch sollte eine Glättung des Variogrammverlaufs erreicht werden (PANNATIER, 1996).

Abb. 5.8, Seite 108 zeigt beispielhaft für die Austauschkapazität im Conventwald die beschriebenen Variogrammtypen. Für ein Teilkollektiv der Versuchsflächen wurden diese Typen zusätzliche zu den klassischen Variogrammen berechnet. Dabei konnte keine wesentliche Glättung des Variogrammverlaufs festgestellt werden. Es wurde für die weitere Modellierung der theoretischen Variogramme der Klassische Variogrammeschätzer verwendet. In den graphischen Darstellungen spiegeln diese ein quasi ungefiltertes Bild der Variabilität der Semivarianz in den Lag-Klassen wider.

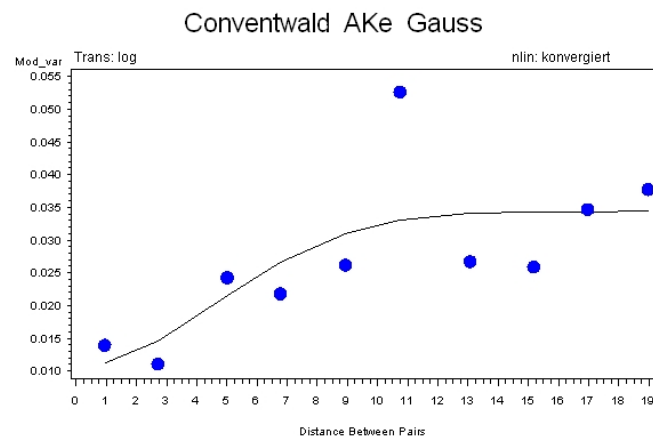
5.2.3.1 Parametrische Semivariogramm-Modelle

Ziel des Teilprojektes ist es, die räumliche Heterogenität der bodenchemischen Eigenschaften zu beschreiben. Für vergleichende Betrachtungen sind die empirischen Variogramme nur bedingt geeignet. Da für die Simulation von Zufallsfeldern die Kenngrößen Nugget-Varianz, Reichweite (Range) und Schwellenwert (Sill) erforderlich sind, müssen Semivariogramme angepasst werden. Hierfür wird in der geostatistischen Literatur eine Vielzahl von Modellen beschrieben. Häufig verwendet werden lineare (Sonderfall: nugget only Modell mit Steigung 0), sphärische, exponentielle, gauss'sche und Power – Modelle. Diese Modelle lassen sich mit den in Abb. 5.9, Seite 109 gekennzeichneten Parametern Nugget, Sill und Range parametrisieren.

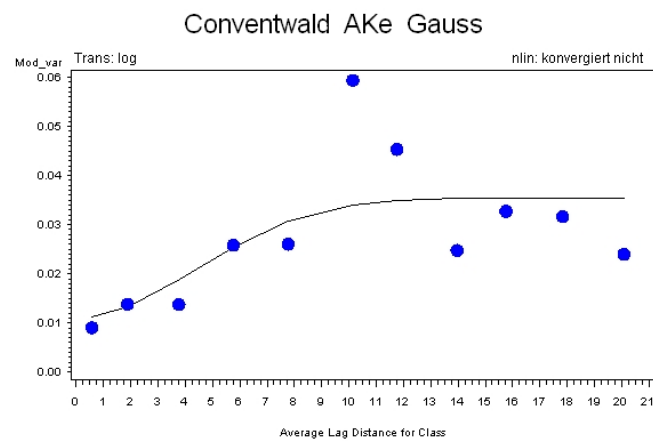
Für die Berechnung der empirischen Variogramme wurde die SAS Prozedur „proc variogram“ verwendet. Die erste lag-Klasse wird bei dieser Prozedur automatisiert auf die halbe lag-Klassendistanz skaliert (Klasse h0), was in unseren Datensätzen häufig zu Belegungen von deutlich unter 30 führte. Diese halbe Lag-Klasse wurde daher aufgelöst und der ersten fixen 2 m – Klasse zugeordnet (Lag-Klasse 1: $0 < h_1 < 2m$). Die Maximaldistanz wurde auf 20 m festgelegt.

Für die Modellierung der theoretischen Semivariogrammfunktionen wurde die SAS Prozedur „proc nlin“ verwendet. Diese greift auf die empirischen Variogrammwerte zurück und modelliert das theoretische Variogramm mittels einer nichtlinearen Kleinstquadrateschätzung. Daneben bietet proc nlin die Option, eine Gewichtungvariable zu berücksichtigen (z.B. die Anzahl der Beobachtungen in den Distanzklassen). In einer explorativen Voruntersuchung von Variogrammanpassungen mit und ohne Gewichtung wurde dadurch keine Verbesserung der Anpassungsgüte erreicht. Da eine Gütebeurteilung anhand der Gesamtsumme der Abweichungsquadrate vorgenommen werden sollte, musste eine einheitliche Modellierung durchgeführt werden. Eine Vergleichbarkeit von Anpassung mit und ohne Gewichtung führt zu verzerrten Ergebnissen, es wurde daher auf den Gewichtungsfaktor verzichtet.

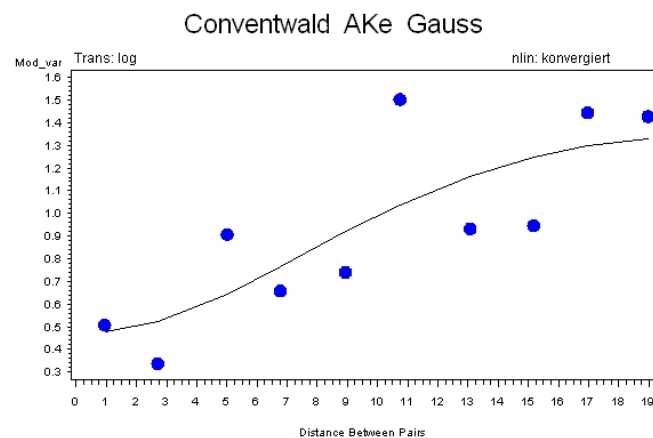
SCHABENBERGER und GOTWAY (2005) verweisen auf die Möglichkeit, theoretische Variogramme mittels Maximum Likelihood (ML) und Restricted Maximum Likelihood (REML) zu modellieren. Bei diesen Verfahren wird nicht mit den empirischen Semivariogrammwerten sondern mit der



(a) Klassisches Variogramm



(b) Robustes Variogramm



(c) Standardisiertes Variogramm

Abbildung 5.8: Klassisches, robustes und standardisiertes Variogramm für die Austauschkapazität im Conventwald

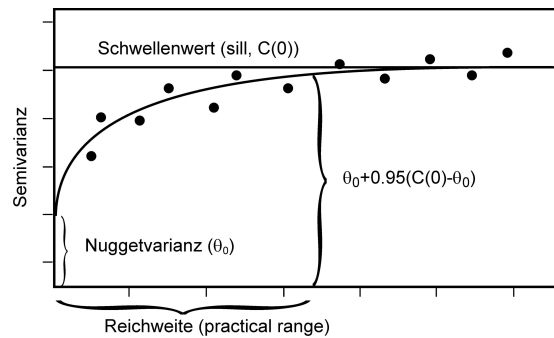


Abbildung 5.9: Modell eines theoretischen Semi-variogramms

Kovarianzfunktion (Kovariogramm) gearbeitet. Diese Verfahren bieten den Vorteil, dass sie direkt auf die Datenpunkte für die Modellierung zurückgreifen und keine empirische Variogrammschätzung benötigen, in die subjektive Entscheidungen wie z.B. die Breite der Distanzklassen, eingehen. Ein Nachteil besteht allerdings darin, dass alle Datenpunkte einbezogen werden, d.h. keine Begrenzung des maximalen, in die Modellierung einbezogenen Abstands möglich ist. Diese Option bietet die Schätzung mittels Composite Likelihood (CL), die in der Modellierung zwischen Kleinstquadrateschätzung und likelihood-Schätzung liegt. Wie beim empirischen Variogrammschätzer basiert die CL-Methode auf den paarweisen quadrierten Differenzen. Es erfolgt ebenfalls keine Mittelung in Lag-Klassen, das Semi-variogramm wird direkt aus den Differenzen geschätzt. Dadurch ist es möglich, eine maximale Abstandsklasse zu definieren.

Die genannten Verfahren stellen eine Erweiterung des Methodenspektrums zur Ermittlung der theoretischen Variogramme und ihrer Parameter dar. Da die im Gesamtprojekt angewandten Methoden auf den klassischen Verfahren basieren, wurden auch in unserem Teilprojekt die gängigen Modelle und Anpassungsmethoden verwendet.

5.2.3.2 Gütebeurteilung der Variogramme

Für die Beurteilung der Güteanpassung werden in der geostatistischen Literatur (GOOVAERTS, 1997; SCHABENBERGER und GOTWAY, 2005) gewichtete Residuensummen verwendet. Die Gewichte berechnen sich über die Anzahl der Punktpaare in den einzelnen Lag-Klassen. Aus diesen parameterabhängigen Residuensummen werden auch die Bewertungskriterium AIC bzw. BIC ab, die beim Vergleich von ML und REML-Anpassungen verwendet werden. Diese Größen sind jedoch nur für den Vergleich des Modellergebnisses der Anpassungen an identische empirische Variogramme geeignet und nicht wie z.B. das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression für parameterübergreifende Gütebeurteilungen der Modellanpassung. Um einen Vergleich der Modellergebnisse parameter-, tiefenstufen- und auch flächenübergreifend zu ermöglichen, wurde die Modellbestimmtheit als Quotient aus der Summe der Abweichungsquadrate, die durch das Modell erklärt werden (ModellSS) und der Gesamtabweichungsquadrate (GesamtSS) berechnet. Diese Bestimmtheit wird in der vorliegenden Klassifikation mit verwendet, um unterschiedliche Qualitäten der Modellanpassung zu kategorisieren. Die Güteklassifikation wurde an folgenden Wertebereichen für Nugget, Range und Bestimmtheit orientiert. Hierbei handelt es sich um subjektiv definierte Werterahmen. Sie sollen v.a. im Sinne einer Gesamtbetrachtung einen Überblick über die Modellanpassungen ermöglichen (siehe Tab. 5.2).

Tabelle 5.2: Gütekriterien für die Anpassungsgüte der theoretischen Variogramme

Güte	Nugget	Range	ModellSS/GesamtSS
1	Nugget < Sill	< 20 m	Bestimmtheit > 30 %
2	Nugget < Sill	< 20 m	30 % > Bestimmtheit > 10 %
3	Nugget < Sill oder Range > 20 m		< 10 %
4	Nugget \geq Sill		± 0

5.2.3.3 Autokorrelationsprüfung mittels Moran-Test

Als Maß für die Autokorrelation wurde von Moran (1950) ein Test auf räumliche Autokorrelation entwickelt. Dieser vergleicht die Kovarianz ausgewählter Punkte mit einer Schätzung der Gesamtvarianz. Für den Morantest wird ein Probenumfang von mindestens 50 nahegelegt (HALLER ET AL., 2006). Dieser wurde im Datenmaterial stets erreicht oder überschritten. Beim Morantest wird eine Matrix abgeleitet, die die Nachbarschaftsbeziehungen der benachbarten Punkte definiert. Für die Level II – Versuchsflächen wurde eine inverse Distanzmatrix abgeleitet, die näher beieinander liegenden Punkten ein höheres Gewicht zuweist als weiter entfernten. Dabei wurden Punkte mit einer Distanz von bis zu 4 Metern berücksichtigt. Nicht benachbarte Punkte werden mit Null gewertet. Für die Probepunkte auf den Level II – Flächen bedeutet dies, dass auf unterschiedlichen Transektlinien liegende Punkte, die aufgrund des Abstands der Transekte mindestens 4.5 m entfernt liegen, keine Gewichte zugewiesen werden. Liegt der p-Wert des Morantests unter 0,05, liegt eine räumliche Autokorrelation vor. Je größer die Testgröße Moran's I ist umso stärker ist die räumliche Autokorrelation ausgeprägt.

5.2.3.4 Einflussgrößen auf die Datenvariabilität

In zahlreichen Untersuchungen wird auf die Bedeutung der Kronenstruktur für den Stofffluss in den Waldbeständen hingewiesen, was sich mittelbar auch auf bodenchemische Kenngrößen auswirkt (z.B. v. WILPERT ET AL. (1996)). So wurde z.B. in der Ökosystemfallstudie Conventwald eine kronenstratifizierte Instrumentierung umgesetzt. Für die Auswertung der Nelderversuche im Conventwald stand die Information der Zugehörigkeit zu einem Kronenstratum als erklärende Variablen zur Verfügung. Auf den Level II – Flächen sowie den gekalkten Vergleichspaaren wurden während der Probennahme Kronenphotos aufgenommen sowie Stammabstände zum nächstliegenden Baum dokumentiert, um Effekte der Überschildung auf die erhobenen Parameter ebenfalls auswerten zu können. Daneben stand auf den Versuchsflächen Altensteig, Conventwald, Ochsenhausen (ungekalkt) und Rosenfeld eine standörtliche Feinkartierung zur Verfügung, die für eine stratifizierte Auswertung genutzt werden konnte. Für die Gruppenvergleiche wurde der nicht parametrische Wilcoxon-Rangsummentest verwendet. Da die Beprobung und damit die lag-Klassenbelegung auf den Level II-Flächen für das gesamte Stichprobenkollektiv optimiert wurde, lassen sich stratifizierte empirische und theoretische Variogramme nicht mehr mit ausreichender Klassenbelegung berechnen.

5.2.3.5 Verwendete Software

Für die Durchführung der deskriptiven Datenanalysen sowie die Variogrammanalysen wurde die Software SAS 9.1. (SAS Institute, 2002-2003) verwendet. Die deskriptiven Parameter wurden mit der Prozedur „proc means“ berechnet, die nichtparameterischen Wilcoxon-Test mit der Prozedur „proc univariate“ durchgeführt. Der multiple Dunn-Test wurde nach ZAR (1999) in SAS berechnet. Die Tests der unterschiedlichen Variogrammschätzer erfolgte mit der Prozedur „proc variogram“, die Anpassung der theoretischen Variogramme wurde mit der Prozedur „proc nlin“ vorgenommen.

5.3 Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden die deskriptiven Parameter für die Level II – Flächen und die beiden Kalkungs-/Düngeflächen sowie die kleinräumigen Heterogenitäten auf den Versuchsflächen beschrieben. Letztere werden auch für die Nelder-Beprobungen auf den Versuchsflächen im Bereich der Ökosystemfallstudie Conventwald dargestellt. Im Anhang sind alle deskriptiven statistischen Kenngrößen (siehe Tabellen im Anhang E) und die einzelnen Variogrammanpassungen der Auswertung (im separaten Dokument „statgroessen.pdf“ der FVA Freiburg) dargestellt. Von den analysierten Kenngrößen werden im folgenden die pH-Werte, die Austauschkapazität, die Basensättigung, die Calcium-, Kalium-, Magnesium- und Aluminiumsättigung sowie die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sowie das C/N-Verhältnis beleuchtet. In Tuttlingen wurde keine Austauschkapazität bestimmt, es liegen für diese Fläche somit keine Basensättigung sowie austauschbare Kationsättigungen vor.

Für die Darstellung der Variabilitäten der bodenchemischen Kenngrößen werden Boxplots verwendet. Die Boxen begrenzen hierbei das erste und dritte Quartil der Verteilung, die Whisker werden von den Boxen bis zu den Minimal- bzw. Maximalwerten innerhalb des 1.5-fachen Interquartilranges gezogen. Maximalwerte außerhalb dieses Wertebereiches sind als Kreise dargestellt.

5.3.1 Variabilität und räumliche Heterogenität der bodenchemischen Kenngrößen

5.3.1.1 Bodenreaktion

Variabilität des pH-Wertes Die in Abb. 5.10, Seite 112 dargestellten Boxplots wurden basierend auf den Protonenkonzentrationen berechnet und in die Logarithmusdarstellung rücktransformiert. Die in H₂O gemessenen pH-Werte (Abb. 5.10, links,) liegen auf den ungekalkten und nicht karbonatischen Versuchsflächen (die Bodenbildung in Tuttlingen fand auf carbonatischem Ausgangsgestein statt) im Mittel im Bereich von 3.5 bis knapp über 4 (Conventwald). Die Variabilität ist in den beiden Tiefenstufen vergleichbar. In 5 bis 10 cm Tiefe sind die pH-Werte tendenziell höher, sie schwanken um den Wert von 4.

Die in KCL gemessenen pH-Werte (Abb. 5.10, rechts) liegen bei geringer Streuung im Bereich um 3 und damit um ca. 0.7 bis 1 pH-Stufe unter den pH-H₂O-Werten. Die Variationskoeffizienten der Protonenkonzentrationen liegen auf den nicht carbonatischen Flächen zwischen 25 % und 90 %. Im Gesamtkollektiv der nicht gekalkten und carbonatischen Standorte weisen die pH-Werte auf den Versuchsflächen Altensteig und Müllheim (beide Tiefenstufen) sowie Conventwald (Tiefenstufe 0 bis 5 cm) eine höhere Variabilität auf. In beiden Tiefenstufen sind die Kalkungseffekte auf den Versuchsflächen Heidelberg und Ochsenhausen an höheren pH-Werte erkennbar. Der Behandlungseffekt wirkt sich wie in Tuttlingen auf die Streuung der Werte aus, diese nimmt im Vergleich zu den unbehandelten Parzellen deutlich zu. Die größte Bandbreite an pH-Werten tritt auf der Versuchsfläche Tuttlingen (der Median der pH-Werte liegt dort bei 7) auf, die Variationskoeffizienten der Protonenkonzentrationen liegen auf dieser Fläche in den beiden Tiefenstufen zwischen 350 % und nahezu 540 %. Der Bodentyp entspricht dort einer skelettreichen Terra fusca, im Probenmaterial ist dort sicherlich carbonatisches Feinbodenmaterial mit beprobt worden.

Räumliche Heterogenität der Protonenkonzentration In Tab. 5.3, Seite 113 sind die Kenngrößen der angepassten theoretischen Modelle (Modellbestimmtheit, Autokorrelationslänge „Range“ sowie die Relation zwischen Nugget und Sill) für die Protonenkonzentrationen aufgeführt. Diese basieren wie in Kapitel 5.3.2, Seite 128 aufgeführt auf angepassten theoretischen Gauss'schen Modellen. Die Lagdistanz wurde auf zwei Meter und die Maximaldistanz auf 20 m festgelegt. Für die Anpassung ergaben sich dadurch 10 Lag-Klassen. In die Übersicht sind nur Modelle der Güteklasse 1 und 2 aufgenommen. Die pH-Werte wurden auf allen Versuchsflächen bestimmt. Unter

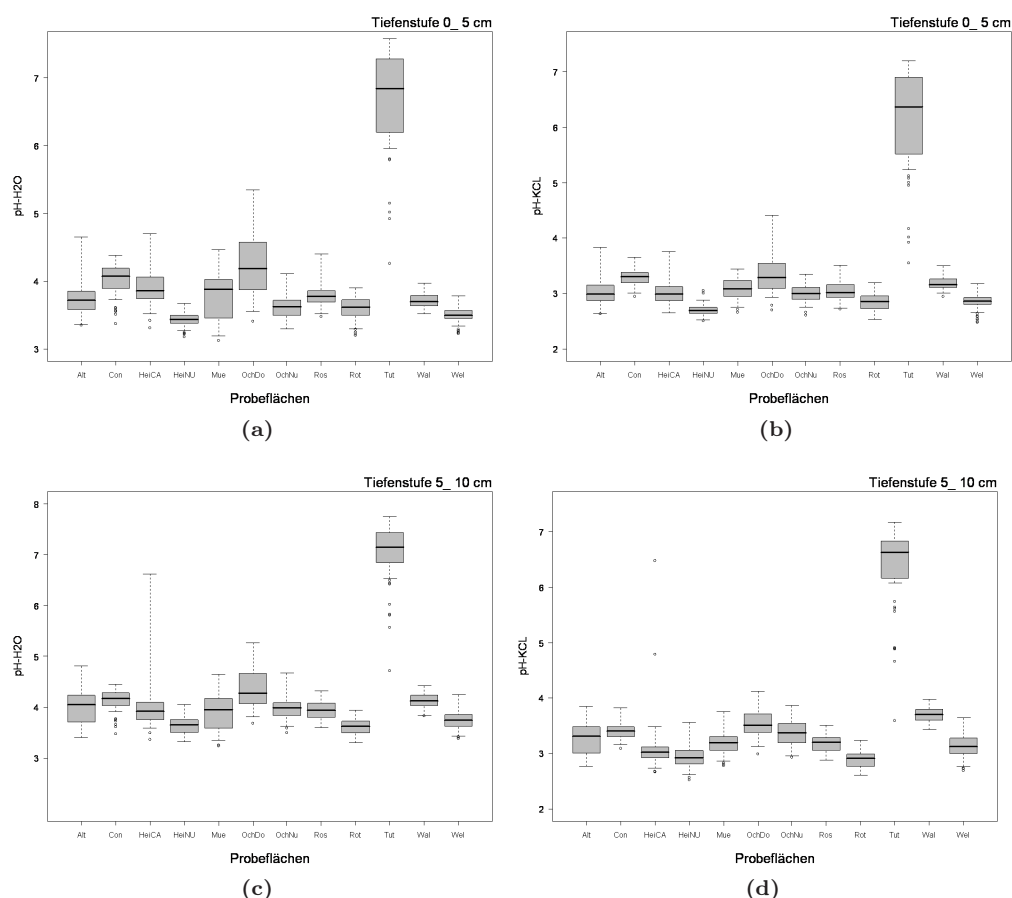


Abbildung 5.10: pH-Werte (links: in H₂O rechts: in KCl gemessen) in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm. Die Lagemaße wurden basierend auf den Protonenkonzentrationen berechnet.

den oben genannten Vorgaben gelingt eine Variogrammanpassung auf 4 bis maximal 6 Flächen der 12 Flächen. Die mittleren Bestimmtheiten der Modelle liegen in allen Tiefenstufen unter 50 %. Die mittlere Autokorrelationslänge liegt zwischen Mittel bei 6.9 und 10.9 m. Die einzigen Versuchsflächen, auf denen in beiden Tiefenstufen und sowohl für den H⁺-H₂O als auch den H⁺-KCl eine Modellanpassung gelingt, sind die gekalkte Fläche in Ochsenhausen sowie die Level II – Fläche in Tuttlingen. Der Anteil der Nuggetvarianz am Sill beträgt im Mittel zwischen 36 % und 44 %. In Abb. 5.11, Seite 113 sind beispielhaft zwei Variogramme für die Protonenkonzentrationen dargestellt.

5.3.1.2 Austauschkapazität (AKe)

Variabilität der Austauschkapazität Die Bandbreite der mittleren Austauschkapazitäten auf den Versuchsflächen reicht in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm von 46 $\mu\text{molc/g}$ in Rotenfels bis 190 $\mu\text{molc/g}$ im Conventwald (Abb. 5.12, Seite 114). In der Tiefenstufe 5 bis 10 m liegen die mittleren Ake-Werte bei 31 $\mu\text{molc/g}$ (Ro-tenfels) bzw. bei 170 $\mu\text{molc/g}$ (Conventwald). Die maximalen Austauschkapazitäten wurden auf den Versuchsflächen im Conventwald und in Müllheim bestimmt. Der Spitzenwert erreicht im Conventwald nahezu 290 $\mu\text{molc/g}$ und unterschreitet dort in keiner Probe 120 $\mu\text{molc/g}$. Die hohen AKe-Werte liegen auf diesen beiden Schwarzwaldstandorten si-

Tabelle 5.3: Theoretischen Variogrammanpassungen für die Protonenkonzentrationen. Flächen, auf denen in beiden Tiefenstufen eine theoretische Variogrammanpassung möglich war, sind kursiv.

Tiefe: 0 bis 5 cm, n= 12				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
HeiNU	$H^+ - H_2O$	0,39	2,69	0,47
<i>OchDO</i>	$H^+ - H_2O$	0,6	5,75	0,22
Ros	$H^+ - H_2O$	0,28	10	0,35
<i>Tut</i>	$H^+ - H_2O$	0,19	9,13	0,58
		0,37	6,89	0,41
Alt	$H^+ - KCl$	0,39	10	0,5
Con	$H^+ - KCl$	0,55	4,98	0,28
<i>OchDO</i>	$H^+ - KCl$	0,58	7,81	0,31
Ros	$H^+ - KCl$	0,22	10	0,43
<i>Tut</i>	$H^+ - KCl$	0,23	15,67	0,5
Wal	$H^+ - KCl$	0,83	10	0,34
Wel	$H^+ - KCl$	0,12	10	0,69
		0,41	9,78	0,44
Tiefe: 5 bis 10 cm, n= 12				
Alt	$H^+ - H_2O$	0,64	7,72	0,42
<i>OchDO</i>	$H^+ - H_2O$	0,5	6,21	0,22
Ros	$H^+ - H_2O$	0,66	16,75	0,27
<i>Tut</i>	$H^+ - H_2O$	0,23	15,06	0,54
Wal	$H^+ - H_2O$	0,26	8,92	0,59
		0,46	10,93	0,41
Alt	$H^+ - KCl$	0,64	6,73	0,41
Con	$H^+ - KCl$	0,41	15,1	0,59
<i>OchDO</i>	$H^+ - KCl$	0,59	11,84	0,51
Rot	$H^+ - KCl$	0,1	1,11	0,02
<i>Tut</i>	$H^+ - KCl$	0,24	12,56	0,61
Wal	$H^+ - KCl$	0,38	2,84	0
		0,39	8,36	0,36

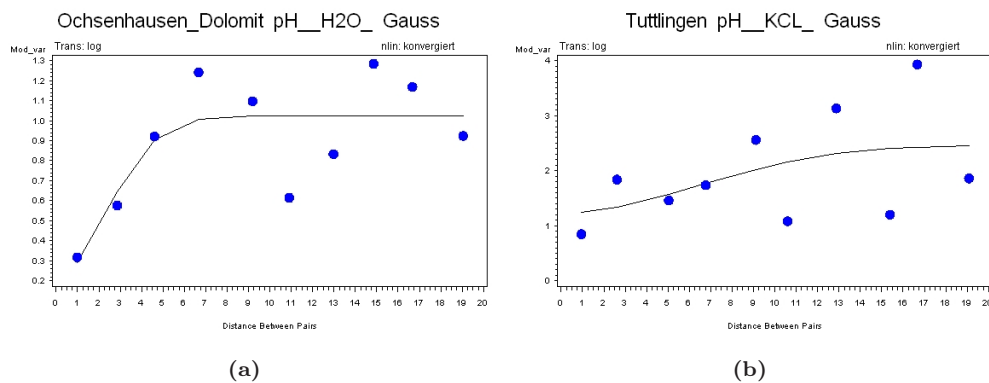


Abbildung 5.11: Semivarianz und theoretische Variogramme der pH-Werte (Protonenkonzentrationen) aus der Tiefenstufe 0 bis 5 cm. Das theoretische Variogramm aus Ochsenhausen weist eine Bestimmtheit von 0.6 auf, in Tuttlingen liegt die Bestimmtheit nur bei 0.23

cherlich in der Beprobung des Feinbodens begründet. In die grusige Grundmatrix der leicht bis stark geneigten Hänge sind Feinbodentaschen mit teilweise hohen organischen Anteilen eingelagert. Deutlich über der mittleren Ake aller Versuchflächen ($116 \mu\text{molc/g}$ in 0 bis 5 cm bzw. $94 \mu\text{molc/g}$ in 5 bis 10 cm) liegen neben den Versuchflächen Conventwald und Müllheime die beiden Flächen in Ochsenhausen.

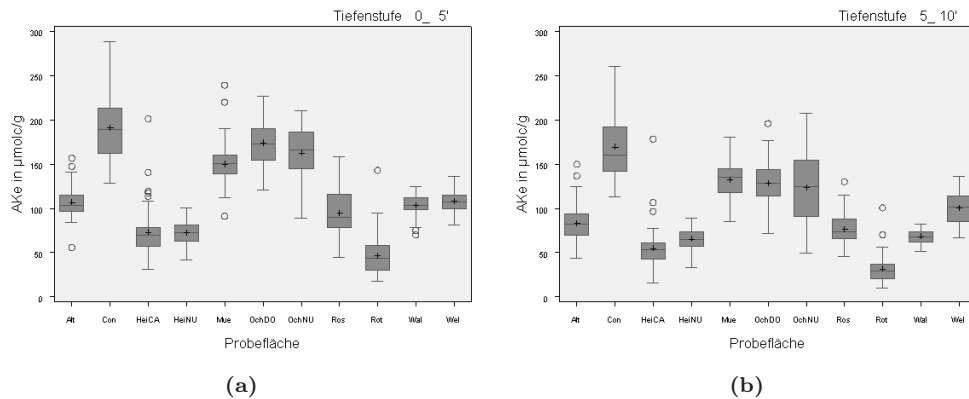


Abbildung 5.12: Austauschkapazitäten (AKe) auf den Versuchflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts).

Die größte Variabilität der AKe ist auf der Versuchfläche in Rotenfels gegeben. Der Variationskoeffizient liegt dort bei nahezu 50 %. Die Heterogenität ist auf dieser Fläche ähnlich wie auf den Flächen Conventwald und Müllheim auf den Grobskelettreichtum im Oberboden zurückzuführen. Das deutlich niedrigere Niveau der Austauschkapazität in Rotenfels geht auf die Basenarmut des Ausgangsgesteins (Buntsandstein) zurück. Dies gilt auch für die aus Sandsteinverwitterung hervorgegangenen Flächen in Heidelberg und Welzheim. Im Mittel aller Versuchflächen liegen die Variationskoeffizienten zwischen 20 und 25 %.

Die Austauschkapazitäten auf den gekalkten Versuchflächen unterscheidet sich nicht signifikant von den unbehandelten Flächen. In Heidelberg liegt die mittlere AKe auf der gedüngten Variante sogar unter dem Vergleichswert der unbehandelten Referenzfläche.

Räumliche Heterogenität der Austauschkapazität Nur auf 2 der 11 Versuchflächen lassen sich in der Tiefe 0 bis 5 cm theoretische Variogramme anpassen. Für diese ist die Bestimmtheit mit Werten von deutlich über 50 % hoch. Auch in der darunter liegend beprobten Tiefenstufe gelangen gute Anpassungen auf 5 der 11 Flächen. Für die Modelle der Austauschkapazität werden die höchsten Bestimmtheiten erreicht. In 0 bis 5 cm Bodentiefe liegt die mittlere Autokorrelationslänge bei 5 m und die Nuggetvarianz bei 27 % des Sills. Mit über 10 m reicht die Autokorrelation in 5 bis 10 cm Tiefe doppelt so weit, die Nuggetvarianz ist ebenfalls erhöht. Oberflächennah ist offensichtlich ein kleinräumigerer und auch ausgeprägter Nachbarschaftseffekt als in größerer Bodentiefe nachzuweisen, was vermutlich mit der vertikalen Verteilung und der ausgeprägten Korrelation von Kohlenstoffgehalt und Austauschkapazität zusammenhängt. Die Autokorrelationslängen für die Austauschkapazität in den beiden Tiefenstufen auf der unbehandelten Fläche in Heidelberg ist in Abb. 5.13, Seite 115 beispielhaft dargestellt.

5.3.1.3 Basensättigung

Variabilität der Basensättigung Die Mediane der Basensättigungen liegen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm auf den nicht gekalkten Versuchflächen (in Tuttlingen wurde keine AKe bestimmt) im

Tabelle 5.4: Theoretischen Variogrammanpassungen für die Austauschkapazität

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
<i>Con</i>	<i>AKe</i>	0,58	4,95	0,17
<i>HeiNU</i>	<i>AKe</i>	0,87	5,25	0,37
		0,73	5,1	0,27
Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Alt	AKe	0,32	5,25	0,54
<i>Con</i>	<i>AKe</i>	0,54	11,08	0,31
HeiCA	AKe	0,78	15,75	0,5
<i>HeiNU</i>	<i>AKe</i>	0,76	10,72	0,34
Wal	AKe	0,69	8,92	0,43
		0,62	10,34	0,42

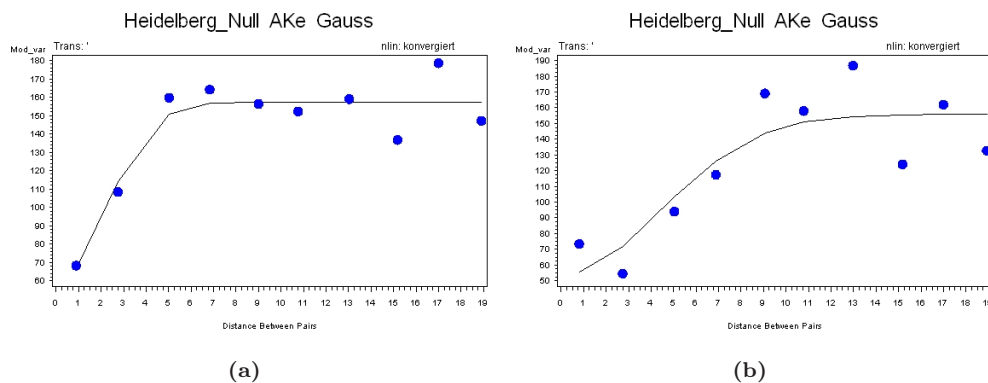


Abbildung 5.13: Semivarianz und theoretische Variogramme für die Austauschkapazität der unbehandelten Fläche in Heidelberg in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts)

Bereich von bzw. unter 10 %, nur in Rotenfels wird dieser Wert geringfügig überschritten (Abb. 5.14, Seite 116). Das Niveau der Basensättigungen in Ochsenhausen, Walldürn und Welzheim hebt sich dabei von den weiteren Flächen mit Werten von unter 5 % ab. Die Variationskoeffizienten reichen in dieser Tiefenstufe von 18 % bis 60 %. Die Boxplots zeigen für die meisten Flächen breite Interquartil-ranges und weit austreichende Whisker. Extremwerte, die über den oberen Interquartilrange hinausreichen, sind häufig (Ausnahme: Rotenfels und Welzheim).

In 5 bis 10 cm Bodentiefe ist das Niveau der Basensättigungen niedriger. Die Variabilität der Basensättigung bleibt in dieser Tiefenstufe noch hoch, die Variationskoeffizienten erreichen die Wertespanne aus der darüber liegenden Tiefenstufe. Auf sehr niedrigen Basensättigungswerten sind die Flächen Altensteig, Heidelberg, Ochsenhausen, Walldürn und Welzheim nivelliert. Auch in dieser Tiefenstufe sind deutliche Ausreisserstrukturen erkennbar.

Auf den gekalkten Parzellen reichen die Spannen der Basensättigungen erwartungsgemäß sehr weit. In Ochsenhausen ist nahezu das gesamte Wertespektrum von unter 5 % bis zu 100 % abgedeckt. Die Mittelwerte der Basensättigung auf den beiden Flächen Ochsenhausen und Heidelberg liegen in 0 bis 5 cm Bodentiefe über 30 %. Erstaunlich ist hierbei, dass die Werte für die Heidelberger Fläche trotz länger zurückliegenden Kalkung enger auf den Bereich zwischen 25 und

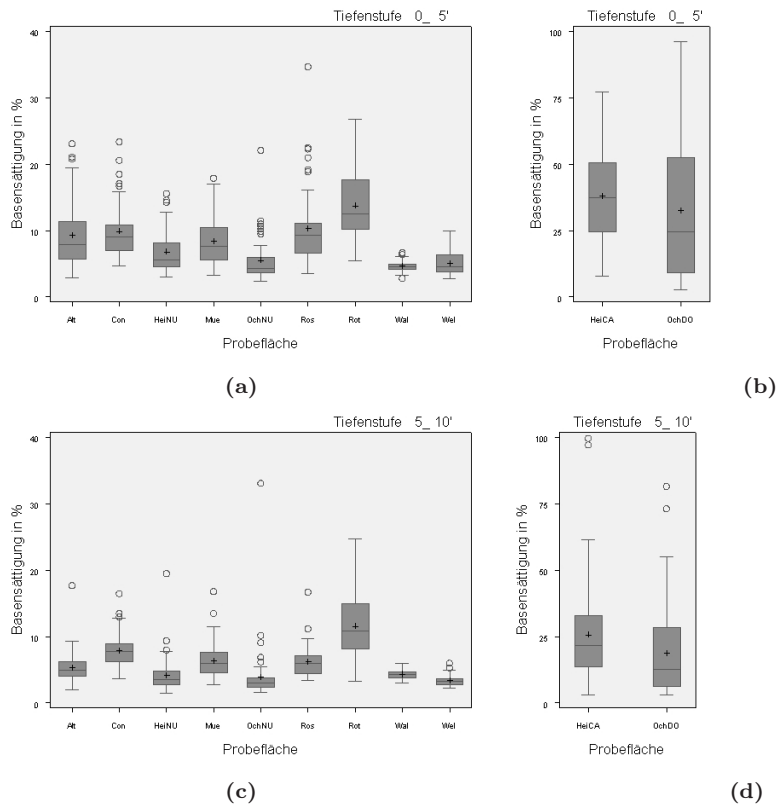


Abbildung 5.14: Basensättigung auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (oben) und 5 bis 10 cm (unten).

50 % begrenzt sind als dies in Ochsenhausen der Fall ist. Die Kalkungswirkung ist auch in 5 bis 10 cm deutlich erkennbar. Auch hier zeichnet sich für Heidelberg bezüglich der mittleren Basensättigungen eine eher günstigere Basenversorgung ab, die durch zahlreiche Ausreißer begründet ist.

Räumliche Heterogenität der Basensättigung Für die Basensättigung gelingt in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm nur auf der gekalkten Fläche in Ochsenhausen die Anpassung eines gauss'schen Modells. In der darunter liegenden Tiefenstufe ist dies für über 6 Flächen möglich. Der mittlere Range liegt mit 9 m in einem Wertespektrum, das bereits für die Autauschkapazität und die Protonenkonzentrationen bestimmt wurde. Eine Tiefenabhängigkeit kann aufgrund der geringen Wiederholungszahl in der oberen Tiefenstufe nicht abgeleitet werden. Auffällig ist, dass trotz der enormen Bandbreite der Werte auf der gekalkten Fläche in Ochsenhausen in beiden Tiefen eine Anpassung mit hoher Bestimmtheit gelingt. Diese liegt für alle Anpassungen in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm bei 43 %, das durchschnittliche Verhältnis von Nuggetvarianz zu Sill liegt bei 60 %. Abb. 5.15, Seite 117 zeigt für die dolomitbehandelte Fläche in Ochsenhausen die Anpassung des gauss'schen Modells.

In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm liegt die Autokorrelationslänge bei 5 m, in der darunter liegenden Tiefenstufe bei knapp über 6 m. In beiden Tiefenstufen ist eine ausgeprägte Schwingung der Semivarianzen um den Sill zu erkennen. Die Schwingungslänge liegt bei ca. 10 m.

Tabelle 5.5: Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für die Basensättigungen

Fläche	Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)			
	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
<i>OchDO</i>	<i>Basen %</i>	0,61	4,91	0,3
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=11)				
HeiNU	Basen %	0,28	6,38	0,76
Mue	Basen %	0,13	11,53	0,93
<i>OchDO</i>	<i>Basen %</i>	0,56	6,24	0,23
OchNU	Basen %	0,48	6,19	0,71
Ros	Basen %	0,52	13,74	0,43
Wel	Basen %	0,59	8,98	0,49
		0,43	8,84	0,59

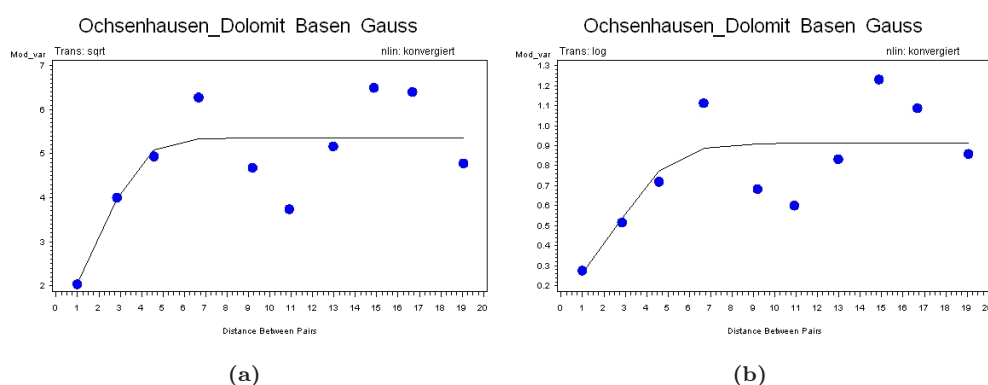


Abbildung 5.15: Semivarianz und theoretische Variogramme für die Basensättigung auf der dolomitbehandelten Fläche in Ochsenhausen in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts)

5.3.1.4 Calciumsättigung

Variabilität der Calciumsättigung Auf den ungekalkten Versuchsflächen übersteigen die mittleren Calciumsättigungen in der Tiefe von 0 bis 5 cm nur auf den Flächen Altensteig, Conventwald, Müllheim und Rosenfeld (im Conventwald auch in 5 bis 10 cm) den Wert von $5 \mu\text{molc/g}$. Die Bandbreite der mittleren Sättigungen reicht von $0,4$ bis $37 \mu\text{molc/g}$ (0 bis 5 cm) bzw. 0 bis $28 \mu\text{molc/g}$ (5 bis 10 cm). Wie bei der Basensättigung sind die Boxplots durch teilweise mehrere Ausreißer auf einzel-nen Versuchsflächen geprägt (Abb. 5.16, Seite 118).

Für ungekalkte Standorte übersteigen die Maximalwerte die Mittelwerte bzw. Mediane um Größenordnungen. Dementsprechend liegen die Variationskoeffizienten auf einem sehr hohen Niveau. In 0 bis 5 cm Tiefe liegt der Minimalwert in Walldürn bei 42 %, der Maximalwert in Rosenfeld bei 109 %. Die maximale Variabilität in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm ist auf der Nullfläche in Ochsenhausen gegeben. Der Variationskoeffizient liegt dort bei 178 %, in Walldürn erreicht er mit 33 % den Minimalwert. Wie bei der Basensättigung zeichnen sich die Werte von den Versuchsflächen in Altensteig, Conventwald und Müllheim durch ein höheres Niveau aus.

Die Calciumsättigungen auf den gekalkten Flächen liegen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm bei $22 \mu\text{molc/g}$ (Heidelberg) bzw. $27 \mu\text{molc/g}$ (Ochsenhausen). Sie übersteigen die Referenz-werte auf

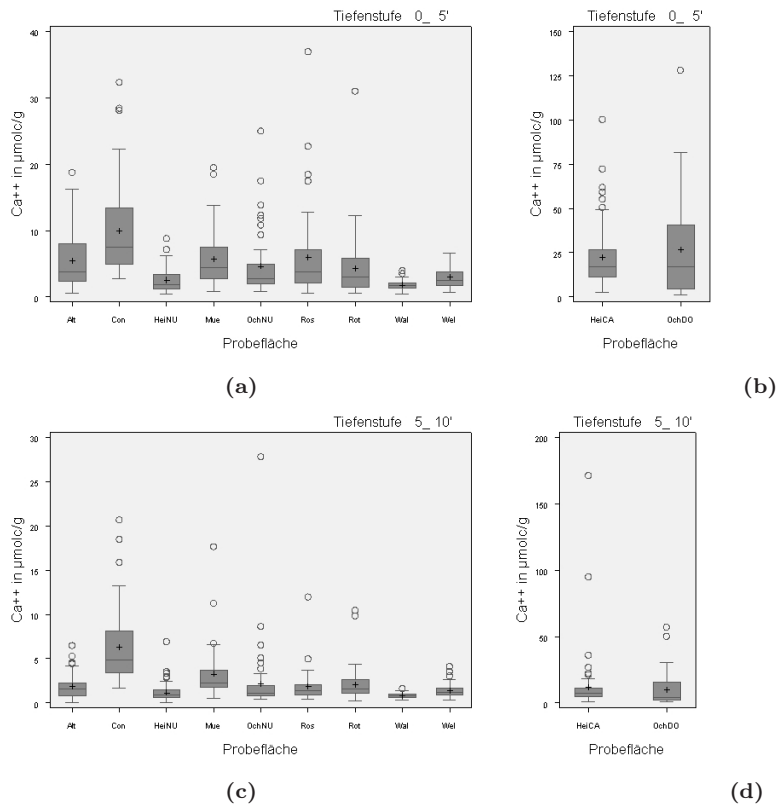


Abbildung 5.16: Calciumsättigung in $\mu\text{mol/g}$ auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (oben) und 5 bis 10 cm (unten)

den ungekalkten Vergleichsparzellen um den Faktor 10 bzw. 5. Die gleichen Relationen sind in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm bei Sättigungswerten von $12 \mu\text{mol/g}$ (Heidelberg) bzw. $10 \mu\text{mol/g}$ in Ochsenhausen gegeben.

Räumliche Heterogenität der Calciumsättigung Die hohe Variabilität der austauschbaren Calciumvorräte spiegelt sich auch in einer hohen räumlichen Heterogenität wieder. Die Bestimmtheit der angepassten Modelle übersteigt in beiden Tiefenstufen 30 % nur knapp. Analog zur Basensättigung gelingt für die gekalkte Versuchsfläche in Ochsenhausen eine Anpassung mit vergleichbaren Autokorrelationslängen wiederum in beiden Tiefenstufen. Die mittleren Ranges liegen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm bei durchschnittlich 3.3 m, in 5 bis 10 cm bei 10 m. Die Nuggetvarianz liegt bei 25 % bzw. 54 % des Sills.

5.3.1.5 Magnesiumsättigung

Variabilität der Magnesiumsättigung Das Boxplots der Magnesiumsättigungen auf den ungekalkten Versuchsflächen sind hinsichtlich ihrer Ausprägung und relativen Lage zueinander vergleichbar mit denen der Calciumsättigungen (Abb. 5.17, Seite 120). Die Bandbreite vorkommender Sättigungswerte reicht in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm von 0.3 bis $11 \mu\text{mol/g}$. Die höchsten Werte wie auch die höchsten Lagemaße Mittelwert und Median ($5.4 \mu\text{mol/g}$) findet sich auf der Versuchsfläche Conventwald. Auf den Versuchsflächen Altensteig, Müllheim, Ochsenhausen und Rosenfeld liegen die Mittelwerte in dieser Tiefenstufe zwischen 2 und $3 \mu\text{mol/g}$. Die austausch-

Tabelle 5.6: Theoretischen Variogrammanpassungen für die Calciumsättigung

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
<i>OchDO</i>	Ca^{2+}	0,34	5,41	0,37
Rot	Ca^{2+}	0,43	1,81	0
Wel	Ca^{2+}	0,17	2,79	0,37
		0,32	3,33	0,25
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=11)				
Con	Ca^{2+}	0,25	12,25	0,75
<i>OchDO</i>	Ca^{2+}	0,5	6,69	0,33
Ros	Ca^{2+}	0,25	5,09	0,32
Wal	Ca^{2+}	0,24	16,59	0,78
		0,31	10,16	0,54

baren Vorräte in Heidelberg, Rotenfels, Welzheim und Walldürn liegen mit geringeren absoluten Schwankungen im Bereich von $1 \mu\text{molc/g}$.

Auch in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm lassen sich die Versuchsflächen in vergleichbare Kollektive gruppieren. Wieder sind die Werte im Conventwald höher. Ein intermediäres Kollektiv bilden die Versuchsflächen Altensteig, Müllheim, Ochsenhausen und Rosenfeld (Mittelwerte im Bereich zwischen 0.9 und $2 \mu\text{molc/g}$). Auf den weiteren Flächen liegen die austauschbare Vorräte deutlich unter $1 \mu\text{molc/g}$.

Die Variabilität der Magnesiumsättigungen ist im Vergleich zu den austauschbaren Calciumsättigungen geringer. Die Variationskoeffizienten reichen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm von 26 % (Welzheim und Walldürn) bis 54 % (Rotenfels), in 5 bis 10 cm von 22 % (Walldürn) bis 90 % (Rotenfels). Variationskoeffizienten von über 50 % werden nur auf den Flächen Ochsenhausen und Rotenfels überschritten.

Auf den behandelten Flächen in Heidelberg und Ochsenhausen ist die Variabilität erwartungsgemäß deutlich erhöht. Im Gegensatz zur Calciumsättigung, für die in Heidelberg und Ochsenhausen in der Größenordnung vergleichbare Werte gefunden wurden, ist die Magnesiumsättigung in Ochsenhausen im Mittel um den Faktor 5 erhöht. Dies ist sicherlich auf die in Heidelberg länger zurückliegende Kalkungsmaßnahme zurückzuführen. Gegenüber den unbehandelten Versuchsflächen sind die Werte in Heidelberg um den Faktor 5, in Ochsenhausen um den Faktor 10 erhöht.

Räumliche Heterogenität der Magnesiumsättigung Die Anpassung theoretischer Variogramme gelang im Falle der Magnesiumvorräte auf je-weils zwei von 11 Versuchsflächen (Tab. 5.7, Seite 121). Wie bei den Calciumsättigungen ist dies für beide Tiefenstufen der gekalkten Versuchsfläche in Ochsenhausen gelungen. Die mittlere Autokorrelationslänge liegt in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm knapp unter 4 m, in 5 bis 10 cm bei rund 11.5 m. Die Bestimmtheitsmaße reichen von 46 % bis 64 %. Wie beim Calcium wird für Magnesium in der oberen Tiefenstufe eine um die Hälfte geringerer Anteil der Nuggetvarianz am Sill als in 5 bis 10 cm Tiefe ermittelt.

5.3.1.6 Kaliumsättigung

Variabilität der austauschbaren Kaliumvorräte Für die Kaliumsättigungen sind wieder alle Versuchsflächen in einer Darstellung zusammen gefass dargestellt (Abb. 5.18, Seite 121). Da bei den Behandlungen kein Kalium ausgebracht wurde, können die Flächen als räumliche Wiederholungen unter vergleichbaren standörtlichen Voraussetzungen interpretiert werden.

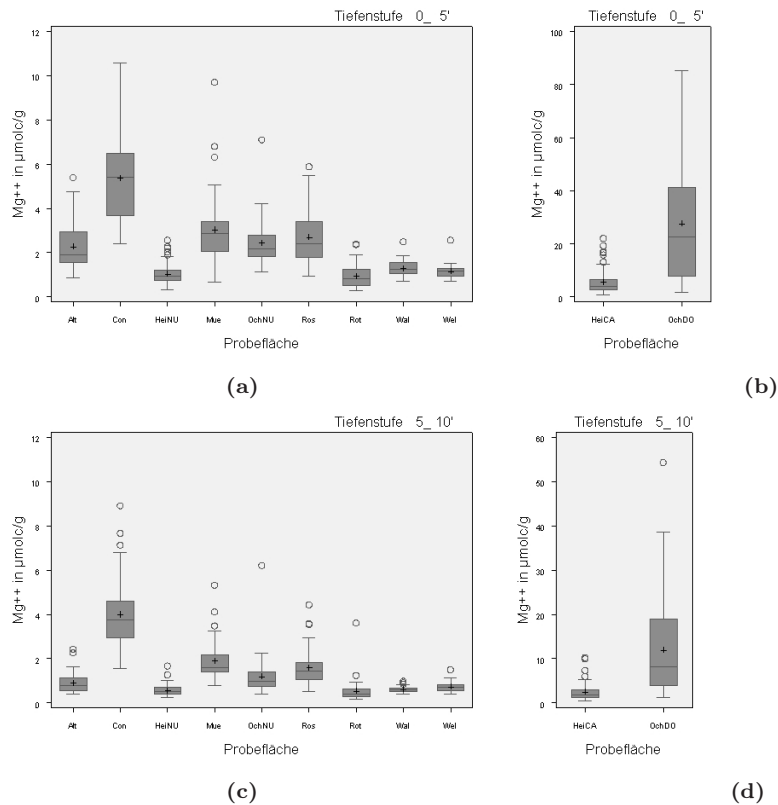


Abbildung 5.17: Magnesiumsättigung in $\mu\text{mol/g}$ auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (oben) und 5 bis 10 cm (unten).

Die Bandbreite der Kaliumsättigung ist auf den Flächen Conventwald und Müllheim am größten. Auf diesen Flächen liegen Mittelwert und Median in 0 bis 5 cm Werte über 2 $\mu\text{mol/g}$. Die geringsten Vorratswerte (deutlich unter 1 $\mu\text{mol/g}$) werden auf den beiden Flächen in Heidelberg, in Rotenfels und Welzheim vorgefunden. Im Bereich des flächenübergreifenden Mittelwertes von 1.4 $\mu\text{mol/g}$ liegen die Versuchsflächen Altensteig und Ochsenhausen. Auf den Flächen Rosenfeld und Welzheim übersteigt der Wert knapp die Grenze von 1 $\mu\text{mol/g}$. Auch in 5 bis 10 cm Bodentiefe sind die Kaliumsättigungen im Conventwald und auf der Versuchsfläche Müllheim gegenüber dem Mittelwert aller Flächen deutlich erhöht (um den Faktor 2). Die Werte für die weiteren Flächen bewegen sich zwischen 0.5 $\mu\text{mol/g}$ und 1 $\mu\text{mol/g}$ Kaliumsättigung.

Die Variationskoeffizienten der Kaliumsättigung schwanken in den beiden Tiefenstufen zwischen 19 % (Walldürn in 5 bis 10 cm Bodentiefe) und 60 % (Rotenfels in 5 bis 10 cm Bodentiefe), die mittleren Koeffizienten liegen bei 36 % in 0 bis 5 cm und 33 % in 5 bis 10 cm Bodentiefe. Ein Behandlungseffekt auf die Kaliumsättigungen ist nicht zu erkennen. Die Lagemaße lassen keine Verschiebung erkennen, die z.B. auf eine durch Calciumüberschuss ausgelöste Verdrängung des Kaliums von den Austauschplätzen zurückgeführt werden könnte.

Räumliche Heterogenität der Kaliumsättigung In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm gelingt die Anpassung von drei theoretischen Variogrammen, in 5 bis 10 cm Tiefe nur auf der behandelten Versuchsfläche in Ochsenhausen (Tab. 5.8, Seite 121). Für die Kaliumsättigung werden die längsten Ranges berechnet, die in beiden Tiefenstufen deutlich über 10 m liegen. Die Streuung der Werte ist jedoch sehr hoch, die Werte müssen auch aufgrund der geringen Beobachtungszahl mit Vorsicht

Tabelle 5.7: Variogrammanpassungen für die austauschbaren Magnesiumsättigung

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
Con	Mg^{2+}	0,64	3,05	0,15
<i>OchDO</i>	Mg^{2+}	0,51	4,71	0,25
		0,58	3,88	0,2
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=11)				
<i>OchDO</i>	Mg^{2+}	0,46	6,3	0,32
Wal	Mg^{2+}	0,46	16,59	0,53
		0,46	11,44	0,42

interpretiert werden. Gleiches gilt für den Quotienten aus Nugget und Sill, die zwischen 0 und 0.7 liegen. Die mittlere Bestimmtheit liegt bei knapp über 40 %.

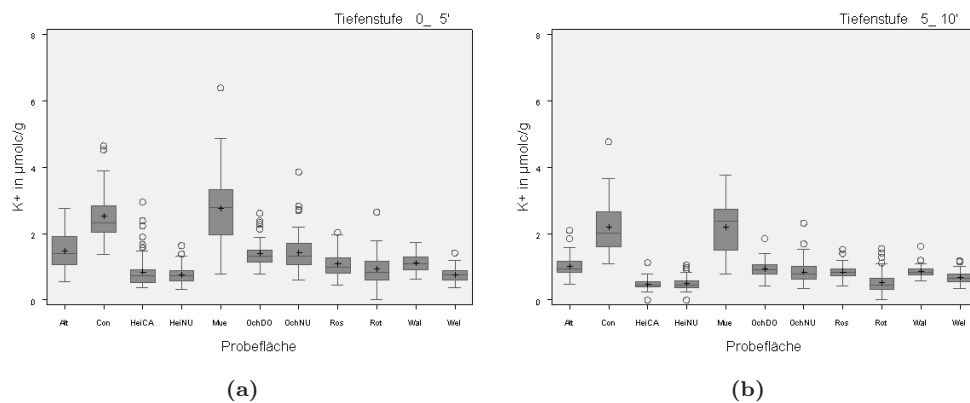
Abbildung 5.18: Kaliumsättigung in $\mu\text{mol/g}$ auf den Versuchsfeldern. Links: Tiefenstufe 0 bis 5 cm, Rechts: 5 bis 10 cm.

Tabelle 5.8: Theoretischen Variogrammanpassungen für die Kaliumsättigung

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
Con	K^+	0,26	1,71	0
<i>OchDO</i>	K^+	0,24	15,51	0,6
Ros	K^+	0,76	17,33	0,15
		0,42	11,52	0,25
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=11)				
<i>OchDO</i>	K^+	0,45	15,02	0,69

5.3.1.7 Aluminiumsättigung

Variabilität der Aluminiumsättigung Aluminium ist auf den untersuchten Standorten das dominierende Kation an der Austauschbelegung (Abb. 5.19, Seite 122). Die Größenordnung der vorkommenden Werte hängt im wesentlichen von der Austauschkapazität ab. Entsprechend den AKe-Werten werden die geringsten Aluminiumsättigung in Heidelberg und Rotenfels, die höchsten auf der Versuchsfläche Conventwald gemessen. Das Wertespektrum reicht von 0 $\mu\text{molc/g}$ (dieser Wert wurde auf der gedüngten Fläche in Heidelberg bestimmt) bis 220 $\mu\text{molc/g}$ (im Conventwald). Die mittleren Variationskoeffizienten liegen in den beiden Tiefenstufen bei 28 % (0 bis 5 cm) bzw. 29 % (5 bis 10 cm). Die höchste Variabilität wird auf einem geringen Sättigungsniveau in Rotenfels erreicht.

Auf den unbehandelten Parzellen ist die Sättigung im Vergleich zu den behandelten Parzellen höher als auf den gekalkten Versuchspartzen. Dies ist auf Austauschprozesse zurückzuführen, bei denen die im Zuge der Behandlung applizierten basischen Neutralkationen zu einer Verdrängung des Aluminiums von den Austauschern führt. Die Variabilität der Aluminiumsättigung nimmt durch die Behandlung dagegen zu, erwartungsgemäß ist auf der Versuchsfläche Ochsenhausen die Streuung höher, da die Behandlung zum Zeitpunkt der Probenahme dort erst 12 Jahre zurück lag, in Heidelberg dagegen 23 Jahre.

Räumliche Heterogenität der Aluminiumsättigung Im Gegensatz zu den basischen Neutralkationen lassen sich für Aluminium immerhin in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm 3 bzw. 7 theoretische Variogramme in 5 bis 10 cm anpassen. Die für die beiden Tiefenstufen bestimmten Mittelwerte der Autokorrelationslängen von 5.7 m bzw. 10 m liegen im Bereich der bisher abgeleiteten Ranges. Die Anpassungsgüten sind insbesondere in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm hoch und spiegeln sich in mittleren Bestimmtheiten von 54 % bzw. 67 % wieder. Die Relationen von Nugget zu Sill von 0.5 bzw. 0.4 zeigen einen schwächeren Tiefentrend als er z.B. bei den basischen Kationen erkennbar ist.

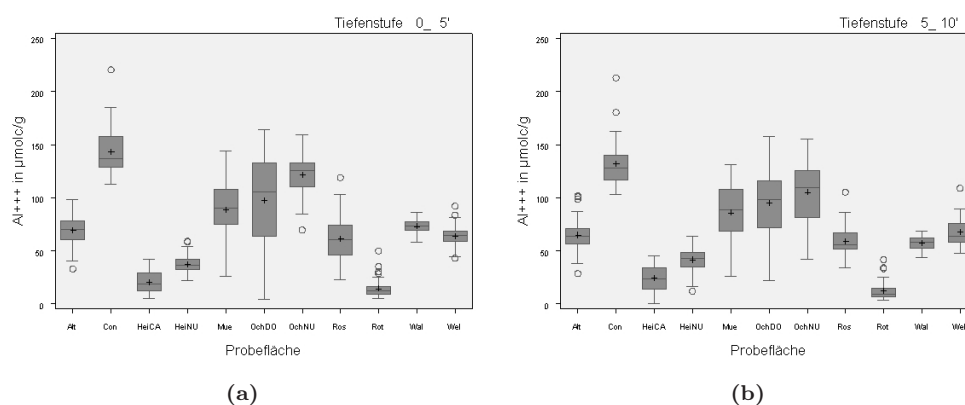


Abbildung 5.19: Aluminiumsättigung in $\mu\text{molc/g}$ auf den Versuchsflächen. Links: Tiefenstufe 0 bis 5 cm, Rechts: 5 bis 10 cm.

5.3.1.8 Kohlenstoffgehalt

Variabilität des Kohlenstoffgehalts Über alle Versuchsflächen hinweg liegt der Mittelwert des Kohlenstoffgehalt in 0 bis 5 cm Tiefe bei 61 g/kg bzw. 39 g/kg in 5 bis 10 cm Tiefe. Hinsichtlich der Höhe der Kohlenstoffgehalte heben sich die Versuchsflächen im Conventwald, Müllheim,

Tabelle 5.9: Theoretischen Variogrammanpassungen für die Aluminumsättigung

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=11)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
<i>Con</i>	Al^{3+}	0,47	5,29	0,43
<i>HeiNU</i>	Al^{3+}	0,43	5,57	0,58
<i>Mue</i>	Al^{3+}	0,72	6,18	0,5
		0,54	5,68	0,5
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=11)				
<i>Con</i>	Al^{3+}	0,61	8,89	0,49
<i>HeiCA</i>	Al^{3+}	0,66	15,49	0,52
<i>HeiNU</i>	Al^{3+}	0,65	7,31	0,14
<i>Mue</i>	Al^{3+}	0,72	8,97	0,5
<i>OchDO</i>	Al^{3+}	0,69	4,36	0,27
<i>Wal</i>	Al^{3+}	0,76	16,2	0,4
<i>Wel</i>	Al^{3+}	0,59	8,98	0,49
		0,67	10,03	0,4

Ochsenhausen und Tuttlingen deutlich vom Restkollektiv ab. Die Verteilungen sind durch Ausreißer geprägt, die den flächenspezifischen Mittelwertes um das zwei- bis dreifache übersteigen. Ausreißer auf den stark skeletthaltigen Substraten im Conventwald sowie in Müllheim und Rotenfels lassen sich dort eventuell auf die Schwierigkeit der Probenahme zurückführen. Die Trennung von Mineralboden und Humusaufgabe ist in diesen Substraten sehr schwer möglich, da sich keine klaren Grenzflächen zwischen Mineralboden und Humushorizonten ausprägen und die organische Substanz zudem räumlich geklumpt auftritt (siehe auch Kap. 5.3.1.2, Seite 112). Erstaunlich ist, dass auch auf dem im Oberboden skelettarmen Substrat in Ochsenhausen und in Tuttlingen eine ähnliche Ausreißerstruktur gegeben ist.

Die mittleren Variationskoeffizienten liegen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm bei 36 % bzw. 35 % in 5 bis 10 cm Tiefe. Die höchste Variabilität findet sich auf der behandelten Versuchsfläche in Heidelberg (64 % in 0 bis 5 cm), die geringste in Walldürn (19 % in 5 bis 10 cm). Ein Effekt der Düngung/Kalkung auf den Kohlenstoffgehalt ist in Ochsenhausen und Heidelberg nicht erkennbar.

Räumliche Heterogenität des Kohlenstoffgehalts Für die theoretische Variogrammanpassungen konnte auf Daten von allen 12 Versuchsflächen zurückgegriffen werden (siehe Abb. 5.20, Seite 124). Modellanpassungen gelangen in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm auf drei, in 5 bis 10 cm Tiefe auf 6 Versuchsflächen. Die Bestimmtheit der Modelle lag im Mittel bei 0.52 bzw. 0.44. Ein Tiefentrend, der jedoch nicht in der bisher festgestellten Intensität auftritt, ist bei den Autokorrelationslängen (8 m in 0 bis 5 cm und 9.45 m in 5 bis 10 cm) sowie beim Verhältnis Nugget zu Sill zu erkennen. Während für die Versuchsflächen im Conventwald dieser aus den Mittelwerten abgeleitete Trend nachvollzogen werden kann (siehe Abb. 5.21, Seite 125), ist der Range in Altensteig, wo ebenfalls eine theoretische Variogrammanpassung in beiden Tiefenstufen gelang, in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm mit 14 m um den Faktor 5 länger als in 5 bis 10 cm Tiefe.

In Abb. 5.21, Seite 125 sind die empirischen und theoretischen Variogramme für den Kohlenstoffgehalt im Conventwald dargestellt. Die Autokorrelationslänge ist für diese Versuchsfläche in 0 bis 5 cm Bodentiefe kürzer, in der darunter liegenden Tiefenstufe länger als die für diesen Parameter ermittelten mittleren Ranges.

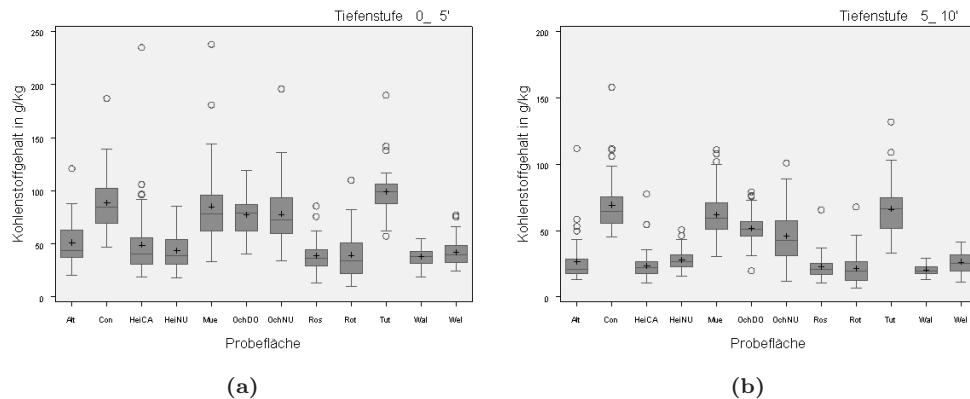


Abbildung 5.20: Kohlenstoffgehalt (g/kg) auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts)

Tabelle 5.10: Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für den Kohlenstoffgehalt

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=12)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
Alt	Carbon	0,5	14,08	0,6
Con	Carbon	0,67	4,3	0,16
OchDO	Carbon	0,38	5,64	0,45
		0,52	8,01	0,4
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=12)				
Alt	Carbon	0,3	2,99	0,3
Con	Carbon	0,55	12,07	0,42
HeiCA	Carbon	0,67	14,24	0,72
Ros	Carbon	0,15	13,55	0,66
Tut	Carbon	0,61	6,7	0,39
Wal	Carbon	0,37	7,14	0,68
		0,44	9,45	0,53

5.3.1.9 Stickstoffgehalt

Variabilität der Stickstoffgehalte Die ermittelten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sind eng miteinander korreliert (siehe Kapitel 5.3.5, Seite 138). Das Verteilungsmuster der statistischen Kenngrößen in den Boxplotdarstellungen für die Stickstoffgehalte entspricht daher den beim Kohlenstoff dargestellten Verhältnissen. Wieder hebt sich das Kollektiv der Versuchsflächen Conventwald, Müllheim, Ochsenhausen und Tuttlingen durch höhere Stickstoffgehalte von den restlichen Flächen ab. Die Mittelwerte der Stickstoffgehalte liegen in 0 bis 5 cm bei 3 g/kg bzw. in 5 bis 10 cm bei 2 g/kg. Die Variabilität liegt wie auch beim Kohlenstoff über 30 % (34 % bzw. 32 %). Auf der gedüngten Parzelle in Heidelberg ist die Variabilität am höchsten (61 %), in Tuttlingen mit 17 % am geringsten (jeweils in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm).

Auch bei den Stickstoffgehalten zeigt sich kein eindeutiger Behandlungseffekt auf den Versuchsflächen in Heidelberg und Ochsenhausen. In 0 bis 5 cm Bodentiefe liegen die Werte auf den beiden behandelten Versuchsflächen auf einem zur Referenzfläche vergleichbaren Niveau. In Ochsenhausen zeigt die gekalkte Parzelle in 5 bis 10 cm Bodentiefe deutlich erhöhte Stickstoffgehalte.

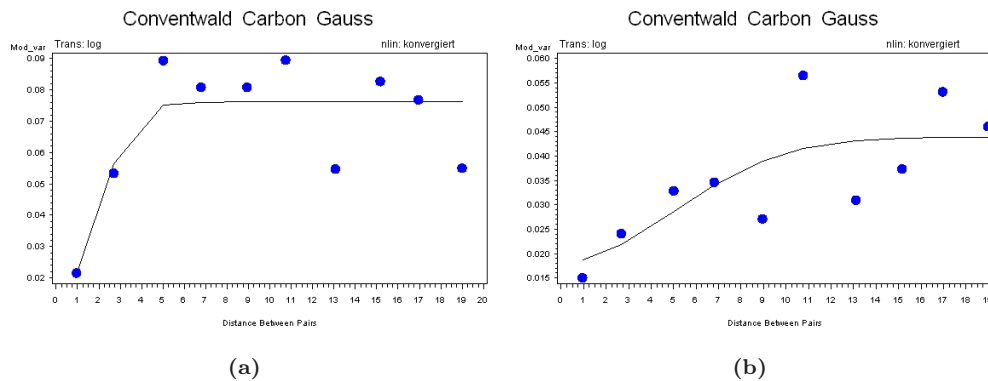


Abbildung 5.21: Semivarianz und theoretische Variogramme für den Kohlenstoffgehalt auf der Versuchsfläche Conventwald in den Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts)

Räumliche Heterogenität des Stickstoffgehalts Stickstoffgehalte lagen ebenfalls für alle 12 Versuchsflächen vor, Modellanpassungen gelangten in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm auf vier, in 5 bis 10 cm Tiefe auf fünf Versuchsflächen (Tab. 5.11, Seite 126). Die Bestimmtheit der Modelle lag im Mittel bei 0,62 in 0 bis 5 cm Tiefe bzw. 0,53 in 5 bis 10 cm Tiefe. Ein Tiefentrend ist ausgeprägt, die Autokorrelationslängen sind in 5 bis 10 cm mit 10,5 m um ca. 2 m länger als in 0 bis 5 cm Bodentiefe. Der Anteil der Nuggetvarianz am Sill ist in beiden Tiefenstufen mit 46 % bzw. 49 % vergleichbar.

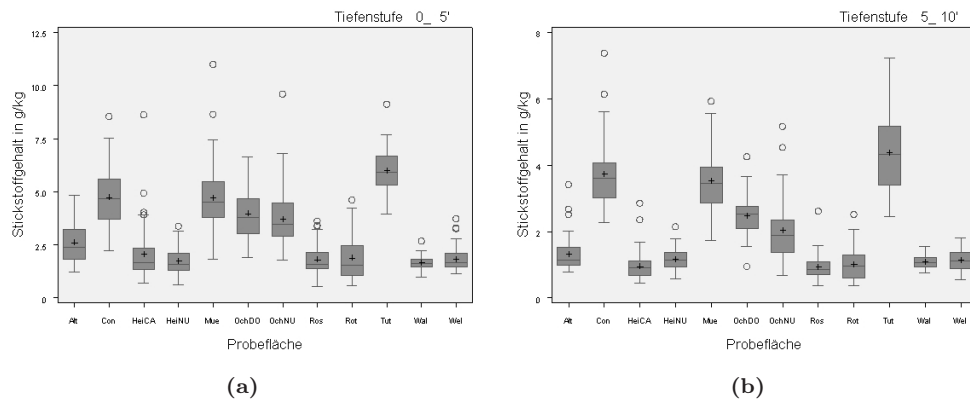


Abbildung 5.22: Stickstoffgehalt in g/kg auf den Versuchsflächen in den beiden Tiefenstufen 0 bis 5 cm (links) und 5 bis 10 cm (rechts)

5.3.1.10 C/N-Verhältnis

Variabilität der C/N-Verhältnisse In beiden Tiefenstufen heben sich die Versuchsflächen Altensteig, Conventwald, Müllheim und Tuttlingen mit C/N-Verhältnissen von unter 20 vom Restkollektiv der Flächen ab (Abb. 5.23, Seite 127). Für die carbonatische Fläche in Tuttlingen ist dies aufgrund des günstigen Säure-/Basenverhältnisses zu erwarten gewesen. Für die im Schwarzwald gelegenen Flächen auf Gneis und Buntsandstein sind die Werte erstaunlich niedrig. Der überwiegende Teil der Versuchsflächen weist C/N-Relationen zwischen 20 und 25 auf, wobei sich die

Tabelle 5.11: Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für den Stickstoffgehalt

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=12)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
Con	Nitrogen	0,65	2,87	0,1
HeiNU	Nitrogen	0,73	17,4	0,71
OchDO	Nitrogen	0,46	5,05	0,35
Wal	Nitrogen	0,64	8,15	0,81
		0,62	8,37	0,49
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=12)				
Alt	Nitrogen	0,37	3,46	0,39
HeiCA	Nitrogen	0,67	14,51	0,6
Ros	Nitrogen	0,12	5,02	0,56
Tut	Nitrogen	0,9	11,59	0,19
Wal	Nitrogen	0,56	17,82	0,55
		0,53	10,48	0,46

Heidelberger Flächen insbesondere in 0 bis 5 cm nochmals von diesem Kollektiv durch ungünstigere C/N-Verhältnisse abheben. Das günstigste C/N-Verhältnis aller Versuchsflächen wurde in Tuttlingen in 5 bis 10 cm mit 13.1 bestimmt, in Rotenfels lag das Maximum in 0 bis 5 cm bei 35.

Das mittlere C/N-Verhältnis liegt über alle Versuchsflächen berechnet in beiden Tiefenstufen bei 21. Die Variationskoeffizienten liegen aufgrund der Quotientenbildung aus Kohlenstoff und Stickstoff, die positiv korreliert sind, auf einem deutlich niedrigerem Niveau als die parameterspezifischen Variationskoeffizienten. In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm entspricht die mittlere Variabilität 9 %, in 5 bis 10 cm Tiefe 7 %.

Räumliche Heterogenität der C/N-Verhältnisse Insgesamt 9 theoretische Variogramme (vier in 0 bis 5 cm und 5 in 5 bis 10 cm) ließen sich für das C/N-Verhältnis an die empirischen Semivarianzen anpassen (Tab. 5.12, Seite 127). Für die Versuchsflächen Altensteig, Ochsenhausen (behandelt) und Walldürn gelingt die Anpassung von theoretischen Variogrammen in beiden Tiefenstufen. Die Bestimmtheit der Modelle betragen 0.47 in 0 bis 5 cm bzw. 0.42 in 5 bis 10 cm. Die Autokorrelationslängen unterscheiden sich mit 6.94 m bzw. 8.30 m nur unwesentlich. Die Nuggetvarianz nimmt im Mittel in der oberen Tiefenstufe einen Anteil von 36 % des Sills ein, in 5 bis 10 cm liegt der Wert bei 53 %.

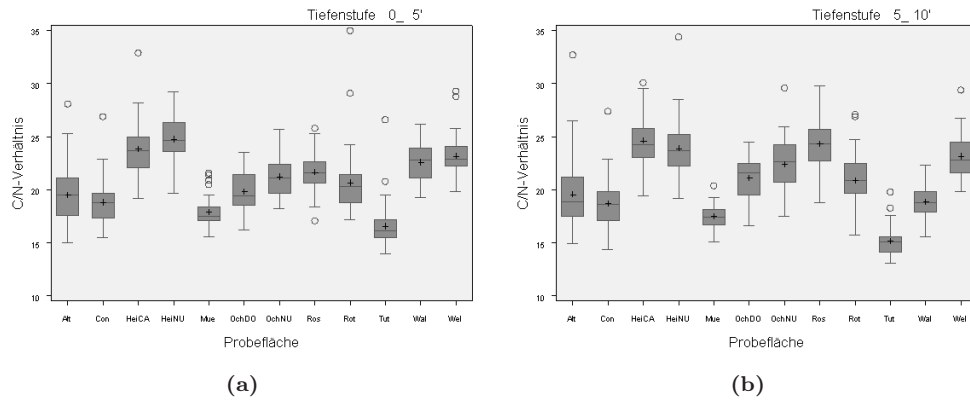


Abbildung 5.23: C/N-Verhältnisse auf den Versuchsflächen

Tabelle 5.12: Übersicht über die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen für die C/N-Verhältnisse

Tiefe: 0 bis 5 cm (n=12)				
Fläche	Parameter	Bestimmtheit	Range	Nugget/Sill
Alt	C/N	0,62	9,72	0,45
OchDO	C/N	0,63	8,39	0,35
OchNU	C/N	0,15	1,56	0
Wal	C/N	0,46	8,1	0,62
		0,47	6,94	0,36
Tiefe: 5 bis 10 cm (n=12)				
Alt	C/N	0,54	5,84	0,49
Con	C/N	0,52	9,1	0,36
HeiNU	C/N	0,27	8,06	0,81
OchDO	C/N	0,35	10,2	0,48
Wal	C/N	0,56	17,82	0,55
		0,42	8,3	0,53

5.3.2 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Variabilität und räumlichen Heterogenität auf den Level II-Flächen

5.3.2.1 Parameterspezifische Variabilität

In Abb. 5.24, Seite 129 sind die parameterspezifischen Variationskoeffizienten für alle ungekalkten Level II – Flächen (links) sowie einschließlich der gekalkten Parzellen (rechts) dargestellt. Die geringste Variabilität weisen in beiden Tiefenstufen die C/N-Verhältnisse auf. Die Box ist für diese Kenngröße sehr schmal und liegt im Bereich niedriger Variationskoeffizienten (um 10 %). Der Mittelwert und Median des Variationskoeffizienten für die Austauschkapazität (A-Ke) liegt unter 25 %, für die Aluminiumsättigung (Al^{3+}) unter 30 %. Die Variationskoeffizienten für die Basensättigung, (Bas %), den Kohlenstoffgehalt (C), die Protonenkonzentration, Kaliumsättigung (K^+), Magnesiumsättigung (Mg^{2+}) und Stickstoffgehalte (Nit) streuen schwerpunktmäßig in einem Bereich von 30 bis 50 %. Deutlich höher liegt die Variabilität bei der Calciumsättigung (Ca^{2+}), die Box liegt deutlich über der 50 %-Referenzlinie.

Bei Einbeziehung der gekalkten Parzellen (Heidelberg und Ochsenhausen) nimmt die Streuung erwartungsgemäß bei den Protonenkonzentrationen und in abgeschwächter Form bei der Basensättigung sowie den austauschbaren Calcium- und Magnesiumvorräten zu. Ein eindeutiger Trend abnehmender Variabilität mit der Bodentiefe ist bei den beiden betrachteten Tiefenstufen über das gesamte Kollektiv nicht erkennbar.

Tab. 5.13, Seite 128 zeigt die Mittelwerte der Variationskoeffizienten für alle Flächen einschließlich der behandelten Situationen Heidelberg und Ochsenhausen sowie der carbonatischen Fläche in Tuttlingen bzw. ohne diese Flächen.

Tabelle 5.13: Mittlere Variationskoeffizienten

Parameter	0 bis 5 cm		5 bis 10 cm	
	Alle Flächen	Ohne HeiCA, OchDo, Tut	Alle Flächen	Ohne HeiCA, OchDo, Tut
$H^+ - H_2O$	78,5	43,7	86,8	51,3
$H^+ - KCl$	66,3	37	85,5	43,6
AKe	21,2	20,4	24,5	23,4
Basen%	46,6	42,6	51,9	45,1
Ca^{2+}	81,1	78,7	97,4	84,8
K^+	36,6	35,2	33,4	34,4
Mg^{2+}	48,6	40,9	54,3	47,5
Al^{3+}	27,7	24	29	26,3
C	36,1	36,1	35,3	36,6
N	34,5	34,5	32,4	32,9
C/N	9,7	9,5	9,8	10,2

5.3.2.2 Variabilität der Parameter auf den einzelnen Versuchsflächen

In Tab. 5.14, Seite 130 sind Rangverteilungen für die Variationskoeffizienten der bodenchemischen Kenngrößen auf den Versuchsflächen sowie die Rangmittelwerte für die einzelnen Versuchsflächen dargestellt. Die Ränge wurden den Variationskoeffizienten absteigend zugewiesen d.h. Rang 1 wurde dem höchsten Koeffizienten zugeordnet, der niedrigsten Ausprägung des Variationskoeffizienten entspricht Rang 12 bzw. 11 (für die Parameter AKe, Basen %, Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} und Al^{3+} , da für die Versuchsfläche Tuttlingen keine Bestimmung erfolgte). Diese Darstellungsform ermöglicht einen parameterübergreifenden Vergleich der Heterogenität auf den Versuchsflächen.

Anhand der mittleren Ränge lassen sich drei Kollektive abgrenzen. Die geringste Variabilität liegt auf den Flächen Walldürn (für alle betrachteten Parameter mit Ausnahme von AKe und

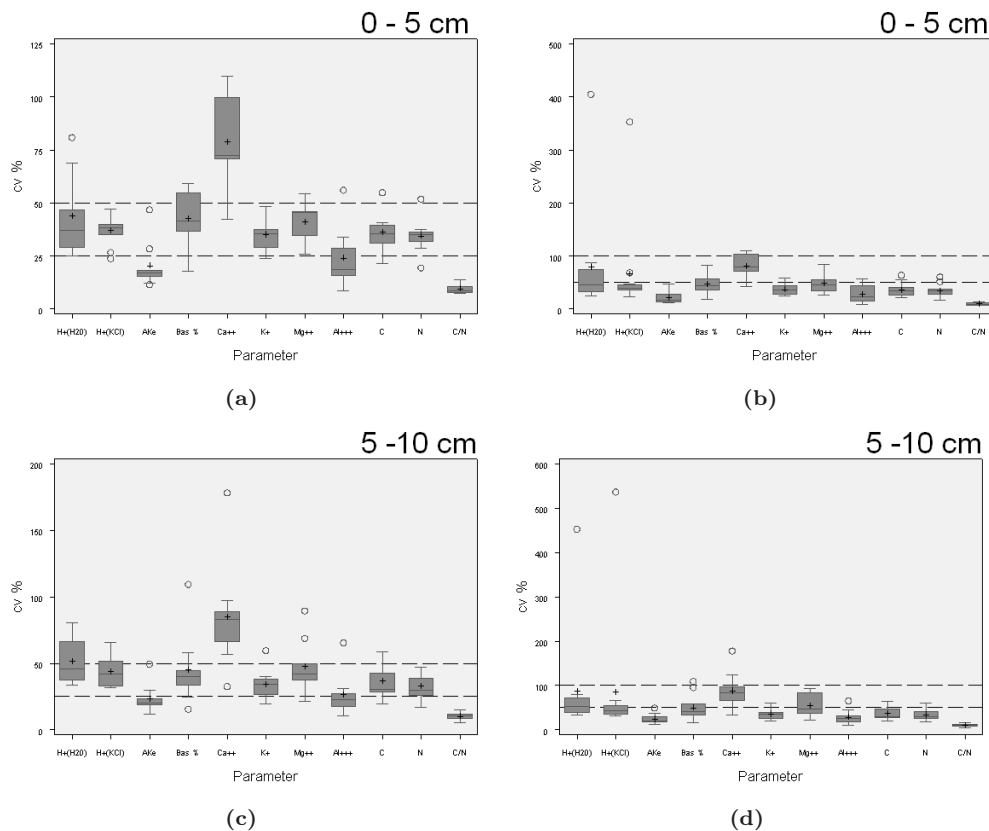


Abbildung 5.24: Parameterspezifischen Variationskoeffizienten. Links: ohne gekalkte Versuchspartzellen, Rechts: mit gekalkten Versuchspartzellen

Magnesiumsättigung, deren Variabilität auf der Fläche Welzheim am geringsten ist) und Welzheim vor. Dem mittleren Variationsbereich zuzuordnen sind die Flächen Conventwald, Müllheim, Heidelberg Null, Ochsenhausen Dolomit, Rosenfeld und Tuttlingen. Die geringsten Rangzahlen und damit die höchsten Variabilitäten liegen für die gedüngte Fläche in Heidelberg, Rotenfels sowie in 5 bis 10 cm Bodentiefe in Ochsenhausen auf der unbehandelten Fläche vor. In Heidelberg und Rotenfels bedingen in erster Linie die hohen Variabilitäten bei den austauschbaren Elementen und auch Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten die geringen Rangzahlen. Auf der ungekalkten Fläche in Ochsenhausen ist der durch die Kalkung beeinflusste Säure-/Basenstatus für die hohe Variabilität verantwortlich. In Tuttlingen bewirken vor allem die hohen Variationskoeffizienten bei den pH-Werten für die Einstufung im mittleren Variationsbereich.

5.3.2.3 Parameterspezifische Güteklassifikation

In Kapitel 5.3.1.1 bis 5.3.1.10 wurden die Variogrammanpassungen und deren Güteklassifikationen bereits parameterspezifisch dargestellt. Im Überblick ergeben sich für die beiden betrachteten Tiefenstufen die in Abb. 5.25, Seite 130 dargestellten parameterbezogenen Verteilungen. Dargestellt sind wie in den Tabellen der vorangegangenen Kapitel die Anpassungen der Güte 1 und 2. Für die 12 Versuchsfelder und die näher untersuchten Parameter wurden 126 Variogrammanpassungen je Tiefenstufe durchgeführt, somit lagen insgesamt 252 empirische und theoretische Variogramme vor.

In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm gelang eine Anpassung mit der Güte 1 in 27 Fällen, das Gütemaß

Tabelle 5.14: Parameterspezifische Rangverteilung der Variationskoeffizienten

Parameter	Tiefe 0 bis 5 cm											
	Alt	Con	HeiCa	HeiNu	Mue	OchDo	OchNu	Ros	Rot	Tut	Wal	Wel
$H^+ - H_2O$	6	4	5	11	3	2	8	9	7	1	12	10
$H^+ - KCl$	4	10	5	12	3	2	8	9	6	1	11	7
AKe	8	4	2	5	7	9	6	3	1		10	11
Basen%	4	7	5	6	8	1	2	3	9		11	10
Ca^{2+}	5	8	6	9	7	3	4	1	2		11	10
K^+	5	8	1	7	4	9	3	6	2		11	10
Mg^{2+}	6	9	2	5	4	1	8	7	3		10	11
Al^{3+}	7	10	2	6	5	3	9	4	1		11	8
C	3	8	1	5	4	10	7	6	2	12	11	9
N	6	9	1	5	7	10	4	3	2	12	11	8
C/N	1	4	5	9	12	6	8	7	2	3	11	10
	5	7,4	3,2	7,3	5,8	5,1	6,1	5,3	3,4	5,8	10,9	9,5
Parameter	Tiefe 5 bis 10 cm											
	Alt	Con	HeiCa	HeiNu	Mue	OchDo	OchNu	Ros	Rot	Tut	Wal	Wel
$H^+ - H_2O$	3	5	6	10	2	4	7	9	11	1	12	8
$H^+ - KCl$	2	11	8	7	6	3	4	9	10	1	12	5
AKe	4	7	2	9	10	6	3	5	1		11	8
Basen%	5	9	3	4	7	2	1	8	6		11	10
Ca^{2+}	8	9	1	6	7	3	2	4	5		11	10
K^+	7	5	6	3	4	8	2	10	1		11	9
Mg^{2+}	6	9	3	7	8	1	4	5	2		11	10
Al^{3+}	8	10	2	6	4	3	5	7	1		11	9
C	1	7	4	10	9	11	3	5	2	8	12	6
N	5	7	3	10	9	11	2	4	1	8	12	6
C/N	1	2	7	5	12	9	4	6	3	8	11	10
	4,5	7,4	4,1	7	7,1	5,5	3,4	6,5	3,9	5,2	11,4	8,3

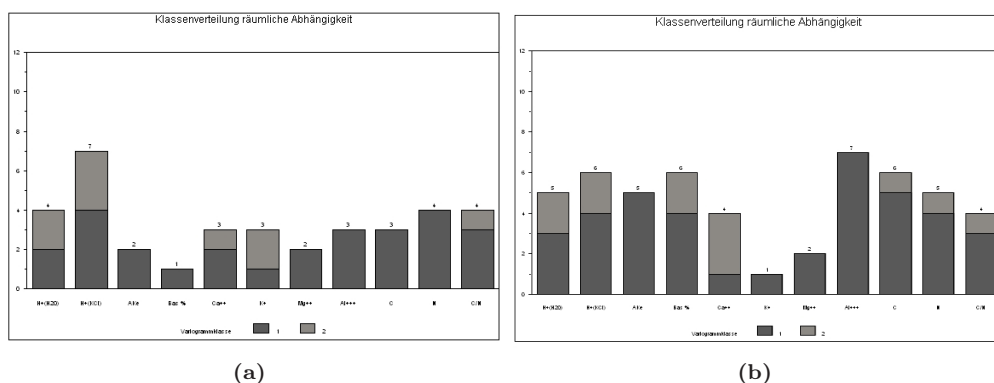


Abbildung 5.25: Parameterspezifische Güteklassifikation der Variogramme in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm (oben) und 5 bis 10 cm (unten); dargestellt sind die Häufigkeiten der Güteklassen 1 und 2.

2 wurde in 9 Fällen erreicht, d.h. in 78 % der Fälle war in dieser Tiefenstufe eine Anpassung nicht oder nur eingeschränkt (Gütemaße 3 und 4) möglich. Die Häufigkeiten der mit Güte 1 bzw. 2 angepassten theoretischen Variogramme sind mit Ausnahme der in KCl gemessenen Protonensättigungen (7 Anpassungen mit Güte 1 bzw. 2) und der Basensättigungen (nur 1 Anpassung) über die Parameter hinweg betrachtet nahezu gleich.

In der Tiefenstufe 5 bis 10 cm war es häufiger möglich, theoretische Variogramme anzupassen.

In 39 Fällen wurde die Güte 1 erreicht, in 12 Fällen die Güte 2. In dieser Tiefenstufe war in 60 % der Fälle war eine Anpassung eines theoretischen, gauss'schen Modells nicht oder nur eingeschränkt (Gütemaße 3 und 4) möglich. Auffallend sind in dieser Tiefenstufe die geringen Anpassungsgüten bei den basischen Neutralkationen Kalium und Magnesium während für Aluminium in allen sieben 7 Fällen das Gütemaß 1 erreicht wurde.

In beiden Tiefenstufen war somit für 87 der 256 (dies entspricht einem Drittel der Anpassungsversuche) empirischen Variogramme eine Anpassung eines theoretischen Modells möglich, d.h. in 2/3 der Fälle gelang dies nicht oder nur eingeschränkt. Es dominierten Anpassungen der Güte 1 (64 von 87 Anpassungen). Die räumliche Heterogenität ist offensichtlich in diesen beiden Tiefenstufen so hoch, dass mit dem angewandten Versuchsdesign in der überwiegenden Zahl der Fälle entweder keine oder mit hoher Unsicherheit behaftet gauss'schen Modelle zur Detektion kleinräumiger Nachbarschaftseffekte angepasst werden konnten. Dies ist umso erstaunlicher, da neben der Transformation der Daten eine sehr enge Begrenzung der für die Modellierung des theoretischen Variogramms einbezogenen Datensätze (alle außerhalb des 1.5 fachen des Interquartilranges liegenden Beobachtungen wurden hierfür verworfen) durchgeführt wurde.

5.3.2.4 Vergleich der räumlichen Heterogenität auf den Versuchsflächen

In Abb. 5.26, Seite 132 sind die Anpassungsgüten der theoretischen Variogramme für die beiden Tiefenstufen und einzelnen Versuchsflächen getrennt für unterschiedliche Depositionsverhältnisse dargestellt. In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm fallen die beiden Flächen Conventwald und die gekalkte Variante in Ochsenhausen mit einer hohen Anzahl angepasster theoretischer Variogramme auf. Auf der gekalkten Versuchsfläche in Heidelberg, der ungekalkten Fläche in Ochsenhausen, Rotenfels und Welzheim gelingt eine Anpassung nur in einem bzw. in zwei Fällen. Mit Ausnahme von Welzheim sind alle diese Flächen durch eine hohe Deposition gekennzeichnet.

Auch in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm fällt die gekalkte Fläche in Ochsenhausen durch die höchste Anzahl an Variogrammanpassungen der Güte 1 auf. Neben dem Conventwald mit 6 Anpassungen der Güte 1 und 2 nimmt in Altensteig und Walldürn der Anteil möglicher Variogrammanpassungen deutlich zu. Wiederum ist auf den Flächen Müllheim, Rotenfels und Welzheim nur für maximal zwei Parameter eine Anpassung der Güte 1 bzw. 2 möglich. Tendenziell scheint in den beiden Tiefenstufen durch Depositionseffekte verursacht eine Nivellierung der Nachbarschaftseffekte eingetreten zu sein.

Ein Abhängigkeit der Güteanpassungen vom Substrattyp ist dagegen nicht erkennbar. Bei den Verwitterungshen und Decklehen über Quarz (Altensteig, Heidelberg, Rosenfeld, Rotenfels und Walldürn) wie auch bei den intermediären und sauren Magmatiten oder Metamorphiten finden sich Flächen mit einem hohen Anteil an Anpassungen der Güte 1 bzw. 2 (z.B. Altensteig, Welzheim und Conventwald) und im Gegensatz hierzu Flächen, die nur für wenige Parameter einen Nachbarschaftseffekt erkennen lassen (Rotenfels oder Müllheim). Die Erkennbarkeit von Nachbarschaftseffekten ist zudem in den Tiefenstufen variabel, tendenziell scheint sie in der Tiefe zuzunehmen. Mit der Kalkung nimmt in Ochsenhausen im Vergleich zur unbehandelten Kontrollfläche die Autokorrelation deutlich, in Heidelberg kann dieser Effekt zumindest in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm nicht beobachtet werden.

5.3.2.5 Nuggetvarianz und Autokorrelationslänge

Die nicht durch Nachbarschaftseffekte erklärbare Nuggetvarianz ist für die Beurteilung der Variogramme eine wesentlich Kenngröße. Mit zunehmendem Anteil der Nuggetvarianz am Sill nimmt die Erklärbarkeit des Nachbarschaftseffekts ab. In Abb. 5.27, Seite 133 sind die Relationen Nugget zu Sill in vier Klassen (0 bis 0.25, > 0.25 bis 0.5, > 0.5 bis 0.75 und > 0.75 bis 1) getrennt für die Tiefenstufen dargestellt. Im Mittel liegt der Wert in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm bei 0.38 bzw. 0.47 in 5 bis 10 cm. Der Anteil der Nuggetvarianz steigt mit der Tiefe an. Die höchste

5. Geostatistische Analysen in Südwest-Deutschland

Tiefe 0 bis 5 cm											
Fläche	H ⁺ (H ₂ O)	H ⁺ (KCl)	AKe	Basen%	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	C	N	C/N
Flächen mit geringer Deposition											
Alt	4	1	4	4	4	4	4	3	1	4	1
Ros	2	2	4	4	4	1	4	4	4	4	4
Wel	4	2	4	4	2	4	4	3	3	3	4
Flächen mit mittlerer Deposition											
Con	4	1	1	4	4	2	1	1	1	1	3
Tut	2	2							4	4	4
Wal	3	1	4	4	4	4	3	4	3	1	1
Flächen mit hoher Deposition											
HeiNU	1	4	1	4	3	4	4	1	3	1	4
OchNU	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2
Mue	4	4	4	4	4	4	3	1	4	4	4
Rot	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	3
Gekalkte Versuchsflächen											
OchDO	1	1	4	1	1	2	1	4	1	1	1
HeiCA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
Tiefe 5 bis 10 cm											
Fläche	H ⁺ (H ₂ O)	H ⁺ (KCl)	AKe	Basen%	Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	C	N	C/N
Flächen mit geringer Deposition											
Alt	1	1	1	4	4	3	3	4	1	1	1
Ros	1	3	4	1	2	3	4	4	2	2	4
Wel	3	4	3	1	3	4	4	1	4	3	4
Flächen mit mittlerer Deposition											
Con	4	1	1	4	2	4	4	1	1	4	1
Tut	2	2							1	1	4
Wal	2	1	1	4	2	4	1	1	1	1	4
Flächen mit hoher Deposition											
HeiNU	4	4	1	2	3	4	4	1	4	3	2
Mue	3	4	4	2	4	3	4	1	4	4	4
Rot	4	2	4	4	3	4	4	3	4	4	3
OchNU	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4
Gekalkte Versuchsflächen											
OchDO	1	1	4	1	1	1	1	1	4	4	1
HeiCA	4	4	1	4	4	3	3	1	1	1	4

Abbildung 5.26: Anpassungsgüten der theoretischen Variogramme auf den Versuchsflächen

Häufigkeit von Nugget/Sill-Relationen findet sich im Bereich von > 0.25 bis 0.5 , über 40% der Beobachtungen liegen in beiden Tiefenstufen in dieser Klasse. Im Vergleich zur Tiefenstufe 0 bis 5 cm, in der die Klasse bis 25% Nuggetvarianzanteil noch stark belegt ist ($> 30\%$) ist, findet sich ein Anteil dieser Größenordnung in der darunter liegenden Tiefenstufe in der Klasse 50% bis 75% Nuggetvarianzanteil. Die Verteilung ist damit in der oberen Tiefenstufe nach links verschoben, in 5 bis 10 cm Tiefe nach rechts.

Die mittlere Autokorrelationslänge liegt in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm bei 7.4 m, in 5 bis 10 cm Tiefe bei 9.8 m. Für die Autokorrelationslänge ist ein ähnliches Verteilungsmuster zu erkennen,

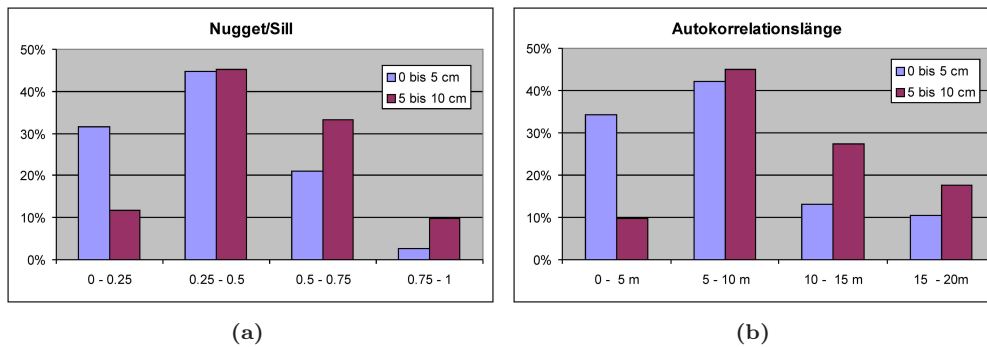


Abbildung 5.27: Links: Häufigkeiten der Relation von Nugget zu Sill aus den theoretischen Variogrammanpassungen der Güteklassen 1 und 2, Rechts: Häufigkeit der Autokorrelationslängen aus den theoretischen Variogrammanpassungen der Güteklassen 1 und 2.

wie es bereits für den Nuggetvarianzanteil festgestellt wurde. Die Autokorrelationslängen für die theoretischen Variogramme wurden hierfür in 5 m - Klassen eingeteilt (0 bis 5 m, > 5 bis 10 m, > 10 bis 15 m und > 15 bis 20 m). In der Tiefenstufe 0 bis 5 cm dominieren Ranges von 5 bis 10 m mit einem Anteil von über 75 %, längere Autokorrelationslängen nehmen nur noch einen Anteil von rund 25 % ein. Auch in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm ist der Anteil der Range-Klasse von 5 bis 10 m mit über 40 % sehr hoch. Der Anteil kürzerer Ranges nimmt jedoch einen untergeordneten Anteil von nur 10 % ein, die Klasse 10 bis 15 m ist dagegen mit nahezu 30 % stark belegt.

In Tab. 5.15, Seite 133 sind die parameterspezifischen, mittleren Autokorrelationslängen aufgeführt. Wie aus den Abb. 5.25, Seite 130 hervorgeht, gehen in die Mittelwertbildung vor allem in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm teilweise nur wenig Beobachtungen ein. Insbesondere für die Kalium- und Magnesium-sättigung müssen die Werte sehr vorsichtig zu interpretieren. Mit Ausnahme der in KCl bestimmten Protonengehalte finden sich für alle Parameter eine Zunahme der Autokorrelationslänge mit zunehmender Tiefe. Mit Ausnahme der Calcium-, Kalium- und Magnesiumsättigung bewegen sich die Werte in der Tiefstufe 0 bis 5 cm um $\pm 2.5m$ um den Mittelwert (7.4 m), die Werte gruppieren sich in 5 bis 10 cm Tiefe noch enger um den Mittelwert von 9.8 m, lediglich die Kaliumsättigung durch eine deutlich höhere Autokorrelationslänge auf.

Tabelle 5.15: Mittlere Autokorrelationslängen für die untersuchten Parameter

Parameter	0 bis 5 cm	5 bis 10 cm
$H^+ - H_2O$	6,9	10,9
$H^+ - KCl$	9,8	8,4
AKe	5,1	10,3
Basen%	4,9	8,8
Ca^{2+}	3,3	10,1
K^+	11,5	15
Mg^{2+}	3,9	11,4
Al^{3+}	5,7	10
C	8	9,4
N	8,4	10,5
C/N	6,9	8,3

5.3.3 Moran's Test auf räumliche Autokorrelation

Mittels des Morantests sollte geprüft werden, ob anhand eines signifikanten Testergebnisses auf die Bestimmtheit der Variogrammanpassung geschlossen werden kann. Liegt der p-Wert des Moran-tests unter 0,05 ist eine räumliche Autokorrelation der Punkte in den einbezogenen Abstandsklassen gegeben. Der nachbarschaftliche Zusammenhang ist bei größerer Testgröße Moran's I enger. In Abb. 5.28 sind zwei Variogrammanpassungen dargestellt, die den Zusammenhang zwischen räumlicher Autokorrelationsdetektion mittels Morantest und hoher Anpassungsgüte des Semivariogramms nicht erkennen lassen. Der Morantest liefert bei guter Variogrammanpassungsgüte auf der Versuchsfläche Heidelberg einen nicht signifikanten p-Wert von 0,12, während für Rotenfels ein signifikanter p-Wert ermittelt wird. Ein straffer Zusammenhang der beiden Kenngrößen wäre dann zu erwarten, wenn die Bestimmtheit des theoretischen Semivariogramms wesentlich durch die in der Nachbarschaftsmatrix berücksichtigten Abstandsklassen bestimmt wird.

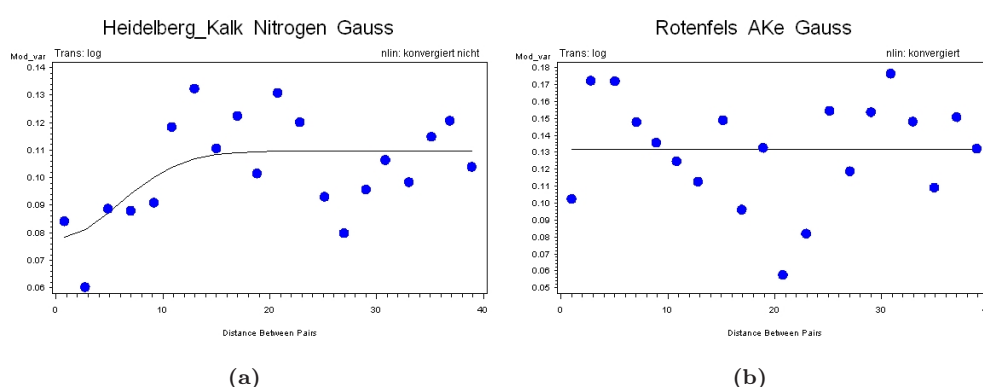


Abbildung 5.28: Das theoretische Semivariogramm des Stickstoffes auf der Kalkfläche in Heidelberg (links) weist ein Bestimmtheitsmaß von 40 % auf, der p-Wert des Morantest liegt bei 0,12. Die Austauschkapazität in Rotenfels (rechts) zeigt hingegen keine räumliche Abhängigkeit, während der Morantest-p-Wert bei 0,001 liegt.

Abb. 5.29, Seite 135 zeigt die Verteilung der Moran I's über den Bestimmtheitsklassen der Gütezuordnung. Tendenziell ist ein Anstieg der Testwerte bei höheren Bestimmtheitswerten zu erkennen, die Bandbreite der vorkommenden Testgrößen bei Bestimmtheiten von unter 10 % ist aber ebenfalls sehr hoch. Der v.a. die kleinräumigen Nachbarschaftseffekte aufdeckende Moran-Test (in unserem Fall wurden in die Nachbarschaftsmatrix Punkte mit Maximaldistanzen von 4 m aufgenommen) ist damit nur unscharf mit den Güten der Variogrammanpassungen verknüpft.

5.3.4 Einflussgrößen auf die Datenvariabilität

Standörtliche Feinkartierungen erbrachten für die Versuchsflächen Altensteig, Conventwald, Ochsenhausen (ungekalkt) und Rosenfeld eine Differenzierung auf den Versuchsplots. Die ausgeprägtesten Unterschiede zwischen den beiden vorkommenden Standortsstraten lagen für die Versuchsfläche im Conventwald vor. Tab. 5.16, Seite 135 zeigt die parameterspezifischen Signifikanzniveaus des Wilcoxontestes sowie die Belegungshäufigkeiten der Straten für die Versuchsfläche Conventwald, dort scheint sich die Stratifikation insbesondere auf die Basenausstattung auszuwirken. In Walldürn unterschieden sich lediglich die pH-Werte der Straten signifikant. Für Altensteig und Rotenfels sind nur schwach signifikante Unterschiede bzw. in Ochsenhausen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standortsstraten gegeben. Für die Berechnung standortsstratifizierter empirischer Variogramme reichen die Lag-Klassenbelegungen jedoch nicht aus. Da die Trends in den Straten für die Versuchsflächen nur durch eine geringe Beobachtungszahl abgesichert sind

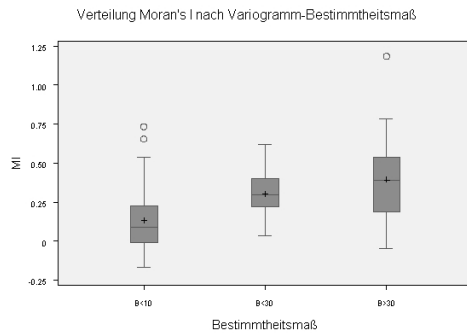


Abbildung 5.29: Zusammenhang zwischen Bestimmtheit der theoretischen Variogramme und Moran's I

(13 bis 17 Beobachtungen in der jeweils geringer besetzten Standortsstraten) auf eine Trendbereinigung verzichtet. Zudem ist es unwahrscheinlich, dass im Zuge der Bodenzustandserfassung differenzierte Feinkartierungsergebnisse als Vorabinformation für die Anlage der Profile genutzt werden und somit die kleinstandörtliche Variabilität bei der Probennahme in der Regel nicht mit berücksichtigt wird.

Tabelle 5.16: Ergebnis des Wilcoxon Rangsummentests für die Versuchsfläche im Conventwald

Analysevariable	Signifikanz	Klassenbelegung
$H^+ - H_2O$	n.s.	17/33/ .
$H^+ - KCl$	n.s.	17/33/ .
AKe	*	17/33/ .
Basen%	*	17/33/ .
Ca^{2+}	**	17/33/ .
K^+	*	17/33/ .
Mg^{2+}	**	17/33/ .
Al^{3+}	n.s.	17/33/ .
C	n.s.	17/33/ .
N	n.s.	17/33/ .

Anhand von Kronenphotos wurde geprüft, ob die Überschirmung an den Probenpunkten einen Einfluss auf die Analysewerte in 5 bis 10 cm Bodentiefe durch eine Umverteilung von Stoffflüssen ausübt. Dabei wurden 2 Klassen mit unter bzw. über 50 % Überschirmung ausgeschieden. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test erbrachte nur auf den Versuchsflächen Conventwald und der gedüngten Fläche in Heidelberg für wenige Parameter (im Conventwald für die pH-Werte, in Heidelberg für die Basensättigung, die Calcium-, Kalium-, Magnesium- sowie Aluminiumsättigung und den in Wasser gemessenen pH-Wert) einen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % signifikanten Unterschied zwischen den beiden Überschirmungssituationen.

Desweiteren wurde für jeden Probenahmepunkt die Abstände zu den nächstliegenden Bäumen erfasst und die Punkte zu Punkt-Baum-Abstandsklassen < 1 m, < 1.5 m, < 2 m, < 2.5 m und < 3 m bzw. nicht zu dieser Klasse gehörend zugeordnet und mit dem Wilcoxon-Test auf Unterschiedlichkeit geprüft. Da die Beobachtungszahlen in den Klassen sehr unterschiedlich sind, sind die Testergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren. So werden der Abstandsklasse < 1 m eine bis maximal 9 Beobachtungen (Tab. 5.17, Seite 137) zugeordnet.

Für die untersuchten Parameter lässt sich kein einheitlicher Trend erkennen, der auf eine strafte Beziehung zwischen Merkmalsausprägung und Stammabstandsbezug hinweist. Einzig auf der

Versuchsfläche Walldürn ergibt sich für den Vergleich der Probenahmepunkte innerhalb eines Baumabstandes von 3 m zu den außerhalb dieses Abstands liegenden Punkten bei mehr als der Hälfte der Parameter ein signifikantes Ergebnis. Da bei der Probenahme eine Kombination aus systematisch-zufälliger Auswahl durchgeführt wurde, sind post-Stratifikationen des Probepunktekollektivs problematisch. Häufig sind die zu prüfenden Klassen nicht ausreichend belegt, um Paarvergleiche durchführen zu können. Dies gilt im Daten-kollektiv der Level II – Flächen sowohl für die Prüfung des Einflusses kleinstandörtlicher Unterschiede als auch die Abschätzung der Auswirkungen von Stoffumverteilungsprozessen im Kronenraum, die durch die Kronenüberschirmung bzw. durch den Stammabstand beschrieben werden sollte. Sollen Hinweise zu diesen funktionalen Zusammenhängen, die nicht zufällig im Raum verteilt sind, abgeleitet werden, muss durch ein stratifizierte Beprobungsschemata eine ausreichende Belegung der zu prüfenden Straten sicherstellt werden.

Tabelle 5.17: Ergebnisse des Wilcoxon Rangsummentests für die Versuchsfläche Ochsenhausen (ungekalkt). Geprüft wurden Kollektive mit Baumabständen von unter 1 m, 1.5 m, 2 m und 2.5 m und 3 m (in Tabelle nicht dargestellt) gegen außerhalb dieser Abstandsklassen liegende Punkte

Analyse- variable	Signifikanz Baumab- stand 1 m	Klassen- belegung 1 m	Signifikanz Baumab- stand 1,5 m	Klassen- belegung 1,5 m	Signifikanz Baumab- stand 2 m	Klassen- belegung 2 m	Signifikanz Baumab- stand 2,5 m	Klassen- belegung 2,5 m
$H^+ - KCl$	*	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
AKe	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
Basen%	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
Ca^{2+}	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
K^+	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
Mg^{2+}	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
Al^{3+}	n.s.	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13
C	n.s.	9/31	n.s.	15/25	(*)	23/17	n.s.	27/13
N	*	9/31	n.s.	15/25	n.s.	23/17	n.s.	27/13

5.3.5 Interkorrelationen zwischen den Parametern

Auf den Level II - Flächen wurde bewusst eine Beprobung des Oberbodens durchgeführt, um in der Modellierung der räumlichen Abhängigkeit über die Variogramme die in diesem Bodenkompartment höhere Varianz der bodenchemischen Kenngrößen quasi als „worst case“ erfassen zu können. In den Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm ist insbesondere mit einem Einfluss des Kohlenstoffs auf die weiteren Kenngrößen zu rechnen. In Abb. 5.30, Seite 138 sind für die Versuchsfläche Conventwald über den Kohlenstoffgehalten der Tiefenstufe 5 bis 10 cm die entsprechenden Messwerte für AKe, Basensättigung, Calcium-, Kalium-, Magnesium- und Aluminiumsättigung sowie Stickstoffgehalt und Protonensättigung (in Wasser gemessen) sowie die Pearson'schen Korrelationskoeffizienten aufgeführt.

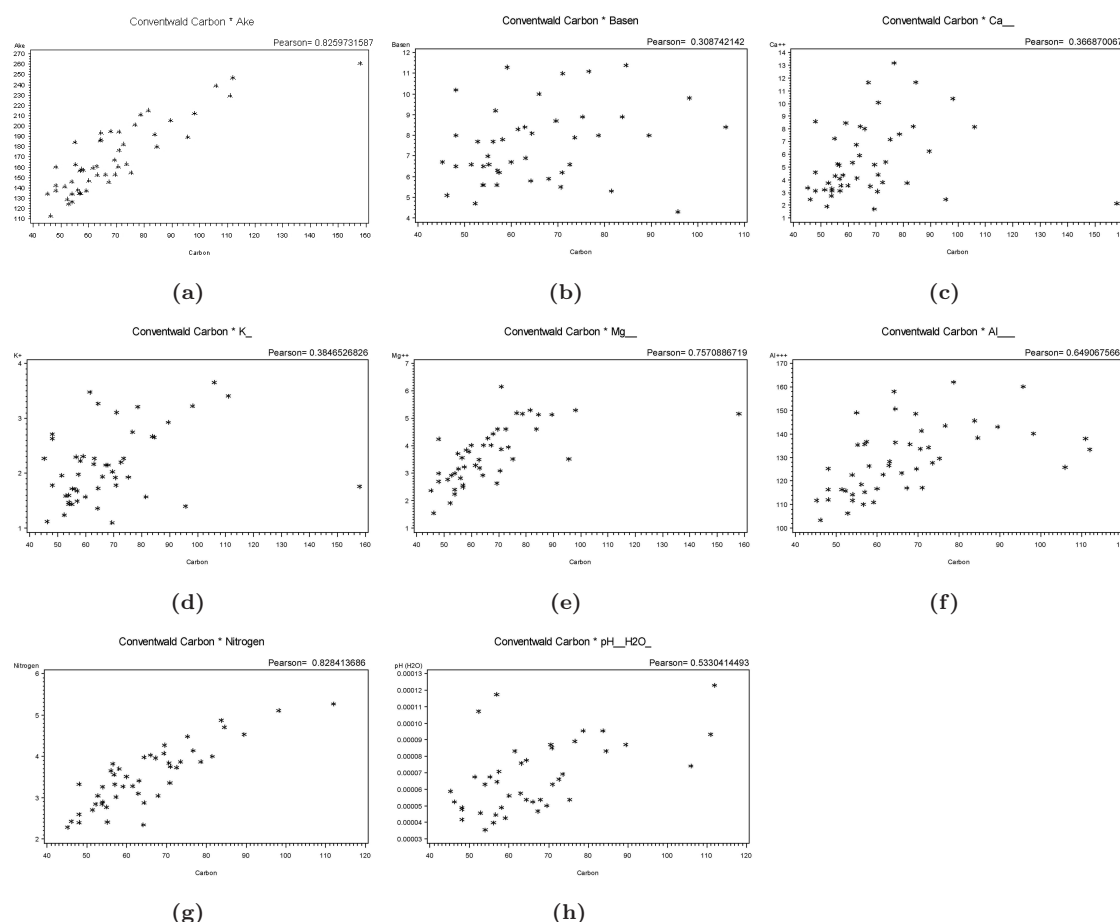
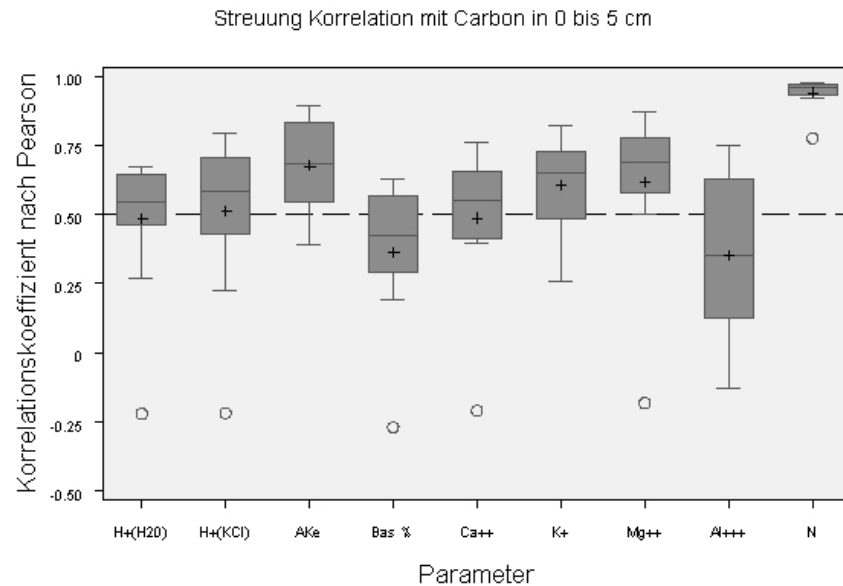


Abbildung 5.30: Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und weiteren bodenchemischen Kenngrößen in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm der Versuchsfläche Conventwald

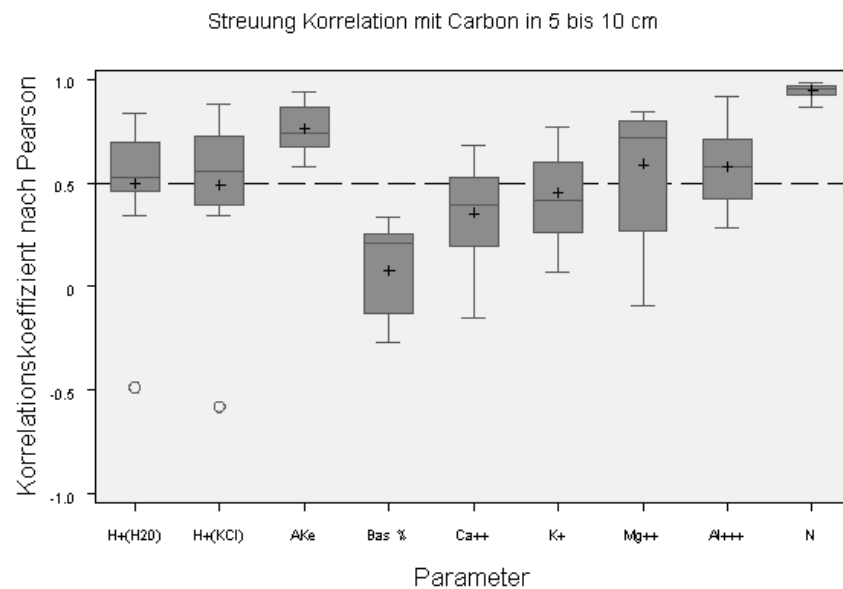
Für alle dargestellten Kenngrößen besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Parameterwert und Kohlenstoffgehalt. Der Zusammenhang ist für die Austauschkapazität, die Magnesiumsättigung sowie den Stickstoffgehalt sehr eng, die Korrelationskoeffizienten liegen über 0.75. Die Punktwolken für die Basen-, Calcium und Kaliumsättigung sind deutlich heterogener, die Korrelationskoeffizienten liegen für diese Kenngrößen unter 40 %. Eine Intermediäre Situation nehmen die Aluminiumsättigung und die pH-Werte ein.

Abb. 5.31, Seite 139 zeigt die Streuung der parameterspezifischen Korrelationen mit den Ko-

helmstoffgehalten. In die Darstellung sind alle Versuchsflächen einbezogen, auch die gekalkten Flächen in Heidelberg und Ochsenhausen sowie die carbonatische Fläche in Tuttlingen. Die Extremwerte für die Korrelationskoeffizienten bei den Protonensättigungen von -0.25 wurden auf der Versuchsfläche Tuttlingen bestimmt, bei der Basen-, Calcium- und Magnesiumsättigung sind die negativen Extremwerte durch die gekalkte Fläche in Ochsenhausen verursacht.



(a)



(b)

Abbildung 5.31: Korrelation der bodenchemischen Parameter mit Kohlenstoff in der Tiefenstufe 0 bis 5 cm (oben) und 5 bis 10 cm (unten).

In der Gesamtübersicht der Flächen kann für die Austauschkapazität und vor allem für den

Stickstoffgehalt die enge positive Korrelation mit den Kohlenstoffgehalten bestätigt werden. Die Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt liegen mit wenigen Ausnahmen alle über 0.9, die Mediane sogar über 0.95. Bei den basischen Neutralkationen fällt die engere Bindung von Magnesium an die Kohlenstoffgehalte auf, der Zusammenhang zwischen Basensättigung und auch Calciumsättigung mit den Kohlenstoffgehalten ist wesentlich weniger stark. Auffällig ist hierbei, dass auf den gekalkten Flächen negative Korrelationskoeffizienten für die Basen-, Calcium- und Magnesiumsättigung festzustellen sind in den beiden Tiefenstufe festzustellen sind. Die Protonengehalte nehmen mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt zu. In beiden Tiefenstufen liegen die Mediane für die in H₂O bzw. KCl bestimmten Protonensättigungen zwischen 0.5 und 0.6. Die Korrelationen sind in der Tiefenstufe 5 bis 10 cm mit Ausnahme der Aluminiumsättigung weniger deutlich ausgeprägt, zusätzlich nimmt in dieser Tiefenstufe die Bandbreite der vorkommenden Variationskoeffizienten zu. In Tab. 49 im Anhang (im separaten Dokument „statgroessen.pdf“ der FVA Freiburg) findet sich eine Übersicht über die Korrelationskoeffizienten für alle untersuchten Parameter und Level II – Flächen.

5.3.6 Ergebnisse der Nelderversuche im Conventwald

Von der Versuchsfläche Conventwald lagen aus den Tiefenstufen 0 bis 15 cm, 16 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 61 bis 120 cm für die Ökosystemfallstudienstraten Buchenstangenholz, Fichtenstangenholz, Buchen-Tannen-Fichtenmischbestand und Fichtenbaumholz in unterschiedlicher Wiederholungszahl für die Kronensituationen Kronenkern und Kronenlücke Bodenproben vor. Die Probenanzahl in den Kronenstraten schwankte dabei zwischen 10 und 29 Wiederholungen. Um die Belegung der Lag-Klassen bei diesen geringen Wiederholungszahlen zu erhöhen, wurde die Kronenstraten vor Durchführung der Variogrammanalyse mit Hilfe des paarweisen, nichtparametrischen Wilcoxon-Tests bzw. des multiplen, nichtparametrischen Dunn-Tests auf ihre Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit getestet. Auf der Grundlage dieses Testergebnisses wurden dann die Probenkollektive zu einer gemeinsamen Auswertungseinheit zusammen gefasst bzw. getrennt ausgewertet. Für die Fallvariante Fichtenbaumholz bzw. Fichten- und Buchenstangenholz bedeutete dies, dass bei signifikanten Testergebnissen im Wilcoxon-Test bzw. Dunn-Test keine Variogrammanpassung erfolgte, da für die Einzelstraten nur 10 bzw. 15 Beobachtungen zur Verfügung gestanden hätten. Die Auswertung wurde auf die oberste Tiefenstufe von 0 bis 15 cm Bodentiefe beschränkt, um eine Vergleichbarkeit der Variogrammanpassungen mit den Ergebnissen von den Level II – Flächen sicherzustellen.

Tabelle 5.18: Güteklassen der Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Buchenmischbestand und das Fichtenbaumholz

Parameter		Buchenmischbestand		Fichtenbaumholz
		Kronenkern	Kronenlücke Kern und Lücke	Kern und Lücke
$H^+ - H_2O$	4	3	-	-
$H^+ - KCl$	4	2	-	-
AKe	4	2	-	-
Basen%	2	3	-	-
Ca^{2+}	-	-	1	4
K^+	2	4	-	4
Mg^{2+}	-	-	1	3
Al^{3+}	4	2	-	-
C	-	-	3	4
N	-	-	2	3

Im Buchenmischbestand konnte in 16 Fällen Variogramme angepasst werden; in 8 Fällen wurde hierbei die Güteklasse 1 bzw. 2 erreicht. Für die Calcium- und Magnesiumsättigung sowie die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte war kein mit einer Beobachtungszahl von 57 ausgewertet wer-

den konnten. Die Güteklasse 1 wurde nur bei dieser Beobachtungshäufigkeit für die Parameter Calcium- und Magnesiumsättigung erreicht. Für die weiteren Parameter ist die Anpassungsgüte insgesamt geringer.

Aus dem Fichtenbaumholz standen lediglich 20 Beobachtungen für beide Kronensituationen zur Verfügung. Für keinen Parameter konnten gesicherte kleinräumige Nachbarschaftseffekte nachgewiesen werden.

Für das Fichten- und Buchenstangenholz, für die eine Prüfung auf Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit mittels des multiplen Dunntests erfolgte, konnten 9 Variogramme angepasst werden. In zwei Fällen war hierbei die Güte 1 bzw. 2. Erstaunlicherweise trat dies bei Zusammenführung der Buchenkern- mit der Fichtenlückensituation auf. Insgesamt sind die Anpassungsgüten jedoch wenig befriedigend, was sicherlich auch auf die geringe Beobachtungszahlen von 30 Wiederholungen für die Variographie begründet liegt.

Tabelle 5.19: Güteklassen der Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Fichten- und Buchenstangenholz

Fichten- und Buchenstangenholz				
Parameter	Buche-Kern/ Fichte-Kern	Buche-Kern/ Fichte-Lücke	Fichte-Kern/ Fichte-Lücke	Buche-Kern/ Fichte-Kern/ Fichte-Lücke
$H^+ - H_2O$	-	-	-	-
$H^+ - KCl$	-	-	-	-
AKe	-	-	3	-
Basen%	-	-	4	-
Ca^{2+}	-	2	3	-
K^+	-	4	4	-
Mg^{2+}	-	-	-	4
Al^{3+}	-	-	3	-
C	-	-	-	-
N	-	1	-	-

Von den insgesamt 29 Variogrammanpassungen waren rund 1/3 mit der Güte 1 bzw. 2 möglich. Über alle Parameter hinweg betrug die Autokorrelationslänge aus der Anpassung der theoretischen Variogramme 7.2 m, das mittlere Verhältnis von Nuggetvarianz zu Sill betrug 0.33. Die Autokorrelationslängen der Anpassungen für die Straten der Conventwaldstudie lagen überwiegend im Bereich zwischen 5 m und 10 m, der auch für die Level II – Flächen am häufigsten belegt war. Der Nuggetvarianzanteil liegt mit 0.33 niedriger als die Mittelwerte von den Level II – Flächen (0 bis 5 cm: 0.38 bzw. in 5 bis 10 cm: 0.47). Sowohl auf der Level II – Fläche im Conventwald als auch auf den Versuchsflächen der Ökosystemfallstudie scheint die Nachbarschaftsstruktur ausgeprägter zu sein als auf den weiteren Level II – Flächen.

5.4 Synopsis und Schlussfolgerungen

Für die Untersuchung der Variabilität und kleinräumigen Heterogenität bodenchemischer Eigenschaften wurden Intensivbeprobungen von 10 Level-II-Flächen, zwei Düngeversuchsflächen in Nachbarschaft zu zwei dieser Flächen sowie Daten aus der Ökosystemfallstudie Conventwald maschenstatistisch sowie geostatistisch ausgewertet.

Die Variabilitäten der bodenchemischen Kenngrößen sind parameterspezifisch sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die Variationskoeffizienten auf den Flächen reichen von unter 10 % bis über 500 %, wobei keine klaren substrat- bzw. depositionsabhängigen Zusammenhänge erkennbar waren. Eine Anpassung theoretischen Modelle gelang nur für 1/3 der empirischen Variogramme, der mittlere

Tabelle 5.20: Übersicht über die Variogrammanpassungen für die Nelderspiralen im Conventwald

Parameter	n	Range (m)	Nugget/Sill
$H^+ - H_2O$	-	-	-
$H^+ - KCl$	1	3,9	0,16
AKe	1	12	0,33
Basen%	1	7,8	0,15
Ca^{2+}	2	6,6 / 3,9	0,35 / 0,52
K^+	1	8,5	0,13
Mg^{2+}	1	8,8	0,39
Al^{3+}	1	10,3	0,29
C	-	-	-
N	2	6,1 / 4,2	0,42 / 0,39
	10	7,2	0,33

Anteil der Nuggetvarianz am Sill war für diese theoretischen Variogramme mit über 40 % zudem hoch. Auf Flächen mit geringer bzw. mittlerer Depositionsintensität nimmt die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Variogrammanpassung zu. Nachbarschaftseffekte scheinen sich bei hoher Deposition aufgrund der bodenchemischen Nivellierung zu verlieren. Insgesamt überwog der nicht durch räumliche Nachbarschaftseffekte erklärbare Varianzanteil. Autokorrelationslängen mit mittleren Werten von 7 bzw. 10 m deuten auf eine deterministische Ursache der Autokorrelation im Nahbereich hin. Eventuell spiegelt sich hierin das räumliche Muster des Kronendachs wider.

Aufgrund der hohen Variabilität der bodenchemischen Kenngrößen und des offensichtlich gering ausgeprägten Anteils klar identifizierbarer Nachbarschaftsbeziehungen, ist eine plotbezogene bodenchemische Flächencharakterisierung im Zuge eines landesweit durchzuführenden Monitorings nicht leistbar. Da in den vorliegenden Untersuchungen keine Schlüsselfaktoren erkennbar wurden, die eine punktbezogene Abschätzung der Parametervarianz ermöglichen würden, kann die Variabilität und auch die zeitliche Veränderung bodenchemischer Kenngrößen nur massenstatistisch im Gesamtkollektiv erfasst werden. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist, dass der Varianzanteil am Probepunkt minimiert wird.

Kapitel 6

Geostatistische Analysen in Bayern

6.1 Kleinräumige Variabilität von Waldboden- Dauerbeobachtungsflächen in Bayern

Karl Heinz Mellert, Gernot Rücker, Christian Kölling, Alfred Schubert

6.1.1 Einleitung

Zielvorgaben der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) ist es zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderungen liefern. Als wesentliches Ergebnis der BZE I wurde der Deutsche Waldbodenbericht von WOLFF und RIEK (1997) veröffentlicht. Derzeit läuft parallel zur zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) die Entwicklung eines statistischen Designs für die Auswertung der BZE. Die hier vorgelegte Studie ist Teil eines umfassenden Ansatzes zu Ermittlung des Fehlerbudgets der BZE II und trägt zur Abschätzung des Stichprobenfehlers der BZE bei. Das Programm der Waldbodendauerbeobachtung in Bayern verfolgt das Ziel eines landesweiten Überblicks über das Nährstoff- und Schadstoffpotential flächenbedeutsamer Standorte und ihrer Waldbestände (SCHUBERT, 2002) und bietet aufgrund der intensiven Bodenuntersuchungen einen Ansatz zur Abschätzung der Unsicherheit bei der Ermittlung inventurfähiger Bodenkennwerte.

Die kleinräumige Variabilität der Böden beeinflusst in erheblichem Maße Detektierbarkeit von Bodenveränderungen in der Zeit (z.B. PAPRITZ und WEBSTER (1995a) und PAPRITZ und WEBSTER (1995b)). Der Anteil der kleinräumigen Gesamtvariabilität eines Bodenmerkmals ist für die Auswerte-Strategien der BZE von großer Bedeutung. Wegen der kleinräumigen Heterogenität von Böden sind strenggenommen mit einer destruktiver Probenahme wie der BZE-Wiederholungsbeprobung keine echten verbundenen Stichproben möglich. Sollten aber der Abstand der Probepunkte von BZE I und BZE II innerhalb der Korrelationslänge der Kennwerte liegen, kann man ein Modell mit verbundenen Stichproben für die weitere Auswertung, zu Grunde legen. Dagegen käme das statistische Design ganz ohne die räumliche Statistik aus, wenn die Bodenparameter räumlich weitgehend zufällig verteilt wären. Für eine Entscheidung über die Auswertestrategie der BZE ist daher die Kenntnis über das Ausmaß der kleinräumigen Variabilität in verschiedenen Boden- bzw. Standortstypen notwendig.

Daher war es ein zentrales Anliegen im Rahmen des Projekts zu klären, inwieweit die Streuung und die räumlichen Eigenschaften von Bodenparametern standortabhängig variieren. Im günstigsten Fall ließen sich mögliche Zusammenhänge in einer Parameter-Standortsmatrix abbilden (Abb. 6.1, Seite 144). Die Füllung dieser Matrix würde voraussetzen, dass entsprechende Gesetzmäßig-

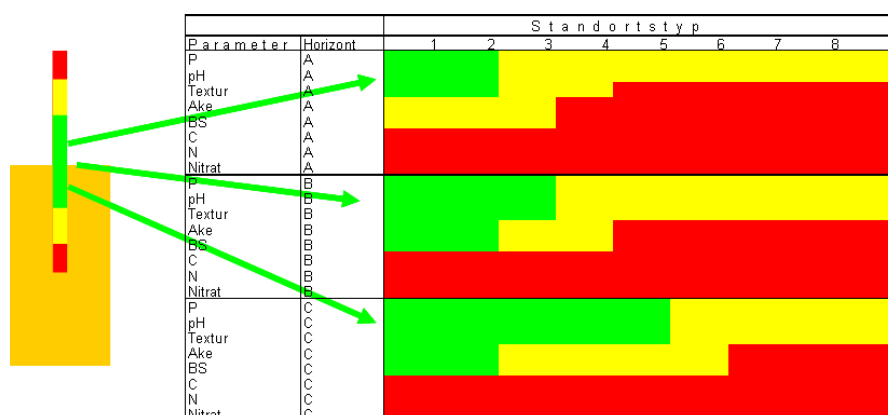


Abbildung 6.1: Parameter-Standortsmatrix als Arbeitshypothese für einen Zusammenhang zwischen Standortstyp und (geo)statistischen Eigenschaften von Böden

keiten bekannt sind und wäre dann aus der Literatur und entsprechenden Studien zu erschließen.

In der Literatur wird zwar eine Fülle von Studien zur räumlichen Variabilität von Böden beschrieben. Es wurden aber bisher keine Arbeiten publiziert, die sich auf Waldstandorte beziehen, den Umfang der BZE-Kennwerte umfassen und zudem ein weites Standortspektrum umfassen. Nur relativ wenige Studien betrachten überdies eine räumliche Skala, die in einem für die BZE relevanten Bereich liegen (z.B. (DEURER, 2000; TEICHERT, 2000; KIRWAN ET AL., 2005; SCHÖNING ET AL., 2006; HORNSCHUCH und RIEK, 2006b)). Die Ergebnisse der Fallstudie zur räumlichen Variabilität hängen zudem stark vom Probenahmedesign ab. Dies gilt insbesondere für die empirischen Variogramme, welche die räumlichen Beziehungen von Bodenkennwerten beschreiben. Die Übertragbarkeit von Resultaten geostatistischer Studien ist daher ganz besonders von der verwendeten Methode und von der gewählten Raumskala abhängig. Aufgrund der geringen Zahl geeigneter Studien kann aus der Literatur die Variabilität der in der BZE verwendeten Kennwerten nur sehr grob abgeschätzt werden. Für eine präzise Schätzung der räumlichen Variabilität typischer bayerischer bzw. deutscher Standorte sind die Angaben in der nationalen und internationalen Literatur völlig unzureichend.

Aus den vorgenannten Gründen reicht die Bezugnahme auf die Literatur bei weitem nicht aus, sondern es ist die Auswertung geeigneter Daten erforderlich. Auf der Basis der BDF-Untersuchungen ist es möglich, abzuschätzen in welchen Größenordnungen sich die räumliche Varianz von Bodenkennwerten üblicherweise bewegt und inwieweit sich diese Eigenschaften standortspezifisch unterscheiden. Dieser Datensatz ist hierfür besonders gut geeignet, weil er den Umfang der BZE-Kennwerte nahezu abdeckt und Daten zu einem breiten Spektrum von Standorten enthält. Bisher wurden 77 BDF in Bayern eingerichtet, aktuell liegen für insgesamt 33 BDF Daten in einer geeigneten räumlichen Dichte vor. Da bei diesen BDF keine Mischproben gebildet wurden ist es möglich, die räumliche Variabilität auf der 3 m-Skala zu untersuchen. Die Stichprobengröße von 18 Einzelproben pro Standort ist gemessen an anderen Dauerbeobachtungsprogrammen hoch und gewährt daher einen guten Überblick über die zu erwartenden Unsicherheiten. Gemessen an den Anforderungen geostatistischer Verfahren bewegt sich der Stichprobenumfang am einzelnen Standort zwar an einer methodischen Untergrenze, der zugrunde liegende Datenbestand bildet aber die beste in Deutschland existierende Basis für eine standortsübergreifende Metaanalyse der räumlichen Eigenschaften.

Die Ziele der vorliegenden Arbeit ist es kurz gefasst,

- Böden nach ihren räumlichen Eigenschaften zu typisieren, indem nach standortbedingten

Mustern der räumlichen Variation gesucht wird

- etwaige Typen als Basis für eine Übertragung der räumlichen Eigenschaften auf nicht untersuchte Standorte zu verwenden
- die Unsicherheit von Bodenindikatoren einzuschätzen, indem geeignete Variabilitätskennwerte abgeleitet werden
- die Abschätzung der Chance zeitliche Änderungen vor dem Hintergrund der räumlicher Heterogenität nachzuweisen, indem kritische Differenzen aus den ermittelten Streuungsparametern abgeleitet werden.
- eine Bewertung des Probenahmedesigns von BDF und BZE auf der Basis der räumlichen Analyse

Darüber hinaus wird eine Einschätzung des Forschungsbedarfs im Bereich der kleinräumigen Variabilität von Waldstandorten in Deutschland gegeben. Dies ist nicht nur im Hinblick auf die Unsicherheitsabschätzung im Rahmen von Inventuren, sondern darüber hinaus, v.a. für die räumliche Modellierung (Regionalisierung) von bodengebundenen Informationen von großer Bedeutung (ZIRLEWAGEN und VON WILPERT, 2004; JANSEN ET AL., 2002; MELLERT ET AL., 2007a, 2008).

6.1.2 Material und Methoden

Grundlage der vorliegenden Auswertung bilden die Daten von (SCHUBERT, 2002). Die charakteristischen Kennwerte der 33 untersuchten BDF sind in Tab. 6.1, Seite 146 zusammengefasst. Für ein genaueres Bild, insbesondere für die bodenchemische Charakterisierung der BDF sei auf (SCHUBERT, 2002) verwiesen.

RIEK und WOLFF (2005) haben bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der BZE II zusammengestellt. Für die vorliegende Studie wurden als Zielparameter hieraus folgende Bodenindikatoren ausgewählt (Tab. 6.2, Seite 147).

Als wichtige chemische Oberbodenparameter wurde Corg- und Ngesamt -Gehalte sowie -Vorräte und das C/N-Verhältnis untersucht. Des weiteren wurden als Parameter des Säure/Basenstatus der pH-Wert sowie die Ake und die Basensättigung einbezogen. Als wichtiger physikalischer Bodenparameter wurde der Grobbodenanteil zusätzlich aufgenommen. Die Heterogenität der Korngrößenfraktionen beeinflusst insbesondere die Abschätzung von Bodenvorräten z.B. von C und N. Für alle Parameter wurden aus den 18 Einzelproben je Fläche geostatistische Kennwerte berechnet und diese in einer standortübergreifenden Metaanalyse auf hin Gesetzmäßigkeiten untersucht. Insgesamt wurden in die geostatistische Analyse je Boden-Parameter 3780 Datensätze in 210 Straten (Fläche x Horizonte) analysiert.

Die Darstellung der Auswertungen konzentrieren sich v.a. auf den Oberboden, weil hier die stärksten Änderungen zu erwarten sind. Denn der humose Oberboden wird durch die veränderten Bedingungen durch Stoffdeposition und Klimawandel wie z.B. die C- und N-Akkumulation bzw. Mineralisation (Tab.) besonders stark beeinflusst. Diese Prozesse sind auch mit anderen Prozessen z.B. der Bodenversauerung verbunden und sie sind nicht nur für die Waldökologie, sondern darüber hinaus auch für Umweltforschung von genereller Bedeutung.

Die Bodenproben auf den bayerischen BDF wurden in 18 Einzelproben in einem Kreuztransekt mit einer Transekt-Länge von je 30 m gewonnen. Der kürzeste Beobachtungsabstand beträgt 3 m. Die Distanzklassen sind bei diesem Verfahren bis 18 m mit mindestens 10 Paaren besetzt (Abb. 6.2, Seite 148). Die Bodenproben wurden horizontweise ausgeschieden und beprobt. Die Probenahmedesigns von BZE und BDF sind hinsichtlich der räumlichen Probenverteilung gut vergleichbar. Der kürzeste Beobachtungsabstand beträgt bei der BZE 7,7 m. Die Wiederholungsprobenahme erfolgt gemäß BZE-Manual in 1,6 m Entfernung vom Probenpunkt der ersten Aufnahme.

Tabelle 6.1: Kurzbeschreibung der untersuchten Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF). TG (BS) = Tiefengradient der Basensättigung (KÖLLING ET AL., 1996), siehe Abb. 6.3, Seite 149

Region	BDF	Höhe NN in m	Humusform	Bodentyp	Ausgangssubstrat	Bodenart und Schichtung	TG (BS)	
Altdorf	Alt2	350	feinhumusarmer Rohhumus	Podsol	Quartärer Flugsand (,S)	Sand	5	
Altötting	Aoe1	415	Moder	schwach podsolige Parabraunerde	Niederterrassenschotter	lehmiger Sand, sandiger Lehm	2	
Bamberg	Bam1	260	Rohhumus	Gley-Podsol	Quartärer Flugsand (,S)	Sand	4	
Bad Brückenau	BBr1	812	Moder	eutrophe Braunerde	Tertiäre Vulkanite	Lehm	2	
Bodenwöhr	Bow1	380	Rohhumus	Podsol-Braunerde	Quartärer Flugsand (,S)	Sand	5	
Bodenwöhr	Bow2	380	Rohhumus	Podsol-Braunerde	Quartärer Flugsand (,S)	Sand	5	
Dinkelsbühl	Dkb2	445	rohhumusartiger Moder	Braunerde-Pseudogley	Lias (l) (Amaltheenton)	Sand	2	
Ebersberg	Ebe1	540	rohhumusartiger Moder	Parabraunerde	Niederterrassenschotter	lehmiger Sand, sandiger Lehm	2	
Ebrach	Ebr1	410	mullartiger Moder	Pseudogley-Braunerde	Sandsteinkeuper	Decksand und -lehm	2	
Flossenbürg	Flo1	840	rohhumusartiger Moder	Braunerde-Podsol	Präkambrium	Lehm	5	
Freising	Fre1	508	F-Mull	Braunerde-Parabraunerde	Tertiäre Obere Süßwassermolasse mit quartärer Lößüberdeckung	Feinlehm, Schlufflehm	2	
Geisenfeld	Gei1	425	Moder	Podsol-Braunerde	Miozäne Sande	Sand	3	
Goldkronach	Gok2	690	Moder/Graswurzelfilzmoder	Podsol	Tertiäre Restverwitterung (t)	Feinlehm, Schlufflehm	5	
Kelheim	Kel1	490	Moder	stark podsoliger Braunerde-Pseudogley	Oberkreide über Mergel des oberen Cenoman	Schichtlehm (Ton in 30-60cm)	2	
Kelheim	Kel2	490	Rohhumus	Pseudogley-Parabraunerde	Oberkreide (Knollensand des Turon)	Schichtlehm (Ton in 30-60cm)	4	
Kreuth	Kreu2	1300	F-Mull	Braunerde	Jura (j) (Dogger) (Radiolarit)	Schichtlehm (Ton in 30-60cm)	5	
Landau	Lan1	335	Mull	Kalkpaternia	Holozäne Auensedimente	milder Ton, Tonlehm, KVL	1	
München	M1	605	Moder	Pseudogley-Parabraunerde	Quartärer Lößlehm (,L)	Feinlehm, Schlufflehm	3	
Mitterfels	Mit1	1025	rohhumusartiger Moder	podsolige Braunerde	Präkambrium	Lehm	5	
Pegnitz	Peg1	440	Rohhumus	Braunerde-Podsol im Unterboden pseudovergleyt	Oberkreide	lehmiger Sand, sandiger Lehm	4	
Riedenburg	Rie1	475	F-Mull	schwach pseudovergleyte Parabraunerde ü. Terra Fusca	Oberer Jura	milder Ton, Tonlehm, KVL	2	
Rothenkirchen	Rok1	670	rohhumusartiger Moder	Braunerde	Unterkarbon, Obere Grauwacke	Lehm	5	
Rothensbuch	Rot1	470	typischer Moder	pseudovergleyte Braunerde	Mittlerer Buntsandstein	Sand	3	
Sauerlach	Sa1	625	Moder	Parabraunerde	Quartärer Schotter (W,G)	lehmiger Sand, sandiger Lehm	2	
Schongau	Sog1	780	Moder	Parabraunerde	Pleistozän	Feinlehm, Schlufflehm	3	
Schongau	Sog3	780	Mull	Parabraunerde	Pleistozän	Feinlehm, Schlufflehm	3	
Sonthofen	Son2	1340	mullartiger Moder	Braunerde-Hanggley	Kreide Mergel (kro) (Flysch)	Lehm	2	
Starnberg	Sta1	670	Rohhumus	Parabraunerde	Quartäre Moräne (W)	lehmiger Sand, sandiger Lehm	2	
Steinach a.d. Saale	StS1	770	Moder	Braunerde	Tertiärer Basalt (B)	Feinlehm, Schlufflehm	1	
Wasserburg	Ws1	595	Rohhumus	Parabraunerde-Pseudogley	Rißzeitliche Altmoräne (,R)	Feinlehm, Schlufflehm	3	
Würzburg	Wue1	330	F-Mull	Braunerde-Pseudogley	Unterer Keuper	milder Ton, Tonlehm, KVL	2	
Zusmarshausen	Zus1	525	Moder	Parabraunerde-Pseudogley	Quartärer Lößlehm (,L)	Feinlehm, Schlufflehm	2	
Zusmarshausen	Zus2	515	mullartiger Moder	Parabraunerde-Pseudogley	Pleistozän	Feinlehm, Schlufflehm	2	

Tabelle 6.2: Wichtige Prozesse, die in mitteleuropäischen Böden zu Bodenveränderungen führen und die hierzu untersuchten Bodenkennwerte

Prozess	Indikatoren
Bodenversauerung	Bodenreaktion (pH) Austauscherkapazität (AKe) Basensättigung (BS) Austauscherbelegung (Ca, K, Mg, Na, Al, Fe, Mn)
N-Sättigung	Ntot-Vorrat Ntot-Gehalt C/N Verhältnis
C-Speicherung	Corg-Vorrat Corg-Gehalt

Die Daten wurden nach Humusform (Bodenkundliche Kartieranleitung 5), Standortseinheit (Tab. 6.3, Seite 147) und Tiefengradienten der Basensättigung (KÖLLING ET AL., 1996) statifiziert (Abb. 6.3, Seite 149).

Tabelle 6.3: Substrattypen der bayerischen Standortsklassifikation und Stratenbesetzung (N) nach untersuchten Horizonten

Ziffer	Bodenart und Schichtung	Horizont			
0	Sand	18	2	29	8
1	lehmgiger Sand, sandiger Lehm	13	10	10	4
2	Lehm	16	0	12	2
3	Feinlehm, Schlufflehm	26	14	23	2
4	milder Ton, Tonlehm, KVL	8	2	5	3
5	strenger Ton				
6	Decksand und -lehm	3	0	5	2
7	Schichtsand (Ton in 30-60cm)				
8	Schichtlehm (Ton in 30-60cm)	10	1	8	1
9	Moor				

Die Tiefengradienten der Basensättigung bezeichnen Klassen einer von 1 nach 5 sinkenden Basensättigung im Bodenprofil (Abb. 6.3, Seite 149). Vertikal wurden die BDF-Daten nach Horizonten gruppiert. Dabei wurden humose Horizonte (H = L, O, F + Ah) zusammengefasst und humusfreie bzw. -arme Horizonte den Haupthorizonten A, B und C zugeordnet.

Der gesamten Datenumfang erfasst 33 Flächen mit je N=18 und bis zu 11 Horizonten. In die geostatistische Analyse wurden nur vollständig besetzte Straten (N=18) einbezogen. Daraus resultierten je Boden-Parameter 3780 Datensätze in 210 Straten (Fläche x Horizont). Bei der Analyse wurden die Subhorizonte meist zu den Haupthorizonten H, A, B und C zusammengefasst.

6.1.2.1 Statistik und Geostatistik

WEBSTER und OLIVER (2001) empfehlen skewness Koeffizienten γ_1 aus dem 3. Moment der Daten als Kriterium für die Beurteilung der Schiefe und für die Ableitung der geeigneten Datentransformation zur Annäherung an die Normalverteilung. Die Berechnung erfolgt mit der Formel:

$$\gamma_1 = \frac{1}{NS^3} \sum_{i=1}^N (z - \bar{z})^3 \quad (6.1)$$

mit N=Stichprobenumfang, S=Standardabweichung, z=Einzelwert und \bar{z} =Mittelwert.

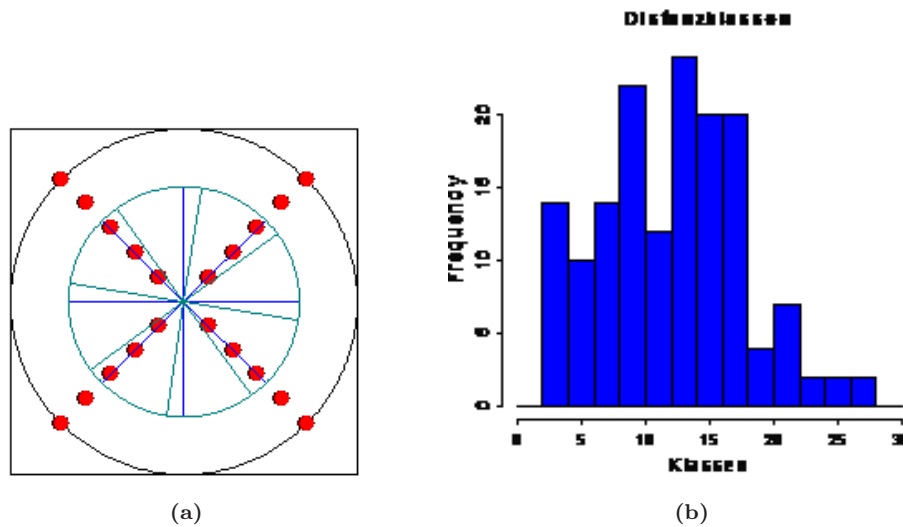


Abbildung 6.2: Probenahmedesign der BZE und der bayerischen Bodendauerbeobachtungsflächen im Vergleich; (a) die roten Punkte stellen die Kreuztransekte mit je 18 m und einem Mindestabstand von 3 m dar. Die dunkelblauen Linien geben den Probekreis der BZE I, die hellblauen Linien jenen der BZE II wieder; (b) Häufigkeitsverteilung der Distanzklassen der bayerischen Bodendauerbeobachtungsflächen

Die kritische Differenz wurde nach dem t-Test zur Prüfung von Messwertdifferenzen zwischen ungepaarten Stichproben berechnet und ist

$$\Delta_{min} = t_{n-1;\alpha} SD \sqrt{\frac{2}{n}} \quad (6.2)$$

mit t =t-Wert für zweiseitige Fragestellungen ($t_{n-1;\alpha}$ =Tabellenwert für $2 \cdot n - 2$ Freiheitsgrade und Irrtumswahrscheinlichkeit ($\alpha < 0,05$)), Δ_{min} =mittlere Mindestdifferenz zwischen erst- und Zweiterhebung, die bei gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit notwendig ist, um auf signifikante Unterschiede schließen zu können, mit n =Stichprobengröße und SD =Standardabweichung der Stichprobe.

Für die vorliegende Metanalyse wurden als geostatistische Kennwerte der räumliche Korrelationskoeffizient nach Moran (Moran's I, TIEFELSDORF (2000)) und der Anteil der räumlich strukturierten Varianz (SV) in Anlehnung an CAMBARDELLA ET AL. (1994) für jeden der 19 Boden-Parameter berechnet. Insgesamt wurden ca. 4000 Korrelationen und Variogramme berechnet. Zum besseren Verständnis der Arbeit wird im folgenden auf die geostatistischen Grundlagen etwas näher eingegangen.

Der räumliche Korrelationskoeffizient (Moran's I) bezieht sich auf die Nachbarschaftsmatrix. In unserem Fall wurde eine sog. binären Nachbarschaftsmatrix erstellt. Hierbei erhalten benachbarte Punkte das Gewicht 1, nicht benachbarte das Gewicht 0. Um zu bestimmen, welche Punkte benachbart sind, wurde ein Gitter durch die beprobten Punkte gelegt. Hier gelten nun zwei Punkte als benachbart, wenn ausgehend von einem Punkt der andere Punkt in einem angrenzenden Feld liegt (direkt oder diagonal). Im Vergleich zur Variographie stellt Moran's I etwas geringere Anforderungen an die Datenbasis, weshalb dieses Verfahren zur Analyse von BDF-Daten von Statistikern im Rahmen einer Vorstudie zu dieser Untersuchung empfohlen wurde (HALLER ET AL., 2006). Quantitative Parameterschätzungen und Signifikanztests sind schon bei einem Stichprobenumfang > 50 möglich (TIEFELSDORF, 2000). Die aus den Daten berechneten Kennwerte haben jedoch auch bei diesem Verfahren für die BDF ($N=18$) eher deskriptiven Charakter (HALLER ET

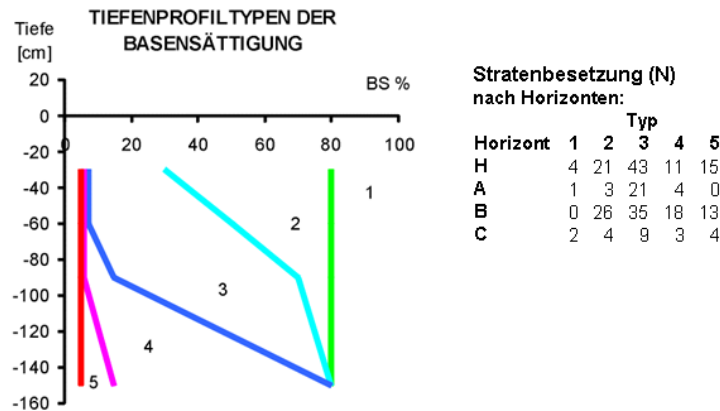


Abbildung 6.3: Tiefenprofiltypen der Basensättigung (TGBS) nach KÖLLING ET AL. (1996) und Stratenbesetzung (N) nach den untersuchten Horizonten

AL., 2006).

Zur Beschreibung räumlicher Ähnlichkeitsbereiche wurde die Semivarianz berechnet und in einem sog. (Semi-)Variogramm dargestellt. Die Semivarianz ist die mittlere quadrierte Differenz zwischen den Wertepaaren der Stichprobe einer sog. regionalisierten Variable, die durch die Entfernung h (Abstandsvektor oder lag) getrennt sind. Abgekürzt wird die Semivarianz mit $\gamma(h)$, ihre Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung (WEBSTER und OLIVER, 2001):

Zur Aufdeckung der räumlichen Struktur werden die mittleren Semivarianzen von Punkten mit ähnlichen lags (Abstandsklassen) zusammengefasst. Die nach lags gemittelte Semivarianzen werden als bins bezeichnet. Zum Beispiel werden bei einem lag von 10 m alle Semivarianzen von Punktpaaren, die 0 bis 10 m voneinander entfernt sind, zum ersten bin zusammengefasst. Der zweite bin umfasst die Abstandsklasse 10 bis 20 m usw.

Im Variogramm werden für unterschiedliche Abstandsvektoren berechnete Semivarianzen in Abhängigkeit von h graphisch dargestellt. Das durch die bins repräsentierte Variogramm wird als experimentelles Semivariogramm bezeichnet. Das theoretische Semivariogramm ist dagegen eine Funktion, die an die bins angepasst wurde und welche die ermittelte räumliche Beziehung modellhaft beschreibt. Abb. 6.4, Seite 150 zeigt das Schema eines theoretischen Variogramms. Es wird durch vier Kennwerte beschrieben, die mit den folgenden Begriffen bezeichnet werden:

- sill: Schwellenwert, dem die Semivarianz bei $h > a$ zustrebt,
- range: Ähnlichkeitsbereich (a), innerhalb dessen ($h < a$) benachbarte Meßwerte mit steigendem h im Mittel zunehmend unähnlicher werden,
- nugget: kleinräumige Variabilität, durch die auch sehr eng benachbarte Messwerte ($h = 0$) schon zu einem größeren Anteil zufällig variieren.
- partial sill: jene Semivarianz, welche eine räumliche Abhängigkeit aufweist (partial sill = sill - nugget)

Anhand der genannten Variogramm-Merkmale läßt sich die räumliche Struktur von Datenreihen bzw. -feldern quantitativ beschreiben. In Anlehnung an CAMBARDELLA ET AL. (1994) ist die räumlich strukturierte Varianz (SV) jener Anteil der Varianz, welcher eine räumliche Abhängigkeit

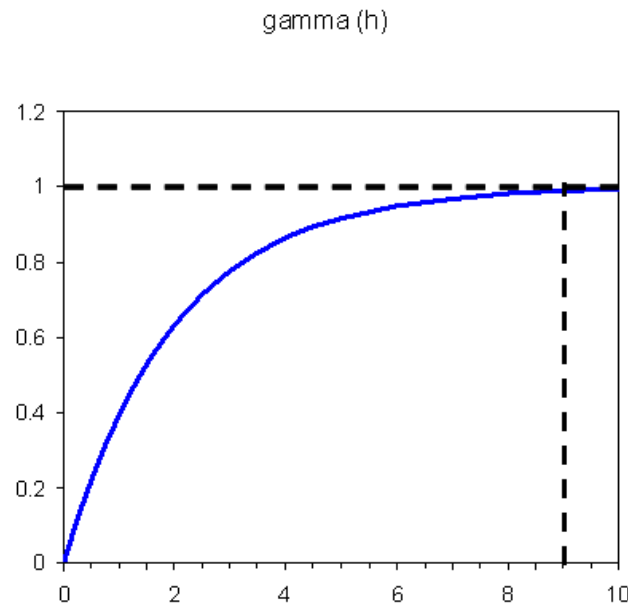


Abbildung 6.4: Beispiel eines Variogramms mit einem sill von 1 und einem range von 9; der Nugget-Effekt = 0.

aufweist und wird aus dem Verhältnis von partial sill und sill berechnet (Abb. 6.5, Seite 151). Dieser Parameter wurde in der Literatur (JACKSON und CALDWELL, 1993a; ROBERTSON ET AL., 1993) auch als räumlicher Korrelationsindex (spatial correlation index, SCI) bezeichnet. Um Verwechslungen mit dem räumlichen Korrelationskoeffizienten von Moran (Moran's I) zu vermeiden wird in dieser Arbeit jedoch die Bezeichnung von CAMBARDELLA ET AL. (1994) verwendet.

Am häufigsten werden gauß'sche, exponentielle und sphärische Funktionen (WEBSTER und OLIVER, 2001) zur Beschreibung des Zusammenhang zwischen lag (h) und der Semivarianz (γ) eingesetzt. Diese theoretischen Variogramme implizieren eine obere Schranke der Semivarianz und lassen sich v.a. auf Datensätze umfangreicher Untersuchungen gut anwenden ($N > 50$, besser $N > 100$; WEBSTER und OLIVER (2001)), wobei innerhalb der untersuchten Fläche die Varianz vollständig erfasst werden sollte (Stationarität 2. Ordnung). Eine weitere Anforderung in der Variographie ist, dass mindestens 30 Punktpaare zur Berechnung eines bins verwendet werden sollten (LEGENDRE und FORTIN, 1989). Diese strengen geostatistischen Voraussetzungen, können aufgrund des hohen Aufwands schwerlich im Rahmen von landesweiten Untersuchungen realisiert werden. GOOVAERTS (1999) weist aber ausdrücklich darauf hin, dass die Geostatistik auch auf kleinere Datensätze bei entsprechender Vorsicht oder vorhandenen Vorkenntnissen anwendbar ist. In der vorliegenden standortübergreifenden Analyse von 33 BDF konnten immerhin 10 Punktpaare pro bin bei einem minimalen lag von 3 m erreicht werden. Außerdem wurde eine gegen Ausreißerwerte robuste nicht-parametrische Funktion (Abb. 6) zur Beschreibung der räumlichen Beziehung verwendet, die lowess-Funktion ((CLEVELAND, 1979), siehe auch SPSS/Base (1993), S. 537.). Dies hat gegenüber den üblichen Modellen den Vorteil, dass diese Funktion das experimentelle Variogramm ohne ein Postulat über die Form der Beziehung zu beschreiben vermag. Denn es entfällt z.B. die Annahme einer oberen Schranke und auch periodische Schwankungen der Semivarianz können mit dieser Funktion nachgezeichnet werden (Abb. 6.7, Seite 153, 6.10, Seite 155). Kritisch in der Variographie ist die Schätzung des nugget-Effekts, da für den Nahbereich häufig nur eine relativ schmale Datenbasis vorhanden ist. Dies gilt auch für den vorliegenden BDF-Datensatz.

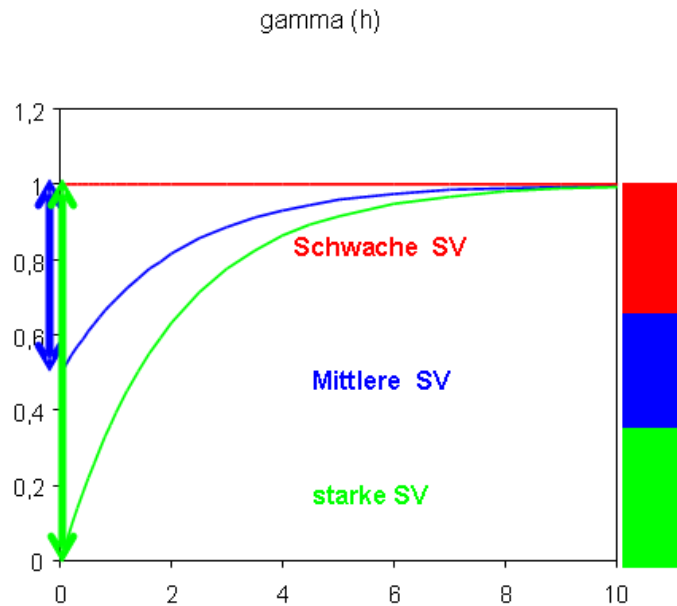


Abbildung 6.5: Charakterisierung der räumlich strukturierten Varianz (SV) anhand des Verhältnisses von partial sill zu sill. Klassen: 0 - 0,33 schwache räumliche Abhängigkeit; 0,34 - 0,66 mittlere räumliche Abhängigkeit; 0,67- 1 starke räumliche Abhängigkeit. In Anlehnung an CAMBARDELLA ET AL. (1994)

Deshalb wurde zur Beschreibung der Varianz im Nahbereich anstelle des nugget die Semivarianz am 1. lag (Abstandsklasse = 3 m) aus der angepassten lowess-Funktion übernommen (Abb. 6.6, Seite 152). Anstelle eines sill wurde die maximale Semivarianz aus der lowess-Funktion verwendet. Die räumlich strukturierte Varianz (SV) wurde gebildet aus:

$$SV = 1 - E_{lag1}/E_{max} \quad (6.3)$$

mit E_{lag1} =Vorhersagewert (Semivarianz) der Lowess-Funktion und E_{max} =maximaler Vorhersagewert (Semivarianz) der Lowess-Funktion.

Da Extremwerte die Varianz stark beeinflussen, werden sie von geostatistischen Praktikern üblicherweise vorher entfernt und dann erst die Variogramme berechnet (WEBSTER und OLIVER, 2001). Vor der Interpolation der Daten werden die Ausreißer dann wieder eingefügt. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Stichprobe kann nicht sicher gefolgert werden, ob hohe Werte tatsächlich Ausreißer oder z.B. ein regelmäßiges Auftreten von hot spots widerspiegeln. Von einer Entfernung der Ausreißer wurde daher abgesehen. Das Extremwerte-Problem wurde aber berücksichtigt, indem 2 Varianten kalkuliert wurden, konventionelle und mit dem modulus estimator (CRESSIE und HAWKINS, 1980) berechnete Variogramme. Der modulus estimator erlaubt eine robuste Schätzung der Variogramme. Mit seiner Hilfe konnte die strukturierte Varianz im Vergleich zur konventionellen Methode um insgesamt knapp 10 % angehoben werden.

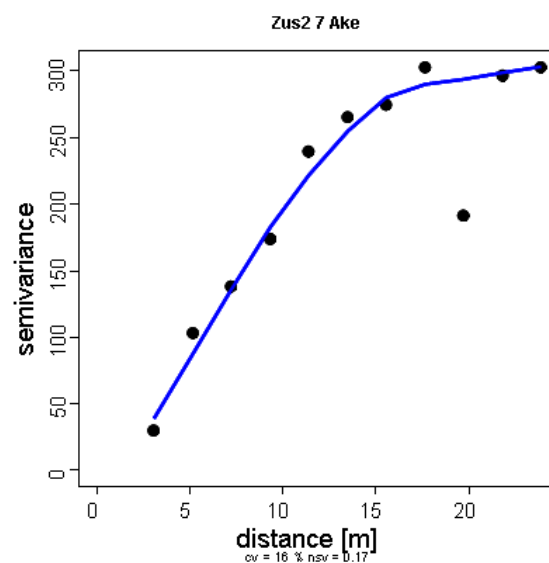


Abbildung 6.6: Variogramms der Ake der BDF Zusmarshausen (Tiefenstufe = 7). Die Punkte stellen die einzelnen bins dar und repräsentieren mindestens 10 Punktepaaare. Die Varianz im Nahbereich (3 m; grüner Kreis) beträgt 17 % der Maximalvarianz (roter Kreis).

6.1.3 Ergebnisse

6.1.3.1 Häufigkeitsverteilung und Schiefe

Die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung von Bodenparametern ist entscheidend für eine adäquate (geo-)statistische Auswertung. Das Histogramm gibt zudem erste Hinweise darauf, inwieweit Extremwerte bzw. hot spots (ggf. auch cold spots) in der räumlichen Verteilung eine Rolle spielen. Im Rahmen der Meta-Analyse wurde der Schiefe-Parameter γ_1 in Anlehnung an WEBSTER und OLIVER (2001) als kompakte Maßzahl zur Beurteilung der Häufigkeitsverteilung verwendet (Abb. 6.8, Seite 154).

Im QQ-Diagramm (Abb. 6.7a, Seite 153) ist die empirische Häufigkeitsverteilung des Grobbodens der Normalverteilung (Linie) gegenüber gestellt. Es ist zu erkennen, dass eine deutliche Abweichung von der Normalverteilung vorliegt. Der Skewness-Parameter γ_1 indiziert mit dem Wert 0,75 eine deutliche Schiefe der Daten. Ein symmetrisches Histogramm hat den Wert 0. Werte > 0 bezeichnen eine positive Schiefe, d.h. ein rechts-schiefes Histogramm. Wenn die positive skewness unter 0,5 liegt, kann man auf eine Datentransformation verzichten. Bei Werten zwischen 0,5 und 1 hilft meist eine Wurzeltransformation. Verteilungen mit Schiefe-Werten über 1 können i.d.R. durch eine log-Transformation angepasst werden. Werte < 0 bedeuten negative skewness und sind eher ungewöhnlich (WEBSTER und OLIVER, 2001).

Im Vergleich zum gesamten Datensatz (Abb. 6.8, Seite 154) ist die Schiefe beim Grobbodenanteil recht stark ausgeprägt (Abb. 6.7a, Seite 153). Nach Transformation mit der 4. Wurzel konnte eine wesentlich verbesserte Anpassung an die Normalverteilung erreicht werden (Abb. 6.7b, Seite 153). Dieses Beispiel illustriert zweierlei. (1) Anhand der Schiefe der Daten kann die Notwendigkeit einer Transformation zur Anpassung an die Normalverteilung näherungsweise abgeschätzt werden (WEBSTER und OLIVER, 2001). (2) Die (Wurzel)-Transformation ist eine geeignete Maßnahme um die Varianz zu senken. Auf gleichem Prinzip (Transformation mit der 4. Wurzel) arbeitet der verwendete Semivarianz-Schätzer (modulus estimator) von CRESSIE und HAWKINS (1980).

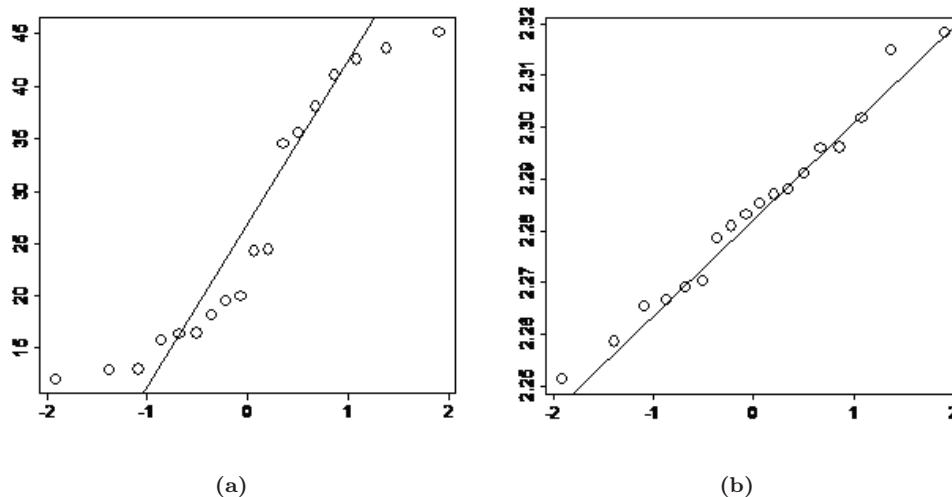


Abbildung 6.7: Quantile der Stichprobe gegen die theoretischen Quantile der Normalverteilung (QQ-Diagramm) des Grobbodenanteil im Obersten Horizont der BDF Altötting vor (links) und nach Transformation mit der 4. Wurzel (rechts).

Gemessen an den Empfehlungen von WEBSTER und OLIVER (2001) für die Aufbereitung von

Daten für die Variographie ist eine Transformation zur Anpassung an die Normalverteilung für das Datenkollektiv des humosen Oberbodens meist nicht notwendig (Abb. 6.8, Seite 154). Wie demonstriert, ist lediglich beim Grobboden die Schiefe in den meisten Fällen so stark ausgeprägt, dass eine Wurzel- oder log-Transformation angebracht wäre. Bei den übrigen Bodenparametern kommen zwar ebenfalls schiefe Verteilungen vor, in den meisten Fällen könnte aber auf eine Transformation verzichtet werden. Im B-Horizont liegen die Verhältnisse ähnlich wie im humosen Oberboden (nicht dargestellt).

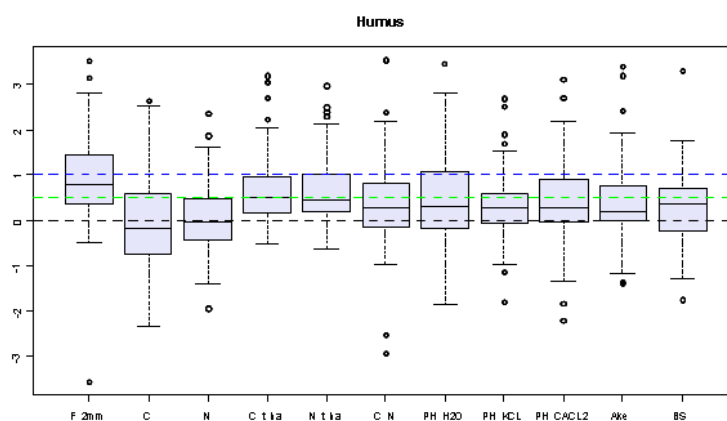


Abbildung 6.8: Schiefe-Parameter γ_1 der untersuchten Parameter aller 33 BDF im humosen Oberboden. Anpassung an die Normalverteilung laut Empfehlung von WEBSTER und OLIVER (2001), S. 245 bei Werten zwischen 0,5 und 1 mit Wurzeltransformation und bei Werten > 1 mit Logtransformation.

6.1.3.2 Beziehung von Moran's I und räumlich strukturierter Varianz

Die Stichproben der BDF mit einem $N = 18$ Proben und einem Beobachtungsabstand von 3 m weisen in rund 75 % der Fälle keine signifikante (Moran-Test: $p < 0,05$) räumliche Abhängigkeit auf. Dennoch ist auch in vielen nicht-signifikanten Fällen anhand der SV eine deutliche räumlich Struktur in den Daten feststellbar. Zwischen den beiden geostatistischen Bewertungsverfahren (Abb. 6.9, Seite 155) besteht trotz der starken Streuung eine signifikante Korrelation. Ein höherer Anteil der räumlich strukturierten Varianz ist erwartungsgemäß mit einer höheren räumlichen Korrelation (Moran's I) verbunden. Ab Werten für Moran's I $> 0,4$ ist stets mit einem mittleren bis hohen Anteil an räumlich strukturierter Varianz zu rechnen.

Andererseits bedeutet eine signifikante räumliche Korrelation nicht, dass der räumliche Zusammenhang die typische Form eines Variogramms annimmt, wie dies z.B. bei Abb. 6.6, Seite 152 der Fall ist. Aus der Vielzahl von Variogramme wurden zwei weitere Beispiele herausgegriffen, um dies zu verdeutlichen. Abb. 6.10a, Seite 155 zeigt das Variogramm des pH-Werts in $CaCl_2$ auf der Fläche Bodenwöhr, Abb. 6.10b, Seite 155 das Variogramm des N-Vorrats auf der Fläche Altdorf 2. In allen 3 Fällen liegt gemessen am Moran's I eine signifikante räumliche Korrelation vor, diese jedoch jedem Fall anders geartet. In Abb. 6.6, Seite 152, liegt, wie bereits beschrieben, ein typischer Variogrammverlauf vor, mit großer Ähnlichkeit der Werte im Nahbereich und einem oberen Schwellenwert, ab dem keine deutliche Varianzerhöhung mehr stattfindet. In Abb. 6.10a, Seite 155 dagegen wird der obere Schwellenwert im beprobten Bereich nicht erreicht, sondern die Varianz nimmt mit zunehmender Entfernung immer weiter zu. Die geostatistische Voraussetzung

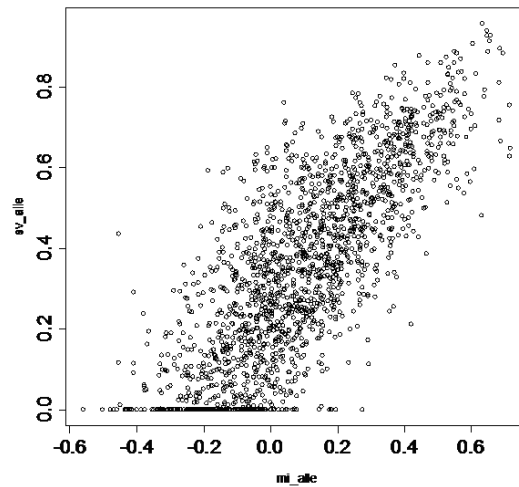


Abbildung 6.9: Zusammenhang zwischen Moran's I und der räumlich strukturierten Varianz (SV).

der Stationarität (2. Ordnung) ist in diesem Beispiel daher verletzt. Für die vorliegende Studie ist aber vielmehr der Befund entscheidend, dass die Varianz im Nahbereich deutlich niedriger liegt als bei entfernten Punktpaaren. Dies drückt sich in einem hohen Anteil an räumlich strukturierter Varianz aus ($SV = 82\%$). Der Stickstoffvorrat auf der BDF Altdorf zeigt dagegen einen Verlauf einer Optimumkurve mit maximaler Varianz in einem mittleren Abstandsbereich und wiederkehrenden Ähnlichkeit der Messwerte (Abb. 6.10b, Seite 155). Dies könnte beispielsweise durch regelmäßig Bestandslücken in einem Abstand von etwa einer halben Baumlänge herrühren, die in einer entsprechenden Streuverteilung und N-Vorratshaltung resultieren. In diesem Fall liegt die Varianz im Nahbereich bei ca. 40 % der Gesamtvarianz.

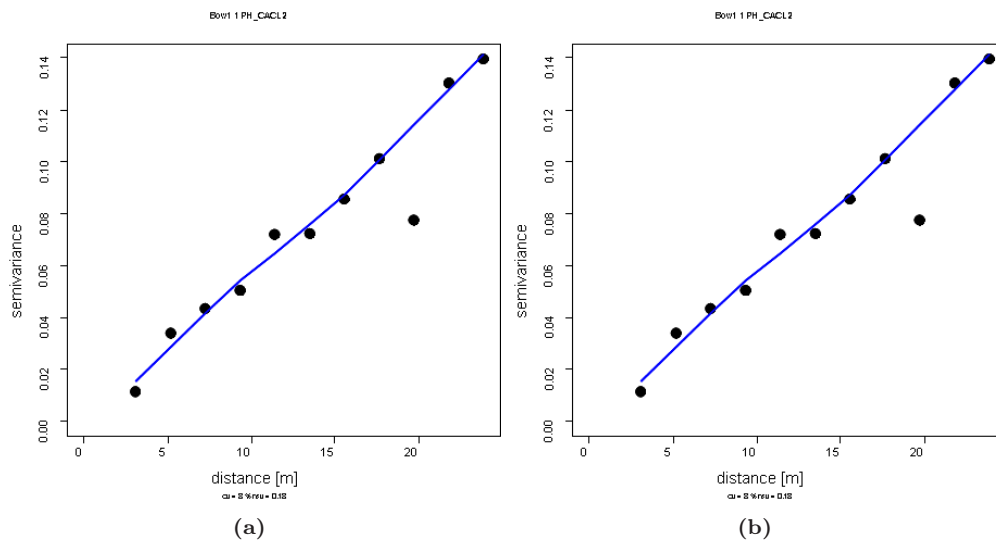


Abbildung 6.10: Beispiele von Variogrammen mit signifikanten räumlichen Korrelationen (Moran Test: $p < 0.05$).

Diese Beispiele zeigen, dass der Informationsgehalt des verwendeten Variogrammkennwerts (SV) höher ist als die des räumlichen Korrelationskoeffizienten. Deshalb wurde im weiteren bevorzugt die Ergebnisse der SV dargestellt.

6.1.3.3 Variabilität der Bodenparameter

Die geostatistische Meta-Analyse anhand von Variogrammen zeigt, dass die Bodenparameter offenbar in den meisten Fällen einer deutlichen räumlichen Struktur unterliegen (Abb. 6.11, Seite 156). Die Meta-Analyse auf der Basis der Nachbarschaftsmatrix weist dagegen in nur 25 % der untersuchten Fälle signifikant ($p < 0,05$) räumliche Korrelationen aus. Die Schätzung der Semivarianzen ist daher nicht sehr sicher und sollte lediglich semiquantitativ interpretiert werden. Unter dieser Einschränkung ist dennoch eine Reihung der Parameter hinsichtlich ihrer räumlichen Abhängigkeit möglich. Unter den BZE-Parametern weist der pH (Salzextrakt) im humosen Oberboden die größten Anteil an räumlich strukturierter Varianz auf. Das C/N-Verhältnis, die BS und die Ake (Humus) sind ebenfalls vergleichsweise stark räumlich korreliert. Die geringsten räumliche Abhängigkeit sind beim Grobboden und den Vorratswerten festzustellen. Im Mineralboden ist die Parameter-Abhängigkeit der räumlichen Beziehungen insgesamt etwas weniger ausgeprägt (nicht dargestellt).

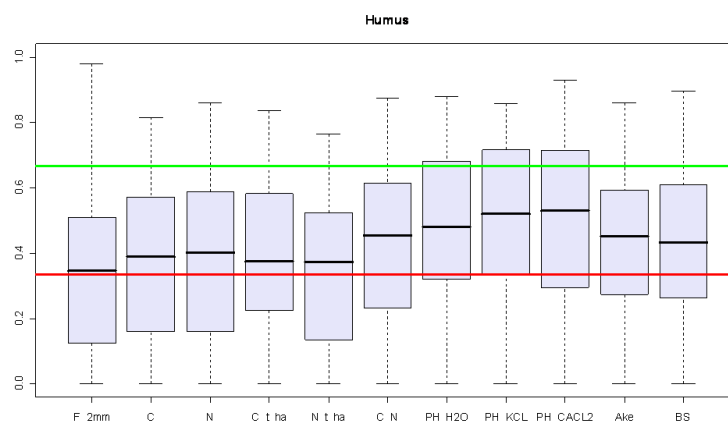
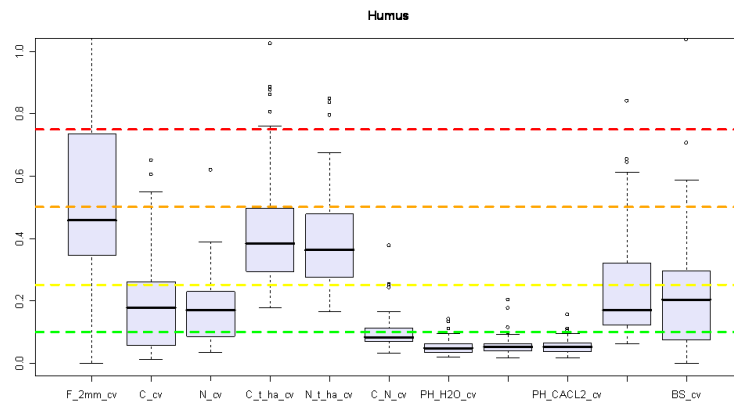


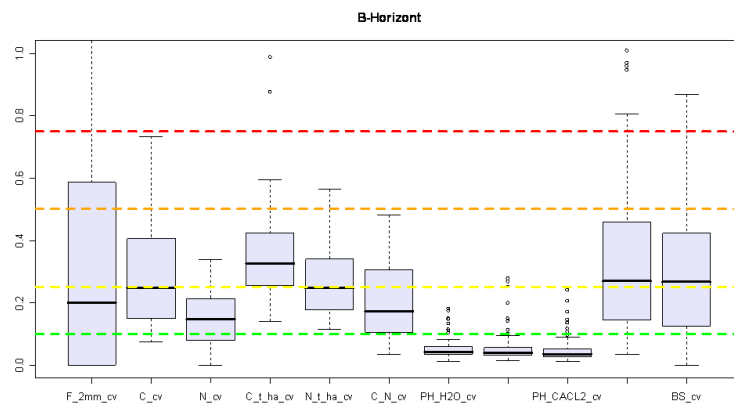
Abbildung 6.11: Räumlich strukturierte Varianz (SV) bei Bodenkennwerten im humosen Oberboden von 33 BDF in Bayern

In Abb. 6.12, Seite 157 ist die Gesamtvariabilität auf den Dauerbeobachtungsflächen normiert als Variationskoeffizient dargestellt. In Anlehnung an BECKET und WEBSTER (1971) wurde der Median der Variationskoeffizienten als Schätzwert der mittleren Streuung verwendet und dient der Herleitung des kritischen Differenz (siehe unten). Die Gesamtvariabilität der verschiedenen Parameter unterscheidet sich wesentlich deutlicher voneinander als dies bei der räumlich strukturierten Variabilität der Fall ist (Abb. 6.11, Seite 156). Im Vergleich zur räumlich strukturierten Variabilität ist ein gegenläufiges Muster der Werte erkennbar. Dies bedeutet, dass bei Parametern mit geringerer Gesamtstreuung im Durchschnitt ein höherer Anteil der räumlich strukturierten Variabilität gefunden wurde.

Die Streuung der Werte von Kohlenstoffgehalt, V-Vorrat, C/N-Verhältnis, Ake und BS nehmen im Mineralboden zu (Abb. 6.12, Seite 157). Die Werte des Grobbodens und des N-Vorrats streuen im B-Horizont dagegen weniger stark als im Humus. Bei den pH-Werten und beim N-Gehalt ist kein sehr deutlicher Tiefengradient der Gesamtvariabilität zu erkennen. Überraschend ist v.a. das vom Kohlenstoff abweichende Muster des Stickstoffs. Beim Kohlenstoff ist die Zunahme der



(a)



(b)

Abbildung 6.12: Variation von Bodenkennwerten (Variationskoeffizient) im humosen Oberboden und im B-Horizont von 33 BDF in Bayern

Variabilität im Mineralboden plausibel, da organische Substanz im Oberboden flächendeckend vorhanden ist, während sie im Mineralboden natürlicherweise sehr viel stärker aggregiert auftritt, v.a. als Wurzelstreu. Das abweichende Muster des Stickstoffs liegt möglicherweise daran, dass N-Mineralisationsprodukte v.a. in wasserlöslicher Form vorliegen und dadurch im Mineralboden offenbar gleichmäßiger verteilt werden als dies bei C der Fall ist.

6.1.3.4 Effekte von Humusform, Standortstyp und Tiefengradient der Basensättigung

Aufgrund der Vielzahl an Ergebnissen können die Resultate dieser Analyse lediglich exemplarisch präsentiert werden. Als Beispiele wurden in Abb. 6.13a, Seite 158 das C/N-Verhältnis und die Basensättigung im Humus herangezogen. Besonders stark ausgeprägt ist die Variation der SV des C/N-Verhältnisses beim mullartigen und typischen Moder. Das mittlere Niveau (Mediane) ist aber relativ einheitlich und zeigt, dass das C/N-Verhältnis generell einer mittleren räumlichen Abhängigkeit unterliegt. Dies gilt im wesentlichen auch für die Variation der SV der Basensätti-

gung, wenn sie nach dem Tiefengradient der Basensättigung klassifiziert wird (Abb. 6.13b, Seite 158). Hier fällt aber der hohe Anteil strukturierter Varianz bei den Karbonatböden (TGBS=1) auf. Offenbar existiert auf diesen Böden ein stark ausgeprägtes räumliches Verteilungsmuster der Basensättigung.

Diese Beispiele stehen stellvertretend für die Vielzahl an Parametern und Stratifizierungsmöglichkeiten. Über den gesamten Datensatz zeigen sich nach Humusform und TGBS nur geringe Unterschiede hinsichtlich der räumlich strukturierten Varianz. Die räumlich strukturierte Varianz von Bodenparametern (SV) variiert innerhalb der verschiedenen Humusformen und TGBS-Klassen meist sehr stark. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind meist nur undeutlich und weisen über die verschiedenen Parameter und Straten keine konsistenten Muster auf.

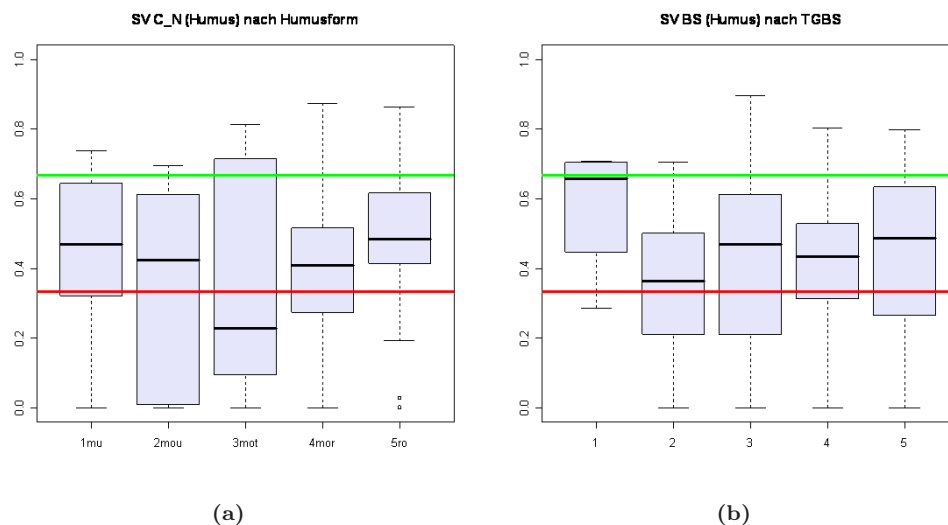


Abbildung 6.13: (a) Räumlich strukturierte Varianz des C/N-Verhältnisses im humosen Oberboden bei verschiedenen Humusformen, (b) Räumlich strukturierte Varianz des Tiefengradienten der Basensättigung (TGBS) bei verschiedenen Humusformen

Der Einfluss der Standortseinheit ist in manchen Fällen deutlicher ausgeprägt. Die SV der Basensättigung (Abb. 6.14a, Seite 159) ist im Mittel bei den Substratgruppen Sand (0), Lehm (2), Feinlehm (3) und Decksand, bzw. -lehm (6) deutlich niedriger als beim lehmigen Sand/sandigem Lehm (1), Ton/Kalkverwitterungslehm (4) und Schichtlehm (8). Es wurde daher untersucht, inwieweit die Effekte der Substratgruppen auf die Bodenart zurückgehen. Ein Einfluss der Textur auf räumliche Abhängigkeit konnte aber ebenfalls nicht nachgewiesen werden (nicht dargestellt).

Auch die vertikalen Muster der räumlichen Abhängigkeit seien am Beispiel der Basensättigung erläutert. Eine deutliche Differenzierung der räumlich strukturierten Varianz über das gesamte Tiefenprofil ist nicht erkennbar (Abb. 6.14b, Seite 159). Obwohl bei manchen Standortseinheiten z.B. bei Ton/Kalkverwitterungslehm (4) im Mittel ein relativ ausgeglichener Verlauf festzustellen ist, streuen die Einzelwerte der untersuchten Profile innerhalb der Standortgruppen sehr stark. Auch bei den übrigen Bodenkennwerten lagen die Verhältnisse sehr ähnlich und es konnte keine gerichtete Abhängigkeit von der Profiltiefe nachgewiesen werden.

Neben der hier dargestellten Ergebnissen der räumlich strukturierten Varianz auf der Basis von robusten Semivarianzschätzungen (modulus estimator) wurden die Einflüsse von Humusform, TGBS und Substrattyp auf die räumlichen Eigenschaften zusätzlich noch an den Daten der entsprechenden konventionellen Semivarianzschätzungen und für den räumlichen Korrelationskoeffizienten (Moran's I) analysiert. Es war jedoch mit keinem der 3 Verfahren möglich, klare und

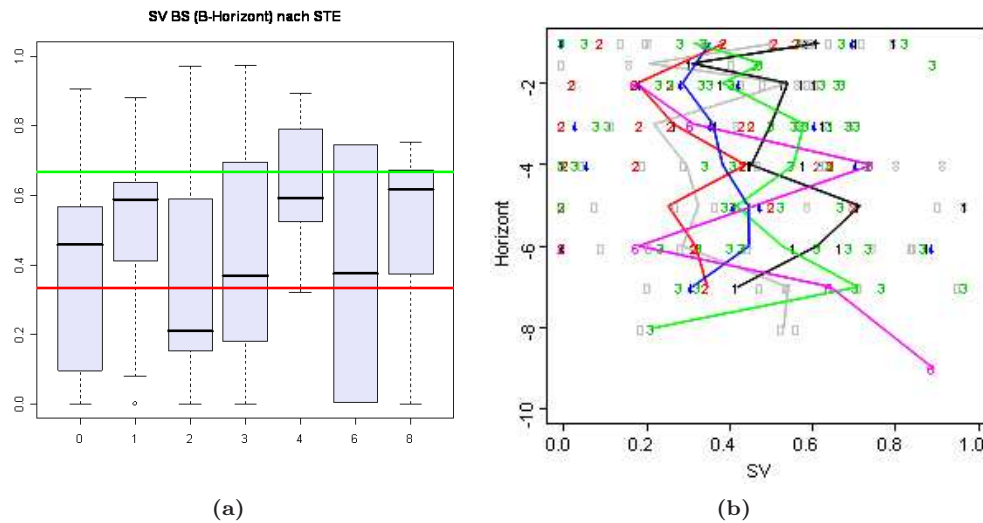


Abbildung 6.14: (a) Räumlich Strukturierte Varianz (SV) der Basensättigung im B-Horizont bei unterschiedlichen Standortstypen (hier: Standortseinheit), (b) Räumlich strukturierte Varianz (SV) der Basensättigung in allen erfassten Horizonten bei unterschiedlichen Standortstypen (hier: Standortseinheit). Grundlage sind die Daten von 33 BDF in Bayern.

durchgängige Abhängigkeiten der räumlichen Verteilung von Bodenparametern von den untersuchten Standortfaktoren abzuleiten.

In dieser Analyse wurde als letzter Schritt der Einfluss von Bodenklassen (nach Humusform und Standortstyp) auf die Gesamtstreuung (Variationskoeffizient, cv) untersucht. Bis auf wenige Ausnahmen ergaben sich auch hierbei keine durchgängigen Beziehungen zwischen den untersuchten Standortstypen und dem cv . Plausible Zusammenhänge ließen sich aber bei der Basensättigung und dem C-Vorrat des Humus herstellen (Abb. 6.15, Seite 160). Die Basensättigung des Humus streut bei Mullböden deutlich weniger als bei allen übrigen Humusformen. Dies ist plausibel, denn die typischerweise hohe Bioturbation auf Mullböden durch die Tätigkeit der Regenwürmer führt zu einer gleichmäßigen Verteilung von Bodenpartikeln. Dies senkt die Bodenheterogenität und führt zu einer geringen Streuung der Basensättigungswerte. Bei der Übergangshumusform, mullartiger Moder, erreicht die Streuung dagegen ein Maximum (Abb. 6.15a, Seite 160). Dies ist ebenfalls plausibel, denn bei diesen Böden liegt typischerweise eine Vergesellschaftung von Humusformtypen im Spektrum Mull (als Mineralbodenhumusform) bis Moder (als Auflagehumusform) vor. Hiermit wäre die hohe Heterogenität bei dieser Übergangs-Humusform ebenfalls schlüssig zu erklären (Abb. 6.15a, Seite 160).

Der C-Vorrat des Humuskörpers (Abb. 6.15b, Seite 160) streut am stärksten bei Sand (0) und lehmigen Sand / sandigem Lehm (1). Während bei den nährstoffreicheren Feinlehm (3) und Kalkverwitterungslehm (4) ein Minimum der Streuung erreicht wird. Dies könnte mit der größeren Homogenität bei feineren Substraten zusammenhängen, die z.T. auf die bereits erwähnte Bioturbation auf den entsprechenden Böden zurückgeht. Da ein Einfluss des Substrattyps auf die Streuung in mehreren Fällen zu beobachten war, wurde der Zusammenhang zwischen Bodentextur und cv an Streudiagrammen analysiert. Es zeigte sich, dass bei einigen Parametern tatsächlich eine Tendenz zu geringeren Streuungen bei höherem Tonanteil zu erkennen ist (Abb. 6.16, Seite 160). Neben den bereits besprochenen Bodenparametern Basensättigung und C-Vorrat tritt dieser Zusammenhang beim C/N-Verhältnis und bei der Ake relativ deutlich in Erscheinung. Die Beziehung ist jedoch auch in diesen Fällen nur sehr schwach ausgeprägt.

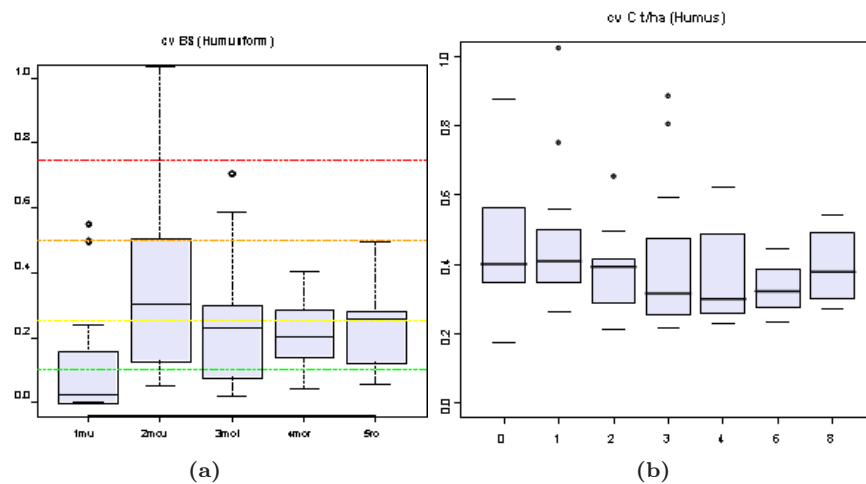


Abbildung 6.15: (a) Räumliche strukturierte Varianz (SV) der Basensättigung im humosen Oberboden bei unterschiedlichen Humusformen, (b) Räumliche strukturierte Varianz (SV) der Basensättigung im humosen Oberboden bei unterschiedlichen Standortseinheiten

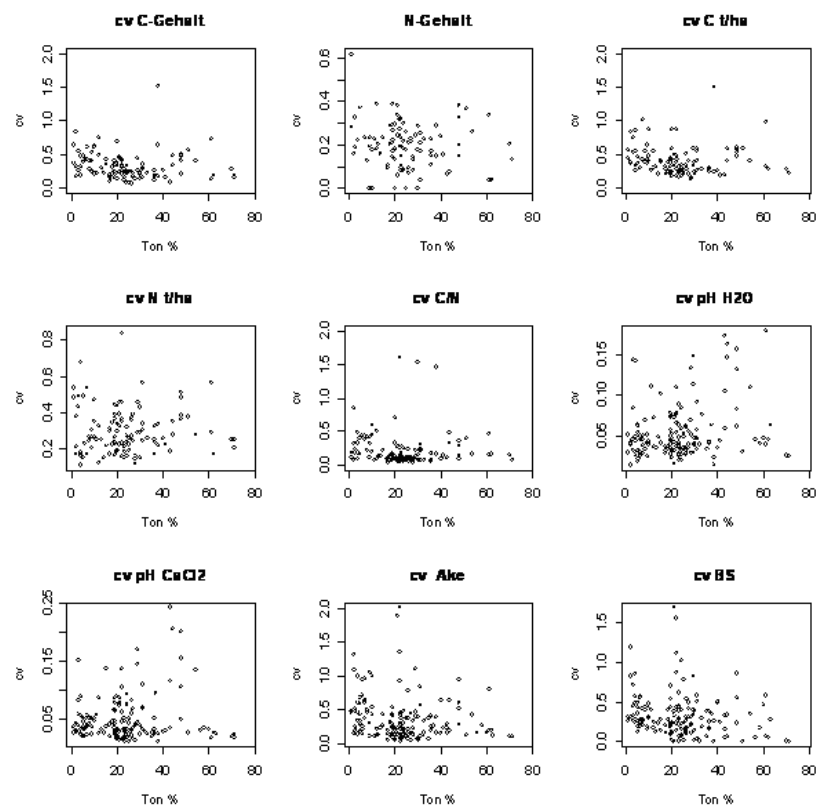


Abbildung 6.16: Variationskoeffizient von wichtigen Bodenkennwerten im Humus in Abhängigkeit vom Tongehalt des Oberbodens

6.1.3.5 Kritische Differenzen

Die kritische Differenz gibt an, welche Änderung zwischen zwei Untersuchungen erfolgen muss, um einen statistischen Nachweis einer Bodenveränderung führen zu können. Sie ist abhängig von der Stichprobengröße und der Streuung der untersuchten Wertepopulation (Abb. 6.17, Seite 161). Bei einem Stichprobenumfang von $N=9$ (Stichprobenumfang der BZE) ist die kritische Differenz direkt proportional zum Variationskoeffizienten. Die in Abb. 6.12, Seite 157 dargestellten Variationskoeffizienten können demnach auch als kritische Differenzen gelesen werden.

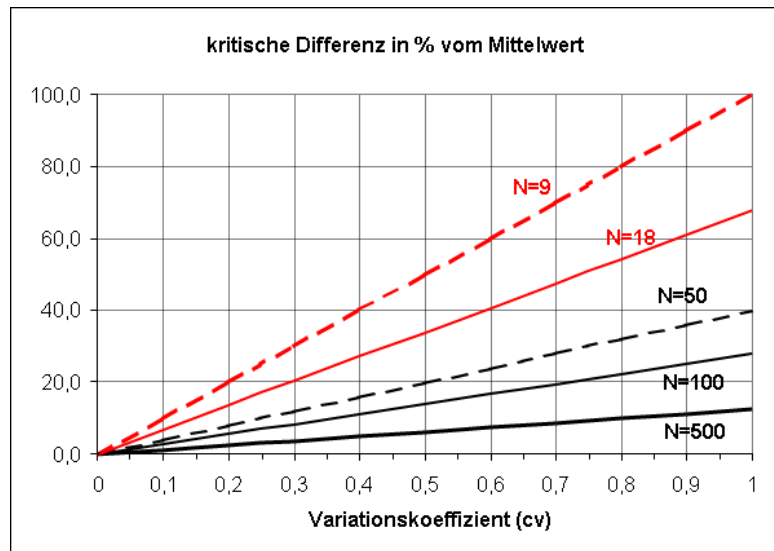


Abbildung 6.17: Kritische Differenzen in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten. Die Linien geben die Werte für verschiedene Stichprobengrößen wider.

Für die kritischen Differenzen ergeben sich die in Tab. 6.4, Seite 162 dargestellten relativen Änderungsraten. Durchschnittswerte werden anhand der Mediane ermittelt. Wie anhand der Perzentile zu erkennen ist, streuen die kritischen Differenzen in einem weiten Bereich. Da keine deutliche Abhängigkeit von standörtlichen Faktoren nachgewiesen werden konnte, ergibt sich für die verschiedenen Bodenparameter eine Rangfolge ohne Berücksichtigung des Standorts. Am niedrigsten liegen die kritischen Differenzen mit ca. 5 - 10 % bei den pH-Werten und dem C/N-Verhältnis (Tab. 6.4, Seite 162, grüner Bereich). Bei den C- und N-Gehalten sowie Ake und Basensättigung ist eine Änderung von ca. 20 % nötig um einen statistischen Nachweis zu führen (Tab. 6.4, Seite 162, blauer Bereich). Die größten Bodenveränderungen sind mit ca. 40 % bei den Vorratswerten und beim Grobbodenanteil erforderlich (Tab. 6.4, Seite 162, roter Bereich).

Die kritischen Differenzen beziehen sich auf die Stichprobe der BZE ($N=9$) und liegen dementsprechend für die BDF ($N=18$) zu hoch. Bei einem Variationskoeffizienten von 0,2 liegt die kritische Differenz bei der BZE-Stichprobe bei 20 %, während bei der BDF-Stichprobe schon eine 14 % Änderung ausreicht, um einen statistischen Nachweis zu führen (Abb. 6.16, Seite 160).

Durch eine Zusammenfassung der einzelnen BDF-Punkte zu Gruppen kann die Nachweisstärke im Rahmen der BZE-Auswertung aber vergrößert werden (Abb. 6.17, Seite 161). Zum Beispiel läge bei einem Variationskoeffizienten von 0,2 die kritische Differenz bei einer Gruppenstärke von $N=100$ nur noch bei 6 %. Allerdings wurde die Gesamtstreuung der Daten durch die Zusammenfassung vieler BZE-Punkte angehoben, was auch die kritische Differenz wiederum ansteigen lässt.

Tabelle 6.4: Kritische Differenzen von Bodenparametern im humosen Oberboden. Datengrundlage sind die mittleren Varianzen (Mediane) der entsprechenden Bodenparameter auf 33 BDF in Bayern

Parameter	5. Per- zentil	25. Per- zentil	Median	75. Per- zentil	95. Per- zentil
pH H_2O	1	3	5	7	11
pH $CaCl_2$	1	4	5	7	11
pH KCl	2	4	5	7	10
C/N-Verhältnis	3	7	8	11	18
N-Gehalt	0	9	17	23	39
Ake	6	12	17	32	61
C-Gehalt	1	6	18	26	55
BS	0	6	21	32	71
N-Vorrat	17	28	37	49	79
C-Vorrat	18	29	39	50	76
Grobboden	0	31	46	73	134

6.1.4 Diskussion

6.1.4.1 Typisierung von Böden nach ihren räumlichen Eigenschaften

In unserer Studie wurde ein einfacher Ansatz zur Typisierung von Böden nach ihren räumlichen Eigenschaften vorgestellt. Es konnten allerdings anhand des BDF-Datensatzes keine klaren Gesetzmäßigkeiten hierfür abgeleitet werden. Die Erwartung in unserer Studie war, dass sich die verschiedenen Standortstypen aufgrund ihrer räumlichen Eigenschaften wenigstens qualitativ einordnen lassen sollten, wenn eine geostatistische Verwandtschaft ähnlicher Standorte bzw. eine größere geostatistische Unähnlichkeit unterschiedlicher Standortstypen vorliegt. Andernfalls wäre jeder einzelne Standort als Unikat mit spezifischen geostatistischen Eigenschaften anzusehen, die sich auch innerhalb eines Standortstyps signifikant voneinander unterscheiden. Die vorliegende Analyse sollte zur Klärung dieser Frage wenigstens Hinweise geben können. In der Tat sind die gefundenen räumlichen Zusammenhänge zu schwach, um einen klaren Standortbezug herzuleiten. Zwar bieten auch die neuere Fallstudien kaum Anhaltspunkte für eine Klassifizierung von Standorten nach ihren räumlichen Eigenschaften. BENS ET AL. (2006); HORNSCHUCH ET AL. (2007) konnten aber signifikante Bewirtschaftungseffekte bzw. Unterschiede von Natur- und Wirtschaftswäldern identifizieren. Für die Aufdeckung dieser Effekte war allerdings ein sehr hoher Aufwand von 50 Proben BENS ET AL. (2006) bzw. 221 Proben mit einem Mindestabstand von 0,4 m erforderlich HORNSCHUCH ET AL. (2007).

Insgesamt sind die Standorteffekte zu erratisch und zu schwach um sie als Hilfsmittel für die Übertragung auf nichtuntersuchte Standorte einzusetzen. Für einen Transfer der Erkenntnisse auf Standortebene hilft auch der Rückgriff auf die Stichprobenvarianz der konventionellen Statistik nicht viel weiter. Zwar deutete sich bei einigen Parametern ein Einfluss der Textur auf die Gesamtvariabilität an. Für ein Übertragung der Kennwerte auf nicht untersuchte Flächen sind die Standorteffekte aber zu gering bzw. nicht sicher genug nachgewiesen.

Die Gründe für das Fehlen von klaren standortabhängigen Mustern in der räumlichen Verteilung der BDF liegen wohl zum einen in der für geostatistische Zwecke schwachen Datenbasis unserer Untersuchung. Wegen der geringen räumlichen Auflösung konnte die mutmaßlich hohe mikroskalige Variabilität auch nicht hinreichend genau erfasst werden. Das Ergebnis der geostatistischen Analyse ist dadurch in hohem Maß von zufälligen Effekten geprägt. Es kommt hinzu, dass der Umfang der bisher verfügbaren Zahl von BDF (33 Flächen) für die Untersuchung von Standortskollektiven nicht sehr groß ist.

6.1.4.2 Räumliche Heterogenität als Problem für die Detektion zeitlicher Änderungen

Neben der Frage nach Gesetzmäßigkeiten bei den räumlichen Eigenschaften kann unsere Studie aber auch generell zum Diskurs über die räumliche Heterogenität als Problem für die Detektion zeitlicher Änderungen beitragen (z.B. PAPRITZ und WEBSTER (1995b); BAERT ET AL. (1998); DEVRIES ET AL. (2000); KIRWAN ET AL. (2005)). Da es sich beim Bodenmonitoring meist um kleine Flächen mit deutlich unter einem Hektar handelt, ist die kleinräumige Variabilität entscheidend für die Unsicherheitsabschätzung. Gerade die Arbeiten zur kleinräumigen Variabilität, auf der m-Skala und darunter, stammen überwiegend aus der jüngsten Zeit (DEURER, 2000; TEICHERT, 2000; KIRWAN ET AL., 2005; SCHÖNING, 2005; HORNSCHUCH ET AL., 2007). Ein wesentliches Ergebnis der jüngeren Studien ist, dass die Korrelationslängen von Bodenparametern sich i.d.R. als kürzer erwiesen haben, als dies aufgrund älter Arbeiten zu vermuten gewesen wäre. Zudem waren der Nuggeteffekt häufig sehr hoch. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde meist eine mittlere räumliche Abhängigkeit (CAMBARDELLA ET AL., 1994) im Bereich zwischen 3 m und maximal 20 m vorgefundenen. Dies zeigt, dass die Korrelation auf der 3 m Skala bereits deutlich ausgeprägt ist, die Variabilität aber – wie bereits angemerkt – räumlich noch nicht vollständig aufgelöst werden kann.

Verbundene oder unverbunden Stichproben? Eine praktisch bedeutsame Frage ist hierbei, ob Erst- und Folgeuntersuchungen bei der BDF bzw. der BZE als verbundene oder unabhängige Stichproben anzusehen sind. Ist eine starke räumliche Autokorrelation von Proben bei Wiederholungsaufnahmen vorhanden, können zeitliche Unterschiede mit einer höheren Trennschärfe und damit mit einer verbesserten Nachweischance untersucht werden. Dieser Zusammenhang wurde anhand des idealtypischen Variogramms in Abb. 6.6, Seite 152 veranschaulicht. Ausserhalb des ranges von ca. 15 m liegt die Varianz im Bereich des Schwellenwerts (sill), hier besteht keine räumliche Autokorrelation. Mit zunehmender Annäherung sinkt die Varianz ab, bis im Nullpunkt der Distanz 100 %ige Autokorrelation erreicht wird, sofern, wie im Beispiel, kein nugget-Effekt vorliegt. Punkte mit einer Entfernung von 3 m weisen nur noch eine Semivarianz von rund 15 % der Varianz von Abständen > 10 m auf. Im gewählten Idealbeispiel ist also bei einer Wiederholungsbeprobung mit einer Distanz von 3 m aufgrund der hohen Autokorrelation mit einer verbundenen Stichprobe zu rechnen. In den meisten Fällen war die räumliche Abhängigkeit jedoch wesentlich weniger stark ausgeprägt und die Variogrammverläufe waren häufig erratisch. Dies belegt auch der Moran Test, bei dem in nur 25 % der untersuchten Fälle signifikant ($p < 0,05$) räumliche Korrelationen. Der Befund eines hohen Anteils räumlich strukturierter Varianz, bei eingeschränkter Stärke der Korrelation impliziert, dass bei einem Abstand von 3 m sowohl verbundene als auch unabhängige Stichproben auftreten können. Inwieweit die höhere Trennschärfe des verbundenen Tests hierbei zum Tragen kommt, hängt von der Korrelation der zum Zeitpunkt t1 und t2 entnommenen Proben ab. Im Fall einer schwachen Korrelation bietet das verbundene Modell keinerlei Vorteile gegenüber dem unabhängigen Verfahren (MELLERT ET AL., 2007a). Für eine konservative Schätzung der kritischen Differenzen wurde daher von einem unverbundenen Stichprobendesign der BZE (Level I-Monitoring) ausgegangen. DEVRIES ET AL. (2000) gingen bei Schätzung der kritischen Differenzen für die Standorte des Europäischen Level II Monitorings ebenfalls von unverbundenen Stichproben aus.

Unsicherheit und kritische Differenzen Vergleicht man die Gesamtvarianz verschiedenen Bodenparameter zeigen sich bei den BDF deutliche Unterschiede. Eine Übertragung der gefundenen Variabilität von BDF-Daten zur Abschätzung der Unsicherheit von BZE-Daten erscheint auf dieser Basis am ehesten möglich zu sein. Angesichts der hohen Schwankungsbreite der Variationskoeffizienten (Abb. 6.12, Seite 157) ist aber auch diese Verallgemeinerung mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet.

Als Maß für die Unsicherheit von Bodenuntersuchungen wird in vielen Publikationen ange-

geben, wie viele Proben für eine sichere Schätzung ($KI = 95\%$; Fehler $\pm 10\%$) eines Bodenkennwerts erforderlich sind. Dabei zeigte sich, dass für eine entsprechend exakte Schätzung in manchen Fällen ein erheblicher Aufwand bestritten werden muss (BAERT ET AL., 1998; LISCHIED ET AL., 1998; KIRWAN ET AL., 2005; SCHÖNING, 2005). Die Streuung und die daraus resultierende Stichprobenumfang erwies sich aber bei verschiedenen Bodenparametern als sehr unterschiedlich. BAERT ET AL. (1998) geben in ihrer Literaturübersicht Stichprobenumfänge von 2 (pH) bis > 300 (austauschbare Kationen) an. Bei Nitrat (LISCHIED ET AL., 1998) und beim Kohlenstoffvorrat (CONANT ET AL., 2003; SCHÖNING, 2005) werden ebenfalls mehrere Hundert Proben als notwendiger Stichprobenumfang genannt. MELLERT ET AL. (2007b) weisen aber auf die große Bedeutung einer Anpassung an die Normalverteilung bei schiefen Verteilungen wie z.B. Nitrat hin, um die nötige Stichprobenzahl zu senken. Eine weitere wichtige Maßnahme zur Senkung der Varianz bzw. der Stichprobenumfänge ist eine Beprobung im Nahbereich innerhalb der Reichweite des beobachteten Parameters (siehe oben).

Da bei unserer Untersuchung eine feste Stichprobengröße vorgegeben war, haben wir die kritische Differenz als Maß für die Nachweischance von Bodenveränderungen auf der Basis der BZE-Stichprobe von $N=9$ berechnet. Nach Streuung und räumlicher Abhängigkeit sinken die Chancen für den Nachweis von Bodenveränderungen im humosen Oberboden in der Reihe pH und C/N-Verhältnis (kritische Differenz = ca. 10%), C+N-Gehalte sowie BS und Ake (kritische Differenz = ca. 20%), Vorräte und Grobboden (kritische Differenz $\geq 30\%$). Laut Literaturangaben nimmt die Variabilität von Parametern im humosen Oberboden ebenfalls in dieser Reihe zu (BAERT ET AL., 1998; KIRWAN ET AL., 2005), wobei das Ranking von C+N-Gehalte auf der einen und von BS und Ake auf der anderen Seite nicht ganz sicher erscheint. JANDL (1998) kalkulierten aus Messdaten und Simulationen, dass mit einer Stichprobe von 10-15 Proben eine 20% Bodenveränderung bei pH, C/N-Verhältnis und Basensättigung nachgewiesen werden kann. Laut SCHÖNING (2005) müssten sich die C-Vorräte im Oberboden dagegen um 75% steigern, um einen statistischen Nachweis zu führen.

Bemisst man die kritische Differenz an den zu erwartenden Änderungsraten in 20 Jahren kann die Nachweischance für den Zeitraum der BZE I/BZE II-Wiederholungsbeprobung abgeschätzt werden (MELLERT ET AL., 2007a). Nach Literaturrecherchen und Datenanalysen kann am unteren Ende der Versauerungsfront eine weitere pH-Wert Abnahme um ca. $0,2$ pH Einheiten angenommen werden, sofern diese im Austauscherpufferbereich liegen. Sowohl im Karbonat als auch im Aluminiumpufferbereich und darunter sind dagegen aufgrund des großen Pufferpotential keine Änderungen zu erwarten. Im humosen Oberboden sind dagegen je nach Situation auch Zunahmen des pH-Wertes von $0,3$ bis $0,5$ pH-Wert Einheiten möglich. Die potentielle Abnahmerate der Basensättigung in diesem Zeitraum liegt in einer Größenordnung von ca. $5 - 10\%$. V.a. für Standorte mit intermediären bis inaktiven Humusformen, bei tiefgründig versauerten Standorten und mit Einschränkung auch für Standorte mit hohen Staubeinträgen, Düngung oder Kalkung herrscht ein für einen statistischen Nachweis relativ günstiges Signal/Rauschen Verhältnis (MELLERT ET AL., 2007a). Untersuchungen von PRIETZEL ET AL. (2006) an 2 Standorten zeigen, dass innerhalb der letzten Jahrzehnte eine beträchtliche Bodenversauerung stattgefunden hat, welche auch bei geringen Wiederholungszahlen ($N=12$) statistisch absicherbar ist. Auch die infolge anhaltend hoher N-Einträge zu erwartende N-Akkumulation von ca. 100 bis 400 kg N/ha in den letzten 20 Jahren dürfte in vielen Fällen statistisch absicherbar sein (MELLERT ET AL., 2007a). Anhand des C/N-Verhältnisses dürfte die N-Anreicherung ebenfalls in vielen Fällen nachweisbar sein. Dies konnte PRIETZEL ET AL. (2006) an seinen Fallbeispielen bereits zeigen. Problematischer ist nach den Schätzungen der vorliegenden Studie mit einer kritischen Differenz von 40% der Nachweis von Kohlenstoffvorratsänderungen. Dies Einschätzung wird durch empirische Studien ebenfalls belegt (SCHÖNING, 2005; PRIETZEL ET AL., 2006; MELLERT ET AL., 2007a).

Summa summarum spiegeln sich die Erkenntnisse aus der BDF-Analyse in den Resultaten der publizierten Fallstudien. Der Mehrwert der vorliegenden Analyse gegenüber den bisher publizierten Arbeiten besteht aber darin, dass eine homogene und für die Verhältnisse der BZE adäquate Datenbasis verwendet wurde. Dies bietet eine größere Sicherheit für die Quantifizierung

der statistischen Eigenschaften der verwendeten Bodenkennwerte. Die verbleibenden Unsicherheiten weisen auf den Forschungsbedarf in diesem Bereich hin. Es besteht insbesondere ein Bedarf an kleinräumigen Bodenuntersuchungen (Mindestabstand ≤ 1 m) mit konsistentem Design, ausreichender Stichprobenzahl ($N \geq 50$), die zumindest flächenmäßig bedeutendsten Standortstypen in Deutschland enthält. Wie im nächsten Abschnitt dargestellt wird, böten ergänzende Untersuchungen auf bereits etablierten Monitoringflächen, z.B. auf bayerischer Bodendauerbeobachtungsflächen, eine gute Ausgangsbasis hierfür.

6.1.4.3 Verbesserungsmöglichkeiten in den Probenahmedesigns

Die geostatistische Betrachtung der Programme von BDF und BZE erlaubt auch eine Beurteilung des Probenahmedesigns und die Ableitung von Empfehlungen. Wie die geostatistischen Parameter zeigen, wurde beim Beobachtungsabstand der BDF von 3 m häufig redundante, weil korrelierte Information erfasst. Flächenrepräsentativer und effizienter hinsichtlich der Erfassung der Gesamtvarianz wäre eine gleichmäßigere Abdeckung bei größerem Abstand der Punkte (WEBSTER und OLIVER, 1990). Für eine Wiederholungsbeprobung erscheint die Distanz von 3 m jedoch ein guter Kompromiss zu sein, da bei dieser Distanz meist eine räumliche Korrelation vorhanden ist, die Entfernung aber dennoch groß genug ist, um außerhalb einer Störung durch die Beprobung des Nachbarpunktes zu liegen.

Für die zeitliche Beobachtung von Böden mit kleiner Stichprobe empfehlen PAPRITZ und WEBSTER (1995b) eine stratifizierte Zufallsstichprobe mit 2 Stichprobenpunkten per Stratum. Der Vorteil gegenüber den von BZE und BDF verwendete Verfahren läge auch in der guten räumlichen Abdeckung dieses Verfahrens. Es ließe sich im Rahmen der BDF mit der Stichprobe von 18 Punkten bei einer Unterteilung der Fläche in 9 Teilplots erreichen. Für die BZE-Stichprobe von $N=9$ wäre dann aber keine Wiederholung pro subplot mehr möglich. Ein weiteres Problem ist, dass die Abstände beim BDF-Verfahren bei der Wiederholungsbeprobung unterschiedlich groß, sind da die Kreuztransekte zu diesem Zweck verdreht werden. Besser wäre ein konstanter Abstand, der etwa durch eine Parallelverschiebung des Transekts erreicht werden könnte.

Die Eignung der BDF als Modellböden für die Erfassung parameter- und standortspezifischer Variabilitätseigenschaften könnte durch entsprechende Maßnahmen verbessert werden. Für diese Zielsetzung könnten auf den BDF in den 4 Dreiecksflächen zwischen den Transekt-Schenkeln (Abb. 2 a) zusätzliche Proben, in einem genesteten Design mit einer besseren Abdeckung kurzer Distanzen (≤ 1 m) entnommen würden (WEBSTER und OLIVER, 1990). Auf diese Weise könnten BDF-Untersuchungen zur Kenntnis der kleinräumigen Variabilität von Böden weiter ausgebaut werden.

Mangels geeigneter kleinräumiger Untersuchungen muss die Abschätzung von Effekten der unterschiedlichen Probenahmedesigns der verschiedenen Bundesländer auf der Basis simulierter Felder vorgenommen werden Kapitel 7. Zur Fehlerschätzung werden hierbei zweidimensionale Zufallsfelder erzeugt, die in ihren Eigenschaften realen Böden ähneln (WEBSTER und OLIVER, 1992; PAPRITZ und WEBSTER, 1995b). Auf diese Weise kann die Unsicherheit bei definierten räumlichen Eigenschaften von Böden präzise quantifiziert werden. Dies ist aufgrund fehlender Studien mit sicherer Datenbasis ($N > 100$; (WEBSTER und OLIVER, 1992)) im Moment der einzige Weg, um unterschiedliche Probenahmedesigns auf verschiedensten Böden zu testen.

6.1.5 Synopsis und Schlussfolgerungen

Insgesamt muss festgestellt werden, dass keine klaren Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Korrelation aus den untersuchten BDF-Daten abgeleitet werden konnten. Eine räumliche Abhängigkeit konnte nur in rund 25 % der Fälle nachgewiesen werden. Eine Zuweisung von bestimmten räumlichen Verteilungseigenschaften zu den betrachteten Standortstypen ist auf dieser Grundlage kaum möglich. Der künftige verfügbare BDF-Datensatz (78 Flächen) bietet jedoch deutlich bessere Chan-

cen mögliche Zusammenhänge aufzudecken. Durch geeignete Klassifikation könnten sich u.U. doch Typen ähnlicher räumlicher Eigenschaften bilden lassen.

Während die Ergebnisse zur räumliche Abhängigkeit vage bleiben, zeigte sich bei den verschiedenen Bodenparameter aber ein deutlich unterschiedliches Variationsniveaus (cv). Aufgrund der mittleren Variation konnte eine Parameter-spezifische Fehler mit entsprechender Unsicherheit geschätzt werden. Dieser Fehler kann als Anhalt für die Streuung der bei der BZE ermittelten Mischproben-Mittelwerte dienen und dient somit als Eingangsgröße in das Fehlerbudget der BZE II (BFH 2008). Darüber hinaus kann über die kritischen Differenzen eine Aussage darüber getroffen werden, bei welchen Parametern ein Nachweis einer zeitlichen Bodenveränderung durch Vergleich von BZE I und II Ergebnissen erbracht werden kann. Gemessen an den zu erwartenden Änderungsraten (Signalstärken) von Bodenveränderungen, ergeben sich für das C/N-Verhältnis und den N-Vorrat gute Chancen auf einen statistischen Nachweis der N-Akkumulation (MELLERT ET AL., 2007a). Für einen Nachweis der fortschreitenden Bodenversauerung anhand pH und Basensättigung stehen die Chancen auch nicht schlecht. Große Schwierigkeiten sind dagegen beim Nachweis einer Kohlenstoffakkumulation im Wald zu erwarten.

6.2 Variabilität von Nitrat in einem südbayerischen Waldgebiet

Karl Heinz Mellert, Terinka Baldwin, Christian Kölling

6.2.1 Fragestellung und Methode

In diesem Abschnitt werden die für die BZE relevanten Ergebnisse aus mehreren Studien (KÖLLING, 2002; MELLERT und KÖLLING, 2006; MELLERT ET AL., 2008) kurz zusammen gefasst. MELLERT ET AL. (2008) untersuchten Implikationen der kleinräumigen Variabilität von Nitrat für die Bewertung des N-Status von Wäldern. Im Rahmen des HS-Projekts wurde eine Studienarbeit am Institut für Statistik der LMU München (Prof. Helmut Küchenhoff) auf dieser Datenbasis erstellt (BALDWIN, 2007), welche den Ansatz von MELLERT ET AL. (2008) insbesondere um die zeitliche Komponente erweitert. Die Arbeit von Frau Baldwin ist im Anhang enthalten. Weitere Details sind den o.g. Studien zu entnehmen. Der Datensatz entstammt einer Wassereinzugsgebietsstudie aus Südbayern, die vom Bayerischen Ministerium für Landwirtschaft und Forsten finanziert wurde.

Auf der kleinräumigen Skala wurde die Nitratkonzentration im Sickerwasser in einem ca. 50-jährigen Fichtenbestand in einem Abstand minimal von 0,5 m bis maximal 80 m erfasst. In einem faktoriellen Ansatz untersuchte KÖLLING (2002) Effekte der Durchforstung (Hieb, Reisigakkumulation). Die kleinräumige Intensivuntersuchung wurde von einer großräumigen Flächeninventur im Rothschwaiger Forst in Beobachtungsintervallen von 15 m bis knapp 5 km flankiert (MELLERT und KÖLLING, 2006). Die Wälder im Gesamtgebiet sind gleichförmige Fichtenbestände (40-60 a) auf Niederterrassenschotter. BALDWIN (2007) untersuchte die Effekte der experimentellen Durchforstung und von klimatischen Parametern unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Interaktion mit Hilfe einer Geoadditiven Regression (Generalized Additive Model, GAM).

Als grundlegend für die BZE wurden folgende Fragen untersucht:

- Welche statistische Verteilungsform (Häufigkeitsverteilung) liegt vor?
- Mit welcher Unsicherheit ist eine Stichprobe von 9 pro Inventurpunkt verbunden?
- Liegt eine räumliche Abhängigkeit vor oder sind die Nitratwerte zufällig verteilt?
- Wie hoch ist die Varianz im Nahbereich?
- Wie groß ist die Reichweite (Range) von Nitrat?

Der Datensatz bot zudem die Möglichkeit, weitere Fragestellungen zu untersuchen, die bei der Inventur eines hochvariablen Bodenparameters, wie der Nitratkonzentration, von besonderer Bedeutung sind:

- Welche Gesamtfläche kann der Probekreis repräsentieren?
- Wie steht es um die zeitliche Gültigkeit einer einmaligen Stichprobe?

6.2.2 Ergebnisse

Häufigkeitsverteilung Die Nitratkonzentrationen erwiesen sich als nicht normalverteilt. In Abb. 6.18, Seite 168 ist die Nitratkonzentration im gesamten Untersuchungsgebiet dargestellt. Eine gute Anpassung an die Normalverteilung wurde mit einer Quadratwurzeltransformation erreicht. WEBSTER und OLIVER (2001) empfehlen die Wurzeltransformation als alternative Transformation

zur log-Transformation, wenn die Schiefe weniger stark ausgeprägt ist. So gesehen liegt die Häufigkeitsverteilung der Nitratkonzentration im Untersuchungsgebiet zwischen der Normalverteilung und der Log-Normalverteilung.

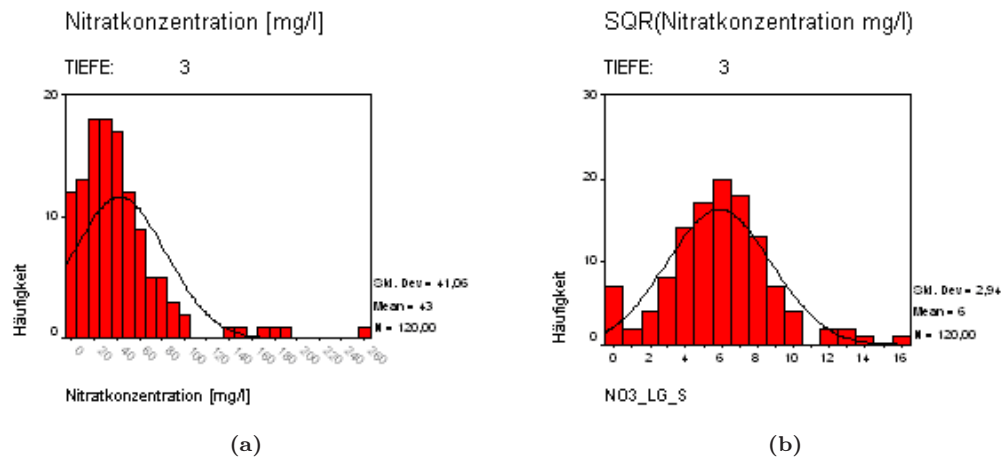


Abbildung 6.18: Histogramme der Originaldaten (a) und wurzeltransformierten (b) Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung im Rothschaiger Forst

Ein weiteres Problem der nicht transformierten Nitratwerte ist ihre Heteroskedazität. Bei Heteroskedazität steigt die Varianz proportional zu den Mittelwerten an. D. h. es besteht eine Abhängigkeit zwischen der Varianz und der Größe der gemessenen Werte, der sogenannte Proportionalitätseffekt. Während normalverteilte Datensätze fast immer homoskedastisch sind, haben lognormalverteilte Datensätze ganz überwiegend einen deutlichen Proportionalitätseffekt (ISAACS und SRIVASTAVA (1989), S. 50, zitiert in GRAMS (2000)). Auch aus diesem Grunde ist die Analyse anhand transformierter Nitrat-Daten von Vorteil.

6.2.2.1 Konfidenzintervall

Eine Beschreibung der Abhängigkeit des Konfidenzintervalls von der Stichprobe bietet Abb. 6.19, Seite 169. Je nach Datengrundlage (Original- oder normalisierte Daten) werden die Verteilungsparameter (Mittelwerte und 95 %-Konfidenzintervall) unterschiedlich beschrieben. Die Konfidenzintervalle der Originaldaten sind symmetrisch angeordnet. Die, v.a. durch hohe Extremwerte verursachte, starke Streuung und die Symmetrieannahme lässt die Untergrenze des Konfidenzintervalls bei sehr geringer Stichprobengröße sehr tief absinken. Die inadäquate Beschreibung der Daten durch Annahme einer Normalverteilung kann daher besonders bei einer Überprüfung von Schwellenwertüberschreitungen bei kleiner Stichprobe nachteilig sein. Die aus den normalisierten Daten rücktransformierten Nitratkonzentrationen spiegeln dagegen die rechtsschiefe Grundgesamtheit wieder. Wie Abb. 6.19, Seite 169 zeigt, sind aus Wurzeltransformationen rückgerechnete Mittelwerte robuster gegenüber Extremwerten und korrespondieren eher mit dem Median der ursprünglichen Verteilung als mit ihrem Mittelwert, z.B. CHRISTENSEN (1996). Der Einsatz normalisierter Daten erbringt folglich neben der Anwendungsmöglichkeit parametrischer Verfahren und der Anpassung des Konfidenzintervalls den Vorteil einer robusteren Schätzung.

Beide Parameterschätzungen verdeutlichen den Einfluss der Stichprobengröße für die Sicherheit. Bei der Stichprobengröße der BZE (N=9) umspannt das Konfidenzintervall von Nitrat 37 % bis 163 % des Mittelwertes bei Verwendung der Originaldaten. Durch Wurzeltransformation ergibt sich auf nach Rücktransformation ein Konfidenzintervall von 45 % bis 177 %.

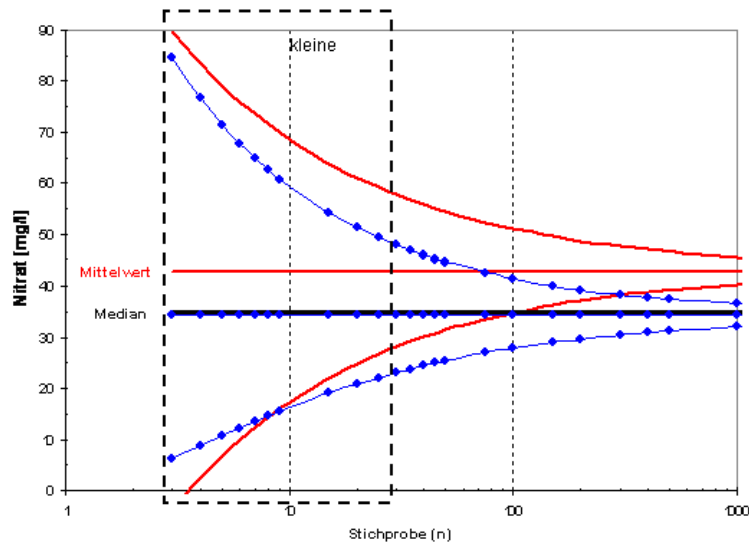


Abbildung 6.19: 95 %-Konfidenzintervalle der Nitratkonzentration im Unterboden des Rothschaiger Forstes in Abhängigkeit von der Stichprobengröße. Originaldaten = fette durchgezogene Linie, Wurzeltransformierte Daten = dünne gepunktete Linie

6.2.2.2 Räumliche Abhängigkeit

Die Nitratkonzentrationen folgen, wie oben beschrieben, nicht der Normalverteilung und sind heteroskedastisch. Dieser Punkt muss bei der Berechnung der empirischen Variogramme berücksichtigt werden. Dazu wird der Schätzer von CRESSIE und HAWKINS (1980) benutzt. Dieser ist robust gegenüber Ausreißern, aber nicht erwartungstreu. Zusätzlich zur Normalverteilungsannahme wurde die Annahme der Stationarität überprüft. An jedem Erhebungszeitpunkt wurde ein linearer und ein quadratischer Zusammenhang zwischen der Nitratkonzentration und den Koordinaten formuliert. Die resultierenden Graphiken zeigten kaum Unterschiede, somit konnte von Stationarität ausgegangen werden.

Mittels KQ-Schätzung wurden verschiedene theoretische Variogramm-Modelle gefittet. Den besten optischen Fit liefert die exponentielle Korrelationsfunktion (Abb. 6.20a, Seite 170). Die Gültigkeit des Variogrammmodells wurde mit Hilfe von sogenannten 'Envelopes' überprüft. Für diese Streuungsbänder wurden jeweils 99 Simulationen durch Permutation der Daten erzeugt und das empirische Variogramm dieser Simulationen berechnet. Das Streuungsband gibt die Variabilität des Variogramms wieder. Man erkennt an Abb. 6.20b, Seite 170, dass das Modell mit Korrelationsstruktur besser passt als das ohne räumliche Korrelation. Vor allem im Kurzdistanzbereich wird es der räumlichen Streuung eindeutig besser gerecht. Dies bestätigt, dass im Nahdistanzbereich eine räumliche Korrelation existiert. Die Annahme einer zufälligen Verteilung der Nitratkonzentration über den Raum ist dagegen nicht zutreffend.

Dem Modell zufolge beträgt die Reichweite (Range) 5,4 m und der Nuggeteffekt 42 % des sill. Im Nahbereich von ca. 2 m beträgt die Varianz ca. 50 % des sill. Dies bedeutet, dass bei einer Wiederholungsbeprobung in diesem Bereich eine Varianzabsenkung um 50 % erreicht werden kann. Zwar entspricht dieser Abstand dem Design der BZE 2 Wiederholungsbeprobung, angesichts der hohen zeitlichen Variabilität von Nitrat ist es jedoch höchst fraglich, ob dieser Effekt genutzt werden kann. Eine Varianzabsenkung im Nahbereich wäre bei der BZE nur dann zu erwarten, wenn die räumlichen Korrelationsmuster über sehr lange Zeit stabil blieben. Die Frage der zeitlichen

Gültigkeit einer einmaligen Stichprobe wird weiter unten untersucht.

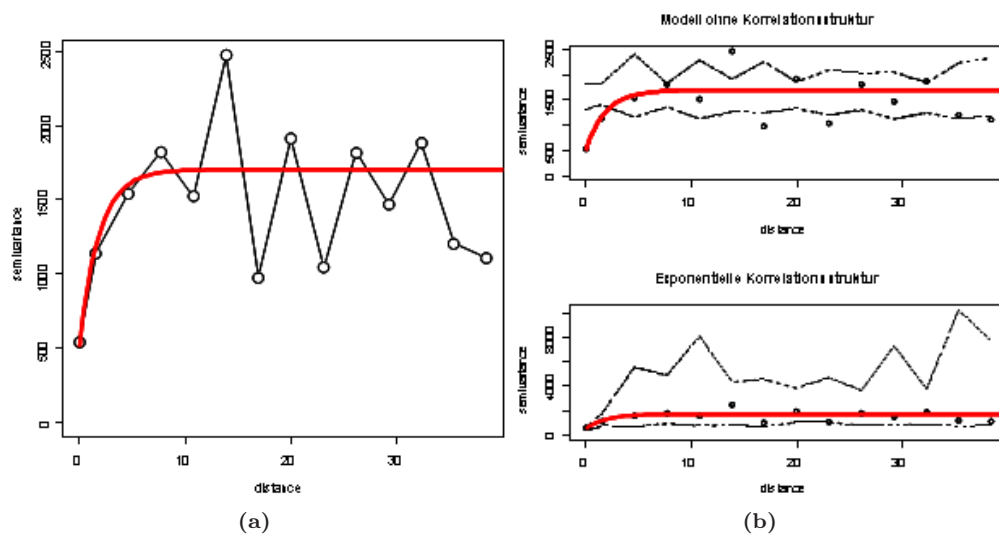


Abbildung 6.20: Variogramm der Nitratkonzentration im Rothschaiger Forst auf der kleinräumigen Skala, aus BALDWIN (2007)

Wir kommen nun zur Frage, welche Gesamtfläche der Probekreis repräsentieren kann. In Abb. 4 ist die kleinräumige Varianz der Nitratkonzentration der großräumigen Varianz gegenüber gestellt. Das mittlere Varianzniveau wurde durch eine nichtparametrische Regressionskurve (lowess-Funktion) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Niveaus der Semivarianzen auf beiden Skalen (large scale Abb. 6.21a; small scale Abb. 6.21b, Seite 171) nahezu identisch sind. Dies bedeutet, dass die Varianz eines größeren homogenen Gebiets bereits anhand einer kleinräumigen Untersuchung grob eingeschätzt werden kann.

6.2.2.3 Zeitliche Gültigkeit einer einmaligen Stichprobe

Aufgrund der hohen zeitlichen Variabilität kann der Nutzen von Daten einer Nitratinventur generell hinterfragt werden. Von grundsätzlicher Bedeutung ist daher die Frage, ob die Nitratkonzentration in Waldböden einer höheren räumlichen oder die zeitlichen Variabilität unterliegt. Hierzu wurden die Daten mit Hilfe einer Geoadditiver Regression untersucht (Abb. 6.22, Seite 172). Die Modellgüte wird mit dem Generalized Cross Validation (GCV)-Kriterium ermittelt. Ein niedriges GCV spricht für ein gutes Modell. Bei der Betrachtung der Gesamtperiode besitzt das Modell mit beiden Einflussgrößen das niedrigste GCV. Somit besitzen sowohl der Raum als auch die Zeit einen Einfluss auf die Nitratkonzentration. Die Differenz im GCV zwischen Raum-Zeit-Modell und Raum-Modell ist deutlich größer als zwischen Raum-Zeit-Modell und Zeit-Modell. Der Zeiteffekt auf die Nitratkonzentration ist demzufolge stärker als der Raumeffekt, da sein Weglassen zu einer stärkeren Verschlechterung der Modellgüte führt. Betrachtet man die beiden Perioden getrennt voneinander ergibt sich ein umgekehrtes Bild. Der Raumeffekt auf die Nitratkonzentration ist stärker als der Zeiteffekt.

Mit Hilfe der geoadditiven Regression konnten auch die Form der Zeit- und Raumeffekte getrennt dargestellt werden, siehe BALDWIN (2007). Während in der ersten Periode saisonale Zeiteffekte extrahiert werden konnten, zeigte sich in der 2. Periode ein steigender Trend der Nitratkonzentration. Die räumlichen Effekte zeigten dagegen eine randliche Störung in der Nachbarschaft zu einem „Käferloch“ in der 1. Periode. In der 2. Periode variiert die Response-Surface der Nitratwerte stärker und bildet das höhere Wertenniveau ab.

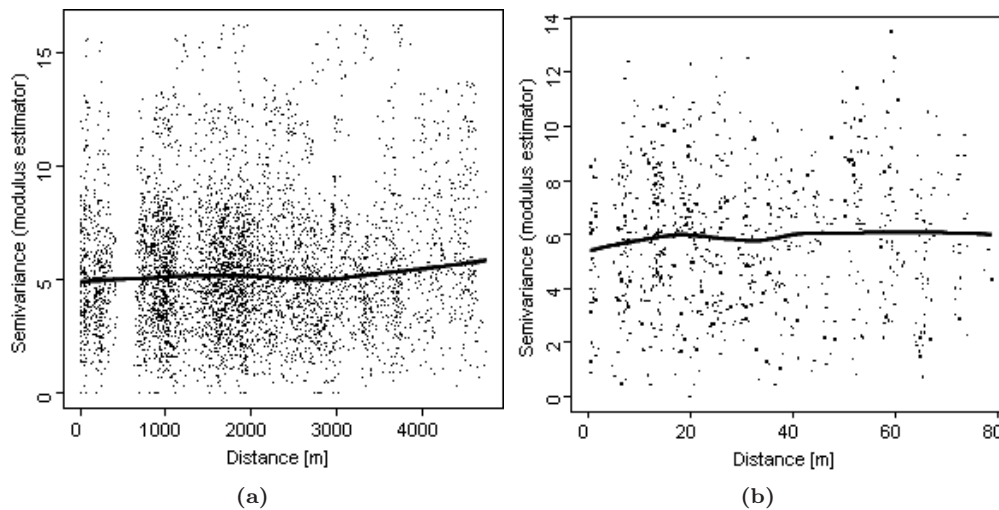


Abbildung 6.21: Variogrammwolken der Nitratkonzentrationen in mg/l der kleinräumigen (a) und der großräumigen Untersuchung (b) im Rothschwaiger Forst mit angepasster nonlinearer Lowess-Funktion

Dieses Beispiel zeigt, dass bei kürzeren Beobachtungsperioden (ca. 1-2 Jahre) und wenn die Umwelt-Bedingung im Wald relativ konstant bleiben, die räumliche Variabilität im Vergleich zur zeitlichen den weitaus größeren Anteil der Gesamtvarianz erklärt (Modelle für die 1. und 2. Periode). Ändern sich die Bedingungen, wie in unserem Fall durch forstliche Eingriffe und den extremen Sommer 2003, ändern sich auch die zeitlichen Muster sehr stark. Eine räumliche Betrachtung kommt dann ohne eine zeitliche Wiederholung nicht mehr aus.

6.2.3 Fazit

1. Die Fläche des BZE-Probekreises kann in homogenen Waldgebieten große Flächen repräsentieren.
2. Angesichts der hohen Streuungen sind die Ergebnisse beim Nitrat mit einem hohen Fehler verbunden (KI ca. 30-180)
3. Durch Beprobung im Nahbereich lässt sich die Varianz um ca. 50
4. Die einmalige Beprobung liefert mehr als nur einen Tageswert und kann über Monate auf einem relativ stabilen Niveau bleiben.
5. Über mehrere Jahre hinweg ändert sich die räumliche Struktur von Nitrat aber sehr stark.
6. Aus der Analyse der Nitrat-Daten können für die Simulation folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:
 - Der Range von Nitrat fällt in die Variante des mittleren Ranges (6 m)
 - Der Nugget liegt ebenfalls im mittleren Bereich (42 %)
 - Die Häufigkeitsverteilung von Nitrat tendiert zu Log-Normal

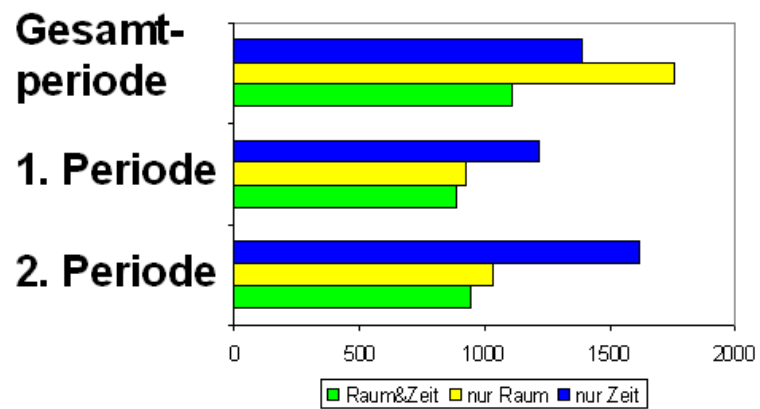


Abbildung 6.22: Modellgüte (GCV[Generalized Cross Validation]-Kriterium) der Geoadditiven Regression zur Ermittlung der Raum und Zeit-Effekte von Nitrat

Kapitel 7

Simulationen zum Einfluß des Probennahmedesigns

Karl Heinz Mellert, Gernot Rücker

7.1 Einleitung

Ziel des Teilvorhabens ist es, den Einfluss verschiedener Probenahmeverfahren auf den Schätzfehler von Bodenparametern zu untersuchen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei der Einfluss der kleinräumigen Variabilität auf die Schätzergebnisse. Aufgrund der Vorzüge von Simulationsmodellen und den gegebenen Datenengpässen wurde die Auswirkung der kleinräumigen Variabilität anhand von simulierten Zufallsfeldern untersucht. Es wurden Felder mit typischen räumlichen Eigenschaften von Bodenparametern generiert. Die zugrunde liegenden Charakteristika wurden aus der Literatur und den eigenen Datenauswertungen der Kapitel 4, 5 und 6 abgeleitet (Abbildung 7.1).

Mit Hilfe von Simulationsläufen wurden diverse Probenahme-Schemata getestet und hinsichtlich ihres Fehlers bei der Mittelwertschätzung bewertet. Für die Formulierung der zu untersuchenden Szenarien wurden zunächst räumliche Eigenschaften zu Grunde gelegt, die in der Literatur beschrieben sind. Diese Szenarien wurden über die in den TP2, TP3 und TP4 ermittelten räumlichen Eigenschaften von Böden in Deutschland angepasst. Hierzu wurden die Ergebnisse dieser Teilprojekte in einer Meta-Analyse untersucht. Der präsentierte Untersuchungsansatz zum Einfluß des Probennahmedesigns testet v.a. den Einfluss der räumlichen Anordnung von Bodenproben bei den verschiedenen Probenahmeverfahren. Der Effekt der Stichprobengröße geht über die unterschiedliche Stichprobenanzahl bei den verschiedenen Probenahmeverfahren in die Untersuchung ein. Durch Monte-Carlo-Simulationen verschiedener Probenahme-Designs auf den generierten 2D-Feldern wurde ein Varianzexpansionsfaktor (VEF) abgeleitet. Der VEF findet Eingang in das Fehler-Budget der BZE (siehe Kapitel 8).

7.2 Methode

Die ursprünglich geplante Verwendung von kleinräumigen Bodenuntersuchungen als Basis für die Erstellung von Modellböden stieß auf folgende Probleme:

- Die wenigen in Deutschland verfügbaren kleinräumigen Bodenuntersuchungen sind kaum

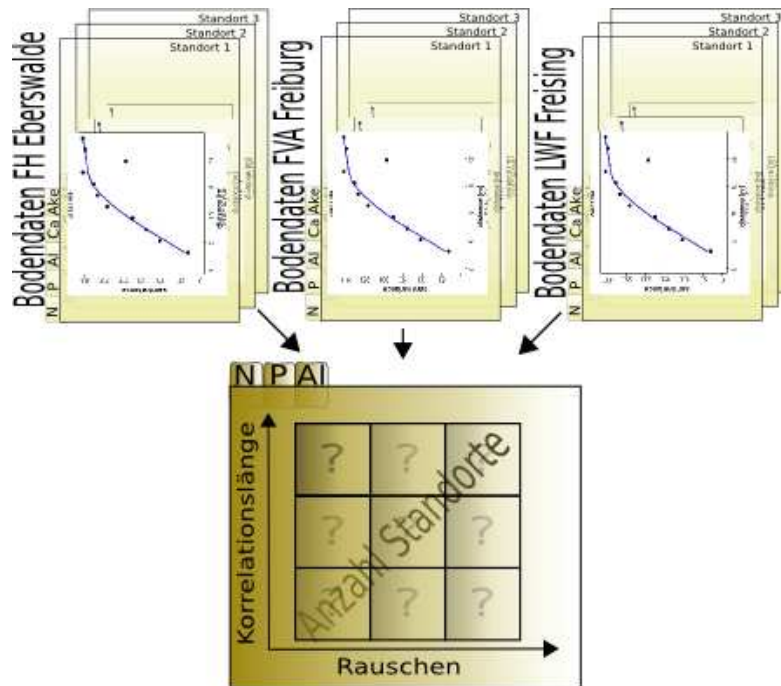


Abbildung 7.1: Zusammenfluss der Variogrammanalysen zu verschiedenen Parametern aus den drei Teilprojekten zur Untersuchung der kleinräumigen Variabilität

repräsentativ für die Landesfläche

- Die verfügbaren Bodendaten wurden nicht mit einer einheitlichen Methode gewonnen und ausgewertet.
- Die Daten dieser Untersuchungen liegt meist unterhalb der geostatistischen Datenanforderungen (kleine Stichprobe, geringe räumliche Auflösung, räumlich konzentrierte oder für eine Interpolation zu lückenhafte Abdeckung).

Abweichend von dem ursprünglich geplanten Vorgehen, aus einer Vielzahl von hochaufgelösten Daten eine Summe von interpolierten Modellböden zu erstellen, wurde auf die Generierung von 2D-Zufallsfeldern übergegangen. Die Simulation von Feldern zur Beantwortung geostatistischer Fragen in der Bodenkunde ist nicht neu (z.B. WEBSTER und OLIVER (1992); PAPRITZ und WEBSTER (1995a)). Die genannten Autoren verwendeten für die Beantwortung prinzipieller Fragen der Geostatistik nur wenige Felder. Zur Einschätzung möglicher Unsicherheiten durch die verschiedene BZE-Probenahmeverfahren im Rahmen dieses Projektes wurden dagegen Hunderte von Feldern generiert. Dieses Verfahren bietet zudem aufgrund der kontrollierten Bedingungen große Vorteile. Die geostatistische Simulation erlaubt die Formulierung definierter Bodeneigenschaften (eindeutige Parametrisierung) hinsichtlich Histogramm (Streuung, Normalverteilung, Lognormalverteilung) und Variogramm (range, sill). Hieraus ergibt sich:

1. Die Grundgesamtheit ist mit allen ihren Eigenschaften bekannt.
2. Der Support (kleinste betrachtete Raumeinheit) konnte den Bedürfnissen der Studie angepasst werden
3. Die Simulation erlaubt die Generierung eines breiten Spektrums von Modellböden mit natürlichen Eigenschaften bis hin zu Extremvarianten.

4. Es sind beliebig viele virtuelle Beprobungen möglich.

Sowohl bereits publizierte Informationen als auch die Variogramm-Parameter der Projektpartner fanden Eingang in die Generierung möglichst natürlich gestalteter Zufallsfelder.

7.2.1 Definition des Inventurorts

Ziel einer BZE-Stichprobe am Inventurpunkt ist die Charakterisierung der Bodeneigenschaften an/um einen Inventurort. Dabei sind unterschiedliche Definitionen des Inventurorts möglich:

1. Ein Punkt (statistische oder gutachterliche Auswahl)
2. Pedon am Inventurpunkt (gutachterliche Auswahl)
3. Fixer Radius um den Inventurpunkt (statistische Auswahl)

Nur Fall 3 kann mit einem Monte-Carlo(MC)-Verfahren betrachtet werden. Für eine Kreisfläche als Bezugsfläche spricht auch, dass alle Erhebungen der BZE (Bodenerhebung, Waldzustandsansprache, Nadel-/Blatt-Beprobung, Vegetationsaufnahme, Ansprache der Bestockungsverhältnisse) auf der sog. BZE-Fläche (30 m-Radius um den BZE-Punkt, 0,28 ha) konzentriert werden. Für die Fehlersimulation wurde der Kernbereich der BZE-Fläche mit 20 m Radius um den BZE-Punkt heran gezogen. Die Fläche zur Fehlersimulation wurde möglichst klein gehalten, da die Bodenprobenahmen der BZE auf den Zentralpunkt (Profil) fokussiert sind. Der gewählte Kernbereich deckt somit den kleinstmöglichen Teil im Zentrum der BZE-Fläche ab, der mit dem Monte-Carlo-Verfahren verzerrungsfrei beprobt werden kann.

7.2.2 Grundlagen für die Generierung von Modellböden

Grundlage für die Herleitung räumlicher Eigenschaften von Bodenparametern bildeten *Literaturangaben* und die geostatistische Datenanalyse (Kapitel 6) sowie eine Meta-Analyse (siehe Anhang C) der Ergebnisse von TP2 und TP3.

7.2.2.1 Literaturrecherche

In der umfangreichen Recherche wurde ermittelt, für welche Bodenparameter entsprechende Variogrammfunktionen publiziert und, inwieweit diese für das Projektziel tauglich sind, sowie auf welchem Wege eine Weiterverarbeitung dieser Informationen stattfinden kann.

Die Erst-Recherche der Literatur erfolgte mit ISI Web of Knowledge¹ und Scopus.com² mit einschlägigen Suchbegriffen (soil, soil chemistry, soil physics, forest, spatial, variation, variability, heterogeneity, fine-scale, small-scale, micro-scale, variogram u.a.). Der erste Datenbestand wurde dann durch Datenbestände aus Literaturdatenbanken der Partner (TP 2 und TP 4) v.a. um ältere Artikel und graue Literatur ergänzt. Die Literaturrecherche wurde an jeder Institution separat durchgeführt. Die Zusammenstellung der Ergebnisse in einer Datenbank für alle Projektpartner wurde federführend von TP4 durchgeführt.

Die Literaturdatenbank wurde zusammen mit den wichtigsten Artikeln (pdf-Dateien) auf den Projektserver der Uni Hamburg gestellt. Hinweise zum Aufbau und Struktur der Datenbank wurden an alle Partner verschickt und sind Teil des Zwischenberichts.

¹ <http://isiwebofknowledge.com>

² <http://www.scopus.com>

Grundsätzlich beschränkte sich die Suche auf Parameter der Bodenfestphase, denn die räumliche Verteilung von Bodenfestphase und Bodenlösung ist kaum korreliert (z.B. GÖTTLEIN ET AL. (1996)). Eine Ausnahme bildet die Nitratkonzentration, hier wurden auch Informationen zur Lösungsphase verwendet. Allerdings zeigte sich, dass Wasser bzw. Nmin'-Extrakte in Waldböden bisher kaum untersucht wurden, deshalb wurden zusätzlich auch Studien zur Variation von Mikroorganismen berücksichtigt, die Hinweise auf die Intensität der N-Mineralisierung und damit die mögliche Verteilung von Nitrat geben.

7.2.2.2 Datenakquisition und Datenanalyse

Die Datenakquisition zielte v.a. auf die Akquirierung von Bodendaten zur kleinräumigen Variabilität aus dem Bestand der Länderforschungsanstalten, der WSL Birmensdorf und der Bundesanstalt Wien und weiterer Institutionen. Zudem wurden Universitätsinstitute und Geowissenschaftler, die sich mit relevanten Fragestellungen befassen, kontaktiert. Der Schwerpunkt der Aktivitäten ging hierbei vom Projektpartner Uni Hamburg (TP 1) aus, der eine zentrale Mailing-Aktion organisierte (Datenanforderungsprofil TP 4, siehe Anhang A II.). Die Zusammenführung der verschiedenen Datenquellen in einer Access-Datenbank und die räumliche Referenzierung erfolgt im Rahmen von TP 4.

7.2.2.3 Geostatistische Analyse der Ergebnisse von TP2, TP3 und TP4

Die Ergebnisse der Datenanalyse sind in den Kapiteln 4, 5 und 6 dargestellt. Die Partnerdaten gingen als zentrales Element einer Meta-Analyse in die Szenarienformulierung ein. Die Ergebnisse der Meta-Analyse (TP2 bis TP4) befinden sich im Anhang C. Hierbei wurde geprüft, inwieweit die aus verschiedensten Literaturquellen hergeleiteten Variogramm-Parameter sich mit dem in TP2, TP3 und TP4 ermittelten Spektrum decken. Aus der Meta-Analyse wurde auch die Besetzung der Zellen im Modellbodenkonzept ermittelt. Eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse im Hinblick auf die Simulation wird im Ergebnisteil des Kapitels 6 gegeben.

7.3 Geostatistik

Die räumlichen Eigenschaften von Bodenparametern lassen sich am besten mit geostatistischen Methoden beschreiben (z.B. WEBSTER und OLIVER (2001); CHILÈS und DELFINER (1999)). Die Variographie nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein. Das Variogramm ist sowohl Grundlage für die Untersuchung als auch für die Simulation von räumlichen Bodeneigenschaften. Ein Variogramm gibt an, wie sich im Durchschnitt die Werte der Zufallsfunktion $Z(x)$ voneinander unterscheiden, die an den Stellen x und $x+h$ gemessen worden sind. Die im Variogramm dargestellte Semivarianz ist die mittlere quadrierte Differenz zwischen den Wertepaaren der Stichprobe einer sog. regionalisierten Variable, die durch die Entfernung h (Abstandsvektor oder lag) getrennt sind. Das sog. empirische Variogramm (binned variogram) wird als Grundlage der Anpassung eines Modells (Kurve) verwendet. Essentielle Merkmale der Variographie sind die maximale Entfernung sowie die Anzahl von Klassen (bins), in welche die Daten gruppiert werden sollen. Diese Gruppierung verhindert, dass jedes einzelne Datenpaar in die Grafik eingeht und somit das Gesamtbild durch starke Streuung stört. WEBSTER und OLIVER (1992) weisen darauf hin, dass eine hinreichend präzise Schätzungen von Variogrammen nur auf der Basis von hohen Stichprobenzahlen ($n > 100-150$) möglich sind. Eine weitere Anforderung in der Variographie ist, dass mindestens 30 Punktpaare zur Berechnung des Wertes einer Klasse verwendet werden sollten (LEGENDRE und FORTIN, 1989). Zur weiteren Details zur Berechnung von Variogrammen verweisen wir auf die einschlägige geostatistische Literatur (z.B. CHILÈS und DELFINER (1999); WEBSTER und OLIVER (2001)).

Als Funktionstyp wurde für die Simulationen die sphärische Variogrammfunktion gewählt. Die

sphärische Autokorrelationsfunktion wird aufgrund ihrer vielseitigen Einsetzbarkeit von CHILÈS und DELFINER (1999), Seite 225 als „the geostatistician’s best friend“ bezeichnet. Im Gegensatz z.B. zur Gauss’schen Autokorrelationsfunktion stellt sie prinzipiell weniger Ansprüche an die Informationen im kurzen lag-Bereich. Wegen der Annahme einer Linearität im Ursprung (einfachste Annahme) sind 2D-Felder, die mit der sphärischen Funktion interpoliert oder simuliert wurden, weniger „glatt“ als dies etwa bei der Verwendung z.B. der Gauss’schen Autokorrelationsfunktion der Fall wäre (BALDWIN, 2007). Bei Modellen mit parabolischem Verhalten am Ursprung werden räumliche Zusammenhänge modelliert, die im kleinen Bereich stark ausgeprägt sind. In einer Interpolation geben diese den nächstgelegenen Werten höhere Gewichte als Variogramme mit linearem Verhalten am Ursprung. Das Gaußsche Modell führt daher zu sehr „glatten“ Feldern die nur bei entsprechender Datengrundlage im Kurzdistanzbereich gut begründet werden können, in der Praxis aber häufig zu übermäßig optimistischen Fehlerannahmen führen. Parameter des sphärischen Modells sind:

- h = Abstand der Punktpaare (lag)
- a = Reichweite (range)
- c_0 = Nuggetvarianz
- c_1 = Schwellenwert (Gesamtvarianz - c_0)

In die Schätzung des Wertes eines unbeprobten Orts werden diejenigen beobachteten Werte einbezogen, welche sich innerhalb der durch das Variogramm festgelegten Aussageweite befinden. Im Fall eines isotropen Variogramms wird die Aussageweite durch einen Kreis beschrieben. Ist das Variogramm anisotrop, wird die Aussageweite mit einer Ellipse beschrieben. Die Umsetzung der Simulationen erfolgte mit der Software R und geoR (RIBEIRO und DIGGLE, 2001; R DEVELOPMENT, CORE TEAM, 2007).

7.4 Studiendesign

Folgende Probenahmeschemata wurden mit Hilfe von Simulationsläufen hinsichtlich ihres Fehlers bei der Mittelwertschätzung bewertet:

- Z1 - eine einzige Probe am Profil
- Z9 - neun Proben am Profil in 1 m Abstand vom Zentralpunkt
- S8 - Satellitenbeprobung mit acht Proben in Intervallen von 45°
- K9 - Kombinierte Zentralpunkt- und Satellitenbeprobung

Als Referenz zu diesen in Abb. 7.2, Seite 178 veranschaulichten Probenahmeverfahren kam noch die Beprobung von neun Zufallspunkten als Variante hinzu. Nur die Variante Z1 wurde als Einzelprobenentnahme, alle anderen als Mischproben mit Mittelwertbildung untersucht.

Bei den Varianten

- mit/ohne gutachtlicher Auswahl („typische Stellen“, „Peton“)
- mit/ohne Ausschluss von Störungen

7. Simulationen zum Einfluß des Probennahmedesigns

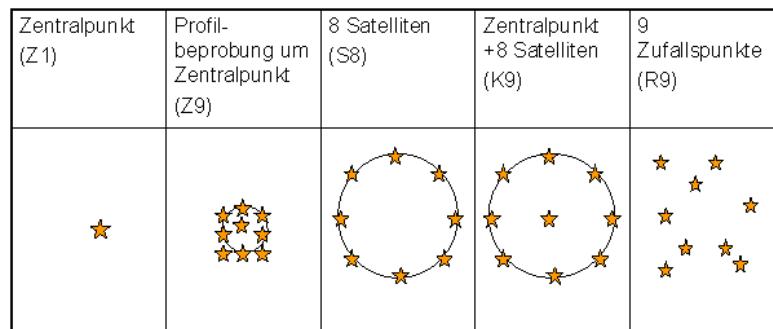


Abbildung 7.2: Veranschaulichung der 4 grundlegenden Probenahmeschemata

wurden Werte oberhalb eines festgelegten Bereichs durch einen willkürlich gesetzten Wert ersetzt. Diese Varianten wurden im Rahmen der Standardvariante K9 untersucht. Die Varianten „Gutachtliche Vorauswahl“ und „Ausschluss von Störungen“ wurden auf Modellböden mit Extremwerten (log-Normalverteilung) angewendet. Die Variante „Gutachtliche Vorauswahl“ impliziert, dass der Bodenkundler vor Ort einen Extremwert erkennt und an seiner Stelle einen „typischen“ Bereich beprobt. Bei dieser Variante wurden daher Werte oberhalb eines festgelegten Bereichs durch den Mittelwert der Grundgesamtheit (typische Stelle) ersetzt. Bei Variante „Ausschluss von Störungen“ werden lediglich Extremwerte vermieden indem Werte über dem Schwellenwert auf den Schwellenwert zurückgesetzt werden. Die hieraus resultierende Kombination an Probenahmeverfahren ist in Tab. 7.1, Seite 178 dargestellt.

Tabelle 7.1: Untersuchte Probenahmeschemata

Kürzel	Beschreibung	Grundgesamtheit
R9	Mittelwert von neun Zufallsproben aus der Grundgesamtheit	
K9	Mittelwert von Zentralpunkt und acht Satelliten	NV, logNV
K9AS	K9 unter Ausschluß von Störungen	logNV
K9GV	K9 mit gutachterlicher Auswahl	logNV
S8	Mittelwert von acht Satelliten	NV, logNV
Z9	Mittelwert von neun Profilbeprobungen	NV, logNV
Z1	eine Stichprobe am Zentralpunkt	NV, logNV

Datenbasis der beschriebenen Bodenprobenahmen bilden 2D Felder mit kurzer, mittlerer und langer Korrelationslänge (Range) und geringem mittlerem und hohem Rauschen (Abb. 7.3, Seite 179). Hieraus ergeben sich jeweils 9 Grundmodelle für die simulierten Felder. Diese 9 Grundmodelle wurden jeweils für Felder mit Normalverteilung und Lognormalverteilung generiert. Auf diese Weise erhält man 18 Standardfelder, die jeweils 100-fach permutiert wurden.

Die erzeugten Felder haben eine Kantenlänge von 40 m und eine Rastergröße von 10 cm. Für die mögliche Lage des Zentralpunktes ergibt sich somit ein Kreis mit Radius 10 m vom Zentralpunkt der Fläche, der äußerste mögliche Satellit muss dann auf einem Kreis mit Radius 20 m um den Zentralpunkt der Fläche liegen, womit sich ein Flächendurchmesser von 40 m ergibt. Aus denn rechteckigen Zufallsfeldern wurden Kreise mit 20 m Radius ausgeschnitten, die dann in der Monte-Carlo-Simulation beprobt wurden. Durch die Auswahl dieser Untermenge ergibt sich eine gewisse Verzerrung des Wertebereichs (durch den Ausschluss der Ecken des simulierten Feldes), die jedoch durch die große Zahl von simulierten Flächen (100) ausgeglichen wird.

Für die Fehlersimulation wurde jeder Feldtyp (Abb. 7.3, Seite 179) 100-fach variiert. Diese Zufallsvarianten wurden über permutierende seeds generiert. Die untersuchten Probenahmevari-

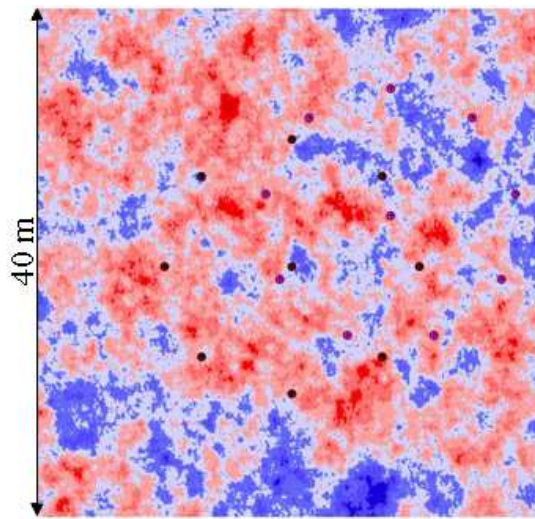


Abbildung 7.3: 2D-Zufallsfläche, Kantenlänge 40 m, mit Probenahmekreis K9 mit Zentralpunkt (lila Punkte vom Zentralpunkt versetzt)

anten (Tab. 7.1, Seite 178) wurden mittels Monte-Carlo-(MC) Verfahren auf diese Felder angewendet. Auf insgesamt 1800 Standardfelder wurde mit einem MC-Verfahren jeweils 1000 Mischproben mit fünf (bei Normalverteilung) bzw. sieben (bei Log-Normalverteilung) verschiedenen Probenahme-Schemata gezogen. Daraus resultieren insgesamt 81 Mio. simulierte Einzelproben. Im dritten Schritt wurde aus den simulierten Probenahmen ein Varianzexpansionsfaktor (VEF) hergeleitet, indem die Varianzen der Probenahmevariante X in Beziehung zur Referenz (= R9) gesetzt werden:

$$VEF = \frac{\delta_X^2}{\delta_{K9}^2} \quad (7.1)$$

Dieses Verhältnis der Varianzen der Beprobungsvarianten zur Referenz (Zufallsprobenahme) geht als Faktor in das Fehlerbudget ein.

7.5 Ergebnisse und Diskussion

7.5.1 Räumliche Eigenschaften von Böden

Wegen der Vielfalt der Faktoren und ihrer komplizierten Wechselwirkungen in Raum und Zeit präsentieren sich Böden als geostatistische Zufallsprodukte. Entscheidend bei der Anwendung geostatistischer Modelle ist daher die Frage, ob unsere Modelle unter den gegebenen Umständen angemessen und zielführend sind (WEBSTER, 2000). Diese Aspekte sind bei der Simulation von Modellböden zu vergegenwärtigen.

Die räumlichen Eigenschaften von Bodenparametern lassen sich am besten mit geostatistischen Methoden beschreiben (z.B. WEBSTER und OLIVER (2001); CHILÈS und DELFINER (1999)). Wie WEBSTER (2000) trefflich beschreibt, ist der Boden als Naturkörper nicht als das Ergebnis stochastischer Prozesse aufzufassen, sondern er bildet sich durch das ineinander Greifen zahlreicher deterministischer Prozess. RIBEIRO und DIGGLE (1999) haben dies in den in Abb. 7.5, Seite 181 dargestellten Bildern veranschaulicht. Sie unterscheiden dabei über kurze, mittlere und lan-

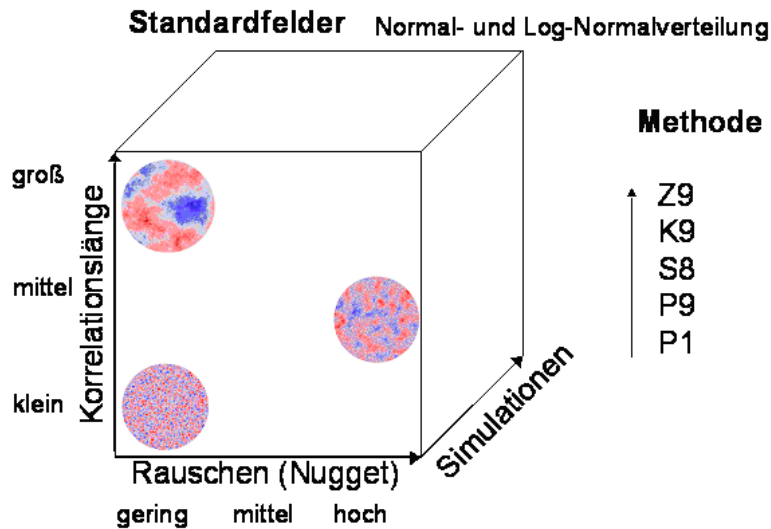


Abbildung 7.4: Datenbasis der Bodenprobenahmen: 2D Felder mit kurzer, mittlerer und langer Korrelationslänge (Range) und geringem mittlerem und hohem Rauschen. Dargestellt sind kreisrunde Felder, wie sie in der Monte-Carlo-Simulation beprobt werden.

ge Distanzen wirkende Prozesse sowie trendauslösende Faktoren (wie z.B. Hangneigung). Hinzu kommt die nicht räumlich auflösbare Mikrovariabilität.

7.5.1.1 Literaturrecherche

Literaturdaten wurden in der ersten Projektphase als Grundlage für die Entwicklung des Simulationsdesigns verwendet. Zum einen wurde die Literatur verwendet, um einen Einblick in die Prozesse zu geben, welche die räumlichen Eigenschaften von Böden bedingen. Neben diesen qualitativen Informationen wurde aus den Daten die zu erwartenden Variogrammparameter (Support, Range, Nuggeteffekt) abgeschätzt.

Bei der Verwendung von Variogrammparametern aus der Literatur sind allerdings einige Punkte zu bedenken. Die Parameter sind nicht nur von den Bodeneigenschaften, sondern auch der Untersuchungsmethode abhängig. Bei engmaschigeren Beobachtungsnetzen können kleinere Korrelationslängen (Range) erzielt werden als bei weiteren Beobachtungsabständen WEBSTER und OLIVER (2001). SCHAE BEN (2007) gibt an, dass der Range bei kleinen, unzureichenden Datensätzen grundsätzlich eher unterschätzt wird. Wenn der kleinste untersuchte lag zu groß ist, um die kleinräumige Variation zu erfassen, kann der Nugget-Effekt dagegen überschätzt werden. Die Variogrammparameter von recherchierten Daten sind daher nicht unmittelbar vergleichbar (Tab. 7.2, Seite 182), sofern sie nicht mit demselben Untersuchungsdesign erhoben wurden.

Als Referenz für die kleinräumige Variabilität wurden v.a. Studien herangezogen, die eine räumliche Auflösung (kleinster Beobachtungsabstand) von 2 m besitzen (Tab. 7.2, Seite 182). Die verschiedenen räumlichen Untersuchungsdesigns (Tab. 7.2, Seite 182) spiegeln wider, dass die räumliche Gestaltung der Probenahme an die zu studierende Prozessebene angepasst wurde. Es wird deutlich, dass bei Untersuchung der Bodenvegetation (z.B. JACKSON und CALDWELL (1993b,a)) oder der Boden-(Mikro)-Organismen (GOMORYOVA, 2004; MORRIS, 1999; PENNANEN ET AL., 1999) auf der Mikro-Skala (mm bis dm) Autorkorrelationslängen in eben dieser Größenordnung vorgefunden werden. Die hierbei untersuchten Prozesse sind z.B. Kennwerte der Bodenat-

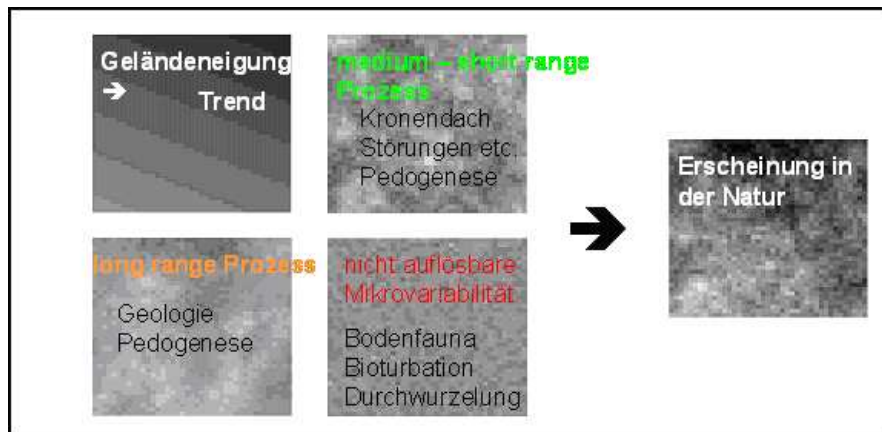


Abbildung 7.5: Physikalische, chemische und biologische Prozesse prägen mit ihren typischen räumlichen Mustern das Erscheinungsbild des Bodens nach RIBEIRO und DIGGLE (1999)

mung oder des N-Umsatzes. Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigen, dass die Aggregationsbereiche von Prozessen im Boden den mit einem gewöhnlichen Bohrstock erfassbaren dm-Bereich erheblich unterschreiten können. HILDEBRAND und SCHACK-KIRCHNER (1999) weisen darauf hin, dass im μm -Bereich angesiedelte hot spots von hoher Bedeutung für Prozesse im Boden sind. Für das Verständnis der Prozesse im Boden ist die Betrachtungsebene daher von großer Bedeutung. Im Rahmen von Bodeninventuren wie der BZE können aber lediglich größere räumliche Ausschnitte aus Wäldern (Trupp- bis Gruppengröße) mit relativ kleiner Stichprobe untersucht werden. Die Beprobung erfolgt bei der BZE mit Bohrern mit einem Durchmesser zwischen 3 und 10 cm. Daher wurde als Support für die Simulation (kleinste betrachtete Einheit) 1 dm definiert. Die auf der Mikroskala ablaufenden Prozesse wurden in die Variogramme der Simulation als nicht weiter auflösbare Mikrovarianz (nugget) aufgenommen.

7. Simulationen zum Einfluß des Probennahmedesigns

Tabelle 7.2: Recherchierte Artikel zur kleinräumigen Variabilität von Waldböden mit einem minimalen Beobachtungsabstand von $\leq 2\text{ m}$

Autor	Jahr	Zielgrößen	Range m	Nugget %	Distanz	
					(min)	(max)
Bens O., Buczko, Sieber S., Hüttl R.	2006	Mächtigkeit der Humusauflage in Kie-/ KieBu- / Bu-Beständen	3,1 / 3,7 / 4,5	50 / 80-100 / 15	0,4	20
Deurer M	2000	C, BNK, KAK, pH	1-3	0-40	0,5	10
Feyen H. und A. Papritz	1995	N-Gehalt	ca. 18	ca. 25	0,2	20
Fraterrigo J. M., Turner M. G., Pearson, S. M., Dixon, P. Gomoryova E.	2005	C, N, P K, Ca, Mg, K (Gehalte und Vorräte)	< 28	0-100	1	27,6
	2004	Bodenatmung, Katalayseaktivität	n.a.	n.a.	1	ca. 14
Guo D.	2001	NH4+, NO3-, H2PO4-	$\leq 10 - 47$	15-50	0,5	70
Guo D., Mou P., Jones R. H., Mitchell R. J.;	2004	NH4+, NO3-, H2PO4-	$\leq 10 - 47$	15-50	0,5	70
Jackson, R. B., Caldwell M.	1993	Bodenvegetation, NH4+, NO3-, P, K+	2	ca. 20-50	0,1	ca. 16
Kirwan N., Oliver M. A., Moffat A. J., Morgan G. W.	2005	C, pH, Mg, Ca, Na, Al, Fe, Mn, CEC	1,5-30	0-100	1	72
Koszinski S., Quisenberry V., Rogasik H., Wendroth O.	2006	Cl-Konzentration	0,1-0,25	0-50	0,05	0,6
Lister A. J., Mou P. P., Jones R. H., Mitchell, R. J. Morris S.J.	2000	pH, NH4, NO3, P, C, N, WG, TRD, Grobboden	11	ca. 30-100	0,5	70
	1999	mikrobielle Biomasse, C, pH, WG	0,3-2	ca. 0,3-0,7	0,01	2,2
Pennanen T., Liski J., Baath E., Kitunen V., Uotila J., Westman C.J., Fritze H.	1999	mikrobielle Biomasse, C, pH, WG	1-4		0,15	42
Robertson G. P., Huston M. A., Evans F. C., Tiedje J. M. Schöning I.	1988	NO3, Nitrifikation, Denitrifikation, Respiration, ppH, WG	8-30	ca. 30-100	1	40
	2005	C-Vorräte im Humus + Mineralboden	<5,4	20-100	0,2	100
Schöning I., Totsche K.U., Kögel-Knabner I.	2005	C-Vorräte im Humus + Mineralboden	<5,4	20-100	0,2	100
Schume H., Katzensteiner K. Teichert A.	2003	Wassergehalt	4-20	10-70	1	90
	2000	Wassercharakteristik / hydraulische Leitfähigkeit / Hydrophobizität	0,1-0,2 / < 0,5 / > 6	0-50	0,15 / 0,5 / x	10 / 10 / 6
Teichert A., Duijnisveld W.H.M., Böttcher J.	1997	C, BNK, pH	1,7 / 1 / 2	13-39	0,15	10
Teichert A., Duijnisveld W.H.M., Böttcher J.	1998	pH, BNK, KAK	1-2	n.a.	0,15	10
Torgersen C. E., Jones J. A., Moldenke A. R., LeMaster M.P.	1995	ph, WG, Humusmächtigkeit, Fauna in Abhängigkeit von Bestandesalter und nach Feuer	0-5 / 17-22	n.a.	0,5	100

Die minimalen Beobachtungsabstände der BZE liegen bei 3 bis 10 m bzw. 1,5 m bei Wiederholungsbeprobung. Der maximale Beobachtungsabstand im Probekreis beträgt 10 m. Die Ranges von Untersuchungen die einen hierzu vergleichbaren Raumausschnitt mit Maximaldistanzen 10m verwenden (Tab.) liegen bei ca. 1 bis ca. 50 m. Der Schwerpunkt der Korrelationslängen liegt bei einigen m bis < 20 m. In der ersten Projektphase wurde daher Korrelationslängen von 1 m, 5 m und 15 m im Studiendesign als Rangeparameter in die Modelle angesetzt (Abb. 3). Die Begrenzung des maximal untersuchten Ranges von 15 m ist auch im Hinblick auf den betrachteten Raumausschnitt mit einem Maximalabstand von 40 m sinnvoll. Da die Literaturangaben zum Nuggeteffekt meist in einer weiten Spanne (0-100 %) liegen, wurden die Klassen von CAMBARDELLA ET AL. (1994) zur Parametrisierung der Simulationsmodelle verwendet (Klassenmitten 12,5 %, 50 % und 62,5 %) (Abb. 7.4, Seite 180).

Zu Untersuchung der Frage nach dem Effekt von Störungen konnten nur die Bodendaten von MELLERT ET AL. (2007b) akquiriert werden. Zur Abschätzung der Effekte wurden daher v.a. Literaturdaten verwendet. Den Modellvorstellungen von Guo et al. (2004) folgend, können die Auswirkung von Störungen (v.a. Hiebsmaßnahmen) auf die räumliche Variabilität von Bodeneigenschaften auch mit den verwendeten Standardböden als bestimmte Stadien der Entwicklung von Böden nach Störung verstanden werden. Hierbei ist zu erwarten, dass die räumlichen Muster von der Art und Intensität der Störung abhängen. Während bei Bodenfestphaseparametern Musteränderungen mit einer mechanischen Störung verbunden sein sollten, können sich die Muster von Parametern der Lösungsphase schon bei kleineren Ereignissen (z.B. Absterben einzelner Bäume) ändern. Bei stabilen Verhältnissen bilden sich aber auch bei diesen Parametern stabile Muster der räumlichen Verteilung aus. Bei behutsamen Einzelbaumentnahmen in einem N-gesättigten Fichtenbestand trat eine Erhöhung der Überschussnitrifikation erst mit einer Verzögerung von ca. einem Jahr ein BALDWIN (2007).

Im Einzelnen haben Guo et al. (2004) die folgenden Hypothesen zur Auswirkung von Störungen (v.a. Hiebsmaßnahmen) auf die räumliche Variabilität von Bodeneigenschaften formuliert:

- die Gesamtvariabilität steigt durch die Störung stark an
- die räumliche Skala wird feiner (patchiness steigt), die Korrelationslängen sinken ab
- der Anteil der räumlich strukturierten Varianz nimmt zu
- innerhalb von wenigen Jahren nehmen Ausmaß und Muster wieder die vormalige Charakteristik an
- bei der Wiederherstellung der „alten Eigenschaften“ spielt die Bodenvegetation eine zentrale Rolle

Demzufolge würden Störungen die Eigenschaften der Böden in unserem Studiendesign (Abb. 7.4, Seite 180) vom hohen zum niedrigeren Rauschen und von den langen zu den kurzen Korrelationslängen hin beeinflussen. Innerhalb von Jahren würden wieder eine Entwicklung in Richtung zum Ausgangszustand stattfinden. Durch die Untersuchung von Durchforstungseffekten in der Münchener Schotterebene werden die ersten 3 Hypothesen von GUO ET AL. (2004) bestätigt (BALDWIN (2007), siehe Kapitel 6). Der Variationskoeffizient von Nitrat nahm dagegen nach Kahlschlag im Höglwald deutlich ab, weil die Werte auf ein allgemein höheres Niveau anstiegen und dadurch die Häufigkeitsverteilung nicht mehr von Extremwerten (hot spots) geprägt war (Kohlpaintner, 2007, mdl.). Auch der Anteil der räumlich strukturierten Varianz nahm in dieser Studie nicht zu, sondern ab. Der Range (patchiness) wurden aber in Übereinstimmung mit Guos Hypothese deutlich kürzer nach Kahlschlag (Abb. 7.6, Seite 184). Insgesamt hat sich die räumliche Verteilung von Nitrat im Höglwald völlig geändert. Diese Beispiele zeigen, dass unterschiedliche Muster der räumlichen Verteilung von Bodenparameter durch Störungen entstehen können.

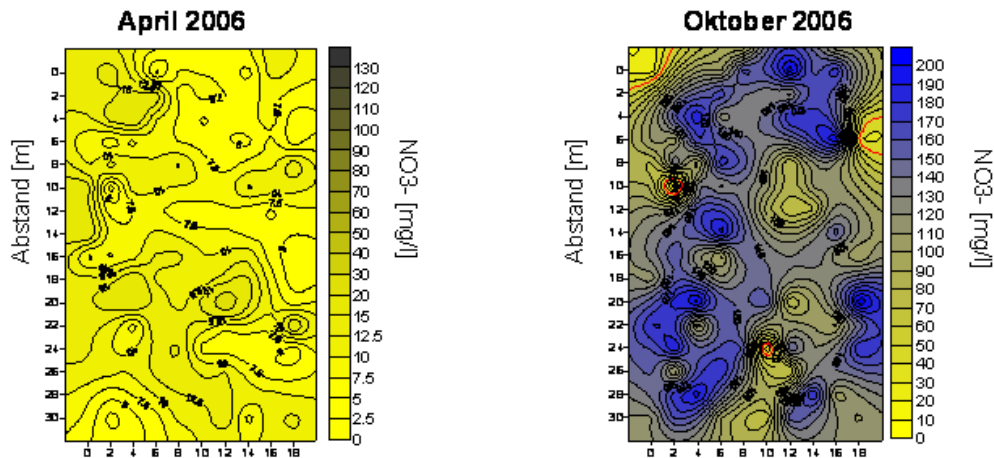


Abbildung 7.6: Räumliche Muster der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in einem Fichtenbestand des Höglwalds vor (links) und nach (rechts) Kahlhieb (Kohlpaintner, 2007, mdl.)

7.5.1.2 Datenakquisition

Im Rahmen der Dateneinwerbung konnten die in Tab. 3 aufgeführten 10 Datenkollektive akquiriert werden. Allerdings erwiesen sich die meisten Daten für den Zweck der geostatistischen Interpolation als ungeeignet, denn diese ist an mehrere Voraussetzungen geknüpft:

1. Geeignete Raumskala
2. Gewinnung von Einzelproben statt Mischproben
3. Erfassung der Lage-Koordinaten der Probenahmeorte im Gelände

Die erste Voraussetzung war im Prinzip bei allen Datenquellen erfüllt. Alle 3 Vorbedingungen waren allerdings nur von 4 Quellen erfüllt. Die Daten von BAIER (2006) und (Prietz, 2006, schr.) über Horizontmächtigkeiten sowie die Daten von GÖTTLEIN ET AL. (1996) dienen als Basis für die Entwicklung des Interpolations- und Simulationsverfahrens. Die Ergebnisse wurden exemplarisch beim 1. Meeting in Hamburg vorgestellt. In der Bodendauerbeobachtung (SCHUBERT, 2002; WALTHER ET AL., 2003) liegt die übliche Stichprobe meist bei weniger als 20 Proben und bezieht sich auf Flächen < 1 ha mit Beprobungsdistanzen im m-Bereich, wobei Bohrkern mit 5-10 cm Durchmesser erfasst werden. Die Datensätze von MELLERT und KÖLLING (2006) zur Nitratkonzentration und der umfangreiche Datensatz von SCHUBERT (2002) wurden im Rahmen dieser Studie intensiv geostatistisch untersucht (siehe Kapitel 6).

7.5.1.3 Geostatistische Analyse von TP2, TP3 und TP4

Aus den Erkenntnissen der Literaturstudie wurden zunächst Prototypen von Zufallsfeldern im Rahmen der ersten Simulationsläufe generiert (s.o.). Die Ergebnisse der Meta-Analyse (Anhang C) von TP2 bis TP4 flossen in das endgültige Simulationsdesign ein.

Im Rahmen der Meta-Analyse wurde geprüft, inwieweit sich die aus verschiedensten Literaturquellen hergeleiteten Variogramm-Parameter mit den in TP2, TP3 und TP4 ermittelten Spektrum decken, indem die Besetzung der Zellen im Modellbodenkonzept ermittelt wurden. Zudem wurde

Tabelle 7.3: Eignung der akquirierten Daten für den Untersuchungsansatz im TP 4 des HS-Projekts. EP = Verfügbarkeit von Einzelproben; XY = Verfügbarkeit von Koordinaten

Studie	Design horizontal	N/Einheit	Distanz min.	EP	XY
Agerer und Göttlein (2003)	11 Quadrate a 5-10 Proben	05. Okt	cm	x	
Baier (2006)	30x30m Fläche	100	3 m	x	x
Göttlein und Stanjek (1996)	1 Mini-Transekt	5	1,5 cm	x	x
Mellert und Kölling (2006)	54 Saugkerzen, genestet	54	40 cm	x	x
Metzger (2006)	auf m-Skala Mischproben	24	12 m		
Mund und Schulz (2006)	Zufällig	max. 15	wenige m	x	
Prietz (2006)	10x10 m Rasterabstand 1 bzw. 2 m	55	1 m	x	x
Schubert 2002	Kreuztransekt 30x30	18	3 m	x	x
Ulrich (2006)	gutachterliche Vorauswahl	3 Mischproben	5 m		
Walthert et al. (2003)	stratifizierte Zufallsstichprobe	8 Mischproben	15 m		

geprüft, ob ggf. manche Varianten entbehrlich sind (z.B. geringstes nugget/sill-Verhältnis) oder ob zusätzliche Varianten erforderlich wären.

Schließlich konnten aus den Ergebnissen folgende Erkenntnisse für die Simulationsläufe abgeleitet werden:

- Die Häufigkeitsverteilung der Boden-Festphaseparameter ist meist symmetrisch oder rechtsschief. Aus diesem Grunde sind Simulationsläufe mit Normalverteilung und Log-Normalverteilung nötig.
- Der Anteil des Rauschens (räumlich nicht erklärbare Restvarianz; Nuggeteffekt) liegt in den meisten Fällen bei mittleren und hohen Anteilen.
- Sehr kurze Korrelationslängen (Range 1-2 m) treten selten auf; mittlere Ranges waren am häufigsten.
- Bei räumlich korrelierten Bodenparametern dürfte die mittlere Simulationsvariante mit mittlerem Nugget (33-67 %) und mittlerem Range (5-6m) am häufigsten auftreten.
- Nitrat ist der einzige Bodenparameter der Lösungsphase der im Rahmen der BZE untersucht wurde. Die Resultate aus S-Bayern ergaben bei Nitrat ebenfalls eine Zuordnung zur mittleren Simulationsvariante.

Die geostatistische Analysen aus allen Teilprojekten zeigte aber auch, dass in vielen Fällen keine räumliche Autokorrelation bei den untersuchten Bodenparametern nachzuweisen war. Dies unterstreicht die Bedeutung der Simulation ohne räumliche Autokorrelation.

7.5.1.4 Modellböden

Wie bereits im Methodenteil dargestellt, wurden sogenannte Standardfelder mit kurzer, mittlerer und langer Korrelationslänge (Range) und geringem, mittlerem und hohem Rauschen erzeugt (siehe Beispiele in Abb. 7.7, Seite 186). Als Referenz für die Felder mit räumlicher Abhängigkeit wurde ein Feld ohne räumliche Abhängigkeit erzeugt. Abb. 6 zeigt dieses Feld mit einem Nugget-Effekt von 100 %. Dieses Feld fungiert nicht nur als Referenz für den Fall ohne räumliche Abhängigkeit. In der geostatistischen Analyse hat sich auch gezeigt, dass in der Praxis häufig keine räumlichen Beziehungen der Werte untereinander nachgewiesen werden konnten. Insofern stellt das Nugget-Feld

auch einen Modellboden mit großer Präsenz in der Landschaft dar und fließt daher als wichtige Variante in das Fehlerbudget ein.

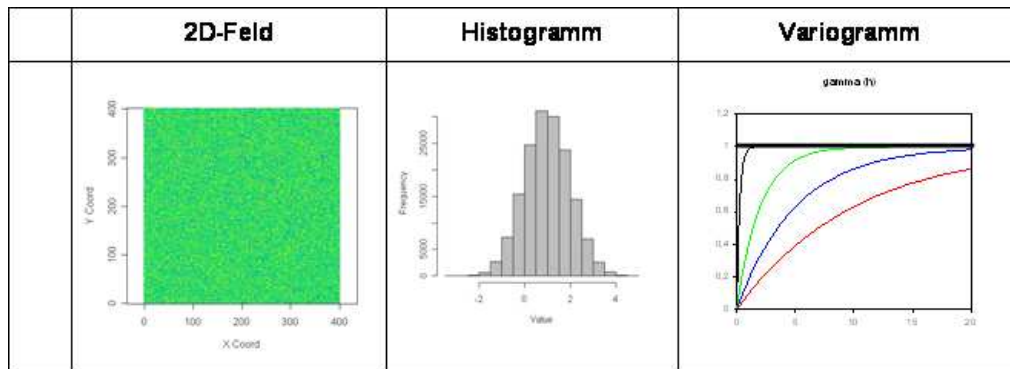


Abbildung 7.7: 2D-Feld mit einem Nugget-Effekt von 100 % (pure nugget). Das Histogramm der Verteilung entspricht den in Abb. 7.8, Seite 187 dargestellten Feldern mit räumlicher Abhängigkeit. Das Variogramm (dicke Linie) belegt die Abwesenheit einer räumlichen Autokorrelation. Im Falle der beiden anderen Variogramme (farbige Linien) liegt eine räumliche Abhängigkeit vor.

Einen Eindruck der Eigenschaften der 9 Felder mit Normalverteilung vermittelt Abb. 7.8, Seite 187. Die Felder werden von links nach rechts zunehmend von zufälligen Effekten beeinflusst. Die räumlichen Muster bei unterschiedlichen Korrelationslängen veranschaulichen die Felder innerhalb einer Spalte. Die Farben geben das Wertespektrum wieder (Legende siehe Abb. 7.10, Seite 189), wobei kalte Farben (tiefblau) niedrige Werte und warme Farben (gelb, rot) hohe Werte repräsentieren. Grün steht für mittlere Werte und ist bei Normalverteilung die vorherrschende Farbe.

Einen Eindruck der Verhältnisse bei lognormverteilten Bodenparametern gibt Abb. 7.9, Seite 188. Bodenparameter wie Nitrat, bei denen regelmäßig Extremwerte auftreten (hot spots) werden durch diesen Typus repräsentiert (z.B. HILDEBRAND und SCHACK-KIRCHNER (1999); MELLERT ET AL. (2007b)). Diese Modellböden spielen daher eine große Rolle bei den Probenahmevarianten mit gutachterlicher Vorauswahl.

Neben den oben beschriebenen Standardfeldern wurden Felder mit bestimmten geostatistischen Eigenschaften erzeugt, die von den Standardfeldern abweichen. Bei der Generierung von Sonderfällen wurden idealisierte Strukturen aufgrund von einfachen Annahmen über die zugrunde liegenden Prozesse gebildet. Als Sonderfälle werden die Anisotropie, die Periodizität (Wavestrukturen, Hole-Effekte) und lineare Strukturen behandelt.

Anisotropie ist in der Bodenkunde ein häufig beobachtetes Phänomen (WEBSTER und OLIVER, 2001). Die Gründe für das Vorliegen einer Anisotropie sind vielfältig. Anisotropie von Bodenparametern kann z.B. bei Böden in Hanglage beobachtet werden. Auch Kronenraumeffekte können zu anisotropen Verteilungsmustern führen, z.B. durch eine bevorzugte Laubverlagerungen in die Hauptwindrichtung in Mischbeständen aus Laub- und Nadelbäumen. Die räumliche Ausdehnung von Kronenraumeffekten liegen je nach Kronenradien und Windverhältnissen und anderen Einflüssen in einem Bereich von wenigen Metern bis maximal 20 m (FRISCHBIER, 2005). Bei Laubbaumarten wie der Buche sind die entsprechenden Korrelationsmuster aufgrund der größeren Kronen weiter als bei Nadelbäumen wie der Fichte. Zudem werden die Blätter durch den Wind weiter verfrachtet als Nadeln.

In Abb. 7.10, Seite 189 sind exemplarisch 2 anisotrope Felder dargestellt, die im Rahmen unserer Studie als Modellböden generiert wurden. Hierbei wurden die Werte von Standardböden

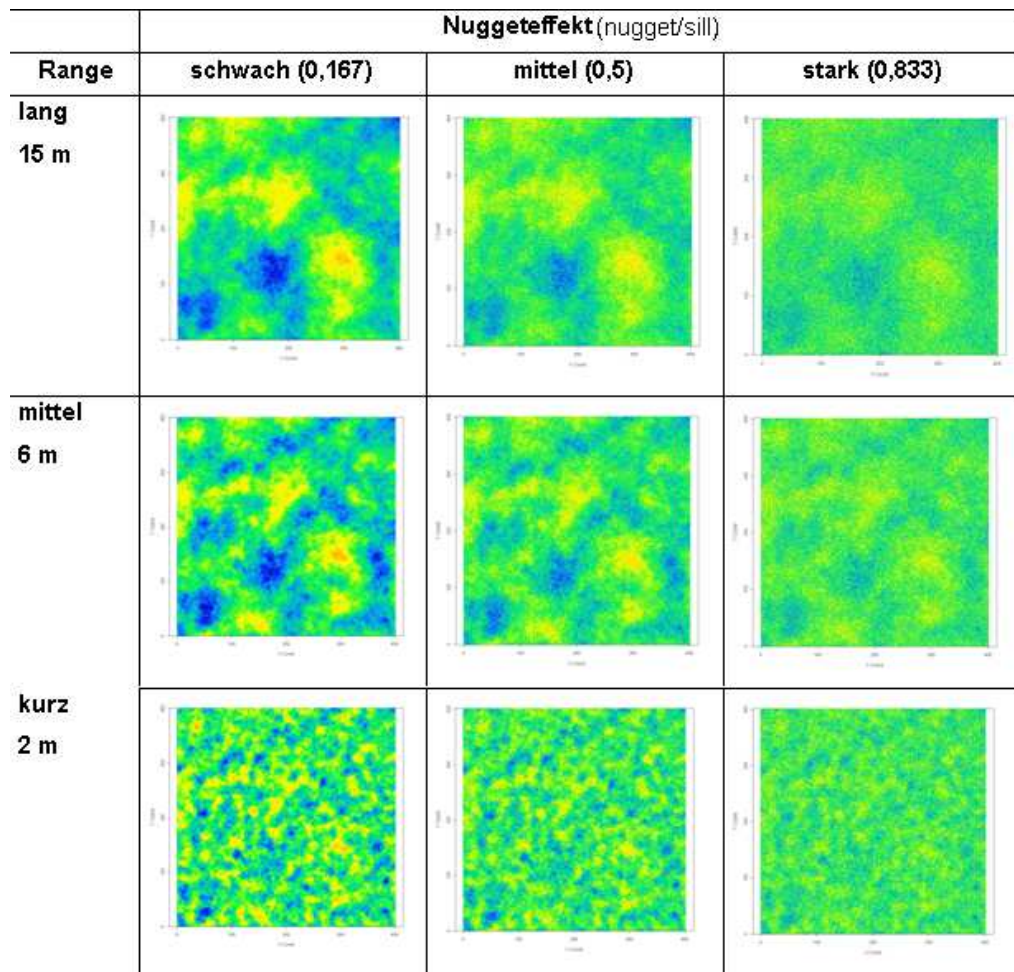


Abbildung 7.8: Beispiele von 2D-Zufallsfeldern, die gemäß der Eigenschaften des Studiendesigns mit kurzer, mittlerer und langer Korrelationslänge (Range) und geringem mittlerem und hohem Rauschen definiert wurden. Die Grundgesamtheit ist normalverteilt. Legende siehe Abb. 7.10, Seite 189

mit dem mittleren Range (6 m) durch einen Anisotropiefaktor verzerrt. Als Winkel wurden 45^{circ} und als Längen/Breiten-Verhältnis der Ellipse 2 gewählt. Die daraus resultierenden Felder weisen einen deutlich anisotropen Charakter auf.

Periodizität (Wavestrukturen, Hole-Effekte) ist bei empirischen Bodendaten ebenfalls häufig zu beobachten. Diese wiederkehrende Ähnlichkeit der Variation kann auf topographische, edaphische oder biologische Ursachen zurückgehen (MELLERT ET AL., 2008). Auf der kleinräumigen Skala sind im m-Bereich meist Kronenraumstrukturen verantwortlich (z.B. HILDEBRAND und SCHACK-KIRCHNER (1999)). In intensiv forstlich genutzten Wäldern ist aber auch die Bewirtschaftung eine wesentliche Ursache von solchen Mustern (z.B. GUO ET AL. (2004)). Neben der Anlage von Beständen (insbesondere Altersklassenwälder), die großräumige Korrelationslängen bewirken können, ergeben sich aus Störungen durch Pflegeeingriffe und Holzernte (Akkumulation von Ernterückständen, Reisighaufen, etc.) kleinräumig wiederkehrende Variabilitäten. In Abb. 7.11, Seite 189 ist ein solches Feld dargestellt. Die Bereiche mit An- und Abreicherung sind gut zu erkennen. Es wurde eine Normalverteilung der Grundgesamtheit unterstellt.

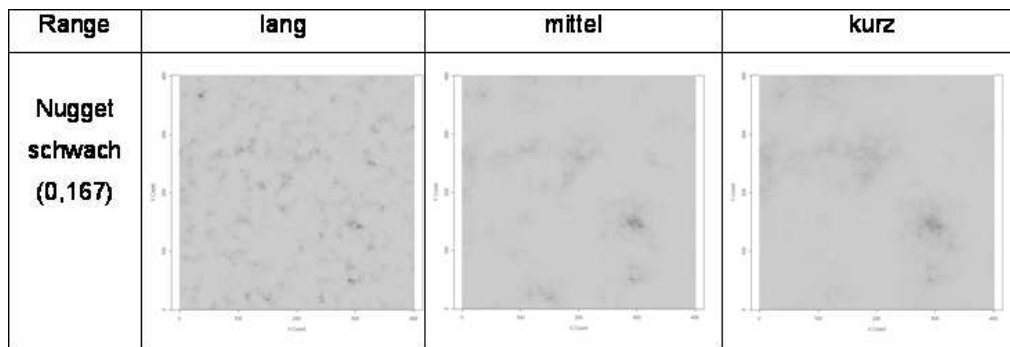


Abbildung 7.9: Beispiele von 2D-Zufallsfelder mit langer mittlerer und kurzer Korrelationslänge sowie schwachem Nuggeteffekt bei Lognormalverteilung

Stöcke in einem durchforsteten Bestand sind dagegen eher als hot spots aufzufassen, die mehr oder weniger regelmäßig auftreten. Beim Beispiel in Abb. 7.12, Seite 190 sind die Wavestrukturen (Stöcke) daher regelmäßig angeordnet. Die lokalen Maxima der hot spots können unterschiedliche Zersetzungsstadien mit unterschiedlichen C-Vorräten repräsentieren. Die Grundfläche der Stöcke (Werte, die den Mittelwert um das 10fach übersteigen) liegt bei $40 \text{ m}^2/\text{ha}$. Charakteristische Eigenschaften dieses Feldes sind eine log-Normalverteilung (Abb. 7.12, Seite 190 rechts) und der geringe Flächenanteil der hot spots.

Lineare Strukturen im Wald kommen sowohl in Naturwäldern als auch in Wirtschaftswäldern vor. Lineare Strukturen werden z.B. verursacht durch liegendes Totholz in naturnahen Wäldern, Erosionsrinnen im Gebirge oder Bachtälchen. In intensiv forstlich genutzten Wäldern sind es v.a. Fahrspuren und Entwässerungsgräben, die lineare Strukturen ausbilden. In Abb. 7.13, Seite 190 ist ein Beispiel für flächig ausgebildete lineare Strukturen dargestellt, wie sie z.B. durch Windwurf entstanden sein könnten.

Meist werden lineare Strukturen wie Gräben oder Bachtälchen weniger in Reinform auftreten, sondern vielmehr gemischt mit Standardsituationen. Die in Abb. 7.14, Seite 191 dargestellte Struktur könnte z.B. durch eine Rückgasse in einem Bestand verursacht sein.

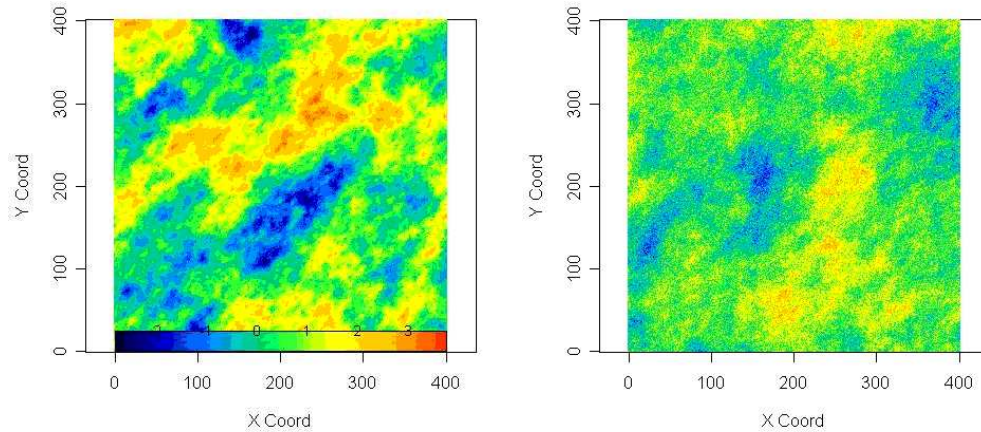


Abbildung 7.10: Beispiele von 2D-Zufallsfeldern mit einer in 45^{circ} Richtung ausgeprägten Anisotropie mit einem Anisotropiefaktor (Längen/Seitenverhältnis) von 1,5 und einem Range von 6 m. Links schwacher Nuggeteffekt (0,167); Rechts starker Nuggeteffekt (0,833). Legende unten im linken Bild.

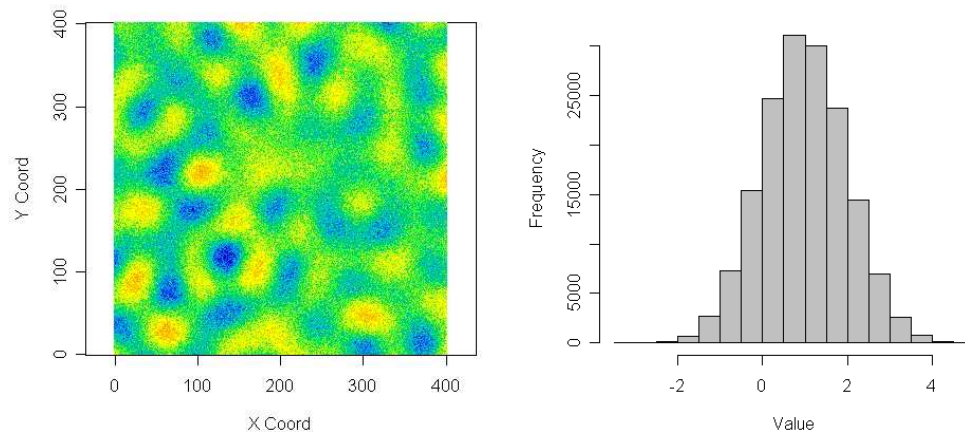


Abbildung 7.11: Beispiele von 2D-Zufallsfelder mit ausgeprägter Fleckigkeit (Patchiness). Als Histogramm wurde eine Normalverteilung zugrunde gelegt. Legende siehe Abb. 7.10, Seite 189

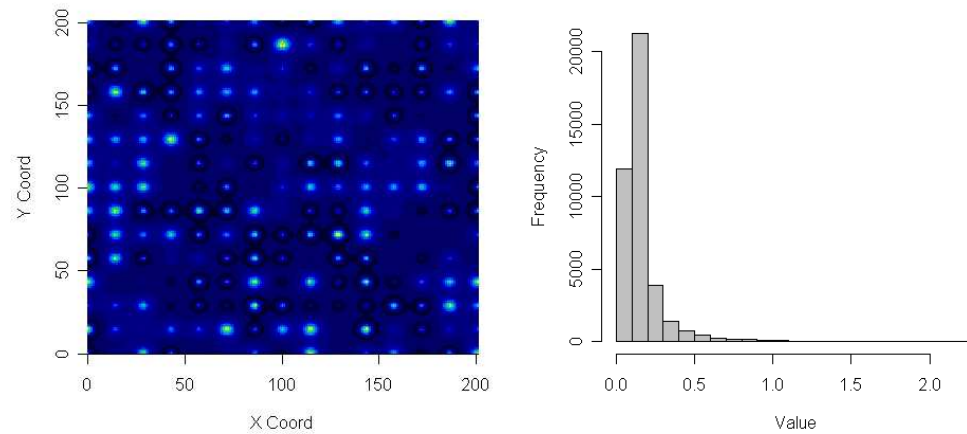


Abbildung 7.12: Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit regelmäßigen hot spots (rechtes Bild, helle Bereiche). Das Beispiel steht für hot spots von C-Vorräten in Stöcken. Der Flächenanteil der hot spots beträgt 0,4 % der Gesamtfläche. Es wurde eine Lognormalverteilung unterstellt (linkes Bild).

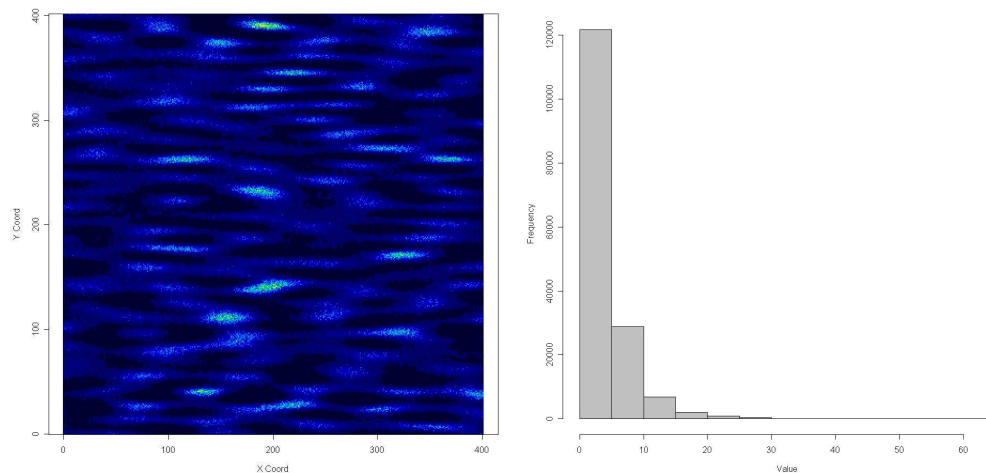


Abbildung 7.13: Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit regelmäßigen hot spots in linearer Anordnung (rechtes Bild, helle Bereiche). Das Beispiel steht für hot spots von C-Vorräten in liegendem Totholz. Der Flächenanteil der hot spots beträgt 0,4 % der Gesamtfläche. Es wurde eine Lognormalverteilung unterstellt (linkes Bild).

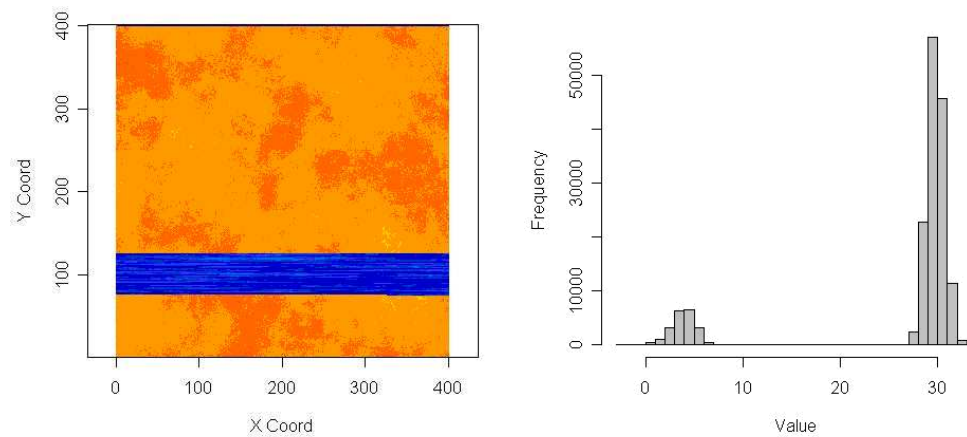


Abbildung 7.14: Beispiele eines 2D-Zufallsfeldes mit linearer Struktur (rechtes Bild, blauer Bereich). Das Beispiel steht für den Effekt von linearen Strukturen wie Rückegassen. Der Flächenanteil der Rückegasse beträgt gut 10 % der Gesamtfläche. Es wurde eine Normalverteilung unterstellt (linkes Bild).

7.5.2 Monte Carlo-Simulation mit verschiedenen Probenahmedesigns

7.5.2.1 Überlegungen zum systematischen Einfluss des Probenahmeschemas

Jeder Punkt in den simulierten Feldern hat aufgrund seiner Lage unterschiedliche hohe Chancen, durch das jeweilige Probenahmeverfahren beprobt zu werden. Im Extremfall sind Punkte völlig von der Probenahme ausgeschlossen, d. h. die Wahrscheinlichkeit der Beprobung ist null (Abb. 7.15, Seite 192 und 7.16, Seite 192). Zunächst ergibt sich bei näherer Betrachtung der unterschiedlichen Probenahmeschemata, dass nicht die gleiche Grundgesamtheit beprobt wird: die Varianten Z1 und Z9 beproben nur einen inneren Kreis mit Radius 10 bzw. 11 m, die Varianten S8 und K9 beproben eine innerhalb eines Kreises mit Radius 20 m gelegenen achtblättrige Rosette (siehe Abb. 7.15, Seite 192). Die geometrische Figur der Rosette ergibt sich aus dem Probenahmeverfahren mit acht Satelliten. Damit ist die Grundgesamtheit für dieses Verfahren gegenüber dem Kreis ebenfalls etwas eingeschränkt.

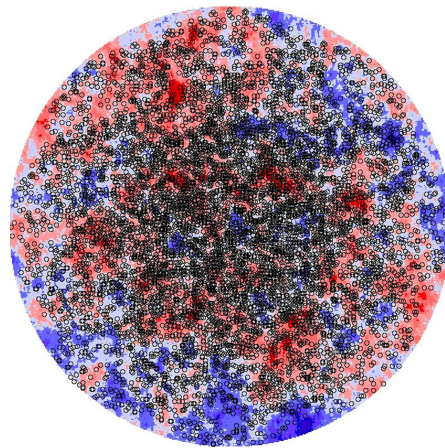


Abbildung 7.15: Probefläche mit den Probenahmepunkten von 1000 Zufallsziehungen mit dem Schema K9 (schwarze Ringe).

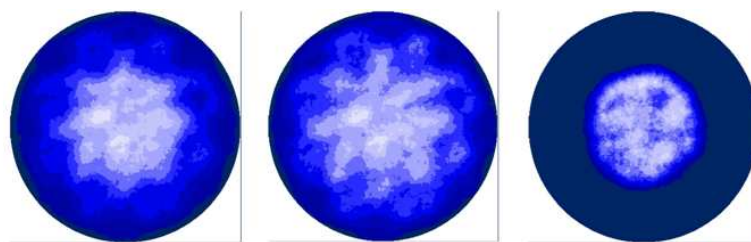


Abbildung 7.16: Beprobungsdichte ($\text{Proben}/\text{dm}^2$) mit den Probeverfahren (von links nach rechts) K9, S8 und Z1 für die Ziehung von 1000 Proben. Hell: hohe Beprobungsdichte, dunkel: niedrige Beprobungsdichte. Die dunkelsten Flächen werden gar nicht beprobt. Auf den beprobten Flächen unterscheiden sich die Beprobungsdichten für die beprobten Flächen um ca. eine Zehnerpotenz.

Bei der Beprobung einzelner Felder treten in Abhängigkeit vom Probenahmedesign unterschiedlich starke systematische Abweichungen vom Mittelwert auf (Abb. 7.17, Seite 193 links). Für den einzelnen Standort kommt es also zu systematischen Abweichungen (Bias) und damit zu einem Problem mit der Richtigkeit (trueness) des Verfahrens (Abb. 7.17, Seite 193 links).

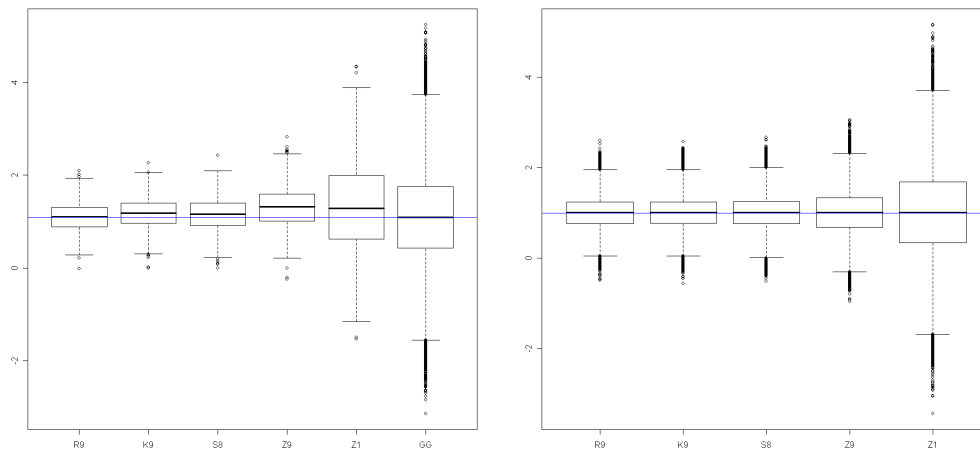


Abbildung 7.17: Links: Ergebnis eines Simulationslaufes mit 1000 Beprobungen der Grundgesamtheit (GG) mit den Probenahmevarianten R9, K9, S8, Z9 und Z1. Korrelationslänge: 15 m Nugget: 0.5. Der Mittelwert der Grundgesamtheit ist als blaue Linie eingezeichnet. Rechts: Ergebnisse von 100 Simulationsläufen mit 1000 Beprobungen pro Variante. Korrelationslänge 15 m. Durch die hohe Anzahl der Beprobungen liegt der Mittelwert aller Varianten am wahren Mittelwert und die Varianten können ausschließlich durch die Varianz charakterisiert werden.

Die Richtigkeit (trueness) ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem aus einer Stichprobe erhaltenen Mittelwert und dem anerkannten Referenzwert, in unserem Fall den wahren Mittelwert der Grundgesamtheit. Wenn also der Mittelwert gut mit dem wahren Wert übereinstimmt, so ist die Richtigkeit hoch (Abb. 7.18, Seite 194, rechts oben). Dies sagt nichts darüber aus, wie stark die einzelnen Werte streuen (Abb. 7.18, Seite 194 rechts unten). Dies ist die Präzision (precision), die üblicherweise mit der Varianz oder einer daraus abgeleiteten Größe beschrieben wird. Liegen also mehrere Messwerte dicht beieinander, so hat die Messmethode eine hohe Präzision (Abb. 7.18, Seite 194, oben). Das bedeutet aber noch nicht, dass die gemessenen Werte auch richtig sind. Sie könnten präzise falsch sein (Abb. 7.18, Seite 194, links oben). Ein solcher systematischer Fehler (Bias) entsteht v. a. bei Varianten, die nur einen Teil der Probenfläche abdecken und ist bei der kleinsten Stichprobe (Z1) am größten. Dies bedeutet, dass Bundesländer, die entsprechende Verfahren einsetzen, am einzelnen Standort mit systematisch verzerrten Werten rechnen müssen. Für die übergreifende Auswertung von BZE-Daten auf Bundesebene ist das Problem der Richtigkeit jedoch nicht von Belang. Große Datenkollektive enthalten sowohl negative als auch positiv verzerrte Stichprobenwerte. Durch die Simulation und Beprobung von 100 Permutationen pro Feldtyp wurde dem Ansatz der bundesweiten BZE-Auswertung entsprochen. Die bei der Betrachtung einzelner Felder auftretenden systematischen Verzerrungen der Mittelwerte (Bias) werden durch dieses Verfahren ausgeglichen (Abb. 7.17, Seite 193 rechts). Für den Effekt der Probenschemata kann nun die Varianz als Maß für die Präzision herangezogen werden.

Bei Parametern, die eine reine Zufallsverteilung aufweisen (Abb. 7.6, Seite 184, 100 % Nugget) ist der Varianzexpansionsfaktor (VEF) nur von der Stichprobengröße des Probenahmeverfahrens und nicht von der räumlichen Anordnung der Proben abhängig. Das Verhältnis aus VEF und Stichprobenumfang n ist in Abb. 7.19, Seite 195 dargestellt. Als Referenzwert für den VEF wurde

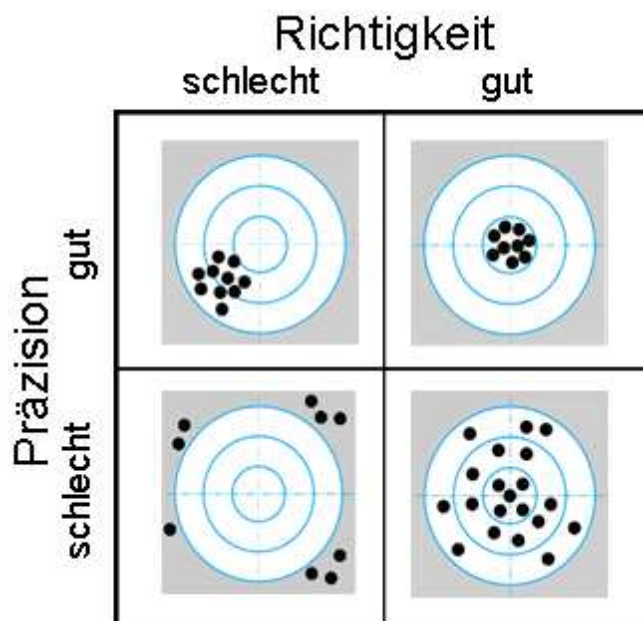


Abbildung 7.18: Richtigkeit und Präzision als Gütekriterien von Stichprobenverfahren illustriert am Beispiel einer Zielscheibe. Das Zentrum entspricht dem Referenzwert. Die Präzision wird in der Statistik mit Streuungsmaßen, wie z.B. der Varianz und daraus abgeleiteten Größen beschrieben. Die Richtigkeit ist folgendermaßen definiert:

$$\text{Richtigkeit} = \frac{\text{Messwert} - \text{Referenzwert}}{\text{Referenzwert}}$$

die Standardstichprobengröße von $n=9$ angenommen. Die VEF für sind für verschiedenen Stichprobengrößen (1, 3, 8, 9, 30, 100) als Kreuz aufgetragen. Es wird deutlich, dass die Varianz von Datenkollektiven aus Mischproben stark vom n der zugrunde liegenden Mischprobe abhängig ist. Dabei verhält sich die Varianz des Datenkollektivs proportional zur Stichprobengröße. So ist die Varianz in Datenkollektiven mit Mischproben aus drei Werten dreimal so hoch wie in Daten mit Mischproben aus neun Werten. Der VEF ist daher proportional zum Verhältnis des n der untersuchten Stichprobe zur Referenzstichprobe (R9) und bildet eine Hyperbel. Aus der Lage des VEF für die Stichprobengröße neun auf dem unteren Ast der Hyperbel wird deutlich, dass eine Erhöhung der Präzision der BZE-Probenahme nur durch eine erhebliche Steigerung des Aufwands erreichbar wäre. Die VEF für die Stichprobengrößen der BZE II sind in Tab. 7.4, Seite 195 aufgeführt.

7.5.2.2 Normalverteilte Bodenparameter

Die Varianzexpansionsfaktoren liegen bei der K9-Variante etwa bei einem Wert von 1 oder etwas darunter (Abb. 7.20, Seite 196). Die Standardvariante der BZE (K9) führt gegenüber einer zufälligen Probenahme (Varianzexpansion = 1) zu keiner nennenswerten veränderten Streuung der Stichprobenmittelwerte. Bei der mittleren Variante (mittlerer Nugget, mittlerer Range) liegt die Varianz sogar 7 % unter jener einer Zufallsprobenahme. Die Absenkung der Streuung hängt mit der gleichmäßigeren räumlichen Abdeckung des Probenahmeschemas K9 im Vergleich zur Zufallsprobenahme zusammen.

In der geostatistischen Analyse erwies sich, dass der Modellboden mit mittlerem Rauschen und mittlerer Korrelationslänge in der Natur offenbar am häufigsten vorkommt. Daher wurde der VEF

Tabelle 7.4: Varianzexpansionsfaktoren (VEF) für Stichprobengrößen der BZE II. Den Referenzwert bildet die Stichprobengröße der Standardbeprobung ($n = 9$).

Stichprobengröße (n)	Varianz-Expansions-Funktionen (VEF)
1	9,000
3	3,000
8	1,125
9	1,000

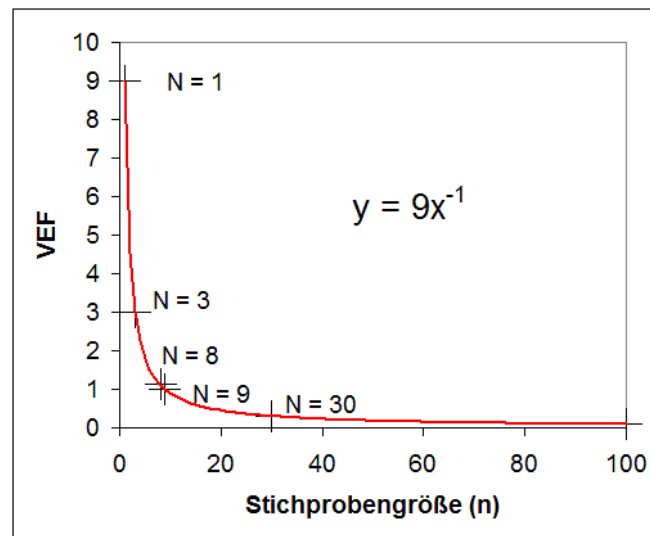


Abbildung 7.19: Abhängigkeit der Varianzexpansionsfaktoren (VEF) von der Stichprobengröße bei räumlich nicht autokorrelierten Daten (pure nugget).

für diese Variante als Eingangsgröße für das Fehlerbudget verwendet.

Bei den Varianten K9 und S8 fällt auf, dass die mittlere Korrelationslänge (6 m) jeweils mit der minimalen Varianzexpansionen verbunden sind. Dieser Befund beruht darauf, dass der Beobachtungsabstand der K9 (Zentralpunkt-Satellit = 10 m, Satellit-Satellit = 7 m) ähnlich weit ist wie die Korrelationslänge. Je weiter die Korrelationslängen vom Beobachtungsabstand abweichen (Range = 2 m), desto stärker expandiert die Varianz. Dies ist am deutlichsten bei geringem Rauschen. Der maximale Varianzexpansionsfaktor (1,67) bei S8 wird daher bei einem Range von 2 m und einem Nuggeteffekt von 0,167 erreicht. Die Varianz der Referenzkategorie für das Fehlerbudget (mittlerer Nugget, mittleres Rauschen) liegt bei Variante S8 nur knapp über der Zufallsprobenahme (Varianzexpansionsfaktor = 1,045).

Der Beobachtungsabstand der Z9-Variante (Zentralpunkt-Satellit: 1 m, Satellit -Satellit: 0,7 m) ähnelt der Korrelationslänge von 2 m (geringste Reichweite, dunkle Säulen). Die Varianzexpansionsfaktoren liegen daher jeweils deutlich unter denen der mittleren und weiten Korrelationslänge. Bei niedrigem Rauschen sind die Unterschiede naturgemäß am ausgeprägtesten. Die Varianzexpansionsfaktoren sind bei geringem Nugget maximal, weil der durch die Variante Z9 beprobte Zentralbereich dann am deutlichsten vom Umfeld abweicht. Bei hohem Rauschen nähern sich die

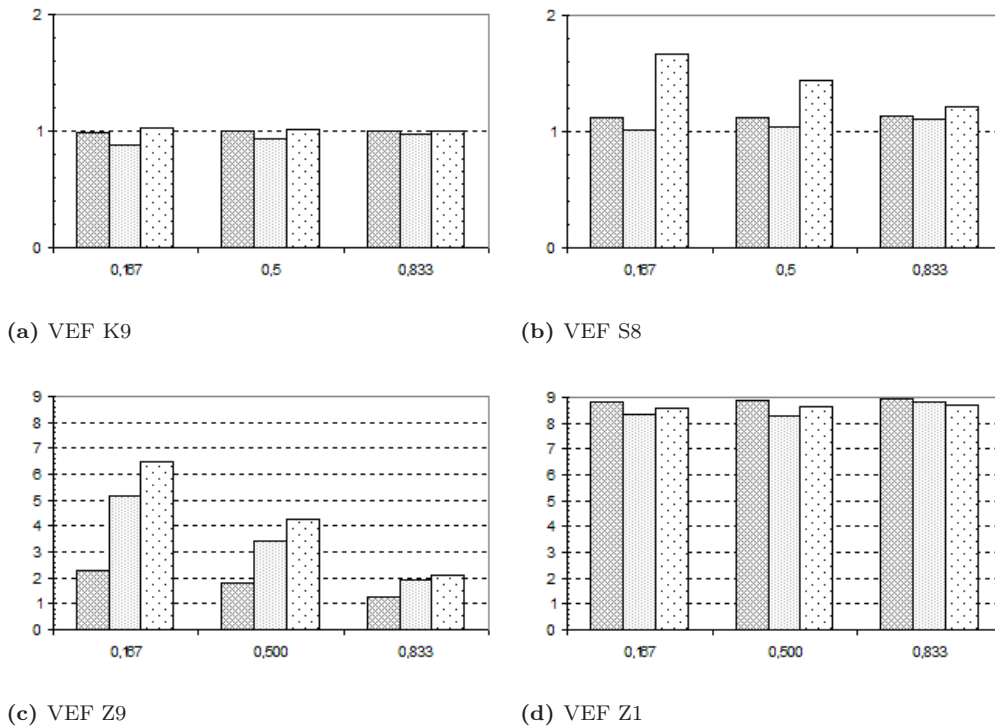


Abbildung 7.20: Varianzexpansionsfaktoren (VEF) der Probenahmevarianten K9, S8, Z9 und Z1 gruppiert nach Nuggeteffekt (0,167; 0,5; 0,833). Eng gepunktete Säulen (dunkel) symbolisieren die kürzeste Korrelationslänge (2 m) weit gepunktete Säulen (hell) symbolisieren die längste Korrelationslänge (15 m), hellgrau Säulen die mittlere Korrelationslänge (6 m). Beachten Sie die unterschiedlichen Skalen (y-Achse).

Varianzen der Zufallsprobenahme an. Bei der Referenzkategorie für das Fehlerbudget (mittlerer Nugget, mittleres Rauschen) liegt der Varianzexpansionsfaktor bei 3,4.

Bei der Variante Z1 unterschreitet der VEF den Wert von 9 (bei räumlich unabhängiger Verteilung, siehe Abb. 7.19, Seite 195) aufgrund der räumlichen Autokorrelation der Werte (Abb. 7.20, Seite 196). Die Varianzexpansionsfaktoren liegen jedoch meist nur knapp unter dem Maximalwert und es bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten. Der Varianzexpansionsfaktor der Referenzkategorie für das Fehlerbudget (mittlerer Nugget, mittleres Rauschen) liegt bei dieser Variante bei 8,3.

7.5.2.3 Lognormalverteilte Bodenparameter

In vielen Fällen sind Bodenparameter nicht normalverteilt. Die Häufigkeitsverteilungen tendieren häufig zur Lognormalverteilung. Bodenparameter, die räumliche hot spots (z.B. HILDEBRAND und SCHACK-KIRCHNER (1999); HAGEDORN ET AL. (1999) aufweisen gehören dieser Verteilungsfamilie an. Probenahmeverfahren mit gutachterlicher Vorauswahl oder dem Ausschluss von „Störungen“ zielen darauf ab, Extremwerte von der Analyse auszuschließen. Sie gehen davon aus, dass diese Werte nicht zum „normalen“ Boden gehören. Dies wäre etwa der Fall, wenn bei einem Standort kleinflächig Mikrostandorte vorkommen, die nicht Gegenstand der Beurteilung darstellen sollen. Dies sind in einem Wald z.B. Stöcke und Stubben. Manche Bodenkundler streben auch an, den Stammbereich mit seinen besonderen Bedingungen (z.B. GLAVAC ET AL. (1985) von der Be-

trachtung auszuschließen.

Welchen Einfluss ein solches Vorgehen auf die Stichprobenverteilungen hat, wurde im TP4 im Rahmen der Simulation von lognormalverteilten Bodenparametern untersucht: Hierzu wurde die Variante K9 um 2 Subvarianten ergänzt:

- Ausschluss von Störungen: K9AS
- Gutachtliche Vorauswahl: K9GV

Bei der Variante „Ausschluss von Störungen“ wurde ein Ersatz von Werten, die höher als 90 Prozent aller Werte sind (90. Perzentil) mit dem Wert des 90. Perzents vorgenommen. Statistisch gesehen entspricht dieses Vorgehen einer Ausreißerbereinigung nach dem sogenannten Winsoring-Verfahren (WINER, 1962), bei dem im Gegensatz zum Trimming die Extremwerte nicht weggelassen, sondern auf den Trennpunkt (cut-off point) zurückgesetzt werden. Praktisch steht es für ein Probenahme-Verfahren, bei dem ein hot spot vom Probennehmer richtig erkannt wird und daher ein Probenahme-Versatz im Nahbereich stattfindet, gerade soweit, bis ein tolerierbarer Bereich erfasst wird. Aufgrund der Autokorrelation der Bodendaten wird angenommen, dass in der Nachbarschaft des hot spots immer noch ein hoher Wert (eben das 90. Perzentil) vorgefunden wird. Bei der Variante „Gutachtliche Vorauswahl“ wurden Extremwerte über dem 90. Perzentil durch den Mittelwert ersetzt. Der Mittelwertersatz ist ebenfalls ein übliches statistisches Verfahren zur Beseitigung von Ausreißern bei dem die Extremwerte nicht weggelassen, sondern ersetzt werden. In Bezug auf die Probenahme steht dieses Verfahren für einen Probenahme-Versatz in den typischen Bereich hinein. Hierbei wird unterstellt, dass dies dem Probennehmer idealer Weise gelingt. In Abb. 7.21, Seite 198 links ist das Ergebnis aus 1000 Beprobungen bei einem Feld mit einer Korrelationslänge von 15 m und einem Nugget von 0.125 dargestellt. Im Vergleich zur Variante K9 (2. Boxplot von links) ist bei K9GV und K9AS (3. bzw. 4. Boxplot von links) eine Absenkung der Werteverteilung zu erkennen. Der arithmetische Mittelwert sinkt ab und nähert sich dem Median der Grundgesamtheit an. Genau dies wurde durch die Verfahren K9GV und K9AS beabsichtigt. Gemessen am Mittelwert der Grundgesamtheit wird hierdurch jedoch eine systematische Abweichung vom Mittelwert erreicht. Ob eine Charakterisierung der Wertepopulation besser durch das arithmetische Mittel oder durch den Median geschieht, hängt vom jeweiligen Untersuchungsziel ab.

Insgesamt weichen die Stichprobenmittelwerte aus einer lognormalverteilten Grundgesamtheit stärker ab, als dies bei einer Normalverteilung der Fall ist (Vgl. Abb. 7.21, Seite 198 links mit Abb. 7.17, Seite 193 links).

Wie bei der Normalverteilung gleichen sich systematische Abweichungen durch Permutation des untersuchten Feldes aus, so dass bei den Simulationsergebnissen im Studiendesign kein systematischer Fehler auftritt (vgl. Abb. 7.21, Seite 198 rechts mit Abb. 7.17, Seite 193 rechts). Solange der arithmetische Mittelwert großer Datenkollektive gesucht wird, stellt sich das Problem systematischer Abweichungen auch im Falle lognormalverteilter Grundgesamtheiten nicht (Richtigkeit, siehe Abb. 7.18, Seite 194), da sich die Richtigkeit einer Stichprobe definitionsgemäß auf den arithmetischen Mittelwert bezieht. In Fällen, in denen nicht der arithmetische Mittelwert, sondern der Median gesucht wird, treten durch die Mischprobenbildung aber systematische Verzerrungen auf. Inwieweit sich bei großen Datenkollektiven systematische Abweichungen einstellen zeigt Abb. 7.22, Seite 199: Mit steigendem Stichprobenumfang nähern sich die Verteilungen der Stichprobenmittelwerte der Normalverteilung an (Zentraler Grenzwertsatz). In gleicher Weise nähert sich der Median dem Mittelwert der Stichprobenverteilung und damit dem Mittelwert der Grundgesamtheit an.

Ab einem n von 30 (sog. „große Stichprobe“) sind beide Werte bereits annähernd identisch. Aus Abb. 7.22, Seite 199 ist ersichtlich, dass bereits bei einer Stichprobe von $n = 9$ die Stichprobenmittelwerte aus einer lognormalverteilten Grundgesamtheit annähernd normalverteilt sind und der Median und der Mittelwert der Stichprobenmittelwerte fast übereinstimmen. Dies bedeu-

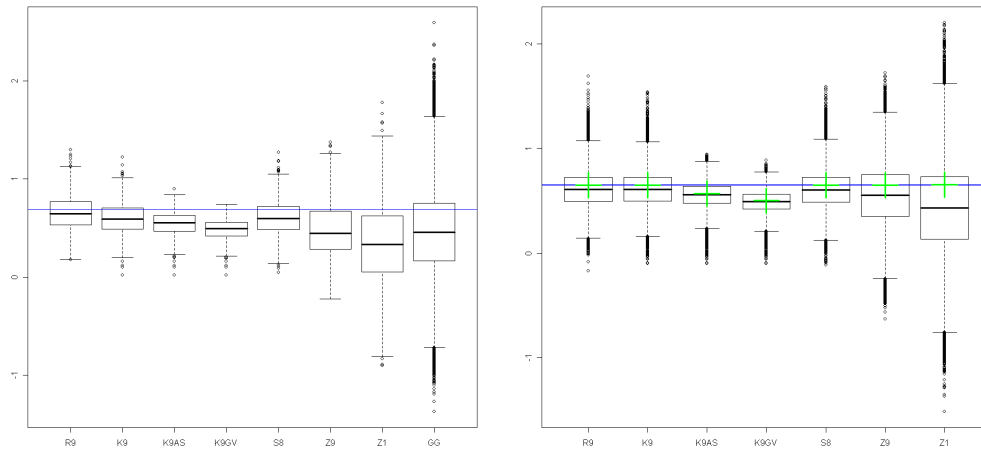


Abbildung 7.21: Oben: Ergebnis eines Simulationslaufes mit 1000 Beprobungen der Grundgesamtheit (GG) mit den Probenahmevarianten R9, K9, K9GV, K9AS, S8, Z9 und Z1. Korrelationslänge: 15 m, Nugget: 0.167. Der Mittelwert der Grundgesamtheit ist als blaue Linie eingezeichnet. Unten: Ergebnis von 100 Simulationsläufen mit je 1000 Beprobungen der Grundgesamtheit mit den gleichen Probenahmevarianten. Korrelationslänge: 6 m, Nugget: 0.5. Der Mittelwert der Grundgesamtheit ist als blaue Linie eingezeichnet, die Mittelwerte der Ergebnisse der Beprobungsvarianten sind als grüne Kreuze eingezeichnet. Die Darstellung der Y-Achse ist logarithmisch.

tet, dass in großen Datenkollektiven keine systematische Verzerrung zu befürchten ist, solange der arithmetische Mittelwert gesucht wird. Durch den Ausschluss von Extremwerten nähert sich der Mittelwert der Stichprobe dem Median der Grundgesamtheit an (Abb. 7.21, Seite 198 rechts, Varianten K9AS und K9GV), hierdurch entsteht bezüglich des Mittelwertes also eine systematische Verzerrung.

Die Varianzexpansionsfaktoren (VEF) bei lognormalverteilter Grundgesamtheit liegen bei den Varianten K9 und S8 nur geringfügig über den VEF bei normalverteilter Grundgesamtheit (Abb. 7.23, Seite 200). Bei den Probenahmevarianten mit Ausschluß von Störungen (K9AS) bzw. gutachterlicher Vorauswahl (K9GV) liegen die VEF deutlich unter denen der Standardvariante K9. Diese Verfahren sind - wie erwartet - mit einem erheblichen Gewinn an Präzision verbunden, allerdings ist die Schätzung bezüglich des arithmetischen Mittels nicht mehr erwartungstreu, sondern man erhält - wie bereits ausgeführt - einen Mittelwert, der zum Median der Grundgesamtheit tendiert. Wenn der Median der Bodendaten bestimmt werden soll, ist dieses Vorgehen also mit großen Vorteilen verbunden.

Die Varianten, welche nur den Zentralbereich erfassen, sind mit den höchsten VEF verbunden (Abb. 7.23, Seite 200). Bei 9 Proben im Profil (Z9) liegt der VEF der lognormalverteilten Variante sogar etwas günstiger als bei normalverteilter Grundgesamtheit. Es stellt sich also auch bei lognormalverteilter Grundgesamtheit der Befund ein, dass der VEF des Modellbodens mit zufälliger Verteilung (100 % Nugget) bei keiner der Varianten überschritten wird (Abb. 7.23, Seite 200). Auch die Probenahmevariante Z1 erreicht den Wert von 9 nicht ganz (Abb. 7.23, Seite 200; $VEF=8,81$). Die Ursache hierfür liegt - wie bei bereits erwähnt - in der Autokorrelation der Werte. Bei lognormalverteilten Grundgesamtheiten ergeben sich im Vergleich zu normalverteilten Grundgesamtheiten (Vergleich der Varianten K9, S8, Z9 und Z1) hinsichtlich der VEF also keine großen Unterschiede. Es sei an dieser Stelle aber betont, dass die Varianzen bei Lognormalverteilung meist erheblich über denen bei normalverteilter Grundgesamtheit liegen. Dies gilt auch für die

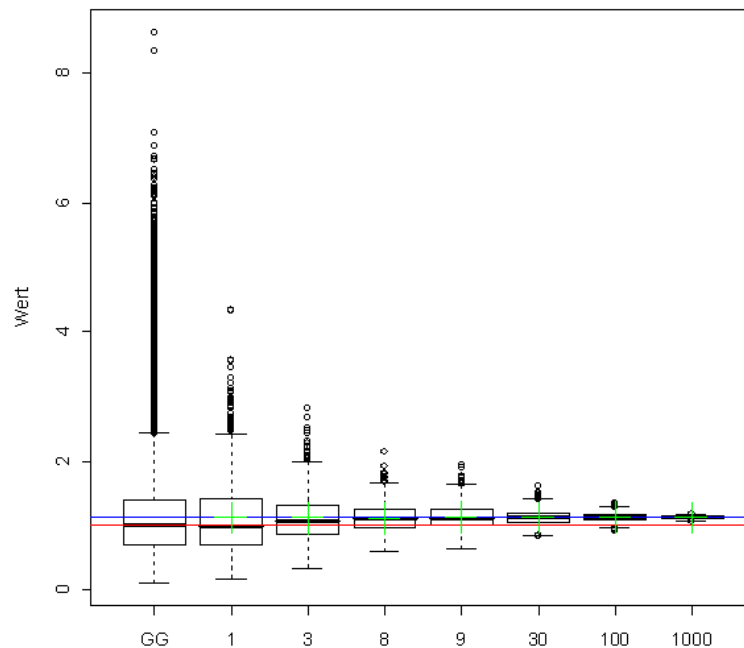


Abbildung 7.22: Häufigkeitsverteilungen von 1000 Stichprobenmittelwerten aus Stichproben unterschiedlichen Umfangs ($n=1$ bis $n=1000$) und Median als Schätzer bei lognormalverteilten Grundgesamtheiten ohne räumliche Autokorrelation; blau: Mittelwert der Grundgesamtheit (GG), grün: Mittelwert der Stichproben, rot: Median der Grundgesamtheit.

Varianz unserer Modellböden und demzufolge auch für die jeweiligen Referenz-Varianzen (R9).

Die VEF-Absenkung bei den Varianten K9AS und K9GV zeigen, dass sich die Unsicherheit bei lognormalverteilten Bodenparametern auf einen Bruchteil absenken lässt, wenn es gelingt, Störungen gezielt auszuschließen und man sich damit begnügt, die Grundgesamtheit durch einen an den Median angenäherten Mittelwert zu repräsentieren. Allerdings setzt dies voraus, dass der Ausschluss von Störungen dem Probennehmer auch gelingt. Ob dies in der Praxis unterstellt werden kann, darf allerdings bezweifelt werden. KIRWAN ET AL. (2005) konnte keinen Einfluss auf die Präzision der Stichprobe feststellen, wenn der Stammfußbereich von der Probenahme ausgeschlossen wurde. Dies dürfte auch bei anderen Mikrosites der Falls sein, die zur natürlichen Variation des Waldboden beitragen aber vom Probennehmer als solche nicht erkennbar sind, wie z.B. hot spots von Nitrat in Bereichen von preferential flow (HAGEDORN ET AL., 1999). Bodenbereiche bzw. Störungen, die eindeutig identifiziert werden können, wie z.B. Stöcke, Stubben oder Fahrspuren sowie Rückegassen und Reisighaufen kann ein gezielter Ausschluss sinnvoll sein, wenn es gilt den ungestörten Boden zu charakterisieren. Dieser Aspekt wird im nächsten Kapitel noch weiter ausgeführt.

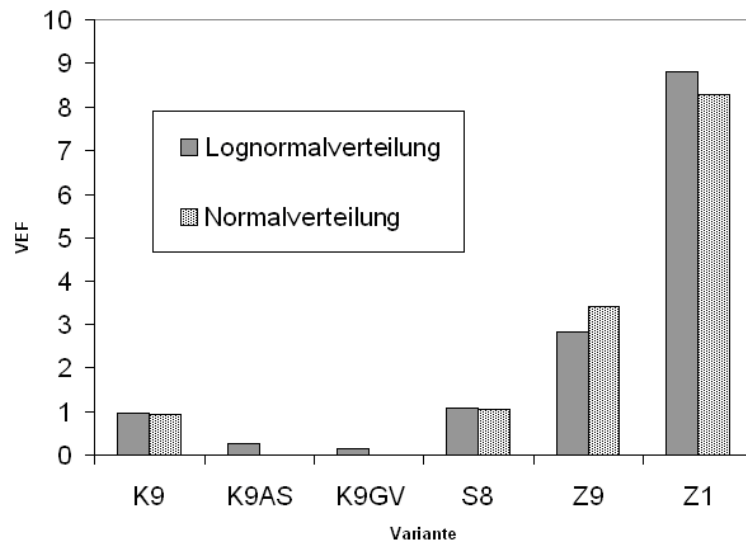


Abbildung 7.23: Varianzexpansionsfaktoren der Probenahmevarianten K9, K9AS, K9GV, S8, Z9 und Z1 bei lognormalverteilter (schwarze Säulen) und normalverteilter (graue Säulen) Grundgesamtheit sowie mittlerem Nuggeteffekt (0,5) und mittlerem Range (6 m).

7.5.2.4 Sonderfälle

Als Sonderfälle wurden Felder mit Anisotropie, mit Wave-Strukturen und mit linearen Strukturen untersucht. Die Ergebnisse der beiden ersten Fälle werden nur kurz dargestellt. Wie aus dem Ergebnis der Felder mit Normalverteilung und Lognormalverteilung hervorgeht, übertreffen die VEF bei diesen Strukturen den theoretischen Wert nicht.

Zur Untersuchung der Felder mit Anisotropie wurden 100 Felder mit den in Abschnitt 7.5.1.4 beschriebenen Anisotropie-Eigenschaften generiert und jeweils 100fach beprobt. Die resultierenden Häufigkeitsverteilungen sind in Abb. 7.24, Seite 201 dargestellt.

Während die Varianzexpansionsfaktoren (Abb. 7.25, Seite 202) der Varianten K9 und S8 im Wesentlichen mit der Referenz und mit denjenigen eines isotropen Feldes übereinstimmen, ist der VEF für die beiden Varianten Z9 und Z1 deutlich niedriger.

Bei Feldern mit Periodizität wurden keine Permutationen gerechnet, da hier keine großen Unterschiede normalverteilten Standardfeldern erwartet wurden. Das Ergebnis einer 1000-fachen Beprobung mit den Varianten R9, K9, S8, Z9 und Z1 (Abb. 7.26, Seite 203) bestätigt augenscheinlich und exemplarisch diese Vermutung (vgl. Abb. 7.17, Seite 193 links).

Als letzter Sonderfall wurde untersucht, inwieweit lineare Störungen (z.B. Fahrspuren, Rückegassen) die VEF der Probenahmevarianten beeinflussen. Hierbei wurde angenommen, dass die Werte auf der Rückgasse 4-fach erhöht sind. Hierzu wurden zwei Felder überlagert, ein normalverteiltes Feld aus der Originalsimulation und ein Linienelement mit starker Anisotropie als Fahrspur (siehe Abb. 7.14, Seite 191).

Die VEF sind bei der Beprobung mit Rückegasse gegenüber der Variante ohne Rückegasse ca. doppelt bis dreimal so hoch, gemessen an der Varianz der Zufallsprobenahme ohne Rückegasse (R9-Variante des Modellbodens ohne Rückegasse). Die höchsten VEF kommen bei der Variante

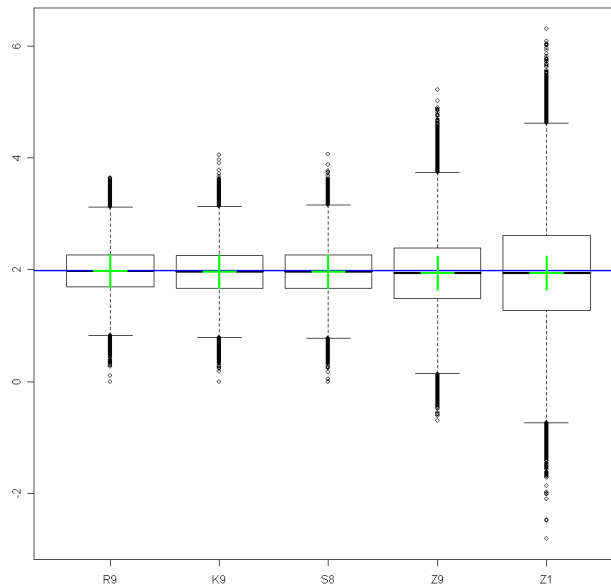


Abbildung 7.24: Anisotropes Feld: Ergebnis von 100 Simulationsläufen mit je 1000 Beprobungen der Grundgesamtheit mit den gleichen Probenahmevarianten. (Range = 60, nugget = 0,5, Anisotropieparameter: Winkel = 45^{circ} , Ellipse Länge/Breite = 2) Der Mittelwert der Grundgesamtheit ist als blaue Linie, die Mittelwerte der Ergebnisse der Beprobungsvarianten sind als grüne Kreuze eingezeichnet.

Z9 zustande, weil in 2-facher Hinsicht unterschiedliche Grundgesamtheiten beprobt werden. Zum einen unterscheidet sich der Zentralbereich auch ohne Fahrspur vom übrigen Feld. Zum anderen tritt durch die Fahrspur noch eine weitere Wertepopulation (Störung) hinzu. Im Einzelfall werden hierdurch große systematische Verzerrungen bewirkt. Im Endergebnis der Simulation schlägt sich dies in einem hohen VEF von ca. 18 nieder.

Die Varianzabsenkung bei den Varianten K9AS und K9GV zeigte bereits, dass der Ausschluss von Extremwerten die Präzision erheblich steigern kann. Beim Vergleich der Beprobungsvariante mit und ohne Rückegasse wird dieser Effekt nun auch am VEF deutlich, da in beiden Fällen die R9-Variante des Feldes ohne Rückegasse als Referenz verwendet wurde. Bei den bisherigen Varianten überschritt der VEF die Werte des Nuggetbodens nie, weil als Referenz für die Berechnung des VEF die jeweilige R9-Variante herangezogen wurde. Dieser Ansatz ist sinnvoll zur Ermittlung der VEF bei nicht erkennbaren Störungen. Bei deutlich erkennbarer Störung – wie sie eine Rückegasse darstellt – ist es dagegen sinnvoll, die Varianz bei der Beprobung der ungestörten Situation als Referenzwert zu verwenden, wenn der Effekt des Ausschlusses untersucht werden soll.

Ein weiterer Unterschied dieser Variante zu den bisher untersuchten Feldern mit Extremwerten (Lognormalverteilung) besteht darin, dass es sich aus 2 klar abgegrenzten Wertepopulationen zusammensetzt. Derartige Wertepopulationen kommen vor, wenn sich Böden mosaikartig aus Haupt- und Kleinstandorten zusammensetzen. Ein Mix von Wertepopulationen ist plausibel bei in der Standortkunde festgelegten Einheiten wie z.B. den Fels-Humus-Mosaikböden und den Block-Lehm-Mosaikböden. Es können aber auch vom Ausgangsgestein unabhängige Strukturen für ein Standortmosaik verantwortlich sein, wie Wurzelteller und -mulden sowie Bereiche mit Totholzer-

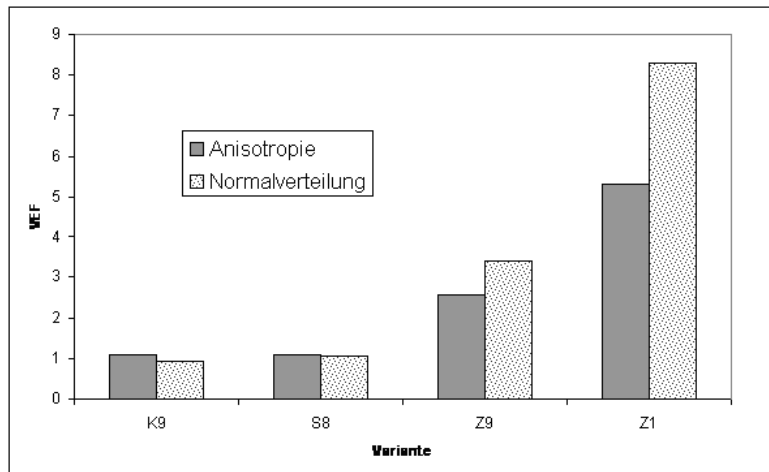


Abbildung 7.25: Varianzexpansionsfaktoren (VEF) für anisotrope Felder im Vergleich zu Standardfeldern mit Normalverteilung.

satz oder Humusakkumulation (vgl. „Kadaververjüngung“). Rechtschiefe Grundgesamtheiten (z. B. Lognormalverteilung) können aber ebenfalls als eine Kombination verschiedener Wertepopulationen interpretiert werden, wobei durch die Erfassung verschiedener Kleinstandorte mit überlappendem Wertespektrum ein kontinuierliches (rechtsschiefes) Histogramm entsteht. Die bei den lognormalverteilten Feldern besprochenen Probenahmevarianten mit gutachterlicher Vorauswahl (bzw. Ausschluss von Störungen, K9GV, K9AS) zielen genauso wie die Variante ohne Rückegasse darauf ab, bestimmte Bereiche von der Probenahme auszuschließen, um die Varianz zu minimieren.

Ein solches Verfahren führt aber nur dann zum Ziel, wenn die Erkennbarkeit der entsprechenden Bereiche für den Probenehmer gegeben ist. Selbst dann dürfte es in der Praxis allerdings schwierig sein, eine klare Abgrenzung von ein- bzw. auszuschließenden Fällen vorzunehmen. Die Tatsache, dass die verschiedenen Probenehmer hier ihre eigenen individuellen Maßstäbe setzen, führt bei jedem Probenehmer zu einem unbekannten systematischen Fehler.

Insgesamt zeigt die Untersuchung von Sonderfällen erneut, dass die VEF bei der Beprobung von autokorrelierten 2D-Feldern, diejenigen von Nuggetfeldern nicht überschreiten (1). Durch Probenahmevarianten, die auf einen Ausschluss von Extremwerten abzielen, ist - wie am Beispiel der Rückegassenvariante dargestellt wurde - eine erhebliche Absenkung der VEF möglich (2). Dies ist in der Praxis nur bei Störungen umsetzbar, die als solche gut erkennbar sind.

Ein Sonderfall, bei dem die Schätzung durch den Ausschluss von Werte-Peaks gut gelingen kann, sind Stöcke bzw. Stubben in einem bewirtschafteten Bestand. Eine C-Vorratschätzung aus der Kombination von Bodenuntersuchung (ohne Störung) mit einer Modellierung der C-Vorräte in den Stöcken hätte Vorteile. Der Flächenanteil der Stöcke kann aus Wachstumsmodellen (z.B. Ertragstafeln) in Kombination mit allometrischen Funktionen (z.B. BOLTE ET AL. (2004); ZIANIS ET AL. (2005) gut abgeschätzt werden. Stock- bzw. Totholzanteile sind aus den Erhebungen der Bundeswaldinventur (BWI) bekannt (POLLEY ET AL., 2001), die sich z.T. mit den Punkten der BZE decken. Der durchschnittliche C-Gehalt der Stöcke in einem durchforsteten Bestand kann über C-Mineralisierungsraten aus der Literatur (HERRMANN und BAUHUS, 2007) abgeschätzt werden. Der Gesamt C-Vorrat ergibt sich dann durch das Ergebnis der Bodenprobenahme ohne Stöcke plus die modellierten C-Vorrat in den Stöcken. Dieses Vorgehen hätte den Vorteil, dass eine von Extremwerten unbeeinflusste Grundgesamtheit ermittelt wird. Die Stöcke als hot spots des C-Vorrats können aufgrund plausibler Modellannahmen oder ggf. aus Messwerten (BWI) einfach und hinreichend genau geschätzt werden.

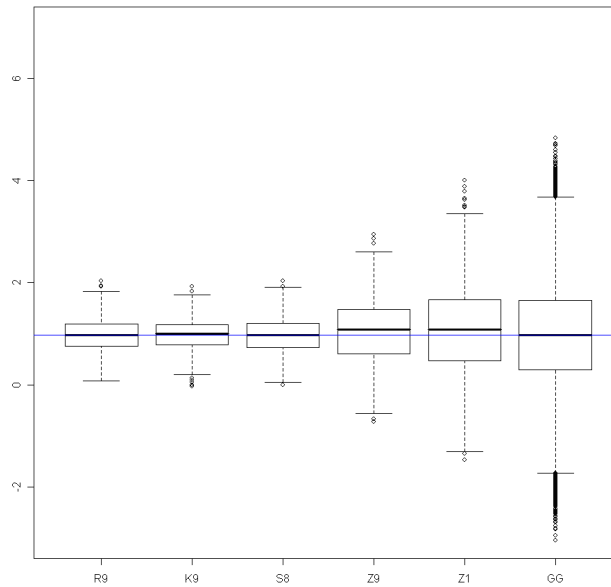


Abbildung 7.26: Feld mit Periodizität (Wave-Strukturen): Ergebnis von tausend Beprobungen der Grundgesamtheit (GG) mit den Probenahmevarianten R9, K9, S8, Z9 und Z1. Korrelationslänge: 15 m

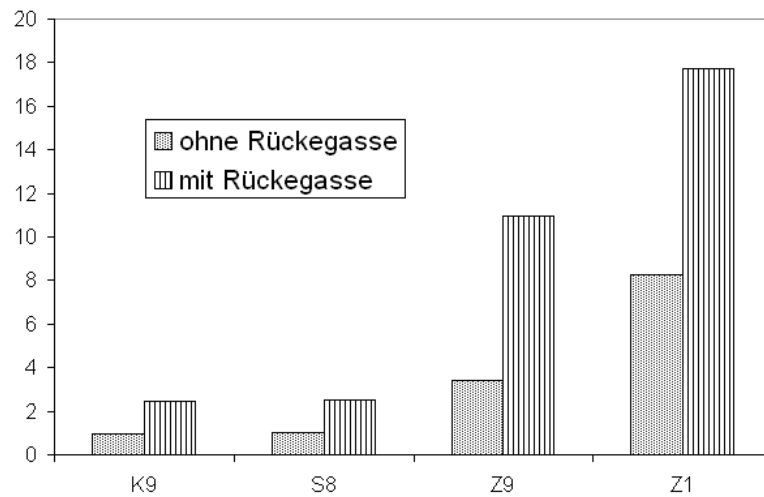


Abbildung 7.27: Varianzexpansionsfaktoren der Probenahmevarianten K9, S8, Z9 und Z1 bei Beprobung des Feldes mit (linierte Säulen) und ohne Rückegasse (punktlierte Säulen). Das Feld hat einen Nuggeteffekt von 0,5 und einen Range von 6 m. Die Rückegasse ist ein Teilfeld mit 4fach erhöhten Werten und starker Anisotropie.

7.6 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend können aus der Simulation folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Das kreisförmige Probendesign der BZE (K9) ist nicht mit Varianzerhöhung verbunden.
2. Die Variante S8 ist in den meisten Fällen nur mit einer marginalen Einbuße (wenige Prozent) an Präzision verbunden. Die größte Einbuße an Präzision (bis zu ca. 50 %) ist bei Bodenparametern mit langem Range und geringem Nuggeteffekt zu erwarten.
3. Bei den Varianten Z9 (9 Proben aus dem Profil) und Z1 (1 Profilprobe) expandiert die Varianz von Datenkollektiven hingegen um das Mehrfache (ca. 3 bzw. 9).
4. Die Varianzexpansionsfaktoren (VEF) sind umso niedriger, je näher der Beobachtungsabstand und der Range des untersuchten Bodenparameters beieinander liegen. Dies ist bei den Probenahmevarianten K9 und S8 ein Range von 6 m. Am stärksten wirkt sich dieser Effekt aber bei Variante Z9 aus. Hier liegen die VEF bei kurzen Korrelationslänge (2 m) nur ca. bei einem Drittel der VEF, die bei langen Ranges auftreten.
5. Gutachterliche Vorauswahl bzw. Ausschluss von Störungen sind bei der Probenahme angebracht, wenn bestimmte Mikrosites (hot spots) von der Mittelwertschätzung ausgeschlossen werden sollen. In diesem Fall wird nicht der arithmetische Mittelwert, sondern ein robusteres Maß für die Zentraltendenz der Wertepopulation geschätzt. Die auf diese Weise erhaltenen Schätzer tendieren zum Median der Grundgesamtheit. Die Schätzung gewinnt durch diesen Verfahren erheblich an Präzision.
6. Probenahmeverfahren mit gutachterlicher Vorauswahl führen pro Probenehmer zu einem unbekannten systematischen Fehler, da verschiedene Probenehmer unterschiedliche individuelle Maßstäbe für die Vorauswahl setzen.
7. Der VEF der Probenahmevarianten unterscheidet sich in Abhängigkeit vom Histogramm (Normalverteilung / Lognormalverteilung) der untersuchten Verteilung nur geringfügig. Probenahmevarianten, die mit einem Ausschluss einer Teilpopulation von Werten verbunden sind (siehe Punkt 5 und 6) beeinflussen den VEF stärker.

7.7 Empfehlungen

Am besten für die repräsentative Erfassung der Bodeneigenschaften geeignet ist eine stratifizierte Zufallsstichprobe mit räumlich ausgewogener Verteilung (z.B. WEBSTER und OLIVER (1990); FEYEN und PAPRITZ (1995)). Ein Stichprobenumfang von ca. 30 Proben (WEBSTER und OLIVER, 2001; KIRWAN ET AL., 2005) erlaubt nach gängigen Fehlertoleranzen hinreichend präzise Schätzungen. Das Standard-Design der BZE erfüllt die Forderungen hinsichtlich des Stichprobenumfangs nicht, stellt aber einen guten Kompromiss hinsichtlich Probenumfang und räumlicher Abdeckung einerseits und dem Aufwand für die Probenahme andererseits dar. Wie unsere Studie zum Einfluss verschiedener Probenahmevarianten auf die Stichprobenvarianz gezeigt hat, sind abweichende Designs für die Präzision und insbesondere für die bundesweite Gesamtauswertung der Daten von Nachteil. Für eine folgende BZE wird daher empfohlen, die Probenahmeverfahren besser aufeinander abzustimmen. Das bayerische Verfahren, bei dem der Zentralpunkt unbeprobt bleibt, ist nur mit einer geringen Einbuße an Präzision verbunden. Bei Verfahren, die lediglich den Zentralbereich (Profil) erfassen, leidet die Präzision aber erheblich. Im Einzelfall kommt es hierbei zu starken Abweichungen. Es wird daher empfohlen von solchen Probenahmeverfahren ganz abzusehen und in Zukunft für ganz Deutschland eine flächendeckende Probenahme (Probekreis) vorzusehen.

Die Bewertung, ob der Ausschluss bestimmter Bodenbereiche für die Zwecke der BZE zielführend ist, hängt von verschiedenen Aspekten ab. Im Prinzip zielt jede Bodenuntersuchung darauf ab, einen repräsentativen Schätzer für die betreffende Grundgesamtheit zu ermitteln. Dieses Ziel erscheint zunächst einfacher, als es sich in der Praxis darstellt. Bei Standorten, die sich mosaikartig aus verschiedenen Kleinstandorten zusammensetzen, stellt sich u.U. die Frage, welcher Bereich repräsentiert werden soll. Die ideale Lösung wäre eine getrennte Erfassung der Mosaik Elemente mit entsprechend gewichtetem Gesamtergebnis. Angesichts des hohen Aufwands ist dieser Weg im Rahmen der BZE allerdings nicht gangbar. Der Ausschluss von bestimmten Bodenbereichen im Rahmen der BZE zielt daher darauf ab, wenigstens die flächenmäßig größten Areale repräsentativ zu erfassen. Je nach Bodenparameter wirft dies jedoch neue Probleme auf. So kann z.B. bei Nitrat angenommen werden, dass hot spots für den Stoffumsatz des Gesamtsystems bedeutend sind (HILDEBRAND und SCHACK-KIRCHNER, 1999; HAGEDORN ET AL., 1999; MELLERT ET AL., 2007b). Sie sollten aus diesem Grund mitbeprobirt werden. Da hot spots von Nitrat für den Probennehmer i.d.R. aber nicht erkennbar sind, stellt sich die Frage, ob entsprechende Bereiche von der Probenahme ausgeschlossen werden sollen, in der Praxis aber kaum.

Anders ist dies z.B. bei der Ermittlung der C-Vorräte des Bodens. Hierbei „stören“ gut erkennbare hot spots bzw. Mikrohabitate wie Totholz (z.B. Stöcke), deren Gesamtfläche gut abgeschätzt werden kann. Zwar dürfte die Mitbeprobung von Stöcken aufgrund ihres geringen Flächenanteils nur selten auftreten, führt aber, wenn dieser Falls auftritt, zu einer Verzerrung des Mittelwert bezogen auf den Boden ohne Stöcke. Der Ausschluss von Stöcken ermöglicht daher eine Minderung der Stichprobenvarianz. Die Präzision der Gesamt C-Vorräte (Boden+ Stöcke) ist daher am besten, wenn die Probenahme unter Ausschluss von Stöcken vorgenommen wird. Bei Bedarf könnten die C-Vorräte der Stöcke durch Modellierung zu den reinen Bodenwerten hinzugefügt werden. Die Totholzerfassung im Rahmen der BWI II (POLLEY ET AL., 2001) bietet hierfür eine geeignete Datengrundlage.

Eine generelle Empfehlung hinsichtlich des Ausschlusses bestimmter Bodenbereiche von der Probenahme kann aufgrund der vorliegenden geostatistischen Auswertung nicht gegeben werden. Wie oben dargestellt, erfordert diese Entscheidung eine parameterspezifische fachliche Grundlage. Es gibt sowohl für den Ausschluss bestimmter Areale als auch für die Einbeziehung aller Bodenbereiche gute Gründe. Sollte der Ausschluss bestimmter Bodenbereiche weiter angestrebt werden, sollte das Manual der BZE für diese Fälle präzisiert werden. Zudem wird in diesem Fall eine bundesweite Kalibrierung von BZE-Probenheiterteams empfohlen, um systematische Fehler aufgrund individuell unterschiedlicher Entscheidungskriterien zu minimieren.

Die Literaturrecherche hat den großen Bedarf an Forschung in Fragen der kleinräumigen Variabilität von Waldböden verdeutlicht. Aufgrund der großen Daten- und Wissenslücken wäre eine adäquate Untersuchung der Fragestellung ohne eine Simulation von Modellböden nicht möglich gewesen. Um die Aufwendungen für die Forschung zur kleinräumigen Variabilität zu minimieren, wird empfohlen, bestehende Monitoringflächen mit ohnehin relativ dichtem Netz (z.B. bayerische BDF) weiter zu verdichten, am besten mit einem räumlich genesteten Stichprobendesign. Mit weiteren Erkenntnissen über die Abhängigkeit der räumlichen Bodeneigenschaften vom Standortstyp können wichtige empirische Daten gewonnen werden und die zugrunde liegenden Prozesse identifiziert werden. Dieses Wissen ist insbesondere für die Regionalisierung von Ergebnissen bundesweiter Datensätze von großer Bedeutung.

Kapitel 8

Erstellung eines Fehlerbudgets

Thomas Riedel

Der Gesamtfehler bei der BZE für die Schätzung von Bodenparametern, wie z.B. Vorräten oder Gehalten im Boden setzt sich aus dem Stichprobenfehler, aber auch aus verschiedenen methodisch bedingten Fehlern zusammen. Dies sind im einzelnen:

1. Stichprobenfehler, bedingt durch die Tatsache, dass keine Vollaufnahme erfolgt, sondern nur auf Basis einer möglichst repräsentativen Stichprobe Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit gezogen werden.
2. Feldfehler
 - (a) Fehler, bedingt durch das Probennahmedesign auf der Probefläche.
 - (b) Fehler bei der Probennahme durch unexakte Trennung von z.B. Auflage und Mineralboden oder Verschleppung von organischen Kohlenstoff in tiefere Bodenschichten durch das Eindringen der Probennahmegeräte, etc.
 - (c) Potentielle Fehler, die im Zeitraum zwischen der Probengewinnung und der Probenvorbereitung entstehen: Vertausch von Proben, Unterbrechung der Kühlkette, so dass der Stoffumsatz erhöht wird, etc.
3. Laborfehler
 - (a) Fehler, die bei der Probenvorbereitung auf Grund von unterschiedlichen Sieb- und Mahlwerkzeugen und dem dabei entstehenden Abrieb entstehen.
 - (b) Messfehler, die innerhalb eines Labores auftreten.
 - (c) Messdifferenzen, die zwischen den verschiedenen an der BZE beteiligten Laboren auftreten.
 - (d) Differenzen, die durch die Anwendung unterschiedlicher Aufschlußverfahren verursacht werden. Dies betrifft die Auswertungen und den Vergleich zwischen den Bundesländern vorrangig bei der BZE I, vorallem aber auch die Schätzung von Veränderung, da einige Bundesländer zu beiden Zeitpunkten unterschiedliche Aufschlußverfahren gewählt haben.

Nicht jede dieser Fehlerquellen lässt sich aus den BZE I- oder -II-Daten schätzen. Andere Datenquellen, die im Rahmen des vorliegenden Projektes bzw. im Rahmen der vor und während der BZE II durchgeführten Ringversuche erhoben wurden, müssen an dieser Stelle herangezogen werden. Eine abschließende Fehlerquantifizierung ist somit nicht möglich und konnte im Rahmen dieses Projektes auf Grund nicht bereitstehender BZE II-Daten auch nicht erbracht werden.

Ziel des Projektes war es vielmehr, Methoden zu entwickeln, an Hand derer eine quantitative Bewertung einzelner Fehlerquellen möglich ist. Anschließend kann der Fehlerrahmen einer jeden Fehlerquelle geschätzt werden und in ein Gesamtfehlerbudget einfließen. Allerdings war es nur für einen Teil der genannten Fehlerquellen möglich, eine kontinuierliche Quantifizierung des Fehlerrahmens innerhalb dieses Projektes auf Basis vorhandener Daten zu erbringen. Die Schätzung des Fehlerrahmens einer jeden Fehlerquelle muss für jede betrachtete Zielgröße separat durchgeführt werden.

Die entwickelten Methoden haben den Anspruch auch künftig unter Zuhilfenahme anderer, möglichst breiterer Datenbasen anwendbar zu sein. Die Fehlerquellen als auch die Methode zur Quantifizierung dieser sollen folgend beschrieben, in ihrer Bedeutung interpretiert und zu einem Gesamtfehlerbudget zusammengeführt werden.

8.1 Stichprobenfehler

Der Stichprobenfehler oder pseudonym der Standardfehler

$$\sqrt{v\langle\hat{Y}\rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - \hat{Y})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\text{var}\langle\hat{Y}\rangle}{n}} \quad (8.1)$$

ist abhängig von der Varianz der Zielgröße im betrachteten Untersuchungsgebiet und von der Anzahl Proben, die erhoben wurden. Das Ausmaß des Stichprobenfehlers ist somit direkt abhängig von der Anzahl Stichproben. Wird n erhöht, sinkt der Stichprobenfehler in der Form $ax^{-\frac{1}{2}}$ nach Abbildung 8.1.

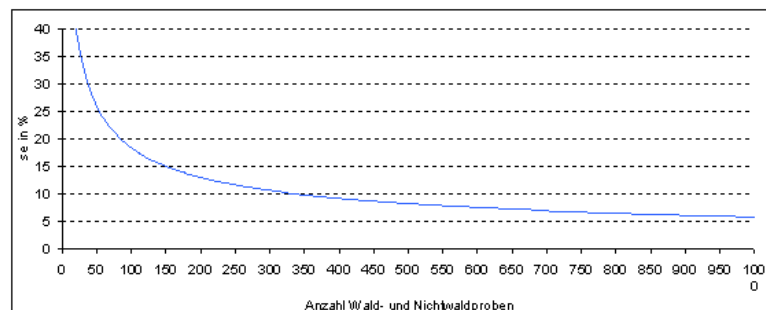


Abbildung 8.1: Entwicklung des Stichprobenfehlers in Abhängigkeit der Anzahl Stichproben; hier am Bsp. des totalen C-Gehaltes zum Zeitpunkt der BZE I in Thüringen

Eine weitere Möglichkeit den Stichprobenfehler zu senken, besteht in der Stratifizierung der Stichprobe, wie in Kapitel 2 bereits beschrieben. Hierdurch kann ein Teil der Gesamtvarianz der betrachteten Zielgröße – der Varianzanteil zwischen den Straten – eliminiert werden. Die Varianz zwischen den Straten sollte möglichst hoch, die Varianz innerhalb der Straten möglichst klein sein. Die Abbildung 8.2, Seite 209 zeigt dies am Bsp. Sachsens und Sachsen-Anhalt für verschiedenen Stratifizierungen nach „natürlichen“ Straten sowohl für das Vorrats-Total als auch für den Vorrat/ha. Während sich der Stichprobenfehler des Al-Vorrates im Humus (Abb. 8.2a) gut durch verschiedene Stratifizierungsregeln nach „natürlichen“ Landschaftsklassen um 50 % für Sachsen und rund 1/4 in Sachsen-Anhalt senken lässt, entzieht sich der Cd-Vorrat (Abb. 8.2b) in beiden Bundesländern einer Reduktion des Stichprobenfehlers in diesem Umfang.

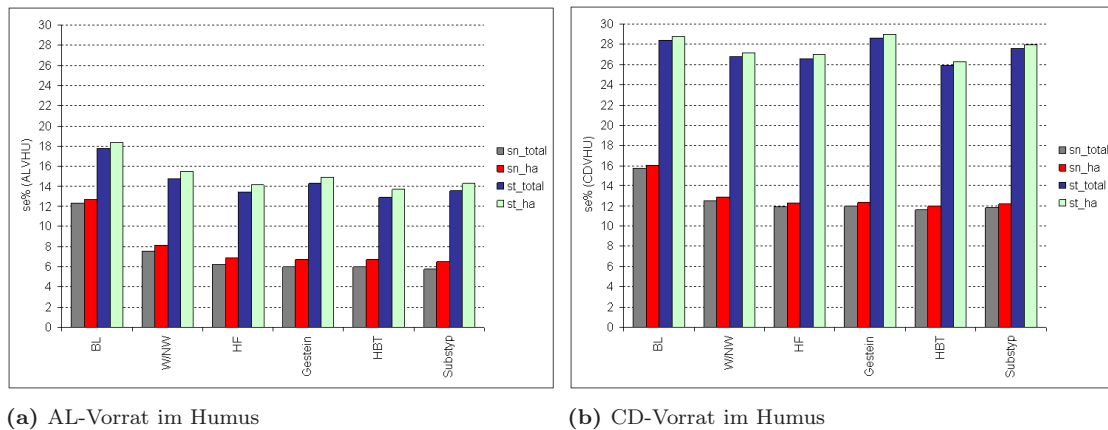


Abbildung 8.2: Entwicklung des Stichprobenfehlers bei einer Stratifizierung nach natürlichen Straten im Humus an Bsp. aus Sachsen und Sachsen-Anhalt

Wird jedoch anstatt der Prä-Stratifizierung nach „natürlichen“ Straten eine Poststratifizierung vorgenommen, d.h. es wird nach Straten der gerade betrachteten Zielgröße differenziert, wird eine zusätzliche Senkung der Varianz und damit des Stichprobenfehlers erreicht werden. Veranschaulicht wird dies in beiden Teilen der Abb. 8.3 in denen auf Grund der Prästratifizierung eine weitere Senkung des Stichprobenfehlers um weitere 1 bis 2 % realisiert werden kann.

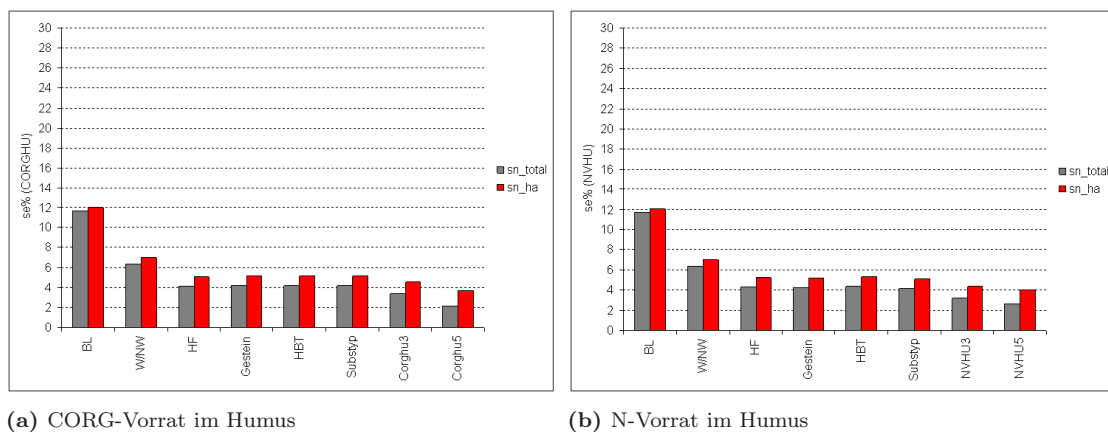


Abbildung 8.3: Entwicklung des Stichprobenfehlers bei einer Stratifizierung nach Post-Straten im Humus an Bsp. aus Sachsen und Sachsen-Anhalt

Die stratifizierte Hochrechnung stellt somit ein Tool dar, welches es erlaubt, ohne zusätzliche Kosten – im Gegensatz zur Erhöhung des Stichprobenumfanges – die Varianz und den Stichprobenfehler zu senken, zumal dieses Tool bei der BZE-Auswertung von vornherein Anwendung findet, da die Auswertungen oft getrennt nach naturräumlichen Einheiten erfolgen.

8.2 Feldfehler

8.2.1 Fehler bedingt durch das Probennahmedesign

Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, nutzen die Bundesländer unterschiedliche Verfahren zur Probennahme auf der Probenfläche (siehe hierzu die Abb. 7.2, Seite 178 und Tab. 7.1, Seite 178). Diese Fehlerquelle „Probennahmedesign auf der Probennahmefläche“ ist kein Fehler an sich, sondern stellt ein varianz-analytisches Problem dar, welches kurz skizziert werden soll.

Ausgangslage bei der BZE ist eine Mischprobe, die analysiert wird und deren Ergebnisse für verschiedene Parameter in einer Datenbank vorliegen. D.h. bspw.: Es liegt nur ein einziger Wert für den Ca-Gehalt für die Probenfläche x vor, unabhängig mit welchem Probennahmedesign die Mischprobe aufgenommen wurde und wie gut dieses Probenahmedesign die Variabilität auf der Probefläche erfasst. Definiert man, dass die Werte der Einzelproben auf den Probeflächen eine Teilmenge des Wertebereiches über alle Probeflächen darstellen, so lässt sich folgende Hypothese aufstellen: Die Varianz zwischen den Probeflächen mit 9 ($K9 = 8 \text{ Satelliten} + \text{Profil}$) oder 8 ($S8 = 8 \text{ Satelliten}$) Proben ist geringer, da hier Ausreisser auf der Probefläche über die Mischprobe „abgepuffert“ werden. Sinkt dagegen die Anzahl Proben pro Mischprobe bis hin zur Einzelprobe ($Z1 = \text{eine Probe am Profil}$) werden diese Extremwerte, die auf den Probeflächen auftreten können, nur gering bzw. gar nicht kompensiert. Die Varianz zwischen den Probeflächen ist folglich größer, als wenn 8 oder 9 Proben gezogen würden (siehe Abb. 8.4, Seite 210).

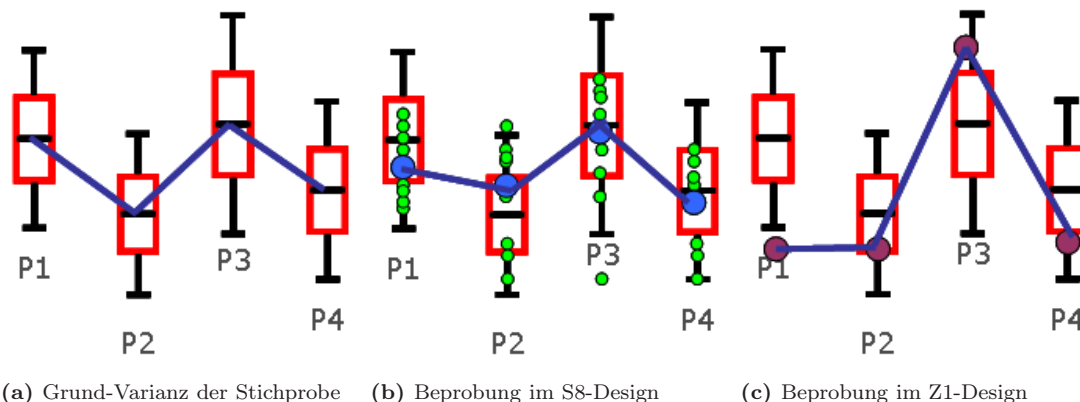


Abbildung 8.4: Hypothese zur Entstehung der Varianzexpansionsfaktoren in Abhängigkeit vom gewählten Probennahmedesign auf der Probefläche

Dieser „Fehler“ bedingt durch das Probennahmedesign lässt sich somit als eine zusätzliche Varianzkomponente auffassen, die bereits in der Varianz einer einzelnen Stichprobe und somit im Standardfehler des Mittelwertes (Stichprobenfehler) enthalten ist. Diese zusätzliche Varianzkomponente lässt sich nachträglich aus den BZE I und -II-Daten nicht zuverlässig eliminieren. Theoretisch lässt sie sich jedoch über zwei Wege modellieren bzw. quantifizieren:

1. über einen geostatistischen Ansatz
2. über einen stochastischen Ansatz.

Beide Ansätze wurden im vorangegangenen Kapitel 7 bereits beschrieben und die entsprechenden Varianzexpansionsfaktoren (VEF) abgeleitet. Die statistisch-theoretischen Überlegungen zum stochastischen Ansatz im Kapitel 7 konnten durch Simulationen eindeutig belegt werden. Hierzu wurden jedem BZE I-Wert ein künstlicher, normalverteilter Wertebereich über die Funktion

$f(BZE_I - Wert; std_{BDF})$ zugeordnet. Die BDF-Daten dienten zur Erstellung einer Regression zwischen Mittelwert auf der Probefläche und dessen Standardabweichung basierend auf den Einzelmessungen auf der Probefläche (Abb. 8.5, Seite 211). Durch diese Regressionsfunktion ist es möglich an jedem BZE-Probepunkt anhand seines BZE I-Wertes und einer aus der Regression abgeleiteten Standardabweichung eine normalverteilte Stichprobe mit einem Umfang von 9, 8, ..., 1 Proben zu ziehen. Für jeden Probepunkt wurde nun neu der Mittelwert einer Mischprobe auf Basis von 9, 8, ..., 1 Einzelproben berechnet und anschließend aus den generierten Mischprobewerten der neue Stichprobenmittelwert, dessen Varianz und der Stichprobenfehler geschätzt.

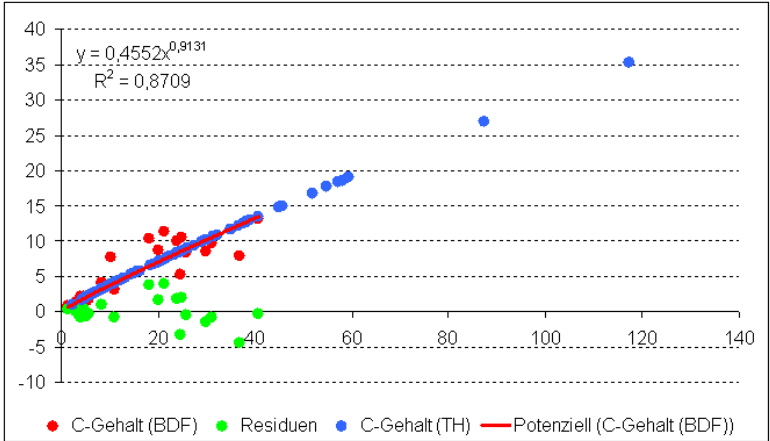


Abbildung 8.5: Übertragung der Regression zwischen dem mittleren C-Gehalt und deren Standardabweichungen auf den BDF und Zuweisung dieser Funktion auf die BZE-Daten am Bsp. Thüringens

Die verhältnismäßige Steigerung der Varianz nach der Ziehung einer normalverteilten Probe auf der Probefläche gegenüber der ursprünglichen Varianz ohne Beachtung der Varianz auf der Probefläche ist in Tabelle 8.1, Seite 211 veranschaulicht. Die Simulationen konnten nicht für alle Zielgrößen durchgeführt werden. Betrachtet wurden die pH-Werte, der C- und der Ca-Gehalt. Das Maximum der Varianzsteigerung (Gesamtvarianz = Grundvarianz + zusätzliche Varianzkomponente) gegenüber der Grundvarianz in Abhängigkeit der betrachteten Zielgröße wurde beim C-Gehalt gefunden und lag bei rund 40 % (z1 gegenüber k9).

Tabelle 8.1: Varianzexpansion gegenüber der Grundvarianz in Abhängigkeit vom Probennahmedesign auf der Probefläche am Bsp. sächsischer Daten

Zielgröße	Grundvarianz	k9	s8	z3	z1	VEF(s8/k9)	VEF(z3/k9)	VEF(z1/k9)
C-Vorrat (Humus)	0,000	1,048	1,055	1,142	1,391	1,131	2,948	8,103
pH(KCl)	0,000	1,010	1,011	1,029	1,084	1,126	3,018	8,651
pH(H ₂ O)	0,000	1,014	1,016	1,042	1,121	1,125	2,991	8,591

^a Die zunehmende Abweichungen von der im Kapitel 7 Abb. 7.19, Seite 195 dargestellten theoretischen Funktion mit abnehmenden n ist simulationsbedingt, da bei der Reduktion des Stichprobenumfanges keine Normalverteilung erzielt werden kann.

Betrachtet man ausschließlich die Quantität dieser zusätzlichen Varianzkomponente und setzt diese ins Verhältnis zur zusätzlichen Varianzkomponente des Refernzdesigns k9, kann der resultierende Quotient als Varianzexpansionsfaktor interpretiert werden (Tab. 8.1, Seite 211). Die Abbildung 8.6, Seite 212 veranschaulicht diesen Sachverhalt, wobei bei k9 der rot markierte Abschnitt

nur einmal auftritt, bei z1 dagegen 9 mal. Die zunehmende Abweichungen von der im Kapitel 7 Abb. 7.19, Seite 195 dargestellten theoretischen Funktion mit abnehmenden n ist simulationsbedingt, da bei der Reduktion des Stichprobenumfanges keine Normalverteilung erzielt werden kann.

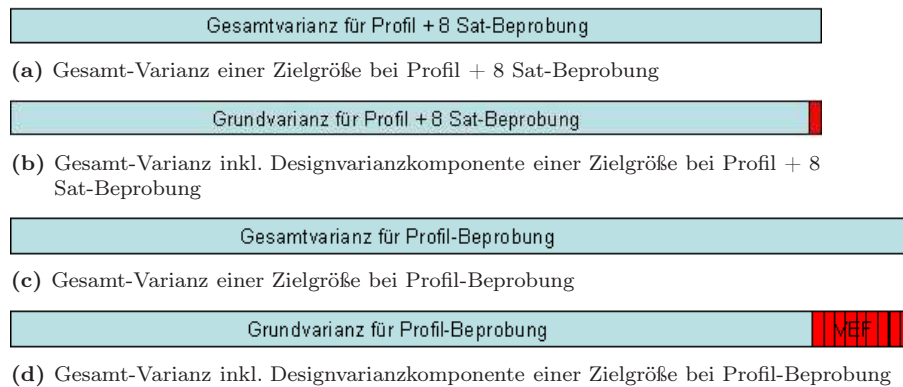


Abbildung 8.6: Allgemeiner Zusammenhang zwischen Varianz und Probenahmedesign; a) Gesamt-Varianz einer Zielgröße bei Mischprobenbildung aus Profilprobe + 8 Satellitenproben im Gebiet X, b) Gesamt-Varianz unterteilt in Grundvarianz- und designspezifischer Varianzkomponente einer Zielgröße bei Mischprobenbildung aus Profilprobe + 8 Satellitenproben im Gebiet X, c) Gesamt-Varianz einer Zielgröße bei ausschließlicher Profilbeprobung im Gebiet X, d) Gesamt-Varianz unterteilt in Grundvarianz- und designspezifischer Varianzkomponente einer Zielgröße bei ausschließlicher Profilbeprobung im Gebiet X

Die zusätzliche Varianzkomponente des Probennahmedesigns ist – wie bereits geschrieben und in den Simulationen nachgewiesen – Bestandteil der Varianz der gezogenen Stichprobe im Wald. Die Varianz des Wald-Stratums in denen das K9- oder das S8-Designs angewandt wurde, ist geringer als wenn das Z1-Design zur Anwendung gekommen wäre, bzw. umgekehrt. Sollen Veränderungen innerhalb eines Waldstratums signifikant nachgewiesen werden, ist dies auf grund der geringeren Varianz bei Anwendung des k9 Designs eher möglich, als bei Anwendung eines Designs mit einer geringeren Probenzahl pro Probefläche. Für den Hochrechnungsprozess zu einem aggregierten Zustands- oder Veränderungsschätzer über Straten und Bundesländer mit unterschiedlichen Probennahmedesigns hinweg verliert dieser Sachverhalt jedoch an Einfluß, da hier nur die Varianz der Waldstraten gesteigert wird, jedoch nicht die Varianz der Nichtwaldstraten. Letztere gehen bei einer durchschnittlichen Waldfläche von 30 % jedoch mit einem Anteil von 70 % in den gewichteten Zustands- oder Veränderungsschätzer ein.

Bestünde die Möglichkeit, das Probennahmedesign auf der Probefläche hin zu einem einheitlichen k9-Verfahren zu harmonisieren, könnte nicht nur die Varianz der Waldstraten-Varianz um bis zu 40 % gesenkt werden, sondern auch der Stichprobenfehler. Dieser Effekt wirkt sich jedoch auf die Varianz des Gesamtschätzers nicht in dem Maße aus, wie es sich auf die Varianz der einzelnen Stichprobe auswirkt. Die Varianz des Gesamtschätzers ist zusätzlich von der Wald/Nichtwald-Verteilung und von der Anzahl Stichproben abhängig, so dass der Effekt der VEF im Bezug auf den Standardfehler gedämpft wird. Verdeutlicht wird dies in der Abb. 8.7, Seite 213: Hätte Thüringen nur eine einzige Probe am Profil genommen, hätte sich zwar die Varianz der einzelnen Stichprobe innerhalb des Stratums Wald um jene 40 % erhöht, der Stichprobenfehler wäre jedoch „nur“ von 11,6 auf 14,2 % gestiegen.

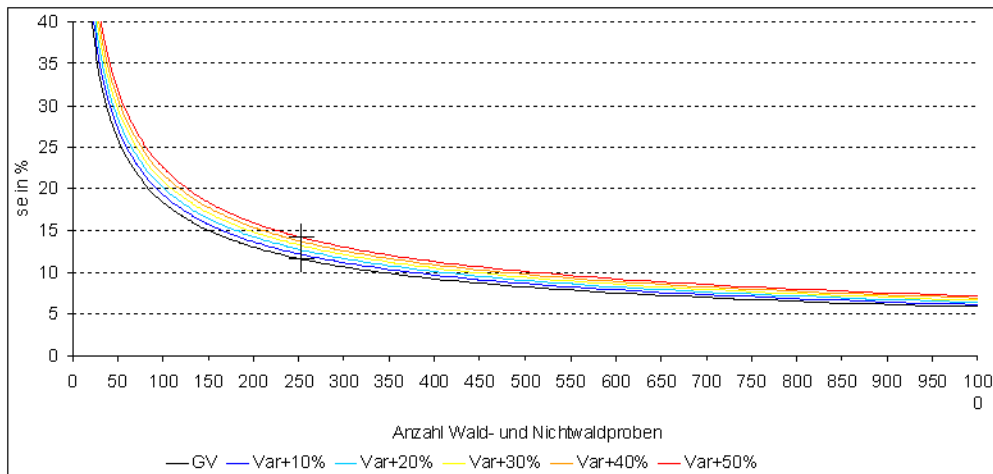


Abbildung 8.7: Steigerung des Stichprobenfehlers, wenn die zusätzliche Varianzkomponente in Abhängigkeit von Probennahmedesign auf der Probenfläche im Stratum Wald um 10, 20, 30, 40 oder 50 % steigt, dargestellt am C-Gehalt Thüringens

8.2.2 Fehler bei der Probennahme

Ein in der Fachwelt stark diskutierter Fehler, welcher zu erheblichen Verzerrungen führen kann, ist der Fehler bei der Probennahme an sich. Dieser Fehler kann darin bestehen, dass:

1. die Auflage vom Mineralboden oft nur schwer exakt zu trennen ist.
2. durch die Einbringung des Probennahmegerätes Humus aus der Auflage bzw. aus den obersten humosen Horizonten in untere Horizonte verschleppt wird.

Mineralboden in Auflagehorizonten kommt natürlicherweise durch Bioturbation vor. Desweiteren liegen die Lagerungsdichten weit unter denen des Mineralbodens. Die Unterschätzung der C-Vorräte in der Auflage ist wahrscheinlich gering (Schobel, S., mdl.). Eine Möglichkeit diesen Fehler abzuschätzen, wäre die Analyse von Auflageproben hinsichtlich ihres Mineralbodenanteils, insofern die Proben von Probennahmeflächen mit geringer Bioturbation stammen. Auch hierfür lagen keine Daten oder Erkenntnisse vor.

Viel entscheidender ist die Verschleppung von organischer Substanz und Substrat, die durch die invasive Probennahme an den Satelliten nicht gänzlich vermieden werden kann, aber in Abhängigkeit folgender Einflussgrößen zu einer variablen Verfälschung des Probenmaterials führt:

- Witterungsverhältnisse und Bodenfeuchte
- Bodenart des Feinbodens und Grobbodenanteil
- Probennahmegerät und -art
- Erfahrung und fachliche Kompetenz der Probennehmer

Die nicht zu unterschätzende Verfälschung des Probenmaterials pro Tiefenstufe durch Fremdmaterial anderer Beprobungstiefen (v.a. Humusauflage, A-Horizonte, aber auch z.B. Bhs) hat in der Konsequenz einen schwer quantifizierbaren Einfluss auf die Ergebnisse der Laboranalytik und

deren Interpretation. Anhand der Probennahme zeitlich nachgeschalteter Qualitätssicherungsmaßnahmen und Fehlerbudgetierungen bei der Laboranalytik kann diese Fehler nicht mehr quantifiziert werden (Schobel, S., mdl.). Um einen Eindruck dieses Fehlers zu bekommen wäre es sinnvoll, Proben dahingehend zu analysieren, wie hoch die C_{org} -Vorräte in den per Definition humusfreien Horizonten gegenüber den h-Horizonten ist. Hierfür standen jedoch innerhalb des Projektes keine Probenanalysen zur Verfügung.

8.2.3 Potentielle Fehlerquellen zwischen Probennahme und Probenvorbereitung

Fehler zwischen dem Zeitpunkt der Probennahme im Feld und der Probenvorbereitung im Labor können z.B. zustande kommen durch:

- den Vertausch der Proben,
- falsche Codierung der Proben,
- Unterbrechung der Kühlkette, wodurch der Stoffumsatz weiterhin stattfindet bzw. durch warme Lagerung zusätzlich gesteigert wird.

Diese Fehler hat man versucht durch Einführung von Qualitätsstandards bzw. von Maßnahmen zur Qualitätssicherung weitestgehend auszuschließen. Eine Erfassung dieser Fehlerquellen ist kaum möglich, so dass sie von den Betrachtungen innerhalb dieses Projektes ausgeschlossen wurden.

8.3 Laborfehler

8.3.1 Fehler Probenvorbereitung

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle eine Auflistung möglicher Fehler, die bei der technischen Vorbereitung der Proben, dem Sieben und Mahlen auftreten können, aufgeführt. Die Erstellung erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Blum, LWF Feising, Mitglied des Gutachterausschuß Forstliche Analytik (GAFA). Er und auch Herr v. Wilpert, FVA Freiburg gehen jedoch an dieser Stelle von einer eher theoretischen Betrachtung dieses Fehlers, der in Abhängigkeit vom verwendeten Mahl- bzw. Siebmaterial entsteht, aus. Es sind kaum Verzerrungen zu erwarten, die sich aus diesem Verarbeitungsschritt ergeben. Eine quantitative Untersuchung konnte nicht erfolgen.

1. Sieben: Nur Kunststoffsiebe zulässig, keine Auswirkungen zu erwarten
2. Mahlen (Mühlen aus folgenden Materialien):
 - Edelstahl => könnte Einfluß auf den Gehalt von Cr, Ni, Fe haben
 - Wolframcarbit => könnte Einfluß auf den Gehalt von Co haben
 - Zirkonoxid (Keramik) => könnte Einfluß auf den Gehalt von Cd haben
 - Achat (= natürliches Quarzmineral, Porzellan) => abhängig von enthaltenen Elementen
 - Korund (Al-Oxid) => könnte Einfluß auf den Gehalt von Al haben
 - Titan => könnte Einfluß auf den Gehalt von Ti haben
3. Beeinflussung des Probenmaterials abhängig von:
 - Härte des Materials
 - Mahldauer

8.3.2 Messfehler pro Labor

Messfehler innerhalb eines Labores entstehen auf Grund verschiedenster Ursachen. Durch eine Einmal-Messung eines Parameters wird dieser Fehler nicht aufgedeckt. Jedoch wurden in den Laboren selbst Mehrfachmessungen an ein und der selben Probe durchgeführt, wodurch bekannt war, dass die Messwerte, erhoben an ein und der selben Probe in einem gewissen Rahmen variieren. Primär mit dem Ziel eine Justierung innerhalb, aber auch zwischen den an der Analyse der BZE beteiligten Labore herbeizuführen wurden sogenannte Kontrollproben von einigen Bundesländern zur Verfügung gestellt. Diese Kontrollproben wurden in einem aufwändigen Prozess vorab homogenisiert, anschließend in verschiedene Teilproben separiert und an die beteiligten Labore verschickt. In den Laboren erfolgte im Rahmen der Ringversuche, organisiert vom GAFA, eine vierfache Wiederholungsmessung an ein und der selben Probe, so dass die Variabilität, die bei der Messung verschiedenster Parameter auftritt, pro Labor abgeschätzt werden konnte. Die Schätzung der Laborvariabilität auf Basis von „nur“ vier Proben ist aus statistischer Sicht sicher nicht befriedigend, jedoch muss hier der hohe Zeit und vorallem der hohe Kostenaufwand zur Analyse dieser Proben berücksichtigt werden. Diese vier Proben reichen jedoch für eine grobe Schätzung der Variabilität innerhalb eines Labores aus und sie sind für die Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung dieses Laborfehlers geeignet.

8.3.2.1 Methodenentwicklung zur Schätzung des Fehlers in einem Labor

Grundlage für die Quantifizierung dieses Fehlers bildet der Mittelwert und die Standardabweichung der vier Messwiederholungen innerhalb eines Labores für einen Parameter. Diese beiden Kennwerte liegen für einen Parameter aus verschiedenen Proben vor, so dass der Zusammenhang zwischen beiden Größen in einem Scatterplot dargestellt werden können (rote Punkte in der Abb. 8.8, Seite 216 und Abb. 8.9, Seite 217). Die Beziehung zwischen den Mittelwerten und den Standardabweichungen der einzelnen Ringversuchsproben lassen sich in Form einer Regression erklären. Einen Überblick zu den getesteten Regressionsfunktionen wird im Formelarray 8.2, Seite 215 gegeben. Wie hoch der erklärte Varianzanteil der Regression ist und ob die Reststreuung Tendenzfrei ist, kann anhand der Residuen berechnet bzw. betrachtet werden (grüne Punkte in der Abb. 8.8, Seite 216 und Abb. 8.9, Seite 217).

$$\begin{aligned}
 y_{lin} &= b * x + a \\
 y_{log} &= b * \ln(x) + a \\
 y_{pot} &= x^b + a \\
 y_{exp} &= b * e^x + a
 \end{aligned}
 \tag{8.2}$$

Die ursprüngliche Auswertung des GAFA gab für jede Probe einen Gesamtmittelwert und eine mittlere Wiederholungsstandardabweichung an, in der die Mittelwerte und Standardabweichungen einer Probe über alle Labore gemittelt wurden. Nimmt man diese Wertepaare als Grundlage für die Erstellung einer Regression, so ergab sich für fast alle Parameter, dass sich die Beziehung zwischen Gesamtmittelwerten und Wiederholungsstandardabweichungen über die Potenzfunktion mit dem jeweils höchsten Bestimmtheitsmaß und häufigen signifikanten Koeffizienten am Besten darstellen lässt. Ähnlich gute Anpassungen der Regression, jedoch häufig mit einem etwas geringeren r^2 lassen sich mit einer Exponentialfunktion erzielen. Linear- und Logarithmusfunktion weisen dagegen häufig nur sehr geringe r^2 und dem entsprechen auch häufig nicht signifikante Koeffizienten auf. Das r^2 und die entsprechenden Koeffizienten der getesteten Funktion für verschiedenste Parameter sind in Tabelle 8.2, Seite 221 aufgeführt. Die Bestimmtheitsmaße sind für die meisten Zielgrößen $> 0,85$, im Schnitt $> 0,92$. Na und C stellen mit einem r^2 von 0,14 bzw. 0,31 Ausreisser nach unten dar. Extremwerte bilden die beiden pH-Werte in untransformierten Form. Für diese ist das $r^2 < 0,13$. Wird dagegen die Standardabweichung der H^+ -Konzentrationen oder der normalverteilten

Quadratwurzel-transformierten H^+ -Konzentrationen in Beziehung zu den Mittelwerten gesetzt, liegt dass r^2 bei $> 0,97$.

Bei der Auswertung der BZE geht es jedoch nicht darum, den einzelnen Analysewerten, die ein bestimmtes Labor misst, eine mittlere Wiederholungsstandardabweichung zur Abschätzung des Laborfehlers zuzuweisen. Vielmehr sollte es das Ziel sein, jeder Probe die im Labor x analysiert wurde, auch die spezifische Variabilität zuzuweisen, die im Labor x erzielt wird. Hierzu wurden die vier Regressionstypen zusätzlich auf die Mittelwerte und Standardabweichungen verschiedener Labore separat angewandt. Innerhalb der einzelnen Labore erzielte mitunter die Exponentialfunktion bessere Anpassungen an die Wertepaare als die Potenzfunktion, siehe Abb. 8.10, Seite 218. Jedoch lagen die Bestimmtheitsmaße der Regressionsfunktionen auf Basis der Einzellabore in fast allen Fällen unter den Funktionen zwischen Gesamtmittelwert und mittlerer Wiederholungsstandardabweichung. Trotzdem wurde zur Quantifizierung der Fehlerquelle „Fehler innerhalb eines Labores“ auf die labor-spezifisch beste Funktion mit der höchsten Güteanpassung zurückgegriffen, da diese individuell jedem Labor und damit auch jeder einzelnen Probe zugeordnet werden kann. Mit Hilfe der gewählten Regressionsfunktion pro Labor lässt sich nun jeder BZE-Probe eine geschätzte Standardabweichung zuweisen (blaue Punkte in der Abb. 8.8, Seite 216 und Abb. 8.9, Seite 217).

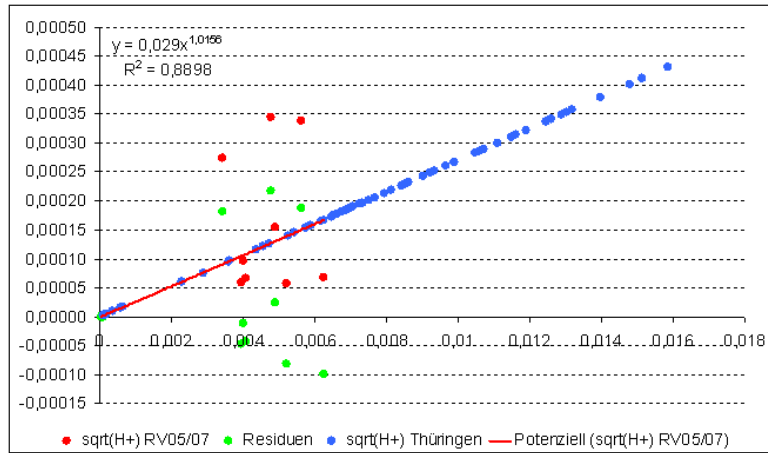


Abbildung 8.8: Übertragung der Regression zwischen der Quadratwurzel-transformierten H^+ -Konzentration und deren Standardabweichungen auf Basis der Ringversuche 2005 und 2007 auf die BZE-Daten am Bsp. Thüringens

Auf Basis der beiden Kennwerte Labormesswert für die BZE-Probe i und über die Regression zugewiesene Standardabweichung zur BZE-Probe i kann jedoch kein typisches Vertrauensintervall (VI) für den Labormesswert berechnet werden, da sich das VI auf einen Mittelwert bezieht und nicht auf einen Einzelwert. Vielmehr geht es darum, einzuschätzen, in welchen Bereich dieser einzelne Messwert unter Zuhilfenahme der zugewiesenen Standardabweichung liegen kann. Hierfür muss die Ungleichung von Tschebyscheff herangezogen werden (Voss, 2000):

$$ns^2 \geq \sum_{i=1}^r (x_i - \bar{x})^2 \quad (8.3)$$

Diese Ungleichung gestattet eine Aussage über den Mindestanteil der Merkmalswerte, deren Abweichung von arithmetischen Mittel einen vorgegebenen festen Wert nicht übersteigen. Durch simple Algebra erreicht man:

$$ns^2 \geq \sum_{i=1}^r e^2 \geq re^2 \quad (8.4)$$

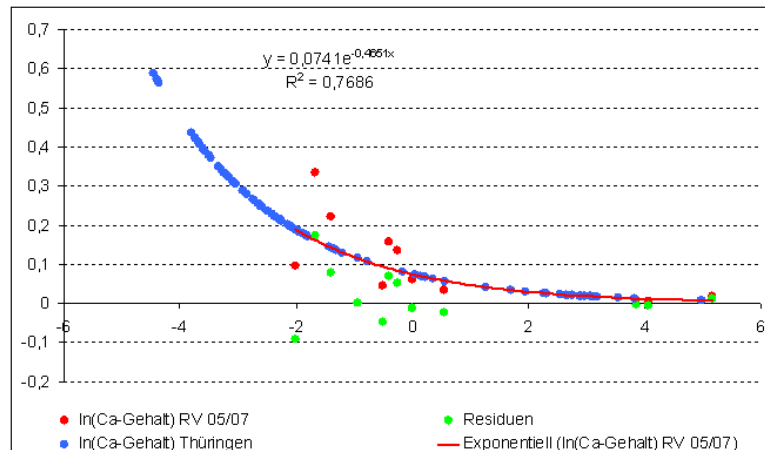


Abbildung 8.9: Übertragung der Regression zwischen der Quadratwurzel-transformierten $\ln(Ca)$ -Gehalt und deren Standardabweichungen auf Basis der Ringversuche 2005 und 2007 auf die BZE-Daten am Bsp. Thüringens

wenn e für die Summation als Konstante definiert wird. Definiert man zusätzlich $r + m = n$ entsteht:

$$\frac{s^2}{e^2} \geq 1 - \frac{m}{n} \quad (8.5)$$

m/n ist dabei der relative Anteil der Merkmalswerte, die eine Abweichung kleiner als e vom arithmetischen Mittel aufweisen, z.B. = 0,95. Ist $e = \pm cs$, wobei c ein Proportionalitätsfaktor von ≥ 1 darstellt, ergibt sich:

$$\frac{1}{c^2} \geq 1 - \frac{m}{n} \quad (8.6)$$

$$c \geq \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{m}{n}}} = \sqrt{\frac{1}{1 - 0,95}} = \sqrt{\frac{1}{0,05}} \quad (8.7)$$

D.h., das Intervall, in dem sich der Messwert x_i einer einzelnen Probe mit mindestens 95 %iger Sicherheit aufgrund der zugewiesenen Standardabweichung innerhalb eines Labores bewegen wird, ergibt sich aus:

$$x_i \pm s_i c = \sqrt{\frac{1}{0,05}} \quad (8.8)$$

Werden alle $\pm s_i c$ -Werte über alle i gemittelt, so entspricht dieses arithmetische Mittel dem mittleren Fehler innerhalb eines Labores für alle analysierten BZE-Proben zu einem Inventurzeitpunkt, welcher durch die verwendete Regression erklärt werden kann. Dieser erste Teil des Laborfehlers wird in den folgenden Grafiken mit „il“ bezeichnet. Da die Regression jedoch nicht die gesamte Variabilität der Wertepaare vollständig beschreiben kann, bildet der Standardfehler der Residuen den zweiten Teil des Fehlers, der innerhalb eines Labores entsteht, folgend mit „fl“ bezeichnet. Ein dritter Teil des Fehlers, der innerhalb eines Labores auftritt, ist der Fehler der Extrapolation, welcher entsteht, wenn die verwendete Regression zur Zuweisung einer Standardabweichung auf einen Messwert ausserhalb des Wertebereiches der Daten zur Erstellung der selbigen Regression genutzt wird.

Der Fehler innerhalb eines Labores setzt sich somit additiv aus den Komponenten „il“, „fl“ und „Extrapolation“ zusammen. Die beiden letztgenannten sind auf die hier angewandte Methode zurückzuführen, wobei der Fehler, bedingt durch die Extrapolation nicht quantifizierbar ist und bleibt deshalb unberücksichtigt.

8. Erstellung eines Fehlerbudgets

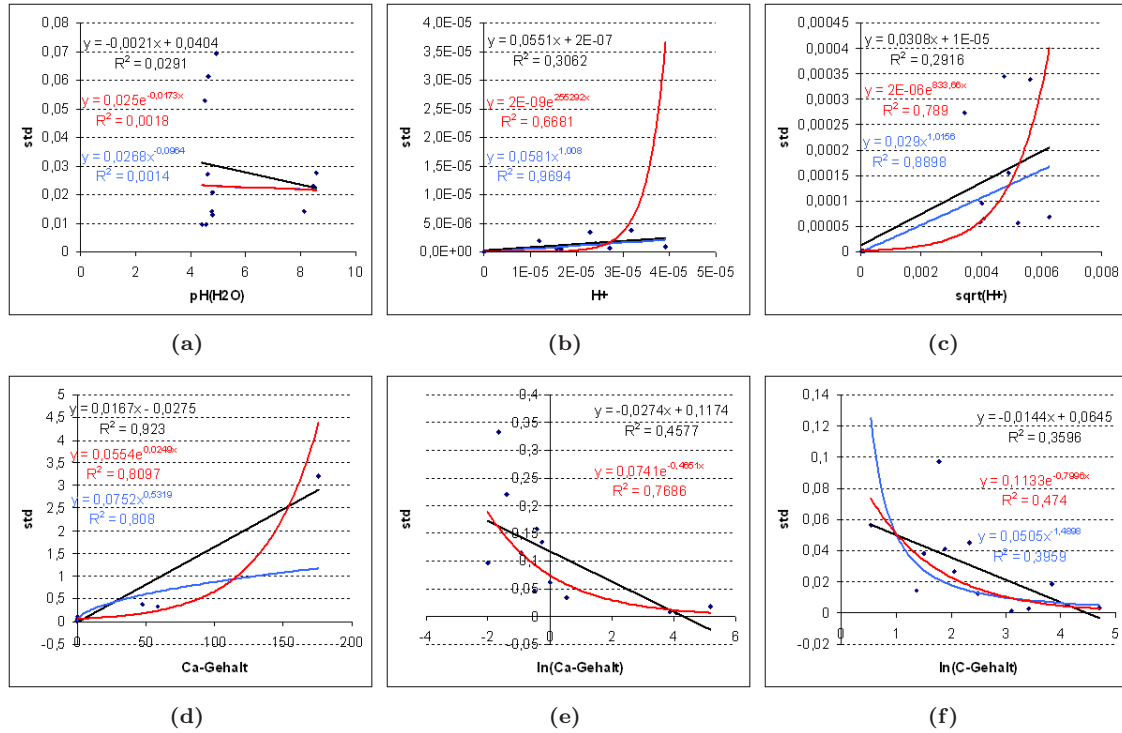


Abbildung 8.10: Regressionsfunktion zwischen (a) pH-Werte, (b) der H^+ -Konzentration, (c) der Quadratwurzel-transformierten H^+ -Konzentration, (d) Ca- und (e) $\ln(\text{Ca})$ - sowie (f) C-Gehalt auf die Standardabweichung in Thüringen

8.3.2.2 Ergebnisse zur Schätzung des Fehlers in einem Labor

Mittels dieser Methode der Fehlerbudgetierung ist man nun in der Lage, den Gesamtfehler innerhalb eines Stratums, in dem alle Proben durch ein einziges Labor analysiert werden, zu quantifizieren. Der Gesamtfehler berechnet sich durch:

$$rmse(\hat{Y}_l) = \sqrt{v(\hat{Y}_l) + il^2 + se_{Residuen}^2} \quad (8.9)$$

mit $rmse(\hat{Y}_l)$ = Root Mean Square Error des Mittelwertes, $v(\hat{Y}_l)$ = Varianz des Mittelwertes, il = Laborfehler, erklärt durch die Regression und $se_{Residuen}^2$ = Standardfehler der Residuen.

Die folgenden Abbildungen zum Vertrauensintervall einzelner Parameter in Abhängigkeit von der Fehlerquelle zeigen im linken Teil der Grafiken die Reduktion der Varianz des Mittelwertes durch verschiedenste Stratifizierungen und die einhergehende Einengung des Vertrauensintervalls. Anschließend wird il sowie fil bzw. die sich aus diesen Fehlerquellen ergebenden VI's dargestellt, wenn ein 95 %iger Wertebereich nach Tschebyscheff unterstellt wird (Bereich der Grafiken mit „std 0.05“). Der Gesamtlaborfehler „LF“ ist definiert durch $\sqrt{il^2 + se_{Residuen}^2}$. Der Gesamtfehler „SE+LF“ unter Berücksichtigung der Varianz des Mittelwertes und „LF“ ergibt sich aus $\sqrt{v(\hat{Y}_l) + LF^2}$, wobei $v(\hat{Y}_l)$ die Varianz des Mittelwertes auf Basis einer Poststratifizierung repräsentiert, da diese in allen Fällen zum geringsten Stichprobenfehler führte.

Simulationen, denen eine Normalverteilung unterstellt wurde, haben jedoch gezeigt, dass in den allermeisten Fällen schon ein 80 %iger Vertrauensbereich nach Tschebyscheff genügt um 95 % aller möglichen Werte abzudecken. Die Divergenz ist auf den Sachverhalt zurückzuführen, dass es

sich bei Formel 8.3, Seite 216 um eine Ungleichung handelt, die lediglich eine Näherung darstellt. Definiert man diesen 80 %igen Vertrauensbereich nach Tschebyscheff als hinreichend genau, so werden die Vertrauensbereiche für das Fehlerkompartiment *il* entsprechend kleiner und wirkt sich entsprechend reduzierend auch auf die Fehler „LF“ und „SE+LF“ aus. Dieser Bereich ist in den Folgenden Abbildungen mit „std 0.20“ gekennzeichnet.

Sollte es durch geeignete Maßnahmen möglich sein, die Variabilität innerhalb eines Labores um die Hälfte zu senken, engen sich die Vertrauensintervalle der Mittelwerte entsprechend den unterstellten Vertrauensbereichen nach Tschebyscheff deutlich ein. Dieser Sachverhalt ist in den folgenden Grafiken mit „std/2 0.05“ und „std/2 0.20“ bezeichnet.

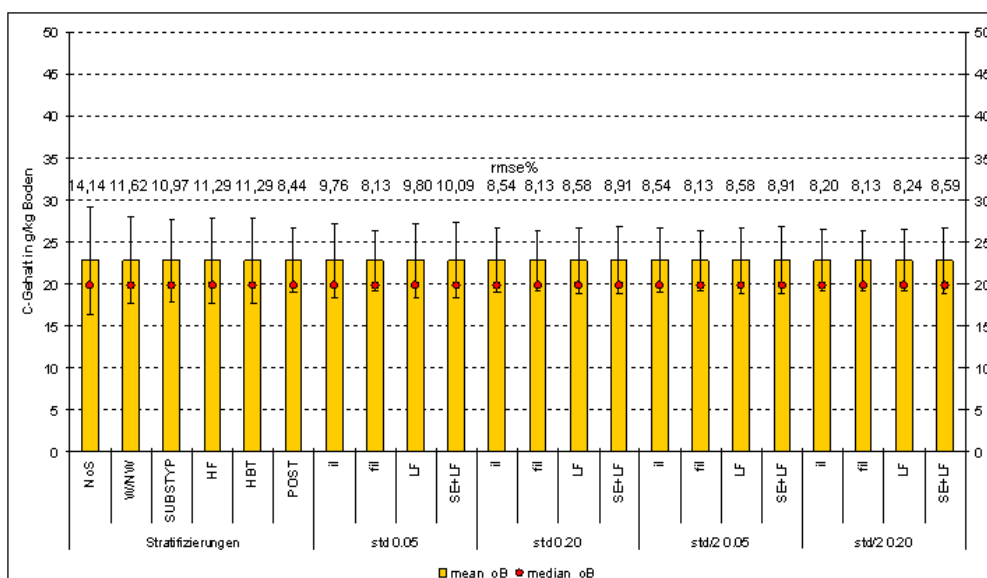


Abbildung 8.11: Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens am Bsp. Thüringens (BZE I). Stratifizierungen = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM) für verschiedene Stratifizierungen; „std 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(Post) + LF

In Abbildung 8.12, Seite 220 werden die Vertrauensintervalle der bisher betrachteten Fehlerquellen für den Ca-Gehalt für Thüringen zum Zeitpunkt der BZE I angegeben, wobei sich der Stichprobenfehler als auch „SE+LF“ lediglich auf die Varianz des Mittelwertes, stratifiziert nach Substrattypen bezieht. In Abschnitt 2.7, Seite 20 wurde bereits darauf hingewiesen, dass sich die Hypothese, die Werte des Ca-Gehaltes sind innerhalb dieser „natürlichen“ Straten zumindest log-normalverteilt, nicht ablehnen lässt. Auf Grund der Rücktransformation der unteren und oberen Grenzen entstehen die unsymmetrischen Vertrauensintervalle. Der *RMSE* liegt bei einer Abschätzung der 95 %igen Vertrauensbereiche nach Tschebyscheff über 100 %. Werden dagegen 80 %ige Vertrauensbereiche nach Tschebyscheff als ausreichend erachtet, sinkt der *RMSE* auf 53 %.

In den Abbildungen 8.13a und 8.13b, Seite 222 ist die modellierte Veränderung des pH-Wertes

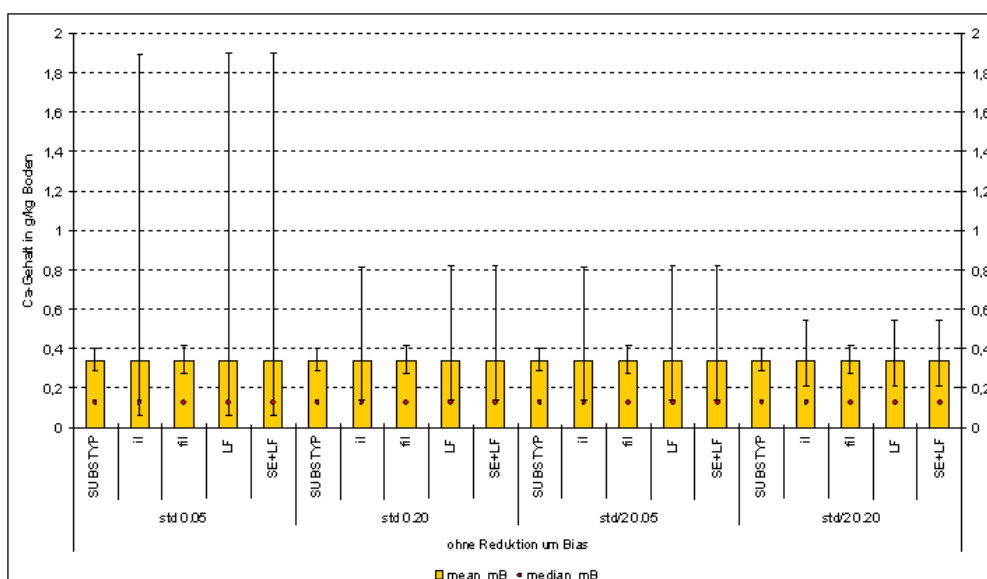


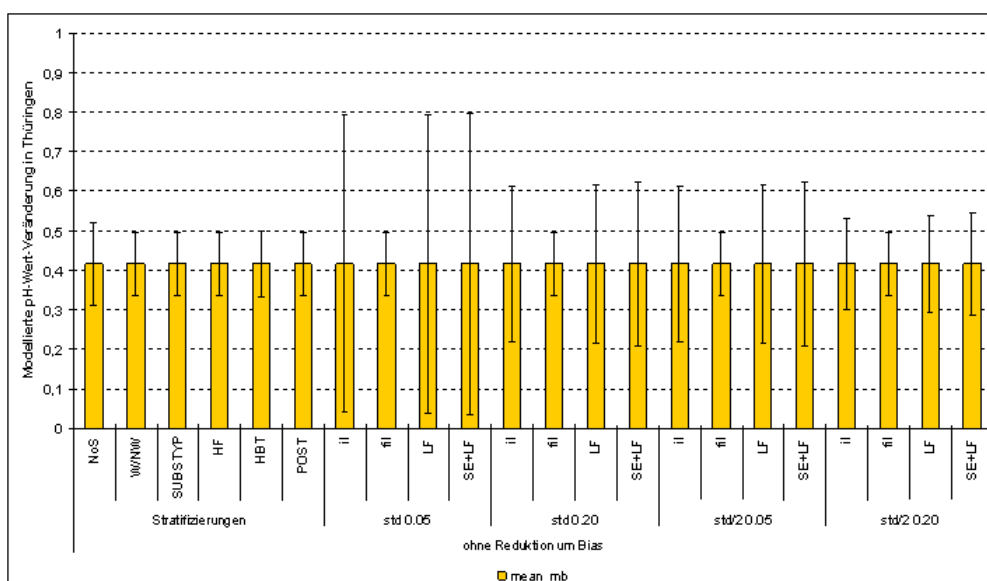
Abbildung 8.12: Fehlerbudget für den Ca-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens am Bsp. Thüringens (BZE I), stratifiziert nach dem Substrattyp (SUBSTYP). „std 0.05“ = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM), wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(SUBSTYP) + LF

und deren Fehlerbereich für Thüringen zwischen beiden Inventurzeitpunkten abgebildet. Zur Modellierung der Veränderungen der pH-Werte wurde auf die Ergebnisse des Projektes „Literaturstudie zur Ermittlung der (potenziell) zu erwartenden Signalstärke von Bodenveränderungen – Grundlagen für die Bewertung und Interpretation von Ergebnissen der BZE II“ herangezogen. Abb. 8.13a spiegelt die Ergebnisse einer untransformierten Hochrechnung wieder. Abb. 8.13b zeigt dagegen die Resultate für die Quadratwurzel-Transformation der H^+ -Konzentrationen, welche den Kennwerten und der Verteilungsfunktion nach Abb. 8.14, Seite 223 einer Normalverteilung der Stichprobenwerte am Nächsten kommt. Anhand beider Abbildungen sollen die unterschiedlichen Spannweiten der Vertrauensintervalle in Abhängigkeit der verwendeten Transformationen dargestellt werden. So liegen die unteren Grenzen bei der untransformierten Berechnung im Falle eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff deutlich näher am Wert 0. Eine signifikante Veränderung ist somit weniger deutlich detektierbar als unter Nutzung der Quadratwurzel-Transformation.

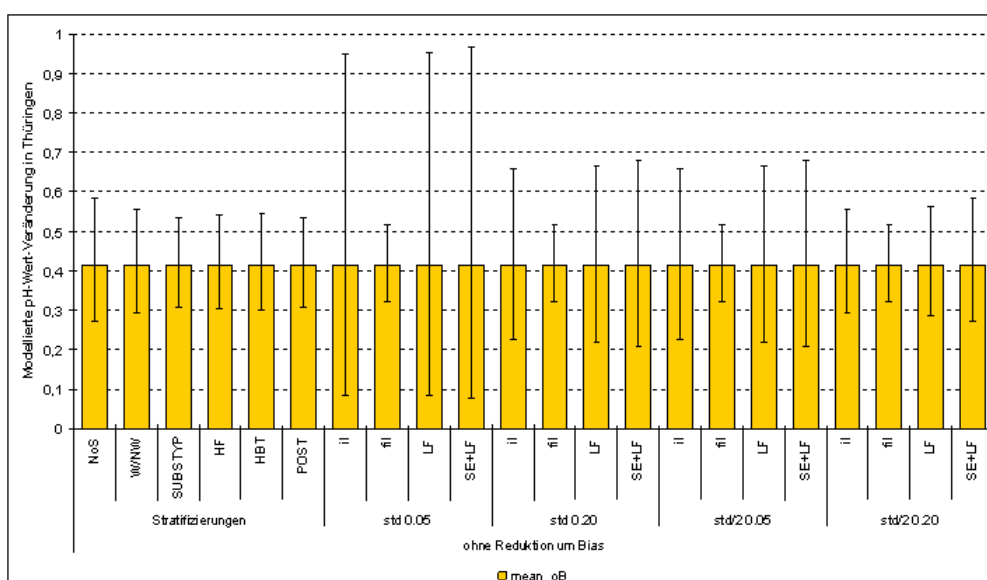
Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, dass der Fehler innerhalb eines Labores von enormer Bedeutung für das Fehlerbudget sein kann. Dagegen zeigt der Standardfehler der Residuen auf Grund der hohen r^2 einen geringen Einfluß auf das Fehlerbudget und nimmt ähnliche Größenordnungen an, wie der Stichprobenfehler auf Basis der besten Stratifizierung.

Tabelle 8.2: Bestimmtheitsmaß und Koeffizienten der Potenzfunktionen für die Zuweisung von Laborstandardabweichungen für BZE-Werte auf Basis der Laboringversuche 2005 + 2007

ZG	Regression	r^2	mean	se mean	sig mean	koeff	se koeff	sig koeff
AL	$b * x + a$	0,902	0,030	0,005	0,004	-0,022	0,079	0,798
AL	$b * \ln(x) + a$	0,723	0,290	0,090	0,032	-0,308	0,227	0,247
AL	$x^b a$	0,880	0,866	0,160	0,006	0,039	0,016	0,069
AL	$b * e^x + a$	0,916	0,081	0,012	0,003	0,103	0,020	0,007
CA	$b * x + a$	0,933	0,023	0,003	0,002	0,017	0,003	0,004
CA	$b * \ln(x) + a$	0,950	0,014	0,002	0,001	0,043	0,002	0,000
CA	$x^b a$	0,979	0,466	0,034	0,000	0,042	0,001	0,000
CA	$b * e^x + a$	0,858	0,717	0,146	0,008	0,019	0,002	0,001
FE	$b * x + a$	0,827	0,023	0,005	0,012	0,016	0,124	0,906
FE	$b * \ln(x) + a$	0,658	0,232	0,084	0,050	-0,118	0,232	0,639
FE	$x^b a$	0,960	0,830	0,085	0,001	0,040	0,009	0,013
FE	$b * e^x + a$	0,828	0,069	0,016	0,012	0,084	0,031	0,053
K	$b * x + a$	0,946	0,038	0,005	0,001	-0,001	0,008	0,911
K	$b * \ln(x) + a$	0,836	0,047	0,010	0,011	0,053	0,009	0,004
K	$x^b a$	0,959	0,892	0,093	0,001	0,039	0,003	0,000
K	$b * e^x + a$	0,992	0,702	0,031	0,000	0,015	0,001	0,000
MG	$b * x + a$	0,962	0,018	0,002	0,001	0,007	0,007	0,359
MG	$b * \ln(x) + a$	0,724	0,033	0,010	0,032	0,038	0,013	0,042
MG	$x^b a$	0,911	0,654	0,102	0,003	0,031	0,004	0,002
MG	$b * e^x + a$	0,902	0,313	0,051	0,004	0,019	0,004	0,007
MN	$b * x + a$	0,891	0,042	0,007	0,005	-0,003	0,005	0,548
MN	$b * \ln(x) + a$	0,481	0,007	0,004	0,126	0,028	0,007	0,018
MN	$x^b a$	0,892	0,644	0,112	0,005	0,028	0,006	0,009
MN	$b * e^x + a$	0,882	2,663	0,486	0,005	0,003	0,001	0,033
NA	$b * x + a$	0,204	0,020	0,020	0,369	0,008	0,002	0,029
NA	$b * \ln(x) + a$	0,150	0,002	0,002	0,449	0,014	0,005	0,040
NA	$x^b a$	0,143	0,154	0,189	0,459	0,014	0,006	0,083
NA	$b * e^x + a$	0,197	1,885	1,902	0,378	0,008	0,002	0,010
P	$b * x + a$	0,933	0,021	0,003	0,002	0,003	0,001	0,112
P	$b * \ln(x) + a$	0,849	0,009	0,002	0,009	0,022	0,003	0,001
P	$x^b a$	0,852	0,755	0,158	0,009	0,023	0,005	0,013
P	$b * e^x + a$	0,774	1,605	0,434	0,021	0,005	0,001	0,009
pH(H2O)	$b * x + a$	0,053	0,015	0,031	0,660	-0,038	0,138	0,796
pH(H2O)	$b * \ln(x) + a$	0,056	0,067	0,138	0,651	-0,074	0,207	0,739
pH(H2O)	$x^b a$	0,139	3,905	4,870	0,468	0,000	0,001	0,898
pH(H2O)	$b * e^x + a$	0,133	0,854	1,088	0,477	0,001	0,003	0,848
H+	$b * x + a$	0,600	0,057	0,015	0,003	0,000	0,000	0,555
H+	$b * \ln(x) + a$	0,657	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
H+	$x^b a$	0,990	0,921	0,029	0,000	0,029	0,011	0,024
H+	$b * e^x + a$	0,780	180213,012	30293,600	0,000	0,000	0,000	0,000
sqrt(H+)	$b * x + a$	0,711	0,029	0,006	0,001	0,000	0,000	0,657
sqrt(H+)	$b * \ln(x) + a$	0,768	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
sqrt(H+)	$x^b a$	0,975	0,861	0,044	0,000	0,015	0,004	0,006
sqrt(H+)	$b * e^x + a$	0,893	614,119	67,253	0,000	0,000	0,000	0,013
pH(KCl)	$b * x + a$	0,006	0,001	0,009	0,882	0,012	0,036	0,764
pH(KCl)	$b * \ln(x) + a$	0,006	0,006	0,036	0,881	0,010	0,050	0,856
pH(KCl)	$x^b a$	0,001	0,102	2,168	0,965	0,015	0,043	0,751
pH(KCl)	$b * e^x + a$	0,001	0,026	0,556	0,965	0,015	0,033	0,668
C	$b * x + a$	0,187	0,005	0,006	0,392	0,188	0,042	0,011
C	$b * \ln(x) + a$	0,271	0,035	0,029	0,289	0,162	0,053	0,038
C	$x^b a$	0,314	0,173	0,128	0,248	0,162	0,038	0,013
C	$b * e^x + a$	0,220	0,026	0,025	0,348	0,184	0,034	0,006
N	$b * x + a$	0,829	0,018	0,004	0,012	0,017	0,003	0,003
N	$b * \ln(x) + a$	0,776	0,007	0,002	0,021	0,033	0,002	0,000
N	$x^b a$	0,790	0,269	0,069	0,018	0,033	0,003	0,000
N	$b * e^x + a$	0,833	0,717	0,160	0,011	0,018	0,002	0,001



(a)



(b)

Abbildung 8.13: Fehlerbudget für die (a) untransformierte und (b) quadratwurzeltransformierte, modellierte pH-Wert-Veränderung in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens am Bsp. Thüringens (BZE I). Stratifizierungen = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM) für verschiedene Stratifizierungen; „std 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(Post) + LF

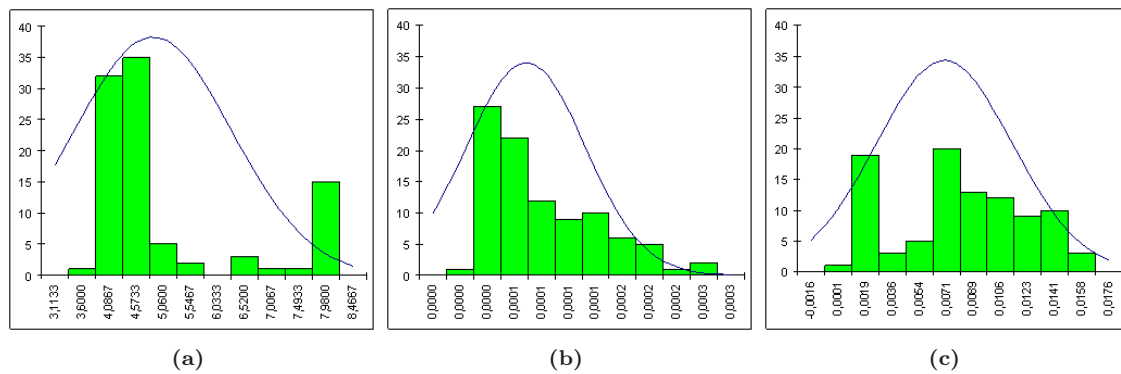


Abbildung 8.14: Verteilungsfunktion des pH-Wertes, der H^+ -Konzentration und der Quadratwurzel-transformierten H^+ -Konzentration in Thüringen

8.3.3 Messdifferenzen zwischen den Laboren

Auf Basis der Laborringversuche lässt sich ein Mittelwert über alle Labore und dessen Standardabweichung, die Standardabweichung zwischen den einzelnen Laborwerten schätzen. Beide Eingangswerte können in einem zum vorhergehenden Abschnitt identischen Verfahren zur Quantifizierung des Fehlers zwischen den Laboren herangezogen werden. Auch hier ergab die Analyse der vier Regressionsarten des Formelarray 8.2, Seite 215, dass der Zusammenhang zwischen Gesamtmittelwert und Standardabweichung zwischen den Laboren über eine Potenzfunktion mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen und den häufigsten signifikanten Koeffizienten – wie in Tab. 8.3, Seite 226 dargestellt – erklärt werden kann. Zu definieren ist jedoch vorab die Berechnung des Gesamtmittelwertes unter Berücksichtigung oder unter Ausschluss von Laborwert-Ausreißern und -Extremwerten.

In einem nächsten Schritt wurden die Beziehungen der einzelnen Labormittelwerte zu einander und zum Gesamtmittelwert ohne Ausschluss von Extrem- und Ausreißerwerten der Laborringversuchsproben von 2005 und 2007 betrachtet. Die Abbildung 8.15, Seite 225 zeigt in allen vier Fällen einen sehr strengen Zusammenhang zwischen den jeweils gegenübergestellten Wertepaaren. Die Bestimmtheitsmaße liegen nahe 1. Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass die Unterschiede zwischen den Laboren systematischer Natur sind und sich über die, in den Abbildungen dargestellten Regressionsgleichungen an einander anpassen lassen.

Bestätigt sich diese Systematik in weiteren Untersuchungen, ist man in der Lage, den Bias eines jeden Labores in Bezug zu einem Gesamtmittelwert über alle Labore „herauszurechnen“, indem man die Regressionsgleichungen der Abbildung 8.15, Seite 225 auf jeden Labormesswert anwendet. Ob der „wahre“ Labormesswert dabei als einfacher arithmetischer Gesamtmittelwert unter Berücksichtigung oder unter Ausschluss von Labormittelwert-Ausreißern und -Extremwerten definiert wird oder in einem iterativen Prozess berechnet werden muss, ist vor der Erstellung eines Fehlerbudgets zu klären.

Die geschätzten Mittelwerte und deren Fehlerbudgets, hergeleitet im vorangegangenen Abschnitt, werden somit nicht durch eine weitere Fehlerkomponente ergänzt, sondern lediglich korrigiert. Die Abbildungen 8.16, Seite 227 bis 8.18, Seite 229 zeigen dabei die blau dargestellten korrigierten Mittelwerte und deren rot dargestellten korrigierten Vertrauensintervalle, gegenüber den ursprünglich ohne Betrachtung der Messwertdifferenzen zwischen den Laboren berechneten Mittelwerten und deren schwarz dargestellten Vertrauensintervalle.

Lässt sich der auf Basis der Laborringversuche 2005 und 2007 gefundene systematische Trend zwischen den Labormittelwerten und zum Gesamtmittelwert in weiteren Untersuchungen nicht bestätigen, ist der Fehler zwischen den Laboren als weitere Fehlerquelle zu definieren und über die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Methode zu kalkulieren. Auch hier würde sich die Fehlerquelle „Fehler zwischen den Laboren“ aus den Komponenten „Zugewiesener Fehler auf Basis der verwendeten Regression“, „Standardfehler der Residuen“ und „Fehler der Extrapolation“ zusammensetzen, wobei letztere wiederum nicht quantifiziert werden könnte. Das resultierende Fehlerbudget mit den zusätzlichen Fehlerkomponenten „zl“ = Fehler zwischen den Laboren durch Zuweisung der Standardabweichung über die Regression und „fzl“ = Fehler der Residuen auf Basis der verwendeten Regression ist in Abb. 8.19, Seite 230 dargestellt.

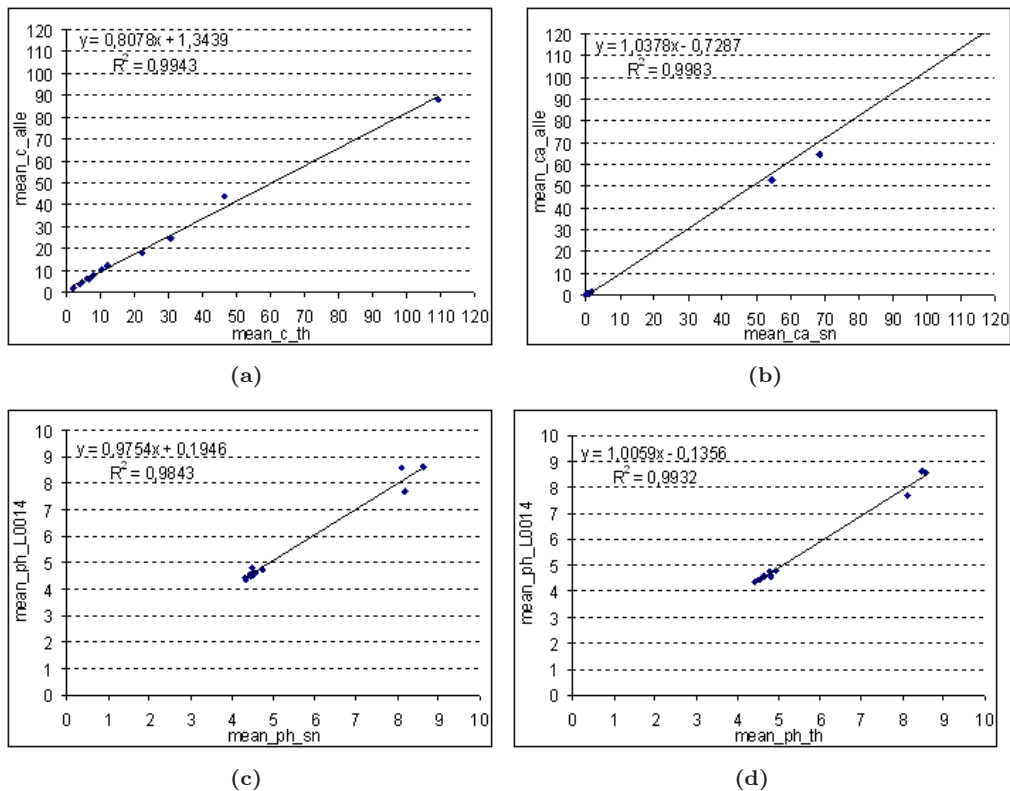


Abbildung 8.15: Beziehung zwischen den Labormittelwerten (Ringversuche 2005 + 2007) verschiedener an der BZE beteiligter Labore und zum „Gesamtmittelwert“ basierend auf den Labormittelwerten. (a) C-Gehalt zwischen Thüringen und Gesamtmittelwert, (b) Ca-Gehalt zwischen Sachsen und Gesamtmittelwert, (c) pH-Wert zwischen Sachsen und Labor L014, (d) pH-Wert zwischen Thüringen und Labor L014

8. Erstellung eines Fehlerbudgets

Tabelle 8.3: Bestimmtheitsmaß und Koeffizienten der Potenzfunktionen für die Zuweisung von Standardabweichungen zwischen den an der BZE beteiligten Laboren für bei der BZE gemessene Werte auf Basis der Laborringversuche 2005 + 2007

ZG	Regression	r^2	mean	se mean	sig mean	koeff	se koeff	sig koeff
AL	$b * x + a$	0,951	0,122	0,014	0,001	-0,178	0,223	0,468
AL	$b * \ln(x) + a$	0,775	1,195	0,322	0,021	-1,369	0,815	0,169
AL	$x^b a$	0,954	0,992	0,109	0,001	0,109	0,030	0,023
AL	$b * e^x + a$	0,932	0,090	0,012	0,002	0,340	0,066	0,007
CA	$b * x + a$	0,083	0,017	0,028	0,580	0,094	0,025	0,019
CA	$b * \ln(x) + a$	0,338	0,021	0,015	0,227	0,119	0,015	0,002
CA	$x^b a$	0,411	0,228	0,136	0,170	0,118	0,017	0,002
CA	$b * e^x + a$	0,123	0,205	0,273	0,496	0,088	0,021	0,013
FE	$b * x + a$	0,812	0,054	0,013	0,014	0,008	0,301	0,981
FE	$b * \ln(x) + a$	0,588	0,510	0,213	0,075	-0,237	0,592	0,709
FE	$x^b a$	0,939	0,800	0,102	0,001	0,098	0,028	0,024
FE	$b * e^x + a$	0,788	0,066	0,017	0,018	0,205	0,081	0,066
K	$b * x + a$	0,867	0,317	0,062	0,007	-0,063	0,115	0,610
K	$b * \ln(x) + a$	0,741	0,379	0,112	0,028	0,381	0,094	0,016
K	$x^b a$	0,944	1,032	0,126	0,001	0,256	0,027	0,001
K	$b * e^x + a$	0,956	0,803	0,086	0,001	0,084	0,013	0,003
MG	$b * x + a$	0,948	0,047	0,005	0,001	0,043	0,021	0,107
MG	$b * \ln(x) + a$	0,893	0,094	0,016	0,005	0,116	0,021	0,005
MG	$x^b a$	0,992	0,802	0,037	0,000	0,079	0,004	0,000
MG	$b * e^x + a$	0,733	0,331	0,100	0,030	0,053	0,020	0,057
MN	$b * x + a$	0,964	0,080	0,008	0,001	-0,001	0,005	0,789
MN	$b * \ln(x) + a$	0,597	0,015	0,006	0,072	0,059	0,012	0,007
MN	$x^b a$	0,950	0,658	0,075	0,001	0,063	0,009	0,002
MN	$b * e^x + a$	0,850	2,589	0,544	0,009	0,007	0,003	0,047
NA	$b * x + a$	0,893	0,185	0,032	0,004	0,018	0,004	0,009
NA	$b * \ln(x) + a$	0,859	0,017	0,004	0,008	0,078	0,008	0,001
NA	$x^b a$	0,906	0,478	0,077	0,003	0,111	0,020	0,005
NA	$b * e^x + a$	0,924	5,031	0,719	0,002	0,021	0,002	0,000
P	$b * x + a$	0,946	0,047	0,006	0,001	0,007	0,003	0,078
P	$b * \ln(x) + a$	0,859	0,020	0,004	0,008	0,050	0,006	0,001
P	$x^b a$	0,879	0,741	0,137	0,006	0,052	0,011	0,008
P	$b * e^x + a$	0,798	1,574	0,396	0,017	0,011	0,002	0,007
pH(H2O)	$b * x + a$	0,287	0,121	0,095	0,274	-0,431	0,429	0,372
pH(H2O)	$b * \ln(x) + a$	0,289	0,545	0,428	0,272	-0,707	0,643	0,333
pH(H2O)	$x^b a$	0,292	5,237	4,076	0,268	0,000	0,000	0,878
pH(H2O)	$b * e^x + a$	0,290	1,162	0,909	0,271	0,001	0,002	0,819
H+	$b * x + a$	0,812	0,397	0,060	0,000	0,000	0,000	0,562
H+	$b * \ln(x) + a$	0,786	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H+	$x^b a$	0,996	0,957	0,019	0,000	0,279	0,071	0,003
H+	$b * e^x + a$	0,794	188426,142	30346,099	0,000	0,000	0,000	0,309
sqrt(H+)	$b * x + a$	0,803	0,199	0,031	0,000	0,000	0,000	0,621
sqrt(H+)	$b * \ln(x) + a$	0,858	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
sqrt(H+)	$x^b a$	0,987	0,910	0,033	0,000	0,135	0,029	0,001
sqrt(H+)	$b * e^x + a$	0,910	650,933	64,844	0,000	0,000	0,000	0,011
pH(KCl)	$b * x + a$	0,007	0,005	0,031	0,873	0,053	0,121	0,681
pH(KCl)	$b * \ln(x) + a$	0,004	0,016	0,121	0,902	0,052	0,164	0,766
pH(KCl)	$x^b a$	0,001	-0,100	1,679	0,956	0,083	0,189	0,683
pH(KCl)	$b * e^x + a$	0,000	-0,010	0,431	0,982	0,075	0,126	0,583
C	$b * x + a$	0,340	0,022	0,015	0,225	0,207	0,115	0,147
C	$b * \ln(x) + a$	0,385	0,128	0,081	0,189	0,133	0,149	0,423
C	$x^b a$	0,481	0,380	0,197	0,126	0,172	0,062	0,051
C	$b * e^x + a$	0,411	0,063	0,038	0,170	0,216	0,062	0,026
N	$b * x + a$	0,567	0,092	0,040	0,084	0,042	0,025	0,163
N	$b * \ln(x) + a$	0,574	0,036	0,015	0,081	0,123	0,018	0,002
N	$x^b a$	0,721	0,424	0,132	0,032	0,123	0,019	0,003
N	$b * e^x + a$	0,713	1,095	0,348	0,035	0,047	0,010	0,010

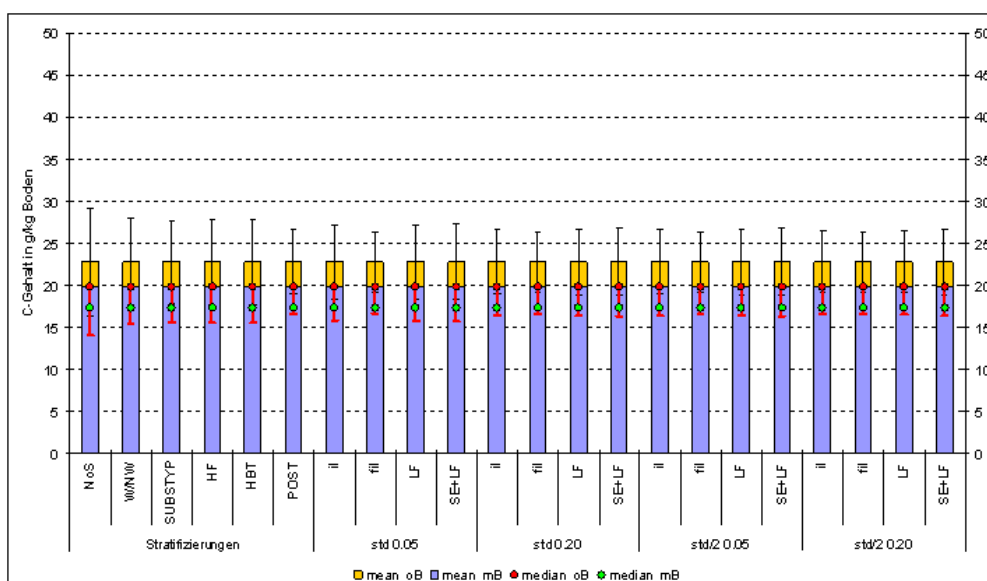


Abbildung 8.16: Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens mit und ohne Bias am Bsp. Thüringens (BZE I). Gelb = Fehlerbudget ohne Beachtung des Bias zwischen den Laboren; Blau = Bias über lineare Funktion herausgerechnet; Stratifizierungen = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM) für verschiedene Stratifizierungen; „std 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(Post) + LF

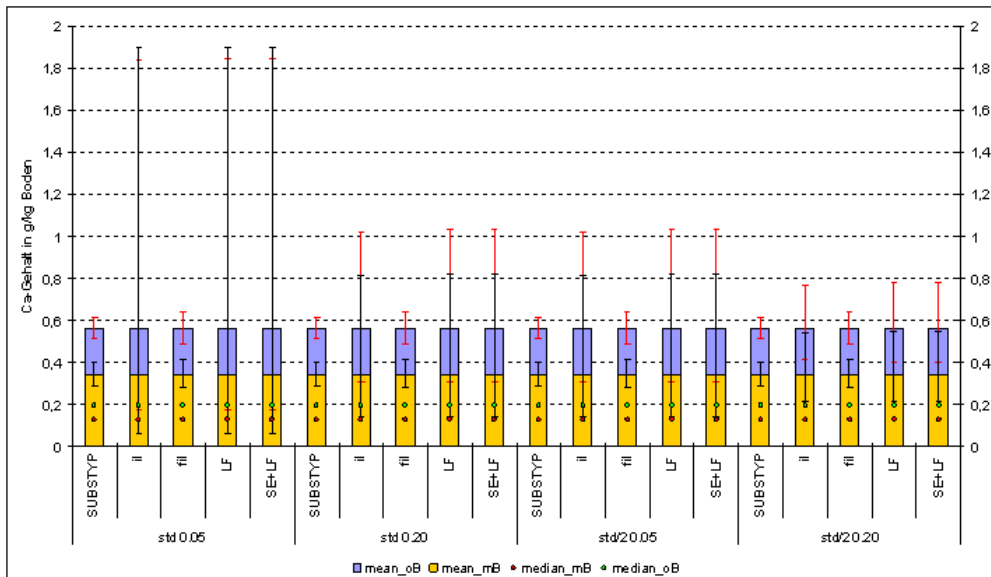


Abbildung 8.17: Fehlerbudget für den Ca-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens mit und ohne Bias am Bsp. Thüringens (BZE I), stratifiziert nach dem Substrattyp (SUBSTYP). Gelb = Fehlerbudget ohne Beachtung des Bias zwischen den Laboren; Blau = Bias über lineare Funktion herausgerechnet; „std 0.05“ = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM), wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(Post) + LF

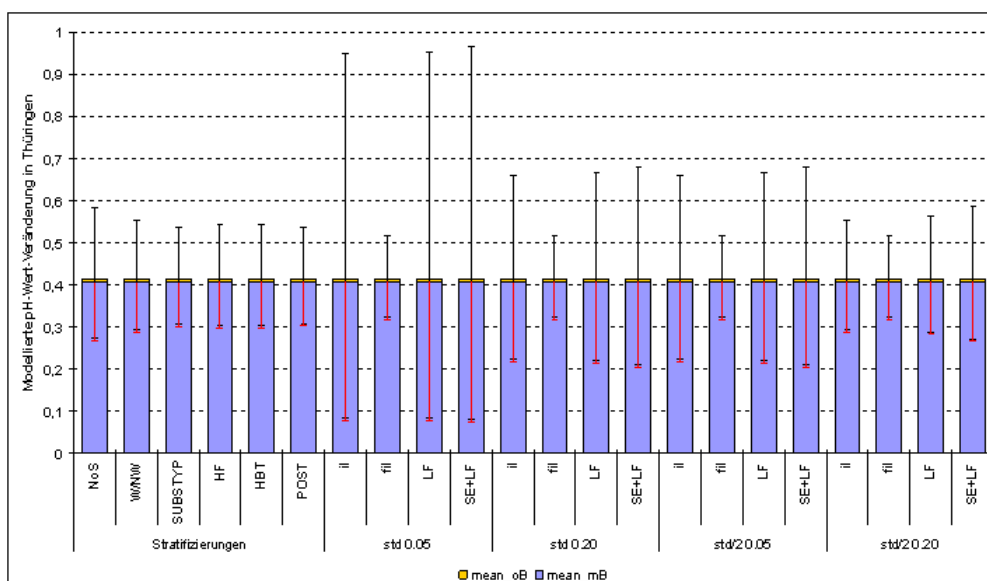


Abbildung 8.18: Fehlerbudget für die modellierte pH-Wert-Veränderung in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens mit und ohne Bias am Bsp. Thüringens (BZE I). Gelb = Fehlerbudget ohne Beachtung des Bias zwischen den Laboren; Blau = Bias über lineare Funktion herausgerechnet; Stratifizierungen = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM) für verschiedene Stratifizierungen; „std 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung entsteht; LF = il + fil; SE+LF = SE(Post) + LF

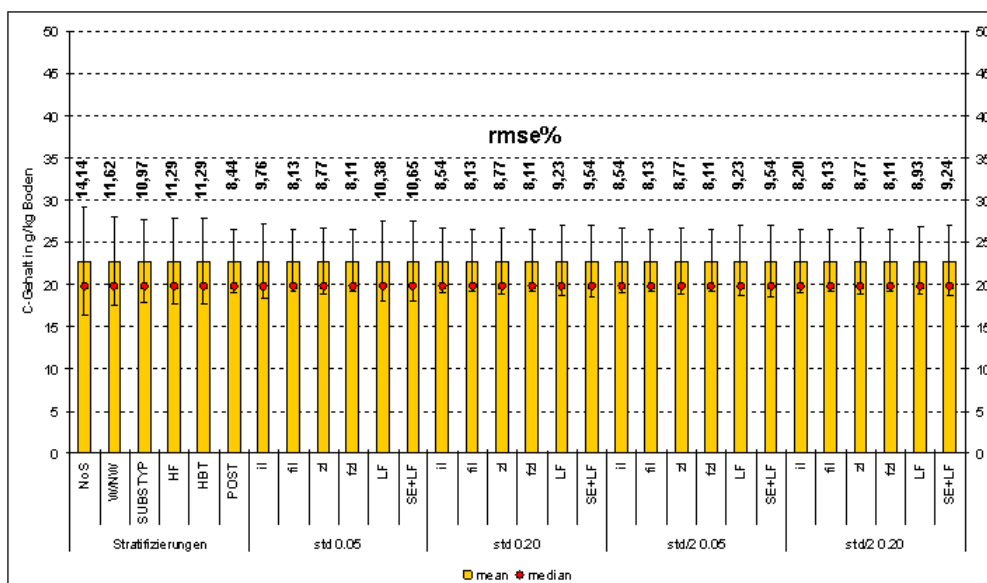


Abbildung 8.19: Fehlerbudget für den C-Gehalt in der 1. Tiefenstufe des Mineralbodens inkl. des Fehlers zwischen den Laboren als zusätzliche Fehlerkomponente am Bsp. Thüringens (BZE I). Stratifizierungen = Vertrauensintervall des Mittelwertes (VIM) für verschiedene Stratifizierungen; „std 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten; „std/2 0.05“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 95 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; „std/2 0.20“ = VIM, wenn Laborwerte innerhalb eines 80 %igen Vertrauensbereiches nach Tschebyscheff auftreten, die Standardabweichung innerhalb des Labores jedoch um die Hälfte gesenkt werden konnte; il = Fehler, der in einem Labor entsteht; fil = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung innerhalb eines Labores entsteht; zl = Fehler, der zwischen den Laboren entsteht; zfl = Fehler, der durch die Regression zur Zuweisung der Standardabweichung zwischen den Laboren entsteht; LF = il + fil + zl + zfl; SE+LF = SE(Post) + LF

8.3.4 Differenzen durch unterschiedliche Aufschlußverfahren

Wie bereits in Abschnitt 2.1.4, Seite 9 andiskutiert, können unterschiedliche Laborverfahren – und hier im besonderen Maße die Aufschlußverfahren – zu erheblichen Differenzen zwischen verschiedenen Proben führen, die letztlich nicht aus Unterschieden in der Zusammensetzung dieser Proben resultieren. Als Datenmaterial zur Quantifizierung dieses Fehlers standen auch hier nur die Analysen der Laborringversuche zur Verfügung, im Speziellen die Werte der AKe, erhoben nach der deutschen und der europäischen Methode.

In Tabelle 8.4, Seite 231 sind die prozentualen Unterschiede zwischen beiden Methoden zur Bestimmung der AKe aufgeführt. Grundlage hierfür waren die verschiedenen Ringproben, wobei nur Laboranalysen beachtet wurden, zu denen jeweils 4 Messwerte vorlagen. Die Differenzen unterscheiden sich in Abhängigkeit vom betrachteten Element. Die Maximale Differenz zwischen beiden Analysemethoden betrug rund 95 %, gemessen am Element Natrium. Erstaunlich war jedoch, dass es für die wenigsten Proben möglich war, ein hohes Bestimmtheitsmaß inkl. signifikanten Koeffizienten zwischen beiden Methoden anhand einer linearen Regression zu erzielen. D.h., zwischen beiden Methoden liegt kein gerichteter Trend vor, keine der beiden Methoden zur Bestimmung der AKe über- oder unterschätzt konstant (siehe Abb. 8.20, Seite 232).

Sollte diese Aussage auf andere Labormethoden zur Bestimmung weiterer Bodenparameter übertragbar sein, muss an dieser Stelle geschlossen werden, dass sowohl die BZE I-Werte zwischen den einzelnen beteiligten Laboren kaum vergleichbar sind, insofern zwischen diesen unterschiedliche Methoden angewandt wurden, als auch die Ableitungen von Veränderungen bei einem Methodenwechsel zwischen beiden Zeitpunkten mehr als fragwürdig erscheinen.

Würde der Mittelwert nicht ausschließlich über die positiven Betragswerte der prozentualen Differenzen berechnet werden, wie in Tabelle 5.3, Seite 113, sondern über negative und positive prozentuale Differenzen hinweg, wäre die mittlere Differenz zwischen beiden Methoden nahe 0. Zielführende Simulationen zur Auswirkung dieses Fehlers auf das Gesamtfehlerbudget waren somit nicht möglich, da zumindest für die AKe-Werte kein gerichteter Trend zwischen beiden Methoden vorlag. Eine zuverlässige Quantifizierung dieses Fehlers ist somit nur möglich, wenn für jede Probe ein Messwert der Methode *a* und ein Messwert der Methode *b* vorliegen würde und diese Differenzen als „individuelle“ Verzerrung pro Probe behandelt werden könnte.

Tabelle 8.4: Minima, Maxima, Mittelwert und Median der positiven Differenzen in % zwischen den deutschen und europäischen Methode zur Bestimmung der AKe auf Basis der Laborringversuche 2005

	Al	Ca	K	Fe	Mg	Mn	Na	H
min	0,373	0,562	0,595	1,709	0,000	0,000	0,000	2,049
max	63,875	70,263	93,758	92,226	62,646	52,866	94,667	88,462
mean	22,698	17,453	33,436	42,562	15,067	20,654	33,115	40,796
median	22,787	13,351	26,264	47,692	9,657	19,636	26,898	37,817

8.4 Beurteilung der Fehlerbudgetierung

Für die Fehlerquellen „Stichprobenfehler“, „Fehler, resultierend aus dem Probennahmedesign auf der Probestfläche“, „Fehler innerhalb eines Labores“ und „Fehler zwischen den Laboren“ konnten bestehende Methoden genutzt bzw. neue Methoden zur Quantifizierung dieser Fehlerquellen entwickelt werden. Der Fehler „Differenzen durch unterschiedliche Aufschlußverfahren“ konnte zumindest für die AKe-Messungen quantifiziert werden. Hierbei ist abschließend festzuhalten, dass

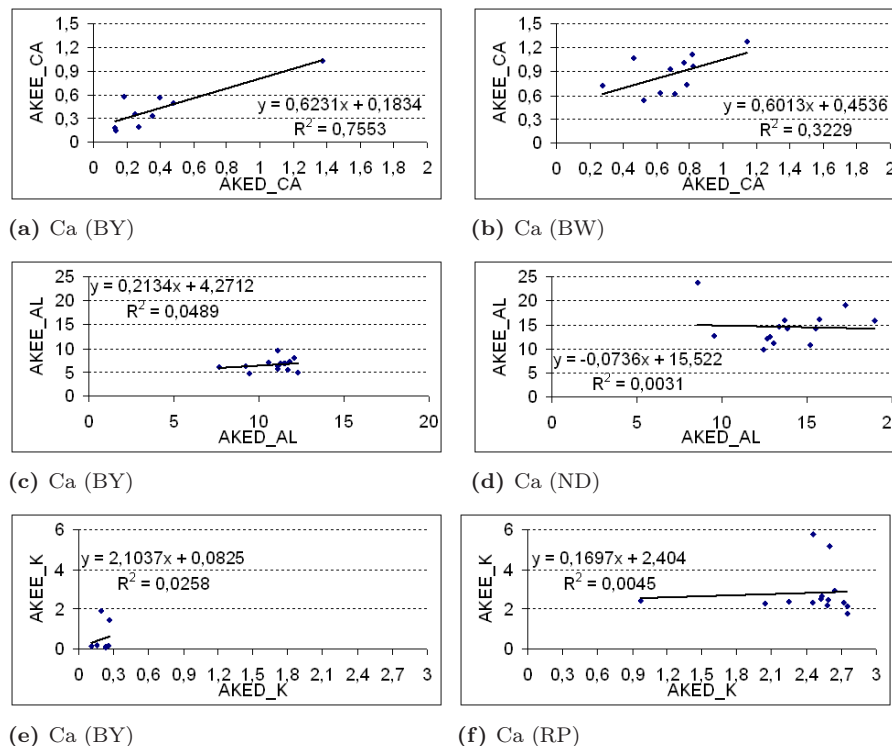


Abbildung 8.20: Regression zwischen den Labormittelwerten für AKe(D) und AKe(E) anhand verschiedener Laborring-Proben aus Bayern (BY), Niedersachsen (ND) und Rheinland-Pfalz (RP)

1. bei entsprechend guter Stratifizierung der Stichprobenfehler deutlich gesenkt werden kann, ohne dass zusätzliche Kosten entstehen,
2. das Probennahmedesign auf der Probefläche einen Einfluß auf den Stichprobenfehler hat, wobei am Bsp. Thüringen eine Steigerung des Stichprobenfehlers bis zu 3 % möglich ist, wenn der Stichprobenumfang auf der Probefläche bis hin zur Einzelprobennahme gesenkt würde,
3. der Fehler durch die Probenvorbereitung vernachlässigbar gering ist (Hr. Blum und Hr. v. Wilpert mdl.),
4. der Laborfehler auf Grund der Zuweisung einer Standardabweichung pro Messwert über eine Regression einen erheblichen Einfluß auf die Quantität des Fehlerbudgets hat,
5. der Fehler der Residuen aus der angewandten Regression bei entsprechend hohem r^2 entsprechend gering ist, und dass
6. die Mess-Differenzen resultierend aus unterschiedlichen Aufschlußverfahren Werte von fast 100 % annehmen können.

Weitere Fehlerquellen wurden nicht quantifiziert, da kein entsprechendes Datenmaterial für entsprechende Auswertungen beschafft werden konnte. Hier ist an erster Stelle der Fehler der nicht exakten Trennung zwischen Auflagehorizonten und Mineralboden zu nennen, dessen Einfluß auf das Fehlerbudget erheblich sein könnte (Hr. Schobel, mdl.). Der Anteil quantifizierbarer Fehlerquellen am Gesamtfehlerbudget könnte durch diesen Fehler relativiert werden.

Grundsätzlich kritisch zu bemerken ist, dass sich die quantifizierbaren Fehlerquellen hauptsächlich auf externe Zusatzdaten, wie die Ringversuchsdaten oder BDF-Daten stützen. Dies führt zu weiteren nicht kalkulierbaren Fehlern, wie a) der Fehler, welcher durch die Anwendung der Regression zur Zuweisung einer Standardabweichung entsteht, wenn die tatsächlich bei der BZE analysierten Messwerte über den Wertebereich der Ringversuchsdaten zur Erstellung der Regression hinausgehen und b) die Zusatzdaten nur ein bestimmtes Spektrum aller deutschen Standortseigenschaften widerspiegeln.

Abhilfe kann hier geschaffen werden, in dem die Resultate der Ringversuche auf eine wesentlich breitere Datenbasis gestellt oder BZE-Proben an sich innerhalb eines Labores mehrmals wiederholt gemessen werden könnten.

8.5 Empfehlungen

Der Stichprobenfehler kann durch folgende Maßnahmen kostenneutral bei der BZE II-Auswertung gesenkt werden:

- Anwendung eines nach „natürlichen“ Landschaftsklassen prästratifizierten Stichprobenplanes oder
- Anwendung eines poststratifizierten Stichprobenplanes

wobei Reduktionen von mehr als 50 % in Abhängigkeit von der Varianz im Inventurgebiet und der Anzahl Proben realisiert werden können.

Der Stichprobenfehler kann zusätzlich durch folgende Maßnahmen bei folgenden BZE-Auswertung gesenkt werden:

- Generelle Umstellung auf ein Probennahmedesign auf der Probefläche mit 8 oder 9 Proben zur Mischprobenbildung
- Erhöhung des Stichprobenumfanges = Verdichtung des Stichprobennetzes

Die Harmonisierung des Probennahmedesigns auf der Probefläche führt damit auch zu einer früheren Detektierbarkeit von signifikanten Veränderungen.

Es sollten Mehrfach-Labor-Messungen an einzelnen BZE-Proben erfolgen, damit der bei den BZE-Proben tatsächlich auftretende Fehler innerhalb eines Labores besser abschätzbar ist.

Auf eine zukünftige Änderung der Laborverfahren sollte aus Konsistenzgründen verzichtet werden, solange keine neuen wissenschaftlichen oder ökonomischen Gründe dagegen sprechen.

Kapitel 9

Ausblick

Thomas Riedel, Karl Heinz Mellert, Falko Hornschuch, Jürgen Schäffer

9.1 Zusammenfassung

FH Eberswalde

Durch die systematische Probenahme eines DFG-Vorgängerprojektes lagen 9282 Einzelproben aus 6 Natur- und Wirtschaftswäldern von Rot-Buche, Trauben-Eiche und Wald-Kiefer auf Sandböden Nord-Brandenburgs und West-Polens vor, an denen bereits die pH-Werte und Humusgehalte ermittelt und mittels deskriptiver Statistik aufbereitet worden waren. Auf die bestandesstrukturellen und vegetationsökologischen Ergebnisse dieser Bearbeitung konnte im Zusammenhang der Ursachenaufklärung zurückgegriffen werden.

An einer Auswahl der Proben (Flächen, Tiefenstufen) erfolgte die Analyse weiterer BZE-relevanter Bodenparameter, wie C- und N-Gehalt, C/N-Verhältnis, Kationenaustauschkapazität, Ca-, Mg-, K-, Na-, Al-, Fe- und Mn-Sättigungsgrade sowie die Basensättigung.

Für alle vorliegenden Bodenparameter wurden tiefenstufenabhängig die Häufigkeitsverteilungen und die Variabilitäten analysiert. Mit einer für geostatistische Auswertungen sehr guten Datengrundlage wurde die räumliche Heterogenität der Bodenparameter mit dem Programm VARIO-WIN 2.2 modelliert. Dazu wurden für jeden Parameter, Tiefenstufe und Fläche experimentelle Variogramme berechnet und bei optimaler Wahl der Verschiebungsschrittweite (lag) und -anzahl (lag distance) ein geeignetes Modell angepasst, um Autokorrelationslänge (Range), Nuggeteffekt und Schwellenwert (Sill) zu ermitteln. Schließlich wurden die rangskalierten Variationskoeffizienten und die Werte für Range und Nuggeteffekt von den verschiedenen Tiefenstufen und/oder Parametern gemittelt, um Unterschiede zwischen den Flächen deutlicher herausarbeiten zu können. Um die wesentlichen Einflussfaktoren der Bodenvariabilität zu analysieren, wurden verschiedene Parameter erhoben, die teilweise punktgenau mit den o.g. Bodenparametern in Beziehung gesetzt werden konnten (Bestandesstruktur, Zusammensetzung, Deckung und ökologischer Weiserwert der Bodenvegetation, Humusmächtigkeit und Horizonttiefen, Durchwurzelung, Bestandesniederschlag, aktuelle Oberbodenfeuchte, Oberbodendichte).

Für die in der Natur- und Wirtschaftswaldvariante analysierten Parameter pH-Wert, Humus-Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt zeigten sich i.d.R. höhere Variabilitätskoeffizienten in den Naturwäldern. Eine Ausnahme bildet der Kiefern-Wirtschaftswald auf Regosol, in dem im Oberboden Holzkohle gefunden wurde und dessen Humus- und C-Gehalte sehr stark variieren. Die Variabilität dieser und weiterer Bodenparameter (AKe, BS, Elementsättigungen) ist im bewirt-

schafteten Kiefernbestand höher als unter Eiche und Buche. Der Buchen-Wirtschaftswald weist die geringsten Schwankungen auf. Auf der Skala von Baumbeständen (bei Analyse 80 m langer Kreuztransekte) sind für die untersuchten Waldökosysteme die Autokorrelationslängen verschiedener Bodenparameter relativ kurz. Im Oberboden (0-5 cm) schwanken sie zwischen 1,2 m (Kiefern-Wirtschaftswald, Mn-Sättigung) und 26,4 m (Buchen-Naturwald, N-Gehalt) bei einem Mittelwert von 6,9 m (Median 6,0 m).

Wie bei den Variabilitäten sind auch die räumlichen Muster des pH-Wertes in den Naturwaldvarianten von Buche, Eiche und Kiefer größer als in den jeweiligen Wirtschaftswäldern. Jedoch trifft diese Beobachtung beim Humus-, C- und N-Gehalt nur für Buche und Eiche zu. Davon abweichend finden sich im Kiefern-Wirtschaftswald für den Humus, C- und N-Gehalt sowie für die AKe wieder größere Autokorrelationslängen als im entsprechenden Kiefern-Naturwald. Zwischen den Baumarten sind die Korrelationslängen nicht deutlich voneinander abgesetzt. Auch weist in den verschiedenen Tiefenstufen einer Fläche ein und derselbe Parameter oft unterschiedliche Autokorrelationslängen auf, ohne dass ein einheitlicher Tiefentrend erkennbar wäre. Diese „Tiefenprofile“ lassen sich schwer interpretieren. Ein eindeutiger Baumarten- oder Nutzungseffekt, der sich in die verschiedenen Tiefenstufen durchpaust bzw. dort widerspiegelt, konnte anhand einer stratifizierten (tiefenstufenbezogenen) Variogrammanalyse also nicht nachgewiesen werden.

Der Nuggeteffekt hängt stärker vom untersuchten Parameter als von der Flächenvariante ab und wird mit strukturellen Bodeneigenschaften erklärt. Während beim pH-Wert auch im mikroskaligen Bereich noch Gradienten bestehen (Bodenlösung), kann der Humusgehalt als Merkmal der Bodenfestphase auch kleinräumig stark variieren, was den hohen Restfehler (Nuggeteffekt) erklären würde. Der pH-Wert und das C/N-Verhältnis weisen einen Nuggeteffekt von weniger als 50 % auf, während sich die Autokorrelationslängen des Humus-, C-, und N-Gehaltes sowie der Basensättigung wegen hoher Werte (z.T. > 70 %) schwerer oder teilweise nicht modellieren lassen. Unter den Elementsättigungen zeigen die von Mn, K und Al einen niedrigen und die von Ca und Mg eher einen hohen Nuggeteffekt. Der Nuggeteffekt bei den pH-Werten sinkt in der Reihenfolge $KN/KW > EN/EW > BN/BW$ und deutet so einen Baumarteneffekt an, der an der stärkeren Differenzierung des Bestandesniederschlags und Säueintrages in Verbindung stehen könnte. Bei den Elementgehalten stellt sich die umgekehrte Reihenfolge ein, indem sich der höchste Wert im Buchen-Wirtschaftswald findet.

Zwischen verschiedenen Parametern konnten einige Interkorrelationen nachgewiesen werden. Innerhalb des Oberbodens beeinflusst der Humusgehalt die Lagerungsdichte sehr stark, und das umso mehr, je basenreicher der Boden ist und zur Krümelgefügebildung neigt (Kiefer < Eiche < Buche). Der Humusgehalt ist entsprechend seiner Zusammensetzung eng mit dem C- und N-Gehalt des Bodens korreliert. Der Glühverlust stellt damit eine einfache Methode dar, den Anteil der organischen Bodensubstanz zu ermitteln. Da Sandböden arm an Tonmineralien sind, fungiert hier vor allem die Matrix der Humussubstanz als Kationenaustauscher, was die Korrelation der AKe mit dem Humusgehalt erklärt.

In den Sandböden konnte für fast alle Tiefenstufen eine hochsignifikante negative Beziehung zwischen Humusgehalt und pH-Wert festgestellt werden, was auf das Vorhandensein von Humin- und Fulvosäuren zurückgeführt wird, wobei zusätzlich Exsudate der Feinwurzeln - die eine Präferenz für hohe Humusgehalte zeigen - eine Rolle spielen könnten. Im weniger sauren Boden des Buchen-Naturwaldes und im verarmten Eluvialhorizont der Kiefernbestände sind diese Korrelationen nicht so stark. Wegen dieses Zusammenhanges korreliert nicht nur der Humusgehalt, sondern auch der pH-Wert mit dem prozentualen Ah-Horizont-Anteil einer Tiefenstufe. Im untersuchten Bodentyp einer podsolierten Sandbraunerde ist der Säuregradient mit zunehmender Tiefe folglich nicht unabhängig von der räumlichen Heterogenität der Ah-Horizontgrenze. Die räumlich differenzierte Nährelementausstattung wirkt sich auf die Durchwurzelungsstruktur aus. Attraktive Wurzelareale weisen einen hohen Humus- und N-Gehalt, sowie hohe Mg- und K-Sättigungen auf. Demgegenüber werden Bereiche mit hoher Al-Sättigung gemieden. Ein positiver Einfluss erhöhter Wasserverfügbarkeit auf die Durchwurzelung konnte nicht nachgewiesen werden, da in Arealen, die bei Niederschlagsereignissen mehr Bestandesniederschlag empfangen als andere Bereiche, keine

signifikant höheren Wurzeldichten ermittelt wurden.

Es werden Ursachen diskutiert, die für die kleinräumige Bodenheterogenität verantwortlich sein könnten. Dabei zeigt sich, dass sich das Muster des pH-Wertes (Range) am ehesten an die ökosystemspezifischen Baumzahlen (Baumabstand) anlehnt, was auf die Niederschlags- und Depositionsumverteilung im Bestand zurückgeführt wird. Besonders in Buchen- und Kiefernbeständen zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Stammverteilung und -dimension und dem pH-Wert. Große bzw. viele Bäume verringern den pH-Wert durch saures Stammablaufwasser (Buchen) bzw. saure Nadelstreu (Kiefern).

Andererseits ergeben sich einige strukturelle Übereinstimmungen zwischen der Organisation des Feinwurzelsystems und von Bodenfaktoren, die damit in Wechselwirkung stehen. So zeigen sich niedrige Autokorrelationslängen für den Humusgehalt in den Buchenbeständen, deren Feinwurzelsysteme sich durch einen starken Gradienten vom Stamm- in den Zwischenstamm- bzw. Lückenbereich hinein auszeichnen. Dem extensiveren Wurzelsystem der Eichen entsprechen größere Autokorrelationslängen des Humusgehaltes. Bei anderen Flächen (Kiefern-Naturwald) oder Humus-korrelierten Parametern (C-Gehalt, AKe) trifft diese Erwartung aber nicht ein.

Variabilitäten des Feinwurzelsvorrates stehen mit lokalen Bestandesstrukturen (Stammanordnung und -dimension) in Zusammenhang. Am stärksten ist diese Beziehung in den Buchen-, am schwächsten in den Kiefernbeständen ausgeprägt. Da die organische Bodensubstanz in Sandböden weniger auf die Einarbeitung organischer Auflagesubstanz durch Bioturbation (Regenwürmer), sondern auf den Feinwurzelsumsatz in situ zurückzuführen ist, steht die Bestandesstruktur über das Wurzelsystem auch mit diesem Parameter in Verbindung - wenn auch nicht so streng. Werden nur alte Bestandesstrukturen berücksichtigt, also dicke Bäume, Baumleichen und -stubben, ist die Korrelation enger.

Auch die Niederschlagsumverteilung, verbunden mit einer differenzierten Wasserverfügbarkeit, sowie der Bodenbewuchs stehen in Beziehung zur Bestandesstruktur und beeinflussen Bodenparameter. Der Deckungsgrad von Bodenpflanzen oder Lichtzeigern lässt sich dabei nur unbefriedigend mit senkrecht projizierten Bestandesstrukturparametern in Verbindung bringen und koinzidiert eher mit Strahlungswerten, die anhand der Sonnenbahn berechnet werden.

Als ein wichtiges Ergebnis muss der Zusammenhang zwischen der Ausprägung verschiedener Bodenparameter und der Bodengenese (Horizontierung) auf den untersuchten Sandböden bewertet werden.

FVA Freiburg

Für die Untersuchung der Variabilität und kleinräumigen Heterogenität bodenchemischer Eigenschaften wurden 10 baden-württembergische Level II – Flächen ausgewählt sowie Untersuchungsergebnisse aus der Ökosystemfallstudie Conventwald herangezogen. In Heidelberg und Ochsenhausen konnte zusätzlich auf eine in unmittelbarer Nachbarschaft liegende, gekalkten bzw. gedüngte Versuchsparzelle zurück gegriffen werden. Von den Level II – Flächen und der gekalkten Fläche in Heidelberg lagen Ergebnisse aus Vorläufererhebungen vor.

Im Rahmen dieses Hochschulvorhabens erfolgte in einem gitterbezogenen Raster auf den Level II – Flächen und der gedüngten bzw. gekalkten Flächen in Heidelberg und Ochsenhausen eine Nachbeprobung der BZE-Tiefenstufen 0 bis 5 cm und 5 bis 10 cm; die Probenahmepunkte wurden in einer eingeschränkten Zufallsauswahl in Abhängigkeit der Lage der Punkte aus der Ersterhebung ausgewählt, es wurden auf allen Flächen zusätzlich 40 Punkte beprobt. Durch die eingeschränkte Zufallsauswahl gelang es, auch die kleinen Abstandsklassen mit i.d.R. mehr als 30 Wiederholungen zu belegen.

Die Beschränkung auf die beiden oberen Tiefenstufen, die auch bei der Bodenzustandserfassung beprobt werden, wurde aufgrund der höheren Variabilität der Kenngrößen und des be-

wältigbaren zusätzlichen Probenaufkommens vorgenommen. Von den vorliegenden Messwerten aus vier Tiefenstufen der Conventwald-Ökosystemfallstudie wurde die Tiefenstufe 0 bis 15 cm ausgewertet, um eine gemeinsame Interpretation mit den Daten von den Level II – Flächen zu ermöglichen.

Die Datensätze wurden vor Durchführung der Variogrammanalysen auf Normalverteilung geprüft. War dies nicht der Fall, wurden die Messwerte logarithmus- bzw. quadratwurzeltransformiert. Der überwiegende Teil der Datensätze wurde logtransformiert. Eine ausreichende Belegung der Lagklassen war beim vorliegenden Probenahmedesign bei einer Lagklassenbreite von 2 m gegeben, die Abstandsklassen wurden äquidistant in dieser Lagklassenbreite geteilt. An die empirischen Variogramme wurden isotrope exponentielle, gauss'sche, sphärische und lineare Modelle angepasst und aus diesen Nugget, Sill und Range abgeleitet. Die für die Anpassung verwendete Maximaldistanz war 20 m. Da in dieser Untersuchung vorrangig kleinräumige Nachbarschaftseffekte aufgedeckt werden sollten und deterministische Trends auf höheren räumlichen Auflösungsebenen nicht betrachtet werden sollten, wurde die Länge des maximalen Abstandsvektors auf dies Größenordnung begrenzt. Die angepassten theoretischen Variogramme wurden mittels ihrer Bestimmtheit, des ermittelten Ranges sowie der Lage von Nugget und Sill in vier Güteklassen klassifiziert Diese Klassifikation wurde für die parameter- und flächenübergreifende Interpretation der Anpassungen verwendet.

Die Variabilität der bodenchemischen Parameter auf den Level II – Versuchsflächen schwankt in einem weiten Bereich: für das C/N-Verhältnis liegt der mittlere Variationskoeffizient unter 10 %, die Austauschkapazität sowie die Aluminiumsättigung weisen im Vergleich zu den weiteren untersuchten Parametern ebenfalls geringe Variationskoeffizienten (im Durchschnitt der Flächen unter 30 %) auf, eine höhere Variabilität ist bei den pH-Werten, der Basensättigung, den basischen Neutralkationen Kalium und Magnesium sowie dem Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt gegeben (VC zwischen 30 % und 50 %). Die Calciumsättigung erreicht hierbei die höchste Variabilität (mittlere Variationskoeffizienten von über 75 %). Auf den gedüngten/gekalkten Flächen und der carbonatischen Fläche in Tuttlingen ist die Variabilität der pH-Werte wesentlich höher. Die Düngung/Kalkung ist insbesondere an der Zunahme der Variabilität der pH-Werte und der Magnesiumsättigung erkennbar. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die absoluten Abweichungen vom Mittelwert auf den behandelten Flächen natürlich wesentlich größer sind. Eine tiefenstufenabhängige Zunahme oder Abnahme ist bei den Variationskoeffizienten nicht ausgeprägt.

Ein Einfluss des Substrates auf die Variabilität ist nicht nachweisbar. In den einzelnen Substratklassen treten sehr unterschiedliche Variationsverhältnisse auf. Die Variabilität der bodenchemischen Kenngrößen ist auf der Buntsandsteinfläche Rotenfels im Nordschwarzwald sehr ausgeprägt, die ebenfalls aus Buntsandsteinverwitterung hervorgegangene Fläche Walldürn im Odenwald weist dagegen die geringste Variabilität für nahezu alle untersuchten Parameter auf. Auch der Einfluss der Düngung bzw. Kalkung wirkt sich auf den Flächen Heidelberg bzw. Ochsenhausen nicht gleichgerichtet dämpfend oder verstärkend auf die Variabilität aus.

Neben den 256 theoretischen Variogrammen auf den Level II – Flächen und den zu diesen assoziierten behandelten Flächen waren weitere 29 Parametrisierungen auf den Versuchsflächen im Conventwald möglich. In 97 von 285 Fällen war eine Variogrammanpassung der Güte 1 bzw. 2 möglich, in 2/3 der Fälle wurden keine kleinräumigen Nachbarschaftseffekte nachgewiesen. Insgesamt wurden nur 23 % aller theoretischen Modelle nach Güte 1 klassifiziert. Dies ist umso erstaunlicher, da die Güteanforderungen hinsichtlich der Bestimmtheit mit Grenzwerten von 10 % bzw. 30 % nicht sehr restriktiv formuliert waren.

Obwohl sich die Variabilität der bodenchemischen Kenngrößen in 0 bis 5 cm Bodentiefe nicht wesentlich von der darunter liegenden Tiefenstufe unterscheidet, gelingt in dieser Tiefenstufe für die untersuchten Parameter durchschnittlich nur auf 3 der 11 bzw. 12 Flächen eine Anpassung der Güteklasse 1 oder 2. In der Tiefenstufe 5 bis 10 cm steigt der Anteil angepasster Modelle der Güte 1 und 2 deutlich an. Der Nachweis von Nachbarschaftseffekten gelingt für die Basensättigung und die basischen Neutralkationen weniger häufig als für die weiteren Parameter. Für keinen

Parameter konnten ausgeprägte Nachbarschaftseffekte auf allen bzw. dem überwiegenden Teil der untersuchten Flächen nachgewiesen werden.

Werden die Untersuchungsflächen und die Ergebnisse der theoretischen Variogrammanpassungen nach Depositionsintensitäten bzw. Behandlungseinfluss gruppiert, zeigt sich, dass auf Flächen mit geringer bzw. mittlerer Depositionsintensität die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Variogrammanpassung zunimmt. Die gekalkte Fläche in Ochsenhausen weist im Vergleich zur dortigen Referenz deutliche Nachbarschaftseffekte in beiden Tiefenstufen auf, in Heidelberg ist dieser Effekt nur in 5 bis 10 cm nachzuweisen. Auf Flächen mit hoher Deposition verlieren sich die Nachbarschaftseffekte vermutlich aufgrund der bodenchemischen Nivellierung, die Kalkung scheint dieser Entwicklung eher entgegen zu wirken. Die ge-ringere Erkennbarkeit dieses Effektes in Heidelberg kann vermutlich auf den länger zurück-liegenden Düngungs- bzw. Kalkungsmaßnahmen zurückgeführt werden.

Der mittlere Anteil der Nuggetvarianz am Sill liegt für die Modelle der Güte 1 und 2 bei 43 %. Dieser Anteil zeigt neben dem geringen Anteil an Variogrammodellen der Güte 1 und 2, dass insgesamt der nicht durch räumliche Nachbarschaftseffekte erklärbare Varianzanteil hoch ist. Mit der Tiefe nimmt der Nuggetvarianzanteil sogar noch zu. Die mittleren Autokorrelationslängen liegen auf den Level II – Flächen bei 7.4 m in 0 bis 5 cm bzw. 9.8 m in 5 bis 10 cm. Nur für die Kaliumsättigung lagen die Ranges deutlich über den Durchschnittswerten für diese beiden Tiefenstufen. Für die Proben aus der Ökosystemfallstudie Conventwald konnten Autokorrelationslängen in der Größenordnung bestätigt werden.

Ein Range mit mittleren Werten von 7 bzw. 10 m deutet auf eine deterministische Ursache der Autokorrelation im Nahbereich hin. Eventuell spiegelt sich hierin das räumliche Muster des Kronendachs wider. Mittels nichtparametrischer Tests konnte der Einfluss von Baumabständen, Überschirmungsprozenten und auch Kronensituationszuordnung (Kern bzw. Lücken der Conventwaldstudie) aufgezeigt werden. Aufgrund der niedrigen Wiederholungszahlen in den Straten war es anhand des vorliegenden Datenmaterials jedoch nicht möglich, diese Hypothese im Zuge der Variogrammanalyse zu verifizieren.

Die Prüfung der räumlichen Autokorrelation mittels des Moran-Tests erbrachte keine Hinweise auf die Ausprägung und die Güteklassifikation des theoretischen Variogramms. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in die Nachbarschaftsmatrix des Moran-Test nur die Punktpaare der ersten beiden Abstandsklassen einbezogen wurden. Diese haben zwar einen bedeutenden Einfluss auf den Variogrammverlauf, sie sind jedoch nicht oder nur eingeschränkt zur Vorhersage der Bestimmtheit des Gesamtmodells geeignet.

Die Korrelationsuntersuchungen zwischen den Kohlenstoffgehalten und den weiteren bodenchemischen Kenngrößen erbrachten für alle betrachteten Parameter positive Koeffizienten. Der engste Zusammenhang war dabei erwartungsgemäß zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt gegeben, aber auch die Austauschkapazität war eng mit dem C-Gehalt verknüpft. Von den basischen Neutralkationen zeigte die Magnesiumsättigung die engste Bindung an den Kohlenstoffgehalt. Erstaunlicherweise ist die Calciumsättigung und auch die Basensättigung als summarischer Parameter weniger stark mit dem Kohlenstoffgehalt korreliert. In 5 bis 10 cm zeigte sogar die Aluminiumsättigung eine engere Bindung an den Kohlenstoffgehalt als die Basensättigung.

Der offensichtlich geringe Anteil klar identifizierbarer Nachbarschaftsbeziehungen an der Gesamtvarianz bodenchemischer Zustandsgrößen lässt eine Flächencharakterisierung anhand der BZE-Daten als wenig aussichtsreich erscheinen. Die Variabilität kann nur massen-statistisch erfasst werden und muss am Probepunkt minimiert werden.

LWF / Zebris

Am Datensatz von 33 bayerischen BDF wurde geprüft, inwieweit die unterschiedlichen Bodenparameter der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) standortstypische Variationseigenschaften

besitzen. Daneben wurde die Frage untersucht, ob angesichts der hohen räumlichen Variabilität ein Nachweis zeitlicher Veränderungen im Rahmen der BZE I und BZE II Wiederholungsinventuren zu erwarten ist. Der Parameterumfang umfasst Corg und Ngesamt -Gehalte sowie -Vorräte und das C/N-Verhältnis. Weiter wurden der pH-Wert, die Ake und die Basensättigung sowie der Grobbo-denteil einbezogen. Für alle Parameter wurden aus den 18 Einzelproben je Fläche geostatistische Kennwerte berechnet und diese in einer standortübergreifenden Metaanalyse auf Gesetzmäßig-keiten hin untersucht. Insgesamt wurden in die geostatistische Analyse je Boden-Parameter 3780 Datensätze in 210 Straten (Fläche x Horizonte) analysiert. Unter den BZE-Parametern zeigt der pH (Salzextrakt) im humosen Oberboden die größte räumliche Abhängigkeit. Das C/N-Verhältnis, die BS und die Ake (Humus) unterliegen ebenfalls häufig einer räumlichen Abhängigkeit. Die nach Humusform, Standortstyp und Tiefengradient der Basensättigung stratifizierten Standortskollektive wiesen keine deutlichen Unterschiede in den räumlichen Korrelationen auf. Eine Abhängigkeit der räumlichen Variation von der Profiltiefe konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Bei man-chen Bodenparametern deutete sich aber eine Verringerung der Gesamtstreuung bei zunehmenden Tongehalten an. Die verschiedenen Bodenparameter wiesen zudem ein deutlich unterschiedliches Variationsniveau auf. Der Stichprobenfehler von Mischproben-Mittelwerte der BZE konnte daher aus der mittleren Varianz von BDF-Parametern abgeschätzt und eine Rangfolge gebildet werden. Zudem konnten zur Abschätzung der Nachweischance bei der Wiederholungsbeprobung kritische Differenzen abgeleitet werden. Gemessen an der Streuung und der räumlicher Abhängigkeit sinken die Chancen für den Nachweis von Bodenveränderungen in der Reihe pH (1), C/N-Verhältnis (2), C+N-Gehalte (3a), BS und Ake (3b), Vorräte (4).

Die Unsicherheitsabschätzung anhand der BDF Daten findet Eingang in das Fehlerbudget der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) und dient dazu die Chancen zu bestimmen mit denen etwaige Bodenveränderungen nachgewiesen werden können.

Der Einfluss verschiedener Probenahmevarianten auf die Stichprobenvarianz wurde anhand si-mulierter 2D Zufallsfelder untersucht. Die Simulationsvarianten wurden in einem ersten Schritt auf der Basis von Literaturangaben erstellt. Die finalen Simulationsvarianten wurden unter Ein-beziehung der Ergebnisse der geostatistischen Analysen im Rahmen von TP 2-4 erstellt. Es wur-den Modellböden mit typischen geostatistischen Eigenschaften mit normalverteilter und log- nor-malverteilter Grundgesamtheit erzeugt. Hierbei wurden insgesamt 9 Grundtypen verwendet (3 Rauschen/Signal-verhältnisse x 3 Korrelationslängen). Die Resultate der geostatistischen Analy-sen wiesen den Ergebnissen der mittleren Simulationsvariante mit mittlerem Rauschen (=Nugget = 50 %) und mittlerer Korrelationslänge (=Range = 6 m) ein zentrale Bedeutung zu. Die geosta-tistische Analyse ergab auch, dass in vielen Fällen keine räumliche Autokorrelation angenommen werden kann. Der Variante mit reiner Zufallsverteilung (100 % Nugget) kommt daher ebenfalls eine große Bedeutung zu. Durch die 100-fache Permutation der Modellböden werden systemati-sche Verzerrungen der Ergebnisse einzelner Felder ausgeglichen. Deshalb kann man die Varianz als Maß für den Effekt der Probenanordnung heranziehen. Der Varianzexpansionsfaktor (VEF) wurde aus dem Verhältnis der Varianz der Beprobungsvarianten zur Referenz (Zufallsprobenahme mit gleicher Stichprobengröße) als Eingangsgröße für das Fehlerbudget berechnet. Die kreisförmige Probenanordnung (K9) war nicht mit Varianzerhöhung verbunden. Die Variante S8 ohne Zentral-punkt ist nur mit einer marginalen Einbusse der Unsicherheit verbunden. Bei den Varianten Z9 (9 Proben aus dem Profil) und Z1 (1 Profilprobe) erhöht sich die Varianz hingegen um den Faktor 3-4 bzw. 6-9. Gutachterliche Vorauswahl bzw. Ausschluss von Störungen führen theoretisch zu einer deutlichen Erhöhung der Präzision. In der Praxis sind sie aber nur von Vorteil, wenn klar definierte und für den Probennehmer sichtbare Mikrosites (hot spots) von der Mittelwertschätzung ausgeschlossen werden sollen. Aus den Ergebnissen der Fehlersimulation wurden Empfehlungen für die BZE abgeleitet.

Uni Hamburg

Die Fragen des Vermerkes des Referates 533 des BMVEL (533-7673-1/4) vom 30.07.2004 wurden im Kapitel 2 aufgenommen und sowohl aus inventur-theoretischer Sicht als auch auf Basis der Antworten zu den beiden entwickelten Fragebögen beantwortet. So kann festgehalten werden, dass die Problematik der Netzverschiebungen und Festlegung des Stichprobenmittelpunktes vom stichproben-theoretischen Standpunkt als irrelevant erachtet wird, solange das systematische Netz keinen Formationen im Gelände, wie. z.B. Bergrücken und Flußtäler folgt, so dass diese natürliche Einheiten in der Stichprobe über- und andere dagegen unterrepräsentiert wären.

Solange verschiedene Netzverdichtungen z.B. zwischen den Bundesländern räumlich getrennt sind, sollte zur Hochrechnung auf die Flächengewichtung der Verdichtungsgebiete ähnlich wie bei der BWI zurückgegriffen werden. Die Flächenwichtung führt zu einem geringeren Fehler, da die Flächen der Bundesländer bekannt sind und fehlerfrei erhoben wurden. Punktgewichte sind dagegen Schätzungen auf Basis einer Stichprobe. Überlagern sich jedoch verschiedene Netzdichten (Tab. 1.1) innerhalb eines Bundeslandes so ist auf die Punktgewichtung zurückzugreifen. Die Methode der Einzelpunktwichtung bietet den Vorteil, dass die sogenannten „übergeordneten“ Straten auch über die Landesgrenzen hinweg gebildet werden können. Dies ist für Auswertungen in statistischen Tests von Relevanz, bei denen die „Aussagekraft“ über eine Steigerung des Stichprobenumfang erhöht werden kann.

Die zusätzliche Varianzkomponente „Probennahmedesign auf der Probefläche“ ist für die Hochrechnung und Schätzung von Zustand und Veränderung auf Waldstratenebene relevant. Veränderungen über die Zeit sind bei entsprechend hoher Zahl Einzelproben zur Mischprobenbildung auf Plotebene früher statistisch signifikant detektierbar. Die Relevanz dieser zusätzlichen Varianzkomponente nimmt jedoch mit zunehmenden Nichtwaldanteil und steigender Stichprobenzahl ab. Für den Hochrechnungsprozess an sich, ist dieser Fehler jedoch unbedeutend, da er Bestandteil des Stichprobenfehler ist. Hier muss keine Trennung in „methodische“ Straten erfolgen, da innerhalb der Straten in Abhängigkeit des Probennahmedesigns lediglich die Varianz variiert. Hieraus sind keine Verzerrungen zwischen den Bundesländern zu erwarten. Sollten dagegen statistische Tests erfolgen, bei denen Varianzgleichheit gefordert ist, sollte auf eine Trennung in „methodische“ Straten, getrennt nach dem Aufnahmedesign auf der Probefläche, geachtet werden.

Veränderte Laborverfahren zwischen BZE I und II führen zu erheblichen Differenzen zwischen beiden Inventurzeitpunkten, die jedoch zu einem Großteil auf veränderte Methoden und Analysen zurückzuführen sind und nicht auf tatsächliche Änderungen. So konnte stellvertretend für andere Änderungen von Laborverfahren die Differenz zwischen dem deutschen und dem europäischen Verfahren zur Bestimmung der AKe berechnet werden. Diese betrugen bis zu 95 % – im Mittel bis zu 28 %. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen beiden Verfahren nahe 0, so dass keine gerichtete Überschätzung oder Unterschätzung des einen oder des anderen Verfahrens vorliegt.

Folgende Empfehlungen für die Stratifizierung können gegeben werden:

1. Natürliche Straten

- Wald / Nichtwald
- anstehendes Gestein
- Substrattypen
- Humusformen
- Bodenformen u.a.

2. Poststraten

- die betrachtete Zielgröße an sich
- C/N-Verhältnis

- C/P-Verhältnis
- Pufferbereiche
- Sensitivitätsklassen nach RIEK (1999)

3. Methodische Straten

- Ermittlung des Grobbodenanteils und der Trockenraumdichte
- Ermittlung des Humusanteiles im Mineralboden
- Wenn nur Flächen mit bestimmten Merkmalsausprägungen (Bestockungstypen, Standortstypen) erhoben wurden
- Grünanteilentfernung bei Humusproben

Die auf Grund des Inventurdesigns der BZE statistisch zulässigen Zustand- als auch Veränderungsschätzer sind in den Kapiteln 2 und 3 beschrieben. Für die Auswertung ist unbedingt auf die Beachtung der Wald- und Nichtwaldverteilung und damit auch der Erfassung aller Wald und Nichtwaldpunkte zu achten. Werden die Nichtwaldpunkte des BZE-Netzes nicht erfasst und damit die Wald/Nichtwaldverteilung nicht berücksichtigt, werden sowohl die Varianzen der Totalvorräte als auch der flächenbezogenen Vorräte teilweise dramatisch unterschätzt. Hintergrund ist die zunächst getrennte Betrachtung zweier unabhängiger, innerhalb eines Vertrauensintervalls geschätzter Zielgrößen. Ist die Lage der Waldpunkte bekannt kann hier die Aufnahme und die Analyse erfolgen. Ist dagegen über die Verteilung und über die Fläche des Holzbodens ohne Beachtung der Nichtholzboden und der Nichtwaldpunkte nichts bekannt, kann der Fehler der Holzbodenfläche nicht geschätzt werden.

Innerhalb des Projektes war es nur möglich die Fehlerquellen „Stichprobenfehler“, „Probennahmedesign auf der Probefläche“, „Fehler innerhalb eines Labores“, „Fehler zwischen den Laboren“ und „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ zu quantifizieren. Für weitere Fehlerquellen stand kein Datenmaterial zur Verfügung. Der Stichprobenfehler ergibt sich aus der Varianz der Zielgröße im Inventurgebiet und der Anzahl Stichproben die gezogen wurden und stellt eine Standardgröße im Bereich der Inventuren dar. Senken lässt sich der Stichprobenfehler durch die Anwendung geeigneter Stratifizierungsverfahren und durch die Steigerung des Stichprobenumfanges.

Bestandteil des Stichprobenfehlers ist die zusätzliche Varianzkomponente „Probennahmedesign auf der Probefläche“. Sie ist in dem Sinne kein Fehler, sondern wird durch die Anzahl Proben zur Mischprobenbildung und der räumlichen Autokorrelation der Parameter auf der Probefläche beeinflusst. Diese zusätzliche Varianzkomponente kann ohne räumliche Autokorrelation der Parameter auf der Probefläche in Relation zum K9-Verfahren (8 Satelliten + Zentralprofil) neun mal höher sein, wenn nur eine Probe am Zentralprofil auf der Fläche gezogen wird. Wäre es Konsens sich auf ein einheitliches Probennahmedesign mit 8 oder 9 Proben zur Mischprobenbildung zu einigen, ist eine Senkung des Stichprobenvarianz um bis zu 40 % und damit des Stichprobenfehlers bei der Zustandserfassung um bis zu 3 % in den Straten möglich, in denen bisher nur das Zentralprofil beprobt wird.

Auf Grund der Tatsache, dass sich die Differenzen zwischen den Laboren systematisch an Hand einer Funktion mit einem Bestimmtheitsmaß nahe 1 erklären lassen, kann sich dieser Fehler labor-weise aus den Einzeldaten „herausrechnen“ lassen. Sollte sich dieser Sachverhalt – extrahiert aus den Ringversuchsdaten 2005 und 2007 – in weitergehenden Untersuchungen beweisen, spielt der „Fehler zwischen den Laboren“ am Gesamtfehlerbudget eine untergeordnete Rolle. Dagegen sind die „Fehler innerhalb eines Labores“ und „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ neben dem Stichprobenfehler bedeutend für das Fehlerbudget. Die „Fehler durch veränderte Analyseverfahren“ lassen sich durch konsistente Analysemethoden über mehrere Inventurzeitpunkte hinweg vermeiden, solange keine neuen Verfahren zur Verfügung stehen, die ökonomisch oder technisch effizienter sind. Lassen sich die „Fehler innerhalb eines Labores“ z.B. halbieren, wären Senkungen des Root Mean Square Errors in Abhängigkeit der Zielgröße bis hin zu 50 % möglich.

9.2 Mögliche Ergänzungsuntersuchungen

Nach Beendigung des Projektes und auf Basis der erzielten Ergebnisse gilt es einen Ausblick auf Sachverhalte zu geben, für die in Zukunft weiterer Forschungsbedarf besteht.

Innerhalb dieses Projektes wurden Methoden zur Fehlerbudgetierung der BZE-Daten entwickelt, die sich einfach in die Praxis und zur Auswertung der BZE implementieren lassen. Die Datenbasis stellten die BZE-Ringversuche der Jahre 2005 und 2007 dar, sowie die Angaben zu Mittelwerten und Standardabweichungen der bayerischen BDF und der Freiburger Untersuchungsflächen. Die Ringversuchsdaten beruhen auf der Analyse sehr weniger Bodenproben, deren Wertebereich zum einen sehr eng ist, so dass die entwickelten Regressionen extrapoliert werden mussten. Zum anderen sind zwischen den Proben oft größere „Lücken“ im Wertebereich lokalisiert. Die bayerischen BDF, als auch die Freiburger Flächendaten haben auf einem engen geographischen Raum Gültigkeit. Eine Aussage zum gesamten Standortsspektrum Deutschlands ist mit ihnen nicht realisierbar. Des weiteren können potentielle Fehlerquellen drastisch reduziert werden, wenn das Datenmaterial zur Fehlerbudgetierung aus den zu analysierenden Daten selbst stammt. Aus diesem Grund werden folgende Vorschläge zu einer präziseren Gesamtfehlerquantifizierung unterbreitet:

- Es sollten weitere Ringanalysen mit größerem Datenumfang und weiterem Wertebereich für die Ableitung potentieller Messvariabilitäten pro Messwert im und zwischen den an der Analyse der BZE beteiligten Laboren durchgeführt werden.
- Zumindest an einer Unterstichprobe sollte die Beprobung von Probeflächen ohne Mischprobenbildung für die Erfassung der Mikrovariabilität erfolgen, um:
 1. diese getrennt nach natürlichen Einheiten zu erfassen, da somit Unterschiede bzw. Abhängigkeiten in der Mikrovariabilität abgeleitet werden könnten.
 2. den Einfluss der Beachtung oder Nichtbeachtung von Störungen nicht nur theoretisch quantifizieren zu können.
 3. Ursachen für die räumlichen Korrelationsmuster bei den BZE-Bodenkennwerten herausarbeiten zu können.
 4. Unterschiede im Auftreten (Häufigkeiten) von räumlichen Korrelationsmustern zwischen unterschiedlichen Naturräumen aufdecken zu können.
 5. abschätzen zu können, inwieweit räumliche Korrelationsmuster bei gleichen Standortbedingungen übereinstimmen.

Letztere Frage wurde z.B. anhand der BDF-Daten untersucht. Eine abschließende Klärung war angesichts der begrenzten Datenlage jedoch nicht möglich. Aus den Ergebnissen heraus ist zur weitergehenden Untersuchung und Erfassung der Mikrovariabilität ein genesteter Ansatz zu empfehlen.

Die detaillierte Analyse der Bodenheterogenität auf Bestandesebene erfolgte anhand der Untersuchungen im nordost-deutschen Tiefland nur an drei Hauptbaumarten mit jeweils zwei Natürlichkeitsvarianten. Durch die hohe Aufnahmeintensität konnten für die Einzelbestände Variogramme in sehr hoher Güte für nahezu alle untersuchten Parameter berechnet werden. Die Untersuchungsmethode sollte bei optimiertem Probenahmedesign (Stichprobenzahl, Probenabstände) auf weitere Untersuchungsbestände ausgedehnt werden, um Art und Ursachen veränderter Muster besser zu verstehen (Substrat, Klima, Baumart) und Erwartungswerte für verschiedene Ökosysteme Substrate und Nutzungen zu definieren.

Unbekannt ist, inwieweit die Horizontierung Einfluss auf die Unterschiede in den Variabilitäten und Mustern zwischen den Tiefenstufen hat bzw. wie vertikale Diskontinuitäten der Autokorrelationslänge ein und desselben Parameters zu interpretieren sind.

Es sind weiterhin die Fragen zu klären, welche Rolle die Maßstabsveränderung (Probenabstände im cm, dm, m, km-Bereich) auf der Probefläche und darüberhinaus auf die Ausbildung von Variogrammen und somit auf die räumlichen Korrelationslängen von Bodenparametern spielt? In den vorliegenden Ergebnissen spiegeln sich lediglich Auswertungen auf der dm- bzw. m-Skala wieder. In wie weit kann hier die Weiterentwicklung der Variographie durch Einbeziehung von Gütekriterien eine Rolle spielen? Lässt sich dieser Ansatz standardisieren?

Zu der Frage der Beachtung oder Nichtbeachtung von Störungen sollte ein harmonisierte Ansatz gewählt werden, bei dem zu klären ist: Gehören Störungen zur interessierenden Grundgesamtheit oder nicht? Was sind Störungen? Lassen sich gestörte Proben für die Auswertung so markieren, dass eine getrennte, aber auch eine synoptische Auswertung möglich ist?

Lässt sich der in Abschnitt 8.2.2, Seite 213 diskutierte Probennahmefehler bedingt durch die unterschiedliche Interpretation der Profile oder Bohrungen durch verschiedene Probennehmer verringern? Kann dies durch einen „Justierungskurs“ der Probennehmer in Anlehnung an die Interpretation des Kronenzustandes erzielt werden?

Kapitel 10

Technische Umsetzung

Thomas Riedel, Karl Heinz Mellert, Falko Hornschuch, Jürgen Schäffer

10.1 Universität Hamburg

10.1.1 AP 0 Projektkoordination

Im Rahmen der Projektkoordination wurden folgende Aufgaben realisiert:

1. Organisation des Kick-off und des Abschluß-Meetings
2. Bereitstellung eines ftp-Datenservers zum Datenaustausch
3. Erstellung einer projektbezogenen web-page: www.sdb.worldforestry.de
4. Anfrage an Experten bezüglich des Vorhandenseins von projektrelevanten Daten, speziell geostatistisch verwertbarer Daten
5. Ständige Berichterstattung über den Verlauf und die Ergebnisse des Projektes auf den B/L-AG Sitzungen zur BZE während der Projektlaufzeit sowie auf dem Auswerte-Workshop zur BZE nach Beendigung des Projektes
6. Zusammenführung der Arbeitsberichte zum Zwischenbericht
7. Zusammenführung der Berichtsteile zum hiermit vorliegenden Endbericht

10.1.2 AP 4 Datenakquisition

Für die geostatistischen Untersuchungen im Bezug auf die kleinräumige Variabilität der Bodenparameter wurden folgende Daten und Literaturen akquiriert:

1. Analyseergebnisse von hessischen Versuchsflächen. Probennahme aller 10 m. Parameter: TRD, AKe (verschiedene Elemente), C und N, getrennt nach Humusschichten und Mineralbodentiefenstufen.
2. BDF-Daten vom Landesumweltamt in NRW. Verschiedenste Bodenelemente und -parameter getrennt nach Humusschichten und Mineralboden-Tiefenstufen

3. Literatur:

- **Schönig et al (2006):** Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol
- **Deurer, M. (2000):** The dynamics of water and solute flow in the unsaturated zone of a coniferous forest: measurement and numerical simulation. - Horizonte (Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde), Bd. 2; Institut für Bodenkunde der Universität Hannover.
- **Teichert, A. (2001):** Raum-Zeit-Strukturen von Messgrößen des Stoffhaushalts eines grundwassernahen sauren Sandbodens unter Kiefernwald. - Horizonte (Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde), Bd. 5; Institut für Bodenkunde der Universität Hannover.
- **Trenka (2006, Diplomarbeit):** Untersuchungen zur standörtlichen Variabilität des Schwermetallbindungsvermögens vor dem Hintergrund der Sickerwasserprognose nach BBodSchV - eine Fallstudie unter Wald -

Die Plot-Daten der BZE I wurden als Datengrundlage der AP (1), (2), (7) und (8) beim BMELV durch das Schreiben der UHH vom 02.03.2006 beantragt. Die Nutzung wurde vom BMELV am 05.05.2006 genehmigt und durch das Institut für Waldökologie und Waldinventuren, der BFH in Eberswalde zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich wurden zu Zwecken einer Repräsentationsuntersuchung für das Arbeitspaket (2) bzw. (7) die für Sachsen existierenden BZE-Punktkoordinaten des 4 x 4 km-Netzes mit der Wald/Nichtwald-Information beschafft.

Die Daten der im Vorfeld der BZE II durchgeführten Labor-Ringversuche zur fehlerstatistischen Auswertung im AP8 wurden von Herrn Blum, LWF in Freising, Mitglied des GAFA bereitgestellt.

10.1.3 Vergleich Projektziele vs. realisierte Ergebnisse

Übergeordnetes Ziel des Projektteiles 05HS021/1, an der Universität Hamburg war es eine Methode zur Erstellung eines Gesamtfehlerbudgets für die Auswertung der BZE zu entwickeln. Hierzu war im Vorfeld in den Arbeitspaketen 2 und 3 die Klärung bestimmter inventur-theoretischer und stichproben-theoretischer Fragestellungen zu klären. Daraus abgeleitet konnten statistisch zulässige Schätzalgorithmen sowohl für die Erfassung des Zustandes als auch zur Schätzung der Veränderung präsentiert werden (Kapitel 2 und 3). Vorschläge zur Stratifizierung hinsichtlich einer möglichen Varianzreduzierung aber auch auf Basis relevanter inventur-technischer Gesichtspunkte wurden im Kapitel 2 gegeben. Die hierfür entwickelten Fragebögen und deren Auswertungen wurden dem Institut für Waldökologie und Waldinventuren, des vTI in Eberswalde bereits zur Verfügung gestellt.

Auf Basis der Ergebnisse der Kapitel 2 und 3 und den geostatistischen Analysen der Kapitel 4 bis 6 sowie den Simulationen zum Probennahmedesign des Kapitels 7 konnten Methoden zur Fehlerschätzung zu den Fehlerquellen Probennahmedesign auf der Probefläche, Fehler innerhalb eines Labores, Fehler zwischen den Laboren sowie dem Fehler, bedingt durch unterschiedliche Aufschlussverfahren entwickelt werden. Weitere im Kapitel 8 beschriebene Fehlerquellen konnten auf Grund nicht existierenden Datenmaterials nicht quantifiziert werden. Hierzu besteht, wie in Abschnitt 9.2 beschrieben weiterer Forschungsbedarf. Von diesem Umstand – welcher vom Projektnehmer nicht zu verantworten ist – abgesehen, wurden somit alle Projektziele vollständig realisiert.

10.1.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Kapitel 2 und 3 lassen sich direkt in die Auswertung, speziell in die Hochrechnung der BZE integrieren. Die Methoden der Fehlerbudgetierung wurden entwickelt und könne ebenso in die Auswertung der BZE übernommen werden. Hier ist jedoch zu prüfen, ob im Laufe der Zeit bessere Datensätze verfügbar sind, wie z.B. Ringversuche auf einer erweiterten Datenbasis, Einzelprobennahme auf den BZE-Probeflächen ohne Mischbildung, die Ergebnisse aus dem europäischen *BioSoil*-Projekt etc.

10.2 Fachhochschule Eberswalde

10.2.1 Zielstellung

Im Teilprojekt 2 sollte die kleinräumige Variabilität BZE-relevanter Parameter abgeschätzt werden. Dazu konnte auf Untersuchungsflächen und bereits vorhandene Bodenproben zurückgegriffen werden, die im Zusammenhang mit dem DFG-Projekt „Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe“ (FKZ: RI 1219/1-1, Laufzeit 1.5.2004-30.4.2006, (HORNSCHUCH und RIEK, 2006a)) eingerichtet bzw. gezogen wurden. Für die Untersuchungsflächen lagen zu Projektbeginn Strukturparameter von Baumbestand und Bodenvegetation vor, für die Bodenproben Analysedaten zur Horizontmächtigkeit, dem pH-Wert und dem Glühverlust. Weitere Kennwerte (effektive Kationenaustauschkapazität, Basensättigung, C, N, TRD) sollten im Rahmen des Projektes analytisch bestimmt und hinsichtlich ihrer kleinräumigen Variabilität ausgewertet werden.

Mittels dekritiver Statistik sollten Streumaße, die durch die räumliche Bodenheterogenität bedingt sind, ermittelt und dargestellt werden. Mittels geostatistischer Verfahren (Variografie) waren räumliche Muster aufzuklären und das Maß der räumlichen Autokorrelation benachbarter Proben aufzuzeigen (range, sill, nugget-Varianz).

Unter Einbeziehung von Vegetations- und Bestandesdaten sowie der Waldgeschichte war zu diskutieren, welche Prozesse zu einer spezifischen Ausprägung der Bodenvariabilität führen. Um die wesentlichen Einflussfaktoren der Bodenvariabilität zu analysieren, sollten weitere Parameter erhoben werden. Die Analyse der Variationsursachen sollten für BZE-Punkte mit bekannten Standorts- und Bestandesbedingungen grobe Aussagen zur erwarteten Bodenvariabilität ermöglichen.

10.2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Bodeneigenschaften unterliegen der räumlichen und zeitlichen Variabilität. Die Untersuchungen des Teilprojektes konzentrierten sich auf die räumliche Komponente. Durch die Ergebnisse kann das Maß der kleinräumigen Bodenheterogenität für relativ homogene Sandböden auf der Skalenebene eines Bestandes (topische Ebene) abgeschätzt werden. Der Nutzen der Forschungsergebnisse besteht darin, dass optimierte Beprobungsdesigns abgeleitet und Abstände für die Mischprobenherstellung festgelegt werden können.

Tabelle 10.1: Gegenüberstellung der Projektziele und der Projektergebnisse

Projektziele	Projektergebnisse
- intensive Literaturstudie zum Themenkomplex „Kleinräumige Bodenvariabilität – Einsatz von Variogrammen zu ihrer Beschreibung“	- Sammlung und Auswertung von ca. 300 Quellen - Weiterleitung der Rechercheergebnisse (Quellenangaben, Artikel als pdf-Dokumente oder Fotokopien) an die LWF Freising, Herrn Mellert - Erarbeitung eines Review-Artikels für Waldökologie Online (eingereicht und in Begutachtung, s.u.)
- Analyse weiterer BZE-relevanter Kennwerte am vorliegenden Probenmaterial des DFG-Projektes RI1219/1-1	- Analyse der effektiven Kationenaustauschkapazität, austauschbaren Elemente Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, H, C, N; pH(CaCl ₂) an Proben der Beständen BW, EW, KN und KW (alle 221 Probepunkte, Tiefenstufen 0-5, 10-15 und 30-40 cm)
- Datenaufbereitung und -analyse mittels deskriptiver Statistik (Mittelwert, Median, Standardabweichung, VC, Streuung, Schiefe)	- Beschreibung der flächen-, parameter- und tiefenstufenbezogenen Variabilität erfolgte deskriptiv- und geo-statistisch
- Datenaufbereitung und -analyse mittels Geostatistik (Variogrammanalyse: Range, Sill, Nuggeteffekt)	- Zusammenführung der Ergebnisse in eine Synopse (Anordnung der Flächen nach ihren Mittelwerten bzw. Rängen der Variabilität)
- Ergebnisse sollen als Eingangsgrößen für Computersimulationen und Sensitivitätsanalysen dienen und Eingang in die Erstellung eines umfassenden Fehlerbudgets finden	- Streumaße und Variogramme (Range, Nuggeteffekt, Sill, standardisiert, nicht-standardisiert) wurden an die LWF Freising, Herrn Mellert geliefert
- Erhebung weiterer Bestandesdaten und ökologischer Kennwerte für die Ursachenanalyse der kleinräumigen Variabilität	- Untersuchung von Niederschlagsmessung (KN), akt. Oberbodenfeuchte (alle Bestände), Trockenrohdichte (alle Bestände), C-, N-Gehalt (BN, EN, KN), Kronenstrukturanalyse (EN, EW, KN, KW)
- Ursachenanalyse der kleinräumigen Variabilität	- eine Reihe von Interkorrelationen zwischen verschiedenen Parametern wurden erkannt und beschrieben - ökosystemspezifische Stammabstände und horizontale Wurzelausdehnungen sowie die Bewirtschaftungsintensität (Hemerobie) wurden als Ursachen kleinräumiger Bodenheterogenität determiniert - es wurde diskutiert, warum der Einfluss auf die einzelnen Parameter unterschiedlich ausfällt

10.2.3 Veröffentlichungen aus Ergebnissen des Teilprojektes (chronologisch)

HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2006): Kleinräumige Heterogenität der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit von Naturnähe und Waldtyp. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 109: 12-13.

HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2007): Einfluss der Bestandesstruktur auf Bodenvegetation, Durchwurzelung und Eigenschaften des Mineralbodens. Arch. f. Forstwes. u. Landsch.ökol. 41 (4): 152-161.

HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2007): Kennzeichnung „naturnaher Böden“ anhand der Bodenvariabilität und -heterogenität als Ausdruck ökosystemarer Selbstorganisation. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 110 (2): 687-688.

HORNSCHUCH, F., KRAKAU, U. und RIEK, W. (2007): Das Wurzelsystem der Kiefer - artspezifische Strategie und ökologische Anpassungen. In: MLUV BRANDENBURG: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE (Hrsg.): Die Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland - Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe XXXII. Potsdam, Eberswalde: 108-116.

HORNSCHUCH, F., RIEK, W. und ROLOFF, A. (2008): Die räumliche Struktur der Feinwurzelsysteme in Reinbeständen von Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.), Trauben-Eiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf grundwasserfernen Sandböden Brandenburg und Nordwest-Polen. Arch. f. Forstwes. u. Landsch.ökol. 42 (1): 26-40.

HORNSCHUCH, F. und RIEK, W.: Bodenheterogenität als Indikator von Naturnähe? - Literaturstudie und Untersuchungsergebnisse aus Buchen-, Eichen- und Kiefernbeständen in Brandenburg und Nordwest-Polen. Waldökologie Online, in Begutachtung

10.2.4 Im Rahmen des Teilprojektes betreute und abgeschlossene Diplomarbeiten (chronologisch)

SEIDENGLANZ, D. und BANDICK, C. (2006): Das Durchwurzelungsmuster in Reinbeständen von Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.). Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 77 S. + 45 S. Anlage, unveröff.

FISZKAL, U. (2007): Das Durchwurzelungsmuster in Reinbeständen der Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.) - Beziehungen zur oberirdischen Bestandesstruktur und bodenökologischen Kennwerten. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 58 S. + 53 S. Anlagen, unveröff.

HAMMER, S. und ZEH, A. (2007): Einfluss der Landnutzungsform und -intensität sowie Bodenchemie auf Vielfalt, Verteilung und räumliche Struktur der Regenwurmfauna (Lumbricidae) - Mit einem Vergleich der Habitatheterogenität zwischen Natur- und Wirtschaftswald von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*). Fachhochschule Eberswalde, Diplomarbeit, 140 S. + Anlagen, unveröff.

KOCH, T. (2007): Einfluss des Humusgehaltes auf die Bodendichte in Abhängigkeit von Hauptbaumart und Bestandesstruktur. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 67 S. + Anlagen, unveröff.

BÖHLICK, N. (2008): Vergleich von zwei verschiedenen Methoden zur Ermittlung der organischen Bodensubstanz bzw. des C-Gehalts sandiger Waldstandorte in Abhängigkeit von Bodentiefe, Hauptbaumart und Bestandesstruktur. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 62 S. + 27 S. Anhang, unveröff.

HINRICHS, M. (2008): Bodenkundliche Untersuchungen zur Genese des Mikroreliefs in einem Kiefern- und Kiefernwirtschaftswald. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, 39 S. + 29 S. Anhang, unveröff.

10.3 FVA Freiburg

Im Teilprojekt 3 des Hochschulvorhabens wurden folgende Aufgaben realisiert:

- Datenaufbereitung der aus Vorläufererhebungen vorliegenden Daten von den Level - II-Flächen in Baden-Württemberg und zwei unmittelbar benachbarten gedüngten/gekalkten Parzellen (Heidelberg und Ochsenhausen). Aufbereitung der Daten der Nelderversuche aus der Conventwaldstudie.
- Entwicklung einer Probenahmedesigns für die Folgebeprobung und flächenspezifische Festlegung der Probenahmepunkte.
- Beprobung von 40 zusätzlichen Probenahmepunkten in zwei Tiefenstufen auf den 10 Level-II-Versuchsflächen Baden-Württembergs und der gedüngten Parzelle in Heidelberg; Beprobung von 50 Punkten in zwei Tiefenstufen auf der gekalkten Fläche in Ochsenhausen. Insgesamt wurden 980 Proben im Gelände gewonnen und im Labor bearbeitet.
- Datenvorbereitung für deskriptive Statistik und Variographie
- Durchführung der massenstatistischen Auswertungen und Variogrammanalysen sowie Interpretation der Ergebnisse.
- Zusammenstellung der Ergebnisse der deskriptiven Statistik und Variographie für die Gesamtfehlerbudgetierung sowie der Eingangsdaten für die Generierung der Zufallsfelder.
- Erstellung des Endberichts

10.3.1 Vergleich Projektziele vs. realisierte Ziele

Ziel des Teilprojektes 3 war es, auf der Grundlage eines breiten Versuchsflächenkollektivs die Variabilität und kleinräumige Heterogenität von bodenchemischen Kenngrößen aufzuzeigen und eventuelle Einflussgrößen abzuleiten. In die Untersuchungen wurden die 10 Level II – Flächen Baden-Württembergs, zwei zu diesen unmittelbar benachbart liegende gedüngte/gekalkte Parzellen sowie die Nelderversuche aus dem Conventwald herangezogen. Die Nachbeprobungen und die Analysen wurden wie beantragt durchgeführt (insgesamt für 980 Proben). Die Ergebnisse der Erstbeprobung sowie der im Zuge des Projektes durchgeführten Nachbeprobung wurden mit massenstatistischen Verfahren und mittels Variographie bearbeitet. Anhand dieser Ergebnisse konnten für die Versuchsflächen Aussagen zu parameterspezifischen Variabilitäten sowie kleinräumigen Nachbarschaftseffekten abgeleitet werden. Diese Ergebnisse wurden den weiteren Teilprojekten für die Gesamtfehlerbudgetierung sowie für die Fundierung der Szenarien, die eine wesentliche Grundlage für die Generierung der Zufallsfelder waren, bereit gestellt.

Anhand der Versuchsflächendaten konnten Substrat- und Depositionseinflüsse sowie Effekte der Bodenschutzkalkung geprüft und Hinweise zur Wirkung dieser Einflussgrößen auf Variabilität und räumliche Heterogenität abgeleitet werden. Anhand der Autokorrelationslänge aus der Variographie sowie kronendichtestratifizierten paarweisen Tests konnten Hinweise zur Modifikation des Verteilungsmusters bodenchemischer Kenngrößen durch die Kronenstruktur abgeleitet werden. Selbst auf den intensiv nachbeprobten Level II – Flächen gelang es jedoch nicht, eine ausreichende Belegung von Lagklassen für stratenbezogene geostatistische Auswertungsansätze zu erreichen. Hierfür wäre ein stratifizierter Beprobungsansatz oder aber eine deutliche Erhöhung und Verdichtung der Probenzahl auf einzelnen Versuchsflächen zu Lasten der Flächenrepräsentativität erforderlich gewesen.

10.4 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Fa. Zebris

10.4.1 AP 3 Datenakquisition I (Literaturstudie und Bodendatenakquisition)

In der umfangreichen Literaturstudie wurde ermittelt für welche Bodenparameter entsprechende Variogrammfunktionen publiziert sind, inwieweit diese für das Projektziel tauglich sind und auf welchem Wege eine Weiterverarbeitung dieser Informationen stattfinden kann.

Anfragen zur Datenakquisition richteten sich an Länderforschungsanstalten, die WSL Birmensdorf und die Bundesanstalt Wien sowie weitere Institutionen. Zudem wurden Universitätsinstitute und Geowissenschaftler, die sich mit relevanten Fragestellungen befassen, kontaktiert.

Die akquirierte Literatur und Bodendaten wurden in eine Literatur- und eine Bodendatenbank aufgenommen. Die Federführung wurde hierbei vom TP4 übernommen.

Die Literaturdatenbank (Spezifikation siehe Anhang D) wurde in mehrfach aktualisierten Versionen auf dem Projektserver geladen und damit der Zugriff aller Partner gewährleistet. Die pdf-verfügbaren Arbeiten wurden zusammen mit der Datenbank auf dem Server bereit gestellt.

Die Plausibilitätsprüfung und Datenanpassung umfasste die Prüfung der Daten hinsichtlich Plausibilität und Relevanz für das Projekt sowie ggf. eine Homogenisierung und Adaption an die Erfordernisse der räumlichen Interpolation. Die Daten wurden hierbei so strukturiert, dass die Überführung in die Bodendatenbank des Projekts möglich war (siehe Anhang D). Die Bodendatenbank wurde in einem zweiten Schritt durch fehlende Geoinformationen ergänzt, um sie einer geostatistischen Analyse zugänglich zu machen.

10.4.2 AP 5 Geostatistische Analyse

Die aus den verschiedenen Informationsquellen gespeiste GIS-Datenbank wurde hinsichtlich Ihrer Eignung als Basis für die Fehlersimulation beurteilt. Geeignete Datensätze wurden mit Geostatistischen Verfahren, insbesondere der Variographie, untersucht. Die Fülle der Variogrammfunktionen wurde nach geostatistischen und standörtlichen Kriterien klassifiziert und hinsichtlich übergeordneter Gesetzmäßigkeiten untersucht (siehe Kapitel 6).

10.4.3 AP 6 Fehlersimulation

Auf der Basis der in AP3 und 4 ermittelten typischen räumlichen Bodeneigenschaften wurden Modellböden mit Hilfe eines Simulationsmodelles erstellt. Die Fehlersimulation wurde auf der Basis der dabei erstellten digitalen Karten durchgeführt. Die entwickelten Szenarien wurden mit Hilfe der Monte-Carlo-Prozedur abgearbeitet. Der Fehler der Mittelwertschätzung bei verschiedenen Probenahmevarianten wird durch Vergleich mit dem modellierten Flächenwert ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde eine Bewertung der Probenahmestrategien unter verschiedenen Bedingungen und Fehlerquellen präsentiert (siehe Kapitel 7).

10.4.4 Vergleich Projektziele vs. realisierte Ergebnisse

Im Teilprojekt 4 sollten die kleinräumliche Verteilung wichtiger, bei der BZE 2 erhobener Bodenparameter auf der Grundlage von ausgewählten Datensätzen mit hoher räumlicher Erfassungsdichte durch Einsatz geostatistischer Methoden interpoliert werden. Aufgrund der Vorzüge von Simulationsmodellen und den gegebenen Datenengpässen wurde die Auswirkung der kleinräumigen Va-

riabilität aber anhand von simulierten Zufallsfeldern untersucht. Es wurden Felder mit typischen räumlichen Eigenschaften von Bodenparametern generiert. Die zugrunde liegenden Charakteristika wurden aus der Literatur und projekteigenen Datenauswertungen abgeleitet. Mit Hilfe von Simulationsläufen wurden diverse Probenahme-Schemata getestet und hinsichtlich ihrer Präzision und Aussagekraft bewertet. Anhand des Varianzexpansionsfaktors (Verhältnis der Varianz der Beprobungsvarianten zur Referenz [Zufallsprobenahme mit gleicher Stichprobengröße]) konnten der Stichprobenfehler der Probenahmevarianten quantifiziert werden und Eingang in das Fehlerbudget finden. Aus den Ergebnissen der Fehlersimulation wurden Empfehlungen für die BZE abgeleitet.

Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, Band 5. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 Seiten.
- AGBU, P. und OLSON, K. (1990): Spatial Variability Of Soil Properties In Selected Illinois Mollisols. *Soil Science* **150**(5): 777–786.
- AKIN, H. und SIEMES, H. (1988): *Praktische Geostatistik - Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften*. Springer Verlag Berlin.
- ALLEN, T. und STARR, T. (1982): Hierarchy: perspectives for ecological diversity. *Technischer Bericht*, University of Chicago Press, Illinois (USA).
- ANDERS, S., BECK, W., BOLTE, A., HOFMANN, G., JENSSEN, M., KRAKAU, U. und MÜLLER, J. (2002): *Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands*. N. Kessel, Oberwinter.
- ANDERS, S., BECK, W., HORNSCHUH, F., MÜLLER, J. und STEINER, A. (2004): Vom Kiefernreinbestand zum Kiefern-Buchen-Mischbestand. *Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* **38**(2): 55–67.
- ANTOS, J., HALPERN, C., MILLER, R., CROMBACK, K. und HALAJ, M. (2003): Temporal and spatial changes in soil carbon and nitrogen after clearcutting and burning of an old-growth Douglas-fire forest. *Res. pap. pnw-rp-552*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. [Http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/rp552.pdf](http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/rp552.pdf).
- BAERT, G., VANMECHELEN, L. und VAN RANST, E. (1998): Critical Review of soil sampling methods in the ICP Forests Programme. In *8th Meeting of the Forest Soil Expert Panel, Brussels 25/26 June 1998*, Seiten 1–19. Appendix 4.
- BAIER, R. (2006): *Wurzelentwicklung, Ernährung, Mykorrhizierung und „positive Kleinstandorte“ der Fichtenverjüngung (Picea abies [L.] Karst.) auf Schutzwaldstandorten der Bayerischen Kaluppen*. Dissertation, Technische Universität München.
- BALDWIN, T. (2007): Muster der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Nitrat in Waldboden und deren Ursachen Abschlussbericht statistisches Consulting. *Technischer Bericht 54*, LMU München.
- BALL, D. und WILLIAMS, W. (1968): Variability Of Soil Chemical Properties In Two Uncultivated Brown Earths. *Journal Of Soil Science* **19**(2): 379–391.
- BECKET, P. und WEBSTER, R. (1971): Soil variability: a review. *Soils and fertilizers* **34**: 1–15.
- BENS, O., BUCZKO, U., SIEBER, S. und HUTTL, R. (2006): Spatial variability of O layer thickness and humus forms under different pine beech-forest transformation stages in NE Germany. *Journal Of Plant Nutrition And Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* **169**(1): 5–15.

- BLYTH, J. und MACLEOD, D. (1978): Significance Of Soil Variability For Forest Soil Studies In Northeast Scotland. *Journal Of Soil Science* **29**(3): 419–430.
- BÖHLICK, N. (2008): *Vergleich von zwei verschiedenen Methoden zur Ermittlung der organischen Bodensubstanz bzw. des C-Gehalts sandiger Waldstandorte in Abhängigkeit von Bodentiefe, Hauptbaumart und Bestandesstruktur*. Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde.
- BOLTE, A., RAHMANN, T., KUHR, M., POGODA, P., MURACH, D. und VON GADOW, K. (2004): Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant And Soil* **264**(1-2): 1–11.
- BOLTE, A., SCHRÖCK, H. und BLOCK, J. (2007): Pflanzenartenvielfalt der Wälder in Deutschland - Beitrag der forstlichen Umweltbeobachtung zu ihrer Erfassung und Bewertung. In BEGEMANN, F., SCHRÖDER, S., WENKEL, K. und WEIGEL, H. (Herausgeber), *Monitoring und Indikatoren der Agrobiodiversität. Tagungsband eines Symposiums am 7. und 8. November 2006 in Königswinter*, Bundesforschungsanstalt fuer Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg (Germany). Inst. fuer Waldoekologie und Waldinventuren, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn (Germany). Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt (IBV), Seiten 214–234.
- BÖTTCHER, J. und STREBEL, O. (1988a): Spatial Variability Of Groundwater Solute Concentrations At The Water-Table Under Arable Land And Coniferous Forest .3. Field Data For A Coniferous Forest And Statistical-Analysis. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* **151**(3): 197–203.
- BÖTTCHER, J. und STREBEL, O. (1988b): Spatial variability of groundwater solute concentrations at the water table under arable land and coniferous forest. Part 1: Methods for quantifying spatial variability (geostatistics, time series analyses, Fourier transform smoothing). *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **151**: 185–190.
- BÖTTCHER, J. und STREBEL, O. (1988c): Spatial variability of groundwater solute concentrations at the water table under arable land and coniferous forest. Part 2: Field data for arable land and statistical analysis. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **151**: 191–195.
- BRECHTEL, H. (1990): Quantifizierung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Niederschlagsdeposition im Freiland und in Waldbeständen. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* **67** : 113–121.
- BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE BZE (1990): *Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) Arbeitsanleitung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Neuartige Waldschäden, Postfach 140270, 5300 Bonn 1, 1 Auflage.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BONN (GERMANY). REFERAT 533 (2005): Zielsetzung und Konzeption der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 2) — Konzeptpapier, Stand: 11.02.2005. *Technischer Bericht*.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, BONN (GERMANY). REFERAT 533 (2006): Zielsetzung und Konzeption der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) — Kurzfassung —. *Technischer Bericht*.
- BURGESS, T. M. und WEBSTER, R. (1980): Optimal Interpolation And Isarithmic Mapping Of Soil Properties .1. The Semi-Variogram And Punctual Kriging. *Journal Of Soil Science* **31**(2): 315–331.
- BURROUGH, P. (1993): Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers* **56**: 529–562.

- CAMBARDELLA, C., MOORMAN, T., NOVAK, J., PARKIN, T., KARLEN, D., TURCO, R. und KONOPKA, A. (1994): Field-Scale Variability Of Soil Properties In Central Iowa Soils. *Soil Science Society Of America Journal* **58**(5): 1501–1511.
- CAMBELL, J. (1978): Spatial Variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **42**: 460–464.
- CARDILLE, J., TURNER, M., CLAYTON, M., GERGEL, S. und PRICE, S. (2005): METALAND: Characterizing spatial patterns and statistical context of landscape metrics. *Bioscience* **55**(11): 983–988.
- CHILÈS, J.-P. und DELFINER, P. (1999): *Geostatistics. Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley, New York.
- CHRISTENSEN, R. (1996): *Analysis of variance, desing and regression*. Chapman and Hall, London, 344 Seiten.
- CLEVELAND, W. S. (1979): Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *J. Amer. Statist. Assoc* **74**: 829–836.
- COCHRAN, W. G. (1977): *Sampling Techniques*. John Wiley & Sons, New York, 428p Seiten.
- CONANT, R., SMITH, G. und PAUSTIAN, K. (2003): Spatial variability of soil carbon in forested and cultivated sites: Implications for change detection. *Journal Of Environmental Quality* **32**(1): 278–286.
- CRESSIE, N. und HAWKINS, D. (1980): Robust Estimation Of The Variogram. *Journal Of The International Association For Mathematical Geology* **12**(2): 115–125.
- DAHIYA, I., ANLAUF, R., KERSEBAUM, K. und RICHTER, J. (1985): Spatial Variability Of Some Nutrient Constituents Of An Alfisol From Loess .2. Geostatistical Analysis. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde* **148**(3): 268–277.
- DAHIYA, I., RICHTER, J. und MALIK, R. (1984): Soil spatial variability: a review. *International Journal of Tropical Agriculture* **2**: 1–102.
- DEURER, M. (2000): The dynamics of water and solute flow in the unsaturated zone of a coniferous forest measurement and numerical simulation. *Technischer Bericht*, Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde 2.
- DEVRIES, W., REINDS, G., VAN KERKVOORDE, M., HENDRIKS, C., LEETERS, E., GROSS, C., VOOGD, J. und VEL, E. (2000): Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. *Technischer Bericht*, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva.
- DREYHAUPT, J. (2002): *Die Bedeutung der Heterogenität von Boden, Klima und Landnutzung für die Regionalisierung von Modellzustandsgrößen*. Dissertation, Universität Bayreuth.
- DRÖSSLER, L. (2006): *Struktur und Dynamik von zwei Buchenurwäldern in der Slowakei*. Dissertation, Universität Göttingen.
- ELKATEB, T., CHALATURNYK, R. und ROBERTSON, P. (2003): An overview of soil heterogeneity: quantification and implications on geotechnical field problems. *Canadian Geotechnical Journal* **40**(1): 1–15.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*, Band 5. Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H., WEBER, H., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. und PAULISSEN, D. (1992): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*, Band 2. Scripta Geobotanica.

- FEYEN, H. und PAPRITZ, A. (1995): Optimale Stichprobenpläne für regionale Inventuren. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.* .
- FISZKAL, U. (2007): *Das Durchwurzelungsmuster in Reinbeständen der Traubeneiche (Quercus petraea Liebl.) - Beziehungen zur oberirdischen Bestandesstruktur und bodenökologischen Kennwerten*. Diplomarbeit, FH Eberswalde.
- FORMAN, R. (1994): Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. *Technischer Bericht*, Cambridge University Press, London, England.
- FORMAN, R. (1995): Some General-Principles Of Landscape And Regional Ecology. *Landscape Ecology* **10**(3): 133–142.
- FOURNIER, R., MORRISON, I. und HOPKIN, A. (1994): Short-Range Variability Of Soil Chemistry In 3 Acid Soils In Ontario, Canada. *Communications In Soil Science And Plant Analysis* **25**(17-18): 3069–3082.
- FRANKENLAND, J., OVINGTON, J. und MACREA, C. (1963): Spatial and seasonal variations in soil litter and ground vegetation in some Lake District Woodlands. *Journal Ecology* **51**: 97–112.
- FRATTERIGO, J., TURNER, M., PEARSON, S. und DIXON, P. (2005): Effects of past land use on spatial heterogeneity of soil nutrients in southern Appalachian forests. *Ecological Monographs* **75** (2): 215–230.
- FRAZER, G., CANHAM, C. und LERTZMAN, K. (1999): Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. *Technischer Bericht*, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, The Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.
- FRISCHBIER, N. (2005): Räumlich explizite Quantifizierung und Modellierung des Streuinput in einem gleichwertigen Buchen-Fichten-Mischbestand im Solling(Nds.). *Poster*, Institut für Waldbau und Forstschutz, Technische Universität Dresden.
- GILLIAM, F., LYTTLE, N., THOMAS, A. und ADAMS, M. (2005): Soil variability along a nitrogen mineralization and nitrification gradient in a nitrogen-saturated hardwood forest. *Soil Science Society Of America Journal* **69**(1): 247–256.
- GLAVAC, V., JOCHHEIM, H., KOENIES, H., RHEINSTÄDTER, R. und SCHÄFER, H. (1985): Einfluß des Stammablaufwassers auf den Boden im Stammfußbereich von Altbuchen in unterschiedlich immissionsbelasteten Gebieten. *AFZ* **51/51**: 1397–1398.
- GOLASZEWSKI, J. (2002): Geostatistical approach to data from field experiments with check plots. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Agronomy* **5** (2): 1–13.
- GOMORYOVA, E. (2004): Small-scale variation of microbial activities in a forest soil under a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Polish Journal Of Ecology* **52**(3): 311–321.
- GONZALEZ, O. und ZAK, D. (1994): Geostatistical Analysis Of Soil Properties In A Secondary Tropical Dry Forest, St-Lucia, West-Indies. *Plant And Soil* **163**(1): 45–54.
- GOOVAERTS, P. (1997): Geostatistics for Natural Resources Evaluation. *Oxford University Press* .
- GOOVAERTS, P. (1999): Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* **89**(1-2): 1–45.
- GOOVEARTS, P. und JOURNEL, A. (1995): Integrating Soil Map Information In Modeling The Spatial Variation Of Continuous Soil Properties. *European Journal Of Soil Science* **46**(3): 397–414.

- GÖTTLEIN, A., HELL, U. und BLASEK, R. (1996): A system for microscale tensiometry and lysimetry. *Geoderma* **69**(1-2): 147–156.
- GRAMS, S. (2000): *Einsatz geostatistischer Verfahren zur Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit im Bereich der Rieselfelder südlich Berlins*. Dissertation, TU Berlin.
- GRIGAL, D., MCROBERTS, R. und OHMANN, L. (1991): Spatial Variation In Chemical-Properties Of Forest Floor And Surface Mineral Soil In The North Central United-States. *Soil Science* **151**(4): 282–290.
- GUO, D. (2001): *Spatio-temporal patterns of soil resources following disturbance in a 40-year old Slash Pine (*Pinus elliottii* Engelm.) forest in the coastal plain of South Carolina*. Dissertation, Faculty Virginia Polytechnic Institute & State Univ. Blacksburg, Virginia.
- GUO, D., MOU, P. und JONES, R. (2004): Spatio-temporal patterns of soil available nutrients following experimental disturbance in a pine forest. *Oecologia* **138**: 613–621.
- HAEUPLER, H. (1982): *Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation*. Dissertation, Bot. 65, Cramer, Vaduz.
- HAGEDORN, F., MOHN, J., SCHLEPPI, P. und FLUHLER, H. (1999): The role of rapid flow paths for nitrogen transformation in a forest soil: A field study with micro suction cups. *Soil Science Society Of America Journal* **63**(6): 1915–1923.
- HALLER, B., KNAPPIK, C. und RAUSCH, M. (2006): Räumliche und zeitliche Variabilität von Bodendaten. *Technischer Bericht*, Statistisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- HAMMER, S. und ZEH, A. (2007): *Einfluss von Landnutzungsform und -intensität sowie Bodenchemie auf Diversitätsindices der Regenwurmfauna (Lumbricidae) - Mit einem Vergleich der Habitatheterogenität zwischen Natur- und Wirtschaftswald von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sowie Traubeneiche (*Quercus petraea*)*. Diplomarbeit, FH Eberswalde.
- HEINRICH, U. (1994): *Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie*, Vieweg Umweltwissenschaften, Braunschweig, Wiesbaden, Kapitel Flächenschätzung mit geostatistischen Verfahren - Variogrammanalyse und Kriging. Seiten 144–145.
- HELFERSRIEDER, K., BARTILLA, C. und VAN DER PLOEG, R. (1987): Die Variabilität von einigen bodenphysikalischen und bodenchemischen Feldgrößen. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **55**: 169–173.
- HENNIGS, V. (1991): Die Bedeutung der räumlichen Variabilität bodenkundlicher Basisdaten für die aktuelle und zukünftige Kartiertechniken, dargestellt an einem Beispielsgebiet im nördlichen Harzvorland. *Geologisches Jahrbuch Reihe F*, **28**.
- HERRMANN, S. und BAUHUS, J. (2007): Totholz - Bedeutung, Situation, Dynamik. *Portal Wald und Klima* URL <http://www.waldundklima.net>.
- HILDEBRAND, E. und SCHACK-KIRCHNER, H. (1999): Prozessuale Leeräume als Komplemente von „hot spots“ in Böden. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.* **91** (1): 612–614.
- HOFMANN, G. (1997): Mitteleuropäische Wald- und Forstökosystemtypen in Wort und Bild. *AFZ/Der Wald, Sonderheft* : 90.
- HOFMANN, G. (2002): Entwicklung der Waldvegetation des nordostdeutschen Tieflandes unter den Bedingungen steigender Stickstoffeinträge in Verbindung mit Niederschlagsarmut. In ANDERS, S., BECK, W., BOLTE, A., HOFMANN, G., JENSSEN, M., KRAKAU, U. und MÜLLER, J. (Herausgeber), *Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands*, 24-41, Seiten 201–269.

- HORNSCHUCH, F. (2003): Status und Veränderung bodenbiologischer und wurzelökologischer Parameter im Prozess des Waldumbaus. In: Anders, S., Beck, W., Hornschuch, F., Müller, J., Steiner, A.: Ökologische Voraussetzungen und Wirkungen des Waldumbaus im nordostdeutschen Tiefland. Teilvorhaben A: Untersuchungen zur Ökologie von Kiefern- Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland und Ableitung von Empfehlungen zur Durchführung des Buchen-Unterbaus in Kiefernreinbeständen. Abschlussbericht, BMBF-Projekt, FKZ 0339731, Eberswalde, unveröff., 226 S: 81-158.
- HORNSCHUCH, F., KRAKAU, U. und RIEK, W. (2007): Das Wurzelsystem der Kiefer - artspezifische Strategie und ökologische Anpassungen. In *Die Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland - Aspekte zur Bewirtschaftung und Ökologie*, MLUV Brandenburg u. Landesforstanstalt Eberswalde, Band Eberswalder Forstliche Schriftenreihe XXXI. Potsdam, Eberswalde.
- HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2005): Bodenheterogenität: Indikator für Biodiversität und Naturnähe? - Problemstellung, Ziele, Methodik. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* **106**: 27–28.
- HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2006a): Heterogenität und Musterbildung in Waldböden als Indikator für Biodiversität und Naturnähe. Abschlussbericht, DFG-Projekt RI 1219 / 1-1, Fachhochschule Eberswalde, 141 S. + 41 S. Anlage, unveröff.
- HORNSCHUCH, F. und RIEK, W. (2006b): Kleinräumige Heterogenität der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit von Naturnähe und Waldtyp. *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.*
- ISAAKS, E. und SRIVASTAVA, R. (1989): An Introduction to Applied Geostatistics. *Oxford University Press* : 561.
- JACKSON, R. und CALDWELL, M. (1993a): Geostatistical Patterns Of Soil Heterogeneity Around Individual Perennial Plants. *Journal Of Ecology* **81**(4): 683–692.
- JACKSON, R. und CALDWELL, M. (1993b): The Scale Of Nutrient Heterogeneity Around Individual Plants And Its Quantification With Geostatistics. *Ecology* **74**(2): 612–614.
- JAMES, S., PÄRTEL, M., WILSON, S. und PELTZER, D. (2003): Temporal heterogeneity of soil moisture in grassland and forest. *Journal of Ecology* **91**: 234–239.
- JANDL, R. (1998): Nachweisbarkeit der Veränderung des chemischen Waldbodenzustands. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* **1**: 11–24.
- JANSEN, M., JUDAS, M. und J., S. (2002): *Spatial modelling in forest ecology and management*. Springer-Verlag, Berlin.
- JOCHHEIM, H. (1985): Der Einfluß des Stammablaufwassers auf den chemischen Bodenzustand und die Vegetationsdecke in Altbuchenbeständen verschiedener Waldgesellschaften. *Technischer Bericht*, Ber. Forschungsz. Waldökosysteme/Waldsterben Göttingen.
- KIRWAN, N., OLIVER, M., MOFFAT, A. und MORGAN, G. (2005): Sampling the soil in long-term forest plots: The implications of spatial variation. *Environmental Monitoring And Assessment* **111**(1-3): 149–172.
- KOCH, T. (2007): *Einfluss des Humusgehaltes auf die Bodendichte in Abhängigkeit von Hauptbaumart und Bestandesstruktur*. Diplomarbeit, FH Eberswalde.
- KÖHL, M. (1994): *Statistisches Design für das zweite Schweizerische Landesforstinventar: Ein Folgeinventurkonzept unter Verwendung von Luftbildern und terrestrischen Aufnahmen, Mitteilungen der Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)*, Band Band 69 Heft 1. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf, 140 Seiten.

- KÖHL, M. (1998): Statistische Schätzalgorithmen in der Bundeswaldinventur (BWI) Bericht zum Forschungsauftrag des BML. *Technischer Bericht*, Tharandt.
- KOLASA, J. und ALLEN, T. (1991): *Ecological Heterogeneity. Ecological studies 86*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- KÖLLING, C. (2002): Beeinflussen Durchforstungen die Nitratkonzentrationen des Sickerwassers? *LWF-Aktuell* **34**: 25.
- KÖLLING, C., HOFFMANN, M. und GULDER, H. (1996): Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **159**: 69–77.
- KOOP, H. (1982): *Struktur und Dynamik von Wäldern*, Dierschke, H, Kapitel Waldverjüngung, Sukzessionsmosaik und kleinstandörtliche Differenzierung infolge spontaner Waldentwicklung. Seiten 235–275.
- KORPEL, S. (1995): *Die Urwälder der Westkarpaten*. G. Fischer, Stuttgart.
- KOSZINSKI, S., QUISENBERRY, V., ROGASIK, H. und WENDROTH, O. (2006): Spatial variation of tracer distribution in a structured clay field soil. *Journal Of Plant Nutrition And Soil Science-Zeitschrift Für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **169**(1): 25–37.
- KRIGE, D. (1951): A Statistical Approach to some basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Africa* **52**(6): 119–139.
- LAIHO, R., PENTTILA, T. und LAINE, J. (2004): Variation in soil nutrient concentrations and bulk density within peatland forest sites. *Silva Fennica* **38**(1): 29–41.
- LANZ, A. (2001): *Optimal Sample Design for Extensive Forest Inventories*. Dissertation, Chair of Forest Inventory and Planning Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich, Zürich.
- LAVERMAN, A., BORGERS, R. und VERHOEF, H. (2002): Spatial variation in net nitrate production in a N-saturated coniferous forest soil. *Forest Ecology And Management* **161**(1-3): 123–132.
- LAVERMAN, A., ZOOMER, H., VAN VERSEVELD, H. und VERHOEF, H. (2000): Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. *Soil Biology & Biochemistry* **32**(11-12): 1661–1670.
- LEGENDRE, P. und FORTIN, M. J. (1989): Spatial Pattern And Ecological Analysis. *Vegetatio* **80**(2): 107–138.
- LEIBUNDGUT, H. (1993): *Europäische Urwälder: Wegweiser zur naturnahen Waldwirtschaft*. Verlag Paul Haupt, Bern - Stuttgart.
- LI, H. und REYNOLDS, J. (1994): A Simulation Experiment To Quantify Spatial Heterogeneity In Categorical Maps. *Ecology* **75**(8): 2446–2455.
- LI, H. und REYNOLDS, J. (1995): On the quantification of spatial heterogeneity. *Oikos* **73**: 280–284.
- LISCHEID, G., ALEWELL, C., BITTERSOHL, J., GOTTLEIN, A., JUNGNICHEL, C., LANGE, H., MANDERSCHIED, B., MORITZ, K., OSTENDORF, B. und SAGER, H. (1998): Investigating soil and groundwater quality at different scales in a forested catchment: the Waldstein case study. *Nutrient Cycling In Agroecosystems* **50**(1-3): 109–118.
- LISTER, A., MOU, P., JONES, R. und MITCHELL, R. (2000): Spatial patterns of soil and vegetation in a 40-year-old slash pine (*Pinus elliottii*) forest in the Coastal Plain of South Carolina, USA. *Canadian Journal Of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* **30**(1): 145–155.

- LOETSCH, F. und HALLER, K. (1964): *Forest Inventory*, Band I. BLV-Verlagsgesellschaft, München.
- MADER, D. (1963): Soil variability — a serious problem in soil-site studies in the Northeast. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **27**: 707–709.
- MARTH, C. (1995): Erfassung kleinräumiger pH-Heterogenität im Boden mit Hilfe von Antimon-Mikoelektrodenmatrices. *Technischer Bericht Rh. A Bd. 126*, Ber. Forsch.zentrum Waldökosysteme.
- MATHERTON, G. (1963): Principles of Geostatistics. *Economic Geology* **58**: 1246–1266.
- MCBRATNEY, A. und WEBSTER, R. (1983): How Many Observations Are Needed For Regional Estimation Of Soil Properties. *Soil Science* **135**(3): 177–183.
- MELLERT, K., GENSITOR, A., GÖTTLEIN, A., KÖLLING, C. und RÜCKER, G. (2007a): Variation of soil nitrate concentrations of two N-saturated Norway spruce forests (*Picea abies* (L.)). *Water Air an soil Pollution* Submitted.
- MELLERT, K., GENSITOR, A., GOTTLEIN, A., KÖLLING, C. und RÜCKER, G. (2008): Variation in soil nitrate concentrations in two n-saturated norway spruce forests (*Picea abies* (L.) karst.) in southern Bavaria. *Water Air And Soil Pollution* **187**(1-4): 203–217.
- MELLERT, K. und KÖLLING, C. (2006): Nitratbelastung des Sickerwassers in einem bewaldeten Wassereinzugsgebiet der Trinkwasserversorgung Fürstenfeldbruck (Bayern). *Wasser und Abfall* **1-2**: 48–54.
- MELLERT, K., WEIS, W. und RÜCKER, G. (2007b): Ermittlung der (potenziell) zu erwartenden Signalstärke von Bodenveränderungen - Grundlagen für die Bewertung und Interpretation von Ergebnissen der BZE II Ergebnisse einer Literaturstudie im Auftrag der Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft. *Technischer Bericht*, Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft.
- MOLLITOR, A., LEAF, A. und MORRIS, L. (1980): Forest Soil Variability On Northeastern Flood Plains. *Soil Science Society Of America Journal* **44**(3): 617–620.
- MORRIS, S. (1999): Spatial distribution of fungal and bacterial biomass in southern Ohio hardwood forest soils: fine scale variability and microscale patterns. *Soil Biology & Biochemistry* **31**(10): 1375–1386.
- NELDER, J. (1962): New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* **18**: 283–307.
- OLIVER, M. und WEBSTER, R. (1987): The Elucidation Of Soil Pattern In The Wyre Forest Of The West-Midlands, England .2. Spatial-Distribution. *Journal Of Soil Science* **38**(2): 293–307.
- O'NEILL, R., GARDNER, R., MILNE, B., TURNER, M. und JACKSON, B. (1991): *Ecological Heterogeneity*, Kolasa, J. and Pickett, S.T.A., Kapitel Heterogeneity and spatial hierarchies. Seiten 85–96.
- PANNATIER, Y. (1996): *VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D*. Springer, New York.
- PAPRITZ, A. und WEBSTER, R. (1995a): Estimating Temporal Change In Soil Monitoring: I. Statistical Theory. *European Journal of Soil Science* **46**: 1–12.
- PAPRITZ, A. und WEBSTER, R. (1995b): Estimating Temporal Change In Soil Monitoring: II. Sampling From Simulated Fields. *European Journal Of Soil Science* **46**(1): 13–27.

- PAYER, M. (1997): *Materialien zur Forstwissenschaft., Kapitel 2: Das Ökosystem Wald, VIII: Winterkalte Nadelwaldgebiete oder Taiga (=boreales Zonobiom), Fassung vom 19. Dezember 1997.* URL <http://www.payer.de/cifor/cif0210.htm>.
- PENNANEN, T., LISKI, J., BÅÅTH, E., KITUNEN, V., UOTILA, J. und WESTMAN, C. F. H. (1999): Structure of the Microbial Communities in Coniferous Forest Soils in Relation to Site Fertility and Stand Development Stage. *Microbial Ecology* .
- PERIE, C., MUNSON, A. und CARON, J. (2006): Use of spectral analysis to detect changes in spatial variability of forest floor properties. *Soil Science Society Of America Journal* **70**(2): 439–447.
- PERRIER, E. und WILDING, L. (1986): An evaluation of computational methods for field uniformity studies. *Advances in Agronomy* **39**: 265–312.
- PICKETT, S. und DADENASSO, M. (1995): Landscape Ecology - Spatial Heterogeneity In Ecological-Systems. *Science* **269**(5222): 331–334.
- POLLEY, H., KÄNDLER, G., MÖSSMER, R., WITTICH, L., MÜLLER, J., LAMPE, U., SPANGENBERG, F., NOWACK, S., NEUSS, R., NEUPERT, U., WESSELS, W., SCHROER, H., FRITZ, E., SCHULZE, G., BINNEMANN, E., HEESCHEN, G. und ERTELD, T. (2001): *Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II (2001-2002)*. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. 108 S.
- POLOMSKI, J. und KUHN, N. (1998): *Wurzelsysteme*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 290 S. Seiten.
- PRETZSCH, H. (2002): *Pretzsch, H.* Paul Parey, Berlin, 414 S. Seiten.
- PRIETZEL, J., STETTER, U., KLEMMT, H.-J. und REHFUESS, K. E. (2006): Recent carbon and nitrogen accumulation and acidification in soils of two Scots pine ecosystems in Southern Germany. *Plant Soil* **289**: 153–170.
- QUESNEL, H. und LAVKULICH, L. (1980): Nutrient Variability Of Forest Floors Near Port Hardy, British-Columbia, Canada. *Canadian Journal Of Soil Science* **60**(3): 565–573.
- R DEVELOPMENT, CORE TEAM (2007): *R: A language and environment for statistical computing*. ISBN 3-900051-07-0, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.Rproject.org>.
- RABEN, G., ANDREAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F. und LEUBE, F. (2000): *Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern*. Nr. 20 in Schriftenreihe des LFP, Landesforstpräsidium (LFP) Bonnewitzer Straße 34, 01796 Pirna / OT Graupa.
- RAKEI, A. (1991): *Wasserhaushalt eines Alt- und Jungkiefernbestandes auf Rostbraunerde des Grunewaldes (Berlin)*. Dissertation, TU Berlin.
- REHFUESS, K. (1981): *Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung*. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 192 S. Seiten.
- REHFUESS, K. und KANTARCI, D. (1977): Einfluss von Meliorationsmaßnahmen auf die kleinräumige Variation von Waldbodeneigenschaften. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* **140**: 677–688.
- REYNOLDS, E. (1970): Root Distribution And Cause Of Its Spatial Variability In Pseudotsuga-Taxifolia (Poir) Britt. *Plant And Soil* **32**(2): 501–&.
- RIBEIRO, J. und DIGGLE, P. (2001): geoR: A package for geostatistical analysis. *R-News* **1/2**: 15–18.

- RIBEIRO, P. und DIGGLE, P. (1999): Bayesian inference in Gaussian model-based geostatistics. *Technical report ST-99-08*, Dept of Maths and Stats, Lancaster University.
- RIEDEL, T. (2007): *Evaluierung alternativer Stichprobendesigns für die Bundeswaldinventur*. Dissertation, Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. In Vorbereitung.
- RIEK, W. (1999): Stratifizierung der BZE-Stichprobe hinsichtlich der Dynamik bodenchemischer Eigenschaften. Gutachten im Auftrag des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. FH Eberswalde. (unveröffentlicht).
- RIEK, W. und POFAHL, U. (1998): Einsatz von Geostatistik zur Beurteilung der Maschenweite in Messnetzen. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.* **32** (3): 126–129.
- RIEK, W. und WOLFF, B. (2005): Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). *Technischer Bericht*, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. 130 S.
- ROBERTSON, G., CRUM, J. und ELLIS, B. (1993): The Spatial Variability Of Soil Resources Following Long-Term Disturbance. *Oecologia* **96**(4): 451–456.
- ROBERTSON, G. und GROSS, K. (1994): Assessing the heterogeneity of belowground resources: Quantifying pattern and scale. In CALDWELL, M. und PEARCY, R. W. (Herausgeber), *Plant Exploitation of environmental Heterogeneity*.
- ROBERTSON, G., HUSTON, M., EVANS, F. und TIEDJE, J. (1988): Spatial Variability In A Successional Plant Community - Patterns Of Nitrogen Availability. *Ecology* **69**(5): 1517–1524.
- ROSSI, R., MULLA, D., JOURNEL, A. und FRANZ, E. (1992): Geostatistical Tools For Modeling And Interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs* **62**(2): 277–314.
- SALDANA, A., STEIN, A. und ZINCK, J. (1998): Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henares River (Spain). *Catena* **33**(3-4): 139–153.
- SCHABENBERGER, O. und GOTWAY, C. (2005): *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC, 488 S. Seiten.
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., BRÜMMER, G., HARTGE, K. und SCHWERTMANN, U. (1998): *Scheffer / Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Band 14. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 494 Seiten.
- SCHAELEN, H. (2007): Geomathematics I, Multivariate and Geostatistical Data Analysis. *Technischer Bericht*, Freiberg University of Mining and Technology, Germany.
- SCHERZINGER, W. (1996): *Naturschutz im Wald*. Ulmer, Stuttgart, 448 Seiten.
- SCHMIDT, R. (1985): Zur Arealvariabilität von Bodenparametern und Böden im pleistozänen Tiefland der DDR. *Arch. Acker-Pflanzenb. Bodenkd.* **29** (11): 661–669.
- SCHOBER, R. (Herausgeber) (1987): *Ertragstabellen wichtiger Baumarten*, Band 3. Aufl. Sauerländer's Verlag, Frankfurt / M., 166 S. Seiten.
- SCHÖNING, I. (2005): *Organic matter stocks in temperate forest soils: Composition, radiocarbon age and spatial variability*. Dissertation, TU München.
- SCHÖNING, I., TOTSCHKE, K. und KOGEL-KNABNER, I. (2006): Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma* **136**(3-4): 631–642.
- SCHUBERT, A. (2002): Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen - Bodenuntersuchungen. *Technischer Bericht*, Forstliche Forschungsberichte München, 187.

- SCOTT, C. T. und KÖHL, M. (1993): *A Method of Comparing sampling Design Alternatives for extensive Inventories*, *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft*, Band 68. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Snee und Landschaft, Birmensdorf, 62 Seiten.
- SEA 95 (1996-1997): *Anleitung für die Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland (Standortserkundungsanleitung). Teile A-C*. Schwerin, Eberswalde, 2. Aufl. der sea 1974 Auflage.
- SEEBOLDT, M. (1985): Die lokale Variabilität von ausgewählten Bodenmerkmalen auf sandigen Böden. *Arch. Acker-Pflanzenb. Bodenk.* **29** (2): 69–75.
- SEIDENGLANZ, D. und BANDICK, C. (2006): *Das Durchwurzelungsmuster in Reinbeständen von Rotbuche (Fagus sylvatica L.) und Waldkiefer (Pinus sylvestris L.) und Zusammenhänge mit oberirdischer Bestandesstruktur, Bodenvegetation und Bodenchemie*. Diplomarbeit, FH Eberswalde.
- STOYAN, D., STOYAN, H. und JANSEN, U. (1997): *Umweltstatistik: statistische Verarbeitung und Auswertung von Umweltdaten*. B.G.Teubner Verlagsgesellschaft. Stuttgart, Leipzig, 348 S. Seiten.
- STOYAN, H., DE-POLLI, H., BOHM, S., ROBERTSON, G. und PAUL, E. (2000): Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant And Soil* **222**(1-2): 203–214.
- TABAKU, V. (1999): *Struktur von Buchen-Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen-Naturwaldreservaten und -Wirtschaftswäldern*. Dissertation, Universität Göttingen.
- TEICHERT, A. (2000): Raum-Zeit-Strukturen von Messgrößen des Stoffhaushalts eines grundwassernahen sauren Sandbodens unter Kiefernwald. *Technischer Bericht*, Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde 5.
- TIEFELSDORF, M. (2000): *Modelling Spatial Processes - The Identification and Analysis of Spatial Relationships in Regression Residuals by Means of Moran's I*. Springer-Verlag, Berlin.
- TORGERSEN, C., JONES, J., MOLDENKE, A. und LEMASTER, M. (1995): The spatial heterogeneity of soil invertebrates and edaphic properties in an old growth forest stand in western Oregon. *Technischer Bericht*, Department of Geoscience, USA.
- TRANGMAR, B., YOST, R. und UEHARA, G. (1985): Applications of geostatistics to spatial studies on soil properties. *Advances in Agronomy* **38**: 45–94.
- TURNER, M., GARDNER, R., O'NEILL, R. und PEARSON, S. (1993): *Eastside Forest Ecosystem Health Report: Volume II. Ecosystem management: principles and applications*, U. S. Department of Agriculture, National Forest System, Forest Service Research, Washington, DC, Kapitel Multiscale organization of landscape heterogeneity. Seiten 81–87.
- TURNER, M., PEARSON, S., ROMME, W. und WALLACE, L. (1997): *Wildlife and landscape ecology*, Springer-Verlag, New York, Kapitel Landscape Heterogeneity and ungulate Dynamics: What spatial scales are important. Seiten 119–127.
- URBAN, D., O'NEILL, R. und SHUGART, H. (1987): Landscape Ecology. *BioScience* **37**: 119–127.
- VOSS, W. (2000): *Taschebuch der Statistik*. Fachbuchverlag Leipzig, 756 Seiten.
- DE VRIES, P. G. (1986): *Sampling Theory for Forest Inventory*. Springer-Verlag.
- VUURENS, S., STAGNITTI, F., DE ROOIJ, G., BOLL, J., LING, L., LEBLANC, M., IERODIA-CONOU, D., VERSACE, V. und SALZMAN, S. (2005): Quantifying effects of soil heterogeneity on groundwater pollution at four sites in USA. *Science In China Series C-Life Sciences* **48**: 118–127.

- WACKERNAGEL, H. (2003): *Multivariate Geostatistics*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 3.ed. Auflage, 387 S. Seiten.
- WAGNER, S. (1995): Strahlungsschätzung in Wäldern durch hemisphärische Fotos - Methode und Anwendung. *Technischer Bericht*, Ber. D. Forschungsz. Waldökosysteme Göttingen.
- WALTHERT, L., BLASER, P., LÜSCHER, P., LUSTER, J. und ZIMMERMANN, S. (2003): Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF in der Schweiz Kernprojekt Bodenmatrix Ergebnisse der ersten Erhebung 1994-1999. *Technischer Bericht*, ETH Zürich.
- WEBER, J. (2000): *Geostatistische Analyse der Struktur von Waldbeständen am Beispiel ausgewählter Bannwälder in Baden-Württemberg*. Dissertation, Uni Freiburg - Berichte Freiburger Forstliche Forschung.
- WEBSTER, R. (1985): Quantitativ spatial analyses of soil in field. *Advances in Soil Science* **3**: 1-70.
- WEBSTER, R. (2000): Is soil variation random? *Geoderma* **97**: 149-163.
- WEBSTER, R. und OLIVER, M. (1990): Statistical Methods in soil and land resource survey. *Technischer Bericht*, Oxford University Press.
- WEBSTER, R. und OLIVER, M. (1992): Sample Adequately To Estimate Variograms Of Soil Properties. *Journal Of Soil Science* **43**(1): 177-192.
- WEBSTER, R. und OLIVER, M. (2001): *Geostatistics for Environmental Scientists, Statistics in Practice*. Wiley, New York.
- WEBSTER, R. und OLIVER, M. (2007): *Geostatistics for Environmental Scientists*. New York: Wiley, second edition Auflage, 315 S. Seiten.
- WEITZ, A., BUNTE, D. und HERSEMAN, H. (1993): Application Of Nested Sampling Technique To Determine The Scale Of Variation In Soil Physical And Chemical-Properties. *Catena* **20**(1-2): 207-214.
- WELLBROCK, N., AYDIN, C.-T., BLOCK, J., BUSSIAN, B., DECKERT, M., DIEKMANN, O., EVERS, J., FETZER, K. D., GAUER, J., GEHRMANN, J., KÖLLING, C., KÖNIG, N., LIESEBACH, M., MARTIN, J., MEIWES, K. J., MILBERT, G., RABEN, G., RIEK, W., SCHÄFFER, J., SCHWERHOFF, J., ULLRICH, T., UTERMANN, J., VOLZ, H.-A., WEIGEL, A. und WOLFF, B. (2006): *Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 11055 Berlin.
- WESSOLEK, G. und RIEK, W. (1997): Analysing and Modeling Spatio-Temporal Patterns of Plant Water Use of an old Pine Stand. *ZALF-Berichte Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e. V.* **31**: 29-38.
- WIENS, J. (2000): *The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity*, Blackwell Science, Kapitel Ecological heterogeneity: an ontogeny of concepts and approaches. Seiten 9-32.
- V. WILPERT, K., KOHLER, M. und ZIRLEWAGEN, D. (1996): Die Differenzierung des Stoffhaushalts von Waldökosystemen durch die waldbauliche Behandlung auf einem Gneisstandort des Mittleren Schwarzwalds. In *Mittl. Der FVA Baden-Württemberg*, Herft 197, Seite 94. S.
- WILSON, K. und MEYERS, T. (2001): The spatial variability of energy and carbon dioxide fluxes at the floor of a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorology* **98**(3): 443-473.
- WINER, B. (1962): *Statistical Principles in Experimental Design*, New York, McGraw-Hill, Kapitel Inference with Respect to Means and Variances. Seiten 4-57.

- WITTIG, R., WERNER, W. und NEITHE, H. (1985): Der Vergleich alter und neuer pflanzensoziologischer Aufnahmen: Eine geeignete Methode zum Erkennen von Bodenversauerung? *VDI-Berichte* **560**: 21–33.
- WOLFF, B. und RIEK, W. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996 - Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung in Wald (BZE) 1987 - 1993. *Technischer Bericht Bd. 1 u. 2.*, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- YOST, R., UEHARA, G. und FOX, R. (1982): Geostatistical Analysis Of Soil Chemical-Properties Of Large Land Areas .1. Semi-Variograms. *Soil Science Society Of America Journal* **46**(5): 1028–1032.
- ZAR, J. (1999): *Biostatistical analysis*. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River, 4th ed. Auflage.
- ZIANIS, D., MUUKKONEN, P., MÄKIPÄÄ, R. und MENCUCCINI, M. (2005): Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs* : 63.
- ZIRLEWAGEN, D. und VON WILPERT, K. (2004): Using model scenarios to predict and evaluate forest-management impacts on soil base saturation at landscape level. *European Journal Of Forest Research* **123**(4): 269–282.

Anhang A

Vermerk 533-7673-1/4

Thomas Riedel

Referat 533
533-7673-1/4

30.07.2004
4270

Vermerk

Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)
hier: Mathematisch-Statistische Fragen

Vorbemerkung

Derzeit beginnt die Endphase der Vorbereitungen für die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). In diesem Kontext stellen sich grundsätzliche mathematisch-statistische Fragen, die zu klären sind. Die folgende Ausarbeitung skizziert die wichtigsten Fragestellungen. Eine übergeordnete Kernfrage, die sich durch mehrere Aspekte durchzieht, ist dabei die Frage, ob die BZE statistisch als permanente/konstante bzw. systematische Stichprobe anzusehen ist.

Zielsetzung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)

Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) ist eine bundesweite Großrauminventur, die darauf zielt,

1. den aktuellen Zustand der Waldböden zu erfassen (insb. Nährstoffstatus, Versauerung, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwermetalle und organische Stoffe) und
2. aus dem Vergleich der beiden Inventuren Veränderungen zu erkennen.

Methodischer Ansatz der BZE II

Stichprobennetz

Soll-Zustand

Die BZE ist eine systematische Stichprobenerhebung. Das Beprobungsraster beträgt 8 x 8 km, es orientiert sich an den Gauß-Krüger-Koordinaten und erstreckt sich über die gesamte Waldfläche Deutschlands. Der Stichprobenumfang der BZE II liegt bei rund 1.950 BZE-Punkten.

Auf eine Vorstratifizierung nach regionalen Einheiten (z. B. Wuchsgebieten) wurde verzichtet, weil nicht vorausgesetzt werden kann, dass die bodenchemischen Eigenschaften mit großräumigen geogen und klimabedingten Standortmerkmalen korrelieren.

Dieses Raster wurde gewählt, um die Waldböden flächenrepräsentativ zu erfassen. Seine Lage soll Verknüpfungen zu anderen Untersuchungen auf dem Level I-Netz des forstlichen Umweltmonitorings (v. a. Waldschadenserhebung, ursprünglich im 4 x 4 km-Raster) ermöglichen. Dies war u. a. auch ein Grund, die BZE nicht auf dem Stichprobennetz der Bundeswaldinventur durchzuführen.

Ist-Zustand

Die erstmalige Beprobung der BZE-Punkte erfolgte im Zeitraum von 1987 (Bayern) bis 1993 (neue Bundesländer). Im Vorfeld der BZE I wurde festgelegt, die BZE-Punkte mit den Stichprobepunkten der Waldschadenserhebung (WSE) zu verknüpfen.

Bereits bei der Auswertung der BZE I wurde deutlich, dass die BZE-Stichprobenpunkte in der Realität dem nominalen 8 x 8 km-Raster nicht immer folgen (vgl. Wolff & Riek 1997). Dabei treten nicht nur „marginale“ Verzerrungen auf, die dadurch verursacht sind, dass einzelne BZE-Punkte bei der Erstanlage versehentlich oder bewusst gegenüber einem „Sollpunkt“ verschoben sind, sondern z. T. auch erhebliche systematische Abweichungen.

Die Ursachen hierfür sind vielfältig und ex post im Einzelfall kaum noch nachvollziehbar. Aus heutiger Sicht erscheinen folgende Aspekte als Hauptursachen für die Abweichungen:

a Fehlende bzw. inkonsistente Vorgaben:

Die Arbeitsanleitung zur BZE I (2. Aufl. 1994, S. 11) gibt zwar vor, dass die BZE im 8 x 8 km-Raster auf dem WSE-Gitternetz stattfinden soll und dass das BZE-Netz so zu legen bzw. zu ergänzen sei, dass die Erhebungspunkte des 16 x 16 km-Stichprobennetzes der EU-WSE mit erfasst werden.

Erst im Nachhinein stellte sich heraus, dass diese Vorgabe nicht ausreicht, um auf Bundesebene ein durchgehendes, systematisches Erhebungsnetz im 8 x 8 km-Raster zu erzeugen: Weder EU-seitig (EU-BZE: 16 x 16 km-Raster) noch bundesseitig gab bzw. gibt es eine eindeutige georeferenzierte Vorgabe.

Im Ergebnis haben die Länder für die Netzausrichtung z. B. unterschiedliche „Startpunkte“ gewählt. Allerdings waren die Stichprobenpunkte durch das bereits zu früherem Zeitpunkt eingerichtete WSE-Netz (4 x 4 km) vordefiniert.

b Spezifischer Informationsbedarf der Länder/landesspezifische Abweichungen von der Bundesvorgabe:

Die BZE wird von den Ländern durchgeführt. Die Länder haben die o.g. Vorgaben in eigener Verantwortung und unter Berücksichtigung landesspezifischer Besonderheiten umgesetzt. Dabei stand für die Länder im Vordergrund, dass die BZE insbesondere auch auf Landesebene aussagefähige Befunde für ihre jeweils wichtigsten Waldökosysteme bzw. Waldböden erbringen soll. Dies erfolgte auf unterschiedliche Weise:

- Die Mehrzahl der Länder hat das 8 x 8 km-Raster umgesetzt, einige haben es nach unterschiedlichen Kriterien verdichtet (ca. ... von insg. 1.950). Bei der Bundesauswertung werden die Analyseergebnisse dieser zusätzlichen Verdichtungspunkte erfasst und mit einem Gewichtungsfaktor berücksichtigt.
- RP hat das 8 x 8 km-Raster „modifiziert“, da es die landesspezifischen Bodenverhältnisse nicht repräsentativ erfasse und statt dessen ein systematisches 4 x 12 km-Raster aufgebaut. Dabei ergibt sich eine etwa höhere Stichprobendichte, etwa 40% dieser Punkte liegen auf dem 8 x 8 km-Raster. RP beabsichtigt, dieses Netz bei der BZE II erneut zu beproben (n = 165).
- BW hat das 8 x 8 km-Raster bei der BZE I „modifiziert“, indem reine Laubholzbestände nicht beprobt wurden. Eine systematische Verlegung von BZE-Punkten in Fichtenbestände erfolgte nach hiesigem Kenntnisstand jedoch nicht.

BW wird bei der BZE II die Punkte in den Fichtenbeständen erneut beproben (n = 177) und zusätzlich in den anderen Waldbeständen rund 130 neue Punkte anlegen. Davon wird rund die Hälfte der Punkte auf dem WSE-Netz und die andere Hälfte auf dem BZE I-Netz liegen. Die beiden Netze besitzen unterschiedliche Anfangspunkte.

c Veränderung gegenüber der BZE I:

Bei der BZE II wird die überwiegende Mehrzahl der BZE I-Punkte erneut beprobt. Gründe:

- Vergleich zu den Ergebnissen der BZE I möglich (sofern vergleichbare Analysemethodik),
- Effizienz / Kosten: Fortschreibung von zahlreichen und z.T. mit erheblichem Aufwand erarbeiteten Detailangaben möglich.

Allerdings gibt es auch Veränderungen:

- Einige Punkte fallen aus der Stichprobe heraus, da sie heute nicht mehr im Wald liegen.
- Es kommen neue Punkte hinzu,
 - weil sie infolge von Aufforstungen oder Sukzession heute im Wald liegen,
 - weil ursprünglich unzugängliche Punkte mittlerweile zugänglich sind (z.B. großflächige Truppenübungsplätze) sowie
 - weil das Netz korrigiert bzw. verdichtet wird (z.B. BW).

Fragen zum Stichprobennetz

Was bedeuten die oben skizzierten Befunde für die statistische Auswertung? Kann - trotz dieser „Verzerrungen“ des Stichprobennetzes - davon ausgegangen werden, dass das Stichprobennetz „systematisch“ ist und flächenrepräsentative Ergebnisse erzeugt? Welche statistischen Verfahren sind für die Auswertung zulässig, welche nicht?

Festlegung des Stichprobenmittelpunktes

Soll-Zustand

Die genaue Bestimmung des BZE-Mittelpunktes ist an die Waldschadenserhebung (WSE) geknüpft (BZE I-Anleitung, S. 11):

Wurde bei der WSE ein Kreuztrakt angelegt, ist der Mittelpunkt der BZE der Mittelpunkt des (WSE-)Kreuztraktes oder ein von dort zufällig¹ ausgewählter Probepunkt. ...

Sollte an einem ausgewählten BZE-Mittelpunkt eine nicht mit üblicher forstwirtschaftlicher Bewirtschaftung zu vereinbarende Störung vorliegen, wird der BZE-Mittelpunkt in Schritten von jeweils 5 m zunächst in Nord-, Ost-, Süd- oder Westrichtung verlegt, bis es möglich ist, die Profilgrube anzulegen und die erforderlichen Bodenproben zu gewinnen. Störungen sind Eigenarten des Geländes, welche eine Untersuchung unmöglich machen oder örtlich eng begrenzte, tiefgreifende Veränderungen durch menschliche Eingriffe. ...

Bei der endgültigen Festlegung des BZE-Mittelpunktes ist ein Abstand zum Stammfuß des nächsten Baumes von mindestens 70 cm einzuhalten.

Weitere Bestimmungen für die Festlegung des Mittelpunktes in Fällen, in denen kein WSE-Kreuztrakt vorliegt, schließen sich an.

Ist-Zustand

Eine Analyse des Ist-Zustands ist kaum möglich:

- Einerseits wurden die BZE-Punkte seinerzeit nicht eingemessen, allerdings sollten Lageskizzen vorhanden sein, die das Wiederauffinden in den meisten Fällen ermöglichen werden.
- Andererseits gibt es – wie unter Ziffer 2.1.2 gezeigt – keine eindeutige Soll-Koordinate, die als Überprüfungsmaßstab dienen könnte.

Insgesamt erscheinen die unter Ziffer 2.2.1 angedeuteten Regeln zur Festlegung bzw. zur Verlegung des BZE-Mittelpunktes unzureichend bzw. nicht hinreichend konkret und verbindlich. Es stellt sich daher die Frage, ob die bei der BZE I beprobten Mittelpunkte bei der BZE II tatsächlich punktgenau und eindeutig wieder auffinden lassen. Jedenfalls soll die „freie“ Auswahl bei der Anlage neuer BZE-Stichprobepunkte nicht mehr zulässig sein.

Frage

Was bedeutet dies für die statistische Auswertung?

¹ Diese Formulierung war offenbar dadurch motiviert, dass einige Länder eine Beeinträchtigung der WSE-Stichprobepunkte durch die BZE-Arbeiten, die Bodenprofile sowie durch die Entnahme der parallel zur BZE durchgeführten Nadel-/Blattbeprobung vermeiden wollten.

Stichprobendesign

Soll-Zustand

- Am BZE-Stichprobenmittelpunkt wird eine Profilgrube angelegt, aus dem Humus- und Bodenproben in verschiedenen Tiefenstufen entnommen werden. Zusätzlich werden Humus- und Bodenproben durch Beprobung von Satellitenbohrungen genommen. Die Satelliten liegen auf einem Kreis von 10 m Radius um den BZE-Mittelpunkt bzw. die Stirnwand der Profilgrube.
- Bei der BZE I wurden - zusätzlich zur Probe aus der zentralen Profilgrube - Satellitenproben gezogen, diese orientierten sich an den Himmelsrichtungen. Die Beprobung der acht Satelliten sollte dazu beitragen, das damals bereits im Grundsatz bekannte Problem der kleinräumigen Varianz der Standorte (vgl. Ziffer 3.2) auffangen.
- Um den Analyseaufwand bzw. die Kosten zu begrenzen, wurden jedoch alle Proben eines BZE-Punktes noch vor Ort zu Mischproben vereinigt.

Ist-Zustand

Derzeit liegt keine Information vor, die darauf hinweist, dass die Länder bei der Beprobung von dem oben skizzierten Schema abgewichen sind bzw. abweichen werden. Allerdings ergeben sich aus der Tatsache, dass die Bodenbeprobung keine zerstörungsfreie Probennahme ist, bei der BZE II Veränderungen, die für die statistische Auswertung relevant sein können:

- a Bei der BZE II wird aus Kostengründen (Probennahme) in vielen Fällen die Profilgrube nicht erneut aufgegraben. In diesen Fällen wird die Mischprobe aus acht Satellitenproben gebildet. Eine Beprobung per Bohrstock am Mittelpunkt verbietet sich, da dort die Probe durch das alte Profil gestört ist. Sofern aus statistischer Sicht erforderlich (kleinräumige Varianz der Standorte, Vergleichbarkeit zur BZE I), wäre es jedoch möglich, eine ergänzende Bohrung in der Nähe des Mittelpunktes vorzuschreiben, deren räumliche Position noch zu definieren wäre.

Unabhängig davon wird es zahlreiche BZE-Punkte geben, bei denen das Profil erneut geöffnet und beprobt wird (Mischprobe = 1 + 8).

- b Auch die alten Satellitenpunkte (auf Haupthimmelsrichtung) müssen infolge der Probennahme bei der BZE I als gestört gelten und dürfen nicht erneut beprobt werden.

Die neuen Bohrungen sind daher im Uhrzeigersinn um 10 - 30° zu versetzen.

Ausgehend von der ersten neuen Bohrung werden die weiteren Bohrpunkte bestimmt; sie verteilen sich sternförmig im 45° Winkel zueinander um den Mittelpunkt und liegen alle einem Kreis mit 10 m Radius um den Mittelpunkt herum.

Nach derzeitiger Planung sollen insgesamt acht Bohrungen genommen werden. Möglicherweise kommt – aus Kostengründen – das Anliegen, die Zahl der Satellitenproben zumindest für einzelne Analysen auf vier zu verringern. Aus statistischer Sicht (s.o.) ist es evtl. erforderlich, neun Proben zu ziehen.

- c Außerdem gibt es Parameter, die nur am Profil genommen werden (z.B. Stechzylinderproben).

Frage

Was bedeutet dies für die statistische Auswertung?

Ergibt sich aus statistischer Sicht die Notwendigkeit, grundsätzlich mit einer Mischprobe von „ $n = 1 + 8$ “ zu arbeiten oder reicht ggf. auch eine Mischprobe von „ $n = 4$ “ für einen Vergleich zur BZE I aus?

Sollte grundsätzlich der 10 m-Probekreis erneut beprobt werden oder sollte - um bei der BZE I verursachten Störungen des Bodens zu umgehen - statt dessen ein anderer Probekreis (z. B. $r = 12,5$ m um den BZE-Mittelpunkt) gewählt werden?

Wäre es sinnvoll, zumindest an einer Unterstichprobe keine Mischprobe zu bilden sondern die Satelliten getrennt zu analysieren, um den Aspekt der kleinräumigen Varianz der Standorte (s. Ziffer 3.2) besser erfassen bzw. Fehlerabschätzungen vornehmen zu können? Wie sollte eine solche Unterstichprobe gestaltet sein?

Grundsätzliche Fragen

Kann die BZE II als Wiederholungsinventur zur BZE I betrachtet werden und welche Konsequenzen ergeben sich aus der Beantwortung dieser Frage für die statistische Auswertung?

Grundsätzlich ist der Vergleich mit den Ergebnissen der BZE I erwünscht, es ist die einzige Möglichkeit, evtl. Veränderungen festzustellen. In diesem Kontext stellen sich jedoch einige grundsätzliche Aspekte zu beachten.

BZE II = Wiederholungsinventur?

Art der Stichprobe

Abgesehen von den unter Ziffer 2 skizzierten Schwierigkeiten, die BZE I-Punkte wieder aufzufinden, stellt sich die Frage, ob die BZE II als Wiederholungsinventur zur BZE I betrachtet werden kann. Denn die Entnahme von Bodenproben ist *per se* nicht zerstörungsfrei. D.h., eine Wiederholungsbeprobung darf nicht die dasselbe Stichproben„stelle“ bzw. dasselbe Bohrloch treffen, da dort die Bodenverhältnisse infolge der Erstbeprobung gestört sind. Die Wiederholungsinventur muss daher unmittelbar daneben beproben, wo keine Störung vorliegt. Was bedeutet dies für die statistische Auswertung?

Veränderte Analyseverfahren und Klassengrenzen

Einfluss veränderter Analyseverfahren

Einfluss veränderter Klassengrenzen (z. B. Bodenart/Korngrößendreieck)

Was bedeutet dies für die statistische Auswertung?

Kleinräumige Varianz

Soll-Zustand

Die Sollvorgabe ist, dass auch die Ergebnisse der BZE II durch die kleinräumige Varianz möglichst wenig beeinflusst werden sollen. Oder anders: Auch bei der BZE II wird angestrebt, die Realität (mit ihren Extremwerten) durch eine ausreichend umfangreiche Probennahme im Rahmen eines definiertes Fehlerrahmens zu erfassen.

Ist-Zustand

Die Bodenchemie kann kleinräumig sehr stark schwanken. D.h., dass die Bohrung im Abstand von nur wenigen Metern völlig andere bodenchemische Werte erbringen kann. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass mindestens bei 30% der Standorte eine sehr erhebliche kleinräumige Varianz der Standortsbedingungen vorliegt. Um dies abzufedern, werden bei der BZE Mischproben aus Profilgrube und acht Satelliten (s. Ziffer 2.3.1) gebildet.

Mit dieser Mischprobe bzw. Homogenisierung vor Ort wurde bei der BZE I jedoch die Chance vertan, die Frage der kleinräumigen Varianz zumindest im Rahmen einer Unterstichprobe zu untersuchen.

Im Ergebnis liegen bisher kaum Erkenntnisse vor, mit deren Hilfe die statistische Relevanz dieser Frage beurteilt werden bzw. die für die Gestaltung des Stichprobendesigns der BZE II genutzt werden könnte.

Außerdem ist bislang nicht untersucht, wie sich das bei einer Wiederholungsbeprobung auswirkt. Die Befürchtung ist, dass diese kleinräumige Varianz dazu führt, dass sich im Vergleich zwischen BZE I und BZE II möglicherweise Unterschiede ergeben, die aber nicht als feithliche Veränderung interpretiert werden dürfen.

Frage

Es sind vertiefende Analysen erforderlich, um

- die kleinräumige Varianz bzw. Variabilität der Standorte einschätzen zu können und
- um Vorschläge zu erarbeiten, ob und ggf. wie diese Variabilität besser eingegrenzt werden kann.

Ist in diesem Kontext eine stratifizierte Auswertung hilfreich? Welche Einheiten eignen sich als Stratifizierungseinheiten?

Wie kann diese Frage untersucht werden (z. B. Unterstichprobe: Von vorher ausgewählten BZE-Punkten werden die Satellitenproben geteilt: Ein Teil wird - wie bisher - vor Ort zu einer Mischprobe vereinigt, der andere Teil wird gesondert abgefüllt und im Rahmen einer Sonderuntersuchung/Begleitstudie speziell auf die Frage der Varianz untersucht)?

Wie können Unterschiede infolge kleinräumiger Varianz differenziert werden von „echten“ Veränderungen? Was bedeutet dies für die statistische Auswertung?

Abschätzung der Fehler/Repräsentanz

Soll-Zustand

Im Rahmen der C-Inventare werden konkrete Angaben zur statistischen Repräsentanz der Daten gefordert (Marrakesch-Beschluss). Aber auch zur Bewertung der anderen Ergebnisse ist eine umfassende statistische Analyse bzw. eine Abschätzung der Fehler erforderlich.

Ist-Zustand

Es ist bekannt, dass sich bei einem solchen Großvorhaben an verschiedenen Stellen Fehler entstehen, die sich fortsetzen (können) und deren Kenntnis für die Interpretation der Ergebnisse von zentraler Bedeutung ist. Mögliche Fehler:

- Stichprobenfehler
- Fehler bei der Probennahme/Beprobung
- Vertauschung/Verwechslung während Transport/Lagerung
- Laborfehler
- Analyse-/Messfehler
- Berechnungsfehler etc.

Bislang liegen zu dieser Fragestellung keine Untersuchungen/Vorschläge vor. Lediglich für die Qualitätssicherung der Laboranalytik gibt es bisher einen Ansatz mit den laufenden bzw. vorgesehenen Ringanalysen.

Frage

Welche Fehler treten bei der BZE auf und sind bei der Auswertung/Interpretation zu beachten? Welche Größenordnungen können diese Fehler erreichen?

Lassen sich Fehler und evtl. kleinräumig bedingte Varianz (s.o.) von zeitlichen Veränderungen abgrenzen?

Fehlerkorrektur

Soll-Zustand

Die Länder sollen im Rahmen der BZE II vollständige und plausible Datensätze erzeugen und an die BZE-Datenbank des Bundes weiterleiten.

Ist-Zustand

Die Erfahrung zeigt, dass die o.g. Forderung auch bei bestmöglicher Vorbereitung nicht immer erfüllt wird. Um die damit verbundene Mehrarbeit und Datenunsicherheit zu minimieren, sollen Dateneingabemasken und automatisierte Plausibilitätsprüfungen eingesetzt werden.

Trotzdem wird es zu Fehldaten kommen, weil z.B. bestimmte Analysen nicht zu verwertbaren Ergebnisse geführt haben oder weil sie – da nur fakultativ vorgesehen – nicht durchgeführt wurden.

Damit auch in solchen Fällen auf Bundesebene Auswertungen möglich sind, werden Verfahren benötigt, wie mit Fehlwerten umzugehen ist. Für manche Fragestellungen bestehen z.B. umfangreiche Datenquellen, aus denen sich Transferfunktionen ableiten lassen.

Frage

Wie soll im Rahmen der Auswertung verfahren werden mit evtl. fehlenden bzw. erkennbar unplausiblen Angaben?

Können Fehlwerte über Transferfunktionen ergänzt werden?

Definition der Primärauswertung

Die Primärauswertung ist im Grundsatz zu definieren. Anforderungen an die Primärauswertung sind so aufzubereiten, dass diese bei der Entwicklung der BZE-Datenbank bzw. bei der Arbeitsanleitung der BZE II berücksichtigt werden können.

Möglichkeiten für Sekundärauswertungen sind zu skizzieren.

Es sind die zulässigen statistischen Verfahren zu beschreiben.

Anhang B

Fragebögen

Thomas Riedel

Tabelle B.1: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (A)

Para- meter	Schleswig Holstein				Niedersachsen				Nordrhein-Westfalen			
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d
allg.					ja				ja			
pH(H2O)		2311000000	1000000	1100020		1300620000	1000000	1100220		396620000	1000000	1100220
pH(KCl)		2311000000	3000000	1100020		1300620000	3000000	1100220		396620000	3000000	1100220
pH(CaCl2)												
Org. C		2311000000	300700	1900000		1300623300	0	812410		396625600	0	815400
N		2311000000	110900	1022990		1300623300	0	812410		396625600	60400	1029990
K		2311002300	51000000	112000		1300623300	53000000	411000		396625600	160601	412000
Mg		2311002300	51000000	112100		1300623300	53000000	411001		396625600	160601	412000
								411000				
Ca		2311002300	51000000	122000		1300623300	53000000	411002		396625600	160601	412001
								411001				
Mn		2311002300	51000000	112100		1300623300	53000000	411000		396625600	160601	412000
Al		2311002300	51000000	122100		1300623300	53000000	411001		396625600	160601	412000
								411000				
Fe		2311002300	51000000	112900		1300623300	53000000	411000		396625600	160601	412000
								411005				
P		2311002300	51000000	918302		1300623300	53000000	411000		396625600	160601	412000
Pb		2311002300	51000000	112101		1300623300	53000000	214160		396625600	160601	412000
Cu		2311002300	51000000	112000		1300623300	53000000	212100		396625600	160601	412020
Zn		2311002300	51000000	112900		1300623300	53000000	411001		396625600	160601	412061
Cd		2311002300	51000000	112100		1300623300	53000000	214160		396625600	160601	214270
S						1300623300	53000000	411000		396625600	160601	412032
Hg												
Cr										396625600	160601	412001
Co												
Ni										396625600	160601	412000
AKe												
Na ⁺												
K ⁺												
Ca ²⁺												
Mg ²⁺												
Al ³⁺												
Fe ³⁺												
Mn ²⁺												
H ⁺												

^a Wurden Grünanteile entfernt?^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^d Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.2: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (B)

Parameter	Rheinland-Pfalz				Brandenburg				Mecklenburg-Vorpommern			
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d
allg.												
pH(H2O)		6130220000	2000000	1122000		1200220000	1000000	1100020		1200220000	1000000	1100020
pH(KCl)		6130220000	4000000	1122000		1200220000	3000000	1100020		1200220000	3000000	1100020
pH(CaCl2)		6130220000	7000000	1122000								
Org. C		6130220000	0	812410		1200224100	91900	9900000		1200224100	91900	9900000
N		6130220000	0	812410		1200224100	100400	910109		1200224100	100400	910109
K		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	112100		1200223300	190902	112100
Mg		6130220000	52191102	412002		1200223300	190902	112120		1200223300	190902	112120
						1200223300	190902	112120		1200223300	190902	112120
Ca		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	112101		1200223300	190902	112101
						1200223300	190902	122100		1200223300	190902	122100
Mn		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	112100		1200223300	190902	112100
Al		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	120116		1200223300	190902	120116
						1200223300	190902	112100		1200223300	190902	112100
Fe		6130220000	52191102	412009		1200223300	190902	112100		1200223300	190902	112100
						1200223300	190902	112100		1200223300	190902	112100
P		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	212100		1200223300	190902	212100
Pb		6130220000	52191102	412000		1200223300	190902	1900000		1200223300	190902	1900000
Cu		6130220000	52191102	412000								
Zn		6130220000	52191102	412000								
Cd		6130220000	52191102	214260								
S		6130220000	52191102	412003								
Hg												
Cr		6130220000	52191102	412000								
Co		6130220000	52191102	412000								
Ni		6130220000	52191102	412000								
AKe												
Na ⁺												
K ⁺												
Ca ²⁺												
Mg ²⁺												
Al ³⁺												
Fe ³⁺												
Mn ²⁺												
H ⁺												

^a Wurden Grünanteile entfernt?

^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)

^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)

^d Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.3: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE I (C)

Para- meter	Sachsen-Anhalt				Thüringen							
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d
allg.					unbekannt							
pH(H2O)		1200220000	1000000	1100020		1312220000	1000000	1100000				
pH(KCl)		1200220000	3000000	1100020		1312220000	3000000	1100000				
pH(CaCl2)						1312220000	6000000	1100000				
Org. C	1200224100		91900	9900000		1312220000		819400				
N	1200224100		100400	910109		1312220000		812410				
K	1200223300		190902	112100		1312220000	52000000	411000				
Mg	1200223300		190902	112120		1312220000	52000000	411000				
	1200223300		190902	112120		1312220000	52000000	411000				
Ca	1200223300		190902	112101		1312220000	52000000	411000				
	1200223300		190902	122100		1312220000	52000000	411001				
Mn	1200223300		190902	112100		1312220000	52000000	411003				
Al	1200223300		190902	120116		1312220000	52000000	411001				
	1200223300		190902	112100		1312220000	52000000	112100				
Fe	1200223300		190902	112100		1312220000	52000000	112100				
	1200223300		190902	112100		1312220000	52000000	112100				
P	1200223300		190902	212100		1312220000	52000000	214230				
Pb	1200223300		190902	1900000		1312220000	52000000	411001				
Cu						1312220000	52000000	311000				
Zn						1312220000	52000000	122100				
Cd												
S						1312220000	52000000	112101				
Hg						1312220000	11000000					
Cr						1312220000	11000000	411000				
Co						1312220000	11000000	411000				
Ni						1312220000	11000000	411000				
AKe						1312220000	11000000	411001				
Na ⁺						1312220000	11000000	411002				
K ⁺						1312220000	11000000	411000				
Ca ²⁺						1312220000	11000000	411000				
Mg ²⁺						1312220000	11000000	1100000				
Al ³⁺												
Fe ³⁺												
Mn ²⁺												
H ⁺												

^a Wurden Grünanteile entfernt?^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^d Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.4: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (A)

Para- meter	1 ^a	Schleswig Holstein			4 ^d	1 ^a	Niedersachsen			4 ^d	1 ^a	Nordrhein-Westfalen			4 ^d
	2 ^b	3 ^c					2 ^b	3 ^c				2 ^b	3 ^c		
allg.						ja					ja				
pH(H_2O)	2312420000	2000000		1100240			2300620000	2000000	1100220			311620000	2000000	1100220	
pH(KCl)	2312420000	4000000		1100240			2300620000	4000000	1100220			311620000	4000000	1100220	
pH($CaCl_2$)	2312420000	7000000		1100240			2300620000	7000000	1100220			311620000	7000000	1100220	
Org C	2312420000	0		811310			2300623300	0	812590			311625600	0	812410	
N	2312420000	0		812580			2300623300	0	812590			311625600	0	812410	
K	2312423300	52000000	0411100	0511100			2300623300	52000000	412000			311625600	52000000	412000	
Mg	2312423300	52000000	0411106	0511101			2300623300	52000000	412202			311625600	52000000	412002	
									412200						
Ca	2312423300	52000000	0411107	0511100			2300623300	52000000	412201			311625600	52000000	412001	
									412203						
Mn	2312423300	52000000	0411101	0511100			2300623300	52000000	412203			311625600	52000000	412000	
									412201						
Al	2312423300	52000000	0411100	0511100			2300623300	52000000	412000			311625600	52000000	422004	
									412006						
Fe	2312423300	52000000	0411108	0511100			2300623300	52000000	412207			311625600	52000000	422002	
									412201						
P	2312423300	52000000	0411105	0511100			2300623300	52000000	412201			311625600	52000000	422011	
Pb	2312423300	52000000	0411100	0511106			2300623300	52000000	412290			311625600	52000000	422000	
Cu	2312423300	52000000	0411101	0511101			2300623300	52000000	412050			311625600	52000000	422002	
Zn	2312423300	52000000	0411101	0511102			2300623300	52000000	412241			311625600	52000000	422061	
Cd	2312423300	52000000	0411162	0511101			2300623300	52000000	412210			311625600	52000000	212270	
S	2312423300	52000000		411100			2300623300	52000000	412209			311625600	52000000	422000	
Hg												311625600	52000000	2000000	
Cr	2312423300	52000000	0411171	0511100			2300623300	52000000	41220			311625600	52000000	422000	
Co	2312423300	52000000	0411180	0511100			2300623300	52000000	412210			311625600	52000000	422001	
Ni	2312423300	52000000	0411110	0511100			2300623300	52000000	412200			311625600	52000000	422000	
AKe	2312420000	19000000					2300620000	19000000							
Na^+	2312420000	19000000		421000			2300620000	19000000	412000			311620000	19000000	411001	
K^+	2312420000	19000000		421001			2300620000	19000000	412000			311620000	19000000	411000	
Ca^{2+}	2312420000	19000000		421000			2300620000	19000000	412201			311620000	19000000	411009	
Mg^{2+}	2312420000	19000000		421000			2300620000	19000000	412002			311620000	19000000	411002	
Al^{3+}	2312420000	19000000		421001			2300620000	19000000	412000			311620000	19000000	411009	
Fe^{3+}	2312420000	19000000		421000			2300620000	19000000	412201			311620000	19000000	411009	
Mn^{2+}	2312420000	19000000		421005			2300620000	19000000	412203			311620000	19000000	411009	
H^+	2312420000	19000000		1100240			2300620000	19000000	1100220			311620000	19000000	1100220	

^a Wurden Grünanteile entfernt?^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^d Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.5: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (B)

Para- meter	1 ^a	Rheinland-Pfalz			1 ^a	Saarland			1 ^a	Brandenburg		
		2 ^b	3 ^c	4 ^d		2 ^b	3 ^c	4 ^d		2 ^b	3 ^c	4 ^d
allg.												
pH(H_2O)		2230620000	2000000	1122000		1200220000	2000000	1100110		2312620000	2000000	1102220
pH(KCl)		2230620000	4000000	1122000		1200220000	4000000	1100110		2312620000	4000000	1102220
pH($CaCl_2$)		2230620000	7000000	1122000		1200220000	7000000	1100110		2312620000	7000000	1102220
Org C		2230620000	0	812410		1200223200	50000	811110		2312623300	0	812510
N		2230620000	0	812410		1200223200	50000	812410		2312623300	0	812510
K		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412000
Mg		2230620000	52191102	412002		1200220000	52000000	411001		2312623300	52000000	412002
Ca		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412001
Mn		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412001
Al		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412001
Fe		2230620000	52191102	412009		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412000
P		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412000
Pb		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	521200		2312623300	52000000	412000
Cu		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411001		2312623300	52000000	412000
Zn		2230620000	52191102	412000		1200220000	52000000	411000		2312623300	52000000	412001
Cd		2230620000	52191102	214260		1200220000	52000000	521210		2312623300	52000000	412002
S		2230620000	52191102	412003						2312623300	52000000	412000
Hg												
Cr		2230620000	52191102	412000						2312623300	52000000	412001
Co		2230620000	52191102	412000						2312623300	52000000	412000
Ni		2230620000	52191102	412000						2312623300	52000000	412000
AKe										2312620000	19000000	
Na^+		2230620000	19000000	412000		1200220000	19000000	411000		2312620000	19000000	412000
K^+		2230620000	19000000	412000		1200220000	19000000	411000		2312620000	19000000	412000
Ca^{2+}		2230620000	19000000	412001		1200220000	19000000	411006		2312620000	19000000	412001
Mg^{2+}		2230620000	19000000	412002		1200220000	19000000	411002		2312620000	19000000	412000
Al^{3+}		2230620000	19000000	412000		1200220000	19000000	411000		2312620000	19000000	412001
Fe^{3+}		2230620000	19000000	412001		1200220000	19000000	411000		2312620000	19000000	412000
Mn^{2+}		2230620000	19000000	412000		1200220000	19000000	411000		2312620000	19000000	412000
H^+		2230620000	19000000	1122020		1200220000	19000000	1100110		2312620000	19000000	0

^a Wurden Grünanteile entfernt?^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^d Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.6: Labormethoden HUMUS zum Zeitpunkt der BZE II (C)

Para- meter	Mecklenburg-Vorpommern				Sachsen-Anhalt				Thüringen			
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d	1 ^a	2 ^b	3 ^c	4 ^d
allg.					ja				ja			
pH(H_2O)		312620000	2000000	1102220		2300620000	2000000	1100220		1212220000	2000000	1100000
pH(KCl)		312620000	4000000	1102220		2300620000	4000000	1100220		1212220000	4000000	1100000
pH($CaCl_2$)		312620000	7000000	1102220		2300620000	7000000	1100220		1212220000	7000000	1100000
Org C		312623300	0	812510		2300623300	0	812590		1212220000	-	812480
N		312623300	0	812510		2300623300	0	812590		1212220000	-	812480
K		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412000		1212220000	5200000	411000
Mg		312623300	52000000	412002		2300623300	52000000	412202		1212220000	5200000	411000
								412200				
Ca		312623300	52000000	412001		2300623300	52000000	412201		1212220000	5200000	411000
								412203				
Mn		312623300	52000000	412001		2300623300	52000000	412203		1212220000	5200000	411000
								412201				
Al		312623300	52000000	412001		2300623300	52000000	412000		1212220000	5200000	411001
								412006				
Fe		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412207		1212220000	5200000	411003
								412201				
P		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412201		1212220000	5200000	411001
Pb		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412290		1212220000	5200000	112100
Cu		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412050		1212220000	5200000	112100
Zn		312623300	52000000	412001		2300623300	52000000	412241		1212220000	5200000	112100
Cd		312623300	52000000	412002		2300623300	52000000	412210		1212220000	5200000	214230
S		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412209		1212220000	5200000	411001
Hg										1212220000	5200000	311000
Cr		312623300	52000000	412001		2300623300	52000000	41220		1212220000	5200000	122100
Co		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412210		-	-	-
Ni		312623300	52000000	412000		2300623300	52000000	412200		1212220000	5200000	112101
AKe		312620000	19000000			2300620000	19000000			1212220000	19000000	
Na^+		312620000	19000000	412000		2300620000	19000000	412000		1212220000	19000000	411000
K^+		312620000	19000000	412000		2300620000	19000000	412000		1212220000	19000000	411000
Ca^{2+}		312620000	19000000	412001		2300620000	19000000	412201		1212220000	19000000	411000
Mg^{2+}		312620000	19000000	412000		2300620000	19000000	412002		1212220000	19000000	411001
Al^{3+}		312620000	19000000	412001		2300620000	19000000	412000		1212220000	19000000	411002
Fe^{3+}		312620000	19000000	412000		2300620000	19000000	412201		1212220000	19000000	411000
Mn^{2+}		312620000	19000000	412000		2300620000	19000000	412203		1212220000	19000000	411000
H^+		312620000	19000000	0		2300620000	19000000	1100220		1212220000	19000000	1100000

^a Wurden Grünanteile entfernt?^b Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^c Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^d Welche Analyseverfahren wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.7: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (A)

Para- meter	Schleswig Holstein			Niedersachsen			Nordrhein-Westfalen		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c
pH(H_2O)	2230620000	1000000	1100020	1200620000	1000000	1100220	235620000	1000000	1100220
pH(KCl)	2230620000	3000000	1100020	1200620000	3000000	1100220	235620000	3000000	1100220
pH($CaCl_2$)									
Org C	223066700	91900	9900000	1200623300	0	812410	235624500	0	815400
N	223062000	1010900	1022990	1200623300	0	812410	235624500	60400	1029990
K							235624500	160601	412000
Mg							235624500	160601	412000
Ca							235624500	160601	412001
Mn							235624500	160601	412000
Al							235624500	160601	412000
Fe							235624500	160601	412000
P	2230622300	53000000	918302	1200623300	53000000	411000	235624500	160601	412000
Pb							235624500	160601	214270
Cu							235624500	160601	214270
Zn							235624500	160601	412061
Cd							235624500	160601	214270
S				1200623300	53000000	411000	235624500	160601	412032
Hg									
Cr							235624500	160601	412001
Co									
Ni							235624500	160601	412000
Ake	2230620000	16000000	122009	1200620000	11000000				
Na^+	2230620000	16000000	112000	1200620000	11000000	112011	235620000	11000000	411001
K^+	2230620000	16000000	112000	1200620000	11000000	112011	235620000	11000000	411000
Ca^{2+}	2230620000	16000000	122000	1200620000	11000000	112020	235620000	11000000	411001
Mg^{2+}	2230620000	16000000	112100	1200620000	11000000	112020	235620000	11000000	411002
Al^{3+}	2230620000	16000000	122100	1200620000	11000000	122010	235620000	11000000	411001
Fe^{3+}	2230620000	16000000	11200	1200620000	11000000	112000	235620000	11000000	411000
Mn^{2+}	2230620000	16000000	112100	1200620000	11000000	112000	235620000	11000000	411000
H^+	2230620000	16000000	1100020	1200620000	11000000	1100220	235620000	11000000	1100120
AKt				1200620000	12000000		235620000	12000000	0411000
Na^+				1200620000	12000000	112011	235620000	12000000	411001
K^+				1200620000	12000000	112011	235620000	12000000	411000
Ca^{2+}				1200620000	12000000	112020	235620000	12000000	411001
Mg^{2+}				1200620000	12000000	112020	235620000	12000000	411002
Al^{3+}									
Fe^{3+}									
Mn^{2+}									
H^+									

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.8: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (B)

Para- meter	Rheinland-Pfalz			Mecklenburg-Vorpommern			Brandenburg		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c
pH(H_2O)	6135220000	2000000	1122000	1300220000	1000000	1100020	1300220000	1000000	1100020
pH(KCl)	6135220000	4000000	1122000	1300220000	3000000	1100020	1300220000	3000000	1100020
pH($CaCl_2$)	6135220000	7000000	1122000						
Org C	6135220000	0	08xxxxx	1300224100	91900	9900000	1300224100	91900	9900000
N	6135220000	0	08xxxxx	1300224100	100406	910109	1300224100	100406	910109
K									
Mg									
Ca									
Mn									
Al									
Fe									
P	6135220000	53140202	25xxxxx	1300223300	450804	920116	1300223300	990804	920116
Pb									
Cu									
Zn									
Cd									
S									
Hg									
Cr									
Co									
Ni									
Ake				1300220000	11000000		1300220000	11000000	
Na^+	6135220000	11341000	01xxxxx	1300220000	11000000	412000	1300220000	11000000	412000
K^+	6135220000	11341000	01xxxxx	1300220000	11000000	412000	1300220000	11000000	412000
Ca^{2+}	6135220000	11341000	01xxxxx	1300220000	11000000	412001	1300220000	11000000	412001
Mg^{2+}	6135220000	11341000	01xxxxx	1300220000	11000000	412000	1300220000	11000000	412000
Al^{3+}	6135220000	11341000	25xxxxx	1300220000	11000000	412001	1300220000	11000000	412001
Fe^{3+}	6135220000	11341000	25xxxxx	1300220000	11000000	412000	1300220000	11000000	412000
Mn^{2+}	6135220000	11341000	01xxxxx	1300220000	11000000	412000	1300220000	11000000	412000
H^+	6135220000	11341000	11xxxxx	1300220000	11000000	0	1300220000	11000000	0
AKt									
Na^+									
K^+									
Ca^{2+}									
Mg^{2+}									
Al^{3+}									
Fe^{3+}									
Mn^{2+}									
H^+									

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.9: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE I (C)

Para- meter	Sachsen-Anhalt			Thüringen			1 ^a	2 ^b	3 ^c
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c			
pH(H_2O)	1300220000	1000000	1100020	1299220000	1000000	1100000			
pH(KCl)	1300220000	3000000	1100020	1299220000	3000000	1100000			
pH($CaCl_2$)				1299220000	6000000	1100000			
Org C	1300224100	91900	9900000	1299220000		819400			
N	1300224100	100406	910109	1299220000		812410			
K				1299220000	52000000	411000			
Mg				1299220000	52000000	411000			
Ca				1299220000	52000000	411000			
Mn				1299220000	52000000	411000			
Al				1299220000	52000000	411001			
Fe				1299220000	52000000	411003			
P	1300223300	450804	920116	1299220000	52000000	411001			
Pb				1299220000	52000000	112100			
Cu				1299220000	52000000	112100			
Zn				1299220000	52000000	112100			
Cd				1299220000	52000000	214230			
S				1299220000	52000000	411001			
Hg				1299220000	52000000	311000			
Cr				1299220000	52000000	122100			
Co									
Ni				1299220000	52000000	112101			
Ake	1300220000	11000000		1299220000	11000000				
Na^+	1300220000	11000000	412000	1299220000	11000000	411000			
K^+	1300220000	11000000	412000	1299220000	11000000	411000			
Ca^{2+}	1300220000	11000000	412001	1299220000	11000000	411000			
Mg^{2+}	1300220000	11000000	412000	1299220000	11000000	411001			
Al^{3+}	1300220000	11000000	412001	1299220000	11000000	411002			
Fe^{3+}	1300220000	11000000	412000	1299220000	11000000	411000			
Mn^{2+}	1300220000	11000000	412000	1299220000	11000000	411000			
H^+	1300220000	11000000	0	1299220000	11000000	1100000			
AKt				1299220000	12000000				
Na^+				1299220000	12000000	411000			
K^+				1299220000	12000000	411000			
Ca^{2+}				1299220000	12000000	411000			
Mg^{2+}				1299220000	12000000	411001			
Al^{3+}									
Fe^{3+}									
Mn^{2+}									
H^+									

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.10: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (A)

Para- meter	Schleswig Holstein			Niedersachsen			Nordrhein-Westfalen		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c
pH(H_2O)	2312420000	2000000	1100240	2200620000	2000000	1100220	235620000	2000000	1100220
pH(KCl)	2312420000	4000000	1100240	2200620000	4000000	1100220	235620000	4000000	1100220
pH($CaCl_2$)	2312420000	7000000	1100240	2200620000	7000000	1100220	235620000	7000000	1100220
Org C	2312420000	0	811310	2200623300	0	812590	235623200	0	812410
N	2312420000	0	812580	2200623300	0	812590	235623200	0	812410
K	2312423300	52000000	0411100 0511100				235623200	52000000	412000
Mg	2312423300	52000000	0411106 0511101				235623200	52000000	412002
Ca	2312423300	52000000	0411107 0511100				235623200	52000000	412001
Mn	2312423300	52000000	0411101 0511100				235623200	52000000	412000
Al	2312423300	52000000	0411100 0511100				235623200	52000000	422004
Fe	2312423300	52000000	0411108 0511100				235623200	52000000	422002
P	2312423300	52000000	0411105 0511100				235623200	52000000	422011
Pb	2312423300	52000000	0411100 0511106				235623200	52000000	422000
Cu	2312423300	52000000	0411101 0511101				235623200	52000000	422002
Zn	2312423300	52000000	0411101 0511102				235623200	52000000	422061
Cd	2312423300	52000000	0411162 0511101				235623200	52000000	212270
S	2312423300	52000000	4111100				235623200	52000000	422000
Hg	2312423300	52000000					235623200	52000000	2000000
Cr	2312423300	52000000	0411171 0511100				235623200	52000000	422000
Co	2312423300	52000000	0411180 0511100				235623200	52000000	422001
Ni	2312423300	52000000	0411110 0511100				235623200	52000000	422000
Ake	2230620000	11000000		2200620000	30000000				
Na^+	2230620000	11000000	421000	2200620000	30000000	412000	235620000	11000000	411000
K^+	2230620000	11000000	421001	2200620000	30000000	412000	235620000	11000000	411000
Ca^{2+}	2230620000	11000000	421000	2200620000	30000000	412201	235620000	11000000	411009
Mg^{2+}	2230620000	11000000	421000	2200620000	30000000	412002	235620000	11000000	411009
Al^{3+}	2230620000	11000000	421001	2200620000	30000000	412000	235620000	11000000	411009
Fe^{3+}	2230620000	11000000	421000	2200620000	30000000	412201	235620000	11000000	411009
Mn^{2+}	2230620000	11000000	421005	2200620000	30000000	412203	235620000	11000000	411009
H^+	2230620000	11000000	1100240	2200620000	30000000	1100220	235620000	11000000	1100220
AKt	2230620000	12000000		2200620000	31000000		235620000	12000000	0411009
Na^+	2230620000	12000000	421000	2200620000	31000000	412001	235620000	12000000	411009
K^+	2230620000	12000000	421001	2200620000	31000000	412000	235620000	12000000	411000
Ca^{2+}	2230620000	12000000	421000	2200620000	31000000	412001	235620000	12000000	411009
Mg^{2+}	2230620000	12000000	421000	2200620000	31000000	412002	235620000	12000000	411009
Al^{3+}	2230620000	12000000	421001						
Fe^{3+}	2230620000	12000000	421000						
Mn^{2+}	2230620000	12000000	421005						
H^+	2230620000	12000000	1100240						

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analyseverfahren wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.11: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (B)

Para- meter	Rheinland-Pfalz			Saarland			Brandenburg		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c
pH(H_2O)	2135620000	2000000	1122000	1100220000	2000000	1100000	1200620000	2000000	1102220
pH(KCl)	2135620000	4000000	1122000	1100220000	4000000	1100000	1200620000	4000000	1102220
pH($CaCl_2$)	2135620000	7000000	1122000	1100220000	7000000	1100000	1200620000	7000000	1102220
Org C	2135620000	0	812410	1100000000	0	811110	1200623300	0	812510
N	2135620000	0	812410	1100000000	0	811110	1200623300	0	812510
K	2135623300	52000000	416100	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412000
Mg	2135623300	52000000	416106	1100223200	52190602	411002	1200623300	52000000	412002
Ca	2135623300	52000000	416106	1100223200	52190602	411006	1200623300	52000000	412001
Mn	2135623300	52000000	416101	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412001
Al	2135623300	52000000	421100	1100223200	52190602	411001	1200623300	52000000	412001
Fe	2135623300	52000000	416106				1200623300	52000000	412000
P	2135623300	52000000	426119	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412000
Pb	2135623300	52000000	112100	1100223200	52190602	511200	1200623300	52000000	412000
Cu	2135623300	52000000	426100	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412000
Zn	2135623300	52000000	426101	1100223200	52190602	411001	1200623300	52000000	412001
Cd	2135623300	52000000	214230	1100223200	52190602	511211	1200623300	52000000	412002
S	2135623300	52000000	426103				1200623300	52000000	412000
Hg	2135623300	52000000	311000	1100223200	52190602	311010			
Cr	2135623300	52000000	112100	1100223200	52190602	411001	1200623300	52000000	412001
Co	2135623300	52000000	112100	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412000
Ni	2135623300	52000000	112100	1100223200	52190602	411000	1200623300	52000000	412000
Ake							1200620000	11000000	
Na^+	2135620000	11000000	412000	1100220000	11000000	411000	1200620000	11000000	412000
K^+	2135620000	11000000	412000	1100220000	11000000	411000	1200620000	11000000	412000
Ca^{2+}	2135620000	11000000	412001	1100220000	11000000	411006	1200620000	11000000	412001
Mg^{2+}	2135620000	11000000	412002	1100220000	11000000	411002	1200620000	11000000	412000
Al^{3+}	2135620000	11000000	412000	1100220000	11000000	411001	1200620000	11000000	412001
Fe^{3+}	2135620000	11000000	412001	1100220000	11000000	411001	1200620000	11000000	412000
Mn^{2+}	2135620000	11000000	412000	1100220000	11000000	411000	1200620000	11000000	412000
H^+	2135620000	11000000	1122020	1100220000	11000000	1100000	1200620000	11000000	0
AKt							1200620000	12000000	
Na^+	2135620000	12000000	412000	1100220000	12000000	411000	1200620000	12000000	412000
K^+	2135620000	12000000	412000	1100220000	12000000	411000	1200620000	12000000	412000
Ca^{2+}	2135620000	12000000	412001	1100220000	12000000	411006	1200620000	12000000	412001
Mg^{2+}	2135620000	12000000	412002	1100220000	12000000	411002	1200620000	12000000	412000
Al^{3+}	2135620000	12000000	412000				1200620000	12000000	412001
Fe^{3+}	2135620000	12000000	412001				1200620000	12000000	412000
Mn^{2+}	2135620000	12000000	412000				1200620000	12000000	412000
H^+	2135620000	12000000	1122020				1200620000	12000000	0

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Tabelle B.12: Labormethoden Mineralboden zum Zeitpunkt der BZE II (C)

Parameter	Mecklenburg-Vorpommern			Sachsen-Anhalt			Thüringen		
	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c	1 ^a	2 ^b	3 ^c
pH(H_2O)	200620000	2000000	1102220	2200620000	2000000	1100220	1212220000	2000000	1100000
pH(KCl)	200620000	4000000	1102220	2200620000	4000000	1100220	1212220000	4000000	1100000
pH($CaCl_2$)	200620000	7000000	1102220	2200620000	7000000	1100220	1212220000	7000000	1100000
Org C	200623300	0	812510	2200623300	0	812590	1212220000		812480
N	200623300	0	812510	2200623300	0	812590	1212220000		812480
K	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	411000
Mg	200623300	52000000	412002				1212220000	5200000	411000
Ca	200623300	52000000	412001				1212220000	5200000	411000
Mn	200623300	52000000	412001				1212220000	5200000	411000
Al	200623300	52000000	412001				1212220000	5200000	411001
Fe	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	411003
P	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	411001
Pb	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	112100
Cu	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	112100
Zn	200623300	52000000	412001				1212220000	5200000	112100
Cd	200623300	52000000	412002				1212220000	5200000	214230
S	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	411001
Hg							1212220000	5200000	311000
Cr	200623300	52000000	412001				1212220000	5200000	122100
Co	200623300	52000000	412000						
Ni	200623300	52000000	412000				1212220000	5200000	112101
Ake	200620000	11000000		2200620000	30000000		1212220000	11000000	
Na^+	200620000	11000000	412000	2200620000	30000000	412000	1212220000	11000000	411000
K^+	200620000	11000000	412000	2200620000	30000000	412000	1212220000	11000000	411000
Ca^{2+}	200620000	11000000	412001	2200620000	30000000	412201	1212220000	11000000	411000
Mg^{2+}	200620000	11000000	412000	2200620000	30000000	412002	1212220000	11000000	411001
Al^{3+}	200620000	11000000	412001	2200620000	30000000	412000	1212220000	11000000	411002
Fe^{3+}	200620000	11000000	412000	2200620000	30000000	412201	1212220000	11000000	411000
Mn^{2+}	200620000	11000000	412000	2200620000	30000000	412203	1212220000	11000000	411000
H^+	200620000	11000000	0	2200620000	30000000	1100220	1212220000	11000000	1100000
AKt	200620000	12000000		2200620000	31000000		1212220000	12000000	
Na^+	200620000	12000000	412000	2200620000	31000000	412001	1212220000	12000000	411000
K^+	200620000	12000000	412000	2200620000	31000000	412000	1212220000	12000000	411000
Ca^{2+}	200620000	12000000	412001	2200620000	31000000	412001	1212220000	12000000	411000
Mg^{2+}	200620000	12000000	412000	2200620000	31000000	412002	1212220000	12000000	411001
Al^{3+}	200620000	12000000	412001				1212220000		
Fe^{3+}	200620000	12000000	412000				1212220000		
Mn^{2+}	200620000	12000000	412000				1212220000		
H^+	200620000	12000000	0				1212220000		

^a Die Vorbereitung erfolgte nach HFA-Nummer (HFA-Code 10-stellig)^b Welche Aufschlußart wurde nach HFA gewählt? (HFA-Code 8-stellig)^c Welche Analysemethode wurde nach HFA angewandt? (HFA-Code 7-stellig)

Anhang C

Metaanalyse

Karl Heinz Mellert

C.1 Fundierung der Szenarien durch Studienergebnisse

C.1.1 Einleitung

Im Rahmen der Probenahme-Simulationen werden 9 Grundtypen von Zufallsfeldern (siehe Präsentation vom 27.02.07) untersucht:

- 3 Korrelationslängen
- 3 Signal-Rauschen Verhältnisse (Nugget).

Vorliegenden Auswertung basiert auf Ergebnisse der Projektpartner aus Eberswalde (EW) und aus Freiburg (FB). Die Daten der Partner dienen hierbei dazu, die Probenahme-Szenarien auf reale Bodenverhältnisse abzustimmen. Insbesondere wird die Frage untersucht, wie häufig bestimmte Typen von räumlichen Eigenschaften von Böden sind. Hierbei gilt es, festzustellen, welche Typen auszuscheiden sind und wie häufig diese Typen in der Natur sind.

C.1.2 Methode

C.1.2.1 Datenaufbereitung

- Die Daten der Partner aus Eberswalde (EW) und aus Freiburg (FB) wurden in eine gemeinsame Tabelle zusammengeführt
- Es wurden nur die im Protokoll vom 1. Meeting festgelegten Bodenparameter ausgewertet
- Beim pH wurde nur zwischen pH(H₂O) und pH(Salzextrakt) unterschieden
- Die Tiefenstufen wurde 10 cm-weise zusammen gefasst

Zielgrößen der Auswertung sind Range und Nugget der relativen Variogramme Gruppenvariablen: Bodenparameter; Herkunft (EW, FB); Tiefenstufe; Die Gruppenvariable „Herkunft“ beschreibt die Daten der Partner aus Eberswalde (EW) und aus Freiburg (FB). Diese Unterteilung ist notwendig, um die z.T. unterschiedliche Behandlung der Daten (bzw. deren unterschiedliche

Natur) Rechnung zu tragen. Desweiteren dient sie einer Stratifizierung in Flachland- und Mittelgebirgsstandorte. Diese Stratifizierung wird für die Einbeziehung der Ergebnisse ins Fehlerbudget angestrebt.

C.1.2.2 Vorbemerkungen

Zum Zeitpunkt der Auswertung lagen Daten von EW für 7 Tiefenstufen und von FB nur von 1 Tiefenstufe (0-5 cm) vor. Die Daten aus FB wurden mit wenigen Ausnahmen Log (oder Wurzel-)Transformiert und es wurde eine Ausreisserbereinigung durchgeführt. Die Daten aus EW wurden nicht transformiert, aber es wurde eine Ausreisserbereinigung durchgeführt. Bei der Festlegung der zu untersuchenden Grundtypen von Zufallsfeldern wurden DS ohne räumliche Autokorrelation nicht berücksichtigt, da die Szenarien auf räumlich autokorrelierte DS abzielen (bei nicht autokorrelierten DS kann sich kein systematischer Effekt der Beprobungsvarianten ergeben).

C.1.2.3 Vorgehensweise

Zur Festlegung der Eingangswerte für die Szenarien wurden die DS der Partner deskriptiv (Perzentile, Boxplots) ausgewertet. Mittels ANOVA wurde untersucht, inwieweit sich die Werte von Range und Nugget innerhalb der Gruppen signifikant unterscheiden. Zunächst wurden alle DS (Datensätze) in einer überblickenden Auswertung zusammen gefasst. In einem 2. Schritt wurden transformierte und nicht transformierte DS getrennt.

C.1.3 Ergebnisse

C.1.3.1 Range

Da die Ranges insgesamt sehr stark streuen, wurde untersucht, innerhalb welcher Gruppen überhaupt signifikante Unterschiede auftreten. Die Ergebnisse sind:

- Signifikante Effekte: Bodenparameter + Herkunft (EW, FB)
- Die Tiefenstufe hatte keinen sig. Effekt

In Tabelle C.1, Seite 293 sind Perzentile der Ranges nach Parameter und Herkunft aufgetragen. Auf der Basis dieser Tabelle wurde die Ranges der Szenarien neu eingeteilt.

Der kleinste Range wurde auf 2 m gesetzt, da 1 m Ranges sehr selten vorkommen. Der mittlere Range lag bei knapp 6 m; dieser Wert wird nun anstelle von 5 m für die Szenarien angesetzt. Der Range von 15 m wurde belassen. Die neuen Ranges für die Szenarien lauten also:

Klassenmitte	Klasse [m]
2	0-4
6	4-8
15	8-22

Die Auswertung der nicht transformierten DS allein erbrachte geringfügig niedrigere Ranges.

Die Berücksichtigung von Fällen ohne räumliche Autokorrelation (Abb. C.1b, Seite 293) führt v.a. bei den DS aus FB zu großen Verzerrungen, da hier entsprechende Fälle relativ häufig auftreten. Solche Fälle sind bei der Kalkulation des Fehlerbudgets zu berücksichtigen, für die Ableitung der Simulations-Szenarien sind sie jedoch - wie bereits erwähnt - nicht von Belang.

Tabelle C.1: Häufigkeit und Perzentilwerte von Ranges [m] nach Bodenparameter und Datenherkunft

		Count	Percentil 5	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 95
AKe	Ebersw	12	1,5	3	5,7	10,8	
	BS	12	3	4	5,6	6,4	
C	Freiburg	12	1,8	2	6	13,5	
	Ebersw	6	2,5	4	5,4	12,7	
C/N	Freiburg	12	3,8	6	9	14,8	
	Ebersw	6	2,3	5	7,2	10,5	
Hu	Ebersw	42	1,7	3	5,2	8	16,1
N	Ebersw	6	2,2	2	5,1	14,8	
	Freiburg	12	3,8	6	10,8	11,7	
pH(H2O)	Freiburg	12	5,7	6	8,5	11,3	
pH(KCl)	Ebersw	42	1,6	3	4,8	8,6	17,8
	Freiburg	12	2,7	5	11,2	34	
Mean			2,7	4	7	13,1	17
Median			2,4	4	5,8	11,5	17

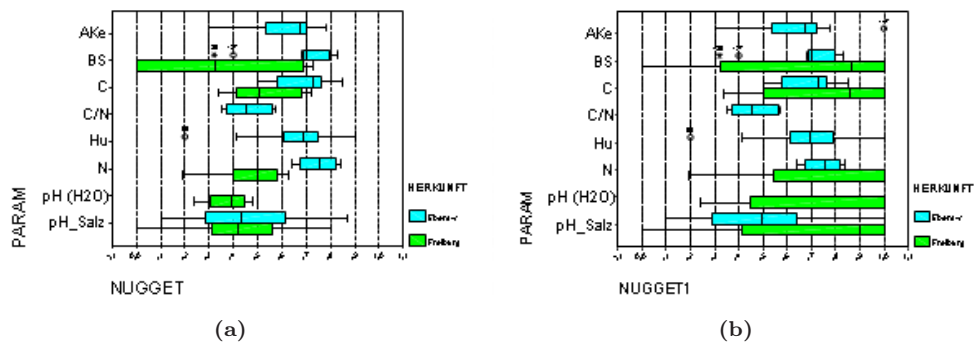


Abbildung C.1: Streuung von Nugget-Werten der Bodenparameter nach Datenherkunft (EW, FB). (a) Nur Fälle mit räumlicher Autokorrelation wurden berücksichtigt. (b) Alle Fälle wurden berücksichtigt

C.1.3.2 Nugget

Auch die Nugget-Werte schwanken insgesamt sehr stark. Die Ergebnisse der Signifikantsprüfung sind:

- Signifikante Effekte: Parameter + Herkunft
- Die Tiefenstufe hatte keinen sig. Effekt

Tabelle C.2, Seite 294 sind Perzentile der Nuggets nach Parameter und Herkunft aufgetragen.

Auf dieser Basis wurden die Nugget-Szenarien neu gesetzt. Da geringe Nuggets kaum vorkommen wurde der untere Wert von 0,125 auf 0,167 angehoben. Der Szenarien wurden nun gleichmäßig auf das Intervall [0,1] verteilt:

Klassenmitte	Klasse [m]
0,167	0-0,333
0,5	0,333-0,667

Tabelle C.2: Häufigkeit und Perzentilwerte von Nuggets [relativ] nach Bodenparameter und Datenherkunft

		Count	Valid N	Percentile 5	Percentile 25	Percentile 50	Percentile 75	Percentile 95
AKe	Ebersw	12	12	0	0,51	0,67	0,73	
BS	Ebersw	12	12	0	0,69	0,71	0,8	
	Freiburg	12	12	0	0,28	0,87	1	
C	Ebersw	6	6	1	0,56	0,72	0,78	
	Freiburg	12	12	0	0,49	0,86	1	
C/N	Ebersw	6	6	0	0,36	0,45	0,56	
Hu	Ebersw	42	42	0	0,61	0,69	0,79	0,99
N	Ebersw	6	6	1	0,66	0,75	0,82	
	Freiburg	12	12	0	0,52	1	1	
pH(H ₂ O)	Freiburg	12	12	0	0,43	1	1	
pH(KCl)	Ebersw	42	42	0	0,29	0,49	0,65	1
	Freiburg	12	12	0	0,41	0,9	1	
Mean				0	0,48	0,76	0,85	0,99
Median				0	0,5	0,74	0,81	0,99

0,67

0,667-1

C.1.3.3 Nugget x Range: Fundierung der Szenarien durch Studienergebnisse

Die vorgenommene Klassifikation führt zur in Tab. C.3, Seite 294 gegebenen Zellenbesetzung. Die farblich markierte Bereich wird durch die Szenarien abgedeckt. Bei den Varianten mit geringem Nugget (0,17) und den Ranges von 6 m und 15 m liegen weniger als 10 Fälle vor.

Tabelle C.3: Zellenbesetzung der Szenarien
Nugget x Range

Range in m	Nugget		
	0,17	0,5	0,67
Count	Count	Count	Count
alle Datensätze			
2	14	15	16
6	4	25	27
15	3	24	16
> 22	1		2
nur untransformierte Datensätze			
2	11	13	16
6	2	22	26
15	2	15	15
23			1
nur transformierte Datensätze			
2	3	2	
6	2	3	1
15	1	9	1
23	1		1

Werden nur die nicht transformierten Daten zugrunde gelegt, erhält man eine etwas andere Verteilung mit etwas weniger Fällen. Die Besetzung ist nun bei großem Rauschen am besten. Auf der Basis der transformierten Daten wird generell eine schlechtere Besetzung erreicht; Relativ

findet hier jedoch gegenüber den untransformierten DS eine Umkehrung statt. Die Zellen für geringes Rauschen sind besser besetzt als für hohes Rauschen.

Anhang D

Datenspezifikation für die Akquisition von Bodendaten

Karl Heinz Mellert

D.1 Bodendaten (Rohdaten)

D.1.1 Allgemeine Beschreibung

Daten zur kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern:

- Flächengröße $\leq 50 \times 50 \text{m}$
- räumliche Auflösung m-Skala, im Idealfall dm-Skala
- Probenahmedesign: keine Vorgaben (Transekt, Rasteraufnahme, genested, ...)

Es genügt, wenn zu einem der u.g. horizont- bzw. tiefenstufenbezogene Parametern ein entsprechender Datensatz vorliegt. Bei den übrigen Daten (Kopfdaten bzw. Standorts- /pedonbezogene Daten) werden Lücken ebenfalls toleriert!

D.1.2 Kopfdaten

Bodentyp, Standortseinheit, Wuchsgebiet, Klimadaten (Jahresniederschläge, -temperaturen), Geologie, Lage und Relief, potentiell natürliche Vegetation, Bestandesalter, Baumartenzusammensetzung, Besockungsgrad/-dichte

D.1.3 Standorts- /pedonbezogene Daten

- Humusform
- Gründigkeit des Solums, falls sich diese nicht aus der Summe der Horizontmächtigkeiten ergibt (s.u.).
- Humusmächtigkeit, falls sich diese nicht aus der Summe der Horizontmächtigkeiten ergibt (s.u.).

- C-Vorräte gesamt, sofern sich diese nicht aus der Summe der horizontbezogenen Daten ergibt (s.u.).
- N-Vorräte gesamt, sofern sich diese nicht aus der Summe der horizontbezogenen Daten ergibt (s.u.).

D.1.4 Horizont- bzw. tiefenstufenbezogene Daten

- Bezeichnung der (Sub)-Horizonte / Tiefenstufen
- Mächtigkeit der Horizonte
- pH
- AKe
- Austauscherbelegung, und/oder Basensättigung
- C-Gehalte und C-Vorräte
- N-Gehalte und N-Vorräte
- Nitratgehalt, v.a. des untersten Horizonts (unterhalb Hauptwurzelraum)
- Korngrößenfraktionen (Fraktion $< 2\text{mm}$)
- Grobbodenanteil (Fraktion $> 2\text{mm}$)

Falls zum Datensatz publizierte Ergebnisse vorliegen, bitten wir um entsprechende Zitate oder Zusendung der entsprechenden Publikationen.

D.2 Analyse-Ergebnisse

Bibliographische Angaben zu:

- Konventionelle deskriptive Statistik zu Bodenparametern:
 - Stichprobenumfang,
 - Mittelwert,
 - Median, Varianz,
 - Standardabweichung,
 - Schiefe,
 - Kurtosis etc.
- Geostatistische Analyseergebnisse:
 - Variogrammfunktionen (spherisch, gauss, exponentiell, matern etc.) und ihre
 - Parameter (range, sill, partial sill, nugget, etc.)

D.3 Literatur_BZE.mdb

Datenbankfelder:

- ID
- Reference Type
- Author
- Year
- Title
- Publisher
- Volume
- Pages
- Accession Number
- Keywords
- Abstract
- ISBN/ISSN
- URL
- Author Address

Erläuterung:

Die Erst-Recherche erfolgte mit ISI Web of Knowledge und Scopus.com.mit den Suchbegriffe soil, soil chemistry, soil physics, forest, spatial, variation, variability, heterogeneity, fine-scale, small-scale, micro-scale, variogram u.a. Der erste Datenbestand wurde seither durch Datenbestände aus Literaturdatenbanken der Partner (TP 2 und TP 4) v.a. um ältere Artikel und graue Literatur ergänzt.

Die Nutzungsmöglichkeit der gesammelten Literatur ergibt sich aus den Keywords. Artikel, die geeignete geostatistische Parameter enthalten, wurden durch das Keyword „geostatistics“ gekennzeichnet. Bietet der Artikel nur konventionelle Statistik, wurde als Keyword nur „statistics“ vergeben. Bei Informationen über die Wirkung von Störungen wurde das Schlüsselwort „disturbance“ verwendet.

Arbeiten, die für unsere Fragestellung zwar nützlich sind, aber keine unmittelbar nutzbaren (geo)statistischen Informationen enthalten, erhielten das Kriterium „Unselect“ = Ja; die speziell für die kleinräumige geostatistische Modellierung geeigneten Arbeiten (<1 ha, Minimale Proben-distanz möglichst < 1m) wurden ebenfalls entsprechen gekennzeichnet.

D.4 Bodendatenbank GEOSTAT.mdb

Benennung der Tabellen:

Die Tabellen wurde nach Quellenangaben benannt. Sofern es sich hierbei um publizierte Studien handelt, werden diese durch Autor und Erscheinungsjahr gekennzeichnet. Daten aus bisher nicht publizierten Untersuchungen tragen den Zusatz „_pm“ (persönliche Mitteilung).

Datenorganisation der Tabellen nach Spalten von links nach rechts: Die Organisation der Spalten von links nach rechts bietet eine Hierarchie für die sinnvolle Stratifizierung der Daten an.

D. Datenspezifikation für die Akquisition von Bodendaten

- a Ganz links stehen die Spalten der übergeordneten gruppierenden Variablen (z.B. Versuchsflächen-Nr., Variante, etc.)
- b Danach kommen Gruppenvariablen der räumlichen Untersuchungseinheit (z.B. Tiefenstufe, Probequadrat etc.)
- c Im Anschluss an die Untersuchungseinheit sind die Koordinaten (meist nur relativ, ohne geografischen Bezug) x, y aufgeführt. Die Koordinaten-Einheit ist, sofern nicht anders vermerkt, Meter [m].
- d Sofern vorhanden, werden nach den Koordination weitere Lagedaten aufgeführt, z.B. Entfernung von Bäumen.
- e Datum der Untersuchung: Im Falle wiederholter Beprobung ansteigend sortiert.
- f Schließlich folgen die z-Variablen. Sofern qualitative Merkmale untersucht wurden, können hier auch Stringvariablen vorkommen.

Variablenamen:

Die Variablen sind i.d.R. selbsterklärend oder sie werden in der Entwurfsansicht der Tabelle in der Spalte „Beschreibung“ erläutert.

Datennutzung:

Je nach verwendetem Geostatistik-Paket müssen die Daten durch entsprechende Abfragen bzw. Filterfunktionen sinnvoll stratifiziert werden.

Anhang E

Statistische Kenngrößen

Jürgen Schäffer

Tabelle E.1: Übersicht über statistischen Kenngrößen auf den Versuchsflächen in der Tiefe 0 bis 5 cm

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
Alt	AKe	58	106,685	103,000	274,402	56,000	156,900	15,527
Alt	Al	58	69,431	70,000	167,869	33,100	97,900	18,661
Alt	Bas	58	9,259	7,900	25,520	2,900	23,100	54,562
Alt	Ca	58	5,400	3,800	19,511	0,620	18,780	81,803
Alt	Car	58	51,071	43,500	435,707	20,200	121,000	40,872
Alt	K	58	1,477	1,385	0,285	0,550	2,760	36,169
Alt	C/N	58	19,490	19,500	7,214	15,000	28,100	13,781
Alt	Mg	58	2,263	1,910	1,084	0,860	5,400	45,989
Alt	Nit	58	2,601	2,395	0,832	1,230	4,820	35,081
Alt	H2O	58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	46,740
Alt	KCL	58	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	43,892
Con	AKe	50	190,662	189,000	1188,260	128,600	288,300	18,080
Con	Al	50	142,800	136,600	486,441	112,500	220,500	15,445
Con	Bas	50	9,868	9,000	16,760	4,700	23,400	41,487
Con	Ca	50	9,958	7,515	50,279	2,710	32,360	71,204
Con	Car	50	88,626	84,650	753,319	47,000	187,000	30,969
Con	K	50	2,532	2,320	0,541	1,370	4,640	29,044
Con	C/N	50	18,800	18,750	4,080	15,500	26,900	10,744
Con	Mg	50	5,357	5,415	3,440	2,400	10,570	34,624
Con	Nit	50	4,725	4,665	1,828	2,240	8,550	28,612
Con	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	68,731
Con	KCL	50	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	35,109
HeiCA	AKe	68	72,963	69,500	714,180	31,200	201,500	36,627
HeiCA	Al	68	20,406	18,500	85,313	5,300	41,900	45,264
HeiCA	Bas	68	38,013	37,250	310,177	7,800	77,200	46,331
HeiCA	Ca	68	22,410	16,840	320,656	2,570	100,360	79,905
HeiCA	Car	68	48,782	40,600	974,452	19,000	235,000	63,991
HeiCA	K	68	0,844	0,720	0,240	0,380	2,950	58,040
HeiCA	C/N	68	23,829	23,650	5,258	19,200	32,900	9,623
HeiCA	Mg	68	5,430	3,980	20,190	0,690	22,090	82,757
HeiCA	Nit	68	2,048	1,670	1,541	0,711	8,630	60,601

Fortsetzung nächste Seite

E. Statistische Kenngrößen

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
HeiCA	H2O	68	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	55,837
HeiCA	KCL	68	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	41,399
HeiNU	AKe	70	72,294	72,700	168,404	42,200	100,900	17,950
HeiNU	Al	70	37,226	36,600	72,069	21,800	59,100	22,805
HeiNU	Bas	70	6,767	5,600	8,569	3,000	15,600	43,257
HeiNU	Ca	70	2,524	1,900	3,193	0,460	8,820	70,785
HeiNU	Car	70	43,351	39,000	271,022	17,600	85,400	37,975
HeiNU	K	70	0,755	0,725	0,068	0,320	1,640	34,421
HeiNU	C/N	70	24,737	24,650	3,698	19,700	29,200	7,774
HeiNU	Mg	70	1,034	0,920	0,226	0,330	2,570	46,003
HeiNU	Nit	70	1,743	1,565	0,395	0,627	3,390	36,062
HeiNU	H2O	70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	25,176
HeiNU	KCL	70	0,002	0,002	0,000	0,001	0,003	23,827
Mue	AKe	59	149,937	151,100	569,309	91,400	239,400	15,913
Mue	Al	59	88,741	90,300	646,836	26,200	143,700	28,660
Mue	Bas	59	8,336	7,600	11,297	3,200	17,900	40,323
Mue	Ca	59	5,703	4,450	16,993	0,860	19,520	72,285
Mue	Car	59	84,861	77,800	1133,392	33,300	238,000	39,672
Mue	K	59	2,750	2,790	1,058	0,790	6,390	37,396
Mue	C/N	59	17,880	17,500	1,692	15,600	21,600	7,275
Mue	Mg	59	3,031	2,860	2,152	0,660	9,710	48,399
Mue	Nit	59	4,697	4,510	2,457	1,840	11,000	33,377
Mue	H2O	59	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	80,910
Mue	KCL	59	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	47,283
OchDO	AKe	50	173,960	172,500	540,567	120,700	226,300	13,365
OchDO	Al	50	97,214	105,500	1807,317	4,700	164,200	43,731
OchDO	Bas	50	32,572	24,650	720,513	2,800	96,200	82,409
OchDO	Ca	50	26,616	16,925	759,463	1,220	128,140	103,541
OchDO	Car	50	77,426	79,000	287,493	40,400	119,000	21,899
OchDO	K	50	1,402	1,315	0,161	0,780	2,620	28,586
OchDO	C/N	50	19,786	19,400	3,092	16,200	23,500	8,887
OchDO	Mg	50	27,513	22,665	525,068	1,880	85,330	83,287
OchDO	Nit	50	3,965	3,780	1,059	1,890	6,620	25,954
OchDO	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	87,543
OchDO	KCL	50	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	68,891
OchNU	AKe	56	162,507	166,150	758,555	89,200	209,900	16,948
OchNU	Al	56	121,300	125,500	367,838	69,700	159,100	15,811
OchNU	Bas	56	5,493	4,300	10,586	2,400	22,100	59,233
OchNU	Ca	56	4,583	2,800	20,914	0,880	25,010	99,793
OchNU	Car	56	77,614	72,200	715,219	34,100	196,000	34,457
OchNU	K	56	1,426	1,310	0,385	0,590	3,860	43,519
OchNU	C/N	56	21,211	21,100	3,240	18,200	25,700	8,487
OchNU	Mg	56	2,424	2,190	1,008	1,120	7,110	41,418
OchNU	Nit	56	3,691	3,480	1,805	1,770	9,610	36,404
OchNU	H2O	56	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	36,959
OchNU	KCL	56	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	38,362
Ros	AKe	50	94,730	90,150	724,812	44,500	158,600	28,420
Ros	Al	50	61,190	60,300	431,053	22,600	119,100	33,930
Ros	Bas	50	10,310	9,250	34,606	3,500	34,700	57,058
Ros	Ca	50	5,930	3,730	42,313	0,620	36,970	109,701
Ros	Car	50	38,440	36,200	185,909	13,300	85,600	35,471
Ros	K	50	1,083	0,995	0,148	0,440	2,040	35,515

Fortsetzung nächste Seite

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
Ros	C/N	50	21,620	21,550	3,491	17,100	25,800	8,642
Ros	Mg	50	2,689	2,390	1,496	0,950	5,890	45,477
Ros	Nit	50	1,800	1,585	0,453	0,538	3,630	37,379
Ros	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	35,982
Ros	KCL	50	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	38,172
Rot	AKe	58	46,214	43,250	468,351	17,400	143,200	46,829
Rot	Al	58	14,267	12,150	63,949	5,500	50,100	56,050
Rot	Bas	58	13,719	12,500	25,181	5,400	26,700	36,578
Rot	Ca	58	4,265	2,980	20,979	0,500	31,020	107,401
Rot	Car	58	39,119	33,750	461,800	10,100	110,000	54,934
Rot	K	58	0,921	0,830	0,197	0,000	2,650	48,174
Rot	C/N	58	20,648	20,300	7,900	17,200	35,000	13,612
Rot	Mg	58	0,926	0,825	0,254	0,300	2,400	54,405
Rot	Nit	58	1,879	1,530	0,951	0,588	4,620	51,904
Rot	H2O	58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	44,849
Rot	KCL	58	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003	40,070
Tut	Car	50	98,894	99,350	452,380	57,400	190,000	21,507
Tut	C/N	50	16,550	16,100	4,039	14,000	26,600	12,143
Tut	Nit	50	5,993	5,930	1,017	3,940	9,130	16,828
Tut	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	405,057
Tut	KCL	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	352,965
Wal	AKe	50	103,236	103,100	156,628	70,300	124,900	12,123
Wal	Al	50	72,902	73,650	39,021	57,700	86,100	8,569
Wal	Bas	50	4,624	4,550	0,668	2,800	6,700	17,681
Wal	Ca	50	1,761	1,670	0,555	0,400	4,010	42,280
Wal	Car	50	37,662	38,400	65,979	19,000	54,900	21,567
Wal	K	50	1,115	1,090	0,071	0,630	1,730	23,909
Wal	C/N	50	22,576	22,800	2,982	19,300	26,200	7,649
Wal	Mg	50	1,284	1,265	0,112	0,720	2,500	26,112
Wal	Nit	50	1,663	1,635	0,105	0,985	2,680	19,466
Wal	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24,932
Wal	KCL	50	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	26,720
Wel	AKe	50	108,048	107,550	156,994	80,800	136,600	11,596
Wel	Al	50	63,490	64,400	104,402	43,200	92,300	16,093
Wel	Bas	50	5,022	4,550	2,788	2,800	9,900	33,248
Wel	Ca	50	2,945	2,490	2,481	0,720	6,650	53,485
Wel	Car	50	41,946	39,750	152,305	24,500	77,100	29,422
Wel	K	50	0,754	0,745	0,045	0,360	1,420	28,213
Wel	C/N	50	23,150	22,900	3,235	19,800	29,300	7,769
Wel	Mg	50	1,149	1,155	0,089	0,690	2,570	25,933
Wel	Nit	50	1,823	1,660	0,337	1,120	3,740	31,848
Wel	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	29,208
Wel	KCL	50	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003	39,248

Tabelle E.2: Übersicht über statistischen Kenngrößen auf den Versuchsflächen in der Tiefe 5 bis 10 cm

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
Alt	AKe	58	83,348	82,100	388,391	43,700	150,000	23,645
Alt	Al	58	64,719	64,000	186,220	28,700	101,800	21,085
Alt	Bas	58	5,310	4,950	5,550	2,000	17,700	44,362

Fortsetzung nächste Seite

E. Statistische Kenngrößen

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
Alt	Ca	58	1,819	1,580	1,703	0,000	6,510	71,748
Alt	Car	58	26,498	20,950	242,650	13,200	112,000	58,786
Alt	K	58	1,000	0,945	0,096	0,470	2,100	31,023
Alt	C/N	58	19,529	18,850	8,935	14,900	32,700	15,306
Alt	Mg	58	0,900	0,790	0,178	0,400	2,440	46,879
Alt	Nit	58	1,308	1,150	0,259	0,786	3,420	38,937
Alt	H2O	58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,166
Alt	KCL	58	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	65,669
Con	AKe	50	169,350	160,550	1149,528	112,900	260,900	20,020
Con	Al	50	131,864	128,050	393,058	103,400	213,100	15,035
Con	Bas	50	7,884	7,700	6,992	3,700	16,500	33,538
Con	Ca	50	6,252	4,870	17,361	1,700	20,700	66,640
Con	Car	50	69,120	64,300	434,823	45,200	158,000	30,168
Con	K	50	2,182	2,005	0,569	1,100	4,770	34,549
Con	C/N	50	18,682	18,600	5,319	14,400	27,400	12,346
Con	Mg	50	3,991	3,755	2,240	1,550	8,920	37,505
Con	Nit	50	3,722	3,605	1,078	2,280	7,380	27,898
Con	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	66,612
Con	KCL	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	32,278
HeiCA	AKe	77	54,661	53,000	448,849	16,000	178,600	38,759
HeiCA	Al	77	24,117	23,700	147,287	0,000	45,600	50,322
HeiCA	Bas	77	25,612	21,500	314,326	2,900	99,700	69,223
HeiCA	Ca	77	11,777	7,350	472,873	0,700	171,440	184,651
HeiCA	Car	77	23,196	22,100	91,752	10,300	77,600	41,295
HeiCA	K	77	0,468	0,450	0,022	0,000	1,130	31,488
HeiCA	C/N	77	24,588	24,200	5,017	19,400	30,100	9,110
HeiCA	Mg	77	2,475	1,840	3,612	0,430	10,300	76,798
HeiCA	Nit	77	0,946	0,908	0,155	0,451	2,860	41,648
HeiCA	H2O	77	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	55,520
HeiCA	KCL	77	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	41,617
HeiNU	AKe	78	65,213	64,900	148,354	33,100	89,200	18,677
HeiNU	Al	78	41,445	42,850	118,198	12,200	63,700	26,232
HeiNU	Bas	78	4,163	3,500	5,895	1,500	19,500	58,324
HeiNU	Ca	78	1,136	0,860	1,002	0,000	6,950	88,151
HeiNU	Car	78	27,796	26,600	53,790	15,700	50,700	26,386
HeiNU	K	78	0,498	0,450	0,036	0,000	1,050	38,113
HeiNU	C/N	78	23,871	23,650	6,545	19,200	34,400	10,717
HeiNU	Mg	78	0,561	0,510	0,055	0,260	1,680	41,978
HeiNU	Nit	78	1,158	1,135	0,088	0,581	2,150	25,691
HeiNU	H2O	78	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	37,238
HeiNU	KCL	78	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	41,872
Mue	AKe	59	132,470	134,800	436,944	84,700	180,600	15,780
Mue	Al	59	85,714	88,400	715,704	25,900	131,500	31,212
Mue	Bas	59	6,332	6,000	6,355	2,800	16,800	39,811
Mue	Ca	59	3,255	2,280	7,350	0,560	17,680	83,283
Mue	Car	59	62,003	59,100	312,719	30,500	111,000	28,521
Mue	K	59	2,181	2,360	0,614	0,790	3,770	35,938
Mue	C/N	59	17,500	17,400	0,864	15,100	20,400	5,311
Mue	Mg	59	1,897	1,610	0,623	0,790	5,330	41,588
Mue	Nit	59	3,527	3,460	0,824	1,730	5,930	25,741
Mue	H2O	59	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	80,507
Mue	KCL	59	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	45,114

Fortsetzung nächste Seite

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
OchDO	AKe	50	128,184	128,750	672,177	71,900	196,100	20,226
OchDO	Al	50	94,982	97,950	915,162	21,800	157,400	31,850
OchDO	Bas	50	18,776	12,600	322,230	2,900	81,600	95,605
OchDO	Ca	50	9,698	4,250	142,572	0,940	57,290	123,117
OchDO	Car	50	51,722	50,900	142,758	19,800	79,300	23,101
OchDO	K	50	0,939	0,915	0,064	0,410	1,850	26,910
OchDO	C/N	50	21,084	21,550	3,297	16,600	24,500	8,612
OchDO	Mg	50	11,900	8,165	122,083	1,220	54,350	92,850
OchDO	Nit	50	2,471	2,525	0,371	0,953	4,260	24,657
OchDO	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	70,782
OchDO	KCL	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	54,968
OchNU	AKe	56	123,691	124,950	1365,562	49,200	207,400	29,876
OchNU	Al	56	104,959	109,450	812,758	42,000	155,300	27,162
OchNU	Bas	56	3,918	3,000	18,419	1,600	33,100	109,542
OchNU	Ca	56	2,144	1,120	14,628	0,440	27,840	178,365
OchNU	Car	56	45,625	42,850	375,701	12,100	101,000	42,483
OchNU	K	56	0,840	0,775	0,113	0,340	2,320	39,965
OchNU	C/N	56	22,398	22,650	5,912	17,500	29,600	10,856
OchNU	Mg	56	1,183	0,990	0,665	0,400	6,220	68,921
OchNU	Nit	56	2,041	1,875	0,839	0,687	5,170	44,878
OchNU	H2O	56	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	48,065
OchNU	KCL	56	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	54,560
Ros	AKe	50	76,266	73,200	292,044	45,300	130,400	22,407
Ros	Al	50	58,990	55,700	176,294	33,800	105,400	22,508
Ros	Bas	50	6,178	6,000	5,708	3,400	16,700	38,671
Ros	Ca	50	1,827	1,360	3,152	0,420	12,000	97,168
Ros	Car	50	22,498	20,650	82,999	10,800	65,800	40,494
Ros	K	50	0,840	0,820	0,042	0,430	1,530	24,353
Ros	C/N	50	24,282	24,300	5,541	18,800	29,800	9,694
Ros	Mg	50	1,591	1,435	0,618	0,530	4,440	49,436
Ros	Nit	50	0,930	0,846	0,132	0,375	2,620	39,035
Ros	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	41,059
Ros	KCL	50	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	36,840
Rot	AKe	58	31,486	29,150	243,701	10,300	100,800	49,580
Rot	Al	58	12,152	9,300	63,639	3,600	41,800	65,648
Rot	Bas	58	11,524	10,800	22,423	3,200	24,700	41,090
Rot	Ca	58	2,042	1,550	3,302	0,200	10,500	88,971
Rot	Car	58	21,267	19,750	126,789	6,900	67,900	52,947
Rot	K	58	0,525	0,455	0,098	0,000	1,550	59,672
Rot	C/N	58	20,867	20,900	6,081	15,700	27,100	11,818
Rot	Mg	58	0,527	0,415	0,223	0,160	3,620	89,620
Rot	Nit	58	1,006	0,950	0,227	0,373	2,520	47,348
Rot	H2O	58	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	36,563
Rot	KCL	58	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	32,823
Tut	Car	50	66,036	66,100	374,458	33,100	132,000	29,304
Tut	C/N	50	15,146	15,100	1,771	13,100	19,800	8,787
Tut	Nit	50	4,369	4,330	1,266	2,460	7,220	25,754
Tut	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	452,896
Tut	KCL	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	536,861
Wal	AKe	50	68,232	68,200	65,397	51,200	82,600	11,852
Wal	Al	50	57,322	58,050	37,025	43,300	68,700	10,615
Wal	Bas	50	4,320	4,300	0,459	3,000	6,000	15,679

Fortsetzung nächste Seite

E. Statistische Kenngrößen

Fläche	Parameter	n	Mean	Median	Variance	Min.	Max.	VarKoeff
Wal	Ca	50	0,832	0,790	0,074	0,320	1,640	32,606
Wal	Car	50	20,342	19,800	16,003	13,200	29,100	19,666
Wal	K	50	0,856	0,825	0,027	0,580	1,620	19,179
Wal	C/N	50	18,844	18,800	1,758	15,600	22,300	7,036
Wal	Mg	50	0,610	0,590	0,017	0,400	0,990	21,635
Wal	Nit	50	1,077	1,050	0,034	0,749	1,550	17,160
Wal	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	33,910
Wal	KCL	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	31,607
Wel	AKe	50	100,350	101,550	366,198	67,200	136,100	19,070
Wel	Al	50	67,332	64,100	139,848	47,300	109,000	17,563
Wel	Bas	50	3,392	3,250	0,704	2,200	6,000	24,729
Wel	Ca	50	1,392	1,200	0,621	0,340	4,130	56,637
Wel	Car	50	26,196	25,550	62,900	11,400	41,400	30,276
Wel	K	50	0,674	0,650	0,032	0,340	1,190	26,664
Wel	C/N	50	23,134	22,800	3,771	19,800	29,400	8,394
Wel	Mg	50	0,725	0,720	0,047	0,400	1,510	29,853
Wel	Nit	50	1,132	1,105	0,113	0,557	1,800	29,728
Wel	H2O	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	45,728
Wel	KCL	50	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	51,734

Tabelle E.3: Mittlere Variationskoeffizienten auf den Level II – Versuchsflächen

Para-meter	Alt	Con	HeiCa	HeiNu	Mue	Tiefe 0 bis 5 cm		Ros	Rot	Tut	Wal	Wel
						OchDo	OchNu					
$H^+ - H_2O$	46,7	68,7	55,8	25,2	80,9	87,5	37	36	44,8	405,1	24,9	29,2
$H^+ - KCL$	43,9	35,1	41,4	23,8	47,3	68,9	38,4	38,2	40,1	353	26,7	39,2
AKe	15,5	18,1	36,6	18	15,9	13,4	16,9	28,4	46,8		12,1	11,6
Basen %	54,6	41,5	46,3	43,3	40,3	82,4	59,2	57,1	36,6		17,7	33,2
Ca^{2+}	81,8	71,2	79,9	70,8	72,3	103,5	99,8	109,7	107,4		42,3	53,5
K^+	36,2	29	58	34,4	37,4	28,6	43,5	35,5	48,2		23,9	28,2
Mg^{2+}	46	34,6	82,8	46	48,4	83,3	41,4	45,5	54,4		26,1	25,9
Al^{3+}	18,7	15,4	45,3	22,8	28,7	43,7	15,8	33,9	56,1		8,6	16,1
C	40,9	31	64	38	39,7	21,9	34,5	35,5	54,9	21,5	21,6	29,4
N	35,1	28,6	60,6	36,1	33,4	26	36,4	37,4	51,9	16,8	19,5	31,8
C/N	13,8	10,7	9,6	7,8	7,3	8,9	8,5	8,6	13,6	12,1	7,6	7,8
Tiefe 5 bis 10 cm												
$H^+ - H_2O$	72,2	66,6	55,5	37,2	80,5	70,8	48,1	41,1	36,6	452,9	33,9	45,7
$H^+ - KCL$	65,7	32,3	41,6	41,9	45,1	55	54,6	36,8	32,8	536,9	31,6	51,7
AKe	23,6	20	38,8	18,7	15,8	20,2	29,9	22,4	49,6		11,9	19,1
Basen %	44,4	33,5	69,2	58,3	39,8	95,6	109,5	38,7	41,1		15,7	24,7
Ca^{2+}	71,7	66,6	184,7	88,2	83,3	123,1	178,4	97,2	89		32,6	56,6
K^+	31	34,5	31,5	38,1	35,9	26,9	40	24,4	59,7		19,2	26,7
Mg^{2+}	46,9	37,5	76,8	42	41,6	92,8	68,9	49,4	89,6		21,6	29,9
Al^{3+}	21,1	15	50,3	26,2	31,2	31,8	27,2	22,5	65,6		10,6	17,6
C	58,8	30,2	41,3	26,4	28,5	23,1	42,5	40,5	52,9	29,3	19,7	30,3
N	38,9	27,9	41,6	25,7	25,7	24,7	44,9	39	47,3	25,8	17,2	29,7
C/N	15,3	12,3	9,1	10,7	5,3	8,6	10,9	9,7	11,8	8,8	7	8,4

Anhang F

Sonderanhang FH Eberswalde

Falko Hornschuch, Winfried Riek

Anhang G

Sonderanhang FVA Freiburg

Jürgen Schäffer

Anlage (Datenteil)

Tabelle A1: Begriffs- und Abkürzungserklärungen der Anlage

Parameter	pH	pH-Wert in CaCl ₂
	Hu	Humusgehalt [%]
	Of	Mächtigkeit Of-Horizont [cm]
	Ah/Aeh	Untergrenze Ah-/Aeh-Horizont [cm]
	AhBv	Untergrenze AhBv-Übergangshorizont [cm]
	Bsh	Untergrenze Bhs-Anreicherungshorizont [cm]
	S	Schwefelgehalt [%]
	N	Stickstoffgehalt [%]
	C	Kohlenstoffgehalt [%]
	C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
	AKe	Kationenaustauschkapazität [$\mu\text{mol/g}$ Boden]
	BS	Basensättigung [%]
	Ca	Calcium-Sättigung [%]
	Mg	Magnesium-Sättigung [%]
	K	Kalium-Sättigung [%]
	Na	Natrium-Sättigung [%]
	Al	Aluminium-Sättigung [%]
	Fe	Eisen-Sättigung [%]
	Mn	Mangan-Sättigung [%]
Flächen	BN	Buchen-Naturwald
	BW	Buchen-Wirtschaftswald
	EN	Eichen-Naturwald
	EW	Eichen-Wirtschaftswald
	KN	Kiefern-Naturwald
	KW	Kiefern-Wirtschaftswald
Tiefen	1	0-5 cm
	2	5-10 cm
	3	10-15 cm
	4	15-20 cm
	5	20-25 cm
	6	25-30 cm
	7	30-40 cm
Ausreißer		mit Differenz größer als dreifache Standardabweichung vom Mittelwert
lag/dist.		Anzahl und/oder Abstände der Verschiebungsschritte [m]
model	sphe	sphärisches Modell
	exp	exponentielles Modell
	gauss	Gauß'sches Modell
nugget		Nuggetvarianz
range		Autokorrelation [m]
sill		Schwellenwert

Tabelle A2: Variogrammdaten pH-Wert

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.	Ausreißer n %	Variogramm					Variogramm (alternativ)					standard. Variogramm					standard. Variogramm (alternativ)				
					lag/dist.	model	nugget	range	sill	lag/dist.	model	nugget	range	sill	lag/dist.	model	nugget	range	sill	lag/dist.	model	nugget	range	sill
pH	BN	1	0,224		0,40/20	sphe	0,0600	1,70	0,0930	0,80/10	exp	0,0000	1,94	0,1590	0,40/20	sphe	0,38	5,51	0,61					
pH	BN	2	0,087		0,40/10	exp	0,0297	2,52	0,0531						0,40/10	sphe	0,54	4,80	0,54					
pH	BN	3	0,046		0,40/10	exp	0,0055	3,42	0,0500						0,40/10	exp	0,11	3,42	1,00					
pH	BN	4	0,035		0,40/10	sphe	0,0084	3,18	0,0380						0,40/10	sphe	0,25	2,82	0,85					
pH	BN	5	0,042		0,40/10	gauss	0,0195	1,56	0,0275	0,80/7	gauss	0,0300	2,80	0,0180	0,40/10	exp	0,10	2,40	0,98					
pH	BN	6	0,069												0,40/10	exp	0,21	2,58	0,83					
pH	BN	7	0,069												0,40/10	sphe	0,19	2,34	0,86					
pH	BW	1	0,030		0,40/30	exp	0,0128	3,51	0,0164	0,80/15	exp	0,0160	3,96	0,0160	0,80/10	exp	0,64	5,16	0,36					
pH	BW	2	0,032		0,40/15	sphe	0,0052	1,32	0,0204	0,80/7	sphe	0,0108	1,57	0,0143	0,40/10	sphe	0,20	1,20	0,68					
pH	BW	3	0,032		0,40/8	exp	0,0104	1,55	0,0170	0,80/10	exp	0,0080	4,05	0,0284	0,40/10	sphe	0,47	1,80	0,51					
pH	BW	4	0,018		0,40/20	exp	0,0064	5,67	0,0116	0,80/12	exp	0,0060	5,76	0,0124	0,80/12	exp	0,40	4,80	0,65					
pH	BW	5	0,011												0,80/15	sphe	0,62	9,96	0,48					
pH	BW	6	0,007												0,80/15	sphe	0,56	9,96	0,45					
pH	BW	7	0,008												0,80/15	exp	0,29	2,52	0,52					
pH	EN	1	0,032												0,40/10	exp	0,19	2,03	0,81					
pH	EN	2	0,019												0,40/10	exp	0,42	4,05	0,55					
pH	EN	3	0,025												0,40/10	exp	0,41	4,05	0,56					
pH	EN	4	0,028												0,80/12	sphe	0,52	7,20	0,35					
pH	EN	5	0,027												0,80/12	sphe	0,41	8,64	0,48					
pH	EN	6	0,026												0,80/15	sphe	0,34	8,64	0,54					
pH	EN	7	0,035																					
pH	EW	1	0,125	0,021	2	0,9	0,40/30	sphe	0,0096	7,93	0,0165				0,80/15	exp	0,43	11,44	0,80					
pH	EW	2	0,156	0,035	2	0,9	0,40/30	sphe	0,0224	7,80	0,0224				0,40/30	exp	0,71	10,40	0,38					
pH	EW	3	0,149	0,048	2	0,9																		
pH	EW	4	0,110	0,030	2	0,9	0,40/10	sphe	0,0075	1,64	0,0207				0,40/10	sphe	0,35	1,64	0,52					
pH	EW	5	0,093	0,021	2	0,9	0,40/10	sphe	0,0060	1,64	0,0171				0,40/10	sphe	0,32	2,05	0,64					
pH	EW	6	0,082	0,014	2	0,9	0,40/10	sphe	0,0040	2,05	0,0162				0,40/10	sphe	0,20	2,05	0,78					
pH	EW	7	0,088	0,030	2	0,9									0,40/10	sphe	0,70	2,46	0,30					
pH	KN	1	0,021				1,60/15	gauss	0,0177	19,92	0,0102				0,80/15	sphe	0,54	7,32	0,47					
pH	KN	2	0,047				1,60/15	sphe	0,0198	15,12	0,0282				0,80/20	exp	0,28	9,18	0,71					
pH	KN	3	0,082				1,60/15	exp	0,0270	10,80	0,0513				0,80/20	exp	0,26	8,33	0,75					
pH	KN	4	0,069				1,60/15	sphe	0,0364	7,56	0,0315				0,80/15	sphe	0,52	7,56	0,45					
pH	KN	5	0,039				1,60/15	sphe	0,0260	11,52	0,0112				0,80/20	exp	0,61	10,54	0,39					
pH	KN	6	0,027				1,60/15	sphe	0,0177	19,20	0,0090				1,60/15	sphe	0,63	17,76	0,42					
pH	KN	7	0,023												1,60/15	sphe	0,80	19,91	0,26					
pH	KW	1	0,017												0,40/15	gauss	0,78	4,20	0,25					
pH	KW	2	0,041				0,40/15	sphe	0,0285	3,00	0,0155				0,40/15	gauss	0,72	2,88	0,31					
pH	KW	3	0,080				1,20/10	sphe	0,0450	6,96	0,0378				0,80/15	sphe	0,52	6,24	0,48					
pH	KW	4	0,070												0,80/15	gauss	0,58	6,84	0,44					
pH	KW	5	0,044												1,20/10	gauss	0,70	6,96	0,39					
pH	KW	6	0,030												0,80/15	gauss	0,87	4,80	0,15					
pH	KW	7	0,019																					

Tabelle A3: Variogrammdaten Humusgehalt

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.	Ausreißer n %	Variogramm lag/dist. model nugget range sill						Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill						standard. Variogramm lag/dist. model nugget range sill						standard. Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill					
Hu	BN	1	2,483	1,494	4	1,8											0,80/15	gauss	0,71	8,40	0,24							
Hu	BN	2	0,510	0,286	5	2,3	0,80/10	gauss	0,1470	3,64	0,0810						0,40/15	sphe	0,41	3,89	0,61							
Hu	BN	3	0,245	0,114	3	1,4	0,80/10	sphe	0,0520	6,72	0,0599						0,40/20	sphe	0,60	4,44	0,41							
Hu	BN	4	0,199	0,086	4	1,8	0,40/20	gauss	0,0522	3,90	0,0252						0,40/20	gauss	0,70	4,74	0,32							
Hu	BN	5	0,125	0,066	5	2,3											0,80/10	sphe	0,65	5,67	0,36							
Hu	BN	6	0,102	0,055	4	1,8											0,40/20	gauss	0,69	3,18	0,37							
Hu	BN	7	0,128	0,071	4	1,8	0,80/20	gauss	0,0352	9,52	0,0384						0,80/20	sphe	0,45	10,20	0,66							
Hu	BW	1	3,711	2,931	3	1,4											0,40/10	gauss	0,74	1,64	0,24							
Hu	BW	2	1,735	0,894	3	1,4											0,40/1	sphe	0,54	1,15	0,47							
Hu	BW	3	0,324	0,190	4	1,8	0,40/10	gauss	0,1400	3,32	0,0660						0,40/10	gauss	0,71	2,42	0,35							
Hu	BW	4	0,111	0,092	3	1,4	0,40/10	gauss	0,0580	2,66	0,0350						0,40/10	gauss	0,73	2,42	0,33							
Hu	BW	5	0,085	0,071	3	1,4	0,80/10	sphe	0,0416	1,46	0,0256						0,80/10	sphe	0,66	1,86	0,33							
Hu	BW	6	0,071	0,061	2	0,9	0,40/10	sphe	0,0154	0,94	0,0385	0,80/10	sphe	0,0371	1,46	0,0171	0,80/10	sphe	0,61	2,03	0,39							
Hu	BW	7	0,057	0,046	3	1,4	0,40/10	sphe	0,0080	1,44	0,0330	0,80/10	sphe	0,0140	1,86	0,0265	0,80/10	sphe	0,20	2,03	0,75							
Hu	EN	1	10,894	5,403	4	1,8											0,80/15	gauss	0,90	7,20	0,09							
Hu	EN	2	0,952	0,400	2	0,9											0,80/10	gauss	0,84	4,70	0,18							
Hu	EN	3	0,302	0,154	1	0,5											0,80/10	gauss	0,75	6,24	0,31							
Hu	EN	4	0,227	0,110	3	1,4											1,20/10	sphe	0,62	5,64	0,39							
Hu	EN	5	0,149	0,075	6	2,7											0,40/15	sphe	0,72	5,22	0,33							
Hu	EN	6	0,123	0,058	6	2,7																						
Hu	EN	7	0,193	0,060	7	3,2											0,80/10	gauss	0,83	5,35	0,19							
Hu	EW	1	2,687	2,274	4	1,8											0,80/10	sphe	0,81	6,40	0,20							
Hu	EW	2	0,755	0,223	5	2,3	1,20/10	sphe	0,1440	7,56	0,0750	0,80/10	sphe	0,1530	6,07	0,0570	0,80/10	sphe	0,70	5,18	0,31	0,80/10	sphe	0,7	5,183	0,31		
Hu	EW	3	0,151	0,073	3	1,4	0,40/10	sphe	0,0536	2,79	0,0240						0,40/10	sphe	0,67	2,79	0,34							
Hu	EW	4	0,100	0,077	2	0,9											0,80/10	sphe	0,67	3,81	0,37							
Hu	EW	5	0,115	0,076	3	1,4											0,80/10	sphe	0,82	2,75	0,18							
Hu	EW	6	0,101	0,072	5	2,3	1,20/10	gauss	0,0472	7,92	0,0312	0,80/10	gauss	0,0432	6,08	0,0296	0,80/10	gauss	0,73	5,27	0,29	1,20/10	gauss	0,77	5,519	0,26		
Hu	EW	7	0,096	0,046	3	1,4	1,20/10	sphe	0,0285	6,00	0,0150						1,20/10	sphe	0,60	6,48	0,39							
Hu	KN	1	13,454	10,011	5	2,3	0,40/10	sphe	4,3993	3,57	6,7096	0,80/10	sphe	4,4000	3,73	7,0400	0,70/10	sphe	0,56	3,62	0,45							
Hu	KN	2	3,579	0,688	2	0,9																						
Hu	KN	3	0,230	0,144	5	2,3	0,40/10	sphe	0,0780	2,87	0,0620	0,70/10	sphe	0,0800	3,55	0,0620	0,70/10	sphe	0,62	3,34	0,41							
Hu	KN	4	0,438	0,199	2	0,9	1,20/10	gauss	0,1080	6,84	0,0860	0,80/10	gauss	0,1000	5,83	0,0920	0,80/10	sphe	0,57	5,83	0,36							
Hu	KN	5	0,189	0,156	2	0,9	1,20/10	sphe	0,0840	8,04	0,0620	0,80/10	sphe	0,1180	4,62	0,0680	0,80/10	sphe	0,60	4,54	0,35							
Hu	KN	6	0,093	0,073	3	1,4	1,20/10	sphe	0,0280	8,64	0,0544	0,80/15	gauss	0,0500	8,16	0,0400	1,20/10	sphe	0,61	8,64	0,45	0,80/10	sphe	0,5	5,427	0,51		
Hu	KN	7	0,053	0,037	3	1,4	1,20/10	gauss	0,0236	8,40	0,0228	0,80/10	gauss	0,0240	6,88	0,0187	0,80/15	gauss	0,79	6,48	0,28							
Hu	KW	1	8,609	5,691	5	2,3	1,20/20	sphe	3,9326	15,12	1,7670						1,20/20	sphe	0,79	15,12	0,12							
Hu	KW	2	0,766	0,364	6	2,7	1,20/20	gauss	0,1720	19,68	0,2520						1,20/20	sphe	0,58	19,68	0,46							
Hu	KW	3	0,553	0,258	5	2,3											1,20/15	gauss	0,80	16,20	0,25							
Hu	KW	4	0,309	0,127	3	1,4	1,20/10	sphe	0,0700	8,28	0,0500						1,20/10	sphe	0,74	8,28	0,30							
Hu	KW	5	0,182	0,136	3	1,4	1,20/10	sphe	0,0840	7,32	0,0560	0,80/15	sphe	0,1000	8,40	0,0460	0,80/15	sphe	0,80	8,40	0,23	1,20/10	sphe	0,62	6,12	0,38		
Hu	KW	6	0,233	0,117	5	2,3	1,20/10	sphe	0,0720	8,76	0,0400						1,20/10	sphe	0,67	8,40	0,37							
Hu	KW	7	0,109	0,053	3	1,4	1,20/15	sphe	0,0324	8,82	0,0144						1,20/15	sphe	0,69	8,64	0,32							

Tabelle A4: Variogrammdaten Auflage- und Bodenhorizonte, C-, N-, S-Gehalt, C/N-Verhältnis

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.	Ausreißer n %	Variogramm lag/dist. model nugget range sill	Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill	standard. Variogramm lag/dist. model nugget range sill	standard. Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill
Of	BN		0,468 0,468	0 0			0,70/20 sphe 0,67 11,76 0,35	1,20/15 sphe 0,67 13,68 0,36
Ah	BN		7,933 6,117	3 1,4			0,70/15 sphe 0,78 8,80 0,20	
AhBv	BN		52,431 27,084	46 21			0,70/20 gauss 0,63 11,20 0,30	1,20/10 gauss 0,6 10,8 0,33
Of	BW		0,784 0,589	4 1,8			0,70/10 exp 0,45 3,92 0,46	1,20/10 exp 0,38 3,72 0,52
Ah	BW		12,378 10,511	3 1,4			2,20/20 sphe 0,80 27,20 0,26	1,20/20 sphe 0,8 24 0,23
AhBv	BW		39,076 33,079	3 1,4	0,70/15 sphe 21,76 8,03 11,22		0,70/15 sphe 0,73 8,03 0,27	1,20/10 sphe 0,7 7,2 0,3
Of	EN		3,310 3,090	1 0,5	1,20/10 sphe 1,77 8,76 1,21	0,70/15 sphe 1,83 9,79 1,27	0,70/15 sphe 0,56 6,93 0,48	1,20/10 sphe 0,57 8,76 0,49
Aeh	EN		7,115 6,452	2 0,9	1,20/15 sphe 3,71 12,24 2,80	0,70/20 sphe 3,77 11,20 2,66	0,70/20 sphe 0,60 11,20 0,37	1,20/15 sphe 0,61 12,6 0,39
Bsh	EN		25,651 19,492	5 2,3		12,00	0,70/20 sphe 0,73 4,20 0,27	1,20/10 sphe 0,72 4,8 0,29
Of	EW		1,870 1,792	0 0	0,40/15 gauss 1,33 5,40 0,90	0,70/10 gauss 1,33 3,98 0,67	0,70/10 gauss 0,74 3,98 0,28	0,40/10 gauss 0,69 3,78 0,34
Aeh	EW		8,251 6,113	3 1,4				
Bsh	EW		17,215 14,723	2 0,9	0,40/10 sphe 10,35 1,23 4,50			0,40/10 sphe 0,62 1,066 0,39
Of	KN		4,366 3,490	3 1,4	0,40/20 gauss 1,78 5,91 2,06	0,70/15 gauss 1,86 7,48 2,35	0,70/15 gauss 0,64 4,62 0,38	0,40/20 gauss 0,66 4,86 0,37
Aeh	KN		15,324 14,715	1 0,5	1,20/10 sphe 10,05 9,00 3,00	0,70/20 sphe 10,20 9,80 3,90	0,70/20 sphe 0,73 9,80 0,26	1,20/10 sphe 0,72 9 0,28
Bsh	KN		33,633 30,811	1 0,5	0,70/20 exp 14,26 5,18 12,71	1,20/20 exp 12,40 4,56 12,71	0,70/20 exp 0,48 5,18 0,41	1,20/20 exp 0,4 4,56 0,5
Of	KW		1,997 1,809	2 0,9	1,20/10 sphe 1,22 4,80 0,25	0,70/20 sphe 1,22 7,00 0,32	0,70/20 sphe 0,62 7,00 0,31	
Aeh	KW		17,696 11,566	4 1,8	0,70/10 sphe 7,68 5,40 2,28		0,70/10 sphe 0,76 5,40 0,23	
Bsh	KW		30,713 30,713	0 0	1,20/15 sphe 13,33 7,56 16,12	0,70/20 sphe 13,02 6,72 14,88	0,70/20 sphe 0,43 6,72 0,53	1,20/15 sphe 0,45 7,56 0,52
C	BN	1	0,923 0,775	2 0,9	1,20/15 sphe 0,3440 12,60 0,2799		1,20/15 sphe 0,50 12,60 0,46	
C	BW	1	1,267 0,975	4 1,8	0,70/10 sphe 0,5900 2,27 0,3300		0,70/10 sphe 0,71 2,49 0,29	
C	EN	1	3,202 1,716	5 2,3			0,70/15 sphe 0,85 6,60 0,15	
C	EW	1	0,709 0,709	5 2,3			1,20/10 sphe 0,76 4,20 0,22	
C	KN	1	5,047 4,143	3 1,4	0,70/10 sphe 2,0159 3,98 2,6459		0,70/10 sphe 0,58 3,98 0,43	
C	KW	1	4,178 3,361	2 0,9	1,60/10 gauss 2,6037 13,77 1,6794		1,60/10 gauss 0,74 12,92 0,31	
N	BN	1	0,00263 0,00211	3 1,4	1,60/20 sphe 0,0012 26,40 0,0012		1,60/20 sphe 0,69 26,40 0,45	
N	BW	1	0,00446 0,00380	4 1,8			0,70/10 gauss 0,82 2,20 0,18	
N	EN	1	0,00750 0,00401	4 1,8			0,70/15 sphe 0,82 6,60 0,19	
N	EW	1	0,00167 0,00145	5 2,3			0,40/10 sphe 0,64 2,17 0,31	
N	KN	1	0,00961 0,00843	2 0,9	0,70/10 sphe 0,0045 3,97 0,0047		0,70/10 sphe 0,67 3,62 0,33	
N	KW	1	0,00323 0,00253	2 0,9	1,60/10 gauss 0,0022 12,75 0,0010		1,60/10 gauss 0,84 10,88 0,19	
S	BN	1	0,00018 0,00009	2 0,9			1,20/15 sphe 0,68 12,60 0,28	
S	BW	1	0,00033 0,00029	2 0,9			0,70/10 sphe 0,73 2,91 0,22	
S	EN	1	0,00053 0,00030	4 1,8			0,70/15 sphe 0,79 8,14 0,21	
S	EW	1	0,00013 0,00010	5 2,3			1,20/10 sphe 0,52 3,24 0,36	
S	KN	1	0,00071 0,00047	5 2,3	0,40/10 gauss 0,0003 3,85 0,0003		0,40/10 gauss 0,73 3,28 0,29	
S	KW	1	0,00030 0,00023	2 0,9			1,20/10 gauss 0,62 9,36 0,39	
C/N	BN	1	2,412 2,116	1 0,5	1,20/15 sphe 0,7480 7,20 0,9020		1,20/15 sphe 0,37 7,20 0,46	
C/N	BW	1	4,295 1,994	5 2,3	0,80/15 sphe 0,9600 6,00 1,0199		0,80/15 sphe 0,48 6,00 0,47	
C/N	EN	1	13,391 10,702	2 0,9	1,20/15 sphe 5,8300 7,92 4,1800		1,20/15 sphe 0,56 7,20 0,42	
C/N	EW	1	9,388 8,453	2 0,9	0,40/10 sphe 5,1297 2,99 4,1800		0,80/10 exp 0,35 2,35 0,56	
C/N	KN	1	7,496 6,183	3 1,4	1,20/10 sphe 3,6578 7,32 1,9838		1,20/10 exp 0,57 7,80 0,43	
C/N	KW	1	27,473 21,726	5 2,3			0,80/35 gauss 0,43 18,48 0,77	

Tabelle A5: Variogrammdaten Kationenaustauschkapazität, Basensättigung, Calciumsättigung

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.		Ausreißer n %		Variogramm lag/dist. model nugget range sill					Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill					standard. Variogramm lag/dist. model nugget range sill					standard. Variogramm (alternativ) lag/dist. model nugget range sill						
AKe	BW	1	0,322	0,310	1	0,5	1,20/10	sphe	0,6800	3,36	0,3100							0,80/10	sphe	0,74	3,24	0,23						
AKe	BW	3	0,088	0,064	3	1,4	0,80/10	sphe	0,0392	5,67	0,0252							0,80/10	sphe	0,68	5,67	0,36						
AKe	BW	7	0,027	0,023	3	1,4	1,60/10	sphe	0,0078	12,41	0,0150							1,60/10	sphe	0,49	12,41	0,51						
AKe	EW	1	0,159	0,137	3	1,4												0,40/10	sphe	0,70	2,91	0,28						
AKe	EW	3	0,072	0,067	1	0,5	0,40/10	sphe	0,0259	1,52	0,0413							0,40/11	sphe	0,40	1,52	0,59						
AKe	EW	7	0,078	0,034	3	1,4	0,70/12	exp	0,0096	4,97	0,0228							0,70/12	exp	0,30	4,97	0,67						
AKe	KW	1	0,695	0,543	4	1,8	1,20/15	sphe	0,3060	13,14	0,2280							1,20/15	sphe	0,78	10,80	0,22						
AKe	KW	3	0,127	0,081	4	1,8	1,20/10	sphe	0,0504	11,16	0,0432							1,20/10	sphe	0,70	10,92	0,35						
AKe	KW	7	0,030	0,014	5	2,3																						
AKe	KN	1	0,910	0,679	4	1,8	0,40/10	sphe	0,3710	2,91	0,3220							0,40/10	sphe	0,67	2,87	0,31						
AKe	KN	3	0,067	0,055	2	0,9	1,20/15	sphe	0,0288	8,46	0,0258							1,20/15	sphe	0,58	8,46	0,43						
AKe	KN	7	0,021	0,013	5	2,3	1,20/10	sphe	0,0056	8,16	0,0100							1,20/10	sphe	0,63	7,20	0,45						
BS	BW	1	157,290	157,290	0	0	0,80/10	sphe	113,60	6,48	46,40							0,80/10	sphe	0,71	6,48	0,31						
BS	BW	3	27,002	11,884	4	1,8												0,80/15	sphe	0,83	7,20	0,18						
BS	BW	7	10,573	4,545	3	1,4												0,70/10	sphe	0,70	5,50	0,30						
BS	EW	1	28,733	19,989	4	1,8	1,20/10	sphe	15,80	9,18	4,40							1,60/10	sphe	0,81	9,18	0,20						
BS	EW	3	4,871	3,334	6	2,7												0,70/10	gauss	0,80	4,62	0,22						
BS	EW	7	24,960	9,900	5	2,3	0,40/10	gauss	7,90	3,03	2,70							0,40/10	gauss	0,79	3,03	0,23						
BS	KW	1	60,111	53,849	2	0,9	0,70/10	sphe	21,06	4,97	33,48							0,70/10	sphe	0,40	3,55	0,62						
BS	KW	3	7,880	3,379	6	2,7												0,70/10	sphe	0,70	5,68	0,23						
BS	KW	7	4,648	3,143	4	1,8												0,70/10	sphe	0,68	4,33	0,33						
BS	KN	1	90,990	82,177	2	0,9	0,80/15	sphe	23,24	5,72	73,04							0,80/15	sphe	0,32	5,72	0,80						
BS	KN	3	22,232	19,124	2	0,9	0,70/10	gauss	11,80	5,25	8,80							0,70/10	sphe	0,70	5,25	0,34						
BS	KN	7	34,950	13,659	9	4,1												0,70/15	sphe	0,78	6,27	0,18						
Ca	BW	1	122,579	117,951	1	0,5	0,80/10	sphe	85,19	6,16	32,39							0,80/10	sphe	0,70	6,16	0,31						
Ca	BW	3	15,377	6,398	6	2,7												0,70/15	sphe	0,82	7,70	0,23						
Ca	BW	7	4,454	2,718	3	1,4												0,70/15	sphe	0,69	6,60	0,30						
Ca	EW	1	9,962	6,781	4	1,8	1,20/10	sphe	4,22	8,64	2,31							1,20/10	sphe	0,71	8,40	0,29						
Ca	EW	3	1,335	0,938	3	1,4	1,20/10	sphe	0,66	7,20	0,38							1,20/10	sphe	0,63	7,20	0,42						
Ca	EW	7	15,996	4,686	4	1,8																						
Ca	KW	1	46,459	41,497	2	0,9	0,70/10	sphe	15,54	5,40	27,30							0,70/10	sphe	0,37	3,98	0,66						
Ca	KW	3	5,823	2,903	4	1,8	0,70/10	gauss	1,86	5,68	1,41							0,70/10	sphe	0,68	4,69	0,34						
Ca	KW	7	2,058	1,511	3	1,4	0,70/10	sphe	0,98	3,90	0,34							0,70/10	sphe	0,65	3,44	0,30						
Ca	KN	1	70,580	64,230	2	0,9	0,70/15	sphe	18,20	5,83	54,60							0,70/15	sphe	0,32	6,05	0,79						
Ca	KN	3	13,585	13,585	0	0												0,70/10	sphe	0,65	5,68	0,38						
Ca	KN	7	18,107	6,045	10	4,5												0,70/15	sphe	0,83	6,60	0,13						

Tabelle A6: Variogrammdaten Magnesium-, Kalium-, Natriumsättigung

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.	Ausreißer n %	Variogramm						Variogramm (alternativ)						standard. Variogramm						standard. Variogramm (alternativ)					
						lag/dist.	model	nugget	range	sill		lag/dist.	model	nugget	range	sill		lag/dist.	model	nugget	range	sill		lag/dist.	model	nugget	range	sill
Mg	BW	1	3,273	2,264	4	1,8	0,70/10	sphe	1,7020	6,82	0,5750							0,70/10	sphe	0,74	6,82	0,28						
Mg	BW	3	1,502	0,411	3	1,4												0,70/10	exp	0,50	5,68	0,60						
Mg	BW	7	0,751	0,229	2	0,9	0,70/10	sphe	0,0810	4,76	0,1680							0,70/10	exp	0,27	6,53	0,87						
Mg	EW	1	2,298	1,881	3	1,4																						
Mg	EW	3	0,347	0,232	4	1,8												0,70/10	sphe	0,73	4,76	0,29						
Mg	EW	7	0,537	0,228	5	2,3												0,70/10	sphe	0,74	4,26	0,27						
Mg	KW	1	0,937	0,781	3	1,4	0,70/10	sphe	0,4400	4,40	0,2960							0,70/10	sphe	0,70	2,84	0,30						
Mg	KW	3	0,131	0,073	6	2,7																						
Mg	KW	7	0,078	0,051	4	1,8																						
Mg	KN	1	1,664	1,416	2	0,9												0,70/10	gauss	0,73	5,61	0,37						
Mg	KN	3	0,455	0,365	3	1,4																						
Mg	KN	7	0,940	0,272	9	4,1																						
K	BW	1	0,937	0,862	1	0,5	0,70/10	sphe	0,4770	6,46	0,3780							0,70/10	sphe	0,53	6,46	0,49						
K	BW	3	0,692	0,529	3	1,4	1,20/15	sphe	0,2640	12,60	0,2820							1,20/15	sphe	0,62	16,20	0,40						
K	BW	7	2,527	0,610	1	0,5	1,20/10	gauss	0,3360	8,40	0,5460							1,20/10	gauss	0,64	9,48	0,38						
K	EW	1	2,158	1,714	3	1,4												0,70/10	sphe	0,70	4,97	0,30						
K	EW	3	0,964	0,904	1	0,5												0,70/10	sphe	0,64	3,55	0,32						
K	EW	7	1,988	1,429	3	1,4	0,70/10	sphe	0,5999	4,26	1,0800							0,70/10	sphe	0,40	4,19	0,70						
K	KW	1	0,738	0,528	4	1,8	0,70/10	gauss	0,4020	5,32	0,1560							0,70/10	gauss	0,83	4,47	0,18						
K	KW	3	0,192	0,183	1	0,5	1,60/15	sphe	0,0940	11,52	0,0660							1,60/15	sphe	0,41	3,60	0,43						
K	KW	7	0,707	0,654	1	0,5	4,00/12	gauss	0,2520	24,48	0,4690							4,00/12	exp	0,36	39,78	0,79						
K	KN	1	0,827	0,741	2	0,9	0,70/10	sphe	0,3840	5,40	0,1560							0,70/10	sphe	0,78	3,69	0,22						
K	KN	3	0,194	0,178	2	0,9	1,20/10	exp	0,0760	2,88	0,0740							1,20/10	exp	0,50	2,88	0,47						
K	KN	7	0,954	0,657	1	0,5	1,00/15	sphe	0,3360	3,15	0,2240	1,00/15	exp	0,3360	9,30	0,3290	1,00/15	exp	0,42	4,80	0,51	1,00/15	exp	0,5	9,3	0,56		
Na	BW	1	0,060	0,052	3	1,4												1,60/15	sphe	0,46	23,28	0,60						
Na	BW	3	0,065	0,049	3	1,4												0,70/15	sphe	0,52	9,13	0,52						
Na	BW	7	0,704	0,704	0	0																						
Na	EW	1	0,063	0,045	1	0,5	0,40/10	sphe	0,0230	3,03	0,0245							0,40/10	sphe	0,56	3,03	0,49						
Na	EW	3	0,073	0,050	5	2,3	0,70/10	sphe	0,0380	3,55	0,0120							0,70/10	sphe	0,76	3,55	0,23						
Na	EW	7	0,266	0,251	1	0,5	0,70/10	sphe	0,1080	2,91	0,1380							0,70/10	sphe	0,51	2,77	0,42						
Na	KW	1	0,087	0,063	4	1,8	0,70/10	sphe	0,0462	4,05	0,0168							0,70/10	sphe	0,76	4,05	0,24						
Na	KW	3	0,086	0,066	3	1,4	0,70/10	gauss	0,0441	5,04	0,0238							0,70/10	sphe	0,60	3,55	0,37						
Na	KW	7	0,596	0,512	2	0,9												4,00/12	gauss	0,75	33,60	0,35						
Na	KN	1	0,221	0,179	2	0,9	0,70/10	sphe	0,0680	7,10	0,1540							0,70/10	sphe	0,50	7,10	0,67						
Na	KN	3	0,370	0,193	4	1,8																						
Na	KN	7	1,803	1,471	3	1,4																						

Tabelle A7: Variogrammdaten Aluminium-, Eisen-, Mangansättigung

Param.	Fläche	Tiefe	Varianz alle o. Ausr.	Ausreißer n %	Variogramm						Variogramm (alternativ)						standard. Variogramm						standard. Variogramm (alternativ)					
						lag/dist.	model	nugget	range	sill	lag/dist.	model	nugget	range	sill		lag/dist.	model	nugget	range	sill		lag/dist.	model	nugget	range	sill	
Al	BW	1	176,705	176,705	0	0	0,80/10	sphe	129,60	5,99	44,99						0,80/10	gauss	0,79	5,99	0,22							
Al	BW	3	38,692	22,080	4	1,8	0,70/10	sphe	14,49	5,61	4,83						0,70/15	exp	0,63	7,70	0,36							
Al	BW	7	13,225	6,826	3	1,4											0,70/15	sphe	0,65	7,70	0,35							
Al	EW	1	40,645	35,690	2	0,9	1,20/10	sphe	25,92	9,72	17,64						1,20/10	sphe	0,74	8,88	0,37							
Al	EW	3	16,065	11,765	4	1,8																						
Al	EW	7	33,750	12,710	5	2,3											0,70/10	sphe	0,70	3,83	0,32							
Al	KW	1	69,895	61,817	2	0,9	1,20/10	sphe	39,60	5,16	74,40						1,20/10	sphe	0,37	6,00	0,72							
Al	KW	3	46,503	33,292	3	1,4	1,20/10	sphe	21,84	6,00	29,64						1,20/10	sphe	0,50	7,20	0,55							
Al	KW	7	8,575	6,881	2	0,9	0,70/10	sphe	3,59	4,26	3,31						0,70/10	sphe	0,47	4,26	0,44							
Al	KN	1	118,425	114,325	1	0,5	0,70/10	sphe	37,19	5,82	85,20						0,70/10	sphe	0,37	5,89	0,73							
Al	KN	3	55,467	51,032	1	0,5	0,70/10	sphe	20,28	5,54	30,68						0,70/10	sphe	0,44	4,90	0,54							
Al	KN	7	33,254	13,618	10	4,5											0,70/10	sphe	0,65	3,55	0,26							
																							1,60/15	sphe	0,65	7,2	0,29	
Fe	BW	1	2,536	2,429	1	0,5											0,70/15	sphe	0,80	7,92	0,25							
Fe	BW	3	0,684	0,257	5	2,3	0,80/10	sphe	0,1200	7,98	0,1710						0,80/10	sphe	0,60	7,56	0,47							
Fe	BW	7	0,034	0,016	2	0,9											2,00/20	sphe	0,54	43,12	0,58							
Fe	EW	1	1,855	1,744	1	0,5	0,70/10	sphe	0,2239	5,68	0,4499						0,70/10	sphe	0,61	5,68	0,35							
Fe	EW	3	3,158	3,013	1	0,5	1,20/15	sphe	1,6120	11,55	2,3870						1,20/15	sphe	0,68	10,80	0,42							
Fe	EW	7	0,076	0,065	2	0,9	0,70/10	sphe	0,0420	3,55	0,0175						0,70/10	sphe	0,63	3,55	0,35							
Fe	KW	1	3,327	3,186	1	0,5											1,20/10	exp	0,60	8,40	0,40							
Fe	KW	3	5,508	4,372	1	0,5																						
Fe	KW	7	0,293	0,137	3	1,4	1,20/10	gauss	0,0840	9,60	0,0560						1,20/10	sphe	0,70	8,40	0,29							
Fe	KN	1	1,205	1,120	1	0,5	0,70/10	sphe	0,4680	2,34	0,4440						0,70/10	sphe	0,39	2,84	0,52							
Fe	KN	3	2,699	2,563	1	0,5	1,60/10	sphe	1,1960	11,90	1,6120						1,60/10	sphe	0,53	11,90	0,55							
Fe	KN	7	0,186	0,159	2	0,9																						
Mn	BW	1	9,672	8,223	3	1,4	0,70/10	sphe	6,8057	7,04	1,9920						0,70/15	sphe	0,83	7,70	0,19							
Mn	BW	3	3,765	3,549	1	0,5	0,80/10	sphe	0,8280	5,35	1,9440						0,80/10	sphe	0,30	5,35	0,59							
Mn	BW	7	0,540	0,518	1	0,5	1,20/10	sphe	0,1800	6,00	0,2940						1,20/10	sphe	0,34	6,00	0,59							
Mn	EW	1	0,348	0,177	4	1,8											1,60/10	sphe	0,60	14,62	0,48							
Mn	EW	3	0,179	0,142	3	1,4											0,70/10	sphe	0,60	5,04	0,39							
Mn	EW	7	1,166	0,345	3	1,4																						
Mn	KW	1	0,037	0,012	3	1,4	0,40/10	sphe	0,0044	1,23	0,0074						0,40/10	sphe	0,30	1,23	0,70							
Mn	KW	3	0,264	0,226	3	1,4	1,20/10	gauss	0,1350	8,64	0,0660						1,20/10	sphe	0,66	7,32	0,31							
Mn	KW	7	0,282	0,115	6	2,7	1,20/10	exp	0,0380	3,60	0,0620						1,20/10	exp	0,30	3,60	0,67							
Mn	KN	1	0,106	0,049	8	3,6	0,40/10	gauss	0,0305	3,69	0,0320						0,40/10	sphe	0,67	3,69	0,40							
Mn	KN	3	0,782	0,632	2	0,9	1,20/10	gauss	0,3640	9,60	0,3430						1,20/10	gauss	0,71	8,40	0,31							
Mn	KN	7	0,390	0,259	4	1,8	0,70/10	gauss	0,1290	4,47	0,1530						0,70/10	gauss	0,69	4,26	0,31							

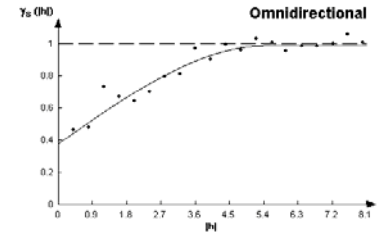
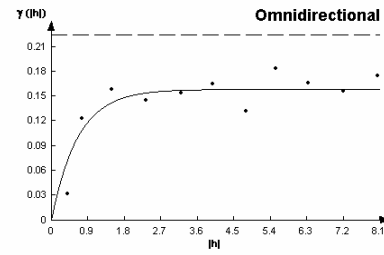
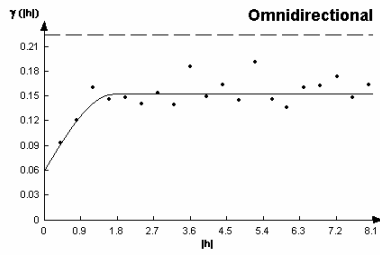
BN

lag 0,4 m

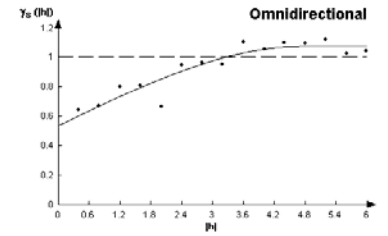
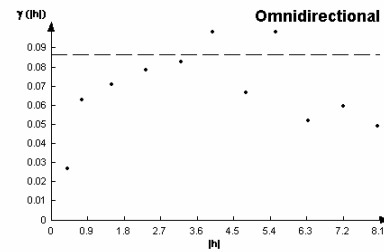
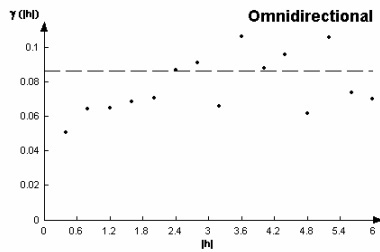
lag 0,8 m

stand. Variogramm

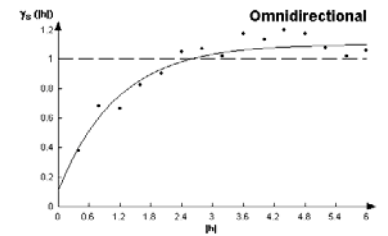
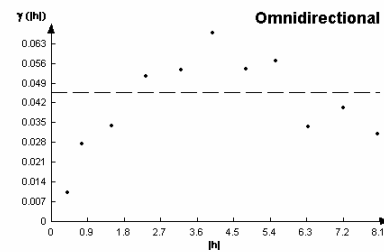
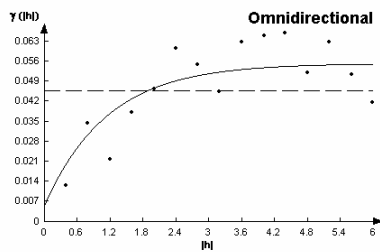
pH1



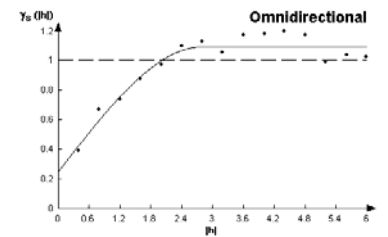
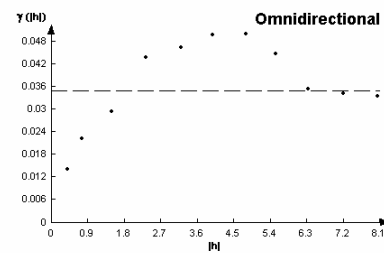
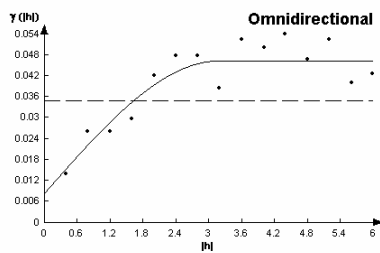
pH2



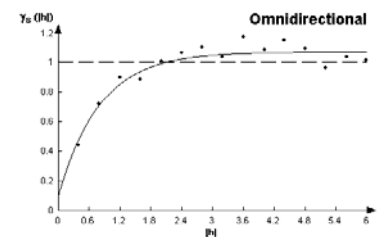
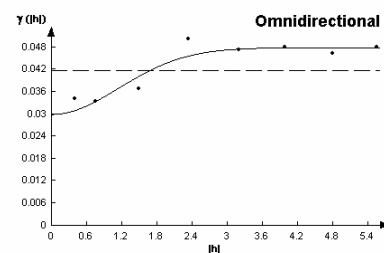
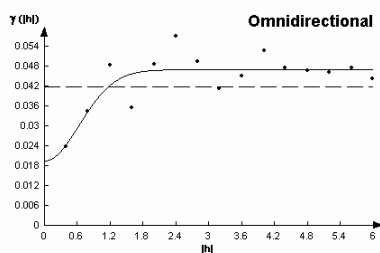
pH3



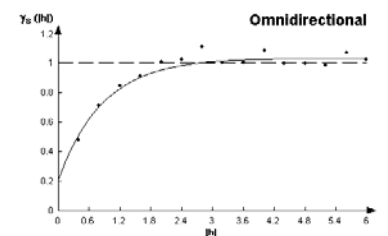
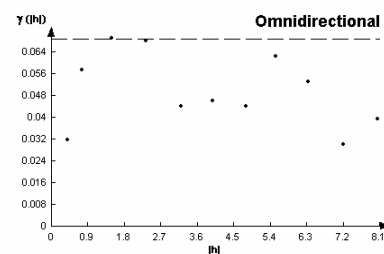
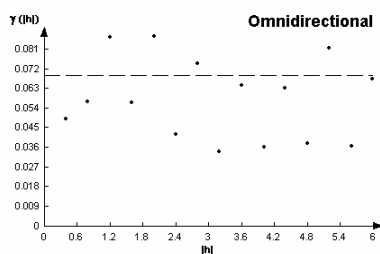
pH4



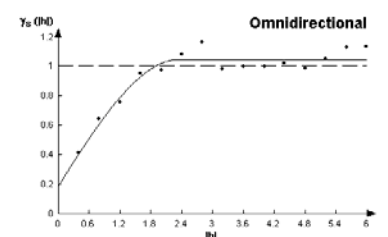
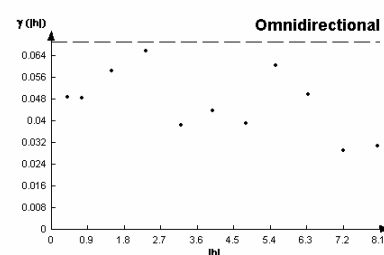
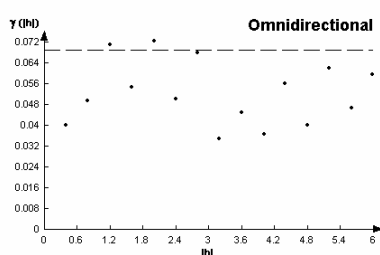
pH5



pH6



pH7



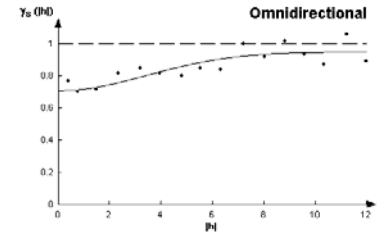
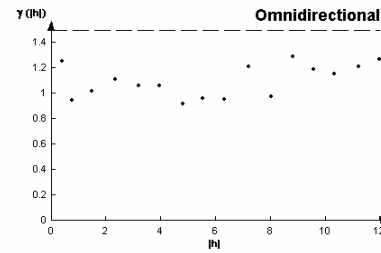
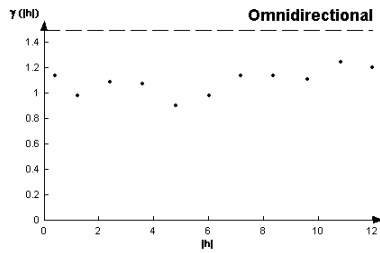
BN

lag 0,4 oder 1,2 m

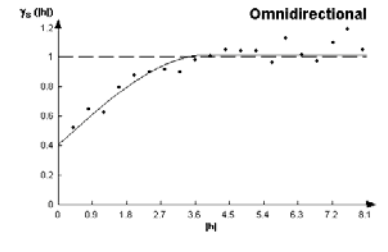
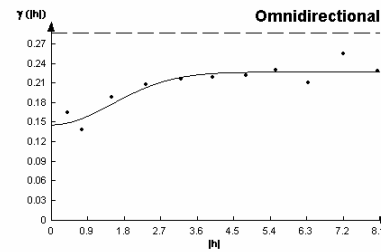
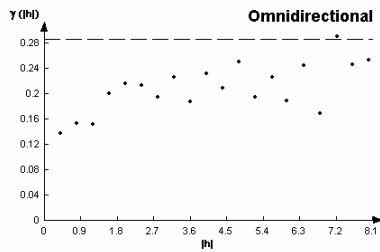
lag 0,8 m

stand. Variogramm

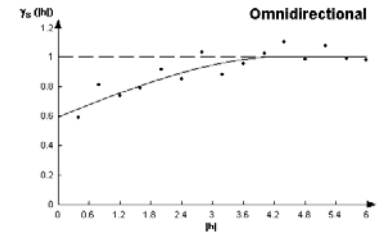
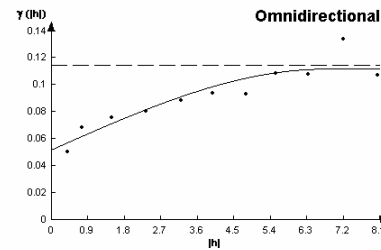
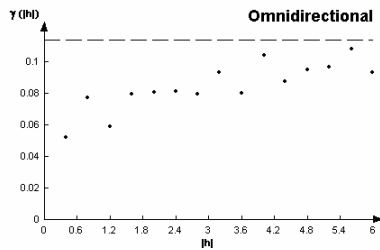
Hu1



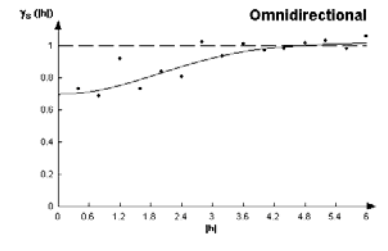
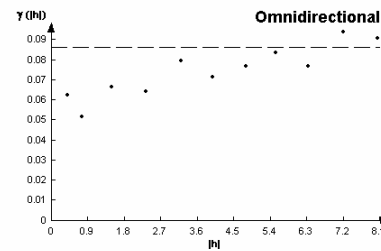
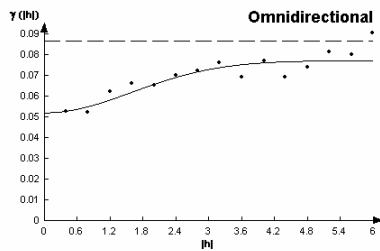
Hu2



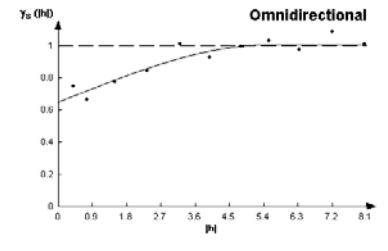
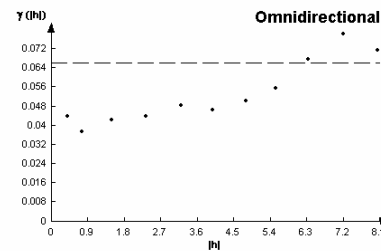
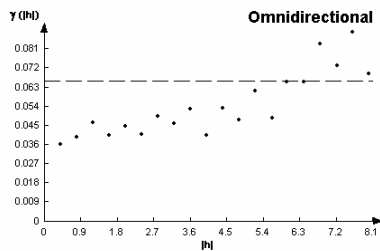
Hu3



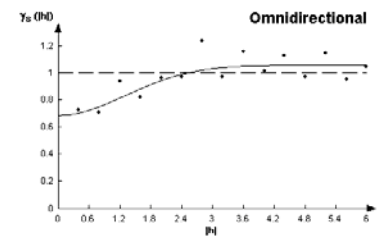
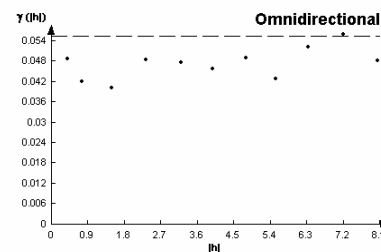
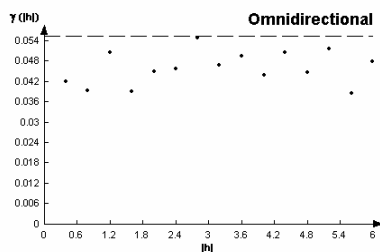
Hu4



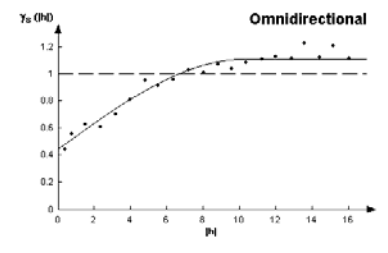
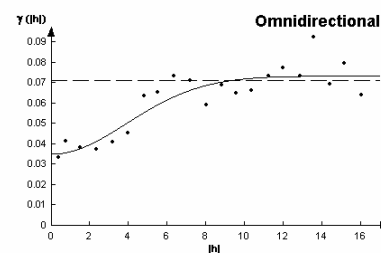
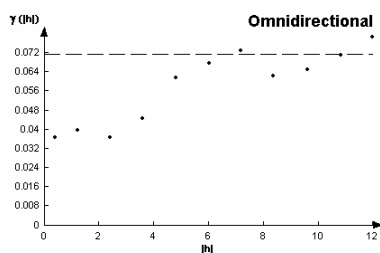
Hu5



Hu6



Hu7



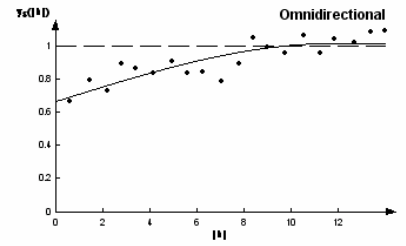
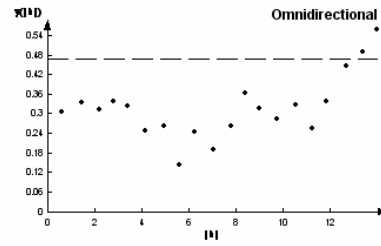
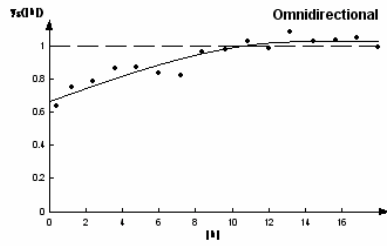
BN

lag 1,2 m

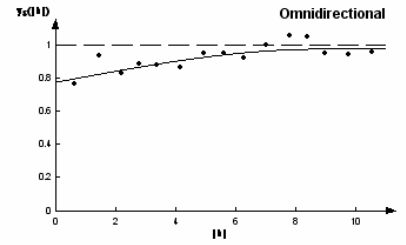
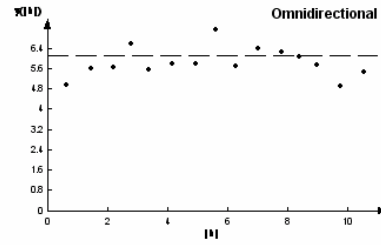
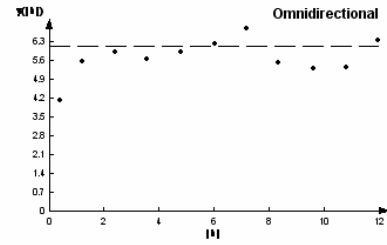
lag 0,7 m

stand. Variogramm

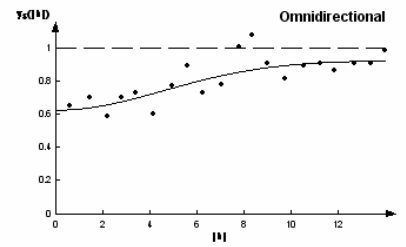
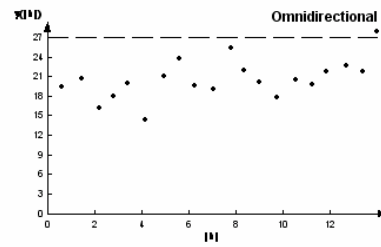
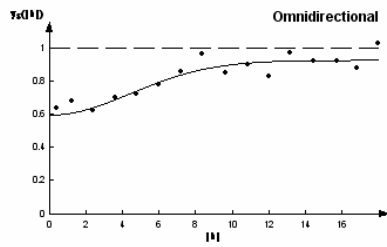
Of;
Ofh



Ah;
Ahe



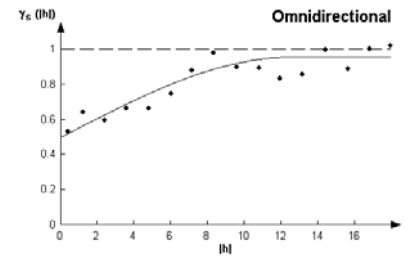
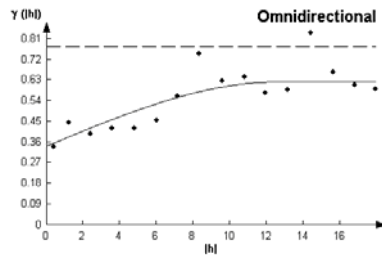
Bsh



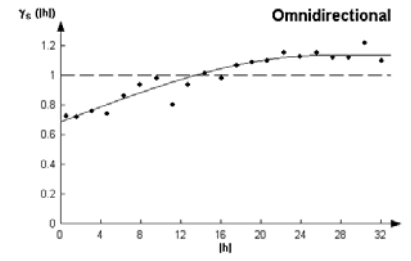
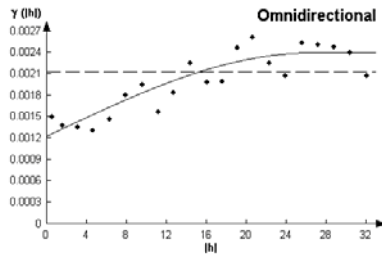
BN

stand. Variogramm

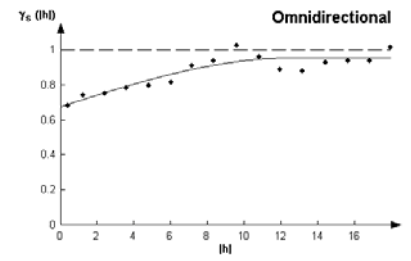
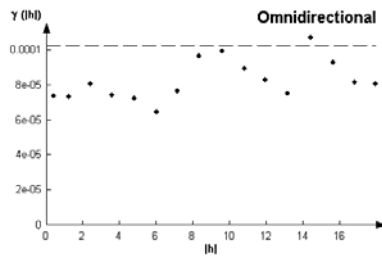
C



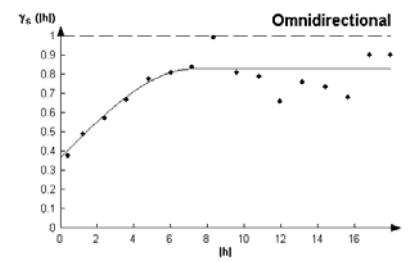
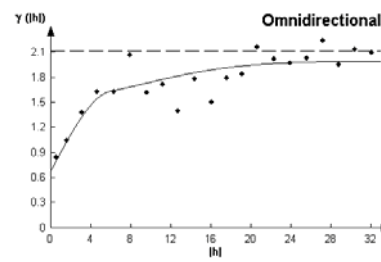
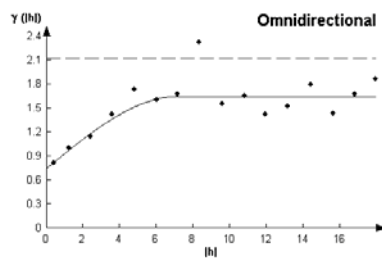
N



S



C/N



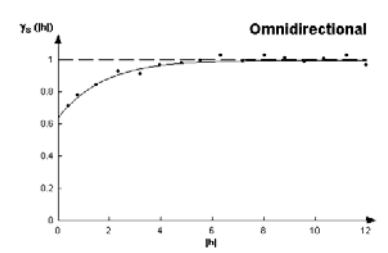
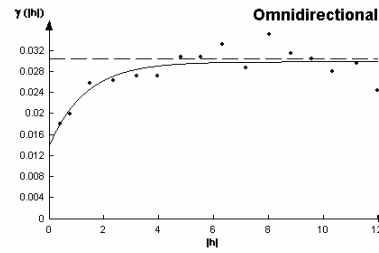
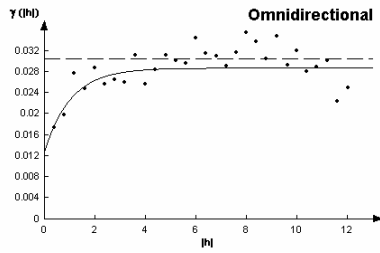
BW

lag 0,4 m

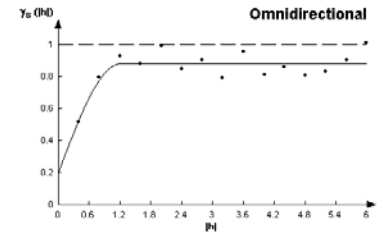
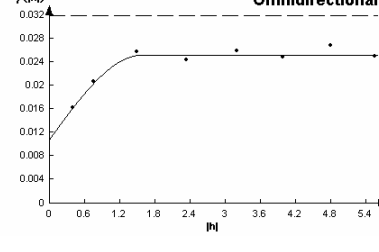
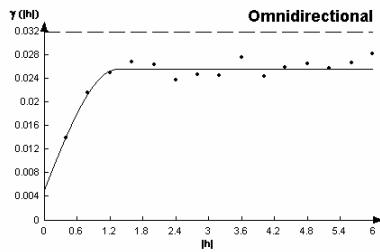
lag 0,8 m

stand. Variogramm

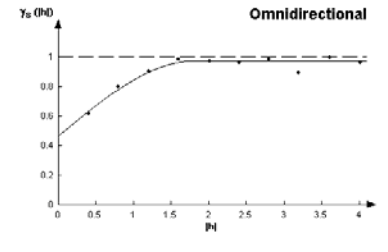
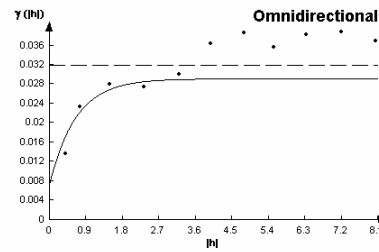
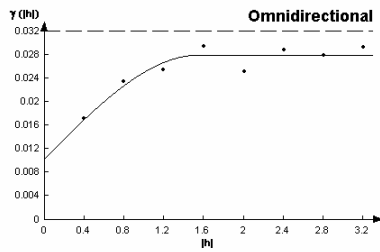
pH1



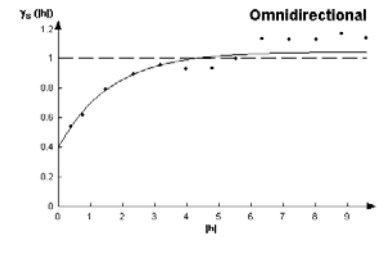
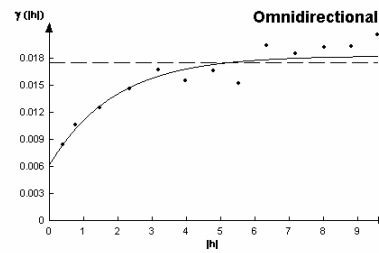
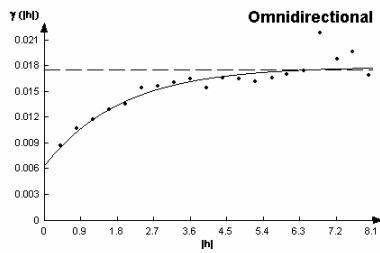
pH2



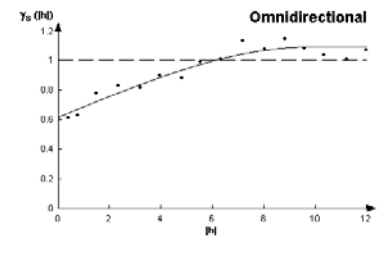
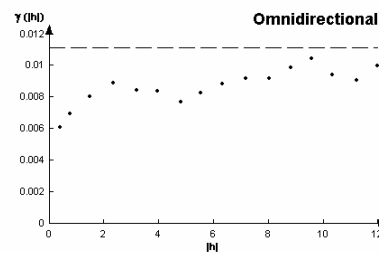
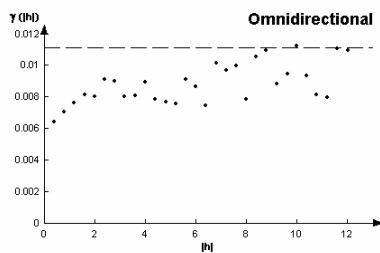
pH3



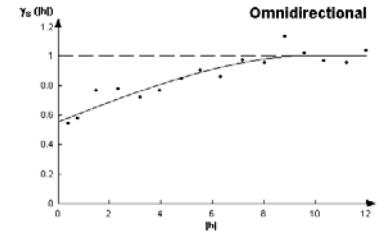
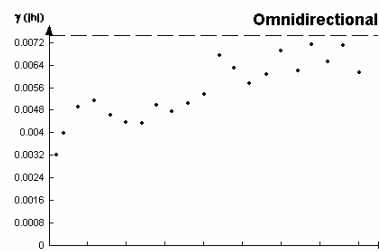
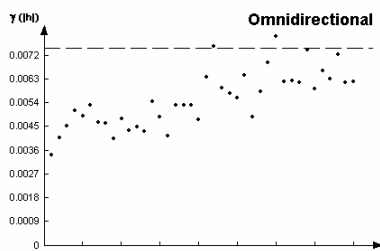
pH4



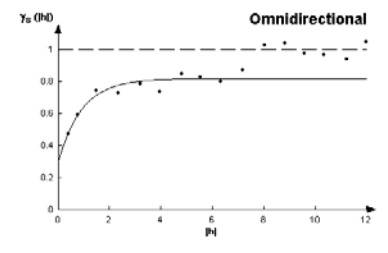
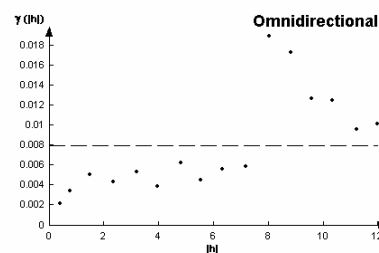
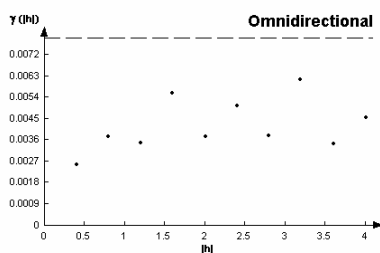
pH5



pH6



pH7



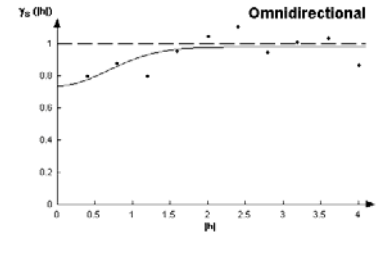
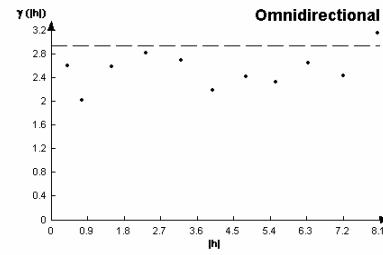
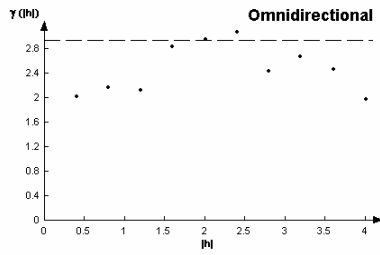
BW

lag 0,4 m oder 1,2 m

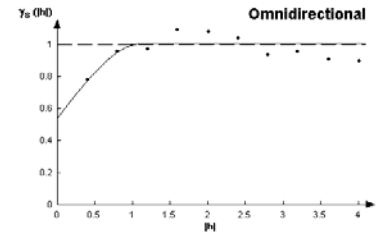
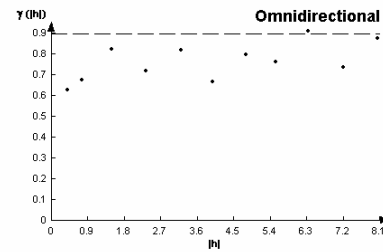
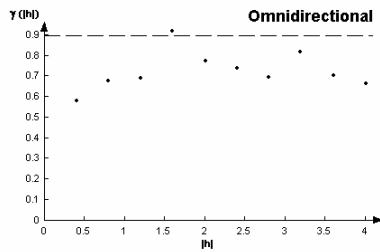
lag 0,8 m

stand. Variogramm

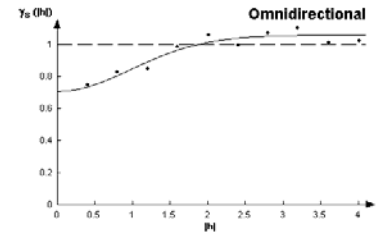
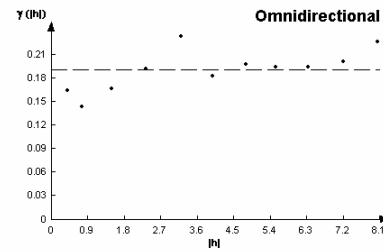
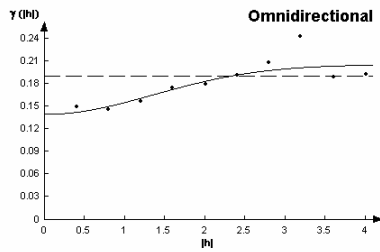
Hu1



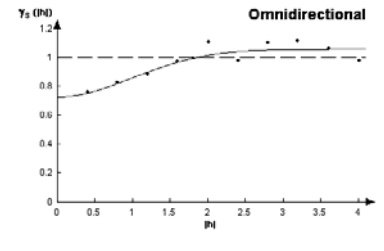
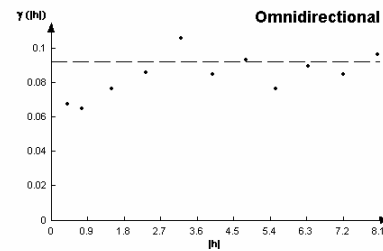
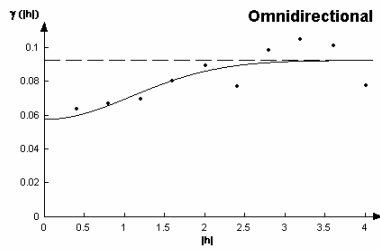
Hu2



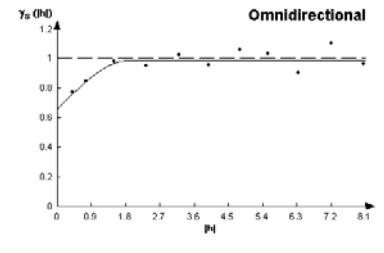
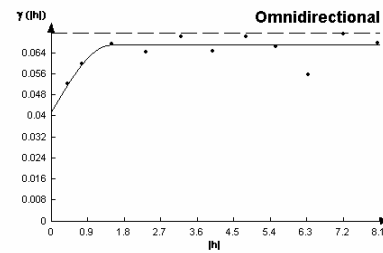
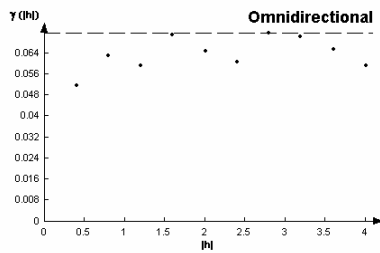
Hu3



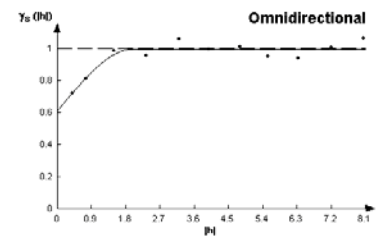
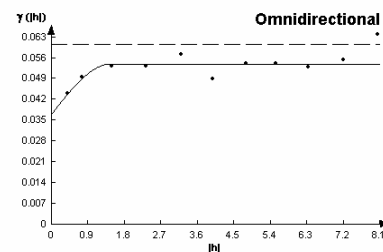
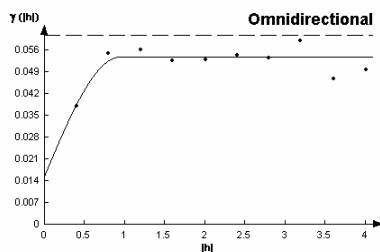
Hu4



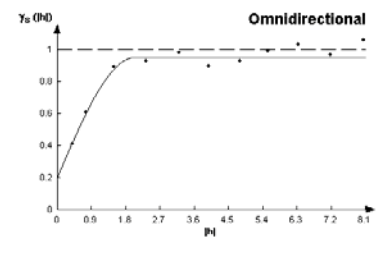
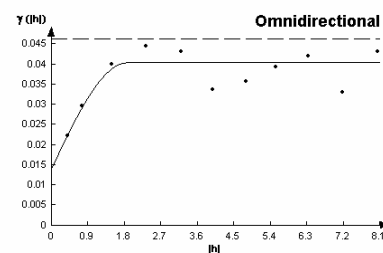
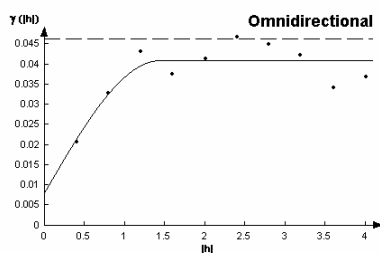
Hu5



Hu6



Hu7



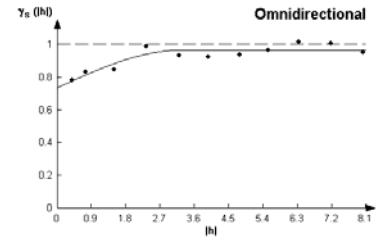
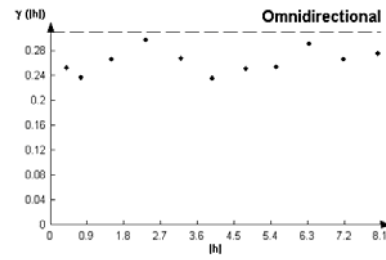
BW

lag 0,4 oder 1,2 m

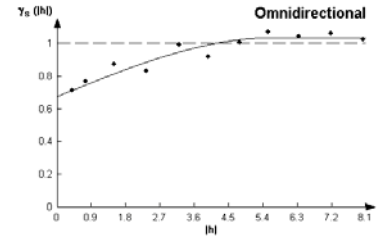
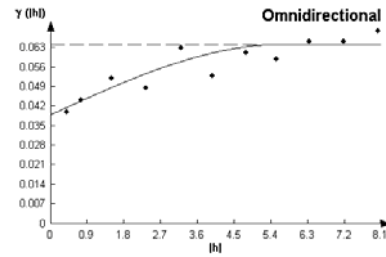
lag 0,8 m

stand. Variogramm

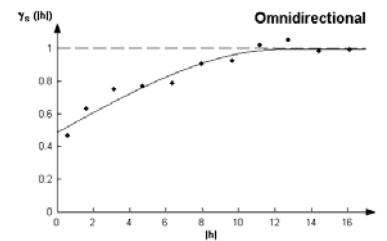
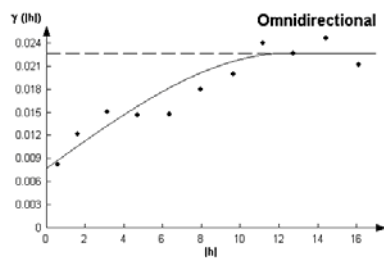
AKe
1



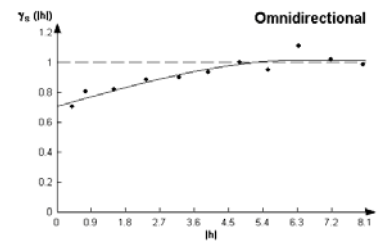
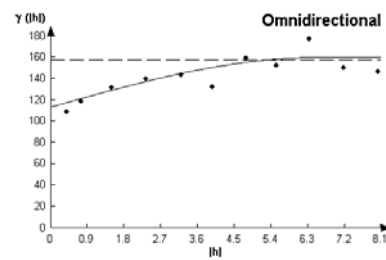
AKe
3



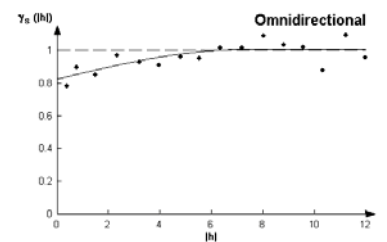
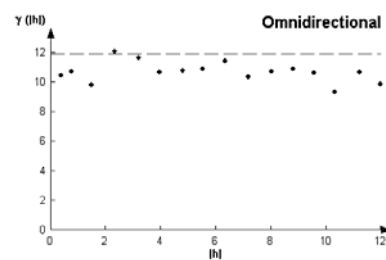
AKe
7



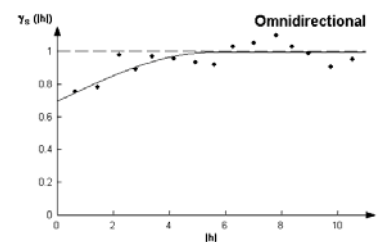
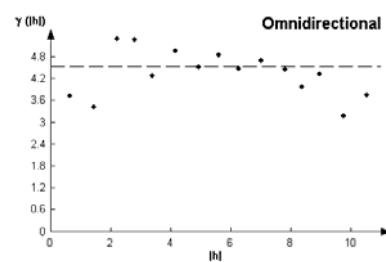
BS1



BS3



BS7



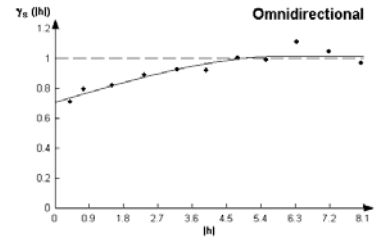
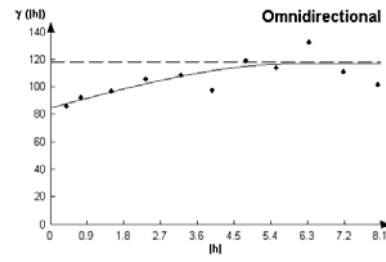
BW

lag 0,4 oder 1,2 m

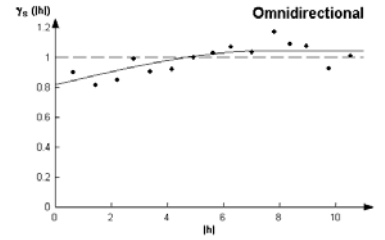
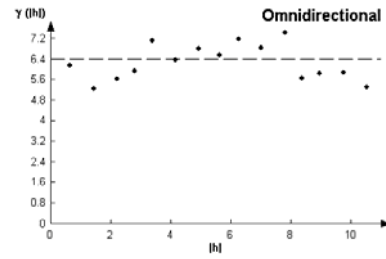
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

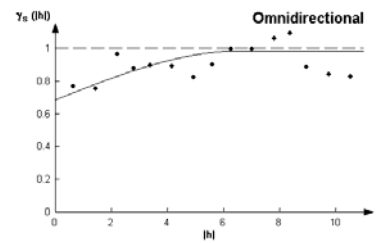
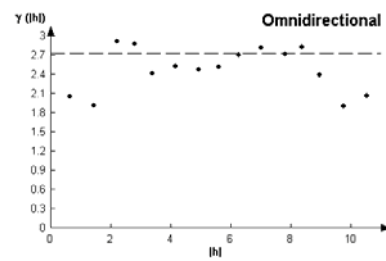
Ca1



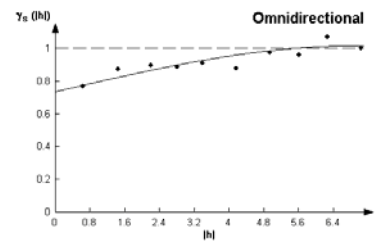
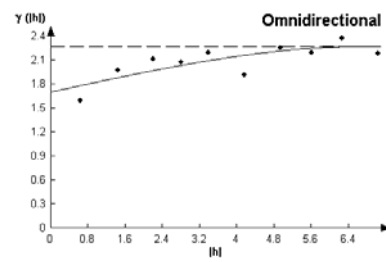
Ca3



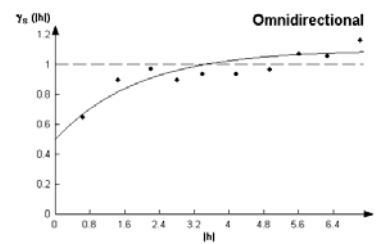
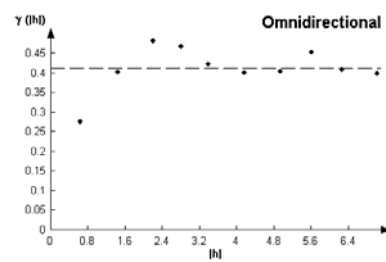
Ca7



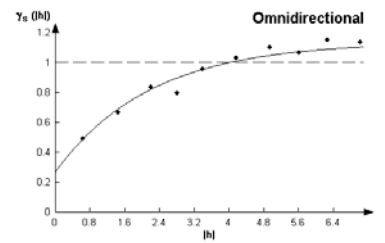
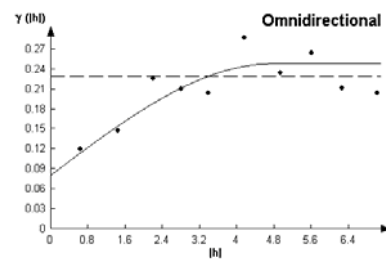
Mg1



Mg3



Mg7



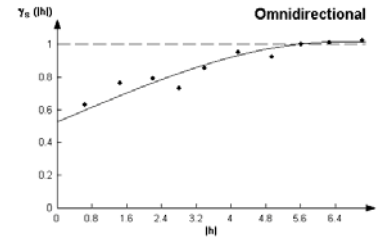
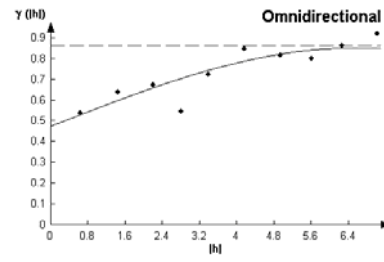
BW

lag 0,4 oder 1,2 m

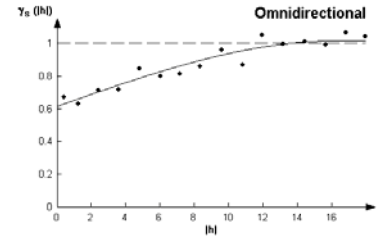
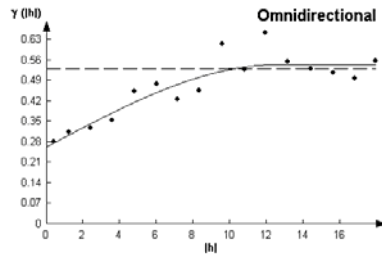
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

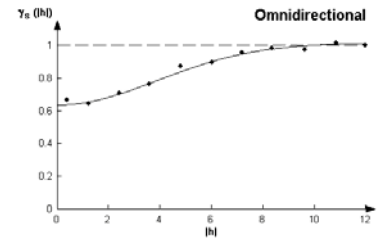
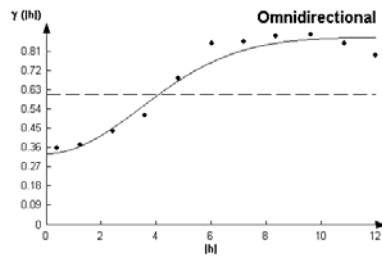
K1



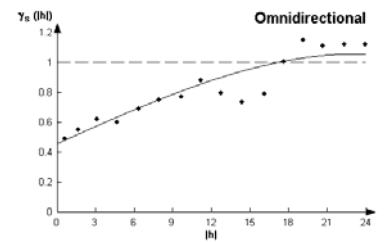
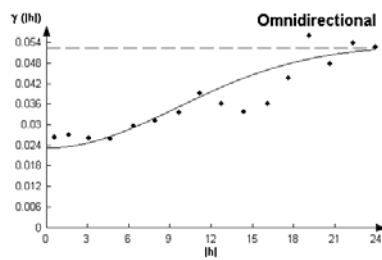
K3



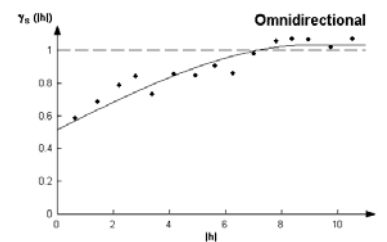
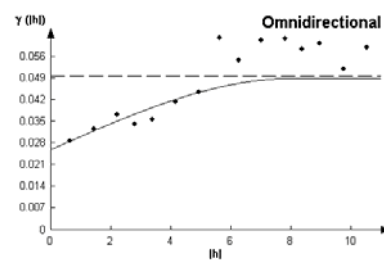
K7



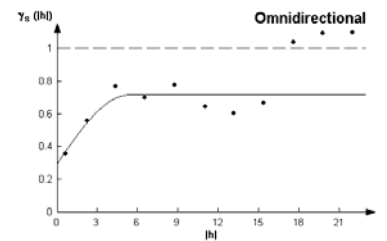
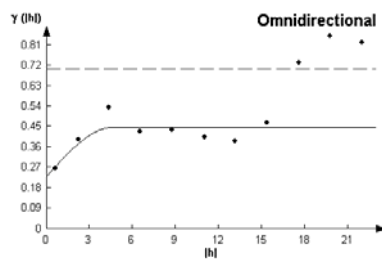
Na1



Na3



Na7



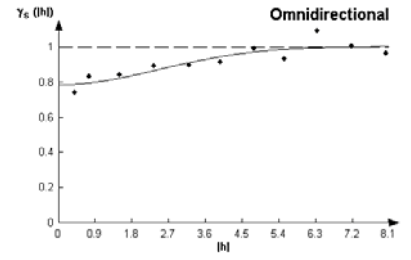
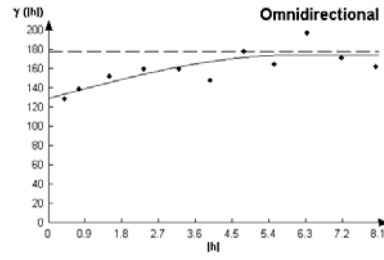
BW

lag 0,4 m

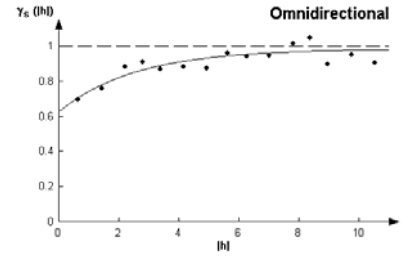
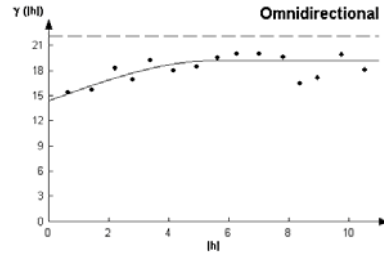
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

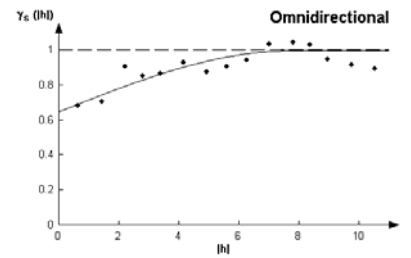
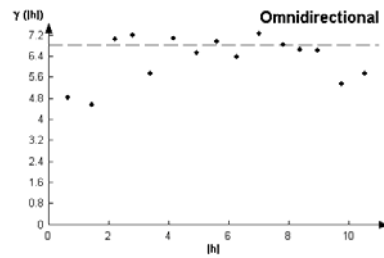
Al1



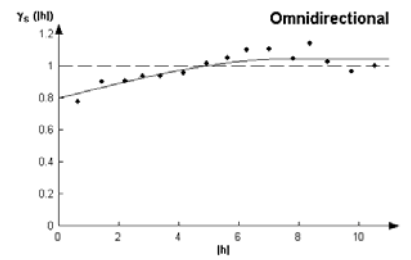
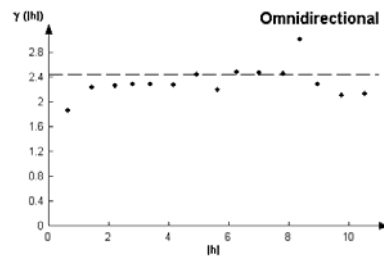
Al3



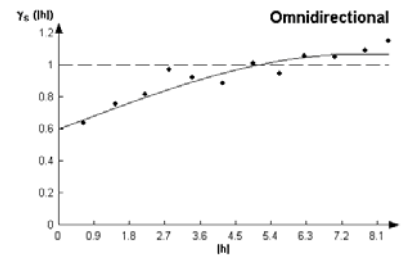
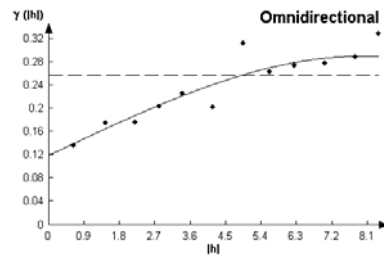
Al7



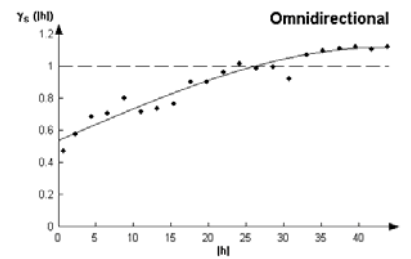
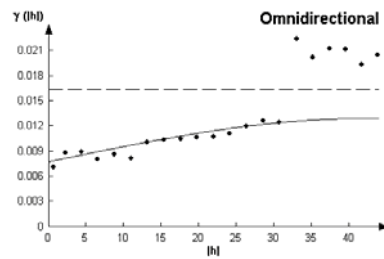
Fe1



Fe3



Fe7



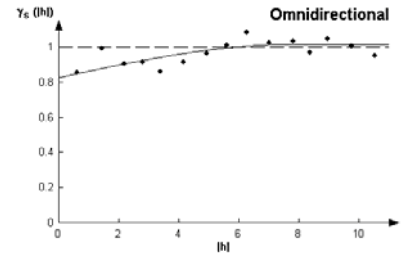
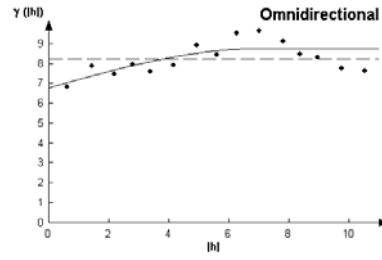
BW

lag 0,4 m

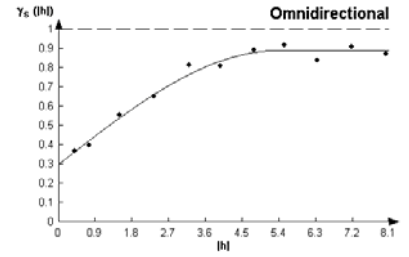
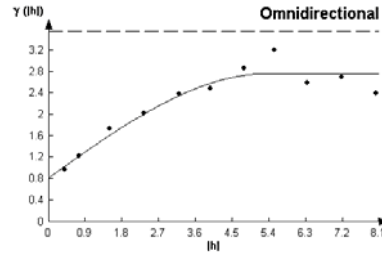
lag 0,8 m

stand. Variogramm

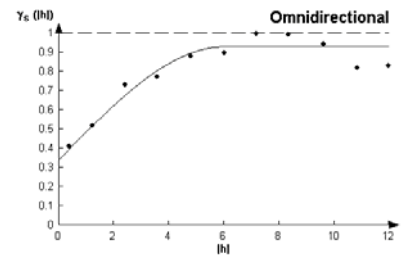
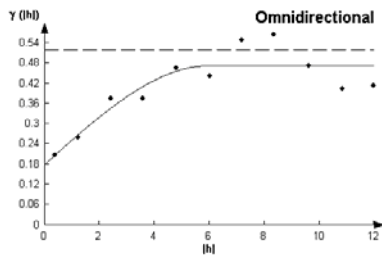
Mn1



Mn3



Mn7



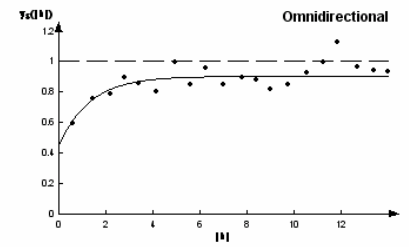
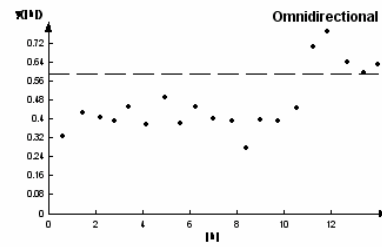
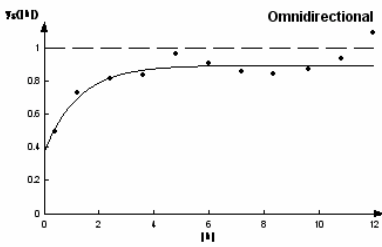
BW

lag 1,2 m

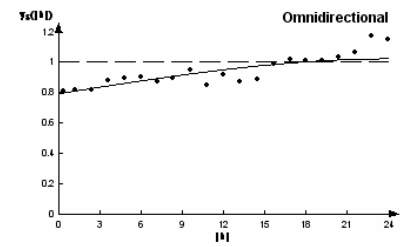
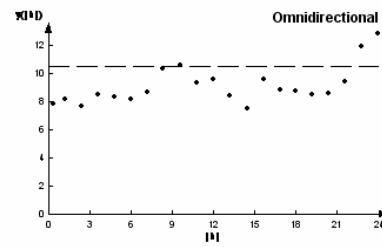
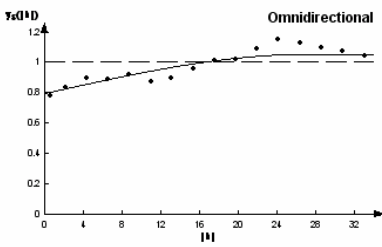
lag 0,7 m

stand. Variogramm

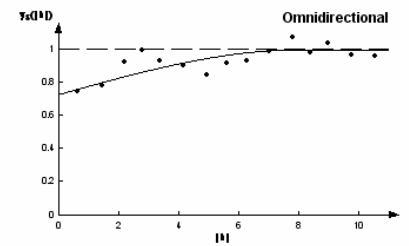
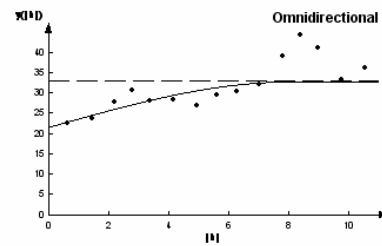
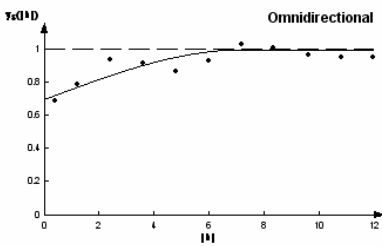
Of;
Ofh



Ah;
Ahe



AhB
V

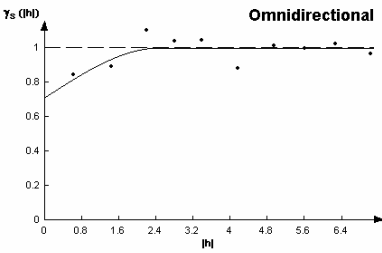
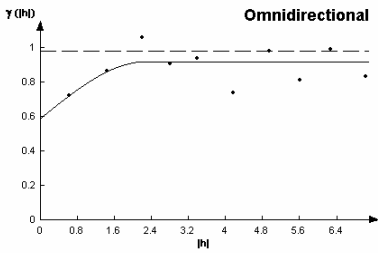


BW

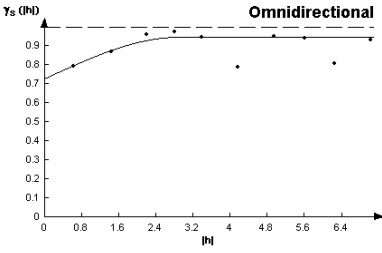
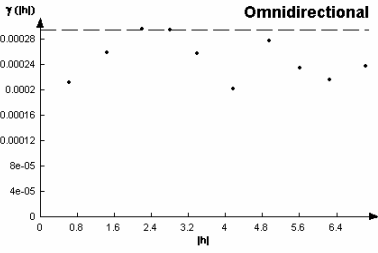
lag 0,8 m

stand.Variogramm

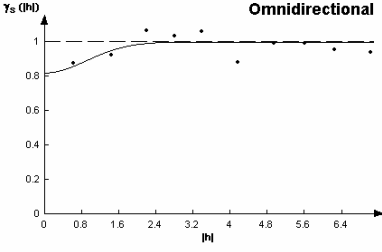
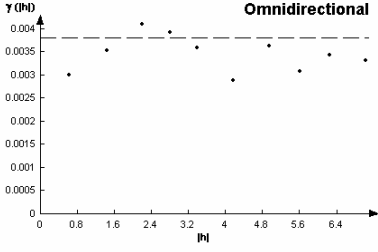
C



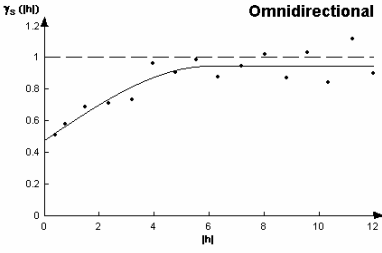
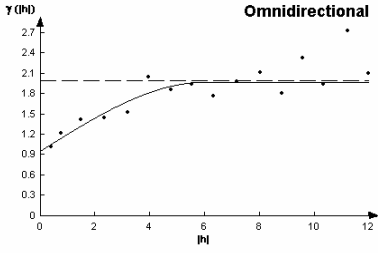
S



N



C/N



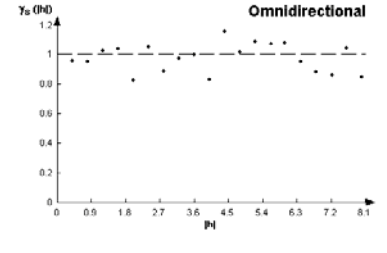
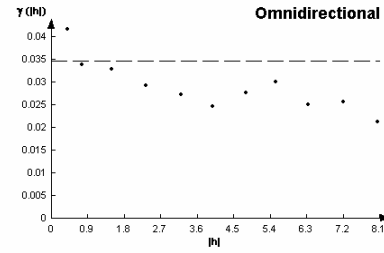
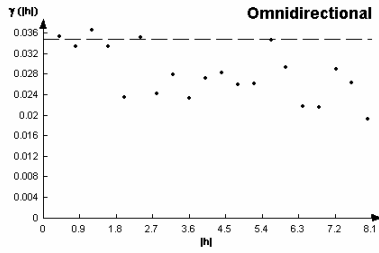
EN

lag 0,4 m

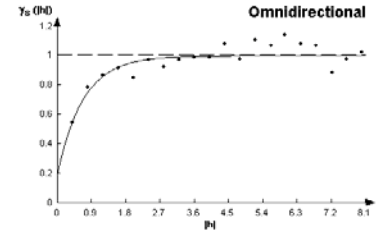
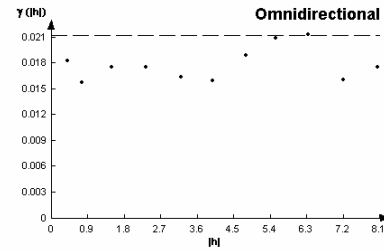
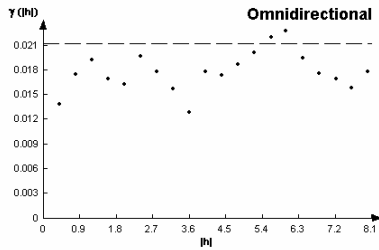
lag 0,8 m

stand. Variogramm

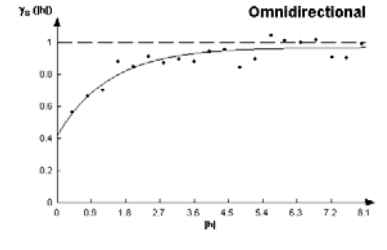
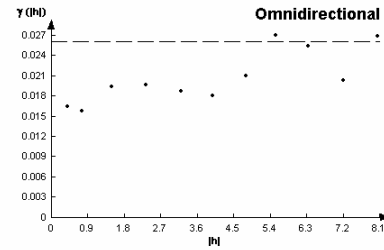
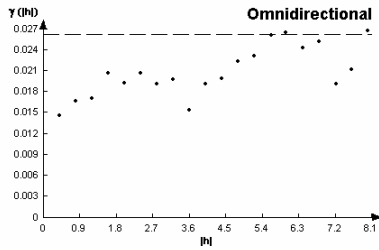
pH1



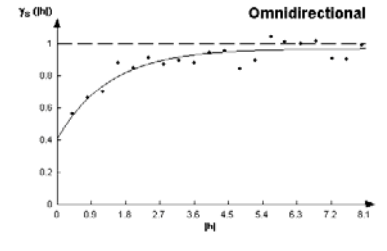
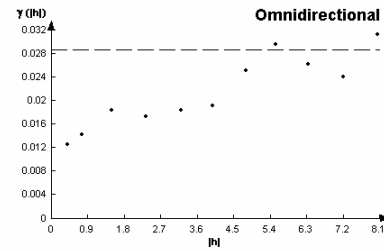
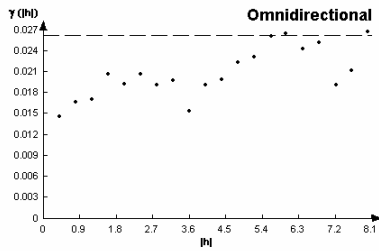
pH2



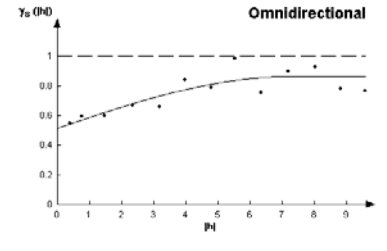
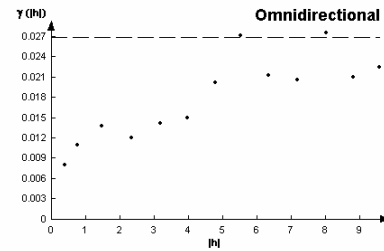
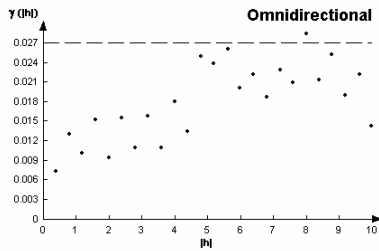
pH3



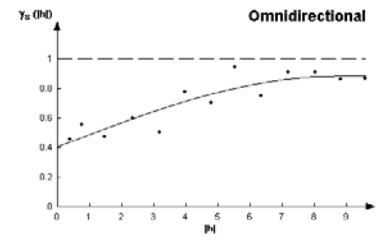
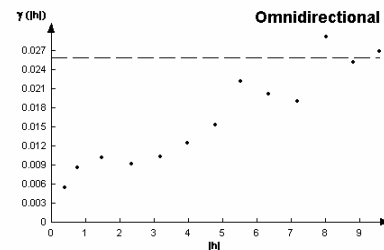
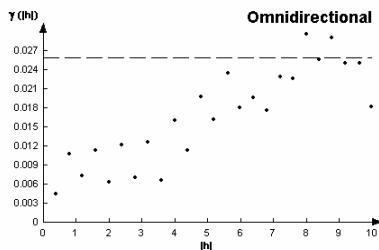
pH4



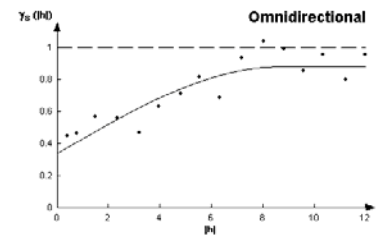
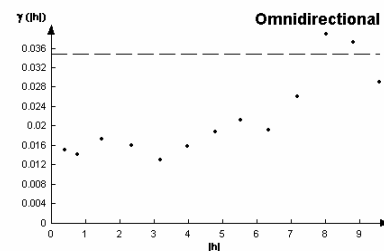
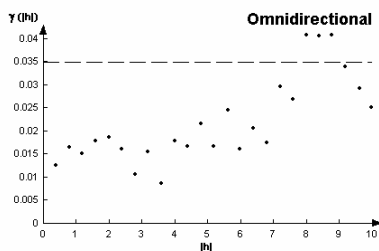
pH5



pH6



pH7



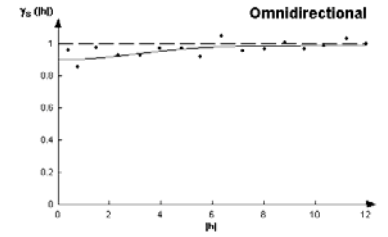
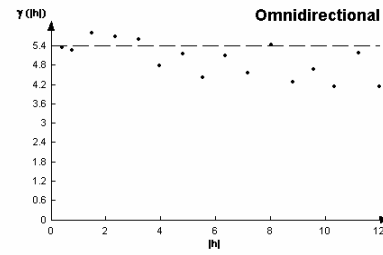
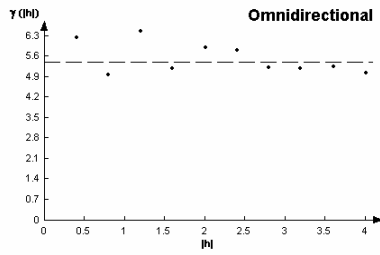
EN

lag 0,4 oder 1,2 m

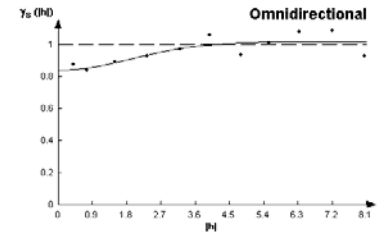
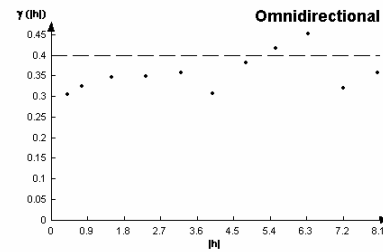
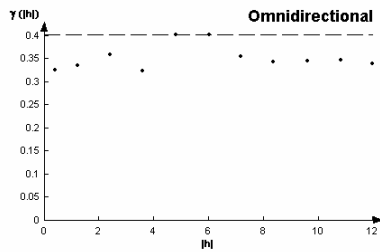
lag 0,8 m

stand. Variogramm

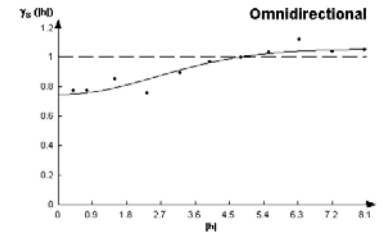
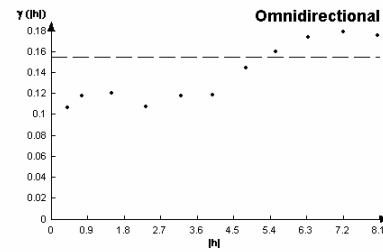
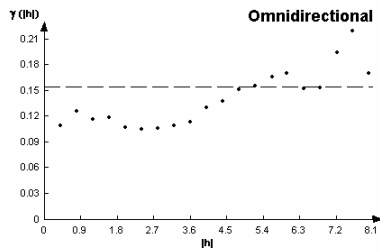
Hu1



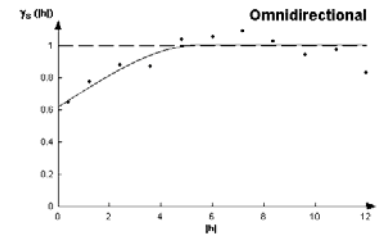
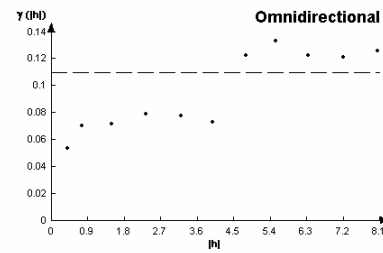
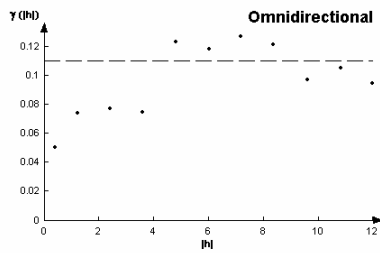
Hu2



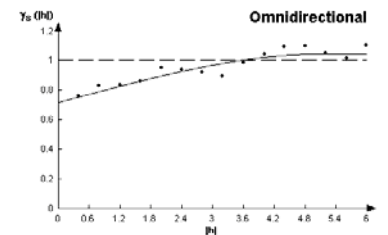
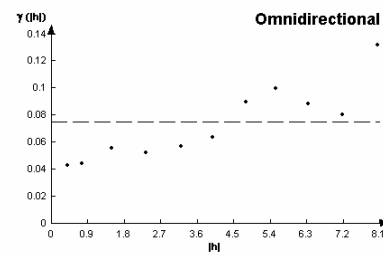
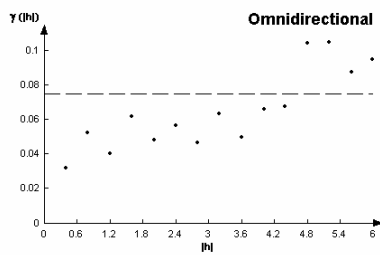
Hu3



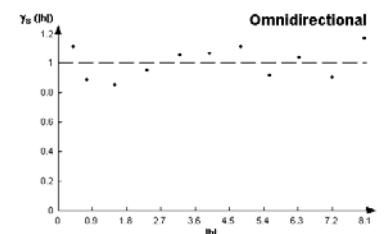
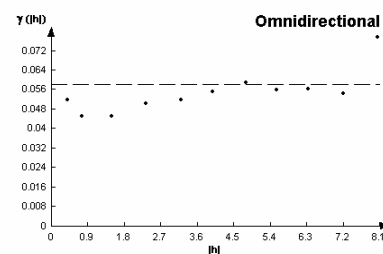
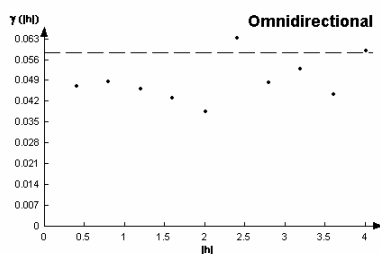
Hu4



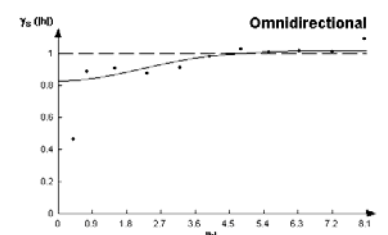
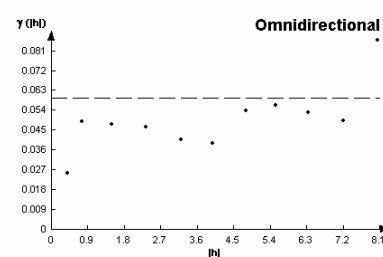
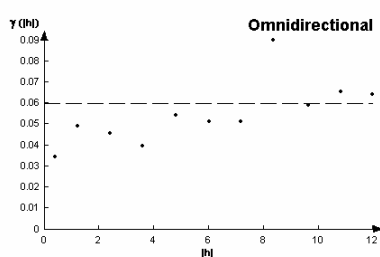
Hu5



Hu6



Hu7



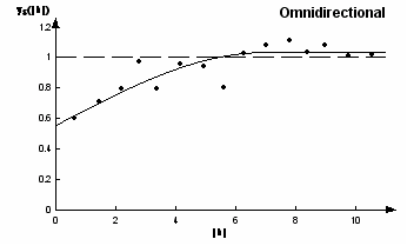
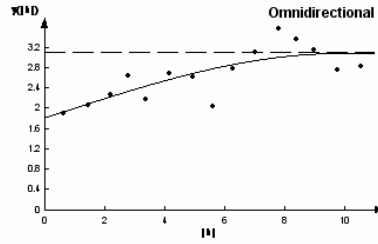
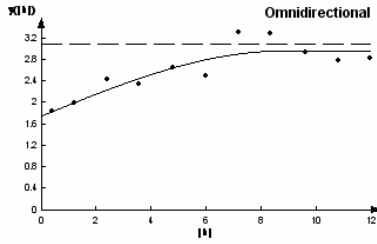
EN

lag 1,2 m

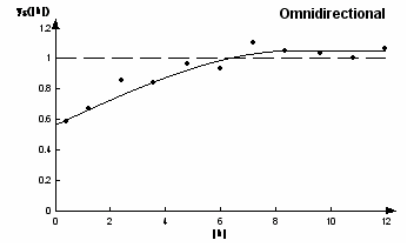
lag 0,7 m

stand. Variogramm

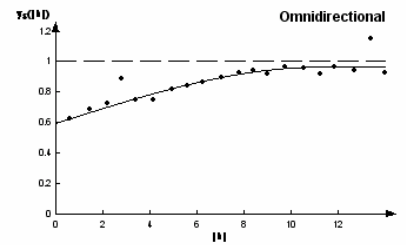
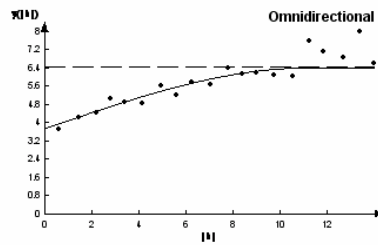
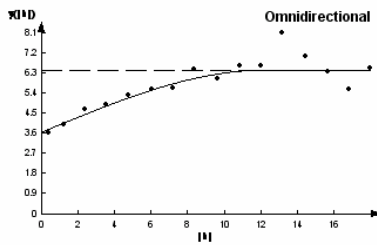
Ofh



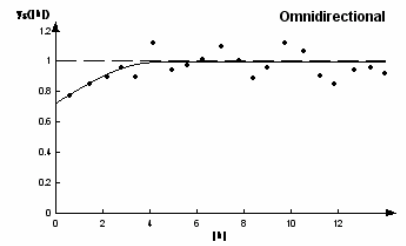
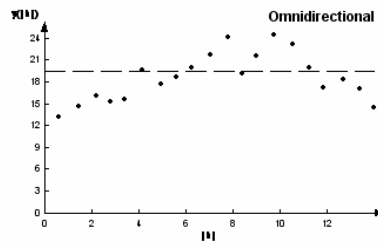
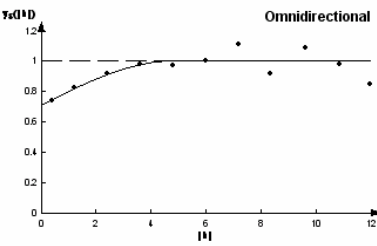
Ofh



Ahe



Bsh

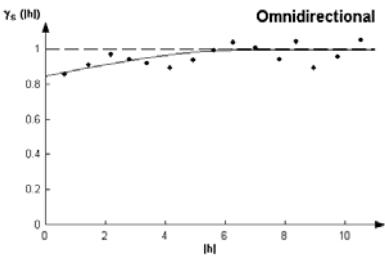
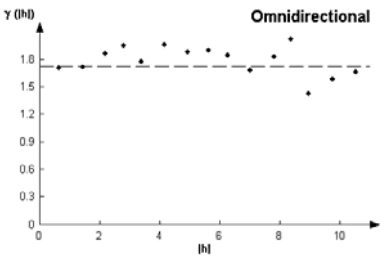


EN

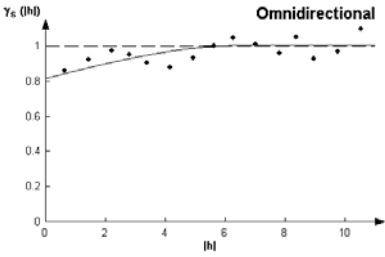
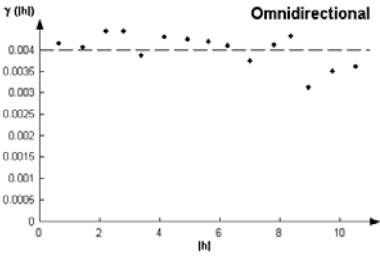
lag 0,7 m

stand. Variogramm

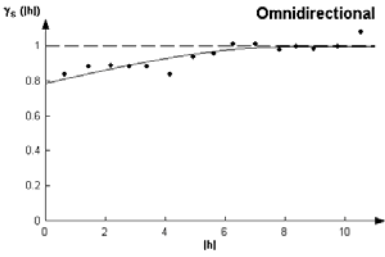
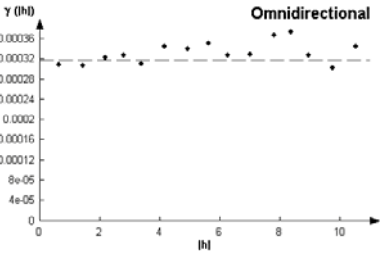
C



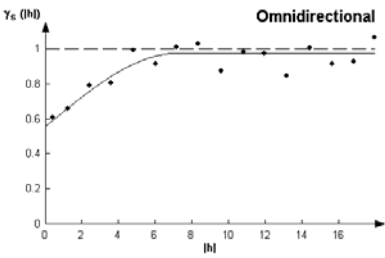
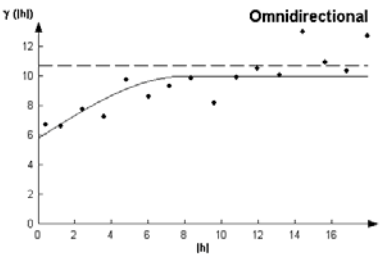
N



S



C/N



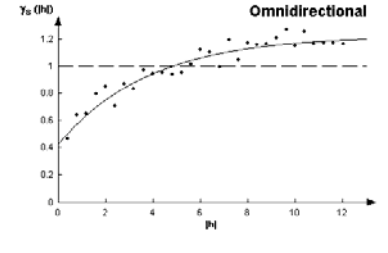
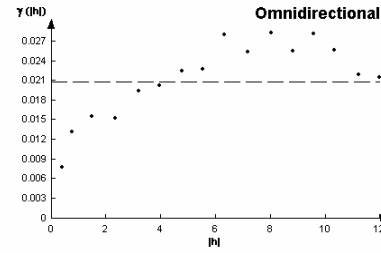
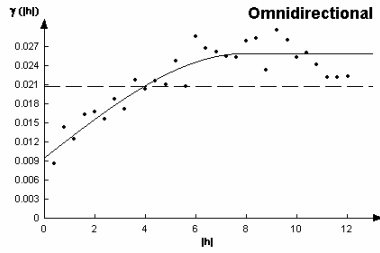
EW

lag 0,4 m

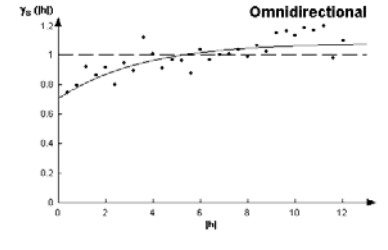
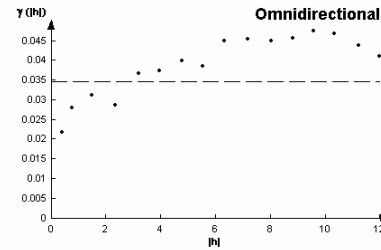
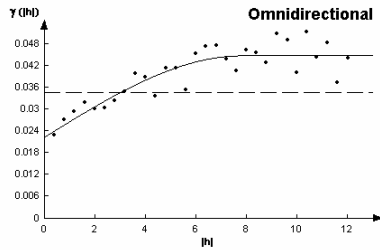
lag 0,8 m

stand. Variogramm

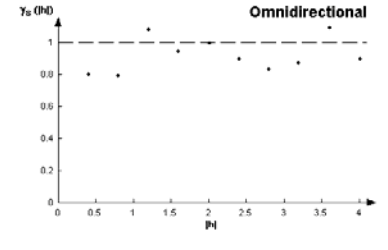
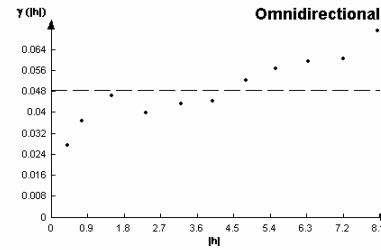
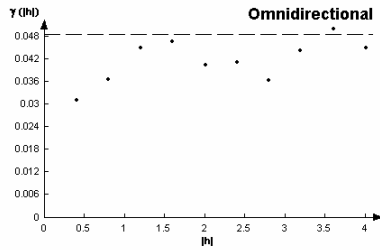
pH1



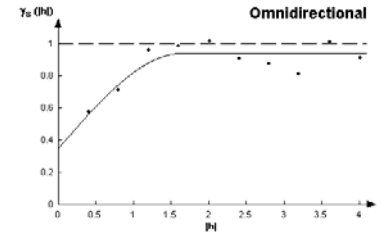
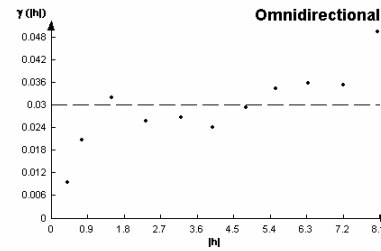
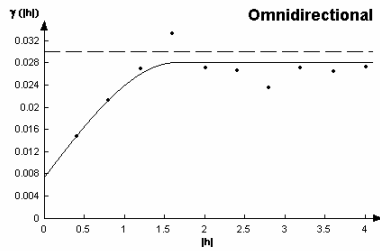
pH2



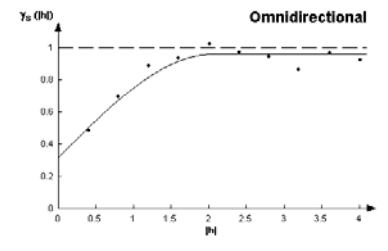
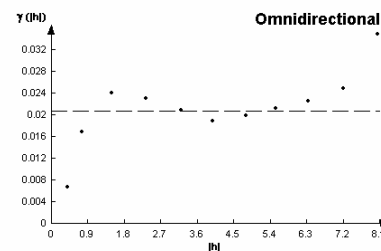
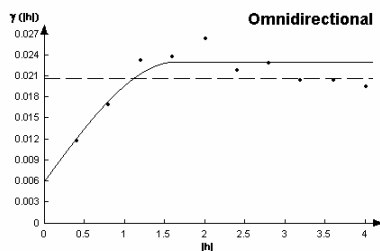
pH3



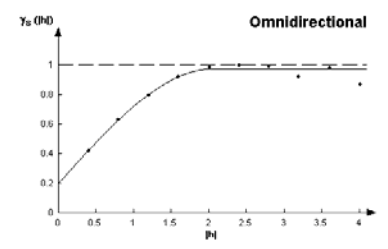
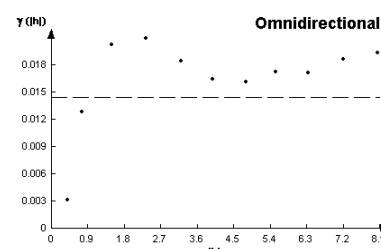
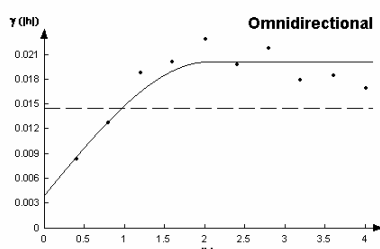
pH4



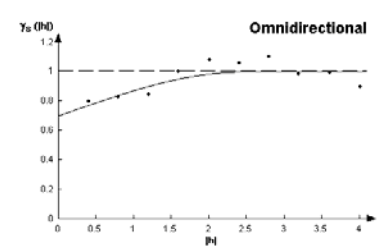
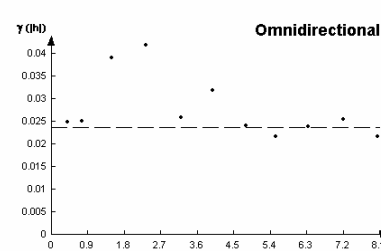
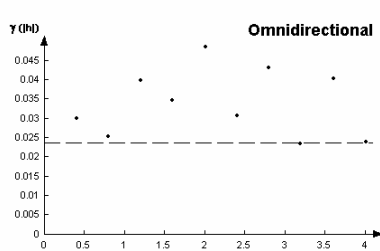
pH5



pH6



pH7



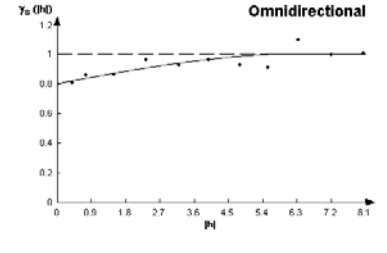
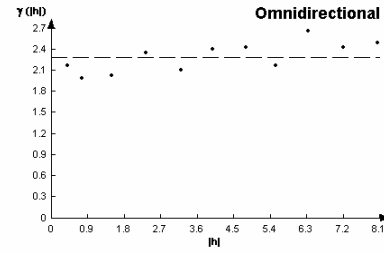
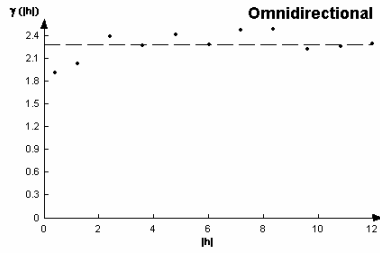
EW

lag 0,4 oder 1,2 m

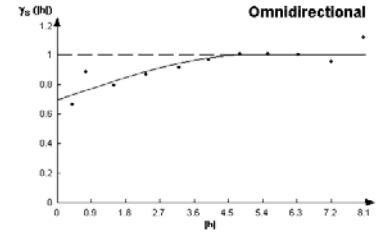
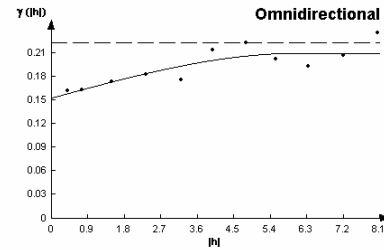
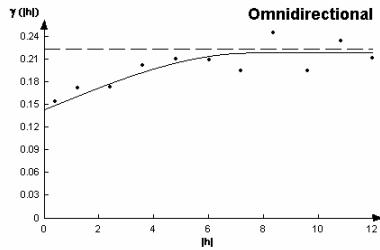
lag 0,8 m

stand. Variogramm

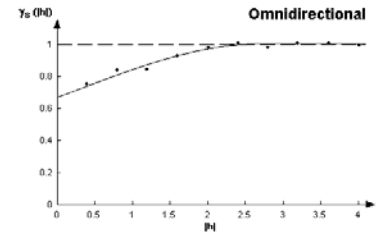
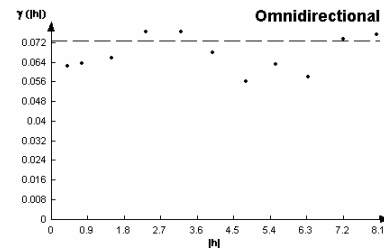
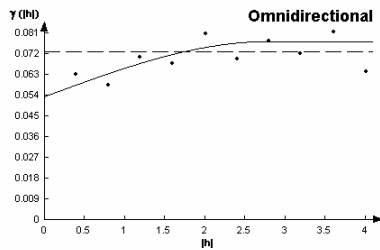
Hu1



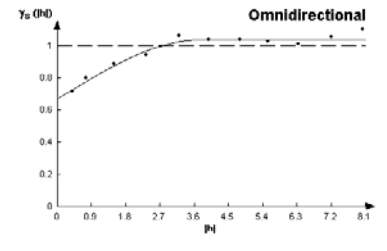
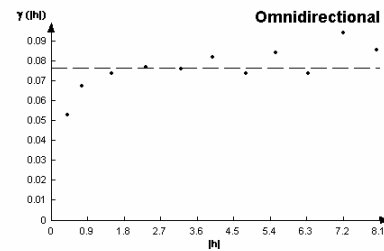
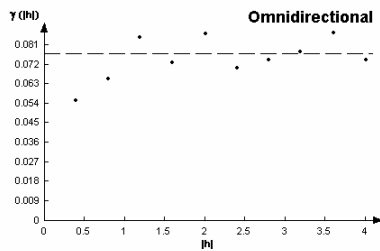
Hu2



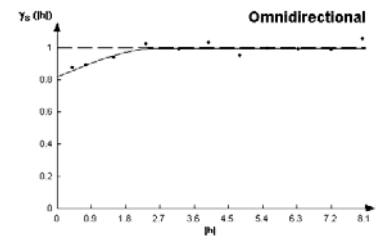
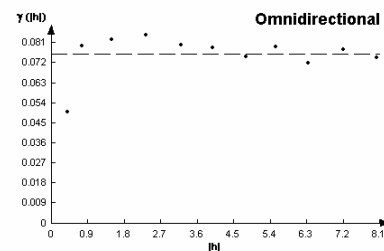
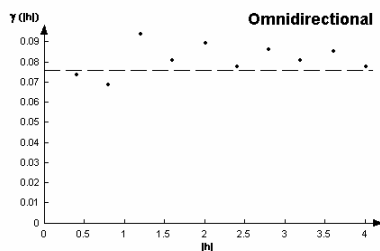
Hu3



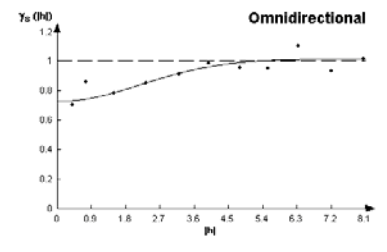
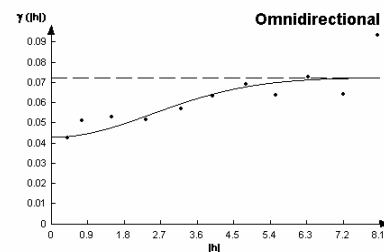
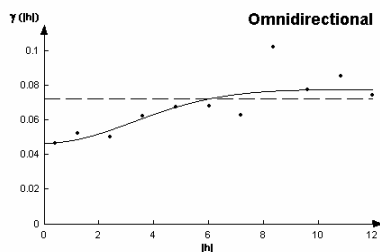
Hu4



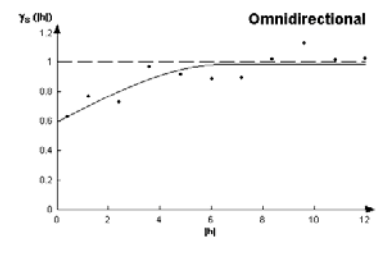
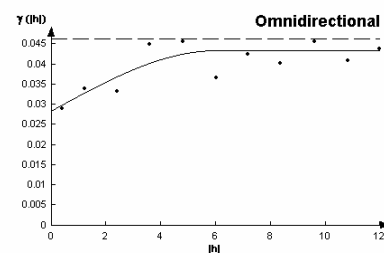
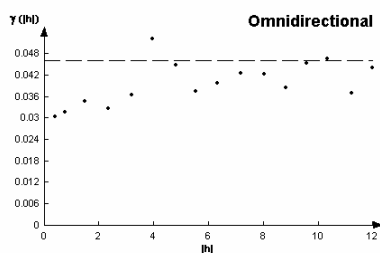
Hu5



Hu6



Hu7



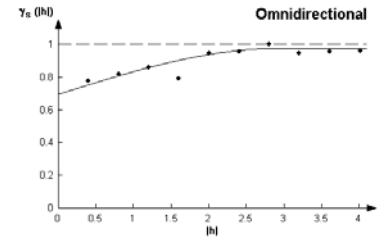
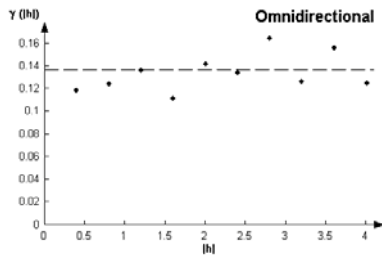
EW

lag 1,2 oder 0,4 m

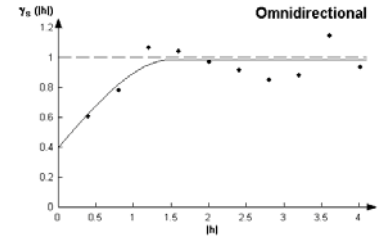
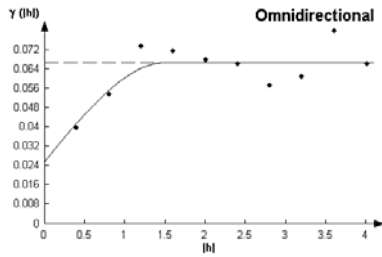
lag 0,8 m

stand. Variogramm

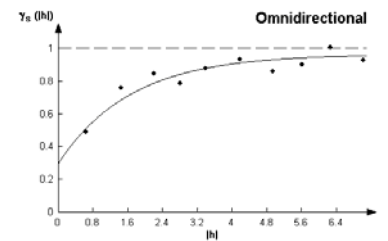
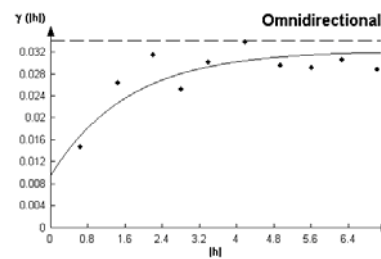
AKe
1



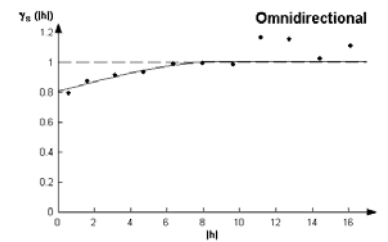
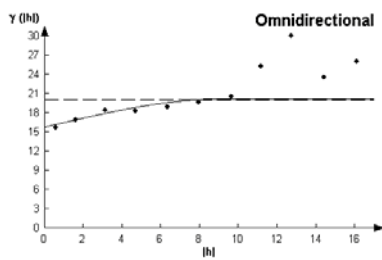
AKe
3



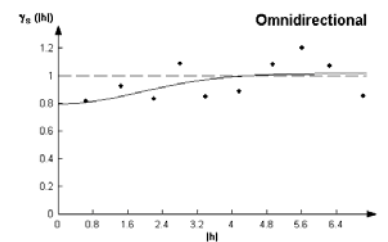
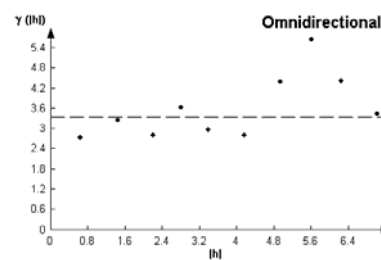
AKe
7



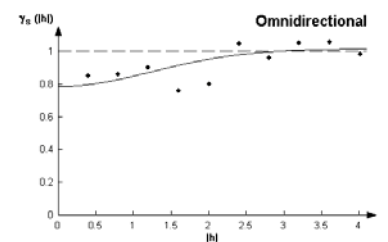
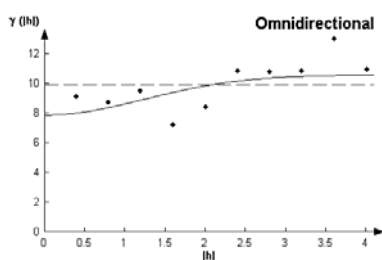
BS1



BS3



BS7



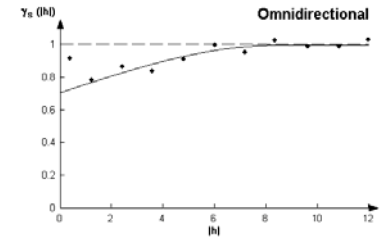
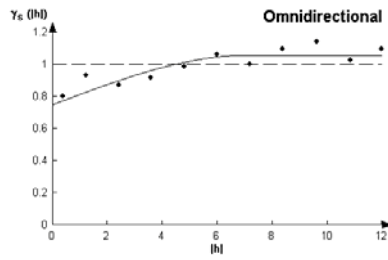
EW

lag 0,4 oder 1,2 m

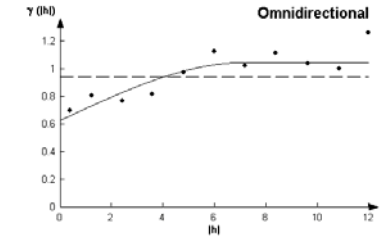
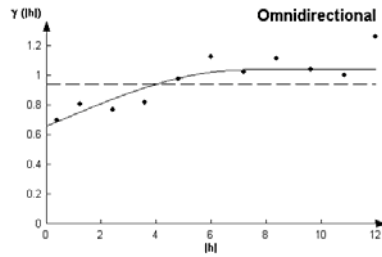
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

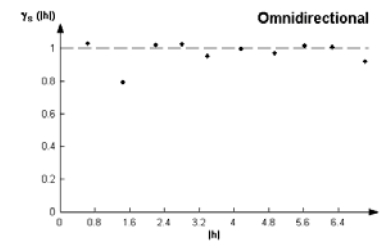
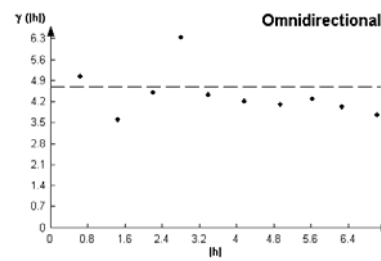
Ca1



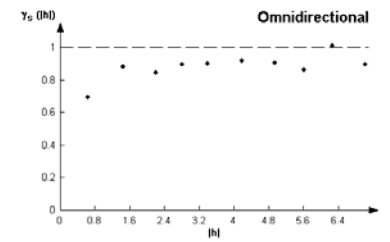
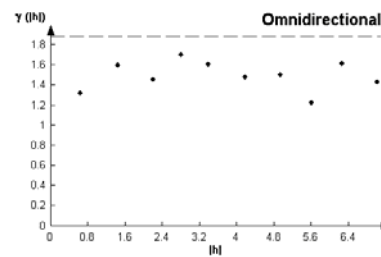
Ca3



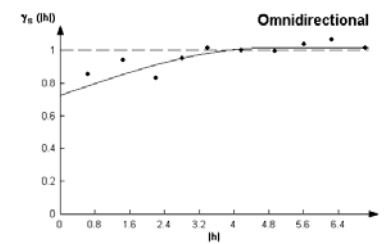
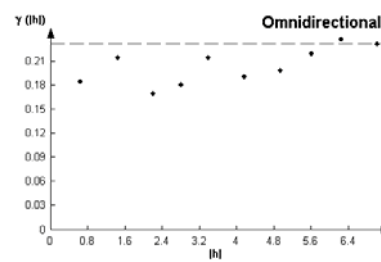
Ca7



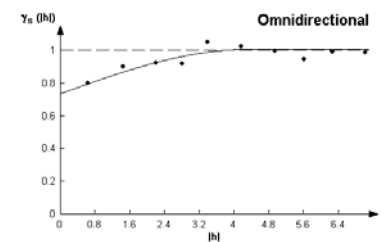
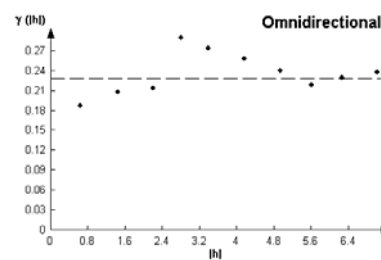
Mg1



Mg3



Mg7



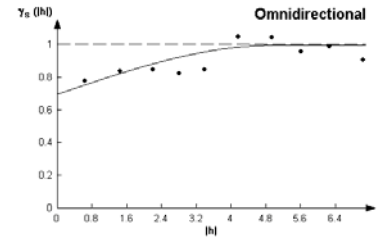
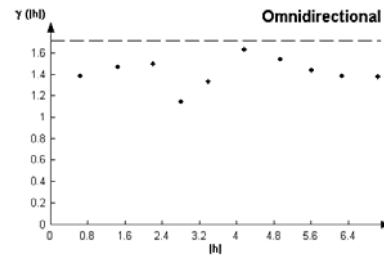
EW

lag 0,4 oder 1,2 m

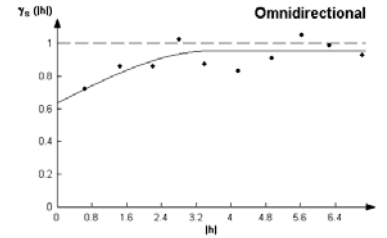
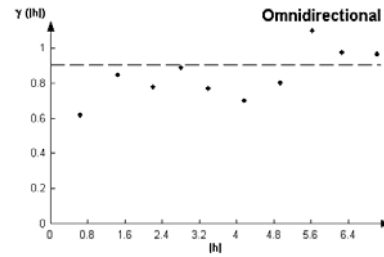
lag 0,8 m

stand. Variogramm

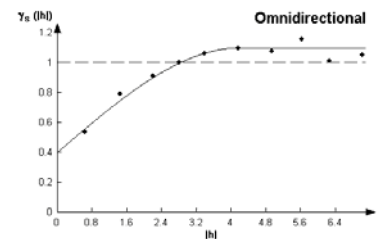
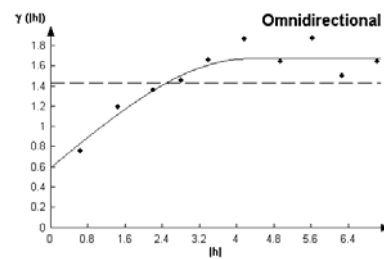
K1



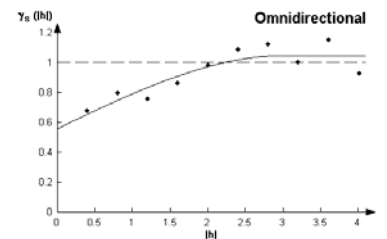
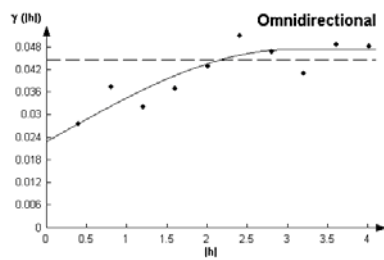
K3



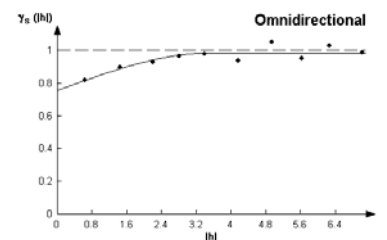
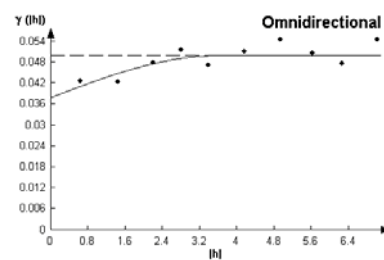
K7



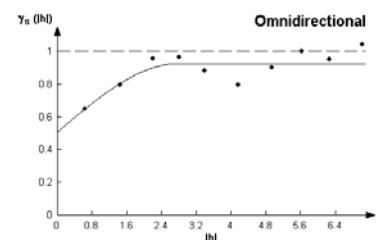
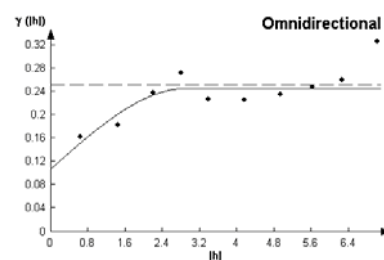
Na1



Na3



Na7



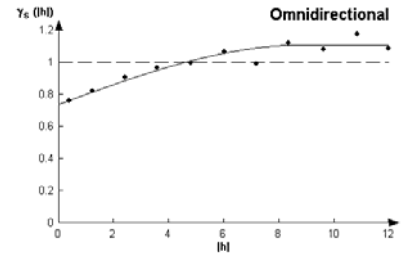
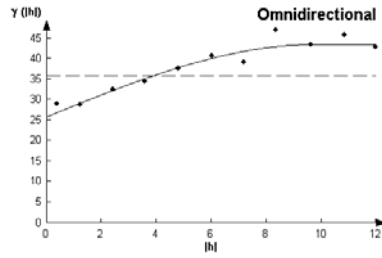
EW

lag 0,4 oder 1,2 m

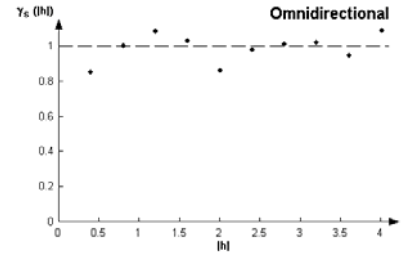
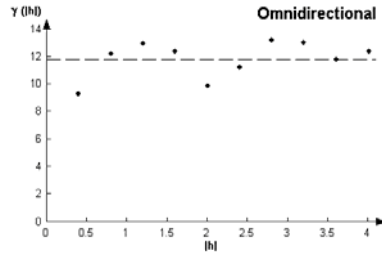
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

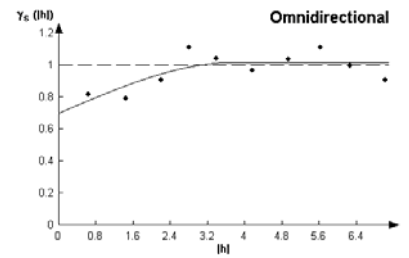
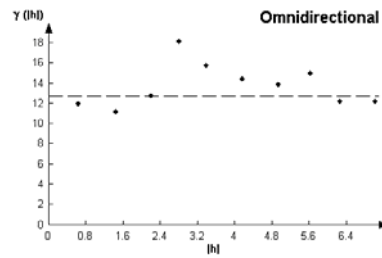
Al1



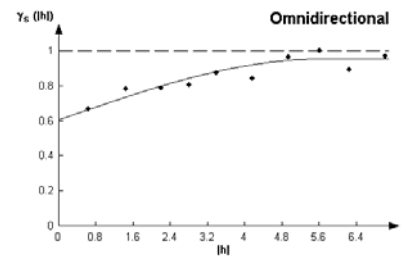
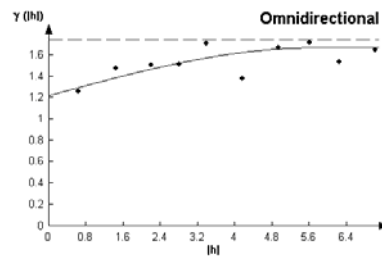
Al3



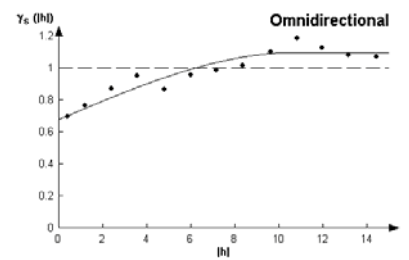
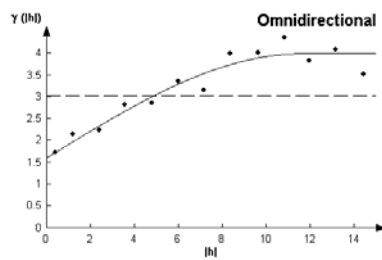
Al7



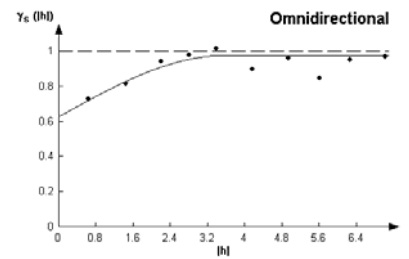
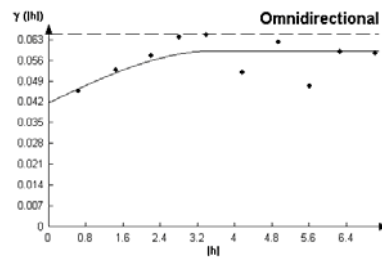
Fe1



Fe3



Fe7



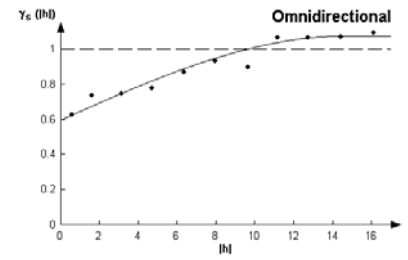
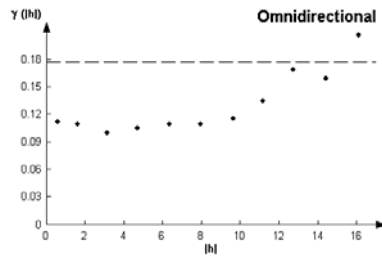
EW

lag 0,4

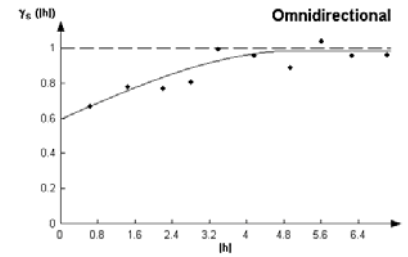
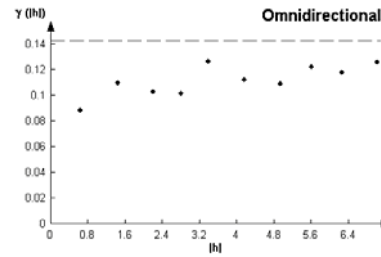
lag 0,8

stand.Variogramm

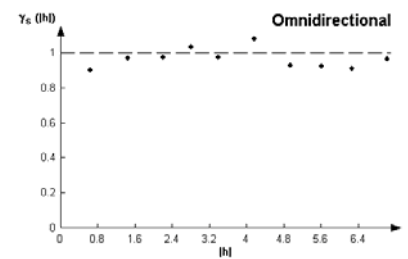
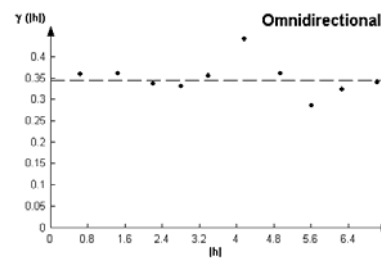
Mn1



Mn3



Mn7



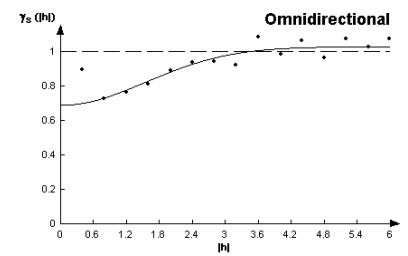
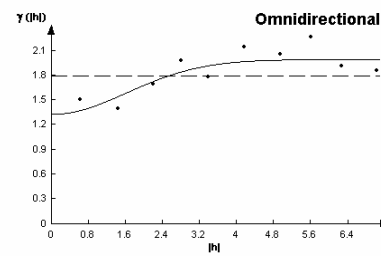
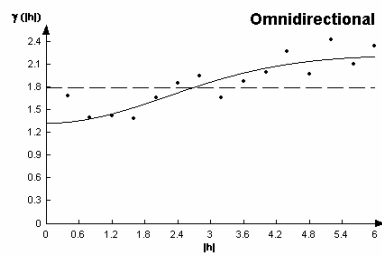
EW

lag 0,4 m

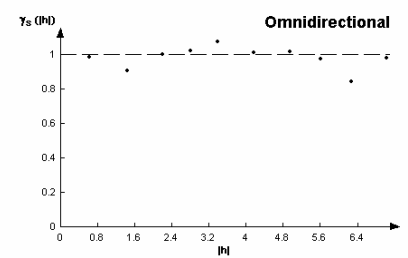
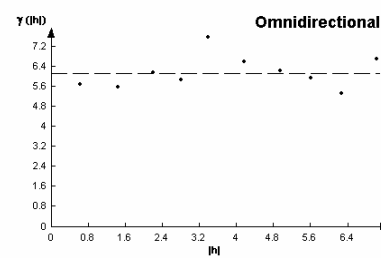
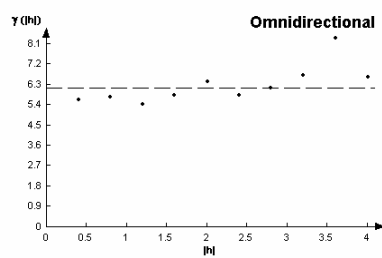
lag 0,7 m

stand. Variogramm

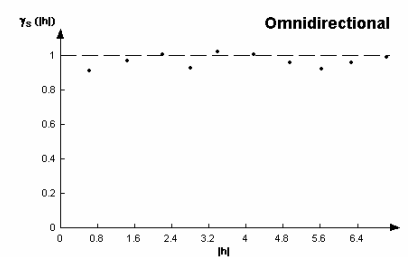
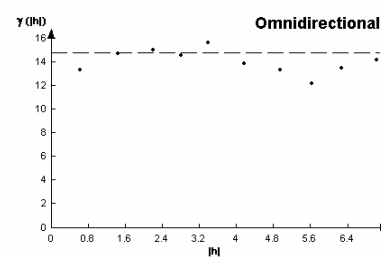
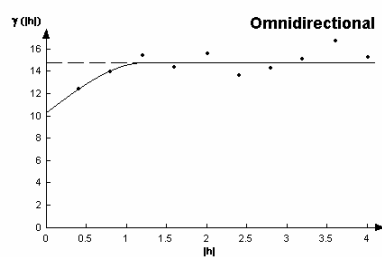
Ofh



Ahe



Bsh



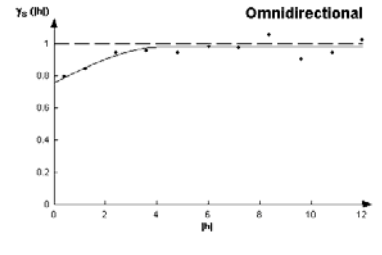
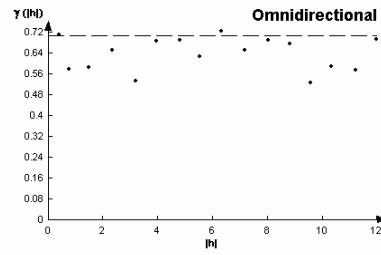
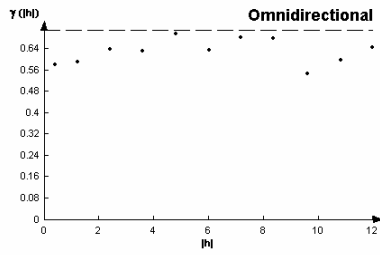
EW

lag 1,2 oder 1,6 m

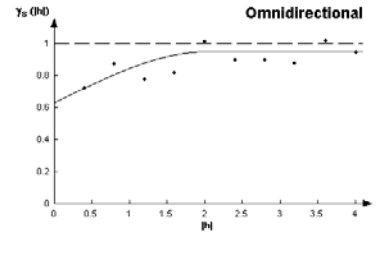
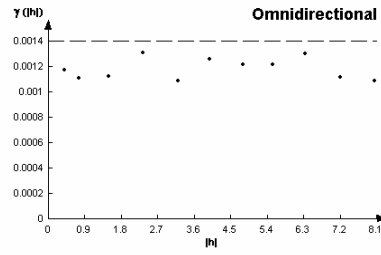
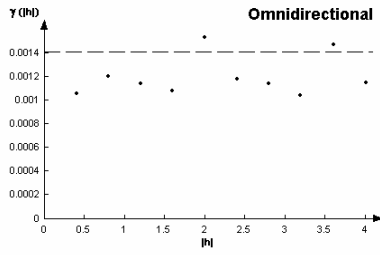
lag 0,8 m

stand.Variogramm

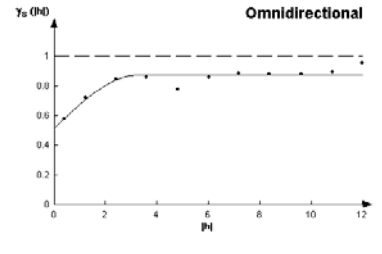
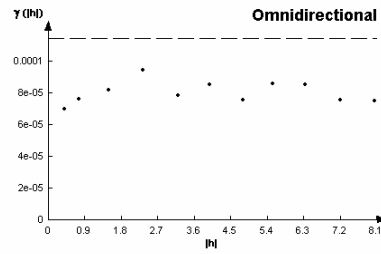
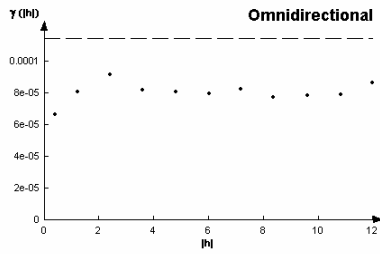
C1



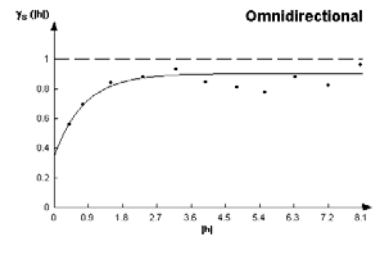
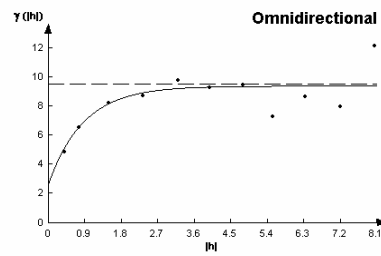
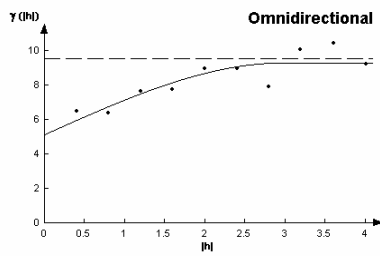
N1



S1



C/N1



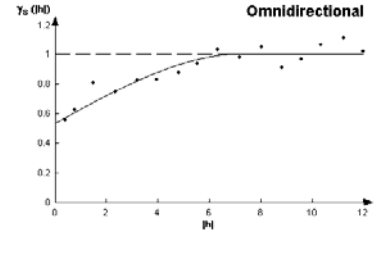
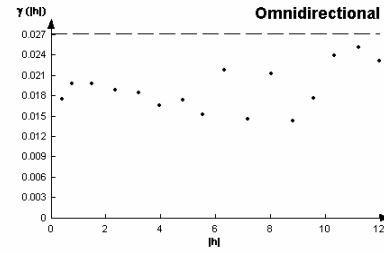
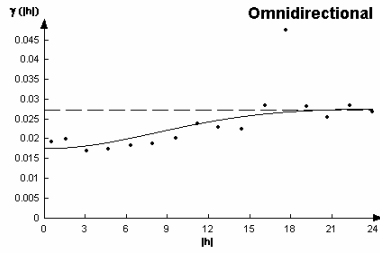
KN

lag 1,6 m

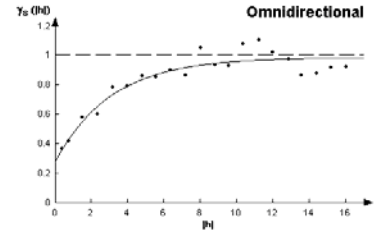
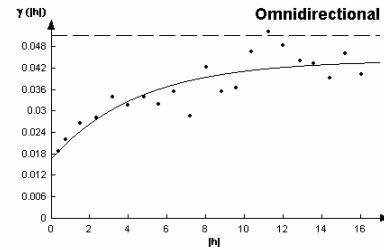
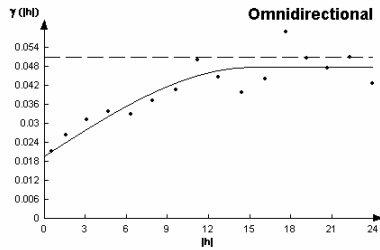
lag 0,8 m

stand. Variogramm

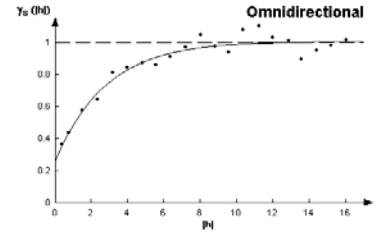
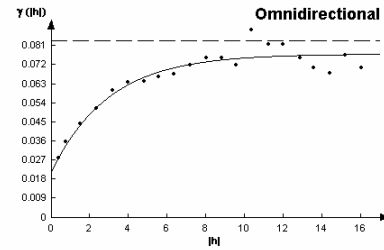
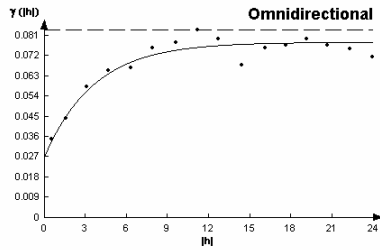
pH1



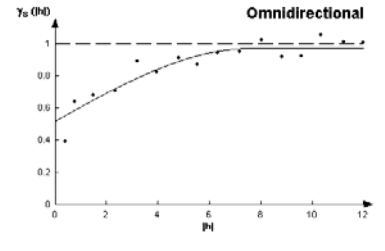
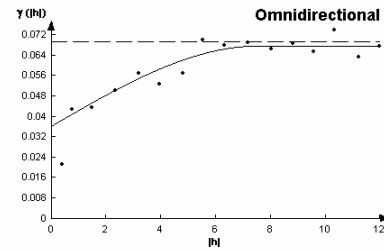
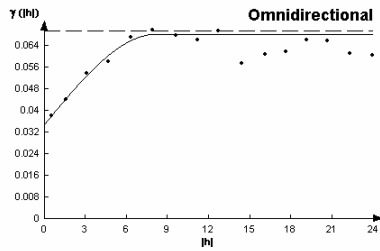
pH2



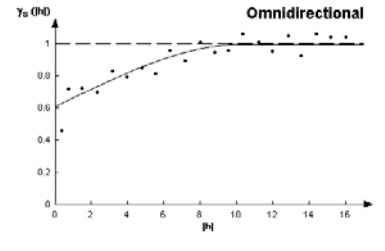
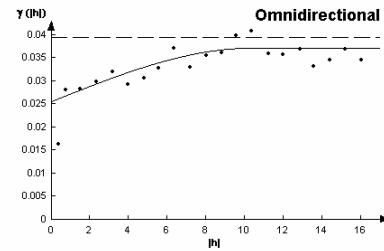
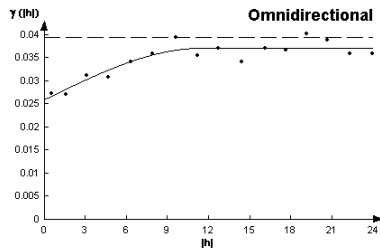
pH3



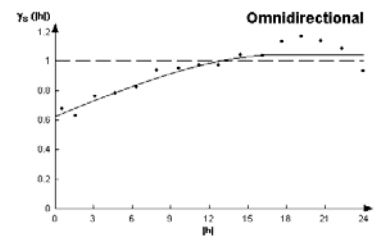
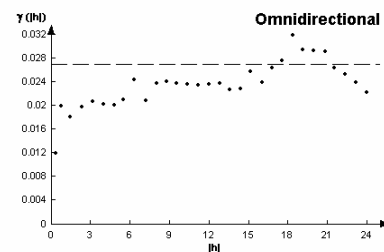
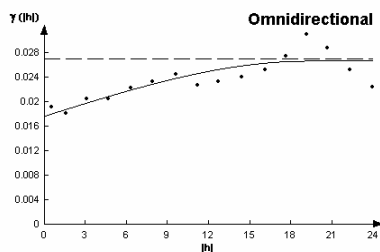
pH4



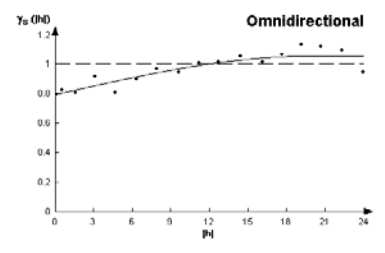
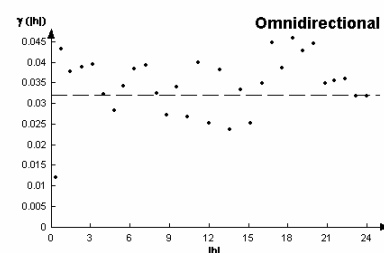
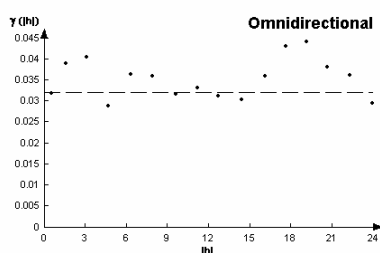
pH5



pH6



pH7



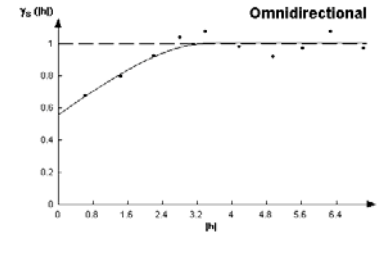
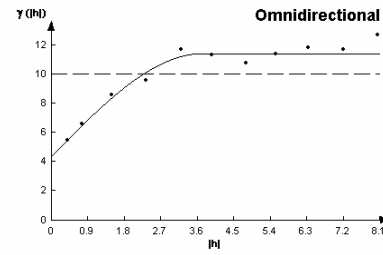
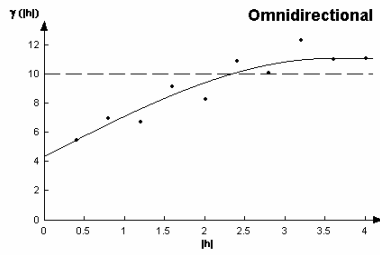
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

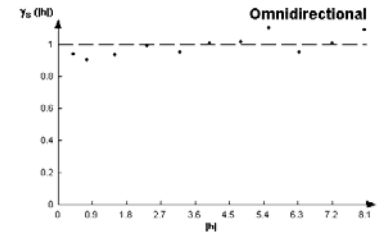
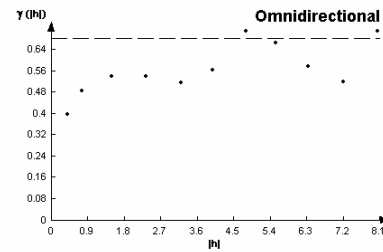
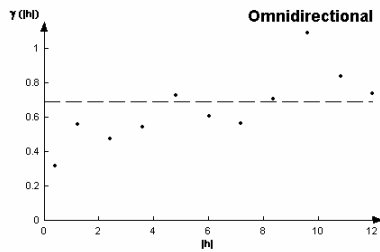
lag 0,8 m

stand. Variogramm

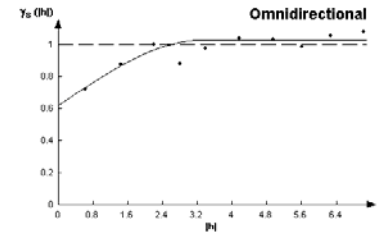
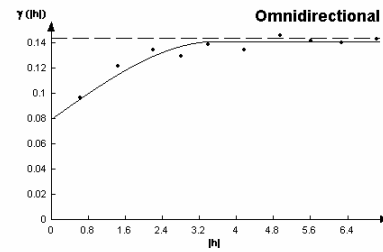
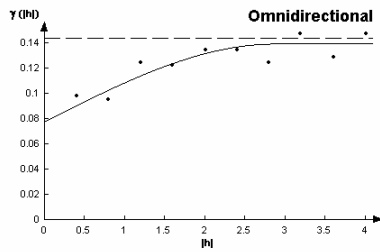
Hu1



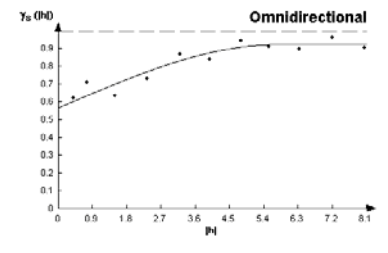
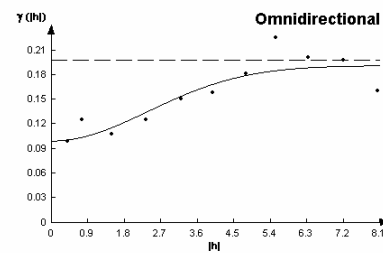
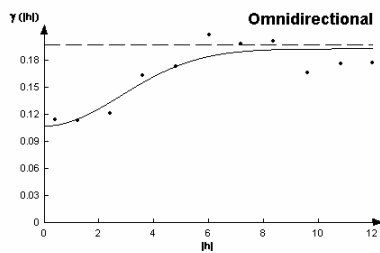
Hu2



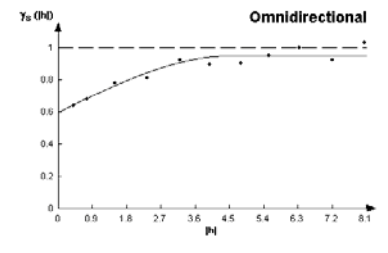
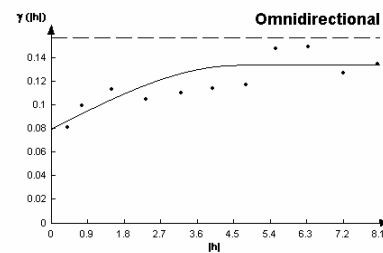
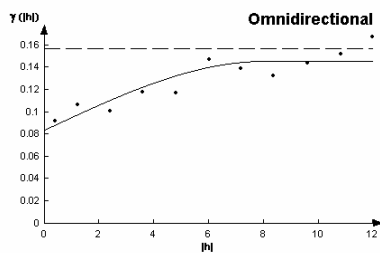
Hu3



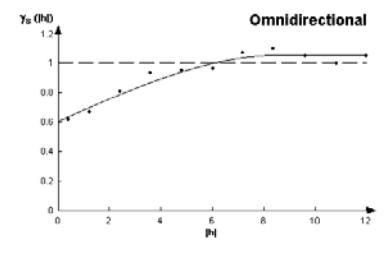
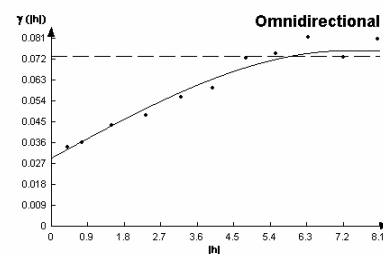
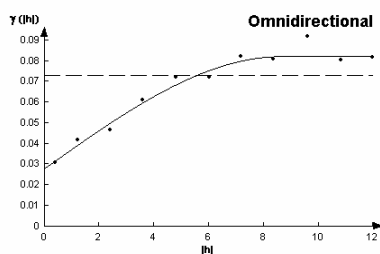
Hu4



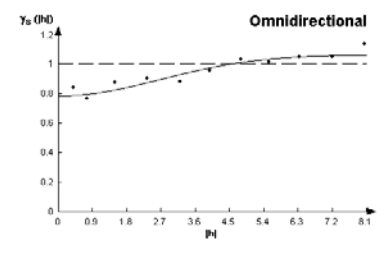
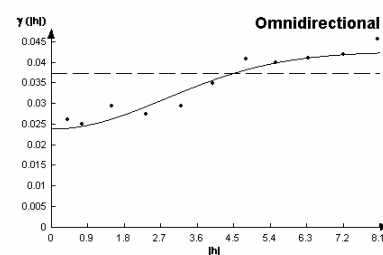
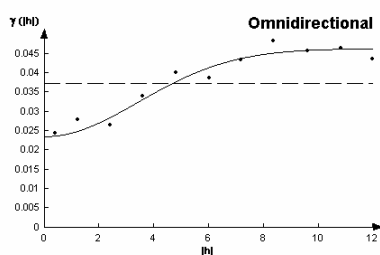
Hu5



Hu6



Hu7



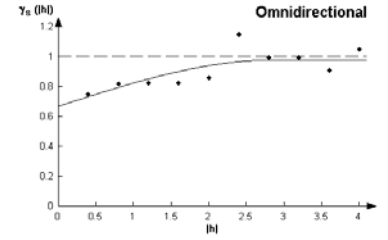
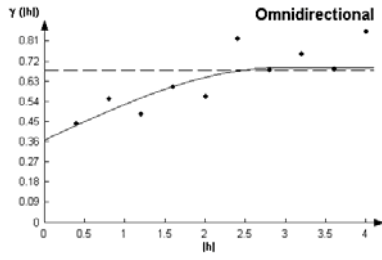
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

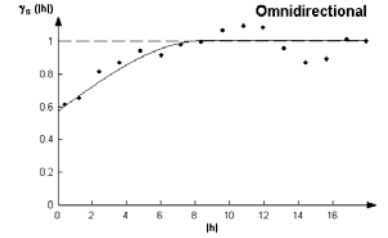
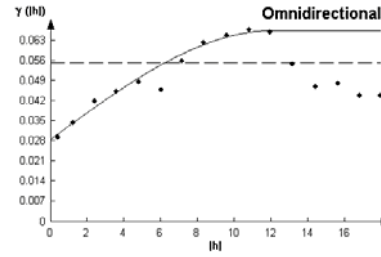
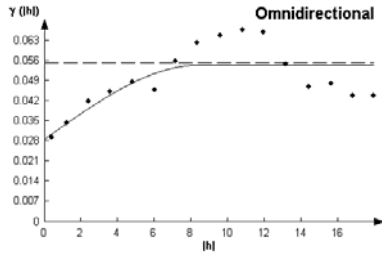
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

AKe
1

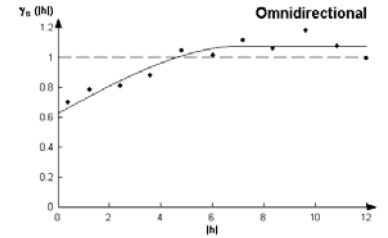
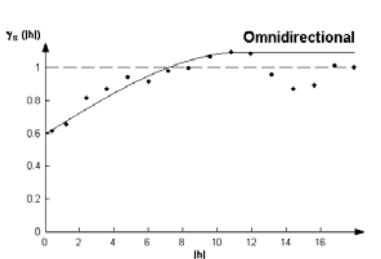
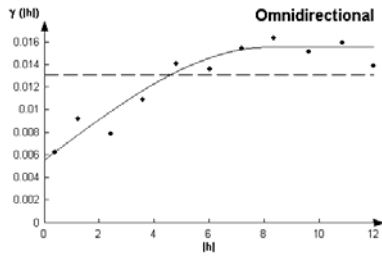


AKe
3

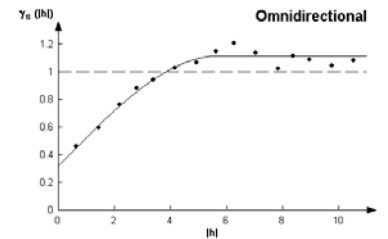
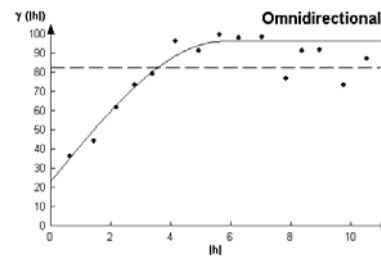


AKe3

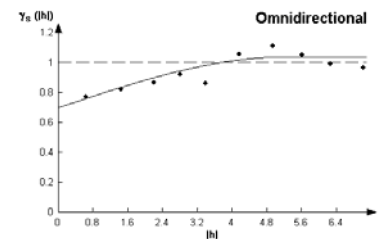
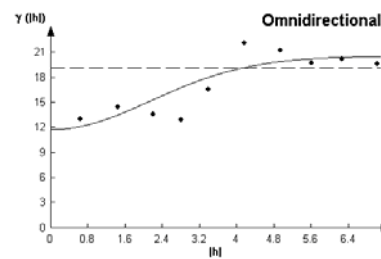
AKe
7



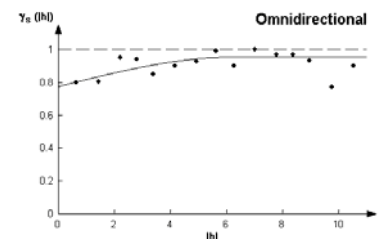
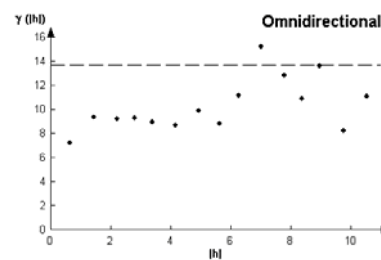
BS1



BS3



BS7



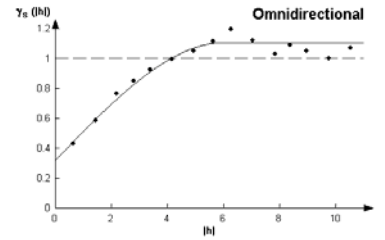
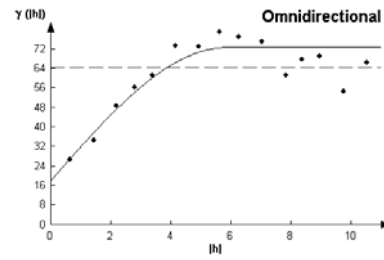
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

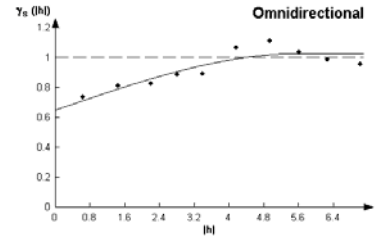
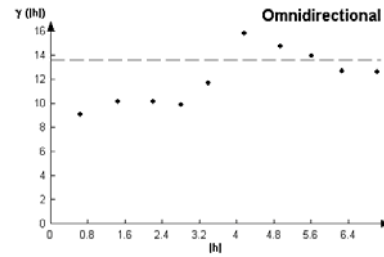
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

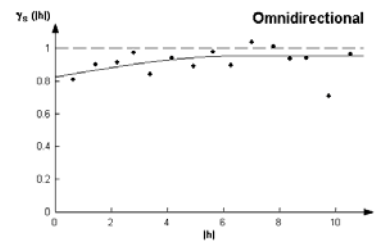
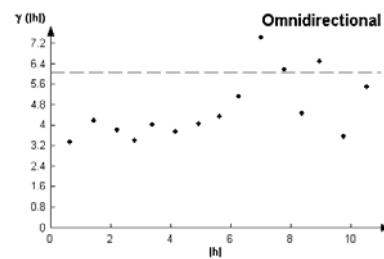
Ca1



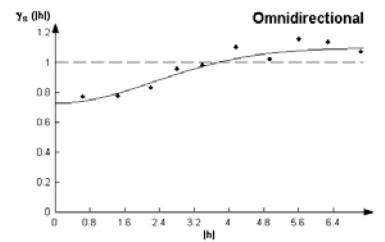
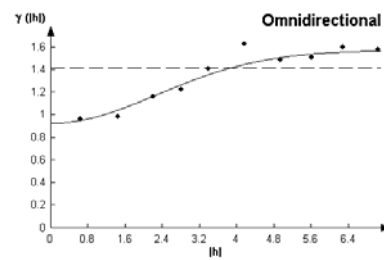
Ca3



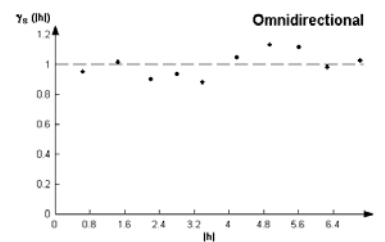
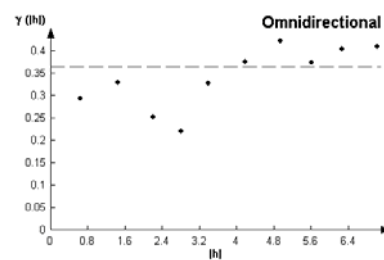
Ca7



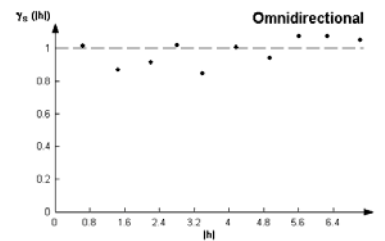
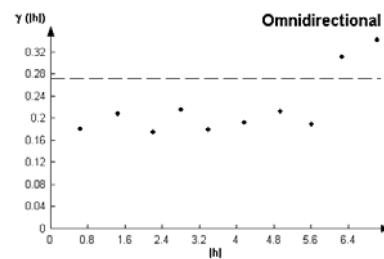
Mg1



Mg3



Mg7



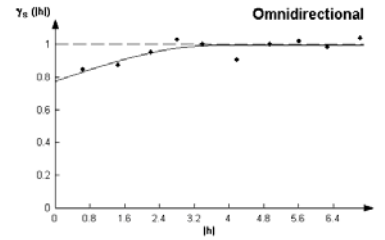
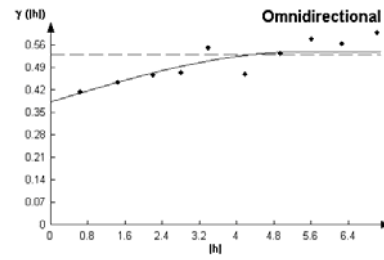
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

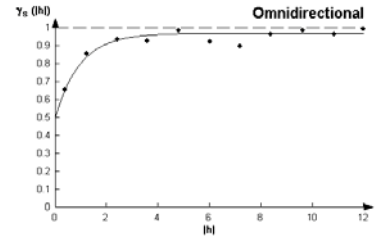
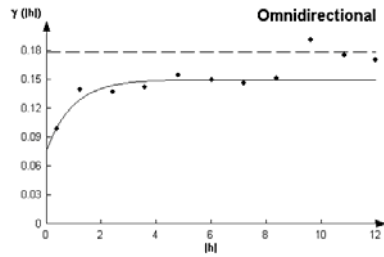
lag 0,8 m

stand. Variogramm

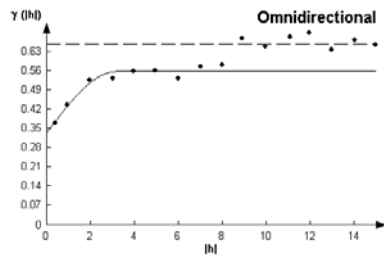
K1



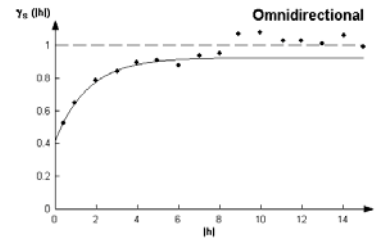
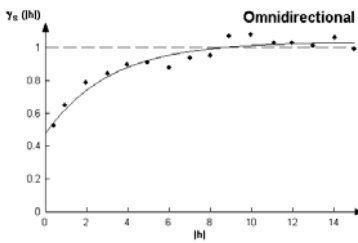
K3



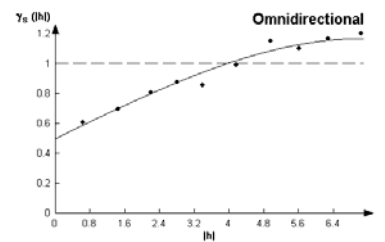
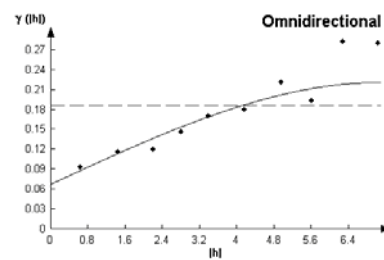
K7



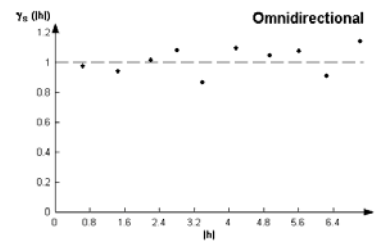
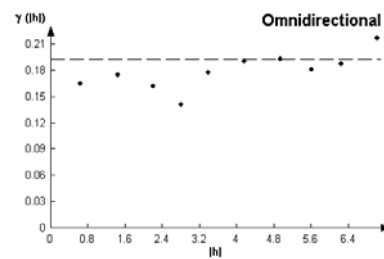
K7standard.



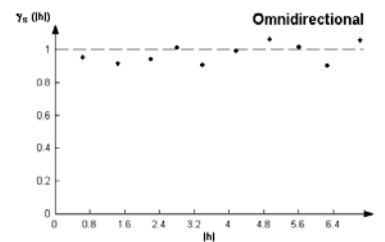
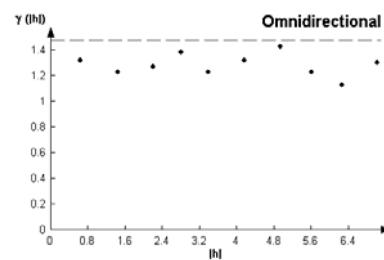
Na1



Na3



Na7



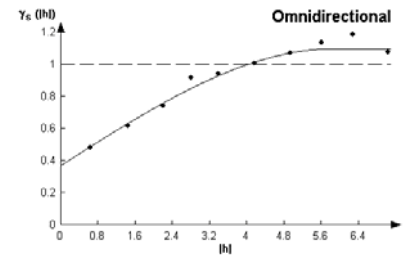
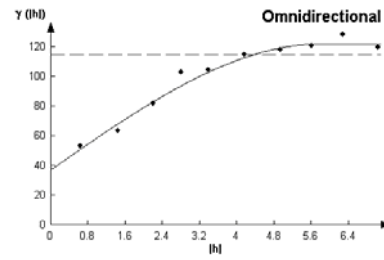
KN

lag 0,4 , 1,2 oder 1,6 m

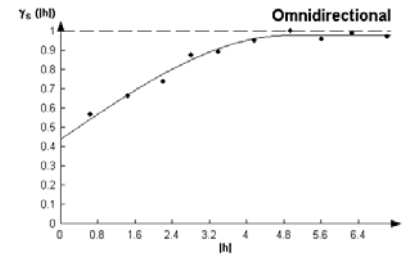
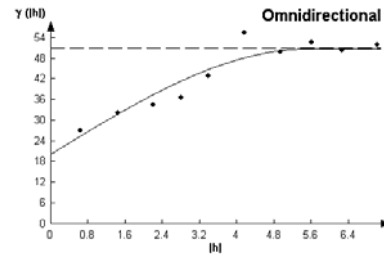
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

Al1

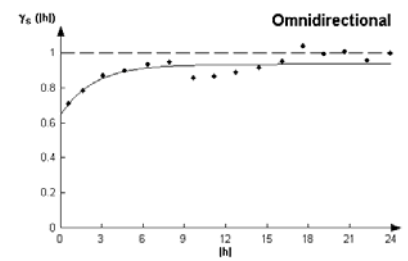
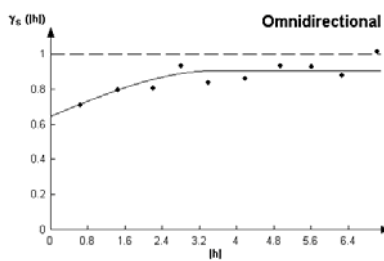
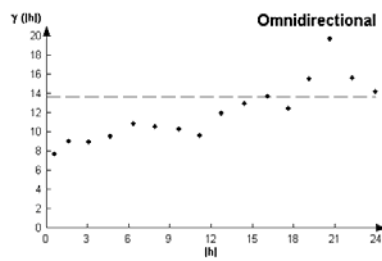


Al3

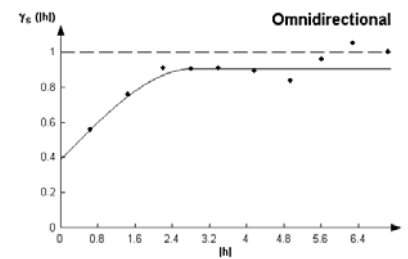
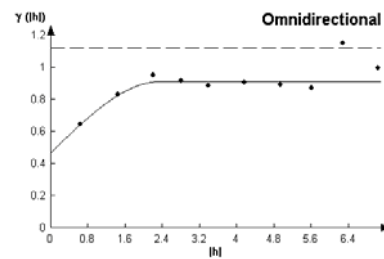


Al7standard.

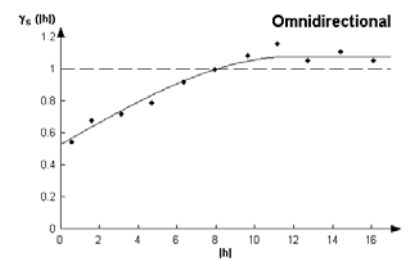
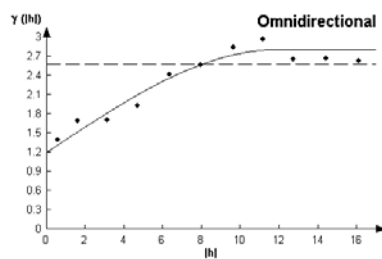
Al7



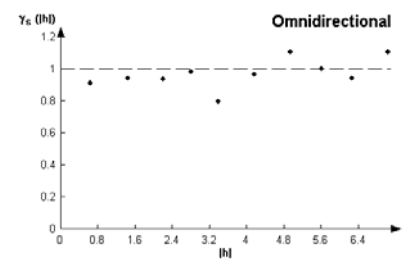
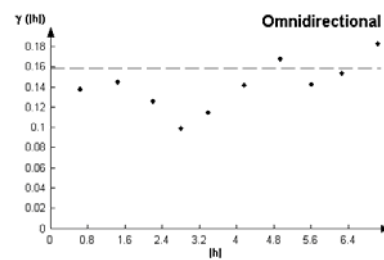
Fe1



Fe3



Fe7



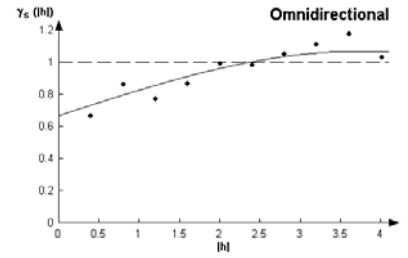
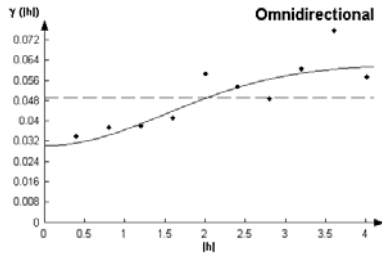
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

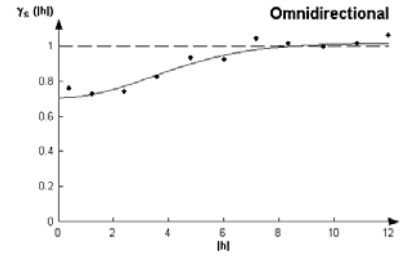
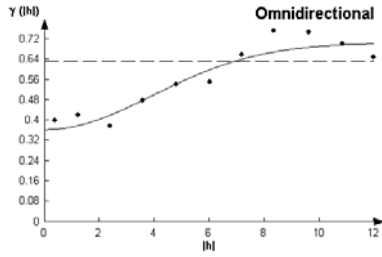
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

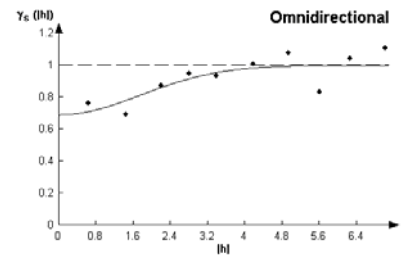
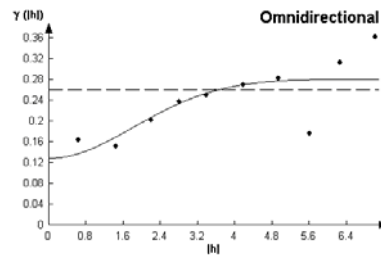
Mn1



Mn3



Mn7



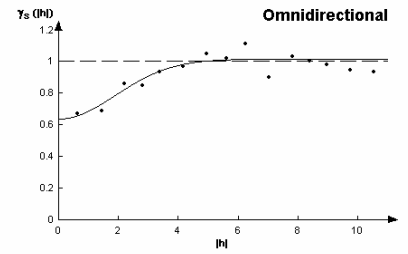
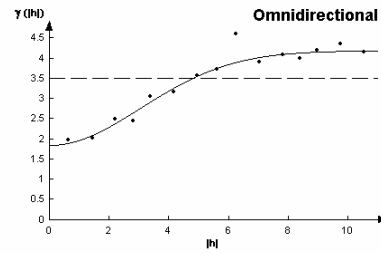
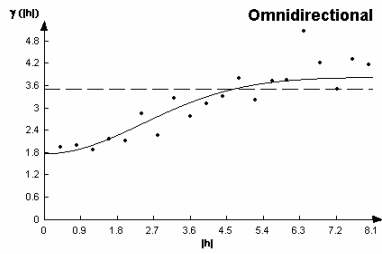
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

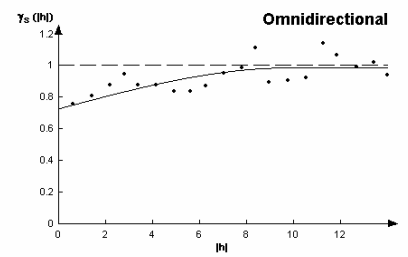
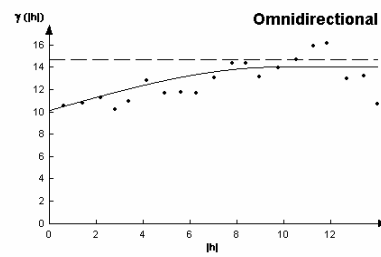
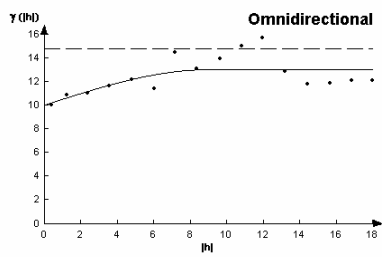
lag 0,7 m

stand. Variogramm

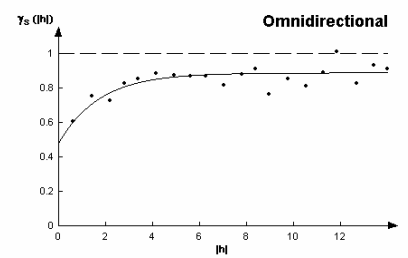
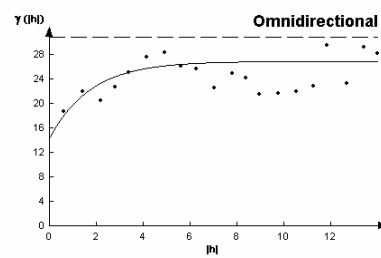
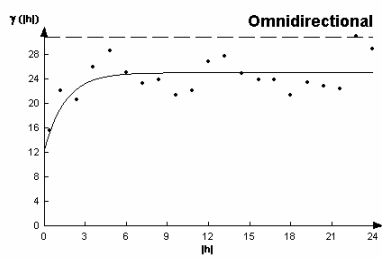
Ofh



Ahe



Bsh



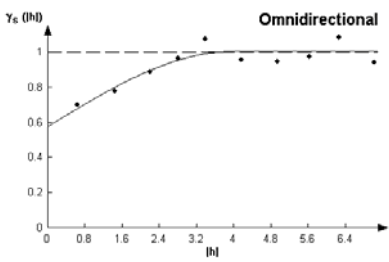
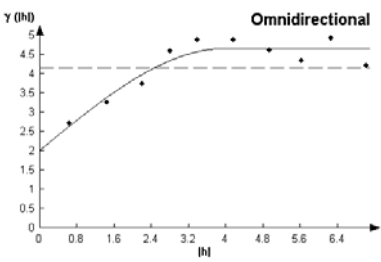
KN

lag 0,4 oder 1,2 m

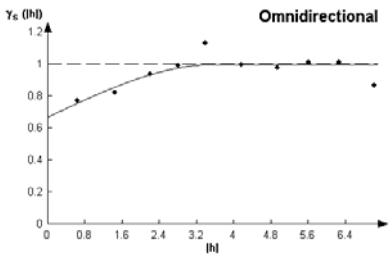
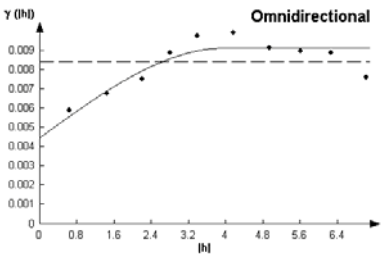
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

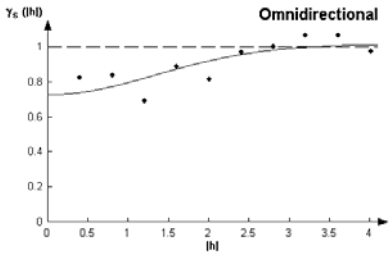
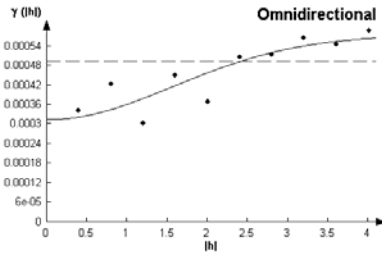
C



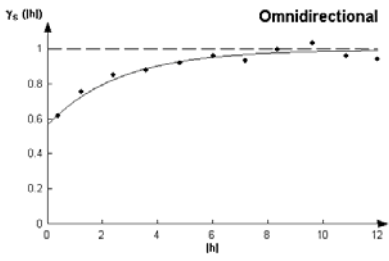
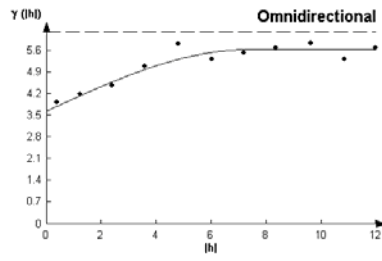
N



S



C/N



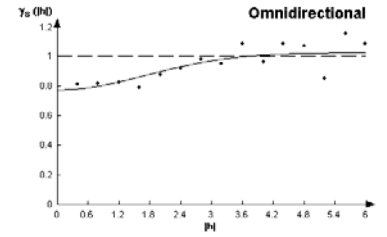
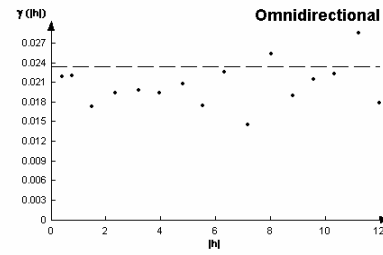
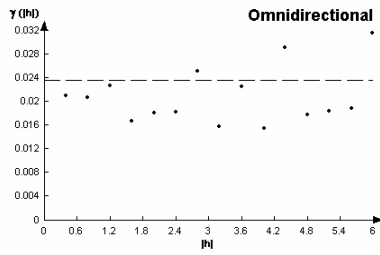
KW

lag 0,4 oder 1,2 m

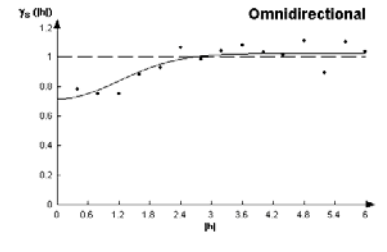
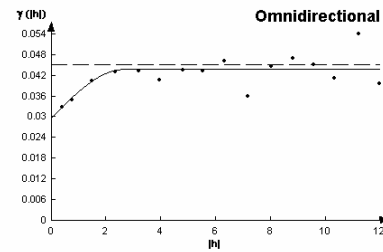
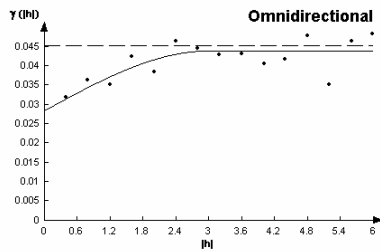
lag 0,8 m

stand. Variogramm

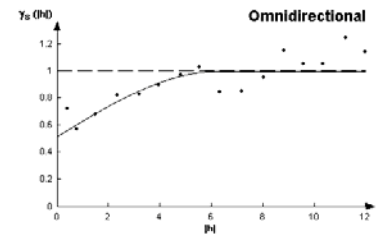
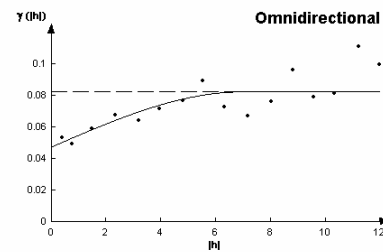
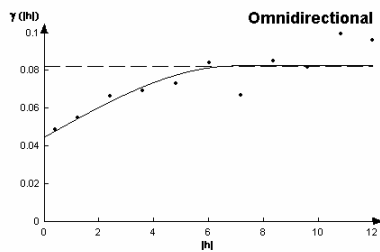
pH1



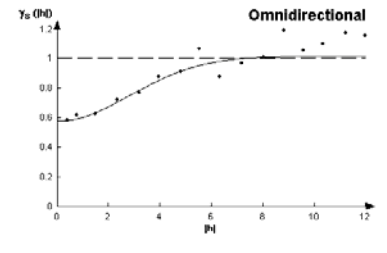
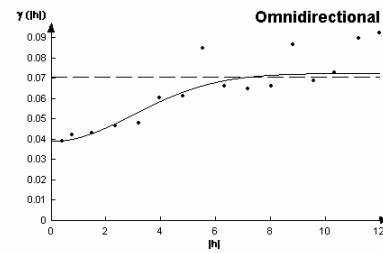
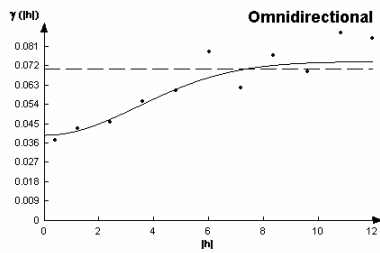
pH2



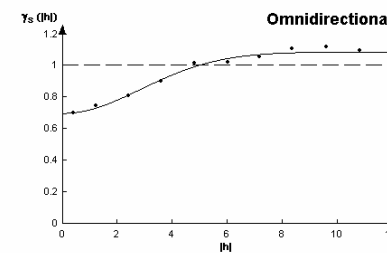
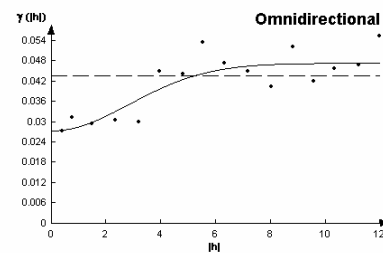
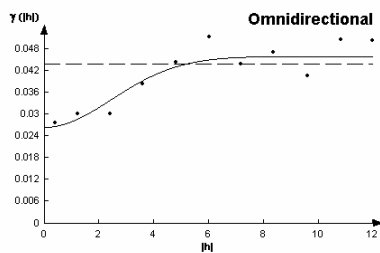
pH3



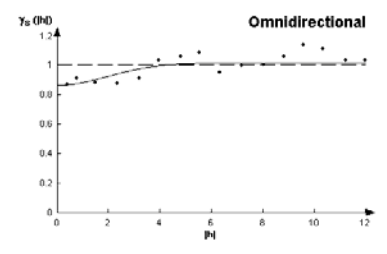
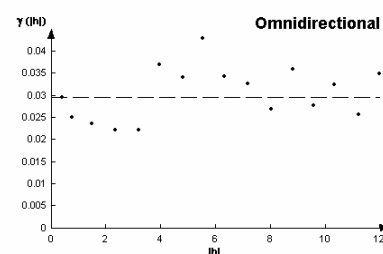
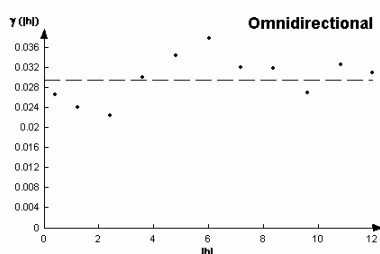
pH4



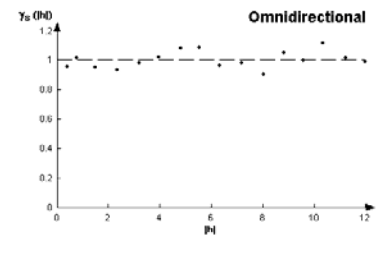
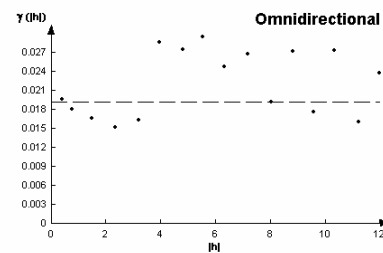
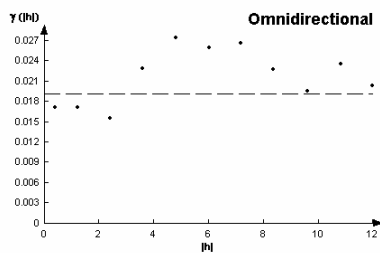
pH5



pH6



pH7



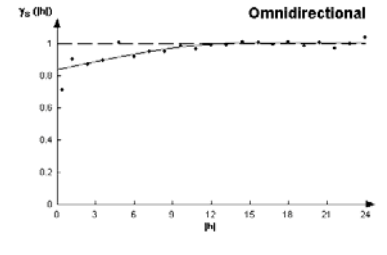
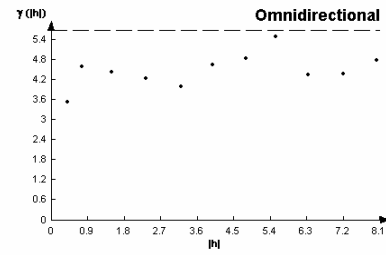
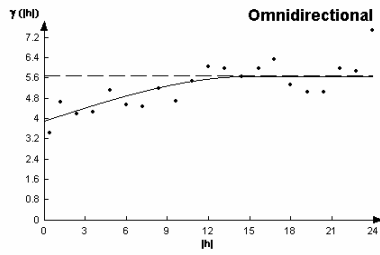
KW

lag 1,2 m

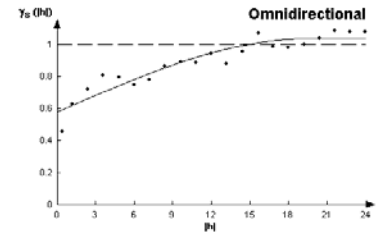
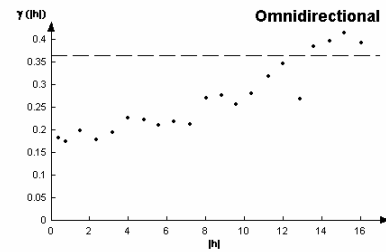
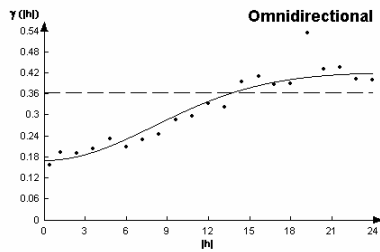
lag 0,8 m

stand. Variogramm

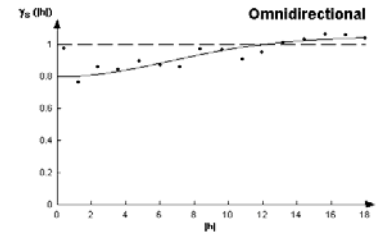
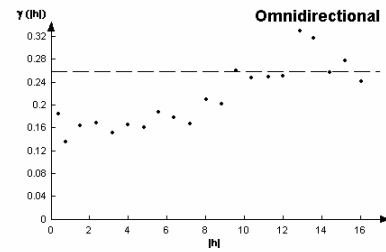
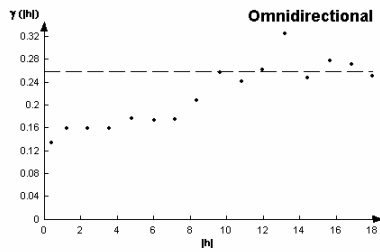
Hu1



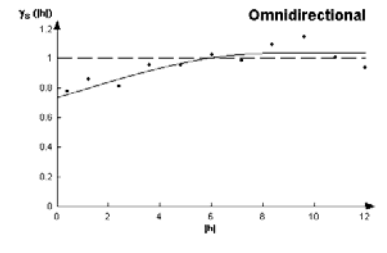
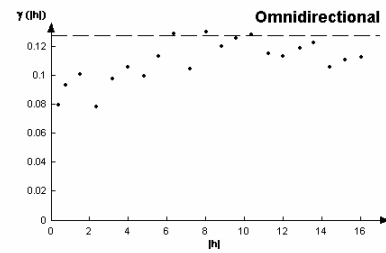
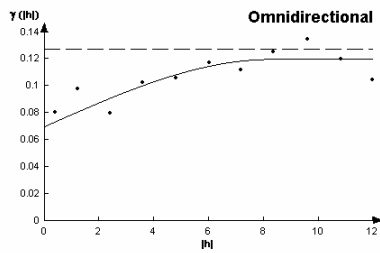
Hu2



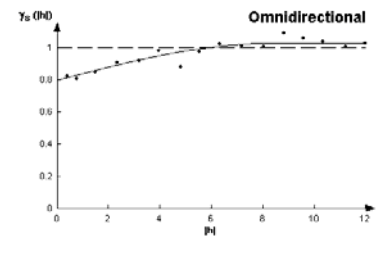
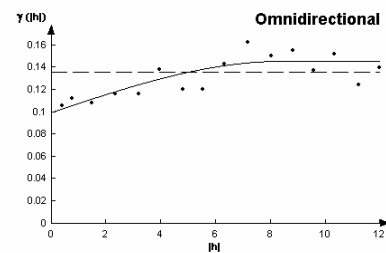
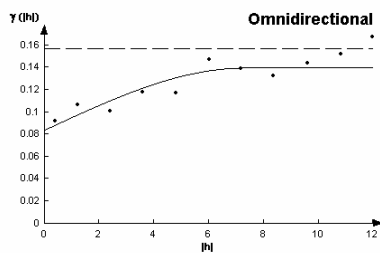
Hu3



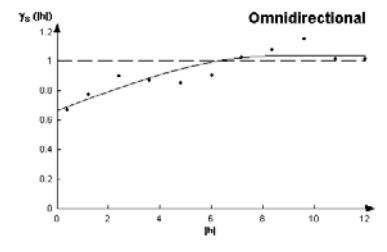
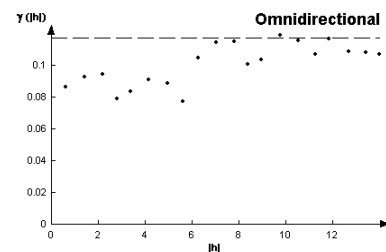
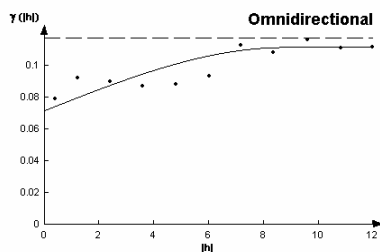
Hu4



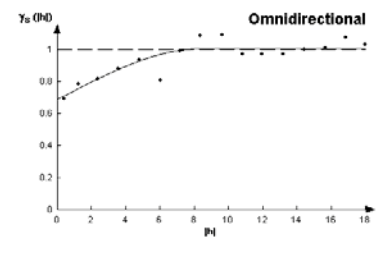
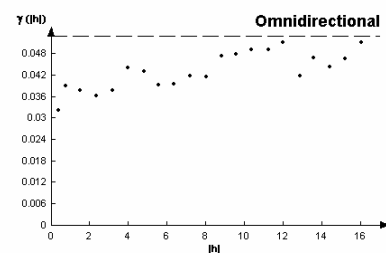
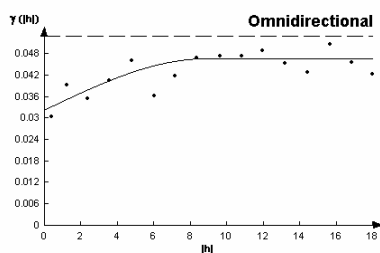
Hu5



Hu6



Hu7



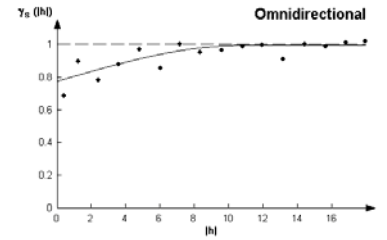
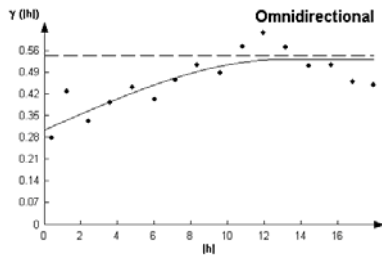
KW

lag 0,4 oder 1,2 m

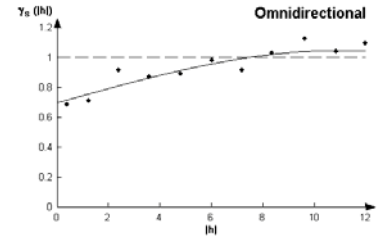
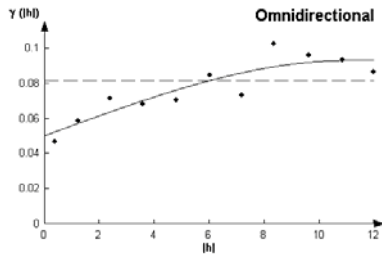
lag 0,8 m

stand. Variogramm

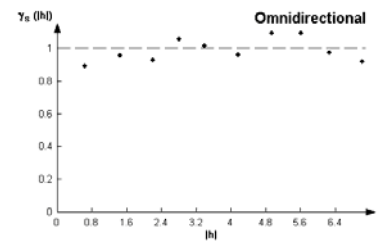
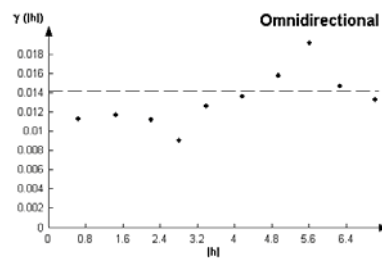
AKe
1



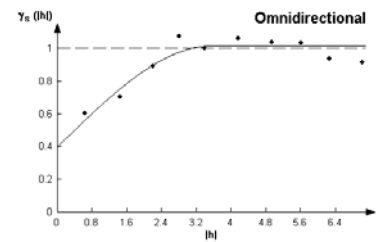
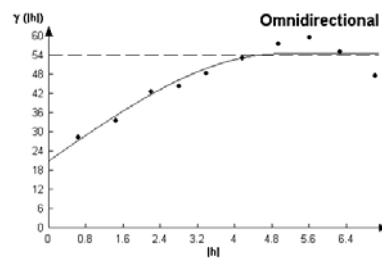
AKe
3



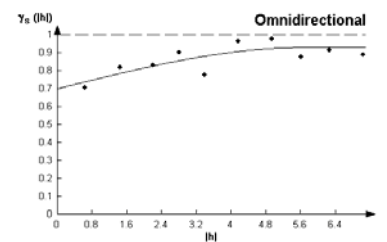
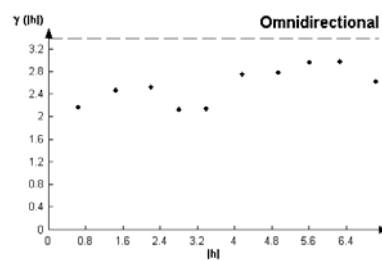
AKe
7



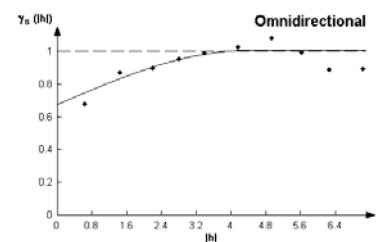
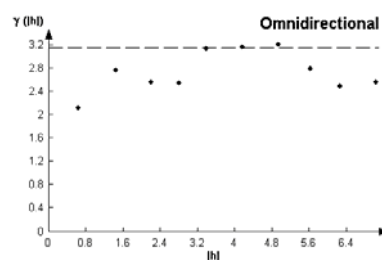
BS1



BS3



BS7



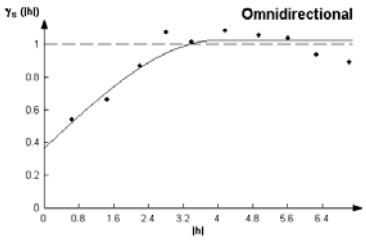
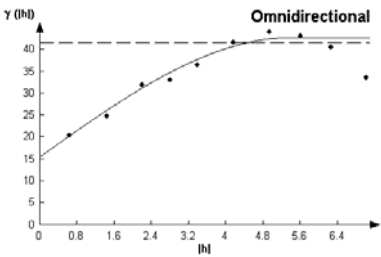
KW

lag 0,4 oder 1,2 m

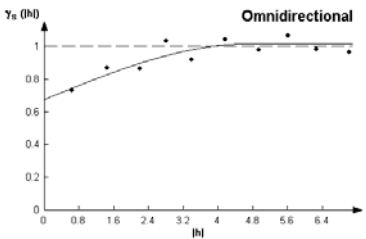
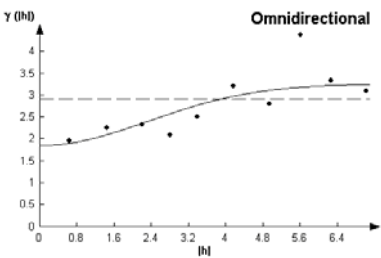
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

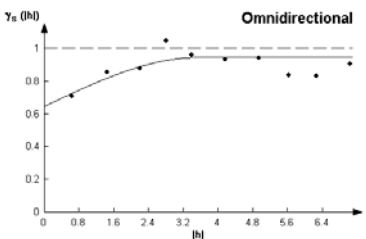
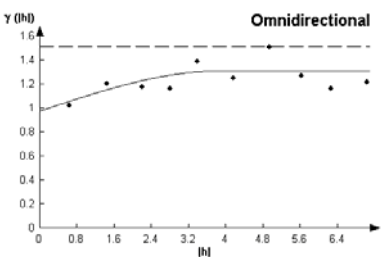
Ca1



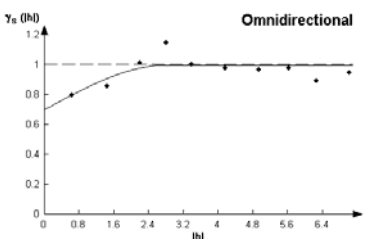
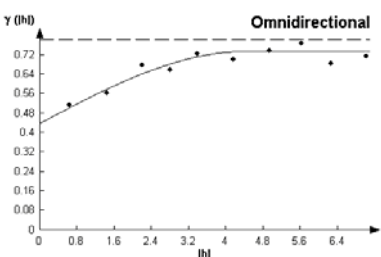
Ca3



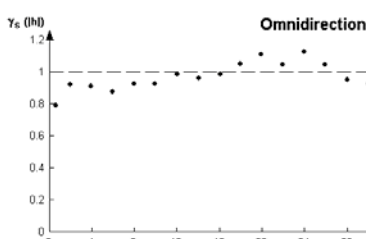
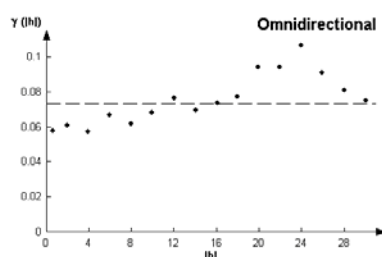
Ca7



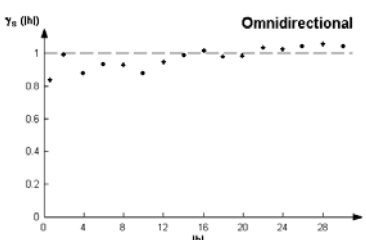
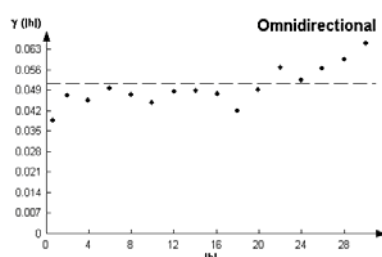
Mg1



Mg3



Mg7



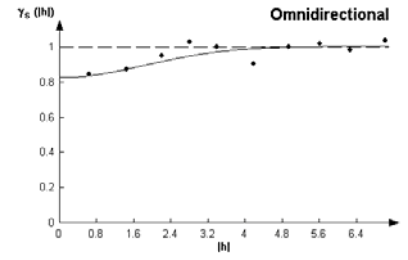
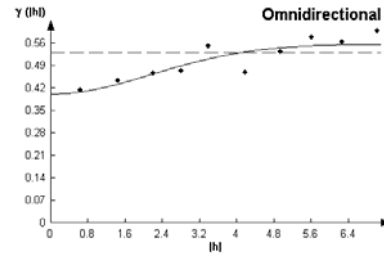
KW

lag 0,4, 1,2 oder 1,6 m

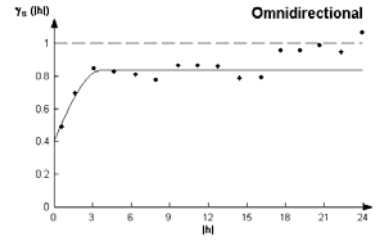
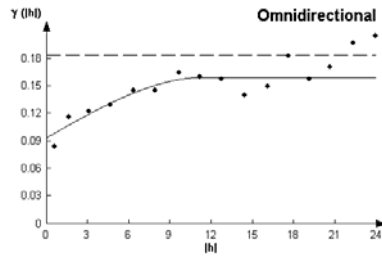
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

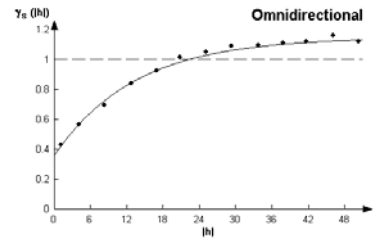
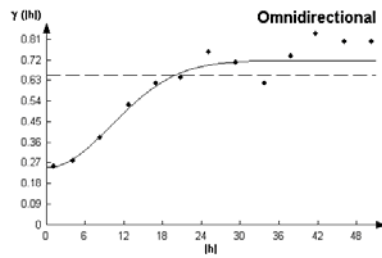
K1



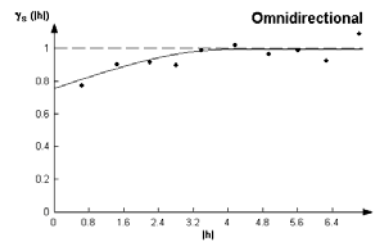
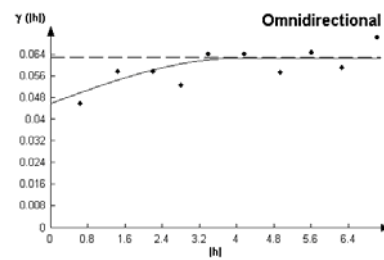
K3



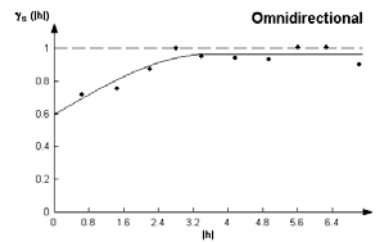
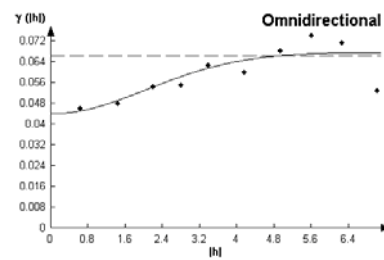
K7



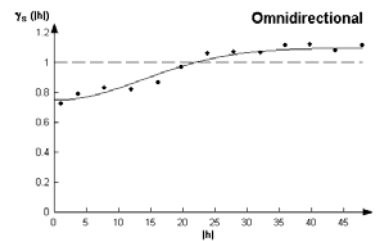
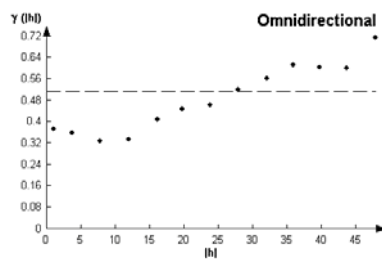
Na1



Na3



Na7



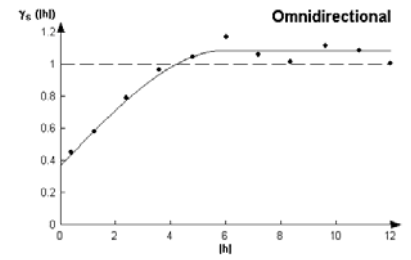
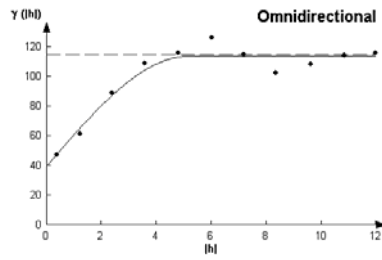
KW

lag 0,4 oder 1,2 m

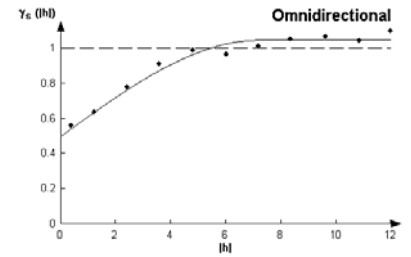
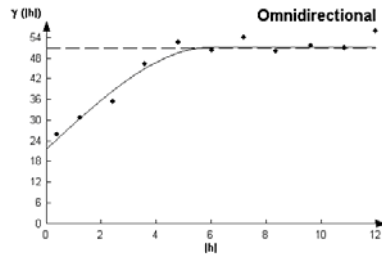
lag 0,7 oder 0,8 m

stand.Variogramm

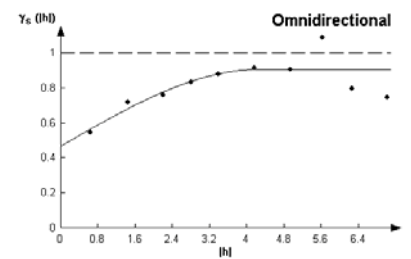
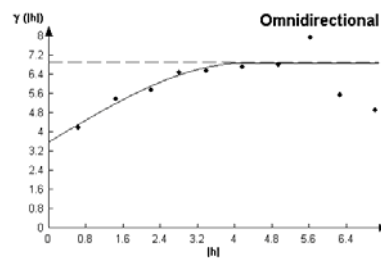
Al1



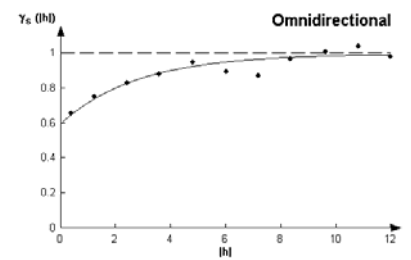
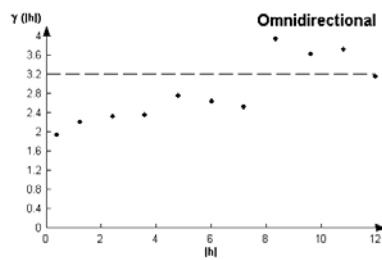
Al3



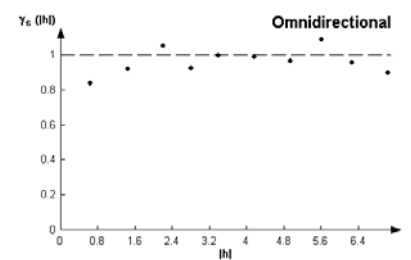
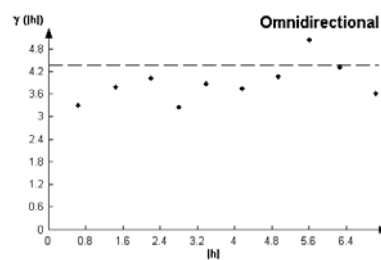
Al7



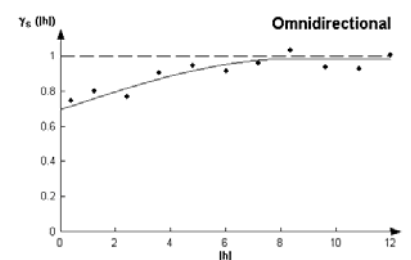
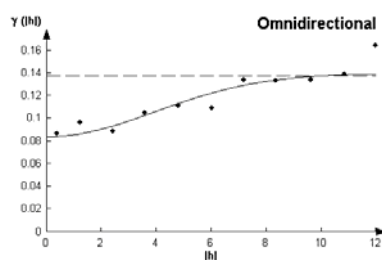
Fe1



Fe3



Fe7



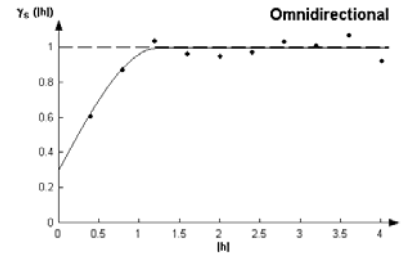
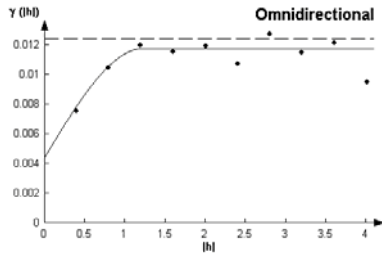
KW

lag 0,4 oder 1,2 m

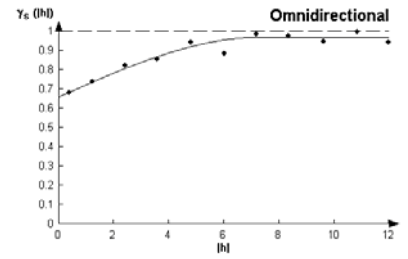
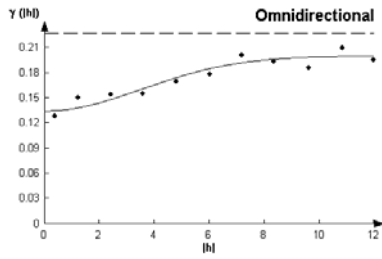
lag 0,7 oder 0,8 m

stand. Variogramm

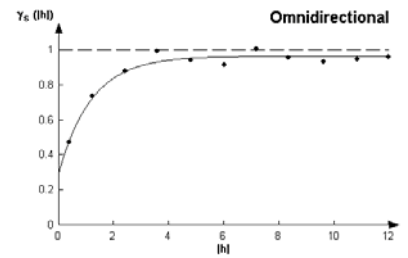
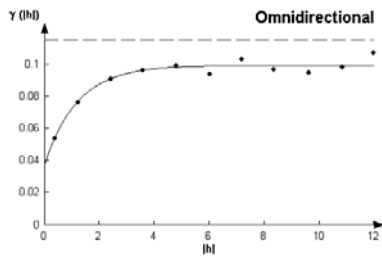
Mn1



Mn3



Mn7



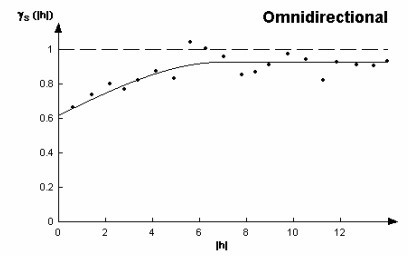
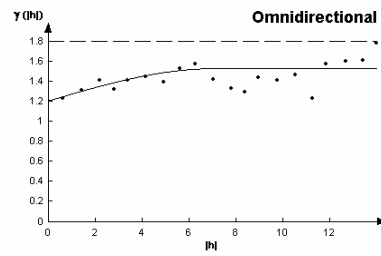
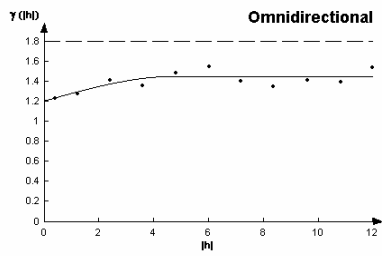
KW

lag 1,2 m

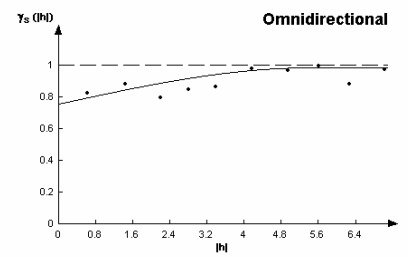
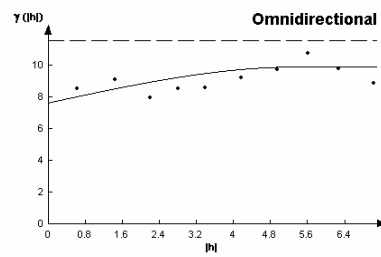
lag 0,7 m

stand. Variogramm

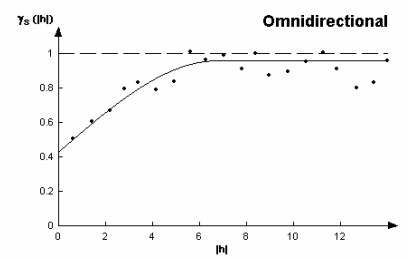
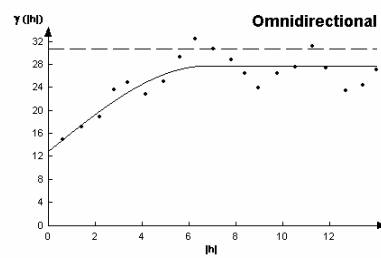
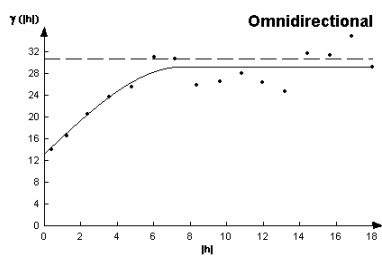
Ofh



Ahe



Bsh



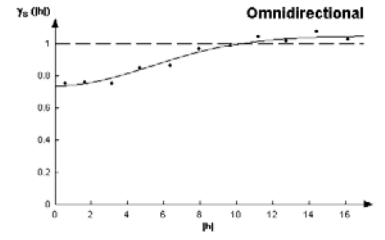
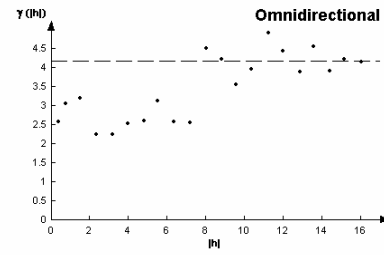
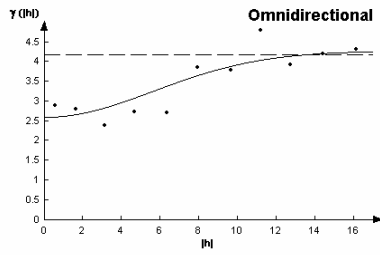
KW

lag 1,2 oder 1,6 m

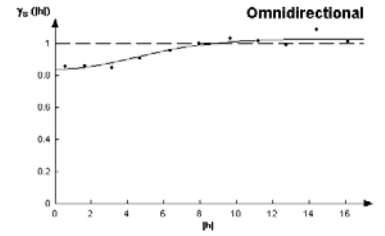
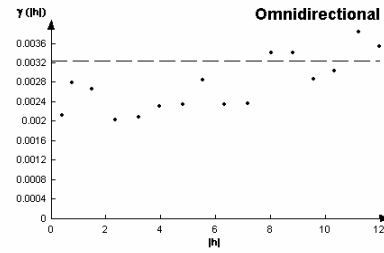
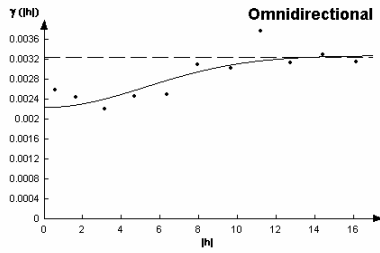
lag 0,8 m

stand.Variogramm

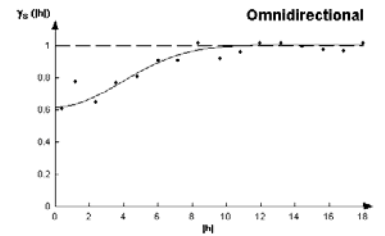
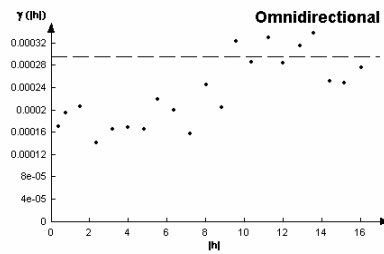
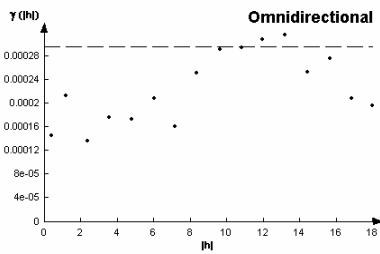
C1



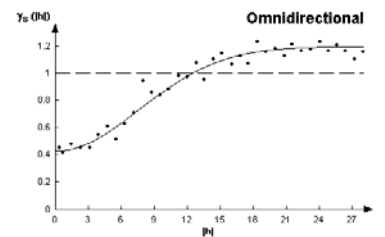
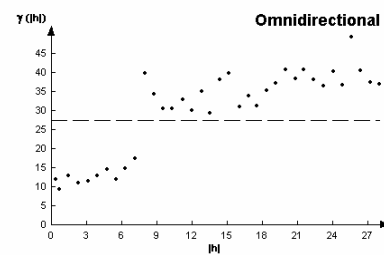
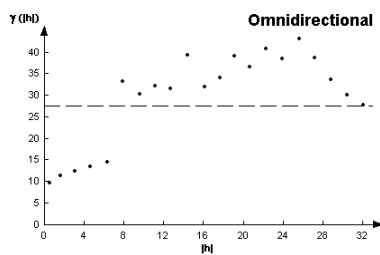
N1



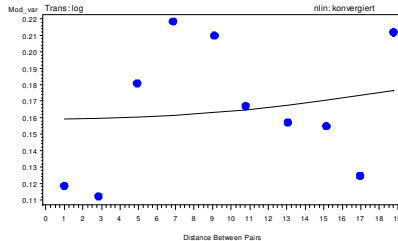
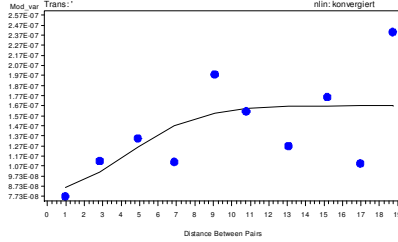
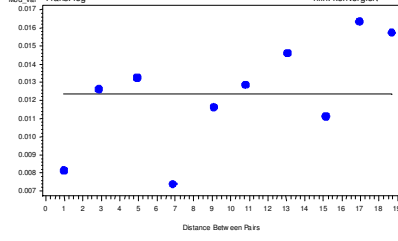
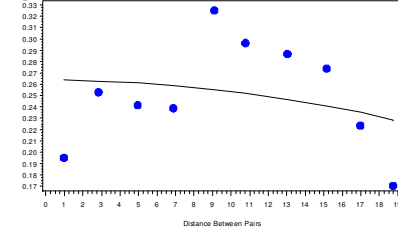
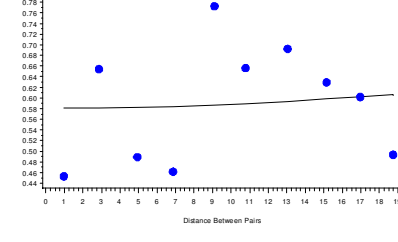
S1

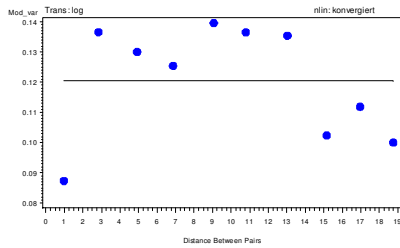
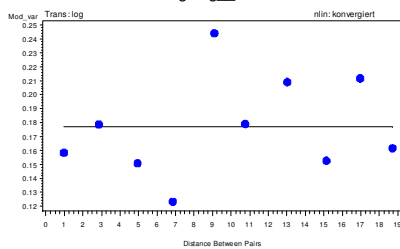
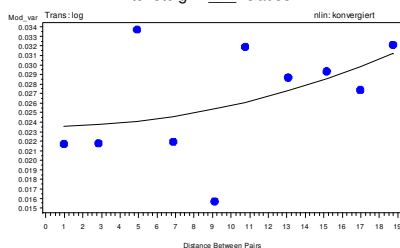
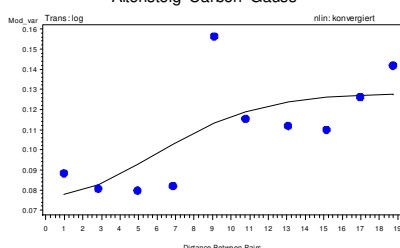
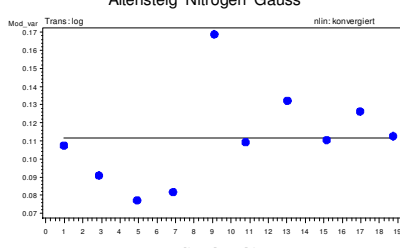
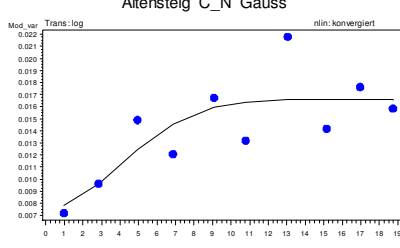


C/N1

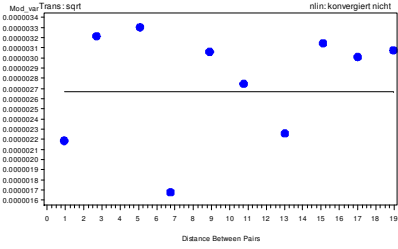
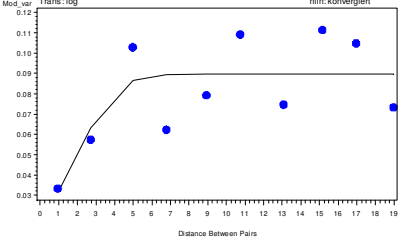
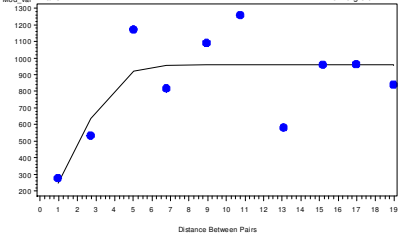
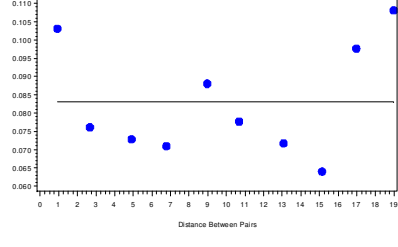
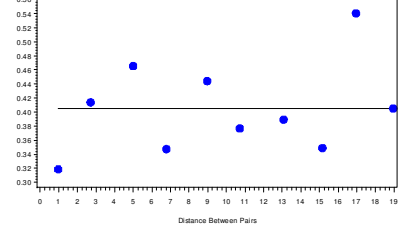


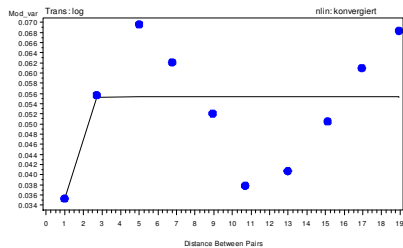
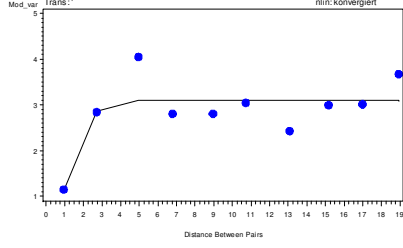
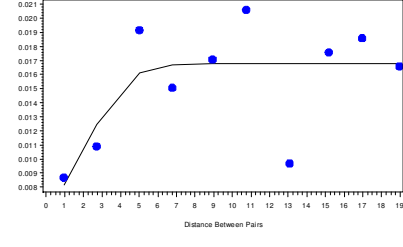
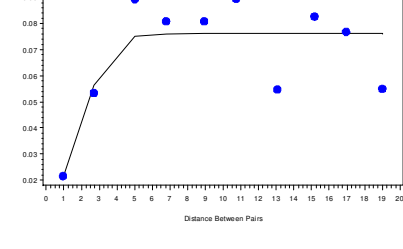
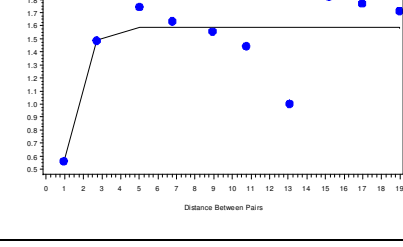
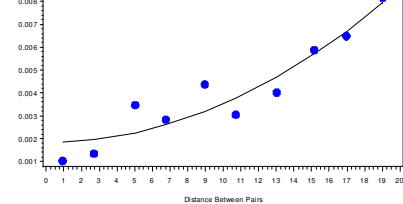
Tab. 25: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Altensteig in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Altensteig pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,0682552</td><td>k.</td><td>2584,2</td><td>4550082</td><td>0,14869</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,024480647</td><td>k.</td><td>23250</td><td>-37362,5</td><td>0,15904</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,068254858</td><td>k.</td><td>0,0017</td><td>0,14869</td><td>0,14869</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,372662543</td><td>k.</td><td>0,1778</td><td>7,07473</td><td>0,0875</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,0682552	k.	2584,2	4550082	0,14869	gaus	0,024480647	k.	23250	-37362,5	0,15904	linear	0,068254858	k.	0,0017	0,14869	0,14869	spher	0,372662543	k.	0,1778	7,07473	0,0875
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,0682552	k.	2584,2	4550082	0,14869																										
gaus	0,024480647	k.	23250	-37362,5	0,15904																										
linear	0,068254858	k.	0,0017	0,14869	0,14869																										
spher	0,372662543	k.	0,1778	7,07473	0,0875																										
<p>Altensteig pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,336695453</td><td>k.</td><td>1,72E-07</td><td>10</td><td>6,5E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,385663022</td><td>k.</td><td>1,67E-07</td><td>10</td><td>8,3E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,384620579</td><td>k.</td><td>5,02E-09</td><td>9,5E-08</td><td>9,5E-08</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,391183257</td><td>k.</td><td>1,64E-07</td><td>10</td><td>6,3E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,336695453	k.	1,72E-07	10	6,5E-08	gaus	0,385663022	k.	1,67E-07	10	8,3E-08	linear	0,384620579	k.	5,02E-09	9,5E-08	9,5E-08	spher	0,391183257	k.	1,64E-07	10	6,3E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,336695453	k.	1,72E-07	10	6,5E-08																										
gaus	0,385663022	k.	1,67E-07	10	8,3E-08																										
linear	0,384620579	k.	5,02E-09	9,5E-08	9,5E-08																										
spher	0,391183257	k.	1,64E-07	10	6,3E-08																										
<p>Altensteig AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,437851398</td><td>k.</td><td>1038956</td><td>9,7E+09</td><td>0,00917</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>9428586</td><td>8,5E+36</td><td>0,01238</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,437851398</td><td>k.</td><td>0,00032</td><td>0,00917</td><td>0,00917</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,230307318</td><td>k.</td><td>0,01326</td><td>10</td><td>0,00859</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,437851398	k.	1038956	9,7E+09	0,00917	gaus	0	k.	9428586	8,5E+36	0,01238	linear	0,437851398	k.	0,00032	0,00917	0,00917	spher	0,230307318	k.	0,01326	10	0,00859
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,437851398	k.	1038956	9,7E+09	0,00917																										
gaus	0	k.	9428586	8,5E+36	0,01238																										
linear	0,437851398	k.	0,00032	0,00917	0,00917																										
spher	0,230307318	k.	0,01326	10	0,00859																										
<p>Altensteig Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,002419476</td><td>k.</td><td>-710,58</td><td>5570655</td><td>0,2543</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,067600786</td><td>k.</td><td>-167118</td><td>-71117</td><td>0,26358</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,002419591</td><td>k.</td><td>-0,0004</td><td>0,2543</td><td>0,2543</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,150289109</td><td>k.</td><td>0,26129</td><td>9,17835</td><td>0,19934</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,002419476	k.	-710,58	5570655	0,2543	gaus	0,067600786	k.	-167118	-71117	0,26358	linear	0,002419591	k.	-0,0004	0,2543	0,2543	spher	0,150289109	k.	0,26129	9,17835	0,19934
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,002419476	k.	-710,58	5570655	0,2543																										
gaus	0,067600786	k.	-167118	-71117	0,26358																										
linear	0,002419591	k.	-0,0004	0,2543	0,2543																										
spher	0,150289109	k.	0,26129	9,17835	0,19934																										
<p>Altensteig Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,169285357</td><td>k.</td><td>0,6169</td><td>7,69437</td><td>0,41184</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,006884442</td><td>k.</td><td>411214</td><td>-129363</td><td>0,58096</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,049377572</td><td>k.</td><td>0,004</td><td>0,5506</td><td>0,5506</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,188034292</td><td>k.</td><td>0,6235</td><td>11,4378</td><td>0,4721</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,169285357	k.	0,6169	7,69437	0,41184	gaus	0,006884442	k.	411214	-129363	0,58096	linear	0,049377572	k.	0,004	0,5506	0,5506	spher	0,188034292	k.	0,6235	11,4378	0,4721
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,169285357	k.	0,6169	7,69437	0,41184																										
gaus	0,006884442	k.	411214	-129363	0,58096																										
linear	0,049377572	k.	0,004	0,5506	0,5506																										
spher	0,188034292	k.	0,6235	11,4378	0,4721																										

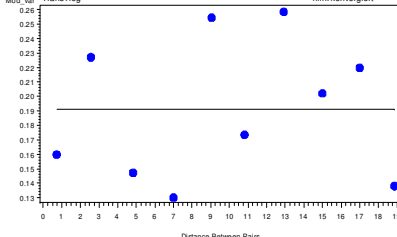
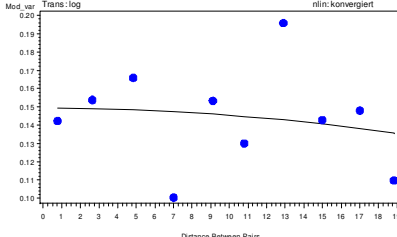
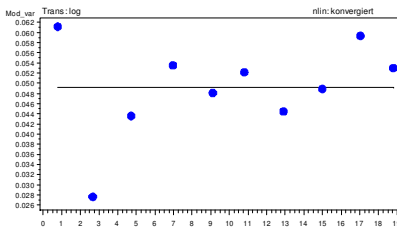
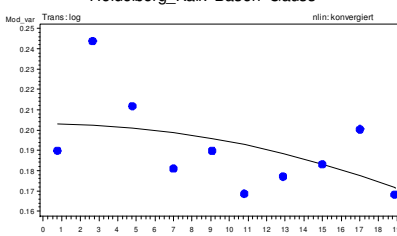
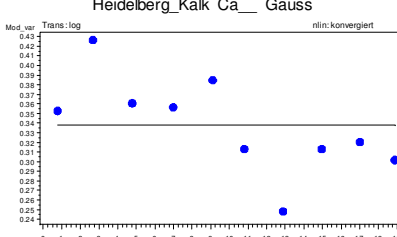
<div>Altenteig K_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,028662787</td><td>k.</td><td>1628845</td><td>-9,4E+09</td><td>0,12576</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>8,2E+13</td><td>5,2E+32</td><td>0,12057</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,028662787</td><td>k.</td><td>-0,00052</td><td>0,12576</td><td>0,12576</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,389523124</td><td>k.</td><td>0,12425</td><td>2,31787</td><td>0,03274</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,028662787	k.	1628845	-9,4E+09	0,12576	gaus		0k.	8,2E+13	5,2E+32	0,12057	linear	0,028662787	k.	-0,00052	0,12576	0,12576	spher	0,389523124	k.	0,12425	2,31787	0,03274
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,028662787	k.	1628845	-9,4E+09	0,12576																										
gaus		0k.	8,2E+13	5,2E+32	0,12057																										
linear	0,028662787	k.	-0,00052	0,12576	0,12576																										
spher	0,389523124	k.	0,12425	2,31787	0,03274																										
<div>Altenteig Mg_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,060706533</td><td>k.</td><td>1,9E+07</td><td>3,8E+10</td><td>0,1625</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-5,5E+14</td><td>-1,4E+34</td><td>0,17696</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,060706516</td><td>k.</td><td>0,00145</td><td>0,1625</td><td>0,1625</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,107895728</td><td>k.</td><td>0,18601</td><td>13,1986</td><td>0,14981</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,060706533	k.	1,9E+07	3,8E+10	0,1625	gaus		0k.	-5,5E+14	-1,4E+34	0,17696	linear	0,060706516	k.	0,00145	0,1625	0,1625	spher	0,107895728	k.	0,18601	13,1986	0,14981
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,060706533	k.	1,9E+07	3,8E+10	0,1625																										
gaus		0k.	-5,5E+14	-1,4E+34	0,17696																										
linear	0,060706516	k.	0,00145	0,1625	0,1625																										
spher	0,107895728	k.	0,18601	13,1986	0,14981																										
<div>Altenteig Al_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,205215131</td><td>k.</td><td>95034</td><td>6,5E+08</td><td>0,02208</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,210926922</td><td>k.</td><td>1850,67</td><td>15971,7</td><td>0,02357</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,205215131</td><td>k.</td><td>0,00044</td><td>0,02208</td><td>0,02208</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,10166062</td><td>k.</td><td>0,02761</td><td>10</td><td>0,02145</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,205215131	k.	95034	6,5E+08	0,02208	gaus	0,210926922	k.	1850,67	15971,7	0,02357	linear	0,205215131	k.	0,00044	0,02208	0,02208	spher	0,10166062	k.	0,02761	10	0,02145
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,205215131	k.	95034	6,5E+08	0,02208																										
gaus	0,210926922	k.	1850,67	15971,7	0,02357																										
linear	0,205215131	k.	0,00044	0,02208	0,02208																										
spher	0,10166062	k.	0,02761	10	0,02145																										
<div>Altenteig Carbon Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,477394222</td><td>k.</td><td>0,17971</td><td>68,7145</td><td>0,07438</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,504735112</td><td>k.</td><td>0,12773</td><td>14,0816</td><td>0,07701</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,47145672</td><td>k.</td><td>0,00304</td><td>0,07908</td><td>0,07908</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,465501169</td><td>k.</td><td>0,12531</td><td>15,3165</td><td>0,07007</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,477394222	k.	0,17971	68,7145	0,07438	gaus	0,504735112	k.	0,12773	14,0816	0,07701	linear	0,47145672	k.	0,00304	0,07908	0,07908	spher	0,465501169	k.	0,12531	15,3165	0,07007
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,477394222	k.	0,17971	68,7145	0,07438																										
gaus	0,504735112	k.	0,12773	14,0816	0,07701																										
linear	0,47145672	k.	0,00304	0,07908	0,07908																										
spher	0,465501169	k.	0,12531	15,3165	0,07007																										
<div>Altenteig Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,151410095</td><td>k.</td><td>-4207,04</td><td>-7343051</td><td>0,09462</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-7,2E+14</td><td>-2,5E+36</td><td>0,11171</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,15141025</td><td>k.</td><td>0,001719</td><td>0,09462</td><td>0,09462</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,205824868</td><td>k.</td><td>0,121464</td><td>13,8762</td><td>0,08433</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,151410095	k.	-4207,04	-7343051	0,09462	gaus		0k.	-7,2E+14	-2,5E+36	0,11171	linear	0,15141025	k.	0,001719	0,09462	0,09462	spher	0,205824868	k.	0,121464	13,8762	0,08433
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,151410095	k.	-4207,04	-7343051	0,09462																										
gaus		0k.	-7,2E+14	-2,5E+36	0,11171																										
linear	0,15141025	k.	0,001719	0,09462	0,09462																										
spher	0,205824868	k.	0,121464	13,8762	0,08433																										
<div>Altenteig C_N Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,636353618</td><td>k.</td><td>0,01715</td><td>13,5274</td><td>0,00455</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,622438078</td><td>k.</td><td>0,01662</td><td>9,72087</td><td>0,00755</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,485570391</td><td>k.</td><td>0,00048</td><td>0,00959</td><td>0,00959</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,624360816</td><td>k.</td><td>0,01653</td><td>11,072</td><td>0,00605</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,636353618	k.	0,01715	13,5274	0,00455	gaus	0,622438078	k.	0,01662	9,72087	0,00755	linear	0,485570391	k.	0,00048	0,00959	0,00959	spher	0,624360816	k.	0,01653	11,072	0,00605
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,636353618	k.	0,01715	13,5274	0,00455																										
gaus	0,622438078	k.	0,01662	9,72087	0,00755																										
linear	0,485570391	k.	0,00048	0,00959	0,00959																										
spher	0,624360816	k.	0,01653	11,072	0,00605																										

Tab. 26: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Conventwald in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<div>Conventwald pH_H2O_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-635302198,9</td><td>k.n.</td><td>6E-08</td><td>-2,52041</td><td>6E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>-0,038195254</td><td>k.n.</td><td>2,7E-06</td><td>3,7E+50</td><td>2,7E-06</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,061650931</td><td>k.</td><td>2,2E-08</td><td>2,5E-06</td><td>2,5E-06</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,069055925</td><td>k.</td><td>2,8E-06</td><td>5</td><td>2,2E-06</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-635302198,9	k.n.	6E-08	-2,52041	6E-08	gaus	-0,038195254	k.n.	2,7E-06	3,7E+50	2,7E-06	linear	0,061650931	k.	2,2E-08	2,5E-06	2,5E-06	spher	0,069055925	k.	2,8E-06	5	2,2E-06
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-635302198,9	k.n.	6E-08	-2,52041	6E-08																										
gaus	-0,038195254	k.n.	2,7E-06	3,7E+50	2,7E-06																										
linear	0,061650931	k.	2,2E-08	2,5E-06	2,5E-06																										
spher	0,069055925	k.	2,8E-06	5	2,2E-06																										
<div>Conventwald pH_KCL_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,546170968</td><td>k.</td><td>0,09189</td><td>7,49759</td><td>0,00545</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,549586061</td><td>k.</td><td>0,08971</td><td>4,98382</td><td>0,02482</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,322219561</td><td>k.</td><td>0,0024</td><td>0,05703</td><td>0,05703</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,555620675</td><td>k.</td><td>0,08933</td><td>5,44106</td><td>0,00992</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,546170968	k.	0,09189	7,49759	0,00545	gaus	0,549586061	k.	0,08971	4,98382	0,02482	linear	0,322219561	k.	0,0024	0,05703	0,05703	spher	0,555620675	k.	0,08933	5,44106	0,00992
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,546170968	k.	0,09189	7,49759	0,00545																										
gaus	0,549586061	k.	0,08971	4,98382	0,02482																										
linear	0,322219561	k.	0,0024	0,05703	0,05703																										
spher	0,555620675	k.	0,08933	5,44106	0,00992																										
<div>Conventwald AKe Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,145737409</td><td>k.</td><td>1,2E+08</td><td>1,8E+07</td><td>659,9</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,583289849</td><td>k.</td><td>958,443</td><td>4,95142</td><td>161,856</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,145737223</td><td>k.</td><td>19,2153</td><td>659,901</td><td>659,901</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,563272639</td><td>k.</td><td>964,622</td><td>6,82377</td><td>104,429</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,145737409	k.	1,2E+08	1,8E+07	659,9	gaus	0,583289849	k.	958,443	4,95142	161,856	linear	0,145737223	k.	19,2153	659,901	659,901	spher	0,563272639	k.	964,622	6,82377	104,429
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,145737409	k.	1,2E+08	1,8E+07	659,9																										
gaus	0,583289849	k.	958,443	4,95142	161,856																										
linear	0,145737223	k.	19,2153	659,901	659,901																										
spher	0,563272639	k.	964,622	6,82377	104,429																										
<div>Conventwald Basen Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,02983102</td><td>k.</td><td>-370432</td><td>-3E+09</td><td>0,0788</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>4248703</td><td>2,9E+40</td><td>0,08305</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,02983102</td><td>k.</td><td>0,00043</td><td>0,0788</td><td>0,0788</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,03781809</td><td>k.</td><td>0,08118</td><td>10</td><td>0,09079</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,02983102	k.	-370432	-3E+09	0,0788	gaus	0	k.	4248703	2,9E+40	0,08305	linear	0,02983102	k.	0,00043	0,0788	0,0788	spher	0,03781809	k.	0,08118	10	0,09079
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,02983102	k.	-370432	-3E+09	0,0788																										
gaus	0	k.	4248703	2,9E+40	0,08305																										
linear	0,02983102	k.	0,00043	0,0788	0,0788																										
spher	0,03781809	k.	0,08118	10	0,09079																										
<div>Conventwald Ca_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,213574542</td><td>k.</td><td>0,41534</td><td>1,99035</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>1E+15</td><td>-9E+68</td><td>0,40509</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,101051462</td><td>k.</td><td>0,00341</td><td>0,37125</td><td>0,37125</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,100237115</td><td>k.</td><td>0,41814</td><td>10</td><td>0,35027</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,213574542	k.	0,41534	1,99035	1E-08	gaus	0	k.	1E+15	-9E+68	0,40509	linear	0,101051462	k.	0,00341	0,37125	0,37125	spher	0,100237115	k.	0,41814	10	0,35027
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,213574542	k.	0,41534	1,99035	1E-08																										
gaus	0	k.	1E+15	-9E+68	0,40509																										
linear	0,101051462	k.	0,00341	0,37125	0,37125																										
spher	0,100237115	k.	0,41814	10	0,35027																										

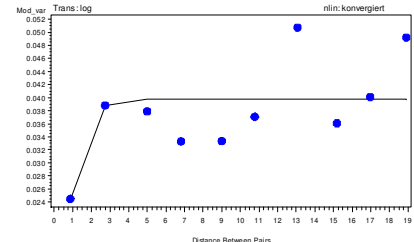
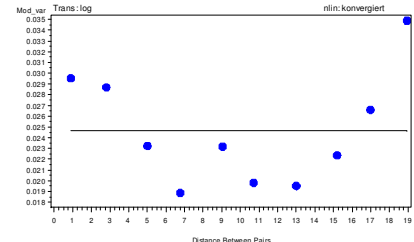
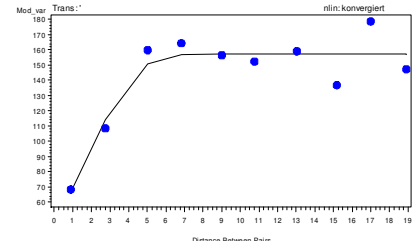
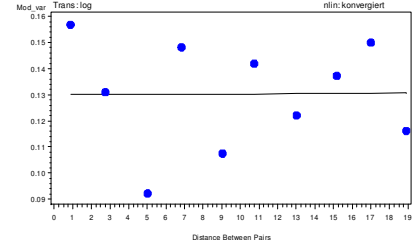
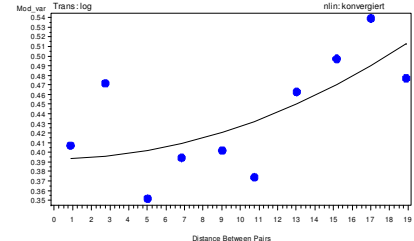
<div>Conventwald K_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,057033261</td><td>k.</td><td>-64239</td><td>-4E+08</td><td>0,0485</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,263919035</td><td>k.</td><td>0,05532</td><td>1,71367</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,057033261</td><td>k.</td><td>0,00048</td><td>0,04853</td><td>0,0485</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,050656438</td><td>k.</td><td>0,05507</td><td>10</td><td>0,046</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,057033261	k.	-64239	-4E+08	0,0485	gaus	0,263919035	k.	0,05532	1,71367	1E-08	linear	0,057033261	k.	0,00048	0,04853	0,0485	spher	0,050656438	k.	0,05507	10	0,046
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,057033261	k.	-64239	-4E+08	0,0485																										
gaus	0,263919035	k.	0,05532	1,71367	1E-08																										
linear	0,057033261	k.	0,00048	0,04853	0,0485																										
spher	0,050656438	k.	0,05507	10	0,046																										
<div>Conventwald Mg_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,579572972</td><td>k.</td><td>3,10949</td><td>4,16568</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,644323197</td><td>k.</td><td>3,10266</td><td>3,05295</td><td>0,48015</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,17660994</td><td>k.</td><td>0,0526</td><td>2,36018</td><td>2,36018</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,644300716</td><td>k.</td><td>3,10534</td><td>3,66768</td><td>1E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,579572972	k.	3,10949	4,16568	1E-08	gaus	0,644323197	k.	3,10266	3,05295	0,48015	linear	0,17660994	k.	0,0526	2,36018	2,36018	spher	0,644300716	k.	3,10534	3,66768	1E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,579572972	k.	3,10949	4,16568	1E-08																										
gaus	0,644323197	k.	3,10266	3,05295	0,48015																										
linear	0,17660994	k.	0,0526	2,36018	2,36018																										
spher	0,644300716	k.	3,10534	3,66768	1E-08																										
<div>Conventwald Al_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-7,311908983</td><td>k.n.</td><td>0,00463</td><td>-0,3509</td><td>0,0046</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,472685293</td><td>k.</td><td>0,01676</td><td>5,2946</td><td>0,0073</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,204367931</td><td>k.</td><td>0,00031</td><td>0,0123</td><td>0,0123</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,399121872</td><td>k.</td><td>0,01707</td><td>10</td><td>0,0084</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-7,311908983	k.n.	0,00463	-0,3509	0,0046	gaus	0,472685293	k.	0,01676	5,2946	0,0073	linear	0,204367931	k.	0,00031	0,0123	0,0123	spher	0,399121872	k.	0,01707	10	0,0084
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-7,311908983	k.n.	0,00463	-0,3509	0,0046																										
gaus	0,472685293	k.	0,01676	5,2946	0,0073																										
linear	0,204367931	k.	0,00031	0,0123	0,0123																										
spher	0,399121872	k.	0,01707	10	0,0084																										
<div>Conventwald Carbon Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,091063466</td><td>k.</td><td>-2E+06</td><td>-4E+09</td><td>0,05788</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,674464571</td><td>k.</td><td>0,07611</td><td>4,3001</td><td>0,01203</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,091063466</td><td>k.</td><td>0,00107</td><td>0,05788</td><td>0,05788</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,06851</td><td>0,59074</td><td>1,87568</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,091063466	k.	-2E+06	-4E+09	0,05788	gaus	0,674464571	k.	0,07611	4,3001	0,01203	linear	0,091063466	k.	0,00107	0,05788	0,05788	spher		0k.	0,06851	0,59074	1,87568
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,091063466	k.	-2E+06	-4E+09	0,05788																										
gaus	0,674464571	k.	0,07611	4,3001	0,01203																										
linear	0,091063466	k.	0,00107	0,05788	0,05788																										
spher		0k.	0,06851	0,59074	1,87568																										
<div>Conventwald Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,596755859</td><td>k.</td><td>1,59854</td><td>4,44537</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,652594237</td><td>k.</td><td>1,58622</td><td>2,87229</td><td>0,16252</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,240438442</td><td>k.</td><td>0,03186</td><td>1,15764</td><td>1,15764</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>1,47411</td><td>-7,9633</td><td>20,2212</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,596755859	k.	1,59854	4,44537	1E-08	gaus	0,652594237	k.	1,58622	2,87229	0,16252	linear	0,240438442	k.	0,03186	1,15764	1,15764	spher		0k.	1,47411	-7,9633	20,2212
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,596755859	k.	1,59854	4,44537	1E-08																										
gaus	0,652594237	k.	1,58622	2,87229	0,16252																										
linear	0,240438442	k.	0,03186	1,15764	1,15764																										
spher		0k.	1,47411	-7,9633	20,2212																										
<div>Conventwald C_N Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,879166612</td><td>k.</td><td>1679,6</td><td>1,5E+07</td><td>0,00064</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,889274275</td><td>k.</td><td>20214,9</td><td>59958,4</td><td>0,00183</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,879166748</td><td>k.</td><td>0,00034</td><td>0,00064</td><td>0,00064</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,010316251</td><td>k.</td><td>0,00408</td><td>1,05718</td><td>1E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,879166612	k.	1679,6	1,5E+07	0,00064	gaus	0,889274275	k.	20214,9	59958,4	0,00183	linear	0,879166748	k.	0,00034	0,00064	0,00064	spher	0,010316251	k.	0,00408	1,05718	1E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,879166612	k.	1679,6	1,5E+07	0,00064																										
gaus	0,889274275	k.	20214,9	59958,4	0,00183																										
linear	0,879166748	k.	0,00034	0,00064	0,00064																										
spher	0,010316251	k.	0,00408	1,05718	1E-08																										

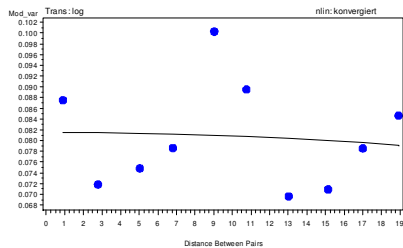
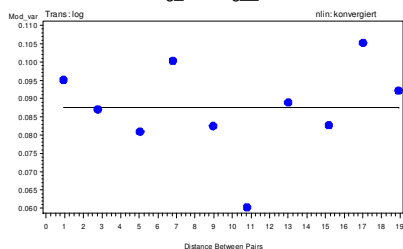
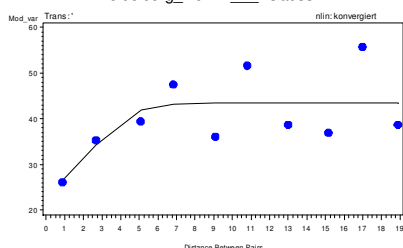
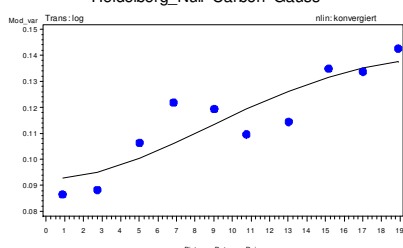
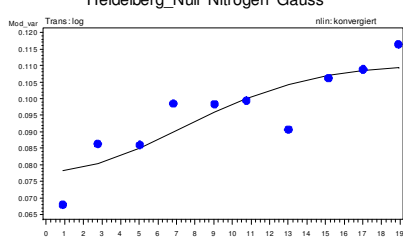
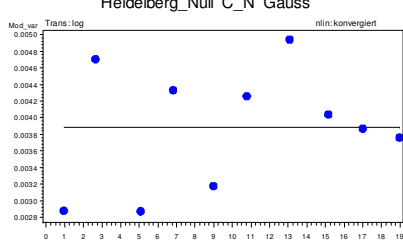
Tab. 27: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Heidelberg gedüngt in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<div>Heidelberg_Kalk pH_H2O_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,0166237</td><td>k.</td><td>-122181</td><td>-4E+08</td><td>0,18119</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>0,19458</td><td>2,2E+50</td><td>0,19111</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,0166237</td><td>k.</td><td>0,001</td><td>0,18119</td><td>0,18119</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,015958853</td><td>k.</td><td>0,19367</td><td>5</td><td>0,16994</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,0166237	k.	-122181	-4E+08	0,18119	gaus	0	k.	0,19458	2,2E+50	0,19111	linear	0,0166237	k.	0,001	0,18119	0,18119	spher	0,015958853	k.	0,19367	5	0,16994
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,0166237	k.	-122181	-4E+08	0,18119																										
gaus	0	k.	0,19458	2,2E+50	0,19111																										
linear	0,0166237	k.	0,001	0,18119	0,18119																										
spher	0,015958853	k.	0,19367	5	0,16994																										
<div>Heidelberg_Kalk pH_KCL_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,015766608</td><td>k.</td><td>-2E+06</td><td>1E+10</td><td>0,14978</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,030847108</td><td>k.</td><td>-958705</td><td>273491</td><td>0,14932</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,015766608</td><td>k.</td><td>-0,0006</td><td>0,1498</td><td>0,14978</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,000390488</td><td>k.</td><td>0,14403</td><td>5</td><td>0,14619</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,015766608	k.	-2E+06	1E+10	0,14978	gaus	0,030847108	k.	-958705	273491	0,14932	linear	0,015766608	k.	-0,0006	0,1498	0,14978	spher	0,000390488	k.	0,14403	5	0,14619
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,015766608	k.	-2E+06	1E+10	0,14978																										
gaus	0,030847108	k.	-958705	273491	0,14932																										
linear	0,015766608	k.	-0,0006	0,1498	0,14978																										
spher	0,000390488	k.	0,14403	5	0,14619																										
<div>Heidelberg_Kalk AKe Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,090856508</td><td>k.</td><td>-94267</td><td>-6,1E+08</td><td>0,04458</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>750769</td><td>7,3E+42</td><td>0,04919</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,090856508</td><td>k.</td><td>0,00047</td><td>0,04458</td><td>0,04458</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,022994295</td><td>k.</td><td>0,04858</td><td>5</td><td>0,0544</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,090856508	k.	-94267	-6,1E+08	0,04458	gaus	0	k.	750769	7,3E+42	0,04919	linear	0,090856508	k.	0,00047	0,04458	0,04458	spher	0,022994295	k.	0,04858	5	0,0544
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,090856508	k.	-94267	-6,1E+08	0,04458																										
gaus	0	k.	750769	7,3E+42	0,04919																										
linear	0,090856508	k.	0,00047	0,04458	0,04458																										
spher	0,022994295	k.	0,04858	5	0,0544																										
<div>Heidelberg_Kalk Basen Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,298852058</td><td>k.</td><td>12462,9</td><td>-2E+07</td><td>0,21152</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,232618856</td><td>k.</td><td>-7E+07</td><td>-2E+06</td><td>0,20303</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,298852143</td><td>k.</td><td>-0,002</td><td>0,21152</td><td>0,21152</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,068499118</td><td>k.</td><td>0,18888</td><td>5</td><td>0,21283</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,298852058	k.	12462,9	-2E+07	0,21152	gaus	0,232618856	k.	-7E+07	-2E+06	0,20303	linear	0,298852143	k.	-0,002	0,21152	0,21152	spher	0,068499118	k.	0,18888	5	0,21283
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,298852058	k.	12462,9	-2E+07	0,21152																										
gaus	0,232618856	k.	-7E+07	-2E+06	0,20303																										
linear	0,298852143	k.	-0,002	0,21152	0,21152																										
spher	0,068499118	k.	0,18888	5	0,21283																										
<div>Heidelberg_Kalk Ca_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,460185596</td><td>k.</td><td>4E+06</td><td>-2E+09</td><td>0,39199</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>7E+14</td><td>-6E+34</td><td>0,33783</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,460185596</td><td>k.</td><td>-0,0055</td><td>0,39199</td><td>0,39199</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,104397105</td><td>k.</td><td>0,3311</td><td>5</td><td>0,39541</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,460185596	k.	4E+06	-2E+09	0,39199	gaus	0	k.	7E+14	-6E+34	0,33783	linear	0,460185596	k.	-0,0055	0,39199	0,39199	spher	0,104397105	k.	0,3311	5	0,39541
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,460185596	k.	4E+06	-2E+09	0,39199																										
gaus	0	k.	7E+14	-6E+34	0,33783																										
linear	0,460185596	k.	-0,0055	0,39199	0,39199																										
spher	0,104397105	k.	0,3311	5	0,39541																										

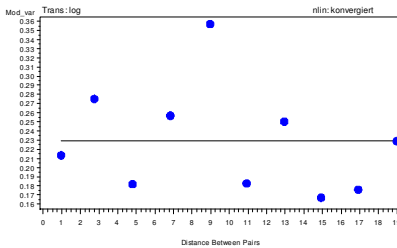
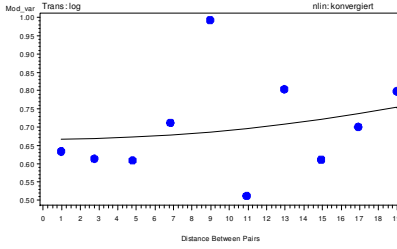
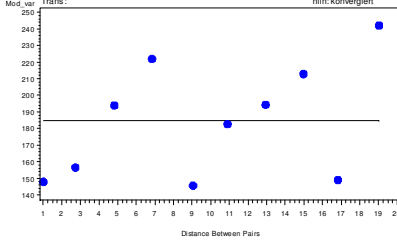
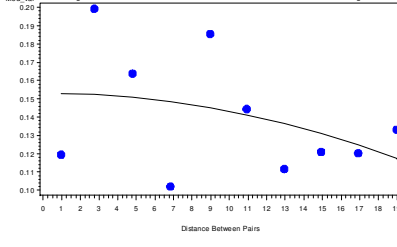
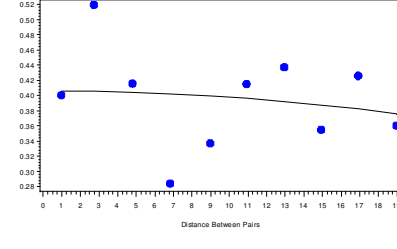
<div>Heidelberg_Kalk K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,203524241</td><td>k.</td><td>5976,06</td><td>9247483</td><td>0,0966</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,4E+12</td><td>4,6E+69</td><td>0,11577</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,203524451</td><td>k.</td><td>0,00194</td><td>0,0966</td><td>0,0966</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,009274852</td><td>k.</td><td>0,11706</td><td>7,19809</td><td>0,10815</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,203524241	k.	5976,06	9247483	0,0966	gaus		0k.	1,4E+12	4,6E+69	0,11577	linear	0,203524451	k.	0,00194	0,0966	0,0966	spher	0,009274852	k.	0,11706	7,19809	0,10815
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,203524241	k.	5976,06	9247483	0,0966																										
gaus		0k.	1,4E+12	4,6E+69	0,11577																										
linear	0,203524451	k.	0,00194	0,0966	0,0966																										
spher	0,009274852	k.	0,11706	7,19809	0,10815																										
<div>Heidelberg_Kalk Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>8,5E+13</td><td>8,3E+74</td><td>0,3608</td></tr><tr><td>gaus</td><td>-0,44314612</td><td>k.n.</td><td>0,32665</td><td>0,50902</td><td>0,2946</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,097449402</td><td>k.</td><td>-0,00275</td><td>0,38801</td><td>0,388</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,295928017</td><td>k.</td><td>0,37007</td><td>2,58884</td><td>0,2062</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	8,5E+13	8,3E+74	0,3608	gaus	-0,44314612	k.n.	0,32665	0,50902	0,2946	linear	0,097449402	k.	-0,00275	0,38801	0,388	spher	0,295928017	k.	0,37007	2,58884	0,2062
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	8,5E+13	8,3E+74	0,3608																										
gaus	-0,44314612	k.n.	0,32665	0,50902	0,2946																										
linear	0,097449402	k.	-0,00275	0,38801	0,388																										
spher	0,295928017	k.	0,37007	2,58884	0,2062																										
<div>Heidelberg_Kalk Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,532174161</td><td>k.</td><td>777732</td><td>9,9E+07</td><td>0,66958</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,577732542</td><td>k.</td><td>1,3185</td><td>-29,986</td><td>0,71823</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,532174179</td><td>k.</td><td>0,0236</td><td>0,66958</td><td>0,66958</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,532174179</td><td>k.</td><td>4170,3</td><td>264720</td><td>0,66958</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,532174161	k.	777732	9,9E+07	0,66958	gaus	0,577732542	k.	1,3185	-29,986	0,71823	linear	0,532174179	k.	0,0236	0,66958	0,66958	spher	0,532174179	k.	4170,3	264720	0,66958
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,532174161	k.	777732	9,9E+07	0,66958																										
gaus	0,577732542	k.	1,3185	-29,986	0,71823																										
linear	0,532174179	k.	0,0236	0,66958	0,66958																										
spher	0,532174179	k.	4170,3	264720	0,66958																										
<div>Heidelberg_Kalk Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,0315822</td><td>k.</td><td>-887982</td><td>5,3E+09</td><td>0,15401</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>2E+14</td><td>-3E+46</td><td>0,14902</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,0315822</td><td>k.</td><td>-0,0005</td><td>0,15401</td><td>0,15401</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,265968147</td><td>k.</td><td>0,1452</td><td>5</td><td>0,18138</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,0315822	k.	-887982	5,3E+09	0,15401	gaus		0k.	2E+14	-3E+46	0,14902	linear	0,0315822	k.	-0,0005	0,15401	0,15401	spher	0,265968147	k.	0,1452	5	0,18138
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,0315822	k.	-887982	5,3E+09	0,15401																										
gaus		0k.	2E+14	-3E+46	0,14902																										
linear	0,0315822	k.	-0,0005	0,15401	0,15401																										
spher	0,265968147	k.	0,1452	5	0,18138																										
<div>Heidelberg_Kalk Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,073500047</td><td>k.</td><td>-167664</td><td>6,6E+08</td><td>0,1616</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-6E+13</td><td>2,2E+72</td><td>0,154</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,073500047</td><td>k.</td><td>-0,0008</td><td>0,16155</td><td>0,1616</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,338717605</td><td>k.</td><td>0,1498</td><td>5</td><td>0,1895</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,073500047	k.	-167664	6,6E+08	0,1616	gaus		0k.	-6E+13	2,2E+72	0,154	linear	0,073500047	k.	-0,0008	0,16155	0,1616	spher	0,338717605	k.	0,1498	5	0,1895
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,073500047	k.	-167664	6,6E+08	0,1616																										
gaus		0k.	-6E+13	2,2E+72	0,154																										
linear	0,073500047	k.	-0,0008	0,16155	0,1616																										
spher	0,338717605	k.	0,1498	5	0,1895																										
<div>Heidelberg_Kalk C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,407761407</td><td>k.</td><td>135497</td><td>3,6E+09</td><td>0,00377</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,060545717</td><td>k.n.</td><td>0,00499</td><td>0,88708</td><td>0,00068</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,407761407</td><td>k.</td><td>0,00011</td><td>0,00377</td><td>0,00377</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,323754792</td><td>k.</td><td>0,00508</td><td>2,17454</td><td>0,00044</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,407761407	k.	135497	3,6E+09	0,00377	gaus	0,060545717	k.n.	0,00499	0,88708	0,00068	linear	0,407761407	k.	0,00011	0,00377	0,00377	spher	0,323754792	k.	0,00508	2,17454	0,00044
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,407761407	k.	135497	3,6E+09	0,00377																										
gaus	0,060545717	k.n.	0,00499	0,88708	0,00068																										
linear	0,407761407	k.	0,00011	0,00377	0,00377																										
spher	0,323754792	k.	0,00508	2,17454	0,00044																										

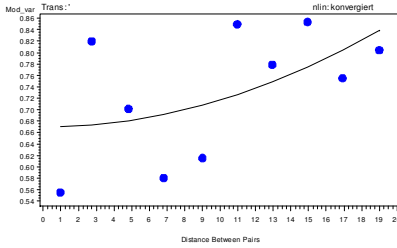
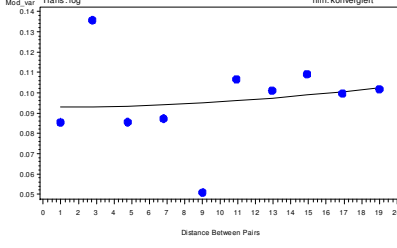
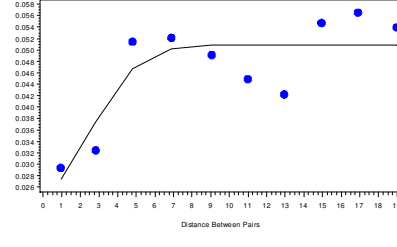
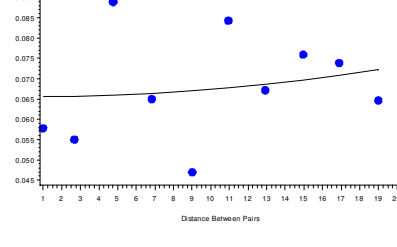
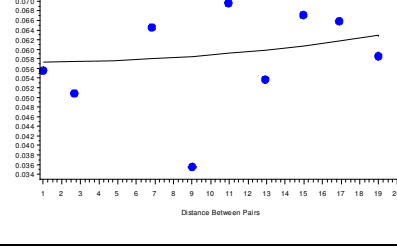
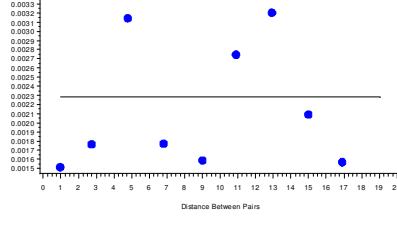
Tab. 28: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Heidelberg Null in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Heidelberg_Null pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,447164889</td><td>k.</td><td>0,06615</td><td>100,516</td><td>0,02902</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,394247666</td><td>k.</td><td>0,03975</td><td>2,68777</td><td>0,01876</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,445755722</td><td>k.</td><td>0,00083</td><td>0,02986</td><td>0,02986</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,03813</td><td>0,48905</td><td>1,95145</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,447164889	k.	0,06615	100,516	0,02902	gaus	0,394247666	k.	0,03975	2,68777	0,01876	linear	0,445755722	k.	0,00083	0,02986	0,02986	spher		0k.	0,03813	0,48905	1,95145
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,447164889	k.	0,06615	100,516	0,02902																										
gaus	0,394247666	k.	0,03975	2,68777	0,01876																										
linear	0,445755722	k.	0,00083	0,02986	0,02986																										
spher		0k.	0,03813	0,48905	1,95145																										
<p>Heidelberg_Null pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,009680192</td><td>k.</td><td>-3268,6</td><td>-1E+08</td><td>0,02385</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>4,3E+07</td><td>-7E+45</td><td>0,02468</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,009680192</td><td>k.</td><td>8,3E-05</td><td>0,02385</td><td>0,02385</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,108959957</td><td>k.</td><td>0,02414</td><td>0,94071</td><td>2,34243</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,009680192	k.	-3268,6	-1E+08	0,02385	gaus		0k.	4,3E+07	-7E+45	0,02468	linear	0,009680192	k.	8,3E-05	0,02385	0,02385	spher	0,108959957	k.	0,02414	0,94071	2,34243
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,009680192	k.	-3268,6	-1E+08	0,02385																										
gaus		0k.	4,3E+07	-7E+45	0,02468																										
linear	0,009680192	k.	8,3E-05	0,02385	0,02385																										
spher	0,108959957	k.	0,02414	0,94071	2,34243																										
<p>Heidelberg_Null Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,368212792</td><td>k.</td><td>2,1E+08</td><td>2E+08</td><td>111,339</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,87440943</td><td>k.</td><td>157,291</td><td>5,24926</td><td>58,1008</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,368212765</td><td>k.</td><td>3,20224</td><td>111,339</td><td>111,339</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,877127701</td><td>k.</td><td>156,963</td><td>6,019</td><td>39,8351</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,368212792	k.	2,1E+08	2E+08	111,339	gaus	0,87440943	k.	157,291	5,24926	58,1008	linear	0,368212765	k.	3,20224	111,339	111,339	spher	0,877127701	k.	156,963	6,019	39,8351
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,368212792	k.	2,1E+08	2E+08	111,339																										
gaus	0,87440943	k.	157,291	5,24926	58,1008																										
linear	0,368212765	k.	3,20224	111,339	111,339																										
spher	0,877127701	k.	156,963	6,019	39,8351																										
<p>Heidelberg_Null Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>5,1E+14</td><td>1,4E+61</td><td>0,13035</td></tr><tr><td>gaus</td><td>9,49442E-05</td><td>k.</td><td>1131507</td><td>-1E+06</td><td>0,13014</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,00274644</td><td>k.</td><td>-0,0002</td><td>0,13211</td><td>0,13211</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,13035</td><td>0,72446</td><td>2,06906</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	5,1E+14	1,4E+61	0,13035	gaus	9,49442E-05	k.	1131507	-1E+06	0,13014	linear	0,00274644	k.	-0,0002	0,13211	0,13211	spher		0k.	0,13035	0,72446	2,06906
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	5,1E+14	1,4E+61	0,13035																										
gaus	9,49442E-05	k.	1131507	-1E+06	0,13014																										
linear	0,00274644	k.	-0,0002	0,13211	0,13211																										
spher		0k.	0,13035	0,72446	2,06906																										
<p>Heidelberg_Null Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,373804897</td><td>k.</td><td>108956</td><td>5,4E+07</td><td>0,37783</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,481777372</td><td>k.</td><td>13011</td><td>10806,7</td><td>0,39347</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,373804968</td><td>k.</td><td>0,006</td><td>0,37783</td><td>0,37783</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,031695925</td><td>k.</td><td>0,4411</td><td>2,16379</td><td>0,36043</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,373804897	k.	108956	5,4E+07	0,37783	gaus	0,481777372	k.	13011	10806,7	0,39347	linear	0,373804968	k.	0,006	0,37783	0,37783	spher	0,031695925	k.	0,4411	2,16379	0,36043
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,373804897	k.	108956	5,4E+07	0,37783																										
gaus	0,481777372	k.	13011	10806,7	0,39347																										
linear	0,373804968	k.	0,006	0,37783	0,37783																										
spher	0,031695925	k.	0,4411	2,16379	0,36043																										

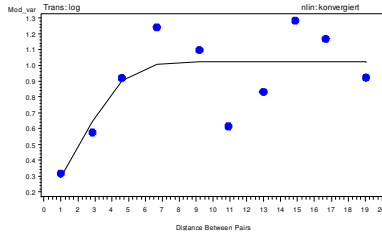
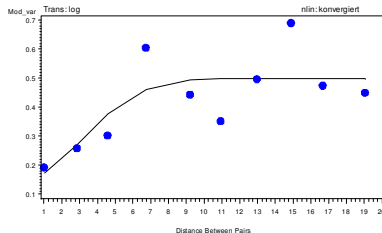
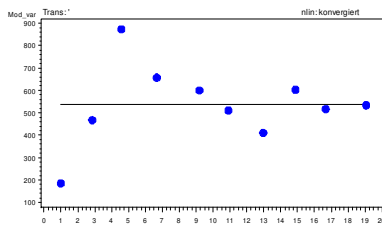
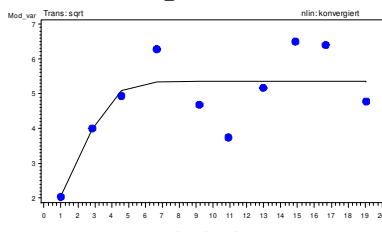
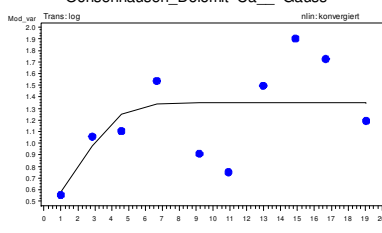
<div>Heidelberg_Null K_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,005064412</td><td>k.</td><td>-3E+07</td><td>7,4E+11</td><td>0,08178</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,007199815</td><td>k.</td><td>-661665</td><td>-546788</td><td>0,08153</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,005064528</td><td>k.</td><td>-0,0001</td><td>0,08178</td><td>0,08178</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,08065</td><td>0,88094</td><td>2,22263</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,005064412	k.	-3E+07	7,4E+11	0,08178	gaus	0,007199815	k.	-661665	-546788	0,08153	linear	0,005064528	k.	-0,0001	0,08178	0,08178	spher		0k.	0,08065	0,88094	2,22263
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,005064412	k.	-3E+07	7,4E+11	0,08178																										
gaus	0,007199815	k.	-661665	-546788	0,08153																										
linear	0,005064528	k.	-0,0001	0,08178	0,08178																										
spher		0k.	0,08065	0,88094	2,22263																										
<div>Heidelberg_Null Mg_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,006616861</td><td>k.</td><td>-641,48</td><td>-1,2E+07</td><td>0,0859</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-8E+13</td><td>4,2E+32</td><td>0,08755</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,006616861</td><td>k.</td><td>0,00017</td><td>0,0859</td><td>0,0859</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,045795737</td><td>k.</td><td>0,0867</td><td>0,98509</td><td>2,82731</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,006616861	k.	-641,48	-1,2E+07	0,0859	gaus		0k.	-8E+13	4,2E+32	0,08755	linear	0,006616861	k.	0,00017	0,0859	0,0859	spher	0,045795737	k.	0,0867	0,98509	2,82731
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,006616861	k.	-641,48	-1,2E+07	0,0859																										
gaus		0k.	-8E+13	4,2E+32	0,08755																										
linear	0,006616861	k.	0,00017	0,0859	0,0859																										
spher	0,045795737	k.	0,0867	0,98509	2,82731																										
<div>Heidelberg_Null Al_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,236698892</td><td>k.</td><td>1129427</td><td>4899573</td><td>33,7309</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,432796574</td><td>k.</td><td>43,3736</td><td>5,56683</td><td>25,1453</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,236698316</td><td>k.</td><td>0,69152</td><td>33,7309</td><td>33,7309</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,425607295</td><td>k.</td><td>43,0901</td><td>5,54243</td><td>20,5802</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,236698892	k.	1129427	4899573	33,7309	gaus	0,432796574	k.	43,3736	5,56683	25,1453	linear	0,236698316	k.	0,69152	33,7309	33,7309	spher	0,425607295	k.	43,0901	5,54243	20,5802
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,236698892	k.	1129427	4899573	33,7309																										
gaus	0,432796574	k.	43,3736	5,56683	25,1453																										
linear	0,236698316	k.	0,69152	33,7309	33,7309																										
spher	0,425607295	k.	43,0901	5,54243	20,5802																										
<div>Heidelberg_Null Carbon Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,837738363</td><td>k.</td><td>0,18065</td><td>68,558</td><td>0,0836</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,786350811</td><td>k.</td><td>0,14206</td><td>21,0936</td><td>0,0926</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,830503509</td><td>k.</td><td>0,00281</td><td>0,08787</td><td>0,0879</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,1158</td><td>0,48967</td><td>2,0059</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,837738363	k.	0,18065	68,558	0,0836	gaus	0,786350811	k.	0,14206	21,0936	0,0926	linear	0,830503509	k.	0,00281	0,08787	0,0879	spher		0k.	0,1158	0,48967	2,0059
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,837738363	k.	0,18065	68,558	0,0836																										
gaus	0,786350811	k.	0,14206	21,0936	0,0926																										
linear	0,830503509	k.	0,00281	0,08787	0,0879																										
spher		0k.	0,1158	0,48967	2,0059																										
<div>Heidelberg_Null Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,815515762</td><td>k.</td><td>0,11866</td><td>32,4934</td><td>0,06907</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,734547645</td><td>k.</td><td>0,11036</td><td>17,3951</td><td>0,07796</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,792437216</td><td>k.</td><td>0,00201</td><td>0,0759</td><td>0,0759</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,09591</td><td>0,70269</td><td>2,12304</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,815515762	k.	0,11866	32,4934	0,06907	gaus	0,734547645	k.	0,11036	17,3951	0,07796	linear	0,792437216	k.	0,00201	0,0759	0,0759	spher		0k.	0,09591	0,70269	2,12304
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,815515762	k.	0,11866	32,4934	0,06907																										
gaus	0,734547645	k.	0,11036	17,3951	0,07796																										
linear	0,792437216	k.	0,00201	0,0759	0,0759																										
spher		0k.	0,09591	0,70269	2,12304																										
<div>Heidelberg_Null C_N Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-7,39050949</td><td>k.n.</td><td>0,00202</td><td>-0,4845</td><td>0,00202</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-76392</td><td>-3E+50</td><td>0,00389</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,069025115</td><td>k.</td><td>3,1E-05</td><td>0,00358</td><td>0,00358</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,00389</td><td>0,68991</td><td>1,76017</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-7,39050949	k.n.	0,00202	-0,4845	0,00202	gaus		0k.	-76392	-3E+50	0,00389	linear	0,069025115	k.	3,1E-05	0,00358	0,00358	spher		0k.	0,00389	0,68991	1,76017
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-7,39050949	k.n.	0,00202	-0,4845	0,00202																										
gaus		0k.	-76392	-3E+50	0,00389																										
linear	0,069025115	k.	3,1E-05	0,00358	0,00358																										
spher		0k.	0,00389	0,68991	1,76017																										

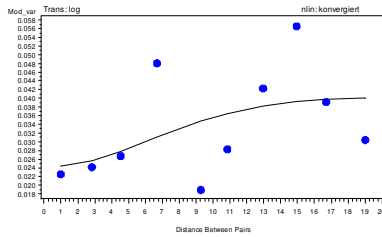
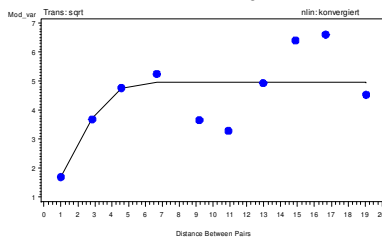
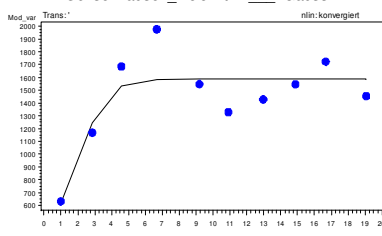
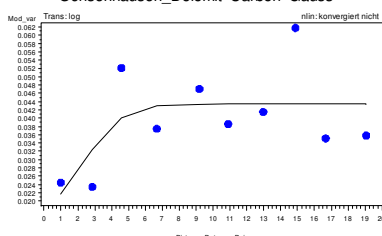
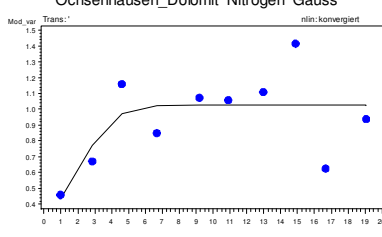
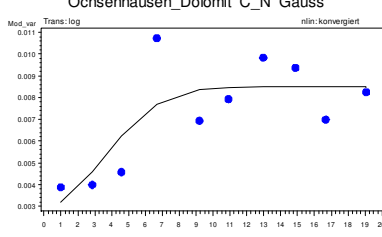
Tab. 29: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Müllheim in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Müllheim pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,065445781</td><td>k.</td><td>-121570</td><td>1,5E+08</td><td>0,2534</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>6,1E+13</td><td>-1,6E+75</td><td>0,22899</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,065445787</td><td>k.</td><td>-0,0025</td><td>0,2534</td><td>0,2534</td></tr><tr><td>spher</td><td>4,86491E-05</td><td>k.</td><td>0,22881</td><td>5</td><td>0,23059</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,065445781	k.	-121570	1,5E+08	0,2534	gaus	0	k.	6,1E+13	-1,6E+75	0,22899	linear	0,065445787	k.	-0,0025	0,2534	0,2534	spher	4,86491E-05	k.	0,22881	5	0,23059
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,065445781	k.	-121570	1,5E+08	0,2534																										
gaus	0	k.	6,1E+13	-1,6E+75	0,22899																										
linear	0,065445787	k.	-0,0025	0,2534	0,2534																										
spher	4,86491E-05	k.	0,22881	5	0,23059																										
<p>Müllheim pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,065938758</td><td>k.</td><td>-3E+06</td><td>-2E+09</td><td>0,64164</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,04777002</td><td>k.</td><td>4184131</td><td>-228464</td><td>0,66729</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,065938758</td><td>k.</td><td>0,00578</td><td>0,64164</td><td>0,64164</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,057660306</td><td>k.</td><td>0,71282</td><td>5</td><td>0,56982</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,065938758	k.	-3E+06	-2E+09	0,64164	gaus	0,04777002	k.	4184131	-228464	0,66729	linear	0,065938758	k.	0,00578	0,64164	0,64164	spher	0,057660306	k.	0,71282	5	0,56982
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,065938758	k.	-3E+06	-2E+09	0,64164																										
gaus	0,04777002	k.	4184131	-228464	0,66729																										
linear	0,065938758	k.	0,00578	0,64164	0,64164																										
spher	0,057660306	k.	0,71282	5	0,56982																										
<p>Müllheim Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,204138733</td><td>k.</td><td>8E+06</td><td>9E+06</td><td>159,54</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>-4E+16</td><td>-3E+70</td><td>184,78</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,204138737</td><td>k.</td><td>2,5436</td><td>159,54</td><td>159,54</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,236291122</td><td>k.</td><td>193,05</td><td>6,7069</td><td>129,48</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,204138733	k.	8E+06	9E+06	159,54	gaus	0	k.	-4E+16	-3E+70	184,78	linear	0,204138737	k.	2,5436	159,54	159,54	spher	0,236291122	k.	193,05	6,7069	129,48
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,204138733	k.	8E+06	9E+06	159,54																										
gaus	0	k.	-4E+16	-3E+70	184,78																										
linear	0,204138737	k.	2,5436	159,54	159,54																										
spher	0,236291122	k.	193,05	6,7069	129,48																										
<p>Müllheim Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,13911006</td><td>k.n.</td><td>0,2133</td><td>-109,52</td><td>0,15856</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,14072836</td><td>k.</td><td>-2E+08</td><td>-2E+06</td><td>0,15304</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,137523392</td><td>k.</td><td>-0,002</td><td>0,15981</td><td>0,15981</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,000102928</td><td>k.</td><td>0,14</td><td>5</td><td>0,14139</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,13911006	k.n.	0,2133	-109,52	0,15856	gaus	0,14072836	k.	-2E+08	-2E+06	0,15304	linear	0,137523392	k.	-0,002	0,15981	0,15981	spher	0,000102928	k.	0,14	5	0,14139
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,13911006	k.n.	0,2133	-109,52	0,15856																										
gaus	0,14072836	k.	-2E+08	-2E+06	0,15304																										
linear	0,137523392	k.	-0,002	0,15981	0,15981																										
spher	0,000102928	k.	0,14	5	0,14139																										
<p>Müllheim Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,051485313</td><td>k.</td><td>-27170</td><td>3,4E+07</td><td>0,41902</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,025556744</td><td>k.</td><td>-5E+07</td><td>-1E+06</td><td>0,40609</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,051485287</td><td>k.</td><td>-0,0024</td><td>0,41902</td><td>0,41902</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,07514208</td><td>k.</td><td>0,3877</td><td>5</td><td>0,46489</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,051485313	k.	-27170	3,4E+07	0,41902	gaus	0,025556744	k.	-5E+07	-1E+06	0,40609	linear	0,051485287	k.	-0,0024	0,41902	0,41902	spher	0,07514208	k.	0,3877	5	0,46489
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,051485313	k.	-27170	3,4E+07	0,41902																										
gaus	0,025556744	k.	-5E+07	-1E+06	0,40609																										
linear	0,051485287	k.	-0,0024	0,41902	0,41902																										
spher	0,07514208	k.	0,3877	5	0,46489																										

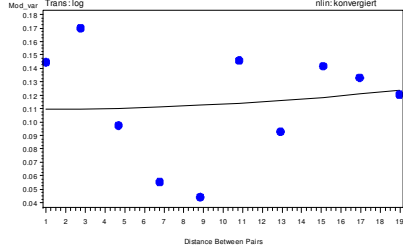
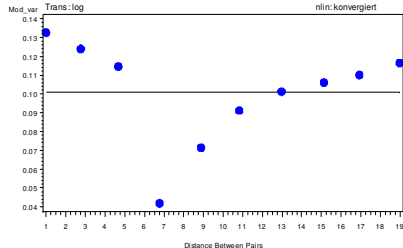
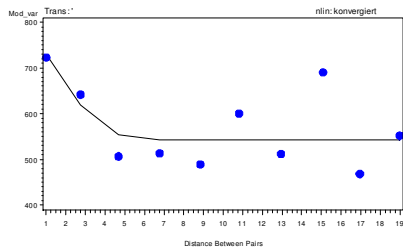
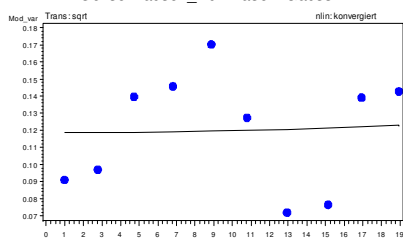
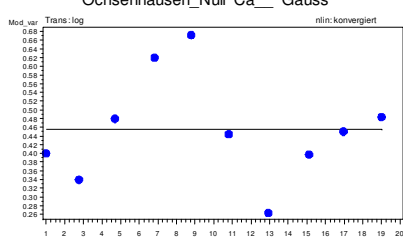
<div><div>Müllheim K_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:'</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,302394861</td><td>k.</td><td>1,24703</td><td>152,806</td><td>0,62467</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,274441877</td><td>k.</td><td>1E+09</td><td>-3E+06</td><td>0,66952</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,301487295</td><td>k.</td><td>0,01009</td><td>0,6314</td><td>0,6314</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,194485166</td><td>k.</td><td>0,75232</td><td>5</td><td>0,53744</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,302394861	k.	1,24703	152,806	0,62467	gaus	0,274441877	k.	1E+09	-3E+06	0,66952	linear	0,301487295	k.	0,01009	0,6314	0,6314	spher	0,194485166	k.	0,75232	5	0,53744
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,302394861	k.	1,24703	152,806	0,62467																										
gaus	0,274441877	k.	1E+09	-3E+06	0,66952																										
linear	0,301487295	k.	0,01009	0,6314	0,6314																										
spher	0,194485166	k.	0,75232	5	0,53744																										
<div><div>Müllheim Mg_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-0,15919947</td><td>k.n.</td><td>0,1046</td><td>-0,8235</td><td>0,10459</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,023329518</td><td>k.</td><td>4001,4</td><td>21238,3</td><td>0,09285</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,007317009</td><td>k.</td><td>0,0003</td><td>0,09332</td><td>0,09332</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,002127887</td><td>k.</td><td>0,0959</td><td>5</td><td>0,10031</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-0,15919947	k.n.	0,1046	-0,8235	0,10459	gaus	0,023329518	k.	4001,4	21238,3	0,09285	linear	0,007317009	k.	0,0003	0,09332	0,09332	spher	0,002127887	k.	0,0959	5	0,10031
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-0,15919947	k.n.	0,1046	-0,8235	0,10459																										
gaus	0,023329518	k.	4001,4	21238,3	0,09285																										
linear	0,007317009	k.	0,0003	0,09332	0,09332																										
spher	0,002127887	k.	0,0959	5	0,10031																										
<div><div>Müllheim Al_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,677138669</td><td>k.</td><td>0,05177</td><td>9,2296</td><td>0,0193</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,718632332</td><td>k.</td><td>0,05087</td><td>6,1826</td><td>0,0257</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,522985025</td><td>k.</td><td>0,00112</td><td>0,0356</td><td>0,0356</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,711914312</td><td>k.</td><td>0,05069</td><td>6,9233</td><td>0,021</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,677138669	k.	0,05177	9,2296	0,0193	gaus	0,718632332	k.	0,05087	6,1826	0,0257	linear	0,522985025	k.	0,00112	0,0356	0,0356	spher	0,711914312	k.	0,05069	6,9233	0,021
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,677138669	k.	0,05177	9,2296	0,0193																										
gaus	0,718632332	k.	0,05087	6,1826	0,0257																										
linear	0,522985025	k.	0,00112	0,0356	0,0356																										
spher	0,711914312	k.	0,05069	6,9233	0,021																										
<div><div>Müllheim Carbon Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,056054705</td><td>k.</td><td>-14940</td><td>-9E+07</td><td>0,06297</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,032041075</td><td>k.</td><td>83688</td><td>-115855</td><td>0,06552</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,056054705</td><td>k.</td><td>0,0005</td><td>0,06297</td><td>0,06297</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,154994294</td><td>k.</td><td>0,0702</td><td>5,18127</td><td>0,04819</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,056054705	k.	-14940	-9E+07	0,06297	gaus	0,032041075	k.	83688	-115855	0,06552	linear	0,056054705	k.	0,0005	0,06297	0,06297	spher	0,154994294	k.	0,0702	5,18127	0,04819
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,056054705	k.	-14940	-9E+07	0,06297																										
gaus	0,032041075	k.	83688	-115855	0,06552																										
linear	0,056054705	k.	0,0005	0,06297	0,06297																										
spher	0,154994294	k.	0,0702	5,18127	0,04819																										
<div><div>Müllheim Nitrogen Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0</td><td>k.</td><td>0,0597</td><td>-6E+47</td><td>0,0593</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,031649663</td><td>k.</td><td>30569</td><td>-76841</td><td>0,0573</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,032531925</td><td>k.</td><td>0,0003</td><td>0,05613</td><td>0,0561</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,047817752</td><td>k.</td><td>0,0604</td><td>5,29599</td><td>0,0503</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0	k.	0,0597	-6E+47	0,0593	gaus	0,031649663	k.	30569	-76841	0,0573	linear	0,032531925	k.	0,0003	0,05613	0,0561	spher	0,047817752	k.	0,0604	5,29599	0,0503
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0	k.	0,0597	-6E+47	0,0593																										
gaus	0,031649663	k.	30569	-76841	0,0573																										
linear	0,032531925	k.	0,0003	0,05613	0,0561																										
spher	0,047817752	k.	0,0604	5,29599	0,0503																										
<div><div>Müllheim C_N Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans.:log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,161650378</td><td>k.</td><td>0,00244</td><td>6,11491</td><td>0,0009</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>0,00237</td><td>-2E+48</td><td>0,0023</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,147537921</td><td>k.</td><td>4,8E-05</td><td>0,00181</td><td>0,0018</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,182429316</td><td>k.</td><td>0,00242</td><td>5,12729</td><td>0,001</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,161650378	k.	0,00244	6,11491	0,0009	gaus	0	k.	0,00237	-2E+48	0,0023	linear	0,147537921	k.	4,8E-05	0,00181	0,0018	spher	0,182429316	k.	0,00242	5,12729	0,001
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,161650378	k.	0,00244	6,11491	0,0009																										
gaus	0	k.	0,00237	-2E+48	0,0023																										
linear	0,147537921	k.	4,8E-05	0,00181	0,0018																										
spher	0,182429316	k.	0,00242	5,12729	0,001																										

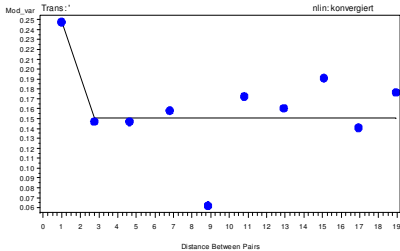
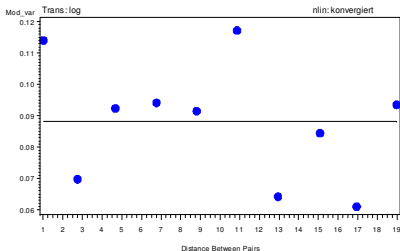
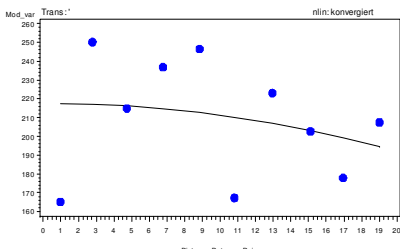
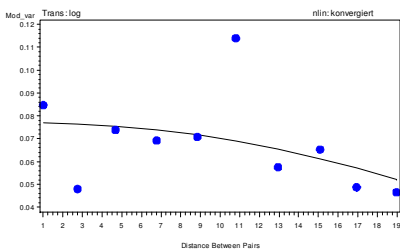
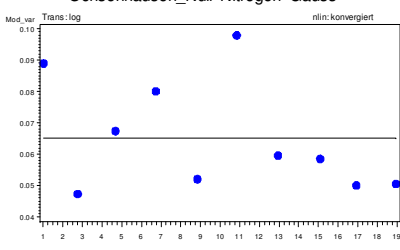
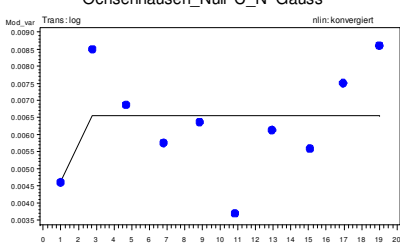
Tab. 30: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Ochsenhausen gekalkt in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Ochsenhausen_Dolomit pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,555528544</td><td>k.</td><td>1,03148</td><td>7,46821</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,595207794</td><td>k.</td><td>1,02279</td><td>5,75166</td><td>0,22246</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,303735202</td><td>k.</td><td>0,02876</td><td>0,61421</td><td>0,61421</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,601269657</td><td>k.</td><td>1,02299</td><td>6,80365</td><td>0,08552</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,555528544	k.	1,03148	7,46821	1E-08	gaus	0,595207794	k.	1,02279	5,75166	0,22246	linear	0,303735202	k.	0,02876	0,61421	0,61421	spher	0,601269657	k.	1,02299	6,80365	0,08552
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,555528544	k.	1,03148	7,46821	1E-08																										
gaus	0,595207794	k.	1,02279	5,75166	0,22246																										
linear	0,303735202	k.	0,02876	0,61421	0,61421																										
spher	0,601269657	k.	1,02299	6,80365	0,08552																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,55378032</td><td>k.</td><td>0,51926</td><td>12,3087</td><td>0,07325</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,577721969</td><td>k.</td><td>0,4989</td><td>7,81171</td><td>0,15613</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,401363691</td><td>k.</td><td>0,01606</td><td>0,26801</td><td>0,26801</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,430064285</td><td>k.</td><td>0,4692</td><td>5</td><td>0,02169</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,55378032	k.	0,51926	12,3087	0,07325	gaus	0,577721969	k.	0,4989	7,81171	0,15613	linear	0,401363691	k.	0,01606	0,26801	0,26801	spher	0,430064285	k.	0,4692	5	0,02169
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,55378032	k.	0,51926	12,3087	0,07325																										
gaus	0,577721969	k.	0,4989	7,81171	0,15613																										
linear	0,401363691	k.	0,01606	0,26801	0,26801																										
spher	0,430064285	k.	0,4692	5	0,02169																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,014075468</td><td>k.</td><td>3,1E+11</td><td>2,7E+11</td><td>502,326</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>3,7E+18</td><td>-1E+33</td><td>536,418</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,014075474</td><td>k.</td><td>3,44952</td><td>502,326</td><td>502,326</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,530950166</td><td>k.</td><td>587,958</td><td>4,61124</td><td>1E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,014075468	k.	3,1E+11	2,7E+11	502,326	gaus		0k.	3,7E+18	-1E+33	536,418	linear	0,014075474	k.	3,44952	502,326	502,326	spher	0,530950166	k.	587,958	4,61124	1E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,014075468	k.	3,1E+11	2,7E+11	502,326																										
gaus		0k.	3,7E+18	-1E+33	536,418																										
linear	0,014075474	k.	3,44952	502,326	502,326																										
spher	0,530950166	k.	587,958	4,61124	1E-08																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,596128779</td><td>k.</td><td>5,3879</td><td>5,86456</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,608368232</td><td>k.</td><td>5,3511</td><td>4,91121</td><td>1,60495</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,338291568</td><td>k.</td><td>0,13196</td><td>3,55063</td><td>3,55063</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,609730674</td><td>k.</td><td>5,36065</td><td>5,93109</td><td>0,98666</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,596128779	k.	5,3879	5,86456	1E-08	gaus	0,608368232	k.	5,3511	4,91121	1,60495	linear	0,338291568	k.	0,13196	3,55063	3,55063	spher	0,609730674	k.	5,36065	5,93109	0,98666
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,596128779	k.	5,3879	5,86456	1E-08																										
gaus	0,608368232	k.	5,3511	4,91121	1,60495																										
linear	0,338291568	k.	0,13196	3,55063	3,55063																										
spher	0,609730674	k.	5,36065	5,93109	0,98666																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,372593316</td><td>k.</td><td>1,51884</td><td>18,5171</td><td>0,54077</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,344918102</td><td>k.</td><td>1,34893</td><td>5,41359</td><td>0,4952</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,337091885</td><td>k.</td><td>0,04146</td><td>0,81405</td><td>0,81405</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,333261671</td><td>k.</td><td>1,32917</td><td>5</td><td>0,22352</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,372593316	k.	1,51884	18,5171	0,54077	gaus	0,344918102	k.	1,34893	5,41359	0,4952	linear	0,337091885	k.	0,04146	0,81405	0,81405	spher	0,333261671	k.	1,32917	5	0,22352
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,372593316	k.	1,51884	18,5171	0,54077																										
gaus	0,344918102	k.	1,34893	5,41359	0,4952																										
linear	0,337091885	k.	0,04146	0,81405	0,81405																										
spher	0,333261671	k.	1,32917	5	0,22352																										

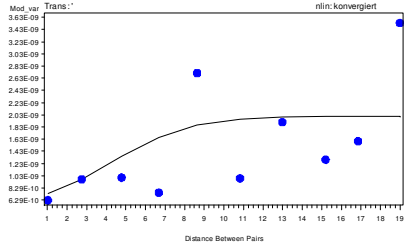
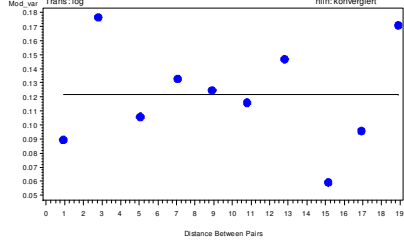
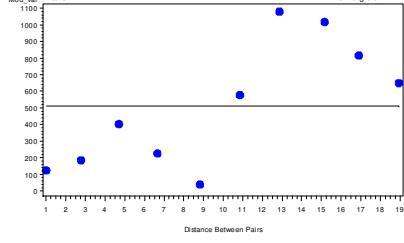
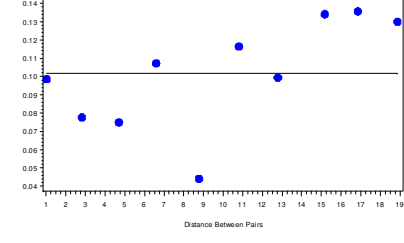
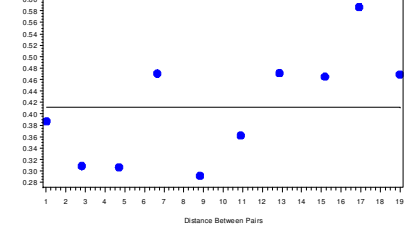
<p>Ochsenhausen_Dolomit K_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,248240247</td><td>k.</td><td>0,04131</td><td>21,1242</td><td>0,01878</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,24299877</td><td>k.</td><td>0,04018</td><td>15,5069</td><td>0,02416</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,21305938</td><td>k.</td><td>0,00093</td><td>0,02454</td><td>0,02454</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,166898392</td><td>k.</td><td>0,03583</td><td>5</td><td>0,01379</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,248240247	k.	0,04131	21,1242	0,01878	gaus	0,24299877	k.	0,04018	15,5069	0,02416	linear	0,21305938	k.	0,00093	0,02454	0,02454	spher	0,166898392	k.	0,03583	5	0,01379
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,248240247	k.	0,04131	21,1242	0,01878																										
gaus	0,24299877	k.	0,04018	15,5069	0,02416																										
linear	0,21305938	k.	0,00093	0,02454	0,02454																										
spher	0,166898392	k.	0,03583	5	0,01379																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,509941332</td><td>k.</td><td>5,05157</td><td>6,647</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,512037799</td><td>k.</td><td>4,95663</td><td>4,7085</td><td>1,2222</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,408523849</td><td>k.</td><td>0,15485</td><td>2,95278</td><td>2,9528</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,512352607</td><td>k.</td><td>4,95249</td><td>5,46073</td><td>0,5002</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,509941332	k.	5,05157	6,647	1E-08	gaus	0,512037799	k.	4,95663	4,7085	1,2222	linear	0,408523849	k.	0,15485	2,95278	2,9528	spher	0,512352607	k.	4,95249	5,46073	0,5002
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,509941332	k.	5,05157	6,647	1E-08																										
gaus	0,512037799	k.	4,95663	4,7085	1,2222																										
linear	0,408523849	k.	0,15485	2,95278	2,9528																										
spher	0,512352607	k.	4,95249	5,46073	0,5002																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Al_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>1,8E+18</td><td>-5E+75</td><td>1450,12</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,736953659</td><td>k.</td><td>1586,83</td><td>-4,5265</td><td>463,209</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,17903358</td><td>k.</td><td>25,2872</td><td>1200,21</td><td>1200,21</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,74515192</td><td>k.</td><td>1584,26</td><td>5,13756</td><td>219,579</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	1,8E+18	-5E+75	1450,12	gaus	0,736953659	k.	1586,83	-4,5265	463,209	linear	0,17903358	k.	25,2872	1200,21	1200,21	spher	0,74515192	k.	1584,26	5,13756	219,579
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	1,8E+18	-5E+75	1450,12																										
gaus	0,736953659	k.	1586,83	-4,5265	463,209																										
linear	0,17903358	k.	25,2872	1200,21	1200,21																										
spher	0,74515192	k.	1584,26	5,13756	219,579																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Carbon Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,343527454</td><td>k.</td><td>0,04366</td><td>7,12179</td><td>0,01118</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,381259605</td><td>k.n.</td><td>0,0434</td><td>5,64299</td><td>0,01954</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,133127671</td><td>k.</td><td>0,0007</td><td>0,0328</td><td>0,0328</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,379784345</td><td>k.</td><td>0,0431</td><td>5,79716</td><td>0,01343</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,343527454	k.	0,04366	7,12179	0,01118	gaus	0,381259605	k.n.	0,0434	5,64299	0,01954	linear	0,133127671	k.	0,0007	0,0328	0,0328	spher	0,379784345	k.	0,0431	5,79716	0,01343
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,343527454	k.	0,04366	7,12179	0,01118																										
gaus	0,381259605	k.n.	0,0434	5,64299	0,01954																										
linear	0,133127671	k.	0,0007	0,0328	0,0328																										
spher	0,379784345	k.	0,0431	5,79716	0,01343																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,435990235</td><td>k.</td><td>1,03357</td><td>5,9623</td><td>0,06013</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,455136218</td><td>k.</td><td>1,02707</td><td>5,05404</td><td>0,36279</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,14818287</td><td>k.</td><td>0,01818</td><td>0,75657</td><td>0,75657</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,459740461</td><td>k.</td><td>1,02215</td><td>5,40944</td><td>0,20122</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,435990235	k.	1,03357	5,9623	0,06013	gaus	0,455136218	k.	1,02707	5,05404	0,36279	linear	0,14818287	k.	0,01818	0,75657	0,75657	spher	0,459740461	k.	1,02215	5,40944	0,20122
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,435990235	k.	1,03357	5,9623	0,06013																										
gaus	0,455136218	k.	1,02707	5,05404	0,36279																										
linear	0,14818287	k.	0,01818	0,75657	0,75657																										
spher	0,459740461	k.	1,02215	5,40944	0,20122																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit C_N Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,565956605</td><td>k.</td><td>0,00875</td><td>12,4556</td><td>0,00161</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,62744413</td><td>k.</td><td>0,00851</td><td>8,39405</td><td>0,00295</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,380793398</td><td>k.</td><td>0,00025</td><td>0,0048</td><td>0,0048</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,402564799</td><td>k.</td><td>0,00791</td><td>5</td><td>0,00105</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,565956605	k.	0,00875	12,4556	0,00161	gaus	0,62744413	k.	0,00851	8,39405	0,00295	linear	0,380793398	k.	0,00025	0,0048	0,0048	spher	0,402564799	k.	0,00791	5	0,00105
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,565956605	k.	0,00875	12,4556	0,00161																										
gaus	0,62744413	k.	0,00851	8,39405	0,00295																										
linear	0,380793398	k.	0,00025	0,0048	0,0048																										
spher	0,402564799	k.	0,00791	5	0,00105																										

Tab. 31: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Ochsenhausen Null in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Ochsenhausen_Null pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,000132611</td><td>k.</td><td>-18101</td><td>7E+08</td><td>0,1154</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,014103681</td><td>k.</td><td>443245</td><td>184644</td><td>0,1095</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,000132611</td><td>k.</td><td>-8E-05</td><td>0,1154</td><td>0,1154</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,209026151</td><td>k.</td><td>0,10497</td><td>6,9796</td><td>0,17551</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,000132611	k.	-18101	7E+08	0,1154	gaus	0,014103681	k.	443245	184644	0,1095	linear	0,000132611	k.	-8E-05	0,1154	0,1154	spher	0,209026151	k.	0,10497	6,9796	0,17551
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,000132611	k.	-18101	7E+08	0,1154																										
gaus	0,014103681	k.	443245	184644	0,1095																										
linear	0,000132611	k.	-8E-05	0,1154	0,1154																										
spher	0,209026151	k.	0,10497	6,9796	0,17551																										
<p>Ochsenhausen_Null pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,002770984</td><td>k.</td><td>20231,7</td><td>-3E+08</td><td>0,10333</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,09753</td><td>2,6E+32</td><td>0,10104</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,002770984</td><td>k.</td><td>-0,0002</td><td>0,10333</td><td>0,10333</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,260917865</td><td>k.</td><td>0,09522</td><td>5</td><td>0,15574</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,002770984	k.	20231,7	-3E+08	0,10333	gaus		0k.	0,09753	2,6E+32	0,10104	linear	0,002770984	k.	-0,0002	0,10333	0,10333	spher	0,260917865	k.	0,09522	5	0,15574
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,002770984	k.	20231,7	-3E+08	0,10333																										
gaus		0k.	0,09753	2,6E+32	0,10104																										
linear	0,002770984	k.	-0,0002	0,10333	0,10333																										
spher	0,260917865	k.	0,09522	5	0,15574																										
<p>Ochsenhausen_Null AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,117766301</td><td>k.</td><td>5E+08</td><td>-3E+08</td><td>619,38</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,467570731</td><td>k.</td><td>542,26</td><td>4,71927</td><td>757,54</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,117766308</td><td>k.</td><td>-5,0057</td><td>619,38</td><td>619,38</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,474572411</td><td>k.</td><td>543,035</td><td>5,25726</td><td>807,219</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,117766301	k.	5E+08	-3E+08	619,38	gaus	0,467570731	k.	542,26	4,71927	757,54	linear	0,117766308	k.	-5,0057	619,38	619,38	spher	0,474572411	k.	543,035	5,25726	807,219
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,117766301	k.	5E+08	-3E+08	619,38																										
gaus	0,467570731	k.	542,26	4,71927	757,54																										
linear	0,117766308	k.	-5,0057	619,38	619,38																										
spher	0,474572411	k.	543,035	5,25726	807,219																										
<p>Ochsenhausen_Null Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,007745402</td><td>k.</td><td>3893</td><td>2,4E+07</td><td>0,11539</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,002025206</td><td>k.</td><td>1179,5</td><td>-17149</td><td>0,11858</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,007745392</td><td>k.</td><td>0,0005</td><td>0,11539</td><td>0,11539</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,148945102</td><td>k.</td><td>0,126</td><td>5,58828</td><td>0,0724</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,007745402	k.	3893	2,4E+07	0,11539	gaus	0,002025206	k.	1179,5	-17149	0,11858	linear	0,007745392	k.	0,0005	0,11539	0,11539	spher	0,148945102	k.	0,126	5,58828	0,0724
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,007745402	k.	3893	2,4E+07	0,11539																										
gaus	0,002025206	k.	1179,5	-17149	0,11858																										
linear	0,007745392	k.	0,0005	0,11539	0,11539																										
spher	0,148945102	k.	0,126	5,58828	0,0724																										
<p>Ochsenhausen_Null Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,001137069</td><td>k.</td><td>-5E+06</td><td>2,1E+10</td><td>0,46182</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>2,5E+08</td><td>5,2E+42</td><td>0,45522</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,00113707</td><td>k.</td><td>-0,0007</td><td>0,46182</td><td>0,46182</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,095453221</td><td>k.</td><td>0,4745</td><td>7,06371</td><td>0,33502</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,001137069	k.	-5E+06	2,1E+10	0,46182	gaus		0k.	2,5E+08	5,2E+42	0,45522	linear	0,00113707	k.	-0,0007	0,46182	0,46182	spher	0,095453221	k.	0,4745	7,06371	0,33502
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,001137069	k.	-5E+06	2,1E+10	0,46182																										
gaus		0k.	2,5E+08	5,2E+42	0,45522																										
linear	0,00113707	k.	-0,0007	0,46182	0,46182																										
spher	0,095453221	k.	0,4745	7,06371	0,33502																										

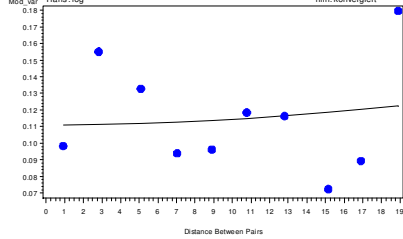
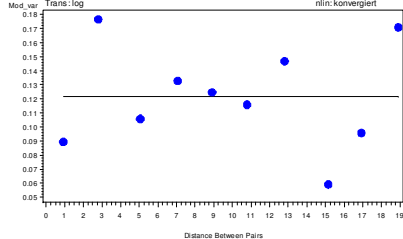
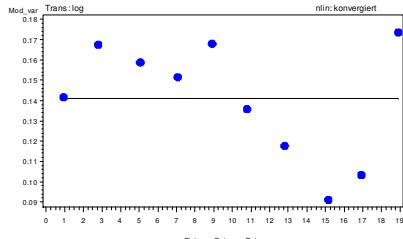
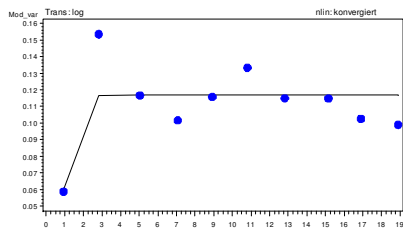
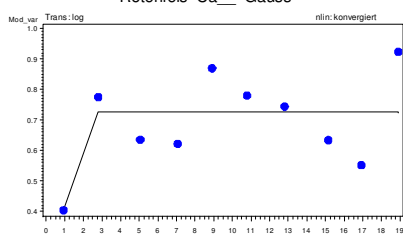
<p>Ochsenhausen_Null K_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,015835074</td><td>k.</td><td>2992,24</td><td>-9E+06</td><td>0,16978</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,43770855</td><td>k.</td><td>0,15065</td><td>1,04612</td><td>1,61811</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,015835182</td><td>k.</td><td>-0,001</td><td>0,16978</td><td>0,16978</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,370546614</td><td>k.</td><td>0,14835</td><td>5</td><td>0,27197</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,015835074	k.	2992,24	-9E+06	0,16978	gaus	0,43770855	k.	0,15065	1,04612	1,61811	linear	0,015835182	k.	-0,001	0,16978	0,16978	spher	0,370546614	k.	0,14835	5	0,27197
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,015835074	k.	2992,24	-9E+06	0,16978																										
gaus	0,43770855	k.	0,15065	1,04612	1,61811																										
linear	0,015835182	k.	-0,001	0,16978	0,16978																										
spher	0,370546614	k.	0,14835	5	0,27197																										
<p>Ochsenhausen_Null Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,110963956</td><td>k.</td><td>12932</td><td>-4E+07</td><td>0,0985</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1E+14</td><td>-1E+51</td><td>0,08824</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,110963956</td><td>k.</td><td>-0,001</td><td>0,0985</td><td>0,0985</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,117592251</td><td>k.</td><td>0,0855</td><td>5</td><td>0,11435</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,110963956	k.	12932	-4E+07	0,0985	gaus		0k.	1E+14	-1E+51	0,08824	linear	0,110963956	k.	-0,001	0,0985	0,0985	spher	0,117592251	k.	0,0855	5	0,11435
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,110963956	k.	12932	-4E+07	0,0985																										
gaus		0k.	1E+14	-1E+51	0,08824																										
linear	0,110963956	k.	-0,001	0,0985	0,0985																										
spher	0,117592251	k.	0,0855	5	0,11435																										
<p>Ochsenhausen_Null Al_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>-7E+17</td><td>-5E+50</td><td>209,244</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,066024654</td><td>k.</td><td>-2E+07</td><td>28535,8</td><td>217,644</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,034537758</td><td>k.</td><td>-0,9474</td><td>218,624</td><td>218,624</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,10657584</td><td>k.</td><td>213,523</td><td>5</td><td>168,955</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	-7E+17	-5E+50	209,244	gaus	0,066024654	k.	-2E+07	28535,8	217,644	linear	0,034537758	k.	-0,9474	218,624	218,624	spher	0,10657584	k.	213,523	5	168,955
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	-7E+17	-5E+50	209,244																										
gaus	0,066024654	k.	-2E+07	28535,8	217,644																										
linear	0,034537758	k.	-0,9474	218,624	218,624																										
spher	0,10657584	k.	213,523	5	168,955																										
<p>Ochsenhausen_Null Carbon Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,111968529</td><td>k.</td><td>-721773</td><td>1,9E+09</td><td>0,079</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,179698248</td><td>k.</td><td>-1E+07</td><td>687020</td><td>0,077</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,111968529</td><td>k.</td><td>-0,0011</td><td>0,07897</td><td>0,079</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,025907864</td><td>k.</td><td>0,06649</td><td>5</td><td>0,081</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,111968529	k.	-721773	1,9E+09	0,079	gaus	0,179698248	k.	-1E+07	687020	0,077	linear	0,111968529	k.	-0,0011	0,07897	0,079	spher	0,025907864	k.	0,06649	5	0,081
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,111968529	k.	-721773	1,9E+09	0,079																										
gaus	0,179698248	k.	-1E+07	687020	0,077																										
linear	0,111968529	k.	-0,0011	0,07897	0,079																										
spher	0,025907864	k.	0,06649	5	0,081																										
<p>Ochsenhausen_Null Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>1,5E+14</td><td>1,1E+59</td><td>0,0653</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,06263</td><td>2,6E+62</td><td>0,0653</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,156072293</td><td>k.</td><td>-0,0012</td><td>0,07669</td><td>0,0767</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,108802933</td><td>k.</td><td>0,06276</td><td>5</td><td>0,089</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	1,5E+14	1,1E+59	0,0653	gaus		0k.	0,06263	2,6E+62	0,0653	linear	0,156072293	k.	-0,0012	0,07669	0,0767	spher	0,108802933	k.	0,06276	5	0,089
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	1,5E+14	1,1E+59	0,0653																										
gaus		0k.	0,06263	2,6E+62	0,0653																										
linear	0,156072293	k.	-0,0012	0,07669	0,0767																										
spher	0,108802933	k.	0,06276	5	0,089																										
<p>Ochsenhausen_Null C_N Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>2,6E+13</td><td>-1E+62</td><td>0,0064</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,153509731</td><td>k.</td><td>0,00656</td><td>1,55807</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,058399568</td><td>k.</td><td>6,2E-05</td><td>0,00575</td><td>0,0058</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,153581135</td><td>k.</td><td>0,00656</td><td>2,32434</td><td>0,0017</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	2,6E+13	-1E+62	0,0064	gaus	0,153509731	k.	0,00656	1,55807	1E-08	linear	0,058399568	k.	6,2E-05	0,00575	0,0058	spher	0,153581135	k.	0,00656	2,32434	0,0017
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	2,6E+13	-1E+62	0,0064																										
gaus	0,153509731	k.	0,00656	1,55807	1E-08																										
linear	0,058399568	k.	6,2E-05	0,00575	0,0058																										
spher	0,153581135	k.	0,00656	2,32434	0,0017																										

Tab. 32: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Rosenfeld in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Rosenfeld pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-0,026162463</td><td>k.</td><td>2E-09</td><td>10</td><td>1E-09</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,279213408</td><td>k.</td><td>2E-09</td><td>10</td><td>7,2E-10</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,428547335</td><td>k.</td><td>1E-10</td><td>5,5E-10</td><td>5,5E-10</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,289669326</td><td>k.</td><td>2E-09</td><td>10</td><td>2E-10</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-0,026162463	k.	2E-09	10	1E-09	gaus	0,279213408	k.	2E-09	10	7,2E-10	linear	0,428547335	k.	1E-10	5,5E-10	5,5E-10	spher	0,289669326	k.	2E-09	10	2E-10
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-0,026162463	k.	2E-09	10	1E-09																										
gaus	0,279213408	k.	2E-09	10	7,2E-10																										
linear	0,428547335	k.	1E-10	5,5E-10	5,5E-10																										
spher	0,289669326	k.	2E-09	10	2E-10																										
<p>Rotenfels pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,000790528</td><td>k.</td><td>8068,34</td><td>-1,4E+08</td><td>0,12347</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,12537</td><td>4,3E+27</td><td>0,12177</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,000790528</td><td>k.</td><td>-0,0002</td><td>0,12347</td><td>0,12347</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,12177</td><td>0,92508</td><td>2,31574</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,000790528	k.	8068,34	-1,4E+08	0,12347	gaus		0k.	0,12537	4,3E+27	0,12177	linear	0,000790528	k.	-0,0002	0,12347	0,12347	spher		0k.	0,12177	0,92508	2,31574
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,000790528	k.	8068,34	-1,4E+08	0,12347																										
gaus		0k.	0,12537	4,3E+27	0,12177																										
linear	0,000790528	k.	-0,0002	0,12347	0,12347																										
spher		0k.	0,12177	0,92508	2,31574																										
<p>Rosenfeld Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>-5E+17</td><td>1E+66</td><td>512,48</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-7E+10</td><td>-9E+55</td><td>512,48</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,566816314</td><td>k.</td><td>46,2125</td><td>56,0187</td><td>56,019</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>512,479</td><td>-108,28</td><td>1E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	-5E+17	1E+66	512,48	gaus		0k.	-7E+10	-9E+55	512,48	linear	0,566816314	k.	46,2125	56,0187	56,019	spher		0k.	512,479	-108,28	1E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	-5E+17	1E+66	512,48																										
gaus		0k.	-7E+10	-9E+55	512,48																										
linear	0,566816314	k.	46,2125	56,0187	56,019																										
spher		0k.	512,479	-108,28	1E-08																										
<p>Rosenfeld Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,42003518</td><td>k.</td><td>1,3E+07</td><td>1,2E+10</td><td>0,07082</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-3E+14</td><td>-6E+33</td><td>0,10184</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,420035193</td><td>k.</td><td>0,00315</td><td>0,07082</td><td>0,07082</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,018994835</td><td>k.</td><td>0,10355</td><td>5</td><td>0,08533</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,42003518	k.	1,3E+07	1,2E+10	0,07082	gaus		0k.	-3E+14	-6E+33	0,10184	linear	0,420035193	k.	0,00315	0,07082	0,07082	spher	0,018994835	k.	0,10355	5	0,08533
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,42003518	k.	1,3E+07	1,2E+10	0,07082																										
gaus		0k.	-3E+14	-6E+33	0,10184																										
linear	0,420035193	k.	0,00315	0,07082	0,07082																										
spher	0,018994835	k.	0,10355	5	0,08533																										
<p>Rosenfeld Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,460995962</td><td>k.</td><td>-35946</td><td>-1E+07</td><td>0,3065</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>5E+14</td><td>3E+36</td><td>0,4119</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,460995758</td><td>k.</td><td>0,0107</td><td>0,30652</td><td>0,3065</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,04863607</td><td>k.</td><td>0,4208</td><td>5</td><td>0,3267</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,460995962	k.	-35946	-1E+07	0,3065	gaus		0k.	5E+14	3E+36	0,4119	linear	0,460995758	k.	0,0107	0,30652	0,3065	spher	0,04863607	k.	0,4208	5	0,3267
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,460995962	k.	-35946	-1E+07	0,3065																										
gaus		0k.	5E+14	3E+36	0,4119																										
linear	0,460995758	k.	0,0107	0,30652	0,3065																										
spher	0,04863607	k.	0,4208	5	0,3267																										

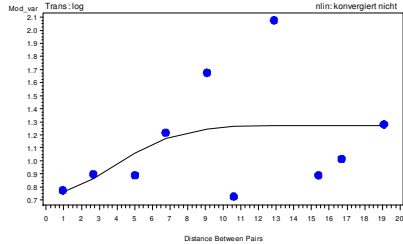
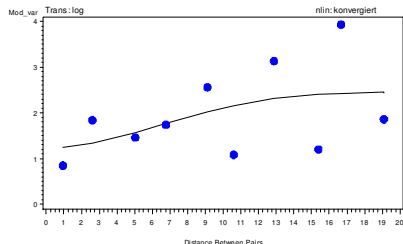
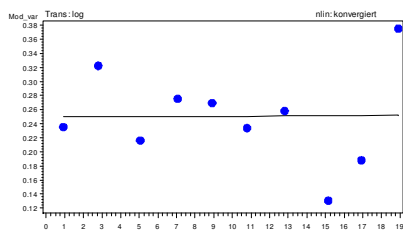
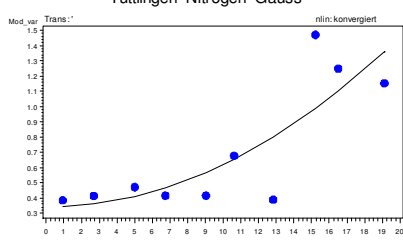
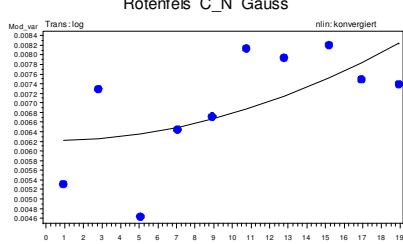
<div><div>Rosenfeld K_ Gauss</div><div><div>Mod. var. Trans: log</div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div>
--

Tab. 33: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Rotenfels in 0 bis 5 cm Bodentiefe

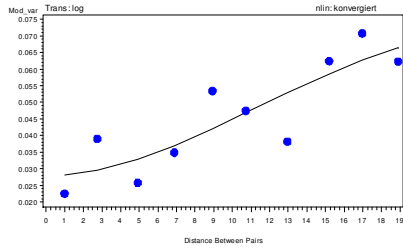
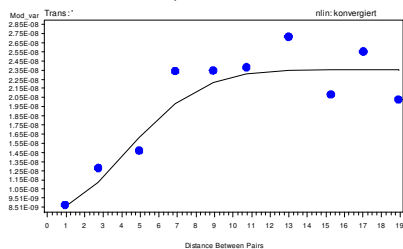
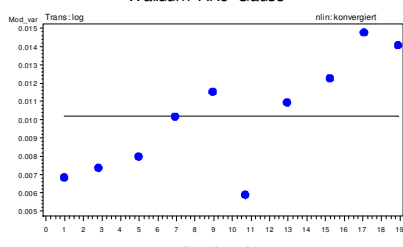
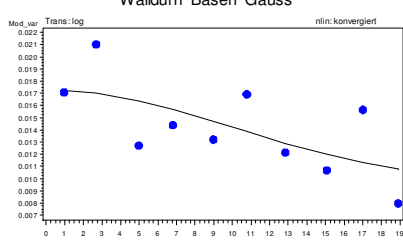
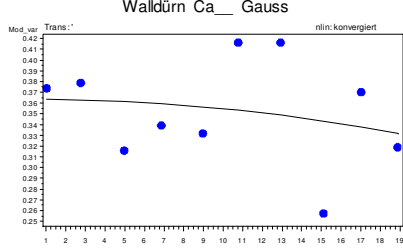
<div>Rotenfels pH_H2O_ Gauss</div> <div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,000628691</td><td>k.</td><td>-153479</td><td>-3E+09</td><td>0,114</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,015163606</td><td>k.</td><td>4,3E+07</td><td>-2E+06</td><td>0,11107</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,000628691</td><td>k.</td><td>0,00014</td><td>0,114</td><td>0,114</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,11535</td><td>0,92094</td><td>2,38774</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,000628691	k.	-153479	-3E+09	0,114	gaus	0,015163606	k.	4,3E+07	-2E+06	0,11107	linear	0,000628691	k.	0,00014	0,114	0,114	spher		0k.	0,11535	0,92094	2,38774
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,000628691	k.	-153479	-3E+09	0,114																										
gaus	0,015163606	k.	4,3E+07	-2E+06	0,11107																										
linear	0,000628691	k.	0,00014	0,114	0,114																										
spher		0k.	0,11535	0,92094	2,38774																										
<div>Rotenfels pH_KCL_ Gauss</div> <div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,000790528</td><td>k.</td><td>8068,34</td><td>-1,4E+08</td><td>0,12347</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,12537</td><td>4,3E+27</td><td>0,12177</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,000790528</td><td>k.</td><td>-0,0002</td><td>0,12347</td><td>0,12347</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,12177</td><td>0,92508</td><td>2,31574</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,000790528	k.	8068,34	-1,4E+08	0,12347	gaus		0k.	0,12537	4,3E+27	0,12177	linear	0,000790528	k.	-0,0002	0,12347	0,12347	spher		0k.	0,12177	0,92508	2,31574
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,000790528	k.	8068,34	-1,4E+08	0,12347																										
gaus		0k.	0,12537	4,3E+27	0,12177																										
linear	0,000790528	k.	-0,0002	0,12347	0,12347																										
spher		0k.	0,12177	0,92508	2,31574																										
<div>Rotenfels Ake Gauss</div> <div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,168858553</td><td>k.</td><td>14414,2</td><td>-2E+07</td><td>0,16024</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,7E+08</td><td>-7E+52</td><td>0,14093</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,168858593</td><td>k.</td><td>-0,0019</td><td>0,16024</td><td>0,16024</td></tr><tr><td>spher</td><td>8,55917E-05</td><td>k.</td><td>0,14084</td><td>0,95609</td><td>2,36188</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,168858553	k.	14414,2	-2E+07	0,16024	gaus		0k.	1,7E+08	-7E+52	0,14093	linear	0,168858593	k.	-0,0019	0,16024	0,16024	spher	8,55917E-05	k.	0,14084	0,95609	2,36188
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,168858553	k.	14414,2	-2E+07	0,16024																										
gaus		0k.	1,7E+08	-7E+52	0,14093																										
linear	0,168858593	k.	-0,0019	0,16024	0,16024																										
spher	8,55917E-05	k.	0,14084	0,95609	2,36188																										
<div>Rotenfels Basen Gauss</div> <div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,001253982</td><td>k.</td><td>-348,72</td><td>-7E+06</td><td>0,10977</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,558764198</td><td>k.</td><td>0,117</td><td>-1,9233</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,001254</td><td>k.</td><td>0,0001</td><td>0,10977</td><td>0,10977</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,1112</td><td>0,94087</td><td>2,41494</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,001253982	k.	-348,72	-7E+06	0,10977	gaus	0,558764198	k.	0,117	-1,9233	1E-08	linear	0,001254	k.	0,0001	0,10977	0,10977	spher		0k.	0,1112	0,94087	2,41494
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,001253982	k.	-348,72	-7E+06	0,10977																										
gaus	0,558764198	k.	0,117	-1,9233	1E-08																										
linear	0,001254	k.	0,0001	0,10977	0,10977																										
spher		0k.	0,1112	0,94087	2,41494																										
<div>Rotenfels Ca_ Gauss</div> <div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,400295614</td><td>k.</td><td>0,7294</td><td>3,06602</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,431166152</td><td>k.</td><td>0,7265</td><td>1,80551</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,153148421</td><td>k.</td><td>0,01</td><td>0,59462</td><td>0,5946</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,356780877</td><td>k.</td><td>0,7317</td><td>4,64107</td><td>0,3171</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,400295614	k.	0,7294	3,06602	1E-08	gaus	0,431166152	k.	0,7265	1,80551	1E-08	linear	0,153148421	k.	0,01	0,59462	0,5946	spher	0,356780877	k.	0,7317	4,64107	0,3171
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,400295614	k.	0,7294	3,06602	1E-08																										
gaus	0,431166152	k.	0,7265	1,80551	1E-08																										
linear	0,153148421	k.	0,01	0,59462	0,5946																										
spher	0,356780877	k.	0,7317	4,64107	0,3171																										

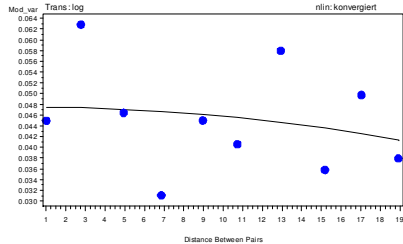
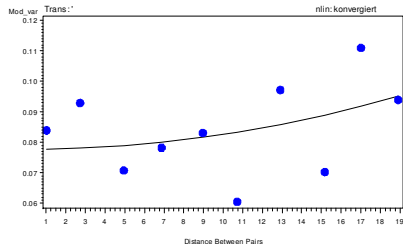
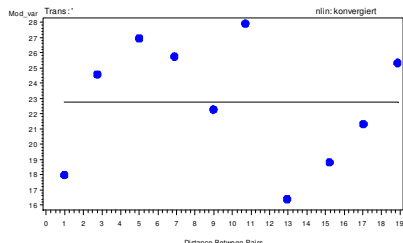
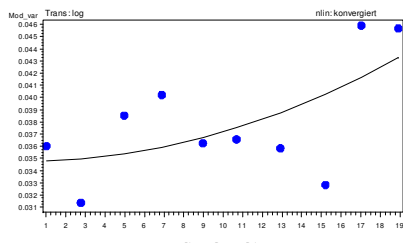
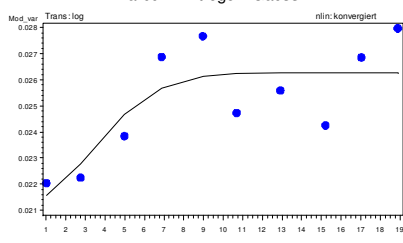
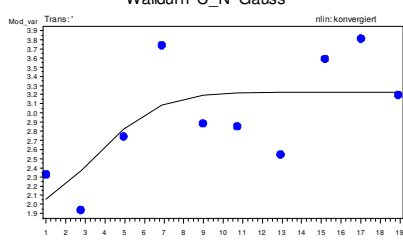
<div>Rotenfels K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,569344615</td><td>k.</td><td>13437,2</td><td>-9E+06</td><td>0,20325</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>8,4E+13</td><td>-1E+32</td><td>0,1575</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,569344647</td><td>k.</td><td>-0,0046</td><td>0,20325</td><td>0,20325</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,028633063</td><td>k.</td><td>0,15552</td><td>0,93235</td><td>70,4016</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,569344615	k.	13437,2	-9E+06	0,20325	gaus		0k.	8,4E+13	-1E+32	0,1575	linear	0,569344647	k.	-0,0046	0,20325	0,20325	spher	0,028633063	k.	0,15552	0,93235	70,4016
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,569344615	k.	13437,2	-9E+06	0,20325																										
gaus		0k.	8,4E+13	-1E+32	0,1575																										
linear	0,569344647	k.	-0,0046	0,20325	0,20325																										
spher	0,028633063	k.	0,15552	0,93235	70,4016																										
<div>Rotenfels Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,407078509</td><td>k.</td><td>-4E+07</td><td>1,7E+10</td><td>0,33767</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,386534143</td><td>k.</td><td>-4E+08</td><td>1894335</td><td>0,31244</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,407078509</td><td>k.</td><td>-0,0069</td><td>0,33767</td><td>0,33767</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,2694</td><td>0,9271</td><td>2,29609</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,407078509	k.	-4E+07	1,7E+10	0,33767	gaus	0,386534143	k.	-4E+08	1894335	0,31244	linear	0,407078509	k.	-0,0069	0,33767	0,33767	spher		0k.	0,2694	0,9271	2,29609
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,407078509	k.	-4E+07	1,7E+10	0,33767																										
gaus	0,386534143	k.	-4E+08	1894335	0,31244																										
linear	0,407078509	k.	-0,0069	0,33767	0,33767																										
spher		0k.	0,2694	0,9271	2,29609																										
<div>Rotenfels Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>3,1E+13</td><td>2E+49</td><td>0,0961</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,10976813</td><td>k.</td><td>-9709,1</td><td>-25653</td><td>0,10194</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,161532163</td><td>k.</td><td>-0,0011</td><td>0,10707</td><td>0,10707</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,044665938</td><td>k.</td><td>0,09499</td><td>1,06849</td><td>2,57596</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	3,1E+13	2E+49	0,0961	gaus	0,10976813	k.	-9709,1	-25653	0,10194	linear	0,161532163	k.	-0,0011	0,10707	0,10707	spher	0,044665938	k.	0,09499	1,06849	2,57596
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	3,1E+13	2E+49	0,0961																										
gaus	0,10976813	k.	-9709,1	-25653	0,10194																										
linear	0,161532163	k.	-0,0011	0,10707	0,10707																										
spher	0,044665938	k.	0,09499	1,06849	2,57596																										
<div>Rotenfels Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,004016157</td><td>k.</td><td>2851883</td><td>-1E+10</td><td>0,25771</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,000153779</td><td>k.</td><td>720913</td><td>-564353</td><td>0,24974</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,00401616</td><td>k.</td><td>-0,0007</td><td>0,25771</td><td>0,25771</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,25064</td><td>0,9271</td><td>2,30612</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,004016157	k.	2851883	-1E+10	0,25771	gaus	0,000153779	k.	720913	-564353	0,24974	linear	0,00401616	k.	-0,0007	0,25771	0,25771	spher		0k.	0,25064	0,9271	2,30612
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,004016157	k.	2851883	-1E+10	0,25771																										
gaus	0,000153779	k.	720913	-564353	0,24974																										
linear	0,00401616	k.	-0,0007	0,25771	0,25771																										
spher		0k.	0,25064	0,9271	2,30612																										
<div>Rotenfels Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,016080641</td><td>k.</td><td>7573378</td><td>-2E+10</td><td>0,23087</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,002530933</td><td>k.</td><td>-1340,5</td><td>-12874</td><td>0,2216</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,016080641</td><td>k.</td><td>-0,0013</td><td>0,23087</td><td>0,23087</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,2184</td><td>0,9271</td><td>2,3292</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,016080641	k.	7573378	-2E+10	0,23087	gaus	0,002530933	k.	-1340,5	-12874	0,2216	linear	0,016080641	k.	-0,0013	0,23087	0,23087	spher		0k.	0,2184	0,9271	2,3292
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,016080641	k.	7573378	-2E+10	0,23087																										
gaus	0,002530933	k.	-1340,5	-12874	0,2216																										
linear	0,016080641	k.	-0,0013	0,23087	0,23087																										
spher		0k.	0,2184	0,9271	2,3292																										
<div>Rotenfels C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,470609517</td><td>k.</td><td>0,0087</td><td>37,7702</td><td>0,00524</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,347893283</td><td>k.</td><td>146409</td><td>278490</td><td>0,00621</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,441424429</td><td>k.</td><td>0,0001</td><td>0,00566</td><td>0,00566</td></tr><tr><td>spher</td><td></td><td>0k.</td><td>0,007</td><td>0,92224</td><td>2,38076</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,470609517	k.	0,0087	37,7702	0,00524	gaus	0,347893283	k.	146409	278490	0,00621	linear	0,441424429	k.	0,0001	0,00566	0,00566	spher		0k.	0,007	0,92224	2,38076
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,470609517	k.	0,0087	37,7702	0,00524																										
gaus	0,347893283	k.	146409	278490	0,00621																										
linear	0,441424429	k.	0,0001	0,00566	0,00566																										
spher		0k.	0,007	0,92224	2,38076																										

Tab. 34: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Tuttlingen in 0 bis 5 cm Bodentiefe

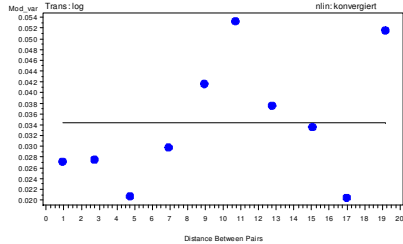
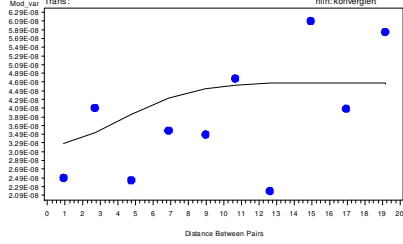
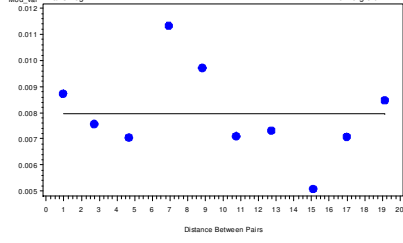
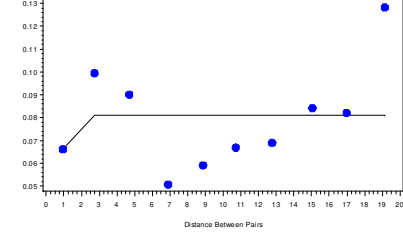
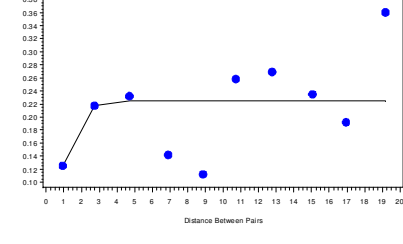
<div>Tuttlingen pH_H2O_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-4,215224375</td><td>k.n.</td><td>1,98992</td><td>-1,2266</td><td>1,98992</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,192813908</td><td>k.n.</td><td>1,27321</td><td>9,1349</td><td>0,7426</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,08915636</td><td>k.</td><td>0,02116</td><td>0,9355</td><td>0,93547</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,0896847</td><td>k.</td><td>1,18635</td><td>2,6831</td><td>0,35631</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-4,215224375	k.n.	1,98992	-1,2266	1,98992	gaus	0,192813908	k.n.	1,27321	9,1349	0,7426	linear	0,08915636	k.	0,02116	0,9355	0,93547	spher	0,0896847	k.	1,18635	2,6831	0,35631
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-4,215224375	k.n.	1,98992	-1,2266	1,98992																										
gaus	0,192813908	k.n.	1,27321	9,1349	0,7426																										
linear	0,08915636	k.	0,02116	0,9355	0,93547																										
spher	0,0896847	k.	1,18635	2,6831	0,35631																										
<div>Tuttlingen pH_KCL_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,232730591</td><td>k.</td><td>2,62919</td><td>24,5324</td><td>0,8778</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,225336723</td><td>k.</td><td>2,46919</td><td>15,6679</td><td>1,2327</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,211024345</td><td>k.</td><td>0,07305</td><td>1,24289</td><td>1,2429</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,170886497</td><td>k.</td><td>2,12257</td><td>3,86943</td><td>0,1221</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,232730591	k.	2,62919	24,5324	0,8778	gaus	0,225336723	k.	2,46919	15,6679	1,2327	linear	0,211024345	k.	0,07305	1,24289	1,2429	spher	0,170886497	k.	2,12257	3,86943	0,1221
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,232730591	k.	2,62919	24,5324	0,8778																										
gaus	0,225336723	k.	2,46919	15,6679	1,2327																										
linear	0,211024345	k.	0,07305	1,24289	1,2429																										
spher	0,170886497	k.	2,12257	3,86943	0,1221																										
<div>Rotenfels Carbon Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,166500998</td><td>k.</td><td>-1E+11</td><td>-6,4E+10</td><td>73,902</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>1E+17</td><td>-8E+31</td><td>133,937</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,166501011</td><td>k.</td><td>6,06127</td><td>73,902</td><td>73,902</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,16650101</td><td>k.</td><td>310207</td><td>76749,5</td><td>73,902</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,166500998	k.	-1E+11	-6,4E+10	73,902	gaus	0	k.	1E+17	-8E+31	133,937	linear	0,166501011	k.	6,06127	73,902	73,902	spher	0,16650101	k.	310207	76749,5	73,902
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,166500998	k.	-1E+11	-6,4E+10	73,902																										
gaus	0	k.	1E+17	-8E+31	133,937																										
linear	0,166501011	k.	6,06127	73,902	73,902																										
spher	0,16650101	k.	310207	76749,5	73,902																										
<div>Tuttlingen Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,619985431</td><td>k.</td><td>1010103</td><td>5,6E+07</td><td>0,16657</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,68495282</td><td>k.</td><td>411134</td><td>-21008</td><td>0,33919</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,619985487</td><td>k.</td><td>0,0545</td><td>0,16657</td><td>0,16657</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,071420244</td><td>k.</td><td>0,74043</td><td>2,60288</td><td>1E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,619985431	k.	1010103	5,6E+07	0,16657	gaus	0,68495282	k.	411134	-21008	0,33919	linear	0,619985487	k.	0,0545	0,16657	0,16657	spher	0,071420244	k.	0,74043	2,60288	1E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,619985431	k.	1010103	5,6E+07	0,16657																										
gaus	0,68495282	k.	411134	-21008	0,33919																										
linear	0,619985487	k.	0,0545	0,16657	0,16657																										
spher	0,071420244	k.	0,74043	2,60288	1E-08																										
<div>Rotenfels C_N Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,454074099</td><td>k.</td><td>0,0096</td><td>50,327</td><td>0,0023</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>1E+13</td><td>4E+59</td><td>0,0053</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,436560486</td><td>k.</td><td>0,0002</td><td>0,0029</td><td>0,0029</td></tr><tr><td>spher</td><td>0</td><td>k.</td><td>0,0053</td><td>0,6624</td><td>1,7104</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,454074099	k.	0,0096	50,327	0,0023	gaus	0	k.	1E+13	4E+59	0,0053	linear	0,436560486	k.	0,0002	0,0029	0,0029	spher	0	k.	0,0053	0,6624	1,7104
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,454074099	k.	0,0096	50,327	0,0023																										
gaus	0	k.	1E+13	4E+59	0,0053																										
linear	0,436560486	k.	0,0002	0,0029	0,0029																										
spher	0	k.	0,0053	0,6624	1,7104																										

Tab. 35: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Waldürn in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Waldürn pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,743954143</td><td>k.</td><td>218153</td><td>2,8E+08</td><td>0,02282</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,741716633</td><td>k.</td><td>0,07837</td><td>27,1621</td><td>0,02803</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,743954143</td><td>k.</td><td>0,00231</td><td>0,02282</td><td>0,02282</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,288753775</td><td>k.</td><td>0,04941</td><td>5</td><td>0,01109</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,743954143	k.	218153	2,8E+08	0,02282	gaus	0,741716633	k.	0,07837	27,1621	0,02803	linear	0,743954143	k.	0,00231	0,02282	0,02282	spher	0,288753775	k.	0,04941	5	0,01109
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,743954143	k.	218153	2,8E+08	0,02282																										
gaus	0,741716633	k.	0,07837	27,1621	0,02803																										
linear	0,743954143	k.	0,00231	0,02282	0,02282																										
spher	0,288753775	k.	0,04941	5	0,01109																										
<p>Waldürn pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,772573353</td><td>k.</td><td>2,4E-08</td><td>10</td><td>4,1E-09</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,830949488</td><td>k.</td><td>2,4E-08</td><td>10</td><td>8,1E-09</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,507807433</td><td>k.</td><td>7E-10</td><td>1,3E-08</td><td>1,3E-08</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,84689348</td><td>k.</td><td>2,4E-08</td><td>10</td><td>5,5E-09</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,772573353	k.	2,4E-08	10	4,1E-09	gaus	0,830949488	k.	2,4E-08	10	8,1E-09	linear	0,507807433	k.	7E-10	1,3E-08	1,3E-08	spher	0,84689348	k.	2,4E-08	10	5,5E-09
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,772573353	k.	2,4E-08	10	4,1E-09																										
gaus	0,830949488	k.	2,4E-08	10	8,1E-09																										
linear	0,507807433	k.	7E-10	1,3E-08	1,3E-08																										
spher	0,84689348	k.	2,4E-08	10	5,5E-09																										
<p>Waldürn AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,660649269</td><td>k.</td><td>6E+06</td><td>4,3E+10</td><td>0,00611</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>7E+12</td><td>1,8E+61</td><td>0,01019</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,660649269</td><td>k.</td><td>0,0004</td><td>0,00611</td><td>0,00611</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,232178079</td><td>k.</td><td>0,0108</td><td>5</td><td>0,00435</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,660649269	k.	6E+06	4,3E+10	0,00611	gaus		0k.	7E+12	1,8E+61	0,01019	linear	0,660649269	k.	0,0004	0,00611	0,00611	spher	0,232178079	k.	0,0108	5	0,00435
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,660649269	k.	6E+06	4,3E+10	0,00611																										
gaus		0k.	7E+12	1,8E+61	0,01019																										
linear	0,660649269	k.	0,0004	0,00611	0,00611																										
spher	0,232178079	k.	0,0108	5	0,00435																										
<p>Waldürn Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,443106916</td><td>k.</td><td>-0,0053</td><td>144,407</td><td>0,01846</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,415378806</td><td>k.</td><td>0,00944</td><td>24,6303</td><td>0,01728</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,442372003</td><td>k.</td><td>-0,0004</td><td>0,01818</td><td>0,01818</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,368732589</td><td>k.</td><td>0,0127</td><td>10,8094</td><td>0,01987</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,443106916	k.	-0,0053	144,407	0,01846	gaus	0,415378806	k.	0,00944	24,6303	0,01728	linear	0,442372003	k.	-0,0004	0,01818	0,01818	spher	0,368732589	k.	0,0127	10,8094	0,01987
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,443106916	k.	-0,0053	144,407	0,01846																										
gaus	0,415378806	k.	0,00944	24,6303	0,01728																										
linear	0,442372003	k.	-0,0004	0,01818	0,01818																										
spher	0,368732589	k.	0,0127	10,8094	0,01987																										
<p>Waldürn Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>-3E+14</td><td>-7E+46</td><td>0,3519</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,052048755</td><td>k.</td><td>-8807</td><td>-17155</td><td>0,3638</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,042922834</td><td>k.</td><td>-0,0017</td><td>0,3686</td><td>0,3686</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,050841737</td><td>k.</td><td>0,34705</td><td>5,4985</td><td>0,3938</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	-3E+14	-7E+46	0,3519	gaus	0,052048755	k.	-8807	-17155	0,3638	linear	0,042922834	k.	-0,0017	0,3686	0,3686	spher	0,050841737	k.	0,34705	5,4985	0,3938
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	-3E+14	-7E+46	0,3519																										
gaus	0,052048755	k.	-8807	-17155	0,3638																										
linear	0,042922834	k.	-0,0017	0,3686	0,3686																										
spher	0,050841737	k.	0,34705	5,4985	0,3938																										

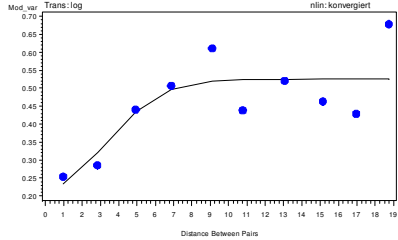
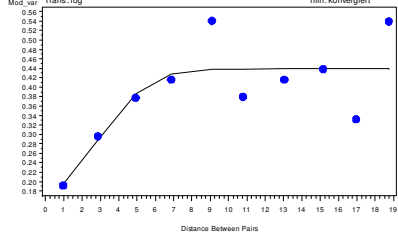
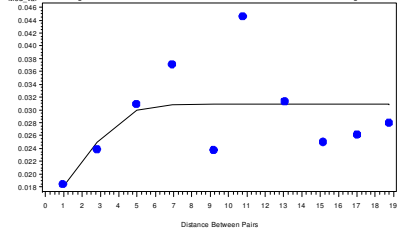
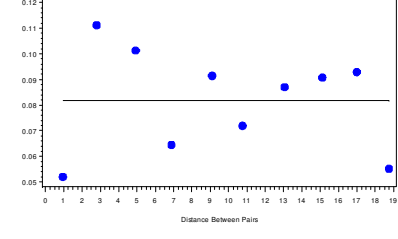
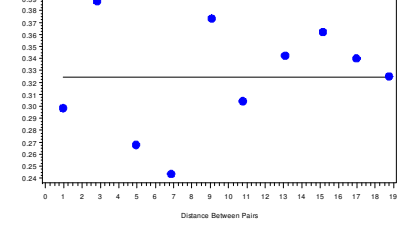
<p>Walddürn K_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,063368021</td><td>k.</td><td>-1E+06</td><td>9,6E+09</td><td>0,04925</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,048016898</td><td>k.</td><td>-1E+07</td><td>-1E+06</td><td>0,0475</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,063368021</td><td>k.</td><td>-0,0004</td><td>0,04925</td><td>0,04925</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,045977417</td><td>k.</td><td>0,04436</td><td>5</td><td>0,05359</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,063368021	k.	-1E+06	9,6E+09	0,04925	gaus	0,048016898	k.	-1E+07	-1E+06	0,0475	linear	0,063368021	k.	-0,0004	0,04925	0,04925	spher	0,045977417	k.	0,04436	5	0,05359
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,063368021	k.	-1E+06	9,6E+09	0,04925																										
gaus	0,048016898	k.	-1E+07	-1E+06	0,0475																										
linear	0,063368021	k.	-0,0004	0,04925	0,04925																										
spher	0,045977417	k.	0,04436	5	0,05359																										
<p>Walddürn Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>1,2E+14</td><td>-4E+48</td><td>0,0842</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,164120675</td><td>k.</td><td>53314,5</td><td>57349,4</td><td>0,0778</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,091881801</td><td>k.</td><td>0,00075</td><td>0,07677</td><td>0,0768</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,005509646</td><td>k.</td><td>0,0837</td><td>5,54444</td><td>0,0884</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	1,2E+14	-4E+48	0,0842	gaus	0,164120675	k.	53314,5	57349,4	0,0778	linear	0,091881801	k.	0,00075	0,07677	0,0768	spher	0,005509646	k.	0,0837	5,54444	0,0884
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	1,2E+14	-4E+48	0,0842																										
gaus	0,164120675	k.	53314,5	57349,4	0,0778																										
linear	0,091881801	k.	0,00075	0,07677	0,0768																										
spher	0,005509646	k.	0,0837	5,54444	0,0884																										
<p>Walddürn Al_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,010825571</td><td>k.</td><td>3493115</td><td>-2E+08</td><td>23,4136</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,4E+11</td><td>-2E+45</td><td>22,7334</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,010825569</td><td>k.</td><td>-0,0684</td><td>23,4136</td><td>23,4136</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,122241582</td><td>k.</td><td>23,3221</td><td>5</td><td>17,2255</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,010825571	k.	3493115	-2E+08	23,4136	gaus		0k.	1,4E+11	-2E+45	22,7334	linear	0,010825569	k.	-0,0684	23,4136	23,4136	spher	0,122241582	k.	23,3221	5	17,2255
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,010825571	k.	3493115	-2E+08	23,4136																										
gaus		0k.	1,4E+11	-2E+45	22,7334																										
linear	0,010825569	k.	-0,0684	23,4136	23,4136																										
spher	0,122241582	k.	23,3221	5	17,2255																										
<p>Walddürn Carbon Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,309839591</td><td>k.</td><td>2E+06</td><td>1E+10</td><td>0,03353</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,376332872</td><td>k.</td><td>4E+06</td><td>696682</td><td>0,03479</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,309839591</td><td>k.</td><td>0,0004</td><td>0,0335</td><td>0,03353</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,145675053</td><td>k.</td><td>0,039</td><td>8,8288</td><td>0,03265</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,309839591	k.	2E+06	1E+10	0,03353	gaus	0,376332872	k.	4E+06	696682	0,03479	linear	0,309839591	k.	0,0004	0,0335	0,03353	spher	0,145675053	k.	0,039	8,8288	0,03265
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,309839591	k.	2E+06	1E+10	0,03353																										
gaus	0,376332872	k.	4E+06	696682	0,03479																										
linear	0,309839591	k.	0,0004	0,0335	0,03353																										
spher	0,145675053	k.	0,039	8,8288	0,03265																										
<p>Walddürn Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,589217933</td><td>k.</td><td>0,02656</td><td>12,6963</td><td>0,02021</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,635624356</td><td>k.</td><td>0,02627</td><td>8,154</td><td>0,02134</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,476931917</td><td>k.</td><td>0,00024</td><td>0,02281</td><td>0,02281</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,463728242</td><td>k.</td><td>0,02583</td><td>5</td><td>0,01942</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,589217933	k.	0,02656	12,6963	0,02021	gaus	0,635624356	k.	0,02627	8,154	0,02134	linear	0,476931917	k.	0,00024	0,02281	0,02281	spher	0,463728242	k.	0,02583	5	0,01942
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,589217933	k.	0,02656	12,6963	0,02021																										
gaus	0,635624356	k.	0,02627	8,154	0,02134																										
linear	0,476931917	k.	0,00024	0,02281	0,02281																										
spher	0,463728242	k.	0,02583	5	0,01942																										
<p>Walddürn C_N Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,448830361</td><td>k.</td><td>3,50975</td><td>22,4123</td><td>1,9591</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,464268645</td><td>k.</td><td>3,2269</td><td>8,09925</td><td>2,0024</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,413922808</td><td>k.</td><td>0,06558</td><td>2,31426</td><td>2,3143</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,309405091</td><td>k.</td><td>3,11092</td><td>5</td><td>1,596</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,448830361	k.	3,50975	22,4123	1,9591	gaus	0,464268645	k.	3,2269	8,09925	2,0024	linear	0,413922808	k.	0,06558	2,31426	2,3143	spher	0,309405091	k.	3,11092	5	1,596
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,448830361	k.	3,50975	22,4123	1,9591																										
gaus	0,464268645	k.	3,2269	8,09925	2,0024																										
linear	0,413922808	k.	0,06558	2,31426	2,3143																										
spher	0,309405091	k.	3,11092	5	1,596																										

Tab. 36: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Welzheim in 0 bis 5 cm Bodentiefe

<p>Welzheim pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,178746258</td><td>k.</td><td>-6E+07</td><td>-2E+11</td><td>0,02644</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-3E+13</td><td>2,7E+31</td><td>0,03436</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,178746422</td><td>k.</td><td>0,0008</td><td>0,02644</td><td>0,02644</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,081271735</td><td>k.</td><td>0,03575</td><td>5</td><td>0,02161</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,178746258	k.	-6E+07	-2E+11	0,02644	gaus		0k.	-3E+13	2,7E+31	0,03436	linear	0,178746422	k.	0,0008	0,02644	0,02644	spher	0,081271735	k.	0,03575	5	0,02161
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,178746258	k.	-6E+07	-2E+11	0,02644																										
gaus		0k.	-3E+13	2,7E+31	0,03436																										
linear	0,178746422	k.	0,0008	0,02644	0,02644																										
spher	0,081271735	k.	0,03575	5	0,02161																										
<p>Welzheim pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-0,105248777</td><td>k.</td><td>4,8E-08</td><td>10</td><td>3,5E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,119184588</td><td>k.</td><td>4,67E-08</td><td>10</td><td>3,2E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,380454191</td><td>k.</td><td>1,37E-09</td><td>2,6E-08</td><td>2,6E-08</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,189717329</td><td>k.</td><td>4,28E-08</td><td>10</td><td>2,4E-08</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-0,105248777	k.	4,8E-08	10	3,5E-08	gaus	0,119184588	k.	4,67E-08	10	3,2E-08	linear	0,380454191	k.	1,37E-09	2,6E-08	2,6E-08	spher	0,189717329	k.	4,28E-08	10	2,4E-08
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-0,105248777	k.	4,8E-08	10	3,5E-08																										
gaus	0,119184588	k.	4,67E-08	10	3,2E-08																										
linear	0,380454191	k.	1,37E-09	2,6E-08	2,6E-08																										
spher	0,189717329	k.	4,28E-08	10	2,4E-08																										
<p>Welzheim Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,101185726</td><td>k.</td><td>-1973,5</td><td>6,7E+07</td><td>0,0088</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-1E+13</td><td>3E+31</td><td>0,008</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,101185726</td><td>k.</td><td>-9E-05</td><td>0,00883</td><td>0,0088</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,026014108</td><td>k.</td><td>0,00786</td><td>2,72369</td><td>0,0096</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,101185726	k.	-1973,5	6,7E+07	0,0088	gaus		0k.	-1E+13	3E+31	0,008	linear	0,101185726	k.	-9E-05	0,00883	0,0088	spher	0,026014108	k.	0,00786	2,72369	0,0096
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,101185726	k.	-1973,5	6,7E+07	0,0088																										
gaus		0k.	-1E+13	3E+31	0,008																										
linear	0,101185726	k.	-9E-05	0,00883	0,0088																										
spher	0,026014108	k.	0,00786	2,72369	0,0096																										
<p>Welzheim Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,147433508</td><td>k.</td><td>290319</td><td>6,2E+08</td><td>0,06568</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,043584877</td><td>k.</td><td>0,08115</td><td>-1,2667</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,147433508</td><td>k.</td><td>0,00141</td><td>0,06568</td><td>0,06568</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,04358542</td><td>k.</td><td>0,08115</td><td>2,71899</td><td>0,05108</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,147433508	k.	290319	6,2E+08	0,06568	gaus	0,043584877	k.	0,08115	-1,2667	1E-08	linear	0,147433508	k.	0,00141	0,06568	0,06568	spher	0,04358542	k.	0,08115	2,71899	0,05108
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,147433508	k.	290319	6,2E+08	0,06568																										
gaus	0,043584877	k.	0,08115	-1,2667	1E-08																										
linear	0,147433508	k.	0,00141	0,06568	0,06568																										
spher	0,04358542	k.	0,08115	2,71899	0,05108																										
<p>Welzheim Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,361670081</td><td>k.</td><td>1,1E+07</td><td>4E+09</td><td>0,14177</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,17401682</td><td>k.</td><td>0,22538</td><td>2,7857</td><td>0,08436</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,361670081</td><td>k.</td><td>0,00737</td><td>0,1418</td><td>0,14177</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,172937622</td><td>k.</td><td>0,22451</td><td>2,6771</td><td>0,02357</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,361670081	k.	1,1E+07	4E+09	0,14177	gaus	0,17401682	k.	0,22538	2,7857	0,08436	linear	0,361670081	k.	0,00737	0,1418	0,14177	spher	0,172937622	k.	0,22451	2,6771	0,02357
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,361670081	k.	1,1E+07	4E+09	0,14177																										
gaus	0,17401682	k.	0,22538	2,7857	0,08436																										
linear	0,361670081	k.	0,00737	0,1418	0,14177																										
spher	0,172937622	k.	0,22451	2,6771	0,02357																										

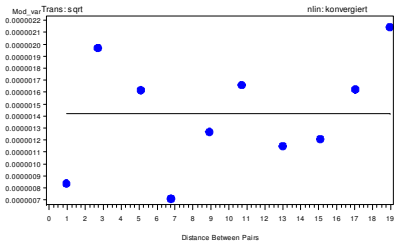
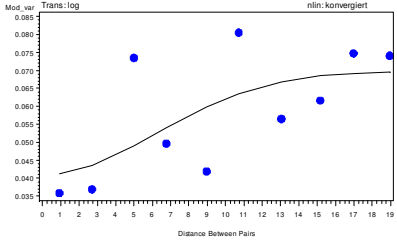
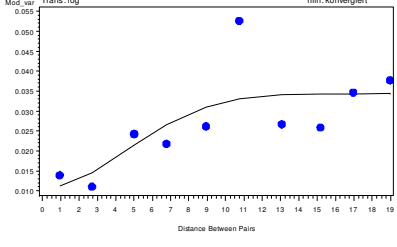
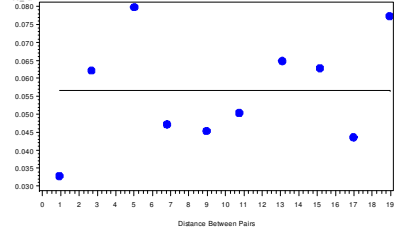
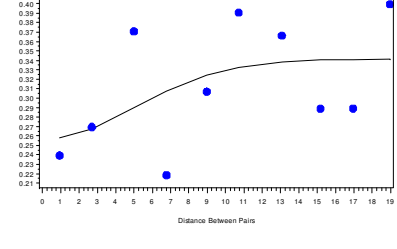
<div>Welzheim K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,57175327</td><td>k.</td><td>0,0378</td><td>16,96</td><td>0,0793</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,609331608</td><td>k.</td><td>0,0392</td><td>12,6516</td><td>0,07</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,418623775</td><td>k.</td><td>-0,0016</td><td>0,06501</td><td>0,065</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,379812842</td><td>k.</td><td>0,0456</td><td>5</td><td>0,0853</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,57175327	k.	0,0378	16,96	0,0793	gaus	0,609331608	k.	0,0392	12,6516	0,07	linear	0,418623775	k.	-0,0016	0,06501	0,065	spher	0,379812842	k.	0,0456	5	0,0853
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,57175327	k.	0,0378	16,96	0,0793																										
gaus	0,609331608	k.	0,0392	12,6516	0,07																										
linear	0,418623775	k.	-0,0016	0,06501	0,065																										
spher	0,379812842	k.	0,0456	5	0,0853																										
<div>Welzheim Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,020419148</td><td>k.</td><td>3,5E+07</td><td>5E+11</td><td>0,04023</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,143649449</td><td>k.</td><td>0,04339</td><td>-1,4062</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,020419011</td><td>k.</td><td>0,00021</td><td>0,04023</td><td>0,04023</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,029073835</td><td>k.</td><td>0,04296</td><td>5</td><td>0,03632</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,020419148	k.	3,5E+07	5E+11	0,04023	gaus	0,143649449	k.	0,04339	-1,4062	1E-08	linear	0,020419011	k.	0,00021	0,04023	0,04023	spher	0,029073835	k.	0,04296	5	0,03632
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,020419148	k.	3,5E+07	5E+11	0,04023																										
gaus	0,143649449	k.	0,04339	-1,4062	1E-08																										
linear	0,020419011	k.	0,00021	0,04023	0,04023																										
spher	0,029073835	k.	0,04296	5	0,03632																										
<div>Welzheim Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,050806567</td><td>k.</td><td>7581,48</td><td>-2E+08</td><td>0,00845</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,023941722</td><td>k.</td><td>0,0074</td><td>1,377</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,050806567</td><td>k.</td><td>-0,0001</td><td>0,00845</td><td>0,00845</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,004494026</td><td>k.</td><td>0,00733</td><td>5</td><td>0,00637</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,050806567	k.	7581,48	-2E+08	0,00845	gaus	0,023941722	k.	0,0074	1,377	1E-08	linear	0,050806567	k.	-0,0001	0,00845	0,00845	spher	0,004494026	k.	0,00733	5	0,00637
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,050806567	k.	7581,48	-2E+08	0,00845																										
gaus	0,023941722	k.	0,0074	1,377	1E-08																										
linear	0,050806567	k.	-0,0001	0,00845	0,00845																										
spher	0,004494026	k.	0,00733	5	0,00637																										
<div>Welzheim Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,773897616</td><td>k.</td><td>191899</td><td>1,8E+08</td><td>0,0304</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,820622061</td><td>k.</td><td>0,2311</td><td>55,0236</td><td>0,04</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,773897638</td><td>k.</td><td>0,0032</td><td>0,03043</td><td>0,0304</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,229785967</td><td>k.</td><td>0,0668</td><td>5</td><td>0,0203</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,773897616	k.	191899	1,8E+08	0,0304	gaus	0,820622061	k.	0,2311	55,0236	0,04	linear	0,773897638	k.	0,0032	0,03043	0,0304	spher	0,229785967	k.	0,0668	5	0,0203
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,773897616	k.	191899	1,8E+08	0,0304																										
gaus	0,820622061	k.	0,2311	55,0236	0,04																										
linear	0,773897638	k.	0,0032	0,03043	0,0304																										
spher	0,229785967	k.	0,0668	5	0,0203																										
<div>Welzheim Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,636927375</td><td>k.</td><td>38892</td><td>6E+07</td><td>0,0378</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,725781559</td><td>k.</td><td>25750,3</td><td>27807,3</td><td>0,0438</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,636927425</td><td>k.</td><td>0,00193</td><td>0,03782</td><td>0,0378</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,237711958</td><td>k.</td><td>0,0608</td><td>7,40741</td><td>0,0345</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,636927375	k.	38892	6E+07	0,0378	gaus	0,725781559	k.	25750,3	27807,3	0,0438	linear	0,636927425	k.	0,00193	0,03782	0,0378	spher	0,237711958	k.	0,0608	7,40741	0,0345
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,636927375	k.	38892	6E+07	0,0378																										
gaus	0,725781559	k.	25750,3	27807,3	0,0438																										
linear	0,636927425	k.	0,00193	0,03782	0,0378																										
spher	0,237711958	k.	0,0608	7,40741	0,0345																										
<div>Welzheim C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,192249118</td><td>k.</td><td>-72,86</td><td>7E+06</td><td>0,0021</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-7E+12</td><td>-8E+32</td><td>0,0018</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,1922488</td><td>k.</td><td>-3E-05</td><td>0,0021</td><td>0,0021</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,19547798</td><td>k.</td><td>0,0017</td><td>7,1369</td><td>0,0024</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,192249118	k.	-72,86	7E+06	0,0021	gaus		0k.	-7E+12	-8E+32	0,0018	linear	0,1922488	k.	-3E-05	0,0021	0,0021	spher	0,19547798	k.	0,0017	7,1369	0,0024
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,192249118	k.	-72,86	7E+06	0,0021																										
gaus		0k.	-7E+12	-8E+32	0,0018																										
linear	0,1922488	k.	-3E-05	0,0021	0,0021																										
spher	0,19547798	k.	0,0017	7,1369	0,0024																										

Tab. 37: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Altensteig in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Altensteig pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,605313245</td><td>k.</td><td>0,5382</td><td>11,22</td><td>0,1368</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,64314442</td><td>k.</td><td>0,525</td><td>7,718</td><td>0,2185</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,46327862</td><td>k.</td><td>0,0146</td><td>0,318</td><td>0,3182</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,639964385</td><td>k.</td><td>0,5245</td><td>9,184</td><td>0,1731</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,605313245	k.	0,5382	11,22	0,1368	gaus	0,64314442	k.	0,525	7,718	0,2185	linear	0,46327862	k.	0,0146	0,318	0,3182	spher	0,639964385	k.	0,5245	9,184	0,1731
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,605313245	k.	0,5382	11,22	0,1368																										
gaus	0,64314442	k.	0,525	7,718	0,2185																										
linear	0,46327862	k.	0,0146	0,318	0,3182																										
spher	0,639964385	k.	0,5245	9,184	0,1731																										
<p>Altensteig pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,622043281</td><td>k.</td><td>0,4422</td><td>7,9373</td><td>0,0692</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,637048469</td><td>k.</td><td>0,4388</td><td>6,7346</td><td>0,1793</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,376150673</td><td>k.</td><td>0,0107</td><td>0,2867</td><td>0,2867</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,640653691</td><td>k.</td><td>0,4404</td><td>8,4563</td><td>0,1456</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,622043281	k.	0,4422	7,9373	0,0692	gaus	0,637048469	k.	0,4388	6,7346	0,1793	linear	0,376150673	k.	0,0107	0,2867	0,2867	spher	0,640653691	k.	0,4404	8,4563	0,1456
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,622043281	k.	0,4422	7,9373	0,0692																										
gaus	0,637048469	k.	0,4388	6,7346	0,1793																										
linear	0,376150673	k.	0,0107	0,2867	0,2867																										
spher	0,640653691	k.	0,4404	8,4563	0,1456																										
<p>Altensteig AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-10,88133002</td><td>k.n.</td><td>0,00542</td><td>-0,8846</td><td>0,0054</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,319855748</td><td>k.</td><td>0,03095</td><td>5,2454</td><td>0,0167</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,030752109</td><td>k.</td><td>0,00022</td><td>0,0268</td><td>0,0268</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,322342633</td><td>k.</td><td>0,03095</td><td>6,2207</td><td>0,0143</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-10,88133002	k.n.	0,00542	-0,8846	0,0054	gaus	0,319855748	k.	0,03095	5,2454	0,0167	linear	0,030752109	k.	0,00022	0,0268	0,0268	spher	0,322342633	k.	0,03095	6,2207	0,0143
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-10,88133002	k.n.	0,00542	-0,8846	0,0054																										
gaus	0,319855748	k.	0,03095	5,2454	0,0167																										
linear	0,030752109	k.	0,00022	0,0268	0,0268																										
spher	0,322342633	k.	0,03095	6,2207	0,0143																										
<p>Altensteig Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,008087283</td><td>k.</td><td>8599,012</td><td>-8,8E+07</td><td>0,0848</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>1,18E+14</td><td>-3,6E+33</td><td>0,0819</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,008087283</td><td>k.</td><td>-0,00029</td><td>0,08478</td><td>0,0848</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,005570507</td><td>k.</td><td>0,082783</td><td>10</td><td>0,0779</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,008087283	k.	8599,012	-8,8E+07	0,0848	gaus	0	k.	1,18E+14	-3,6E+33	0,0819	linear	0,008087283	k.	-0,00029	0,08478	0,0848	spher	0,005570507	k.	0,082783	10	0,0779
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,008087283	k.	8599,012	-8,8E+07	0,0848																										
gaus	0	k.	1,18E+14	-3,6E+33	0,0819																										
linear	0,008087283	k.	-0,00029	0,08478	0,0848																										
spher	0,005570507	k.	0,082783	10	0,0779																										
<p>Altensteig Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,060560867</td><td>k.</td><td>7835827</td><td>1,3E+10</td><td>0,306</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>-4036135</td><td>-4,5E+73</td><td>0,3246</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,060560867</td><td>k.</td><td>0,00188</td><td>0,30598</td><td>0,306</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,010678799</td><td>k.</td><td>0,32764</td><td>10</td><td>0,3119</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,060560867	k.	7835827	1,3E+10	0,306	gaus	0	k.	-4036135	-4,5E+73	0,3246	linear	0,060560867	k.	0,00188	0,30598	0,306	spher	0,010678799	k.	0,32764	10	0,3119
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,060560867	k.	7835827	1,3E+10	0,306																										
gaus	0	k.	-4036135	-4,5E+73	0,3246																										
linear	0,060560867	k.	0,00188	0,30598	0,306																										
spher	0,010678799	k.	0,32764	10	0,3119																										

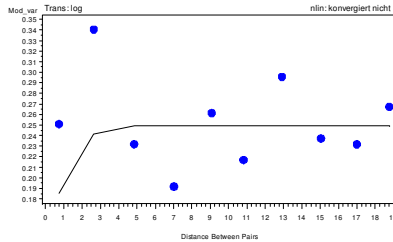
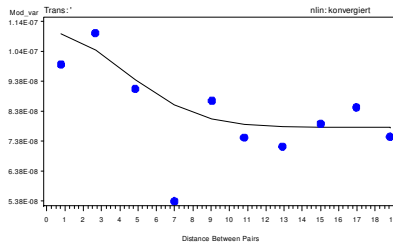
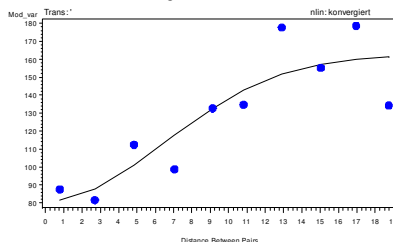
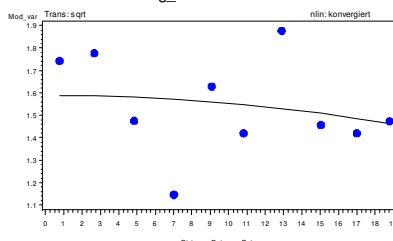
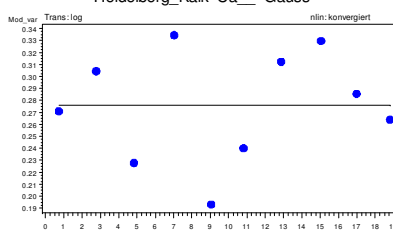
<div>Altenteig K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,026777955</td><td>k.</td><td>-306,3</td><td>-4E+06</td><td>0,04815</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,074783374</td><td>k.</td><td>80377</td><td>112535</td><td>0,04794</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,026777654</td><td>k.</td><td>0,0002</td><td>0,04815</td><td>0,04815</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,005312424</td><td>k.</td><td>0,0501</td><td>9,22713</td><td>0,05219</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,026777955	k.	-306,3	-4E+06	0,04815	gaus	0,074783374	k.	80377	112535	0,04794	linear	0,026777654	k.	0,0002	0,04815	0,04815	spher	0,005312424	k.	0,0501	9,22713	0,05219
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,026777955	k.	-306,3	-4E+06	0,04815																										
gaus	0,074783374	k.	80377	112535	0,04794																										
linear	0,026777654	k.	0,0002	0,04815	0,04815																										
spher	0,005312424	k.	0,0501	9,22713	0,05219																										
<div>Altenteig Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,716606534</td><td>k.</td><td>0,676</td><td>245,75</td><td>0,0766</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,68044146</td><td>k.</td><td>0,217</td><td>24,006</td><td>0,0931</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,716171568</td><td>k.</td><td>0,006</td><td>0,0792</td><td>0,0792</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,625661574</td><td>k.</td><td>0,172</td><td>13,355</td><td>0,0593</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,716606534	k.	0,676	245,75	0,0766	gaus	0,68044146	k.	0,217	24,006	0,0931	linear	0,716171568	k.	0,006	0,0792	0,0792	spher	0,625661574	k.	0,172	13,355	0,0593
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,716606534	k.	0,676	245,75	0,0766																										
gaus	0,68044146	k.	0,217	24,006	0,0931																										
linear	0,716171568	k.	0,006	0,0792	0,0792																										
spher	0,625661574	k.	0,172	13,355	0,0593																										
<div>Altenteig Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,023877857</td><td>k.</td><td>3028,989</td><td>9,7E+07</td><td>0,01619</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,024059782</td><td>k.</td><td>21351109</td><td>-3721899</td><td>0,01651</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,023877857</td><td>k.</td><td>9,41E-05</td><td>0,01619</td><td>0,01619</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,006020656</td><td>k.</td><td>0,017303</td><td>10</td><td>0,01636</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,023877857	k.	3028,989	9,7E+07	0,01619	gaus	0,024059782	k.	21351109	-3721899	0,01651	linear	0,023877857	k.	9,41E-05	0,01619	0,01619	spher	0,006020656	k.	0,017303	10	0,01636
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,023877857	k.	3028,989	9,7E+07	0,01619																										
gaus	0,024059782	k.	21351109	-3721899	0,01651																										
linear	0,023877857	k.	9,41E-05	0,01619	0,01619																										
spher	0,006020656	k.	0,017303	10	0,01636																										
<div>Altenteig Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,305264923</td><td>k.</td><td>0,109</td><td>4,1917</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,304884836</td><td>k.</td><td>0,108</td><td>2,9879</td><td>0,0318</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,292478971</td><td>k.</td><td>0,003</td><td>0,0739</td><td>0,0739</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,266788556</td><td>k.</td><td>0,111</td><td>9,3415</td><td>0,0568</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,305264923	k.	0,109	4,1917	1E-08	gaus	0,304884836	k.	0,108	2,9879	0,0318	linear	0,292478971	k.	0,003	0,0739	0,0739	spher	0,266788556	k.	0,111	9,3415	0,0568
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,305264923	k.	0,109	4,1917	1E-08																										
gaus	0,304884836	k.	0,108	2,9879	0,0318																										
linear	0,292478971	k.	0,003	0,0739	0,0739																										
spher	0,266788556	k.	0,111	9,3415	0,0568																										
<div>Altenteig Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,386695342</td><td>k.</td><td>0,0772</td><td>6,3931</td><td>0,0195</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,370666634</td><td>k.</td><td>0,0753</td><td>3,4622</td><td>0,0292</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,321142052</td><td>k.</td><td>0,0018</td><td>0,0536</td><td>0,0536</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,367706204</td><td>k.</td><td>0,0779</td><td>9,3649</td><td>0,0396</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,386695342	k.	0,0772	6,3931	0,0195	gaus	0,370666634	k.	0,0753	3,4622	0,0292	linear	0,321142052	k.	0,0018	0,0536	0,0536	spher	0,367706204	k.	0,0779	9,3649	0,0396
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,386695342	k.	0,0772	6,3931	0,0195																										
gaus	0,370666634	k.	0,0753	3,4622	0,0292																										
linear	0,321142052	k.	0,0018	0,0536	0,0536																										
spher	0,367706204	k.	0,0779	9,3649	0,0396																										
<div>Altenteig C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,622511657</td><td>k.</td><td>0,0175</td><td>48,79</td><td>0,0074</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,539067731</td><td>k.</td><td>0,0127</td><td>5,8365</td><td>0,0062</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,618612506</td><td>k.</td><td>0,0004</td><td>0,0082</td><td>0,00816</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,536568926</td><td>k.</td><td>0,0129</td><td>10</td><td>0,00634</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,622511657	k.	0,0175	48,79	0,0074	gaus	0,539067731	k.	0,0127	5,8365	0,0062	linear	0,618612506	k.	0,0004	0,0082	0,00816	spher	0,536568926	k.	0,0129	10	0,00634
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,622511657	k.	0,0175	48,79	0,0074																										
gaus	0,539067731	k.	0,0127	5,8365	0,0062																										
linear	0,618612506	k.	0,0004	0,0082	0,00816																										
spher	0,536568926	k.	0,0129	10	0,00634																										

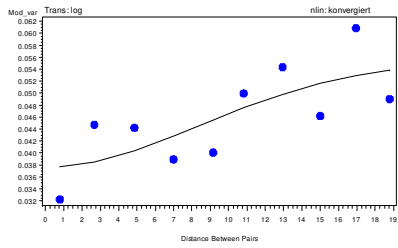
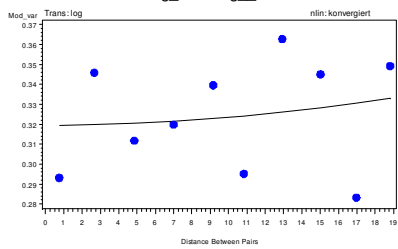
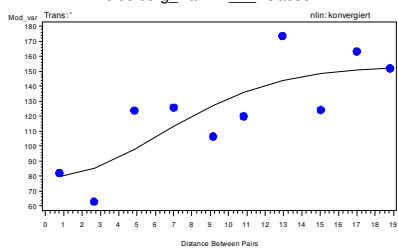
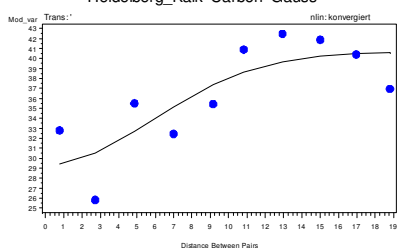
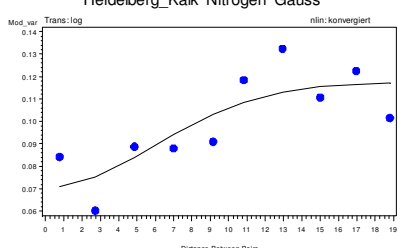
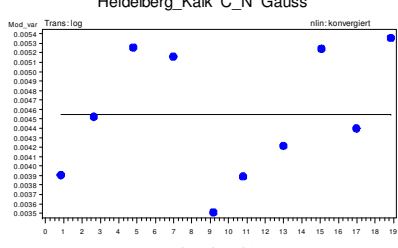
Tab. 38: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Conventwald in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Conventwald pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,333514622</td><td>k.</td><td>1,3E-06</td><td>-4,3185</td><td>1,3E-06</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>2,3E+09</td><td>-1E+32</td><td>1,4E-06</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,122424465</td><td>k.</td><td>2,7E-08</td><td>1,2E-06</td><td>1,2E-06</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,026200102</td><td>k.</td><td>1,5E-06</td><td>10</td><td>1,2E-06</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,333514622	k.	1,3E-06	-4,3185	1,3E-06	gaus		0k.	2,3E+09	-1E+32	1,4E-06	linear	0,122424465	k.	2,7E-08	1,2E-06	1,2E-06	spher	0,026200102	k.	1,5E-06	10	1,2E-06
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,333514622	k.	1,3E-06	-4,3185	1,3E-06																										
gaus		0k.	2,3E+09	-1E+32	1,4E-06																										
linear	0,122424465	k.	2,7E-08	1,2E-06	1,2E-06																										
spher	0,026200102	k.	1,5E-06	10	1,2E-06																										
<p>Conventwald pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,456687149</td><td>k.</td><td>0,0751</td><td>25,2912</td><td>0,03228</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,412556883</td><td>k.</td><td>0,0699</td><td>15,1038</td><td>0,04098</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,433794521</td><td>k.</td><td>0,0018</td><td>0,04052</td><td>0,04052</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,396530331</td><td>k.</td><td>0,0652</td><td>10</td><td>0,0306</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,456687149	k.	0,0751	25,2912	0,03228	gaus	0,412556883	k.	0,0699	15,1038	0,04098	linear	0,433794521	k.	0,0018	0,04052	0,04052	spher	0,396530331	k.	0,0652	10	0,0306
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,456687149	k.	0,0751	25,2912	0,03228																										
gaus	0,412556883	k.	0,0699	15,1038	0,04098																										
linear	0,433794521	k.	0,0018	0,04052	0,04052																										
spher	0,396530331	k.	0,0652	10	0,0306																										
<p>Conventwald AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,49754769</td><td>k.</td><td>0,0371</td><td>19,183</td><td>0,0061</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,537508309</td><td>k.</td><td>0,0344</td><td>11,075</td><td>0,0107</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,421185283</td><td>k.</td><td>0,0013</td><td>0,0149</td><td>0,0149</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,537332997</td><td>k.</td><td>0,0339</td><td>12,159</td><td>0,0066</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,49754769	k.	0,0371	19,183	0,0061	gaus	0,537508309	k.	0,0344	11,075	0,0107	linear	0,421185283	k.	0,0013	0,0149	0,0149	spher	0,537332997	k.	0,0339	12,159	0,0066
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,49754769	k.	0,0371	19,183	0,0061																										
gaus	0,537508309	k.	0,0344	11,075	0,0107																										
linear	0,421185283	k.	0,0013	0,0149	0,0149																										
spher	0,537332997	k.	0,0339	12,159	0,0066																										
<p>Conventwald Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>2E+14</td><td>-9E+51</td><td>0,05665</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,0593</td><td>1,3E+37</td><td>0,05665</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,087186968</td><td>k.</td><td>0,0007</td><td>0,04933</td><td>0,04933</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,236668126</td><td>k.</td><td>0,0598</td><td>5</td><td>0,02816</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	2E+14	-9E+51	0,05665	gaus		0k.	0,0593	1,3E+37	0,05665	linear	0,087186968	k.	0,0007	0,04933	0,04933	spher	0,236668126	k.	0,0598	5	0,02816
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	2E+14	-9E+51	0,05665																										
gaus		0k.	0,0593	1,3E+37	0,05665																										
linear	0,087186968	k.	0,0007	0,04933	0,04933																										
spher	0,236668126	k.	0,0598	5	0,02816																										
<p>Conventwald Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,263075744</td><td>k.</td><td>0,347</td><td>16,783</td><td>0,2264</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,246381214</td><td>k.</td><td>0,341</td><td>12,253</td><td>0,2562</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,234135517</td><td>k.</td><td>0,005</td><td>0,2636</td><td>0,2636</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,238332884</td><td>k.</td><td>0,334</td><td>10</td><td>0,2315</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,263075744	k.	0,347	16,783	0,2264	gaus	0,246381214	k.	0,341	12,253	0,2562	linear	0,234135517	k.	0,005	0,2636	0,2636	spher	0,238332884	k.	0,334	10	0,2315
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,263075744	k.	0,347	16,783	0,2264																										
gaus	0,246381214	k.	0,341	12,253	0,2562																										
linear	0,234135517	k.	0,005	0,2636	0,2636																										
spher	0,238332884	k.	0,334	10	0,2315																										

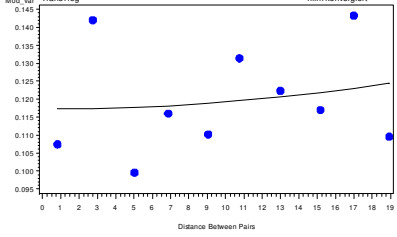
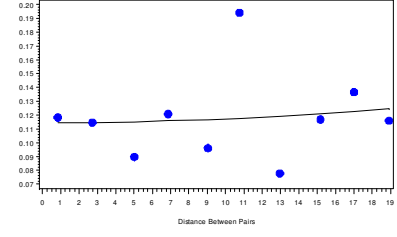
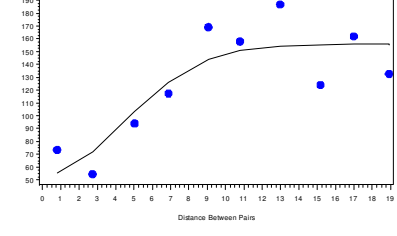
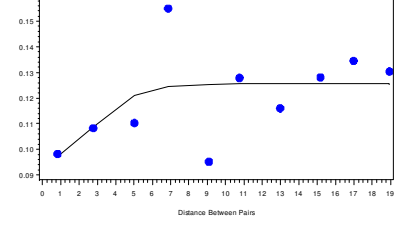
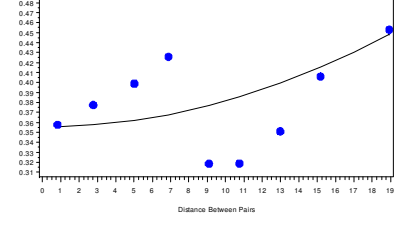
<div>Conventwald K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,383700184</td><td>k.</td><td>3,7E+08</td><td>7,9E+11</td><td>0,08039</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,419225726</td><td>k.</td><td>2,8E+07</td><td>-1082010</td><td>0,08486</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,383699953</td><td>k.</td><td>0,0014</td><td>0,08039</td><td>0,08039</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,134273381</td><td>k.</td><td>0,09754</td><td>10</td><td>0,08095</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,383700184	k.	3,7E+08	7,9E+11	0,08039	gaus	0,419225726	k.	2,8E+07	-1082010	0,08486	linear	0,383699953	k.	0,0014	0,08039	0,08039	spher	0,134273381	k.	0,09754	10	0,08095
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,383700184	k.	3,7E+08	7,9E+11	0,08039																										
gaus	0,419225726	k.	2,8E+07	-1082010	0,08486																										
linear	0,383699953	k.	0,0014	0,08039	0,08039																										
spher	0,134273381	k.	0,09754	10	0,08095																										
<div>Conventwald Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,164510898</td><td>k.</td><td>5E+08</td><td>7,2E+11</td><td>0,06773</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,0857</td><td>2,7E+46</td><td>0,08635</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,164511369</td><td>k.</td><td>0,0019</td><td>0,06773</td><td>0,06773</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,080983619</td><td>k.</td><td>0,0914</td><td>10</td><td>0,06523</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,164510898	k.	5E+08	7,2E+11	0,06773	gaus		0k.	0,0857	2,7E+46	0,08635	linear	0,164511369	k.	0,0019	0,06773	0,06773	spher	0,080983619	k.	0,0914	10	0,06523
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,164510898	k.	5E+08	7,2E+11	0,06773																										
gaus		0k.	0,0857	2,7E+46	0,08635																										
linear	0,164511369	k.	0,0019	0,06773	0,06773																										
spher	0,080983619	k.	0,0914	10	0,06523																										
<div>Conventwald Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,626869494</td><td>k.</td><td>0,013</td><td>11,917</td><td>0,0039</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,60752576</td><td>k.</td><td>0,013</td><td>8,8869</td><td>0,0062</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,457139915</td><td>k.</td><td>3E-04</td><td>0,0079</td><td>0,0079</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,622048741</td><td>k.</td><td>0,013</td><td>11,306</td><td>0,0054</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,626869494	k.	0,013	11,917	0,0039	gaus	0,60752576	k.	0,013	8,8869	0,0062	linear	0,457139915	k.	3E-04	0,0079	0,0079	spher	0,622048741	k.	0,013	11,306	0,0054
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,626869494	k.	0,013	11,917	0,0039																										
gaus	0,60752576	k.	0,013	8,8869	0,0062																										
linear	0,457139915	k.	3E-04	0,0079	0,0079																										
spher	0,622048741	k.	0,013	11,306	0,0054																										
<div>Conventwald Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,580151431</td><td>k.</td><td>0,048</td><td>21,981</td><td>0,012</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,548798669</td><td>k.</td><td>0,044</td><td>12,069</td><td>0,0182</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,533723587</td><td>k.</td><td>0,002</td><td>0,0204</td><td>0,0204</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,529152794</td><td>k.</td><td>0,042</td><td>10</td><td>0,011</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,580151431	k.	0,048	21,981	0,012	gaus	0,548798669	k.	0,044	12,069	0,0182	linear	0,533723587	k.	0,002	0,0204	0,0204	spher	0,529152794	k.	0,042	10	0,011
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,580151431	k.	0,048	21,981	0,012																										
gaus	0,548798669	k.	0,044	12,069	0,0182																										
linear	0,533723587	k.	0,002	0,0204	0,0204																										
spher	0,529152794	k.	0,042	10	0,011																										
<div>Conventwald Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,776277705</td><td>k.</td><td>2E+07</td><td>2,2E+10</td><td>0,0234</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>8E+13</td><td>7,4E+64</td><td>0,0492</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,776277705</td><td>k.</td><td>0,0026</td><td>0,02338</td><td>0,0234</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,487826126</td><td>k.</td><td>0,0571</td><td>10</td><td>0,016</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,776277705	k.	2E+07	2,2E+10	0,0234	gaus		0k.	8E+13	7,4E+64	0,0492	linear	0,776277705	k.	0,0026	0,02338	0,0234	spher	0,487826126	k.	0,0571	10	0,016
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,776277705	k.	2E+07	2,2E+10	0,0234																										
gaus		0k.	8E+13	7,4E+64	0,0492																										
linear	0,776277705	k.	0,0026	0,02338	0,0234																										
spher	0,487826126	k.	0,0571	10	0,016																										
<div>Conventwald C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,655316789</td><td>k.</td><td>777253</td><td>2E+07</td><td>1,0663</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,51924825</td><td>k.</td><td>2,4794</td><td>9,1026</td><td>0,8951</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,655316837</td><td>k.</td><td>0,1039</td><td>1,0663</td><td>1,0663</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,514787727</td><td>k.</td><td>2,4475</td><td>9,7412</td><td>0,5959</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,655316789	k.	777253	2E+07	1,0663	gaus	0,51924825	k.	2,4794	9,1026	0,8951	linear	0,655316837	k.	0,1039	1,0663	1,0663	spher	0,514787727	k.	2,4475	9,7412	0,5959
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,655316789	k.	777253	2E+07	1,0663																										
gaus	0,51924825	k.	2,4794	9,1026	0,8951																										
linear	0,655316837	k.	0,1039	1,0663	1,0663																										
spher	0,514787727	k.	2,4475	9,7412	0,5959																										

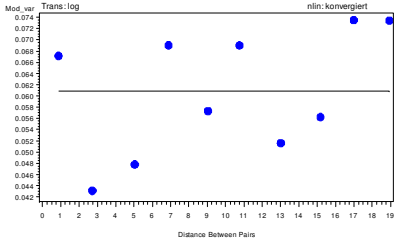
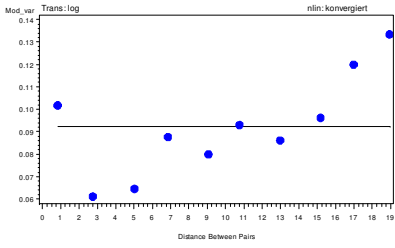
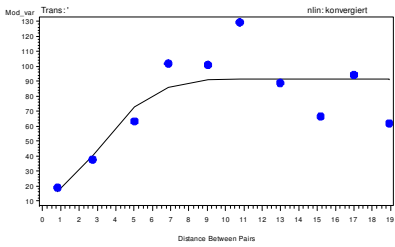
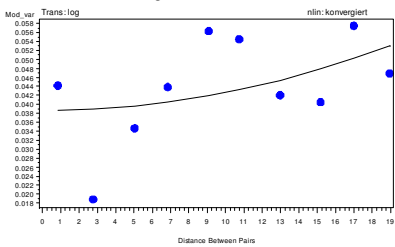
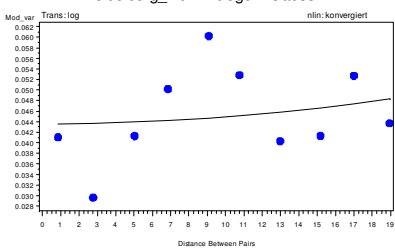
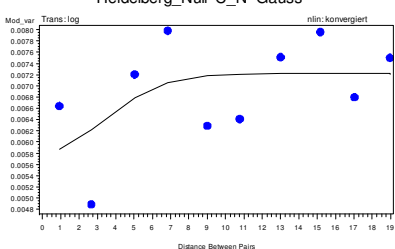
Tab. 39: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Heidelberg gedüngt in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Heidelberg_Kalk pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,022729374</td><td>k.</td><td>2281,5</td><td>-7E+06</td><td>0,26293</td></tr><tr><td>gaus</td><td>-0,371166724</td><td>k.n.</td><td>0,2493</td><td>-3,0537</td><td>0,17296</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,022729481</td><td>k.</td><td>-0,001</td><td>0,2629</td><td>0,26293</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,103045997</td><td>k.</td><td>0,2443</td><td>10</td><td>0,28701</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,022729374	k.	2281,5	-7E+06	0,26293	gaus	-0,371166724	k.n.	0,2493	-3,0537	0,17296	linear	0,022729481	k.	-0,001	0,2629	0,26293	spher	0,103045997	k.	0,2443	10	0,28701
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,022729374	k.	2281,5	-7E+06	0,26293																										
gaus	-0,371166724	k.n.	0,2493	-3,0537	0,17296																										
linear	0,022729481	k.	-0,001	0,2629	0,26293																										
spher	0,103045997	k.	0,2443	10	0,28701																										
<p>Heidelberg_Kalk pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,404207175</td><td>k.</td><td>8E-08</td><td>10</td><td>1,1E-07</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,394658064</td><td>k.</td><td>8E-08</td><td>10</td><td>1,1E-07</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,235544573</td><td>k.</td><td>-1E-09</td><td>1E-07</td><td>9,5E-08</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,471575264</td><td>k.</td><td>8E-08</td><td>10</td><td>1,1E-07</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,404207175	k.	8E-08	10	1,1E-07	gaus	0,394658064	k.	8E-08	10	1,1E-07	linear	0,235544573	k.	-1E-09	1E-07	9,5E-08	spher	0,471575264	k.	8E-08	10	1,1E-07
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,404207175	k.	8E-08	10	1,1E-07																										
gaus	0,394658064	k.	8E-08	10	1,1E-07																										
linear	0,235544573	k.	-1E-09	1E-07	9,5E-08																										
spher	0,471575264	k.	8E-08	10	1,1E-07																										
<p>Heidelberg_Kalk AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,725699276</td><td>k.</td><td>193,76</td><td>39,384</td><td>69,387</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,77743883</td><td>k.</td><td>162,53</td><td>15,753</td><td>80,937</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,687218234</td><td>k.</td><td>4,7102</td><td>82,767</td><td>82,767</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,747110783</td><td>k.</td><td>165,78</td><td>20,873</td><td>73,887</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,725699276	k.	193,76	39,384	69,387	gaus	0,77743883	k.	162,53	15,753	80,937	linear	0,687218234	k.	4,7102	82,767	82,767	spher	0,747110783	k.	165,78	20,873	73,887
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,725699276	k.	193,76	39,384	69,387																										
gaus	0,77743883	k.	162,53	15,753	80,937																										
linear	0,687218234	k.	4,7102	82,767	82,767																										
spher	0,747110783	k.	165,78	20,873	73,887																										
<p>Heidelberg_Kalk Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-7,13297E-08</td><td>k.n.</td><td>-8E+14</td><td>-2E+61</td><td>1,542</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,041431394</td><td>k.</td><td>-3E+05</td><td>48592</td><td>1,5887</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,070081567</td><td>k.</td><td>-0,009</td><td>1,635</td><td>1,6345</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,170476433</td><td>k.</td><td>1,4869</td><td>10</td><td>1,7695</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-7,13297E-08	k.n.	-8E+14	-2E+61	1,542	gaus	0,041431394	k.	-3E+05	48592	1,5887	linear	0,070081567	k.	-0,009	1,635	1,6345	spher	0,170476433	k.	1,4869	10	1,7695
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-7,13297E-08	k.n.	-8E+14	-2E+61	1,542																										
gaus	0,041431394	k.	-3E+05	48592	1,5887																										
linear	0,070081567	k.	-0,009	1,635	1,6345																										
spher	0,170476433	k.	1,4869	10	1,7695																										
<p>Heidelberg_Kalk Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,014139609</td><td>k.</td><td>-4189,9</td><td>-1E+07</td><td>0,2675</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>-4E+07</td><td>-2E+50</td><td>0,2764</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,014139594</td><td>k.</td><td>0,0009</td><td>0,2675</td><td>0,2675</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,000237616</td><td>k.</td><td>0,27595</td><td>9,5723</td><td>0,2782</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,014139609	k.	-4189,9	-1E+07	0,2675	gaus	0	k.	-4E+07	-2E+50	0,2764	linear	0,014139594	k.	0,0009	0,2675	0,2675	spher	0,000237616	k.	0,27595	9,5723	0,2782
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,014139609	k.	-4189,9	-1E+07	0,2675																										
gaus	0	k.	-4E+07	-2E+50	0,2764																										
linear	0,014139594	k.	0,0009	0,2675	0,2675																										
spher	0,000237616	k.	0,27595	9,5723	0,2782																										

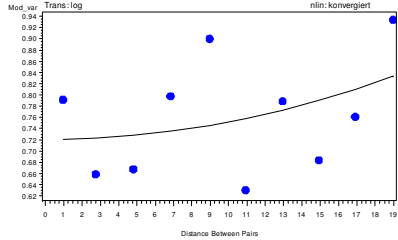
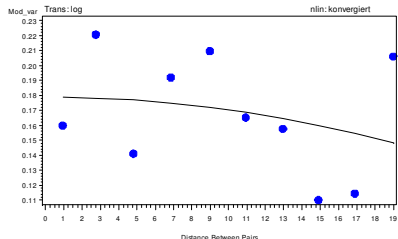
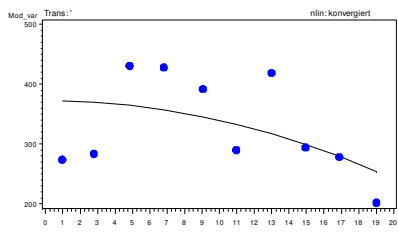
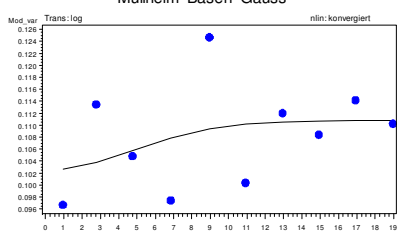
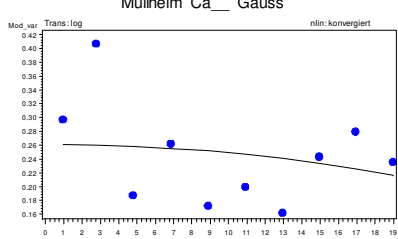
<p>Heidelberg_Kalk K_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,555759285</td><td>k.</td><td>0,0683</td><td>66,985</td><td>0,0348</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,546940249</td><td>k.</td><td>0,0554</td><td>20,744</td><td>0,0377</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,548347472</td><td>k.</td><td>0,001</td><td>0,0363</td><td>0,0363</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,399045363</td><td>k.</td><td>0,0493</td><td>10</td><td>0,0329</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,555759285	k.	0,0683	66,985	0,0348	gaus	0,546940249	k.	0,0554	20,744	0,0377	linear	0,548347472	k.	0,001	0,0363	0,0363	spher	0,399045363	k.	0,0493	10	0,0329
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,555759285	k.	0,0683	66,985	0,0348																										
gaus	0,546940249	k.	0,0554	20,744	0,0377																										
linear	0,548347472	k.	0,001	0,0363	0,0363																										
spher	0,399045363	k.	0,0493	10	0,0329																										
<p>Heidelberg_Kalk Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-2549511,067</td><td>k.n.</td><td>0,1191</td><td>-2,8949</td><td>0,11906</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,028848905</td><td>k.</td><td>35633</td><td>53037</td><td>0,31963</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,044378531</td><td>k.</td><td>0,001</td><td>0,3152</td><td>0,31518</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,087419147</td><td>k.</td><td>0,3281</td><td>5</td><td>0,29531</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-2549511,067	k.n.	0,1191	-2,8949	0,11906	gaus	0,028848905	k.	35633	53037	0,31963	linear	0,044378531	k.	0,001	0,3152	0,31518	spher	0,087419147	k.	0,3281	5	0,29531
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-2549511,067	k.n.	0,1191	-2,8949	0,11906																										
gaus	0,028848905	k.	35633	53037	0,31963																										
linear	0,044378531	k.	0,001	0,3152	0,31518																										
spher	0,087419147	k.	0,3281	5	0,29531																										
<p>Heidelberg_Kalk Al_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,665100823</td><td>k.</td><td>183,5</td><td>38,806</td><td>66,431</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,65590235</td><td>k.</td><td>153,02</td><td>15,491</td><td>78,926</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,639938682</td><td>k.</td><td>4,4951</td><td>78,878</td><td>78,878</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,565220741</td><td>k.</td><td>139,41</td><td>10</td><td>57,511</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,665100823	k.	183,5	38,806	66,431	gaus	0,65590235	k.	153,02	15,491	78,926	linear	0,639938682	k.	4,4951	78,878	78,878	spher	0,565220741	k.	139,41	10	57,511
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,665100823	k.	183,5	38,806	66,431																										
gaus	0,65590235	k.	153,02	15,491	78,926																										
linear	0,639938682	k.	4,4951	78,878	78,878																										
spher	0,565220741	k.	139,41	10	57,511																										
<p>Heidelberg_Kalk Carbon Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,53312056</td><td>k.</td><td>-939901</td><td>-5E+06</td><td>30,2657</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,669570263</td><td>k.</td><td>40,6283</td><td>14,2364</td><td>29,3132</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,533121297</td><td>k.</td><td>0,62565</td><td>30,2657</td><td>30,2657</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,600301259</td><td>k.</td><td>41,5956</td><td>21,5313</td><td>29,0175</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,53312056	k.	-939901	-5E+06	30,2657	gaus	0,669570263	k.	40,6283	14,2364	29,3132	linear	0,533121297	k.	0,62565	30,2657	30,2657	spher	0,600301259	k.	41,5956	21,5313	29,0175
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,53312056	k.	-939901	-5E+06	30,2657																										
gaus	0,669570263	k.	40,6283	14,2364	29,3132																										
linear	0,533121297	k.	0,62565	30,2657	30,2657																										
spher	0,600301259	k.	41,5956	21,5313	29,0175																										
<p>Heidelberg_Kalk Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,540419488</td><td>k.</td><td>4E+08</td><td>5E+11</td><td>0,074</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,670968067</td><td>k.</td><td>0,1174</td><td>14,513</td><td>0,0705</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,54041975</td><td>k.</td><td>0,0026</td><td>0,074</td><td>0,074</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,596211473</td><td>k.</td><td>0,1226</td><td>22,774</td><td>0,0696</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,540419488	k.	4E+08	5E+11	0,074	gaus	0,670968067	k.	0,1174	14,513	0,0705	linear	0,54041975	k.	0,0026	0,074	0,074	spher	0,596211473	k.	0,1226	22,774	0,0696
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,540419488	k.	4E+08	5E+11	0,074																										
gaus	0,670968067	k.	0,1174	14,513	0,0705																										
linear	0,54041975	k.	0,0026	0,074	0,074																										
spher	0,596211473	k.	0,1226	22,774	0,0696																										
<p>Heidelberg_Kalk C_N Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,182648729</td><td>k.</td><td>0,00441</td><td>-5,292</td><td>0,0044</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,6E+07</td><td>4E+47</td><td>0,0045</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,066204216</td><td>k.</td><td>2,8E-05</td><td>0,0043</td><td>0,0043</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,020356572</td><td>k.</td><td>0,00461</td><td>10</td><td>0,0043</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,182648729	k.	0,00441	-5,292	0,0044	gaus		0k.	1,6E+07	4E+47	0,0045	linear	0,066204216	k.	2,8E-05	0,0043	0,0043	spher	0,020356572	k.	0,00461	10	0,0043
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,182648729	k.	0,00441	-5,292	0,0044																										
gaus		0k.	1,6E+07	4E+47	0,0045																										
linear	0,066204216	k.	2,8E-05	0,0043	0,0043																										
spher	0,020356572	k.	0,00461	10	0,0043																										

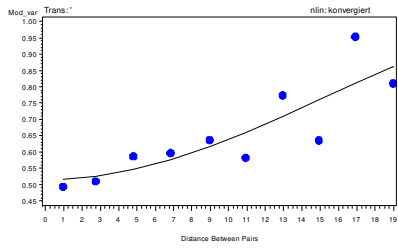
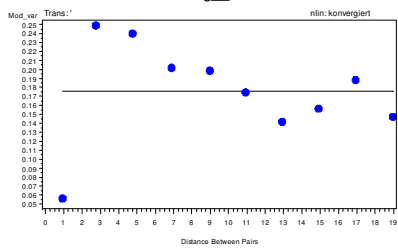
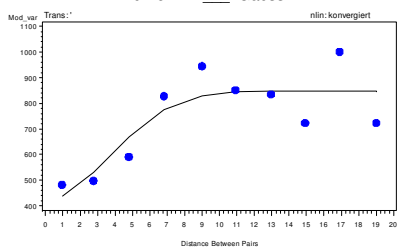
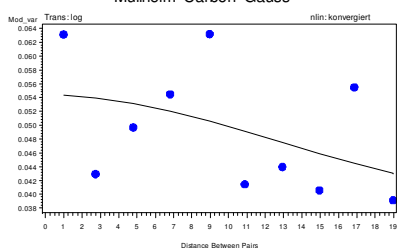
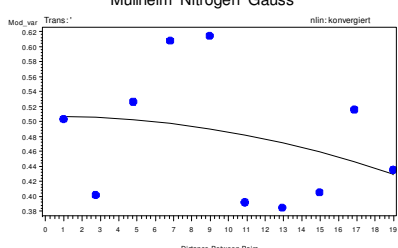
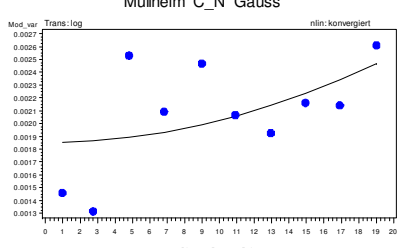
Tab. 40: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Heidelberg Null in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Heidelberg_Null pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,033808694</td><td>k.n.</td><td>0,13098</td><td>73,746</td><td>0,115</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,028737855</td><td>k.</td><td>42862,1</td><td>-80131</td><td>0,1173</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,03355869</td><td>k.</td><td>0,00044</td><td>0,1155</td><td>0,1155</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,012564696</td><td>k.</td><td>0,12094</td><td>10</td><td>0,1156</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,033808694	k.n.	0,13098	73,746	0,115	gaus	0,028737855	k.	42862,1	-80131	0,1173	linear	0,03355869	k.	0,00044	0,1155	0,1155	spher	0,012564696	k.	0,12094	10	0,1156
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,033808694	k.n.	0,13098	73,746	0,115																										
gaus	0,028737855	k.	42862,1	-80131	0,1173																										
linear	0,03355869	k.	0,00044	0,1155	0,1155																										
spher	0,012564696	k.	0,12094	10	0,1156																										
<p>Heidelberg_Null pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,0157099</td><td>k.</td><td>-6530,6</td><td>-3E+07</td><td>0,11165</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,011995298</td><td>k.</td><td>7700,8</td><td>-28846</td><td>0,11444</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,0157099</td><td>k.</td><td>0,0007</td><td>0,11165</td><td>0,11165</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,014364447</td><td>k.</td><td>0,1205</td><td>10</td><td>0,1082</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,0157099	k.	-6530,6	-3E+07	0,11165	gaus	0,011995298	k.	7700,8	-28846	0,11444	linear	0,0157099	k.	0,0007	0,11165	0,11165	spher	0,014364447	k.	0,1205	10	0,1082
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,0157099	k.	-6530,6	-3E+07	0,11165																										
gaus	0,011995298	k.	7700,8	-28846	0,11444																										
linear	0,0157099	k.	0,0007	0,11165	0,11165																										
spher	0,014364447	k.	0,1205	10	0,1082																										
<p>Heidelberg_Null Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,481755479</td><td>k.</td><td>9,5E+11</td><td>6E+11</td><td>78,475</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,758314451</td><td>k.</td><td>155,761</td><td>10,718</td><td>53,6918</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,481755131</td><td>k.</td><td>4,91003</td><td>78,475</td><td>78,4751</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,737183916</td><td>k.</td><td>154,476</td><td>12,461</td><td>40,548</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,481755479	k.	9,5E+11	6E+11	78,475	gaus	0,758314451	k.	155,761	10,718	53,6918	linear	0,481755131	k.	4,91003	78,475	78,4751	spher	0,737183916	k.	154,476	12,461	40,548
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,481755479	k.	9,5E+11	6E+11	78,475																										
gaus	0,758314451	k.	155,761	10,718	53,6918																										
linear	0,481755131	k.	4,91003	78,475	78,4751																										
spher	0,737183916	k.	154,476	12,461	40,548																										
<p>Heidelberg_Null Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,26928316</td><td>k.</td><td>0,1269</td><td>10,07</td><td>0,0894</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,281304423</td><td>k.n.</td><td>0,1255</td><td>6,3846</td><td>0,0958</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,224011406</td><td>k.</td><td>0,0014</td><td>0,1064</td><td>0,1064</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,249887248</td><td>k.</td><td>0,1261</td><td>10</td><td>0,0966</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,26928316	k.	0,1269	10,07	0,0894	gaus	0,281304423	k.n.	0,1255	6,3846	0,0958	linear	0,224011406	k.	0,0014	0,1064	0,1064	spher	0,249887248	k.	0,1261	10	0,0966
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,26928316	k.	0,1269	10,07	0,0894																										
gaus	0,281304423	k.n.	0,1255	6,3846	0,0958																										
linear	0,224011406	k.	0,0014	0,1064	0,1064																										
spher	0,249887248	k.	0,1261	10	0,0966																										
<p>Heidelberg_Null Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,225356248</td><td>k.</td><td>7E+08</td><td>5E+11</td><td>0,3464</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,333716752</td><td>k.</td><td>424831</td><td>70091</td><td>0,3553</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,225356431</td><td>k.</td><td>0,0044</td><td>0,3464</td><td>0,3464</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,033284618</td><td>k.</td><td>0,3961</td><td>10</td><td>0,363</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,225356248	k.	7E+08	5E+11	0,3464	gaus	0,333716752	k.	424831	70091	0,3553	linear	0,225356431	k.	0,0044	0,3464	0,3464	spher	0,033284618	k.	0,3961	10	0,363
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,225356248	k.	7E+08	5E+11	0,3464																										
gaus	0,333716752	k.	424831	70091	0,3553																										
linear	0,225356431	k.	0,0044	0,3464	0,3464																										
spher	0,033284618	k.	0,3961	10	0,363																										

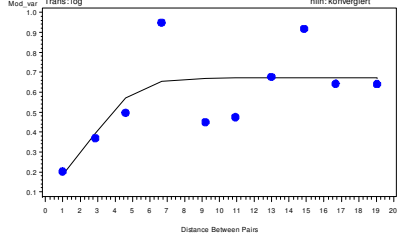
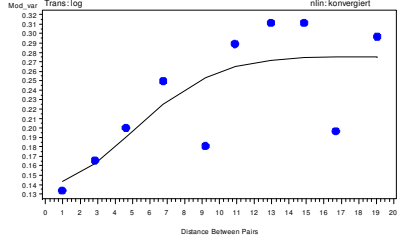
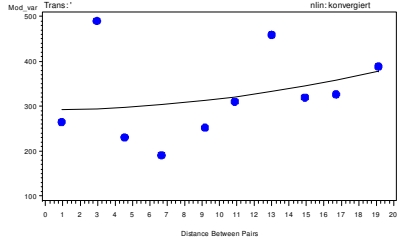
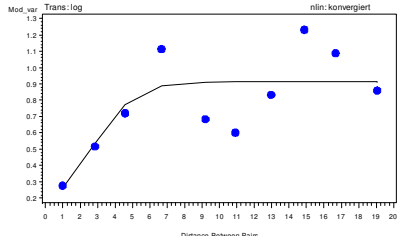
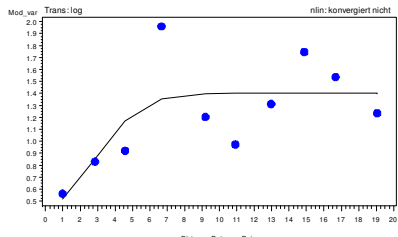
<p>Heidelberg_Null K_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,197347167</td><td>k.</td><td>1607347</td><td>6E+09</td><td>0,05286</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>6,8E+13</td><td>2E+71</td><td>0,06084</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,197347167</td><td>k.</td><td>0,0008</td><td>0,0529</td><td>0,05286</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,197347167</td><td>k.</td><td>154,513</td><td>288930</td><td>0,05286</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,197347167	k.	1607347	6E+09	0,05286	gaus		0k.	6,8E+13	2E+71	0,06084	linear	0,197347167	k.	0,0008	0,0529	0,05286	spher	0,197347167	k.	154,513	288930	0,05286
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,197347167	k.	1607347	6E+09	0,05286																										
gaus		0k.	6,8E+13	2E+71	0,06084																										
linear	0,197347167	k.	0,0008	0,0529	0,05286																										
spher	0,197347167	k.	154,513	288930	0,05286																										
<p>Heidelberg_Null Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,493770155</td><td>k.</td><td>36826</td><td>4E+07</td><td>0,0669</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>5E+13</td><td>1E+73</td><td>0,0924</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,493770288</td><td>k.</td><td>0,0026</td><td>0,0669</td><td>0,0669</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,100809931</td><td>k.</td><td>0,0968</td><td>10</td><td>0,0739</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,493770155	k.	36826	4E+07	0,0669	gaus		0k.	5E+13	1E+73	0,0924	linear	0,493770288	k.	0,0026	0,0669	0,0669	spher	0,100809931	k.	0,0968	10	0,0739
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,493770155	k.	36826	4E+07	0,0669																										
gaus		0k.	5E+13	1E+73	0,0924																										
linear	0,493770288	k.	0,0026	0,0669	0,0669																										
spher	0,100809931	k.	0,0968	10	0,0739																										
<p>Heidelberg_Null Al_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,580700899</td><td>k.</td><td>91,609</td><td>9,195</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,651538892</td><td>k.</td><td>91,659</td><td>7,3146</td><td>13,195</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,189157558</td><td>k.</td><td>2,3483</td><td>53,079</td><td>53,079</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,653994474</td><td>k.</td><td>91,409</td><td>8,5383</td><td>1,1364</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,580700899	k.	91,609	9,195	1E-08	gaus	0,651538892	k.	91,659	7,3146	13,195	linear	0,189157558	k.	2,3483	53,079	53,079	spher	0,653994474	k.	91,409	8,5383	1,1364
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,580700899	k.	91,609	9,195	1E-08																										
gaus	0,651538892	k.	91,659	7,3146	13,195																										
linear	0,189157558	k.	2,3483	53,079	53,079																										
spher	0,653994474	k.	91,409	8,5383	1,1364																										
<p>Heidelberg_Null Carbon Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,254883448</td><td>k.</td><td>-4444,9</td><td>-1E+07</td><td>0,0345</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,192192983</td><td>k.</td><td>1927,6</td><td>-11997</td><td>0,0386</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,254883616</td><td>k.</td><td>0,0009</td><td>0,0345</td><td>0,0345</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,321408482</td><td>k.</td><td>0,0487</td><td>12,222</td><td>0,0285</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,254883448	k.	-4444,9	-1E+07	0,0345	gaus	0,192192983	k.	1927,6	-11997	0,0386	linear	0,254883616	k.	0,0009	0,0345	0,0345	spher	0,321408482	k.	0,0487	12,222	0,0285
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,254883448	k.	-4444,9	-1E+07	0,0345																										
gaus	0,192192983	k.	1927,6	-11997	0,0386																										
linear	0,254883616	k.	0,0009	0,0345	0,0345																										
spher	0,321408482	k.	0,0487	12,222	0,0285																										
<p>Heidelberg_Null Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-3,292876056</td><td>k.n.</td><td>0,0304</td><td>-0,5513</td><td>0,0304</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,036935133</td><td>k.</td><td>77730</td><td>132190</td><td>0,0436</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,099246135</td><td>k.</td><td>0,0004</td><td>0,0409</td><td>0,0409</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,311659457</td><td>k.</td><td>0,0483</td><td>9,7376</td><td>0,0325</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-3,292876056	k.n.	0,0304	-0,5513	0,0304	gaus	0,036935133	k.	77730	132190	0,0436	linear	0,099246135	k.	0,0004	0,0409	0,0409	spher	0,311659457	k.	0,0483	9,7376	0,0325
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-3,292876056	k.n.	0,0304	-0,5513	0,0304																										
gaus	0,036935133	k.	77730	132190	0,0436																										
linear	0,099246135	k.	0,0004	0,0409	0,0409																										
spher	0,311659457	k.	0,0483	9,7376	0,0325																										
<p>Heidelberg_Null C_N Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,244328902</td><td>k.</td><td>0,0076</td><td>26,014</td><td>0,00587</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,272703366</td><td>k.</td><td>0,0072</td><td>8,0643</td><td>0,00582</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,22362481</td><td>k.</td><td>7E-05</td><td>0,0062</td><td>0,0062</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,233762211</td><td>k.</td><td>0,0072</td><td>10</td><td>0,00574</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,244328902	k.	0,0076	26,014	0,00587	gaus	0,272703366	k.	0,0072	8,0643	0,00582	linear	0,22362481	k.	7E-05	0,0062	0,0062	spher	0,233762211	k.	0,0072	10	0,00574
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,244328902	k.	0,0076	26,014	0,00587																										
gaus	0,272703366	k.	0,0072	8,0643	0,00582																										
linear	0,22362481	k.	7E-05	0,0062	0,0062																										
spher	0,233762211	k.	0,0072	10	0,00574																										

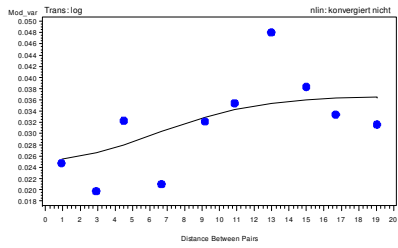
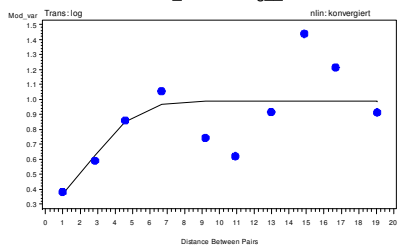
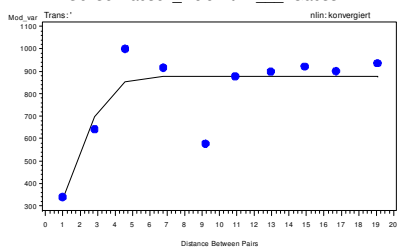
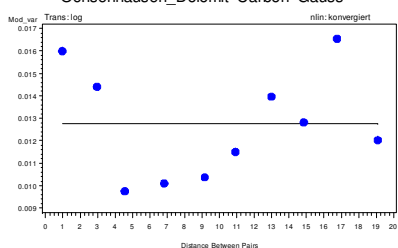
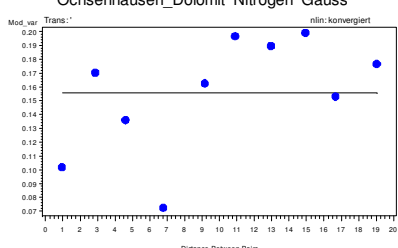
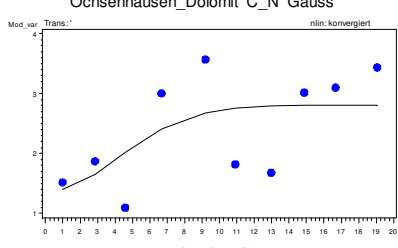
Tab. 41: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Müllheim in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Müllheim pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,105408323</td><td>k.</td><td>5630459</td><td>3,1E+09</td><td>0,70752</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,144286254</td><td>k.</td><td>3763919</td><td>190228</td><td>0,72054</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,105408321</td><td>k.</td><td>0,00546</td><td>0,70752</td><td>0,70752</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,045514174</td><td>k.</td><td>0,77584</td><td>10,4405</td><td>0,70526</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,105408323	k.	5630459	3,1E+09	0,70752	gaus	0,144286254	k.	3763919	190228	0,72054	linear	0,105408321	k.	0,00546	0,70752	0,70752	spher	0,045514174	k.	0,77584	10,4405	0,70526
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,105408323	k.	5630459	3,1E+09	0,70752																										
gaus	0,144286254	k.	3763919	190228	0,72054																										
linear	0,105408321	k.	0,00546	0,70752	0,70752																										
spher	0,045514174	k.	0,77584	10,4405	0,70526																										
<p>Müllheim pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,087139747</td><td>k.</td><td>1703537</td><td>-3E+09</td><td>0,18642</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,072926286</td><td>k.</td><td>-5E+08</td><td>-4E+06</td><td>0,17883</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,087139747</td><td>k.</td><td>-0,0019</td><td>0,1864</td><td>0,18642</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,034443261</td><td>k.</td><td>0,16315</td><td>10</td><td>0,18675</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,087139747	k.	1703537	-3E+09	0,18642	gaus	0,072926286	k.	-5E+08	-4E+06	0,17883	linear	0,087139747	k.	-0,0019	0,1864	0,18642	spher	0,034443261	k.	0,16315	10	0,18675
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,087139747	k.	1703537	-3E+09	0,18642																										
gaus	0,072926286	k.	-5E+08	-4E+06	0,17883																										
linear	0,087139747	k.	-0,0019	0,1864	0,18642																										
spher	0,034443261	k.	0,16315	10	0,18675																										
<p>Müllheim AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,116567727</td><td>k.</td><td>-9E+07</td><td>6E+07</td><td>374,302</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,259029998</td><td>k.</td><td>-3E+07</td><td>15694</td><td>372,837</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,116567793</td><td>k.</td><td>-4,5251</td><td>374,3</td><td>374,302</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,013997592</td><td>k.</td><td>335,405</td><td>10</td><td>304,079</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,116567727	k.	-9E+07	6E+07	374,302	gaus	0,259029998	k.	-3E+07	15694	372,837	linear	0,116567793	k.	-4,5251	374,3	374,302	spher	0,013997592	k.	335,405	10	304,079
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,116567727	k.	-9E+07	6E+07	374,302																										
gaus	0,259029998	k.	-3E+07	15694	372,837																										
linear	0,116567793	k.	-4,5251	374,3	374,302																										
spher	0,013997592	k.	335,405	10	304,079																										
<p>Müllheim Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,120941883</td><td>k.</td><td>-1E+05</td><td>-8E+08</td><td>0,1034</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,12809364</td><td>k.</td><td>0,1108</td><td>11,526</td><td>0,1025</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,120941883</td><td>k.</td><td>0,0005</td><td>0,1034</td><td>0,1034</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,145820018</td><td>k.</td><td>0,1104</td><td>10,145</td><td>0,0996</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,120941883	k.	-1E+05	-8E+08	0,1034	gaus	0,12809364	k.	0,1108	11,526	0,1025	linear	0,120941883	k.	0,0005	0,1034	0,1034	spher	0,145820018	k.	0,1104	10,145	0,0996
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,120941883	k.	-1E+05	-8E+08	0,1034																										
gaus	0,12809364	k.	0,1108	11,526	0,1025																										
linear	0,120941883	k.	0,0005	0,1034	0,1034																										
spher	0,145820018	k.	0,1104	10,145	0,0996																										
<p>Müllheim Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,131112059</td><td>k.</td><td>6979649</td><td>-5E+09</td><td>0,2878</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,045787855</td><td>k.</td><td>-1E+07</td><td>592173</td><td>0,26131</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,131112059</td><td>k.</td><td>-0,0043</td><td>0,2878</td><td>0,2878</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,376896632</td><td>k.</td><td>0,21748</td><td>9,44863</td><td>0,36665</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,131112059	k.	6979649	-5E+09	0,2878	gaus	0,045787855	k.	-1E+07	592173	0,26131	linear	0,131112059	k.	-0,0043	0,2878	0,2878	spher	0,376896632	k.	0,21748	9,44863	0,36665
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,131112059	k.	6979649	-5E+09	0,2878																										
gaus	0,045787855	k.	-1E+07	592173	0,26131																										
linear	0,131112059	k.	-0,0043	0,2878	0,2878																										
spher	0,376896632	k.	0,21748	9,44863	0,36665																										

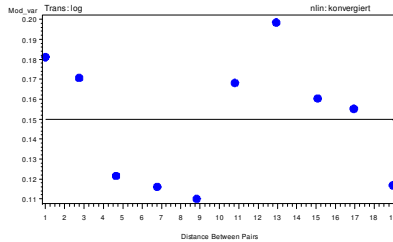
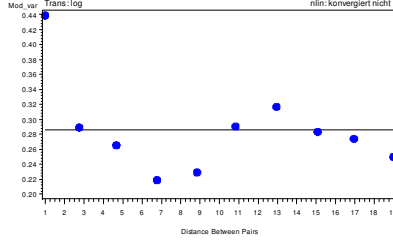
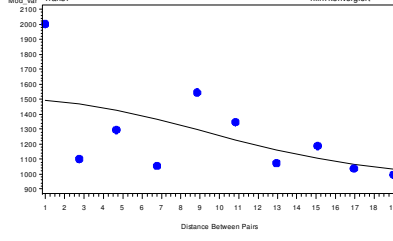
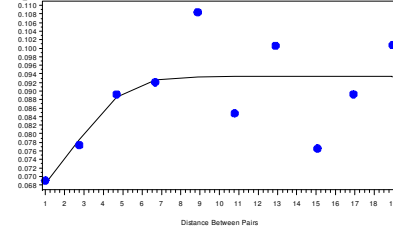
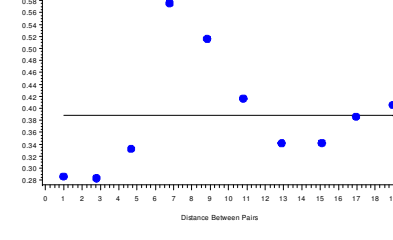
<div>Müllheim K_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,715665539</td><td>k.</td><td>7E+06</td><td>1E+09</td><td>0,4595</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,723801177</td><td>k.</td><td>1,1725</td><td>37,985</td><td>0,5153</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,71566554</td><td>k.</td><td>0,02</td><td>0,4595</td><td>0,4595</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,71566554</td><td>k.</td><td>5505,5</td><td>411876</td><td>0,4595</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,715665539	k.	7E+06	1E+09	0,4595	gaus	0,723801177	k.	1,1725	37,985	0,5153	linear	0,71566554	k.	0,02	0,4595	0,4595	spher	0,71566554	k.	5505,5	411876	0,4595
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,715665539	k.	7E+06	1E+09	0,4595																										
gaus	0,723801177	k.	1,1725	37,985	0,5153																										
linear	0,71566554	k.	0,02	0,4595	0,4595																										
spher	0,71566554	k.	5505,5	411876	0,4595																										
<div>Müllheim Mg_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,007080457</td><td>k.</td><td>625586</td><td>-2E+09</td><td>0,183</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-2,4E+08</td><td>3,9E+40</td><td>0,1755</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,007080457</td><td>k.</td><td>-0,00076</td><td>0,18303</td><td>0,183</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,045585754</td><td>k.</td><td>0,18293</td><td>10</td><td>0,1445</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,007080457	k.	625586	-2E+09	0,183	gaus		0k.	-2,4E+08	3,9E+40	0,1755	linear	0,007080457	k.	-0,00076	0,18303	0,183	spher	0,045585754	k.	0,18293	10	0,1445
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,007080457	k.	625586	-2E+09	0,183																										
gaus		0k.	-2,4E+08	3,9E+40	0,1755																										
linear	0,007080457	k.	-0,00076	0,18303	0,183																										
spher	0,045585754	k.	0,18293	10	0,1445																										
<div>Müllheim Al_ Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,417264155</td><td>k.</td><td>6E+07</td><td>1E+07</td><td>561,129</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,718793423</td><td>k.</td><td>849,14</td><td>8,9679</td><td>425,173</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,417263629</td><td>k.</td><td>18,882</td><td>561,13</td><td>561,129</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,712508083</td><td>k.</td><td>843,97</td><td>10,072</td><td>353,122</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,417264155	k.	6E+07	1E+07	561,129	gaus	0,718793423	k.	849,14	8,9679	425,173	linear	0,417263629	k.	18,882	561,13	561,129	spher	0,712508083	k.	843,97	10,072	353,122
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,417264155	k.	6E+07	1E+07	561,129																										
gaus	0,718793423	k.	849,14	8,9679	425,173																										
linear	0,417263629	k.	18,882	561,13	561,129																										
spher	0,712508083	k.	843,97	10,072	353,122																										
<div>Müllheim Carbon Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,201314753</td><td>k.</td><td>-7848,7</td><td>3E+07</td><td>0,05612</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,193712493</td><td>k.</td><td>0,0383</td><td>29,98</td><td>0,05436</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,201314753</td><td>k.</td><td>-0,0007</td><td>0,056</td><td>0,05612</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,121937385</td><td>k.</td><td>0,0474</td><td>10</td><td>0,05789</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,201314753	k.	-7848,7	3E+07	0,05612	gaus	0,193712493	k.	0,0383	29,98	0,05436	linear	0,201314753	k.	-0,0007	0,056	0,05612	spher	0,121937385	k.	0,0474	10	0,05789
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,201314753	k.	-7848,7	3E+07	0,05612																										
gaus	0,193712493	k.	0,0383	29,98	0,05436																										
linear	0,201314753	k.	-0,0007	0,056	0,05612																										
spher	0,121937385	k.	0,0474	10	0,05789																										
<div>Müllheim Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,074764552</td><td>k.</td><td>80803,7</td><td>-6E+07</td><td>0,5178</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,093164711</td><td>k.</td><td>-510917</td><td>-84555</td><td>0,507</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,07476454</td><td>k.</td><td>-0,0039</td><td>0,51778</td><td>0,5178</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,001887046</td><td>k.</td><td>0,47646</td><td>10</td><td>0,4889</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,074764552	k.	80803,7	-6E+07	0,5178	gaus	0,093164711	k.	-510917	-84555	0,507	linear	0,07476454	k.	-0,0039	0,51778	0,5178	spher	0,001887046	k.	0,47646	10	0,4889
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,074764552	k.	80803,7	-6E+07	0,5178																										
gaus	0,093164711	k.	-510917	-84555	0,507																										
linear	0,07476454	k.	-0,0039	0,51778	0,5178																										
spher	0,001887046	k.	0,47646	10	0,4889																										
<div>Müllheim C_N Gauss</div> 	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,497081668</td><td>k.</td><td>0,0023</td><td>8,073</td><td>0,00093</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,249280867</td><td>k.</td><td>175802</td><td>-556551</td><td>0,00185</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,332369831</td><td>k.</td><td>4E-05</td><td>0,0017</td><td>0,00168</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,553305698</td><td>k.</td><td>0,0022</td><td>6,3172</td><td>0,001</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,497081668	k.	0,0023	8,073	0,00093	gaus	0,249280867	k.	175802	-556551	0,00185	linear	0,332369831	k.	4E-05	0,0017	0,00168	spher	0,553305698	k.	0,0022	6,3172	0,001
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,497081668	k.	0,0023	8,073	0,00093																										
gaus	0,249280867	k.	175802	-556551	0,00185																										
linear	0,332369831	k.	4E-05	0,0017	0,00168																										
spher	0,553305698	k.	0,0022	6,3172	0,001																										

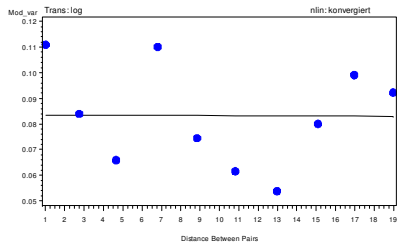
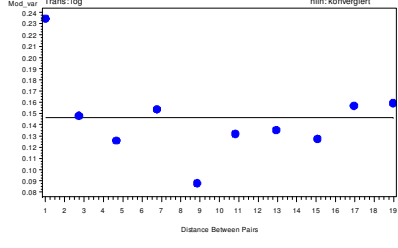
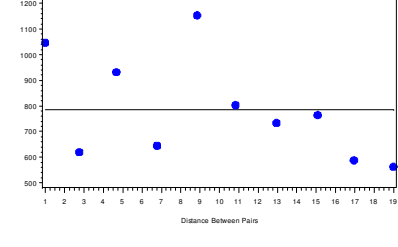
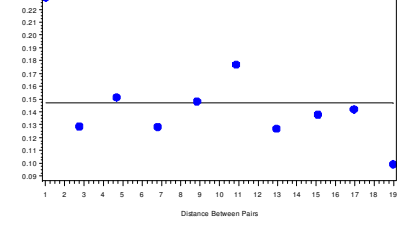
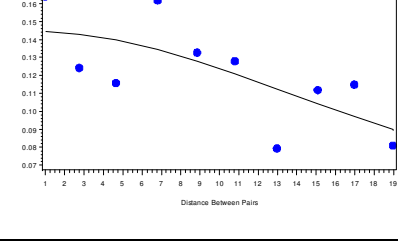
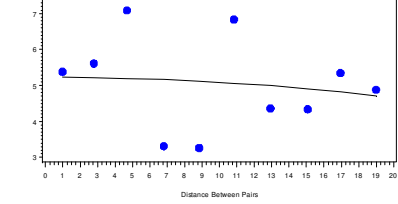
Tab. 42: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Ochsenhausen gekalkt in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Ochsenhausen_Dolomit pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,475193118</td><td>k.</td><td>0,6827</td><td>8,5419</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,503477799</td><td>k.</td><td>0,6711</td><td>6,2136</td><td>0,146</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,304124476</td><td>k.</td><td>0,0211</td><td>0,3741</td><td>0,3741</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,441942178</td><td>k.</td><td>0,6821</td><td>10</td><td>0,1732</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,475193118	k.	0,6827	8,5419	1E-08	gaus	0,503477799	k.	0,6711	6,2136	0,146	linear	0,304124476	k.	0,0211	0,3741	0,3741	spher	0,441942178	k.	0,6821	10	0,1732
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,475193118	k.	0,6827	8,5419	1E-08																										
gaus	0,503477799	k.	0,6711	6,2136	0,146																										
linear	0,304124476	k.	0,0211	0,3741	0,3741																										
spher	0,441942178	k.	0,6821	10	0,1732																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,588388808</td><td>k.</td><td>0,288</td><td>17,844</td><td>0,1015</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,587426107</td><td>k.</td><td>0,2754</td><td>11,845</td><td>0,1409</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,494718846</td><td>k.</td><td>0,0076</td><td>0,1581</td><td>0,1581</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,553090617</td><td>k.</td><td>0,2648</td><td>10</td><td>0,1041</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,588388808	k.	0,288	17,844	0,1015	gaus	0,587426107	k.	0,2754	11,845	0,1409	linear	0,494718846	k.	0,0076	0,1581	0,1581	spher	0,553090617	k.	0,2648	10	0,1041
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,588388808	k.	0,288	17,844	0,1015																										
gaus	0,587426107	k.	0,2754	11,845	0,1409																										
linear	0,494718846	k.	0,0076	0,1581	0,1581																										
spher	0,553090617	k.	0,2648	10	0,1041																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,063880538</td><td>k.</td><td>-1E+11</td><td>-9E+10</td><td>283,41</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,090385734</td><td>k.</td><td>1,4E+07</td><td>-13225</td><td>292,56</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,06388058</td><td>k.</td><td>4,03461</td><td>283,411</td><td>283,41</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,0011879</td><td>k.</td><td>325,482</td><td>10</td><td>314,47</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,063880538	k.	-1E+11	-9E+10	283,41	gaus	0,090385734	k.	1,4E+07	-13225	292,56	linear	0,06388058	k.	4,03461	283,411	283,41	spher	0,0011879	k.	325,482	10	314,47
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,063880538	k.	-1E+11	-9E+10	283,41																										
gaus	0,090385734	k.	1,4E+07	-13225	292,56																										
linear	0,06388058	k.	4,03461	283,411	283,41																										
spher	0,0011879	k.	325,482	10	314,47																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,554811911</td><td>k.</td><td>0,9457</td><td>9,9461</td><td>0,0387</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,562249388</td><td>k.</td><td>0,9111</td><td>6,23523</td><td>0,2099</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,437708527</td><td>k.</td><td>0,0321</td><td>0,47529</td><td>0,4753</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,512356909</td><td>k.</td><td>0,9279</td><td>10</td><td>0,2344</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,554811911	k.	0,9457	9,9461	0,0387	gaus	0,562249388	k.	0,9111	6,23523	0,2099	linear	0,437708527	k.	0,0321	0,47529	0,4753	spher	0,512356909	k.	0,9279	10	0,2344
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,554811911	k.	0,9457	9,9461	0,0387																										
gaus	0,562249388	k.	0,9111	6,23523	0,2099																										
linear	0,437708527	k.	0,0321	0,47529	0,4753																										
spher	0,512356909	k.	0,9279	10	0,2344																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,469309526</td><td>k.</td><td>1,4177</td><td>8,6803</td><td>0,1404</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,50492962</td><td>k.n.</td><td>1,4008</td><td>6,691</td><td>0,457</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,292796592</td><td>k.</td><td>0,0383</td><td>0,8514</td><td>0,8514</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,461341871</td><td>k.</td><td>1,4168</td><td>10</td><td>0,4576</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,469309526	k.	1,4177	8,6803	0,1404	gaus	0,50492962	k.n.	1,4008	6,691	0,457	linear	0,292796592	k.	0,0383	0,8514	0,8514	spher	0,461341871	k.	1,4168	10	0,4576
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,469309526	k.	1,4177	8,6803	0,1404																										
gaus	0,50492962	k.n.	1,4008	6,691	0,457																										
linear	0,292796592	k.	0,0383	0,8514	0,8514																										
spher	0,461341871	k.	1,4168	10	0,4576																										

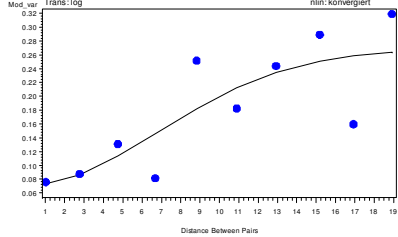
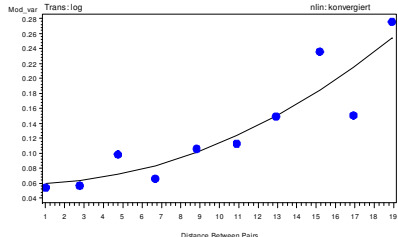
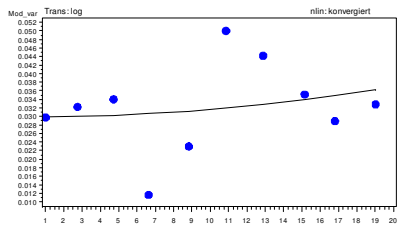
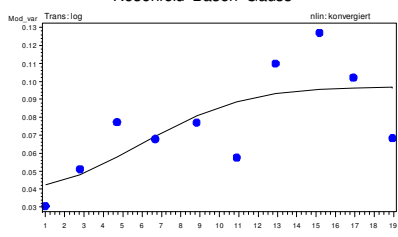
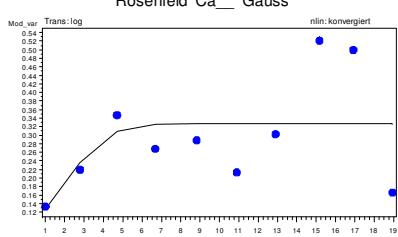
<p>Ochsenhausen_Dolomit K_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>1E+14</td><td>-3E+48</td><td>0,0317</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,445107089</td><td>k.n.</td><td>0,0366</td><td>15,017</td><td>0,02531</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,356244605</td><td>k.</td><td>0,0008</td><td>0,0236</td><td>0,02359</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,305500984</td><td>k.</td><td>0,0343</td><td>8,1688</td><td>0,01804</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	1E+14	-3E+48	0,0317	gaus	0,445107089	k.n.	0,0366	15,017	0,02531	linear	0,356244605	k.	0,0008	0,0236	0,02359	spher	0,305500984	k.	0,0343	8,1688	0,01804
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	1E+14	-3E+48	0,0317																										
gaus	0,445107089	k.n.	0,0366	15,017	0,02531																										
linear	0,356244605	k.	0,0008	0,0236	0,02359																										
spher	0,305500984	k.	0,0343	8,1688	0,01804																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Mg_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,489993786</td><td>k.</td><td>1,10713</td><td>17,6754</td><td>0,30128</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,463492696</td><td>k.</td><td>0,98812</td><td>6,30141</td><td>0,31832</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,438249825</td><td>k.</td><td>0,03392</td><td>0,53838</td><td>0,53838</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,432550804</td><td>k.</td><td>1,00501</td><td>10</td><td>0,33205</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,489993786	k.	1,10713	17,6754	0,30128	gaus	0,463492696	k.	0,98812	6,30141	0,31832	linear	0,438249825	k.	0,03392	0,53838	0,53838	spher	0,432550804	k.	1,00501	10	0,33205
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,489993786	k.	1,10713	17,6754	0,30128																										
gaus	0,463492696	k.	0,98812	6,30141	0,31832																										
linear	0,438249825	k.	0,03392	0,53838	0,53838																										
spher	0,432550804	k.	1,00501	10	0,33205																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Al_ Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,35454221</td><td>k.</td><td>9E+09</td><td>1E+09</td><td>597,9</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,693860501</td><td>k.</td><td>876,81</td><td>4,3616</td><td>236,94</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,354542207</td><td>k.</td><td>20,595</td><td>597,9</td><td>597,9</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,70659436</td><td>k.</td><td>875,52</td><td>4,9351</td><td>92,182</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,35454221	k.	9E+09	1E+09	597,9	gaus	0,693860501	k.	876,81	4,3616	236,94	linear	0,354542207	k.	20,595	597,9	597,9	spher	0,70659436	k.	875,52	4,9351	92,182
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,35454221	k.	9E+09	1E+09	597,9																										
gaus	0,693860501	k.	876,81	4,3616	236,94																										
linear	0,354542207	k.	20,595	597,9	597,9																										
spher	0,70659436	k.	875,52	4,9351	92,182																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Carbon Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,003349815</td><td>k.</td><td>193912</td><td>2,5E+10</td><td>0,01252</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>768121</td><td>-5E+43</td><td>0,01275</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,003349815</td><td>k.</td><td>2,3E-05</td><td>0,01252</td><td>0,01252</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,281875142</td><td>k.</td><td>0,01223</td><td>4,93766</td><td>0,01794</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,003349815	k.	193912	2,5E+10	0,01252	gaus		0k.	768121	-5E+43	0,01275	linear	0,003349815	k.	2,3E-05	0,01252	0,01252	spher	0,281875142	k.	0,01223	4,93766	0,01794
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,003349815	k.	193912	2,5E+10	0,01252																										
gaus		0k.	768121	-5E+43	0,01275																										
linear	0,003349815	k.	2,3E-05	0,01252	0,01252																										
spher	0,281875142	k.	0,01223	4,93766	0,01794																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,329684049</td><td>k.</td><td>0,20913</td><td>39,6626</td><td>0,10677</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-4E+07</td><td>8,7E+38</td><td>0,15594</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,312491579</td><td>k.</td><td>0,00383</td><td>0,11802</td><td>0,11802</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,339338716</td><td>k.</td><td>0,18675</td><td>21,3921</td><td>0,11095</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,329684049	k.	0,20913	39,6626	0,10677	gaus		0k.	-4E+07	8,7E+38	0,15594	linear	0,312491579	k.	0,00383	0,11802	0,11802	spher	0,339338716	k.	0,18675	21,3921	0,11095
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,329684049	k.	0,20913	39,6626	0,10677																										
gaus		0k.	-4E+07	8,7E+38	0,15594																										
linear	0,312491579	k.	0,00383	0,11802	0,11802																										
spher	0,339338716	k.	0,18675	21,3921	0,11095																										
<p>Ochsenhausen_Dolomit C_N Gauss</p> 	<p>Variogramparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,377146478</td><td>k.</td><td>9,008</td><td>217,4</td><td>1,47376</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,353546095</td><td>k.</td><td>2,809</td><td>10,199</td><td>1,35141</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,376914174</td><td>k.</td><td>0,091</td><td>1,5152</td><td>1,51518</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,34531287</td><td>k.</td><td>2,753</td><td>10,036</td><td>1,01823</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,377146478	k.	9,008	217,4	1,47376	gaus	0,353546095	k.	2,809	10,199	1,35141	linear	0,376914174	k.	0,091	1,5152	1,51518	spher	0,34531287	k.	2,753	10,036	1,01823
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,377146478	k.	9,008	217,4	1,47376																										
gaus	0,353546095	k.	2,809	10,199	1,35141																										
linear	0,376914174	k.	0,091	1,5152	1,51518																										
spher	0,34531287	k.	2,753	10,036	1,01823																										

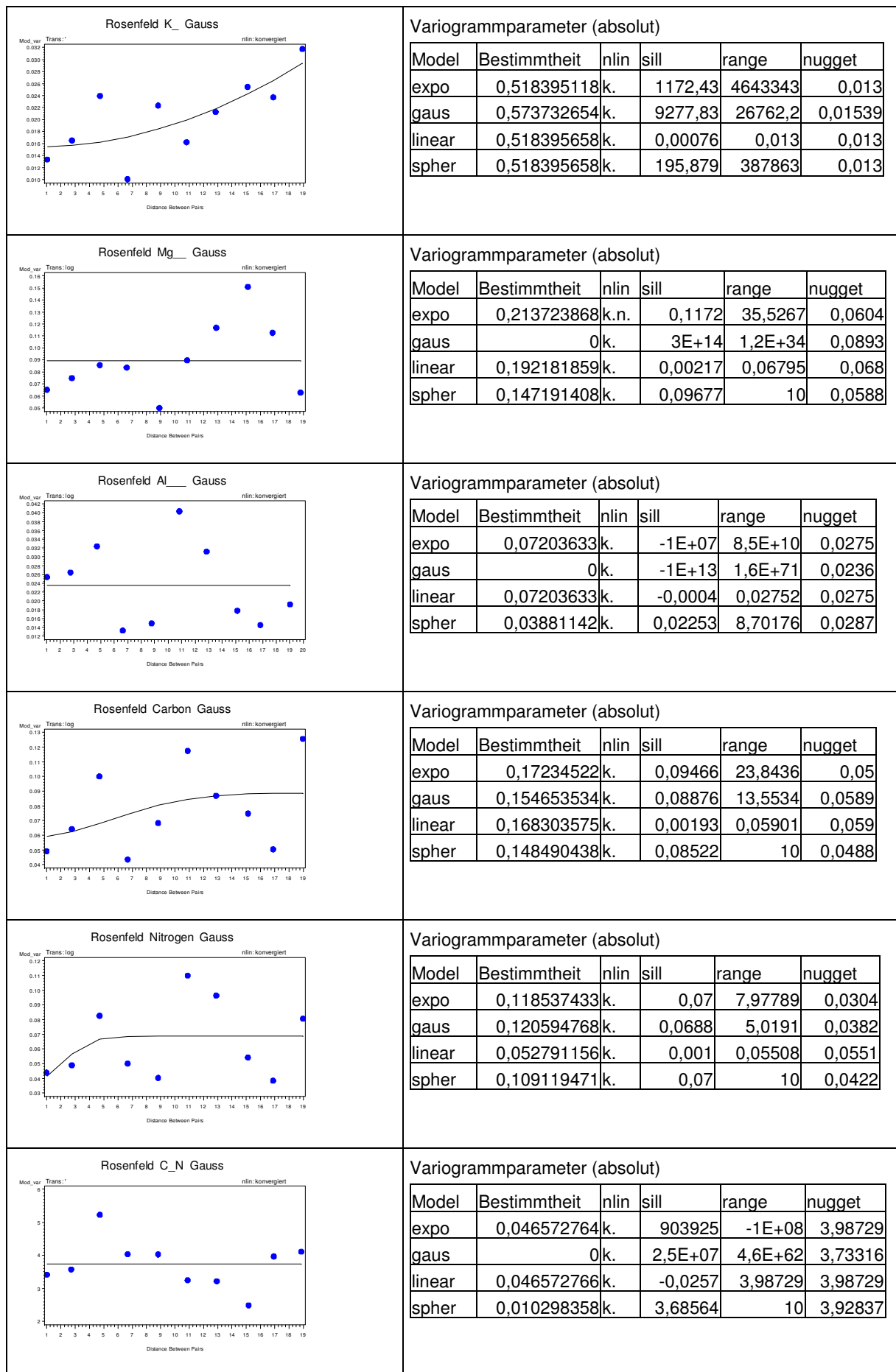
Tab. 43: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Ochsenhausen Null in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Ochsenhausen_Null pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,010052446</td><td>k.</td><td>-3E+06</td><td>1,7E+10</td><td>0,15501</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>4,6E+13</td><td>5,3E+66</td><td>0,14993</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,010052446</td><td>k.</td><td>-0,0005</td><td>0,15501</td><td>0,15501</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,178236387</td><td>k.</td><td>0,14424</td><td>5,10021</td><td>0,202</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,010052446	k.	-3E+06	1,7E+10	0,15501	gaus		0k.	4,6E+13	5,3E+66	0,14993	linear	0,010052446	k.	-0,0005	0,15501	0,15501	spher	0,178236387	k.	0,14424	5,10021	0,202
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,010052446	k.	-3E+06	1,7E+10	0,15501																										
gaus		0k.	4,6E+13	5,3E+66	0,14993																										
linear	0,010052446	k.	-0,0005	0,15501	0,15501																										
spher	0,178236387	k.	0,14424	5,10021	0,202																										
<p>Ochsenhausen_Null pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,154784202</td><td>k.</td><td>4E+06</td><td>-3,3E+09</td><td>0,3247</td></tr><tr><td>gaus</td><td>-0,000014749</td><td>k.n.</td><td>-2E+13</td><td>-2,1E+39</td><td>0,2854</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,154784204</td><td>k.</td><td>-0,0039</td><td>0,32468</td><td>0,3247</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,464203105</td><td>k.</td><td>0,2588</td><td>10</td><td>0,396</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,154784202	k.	4E+06	-3,3E+09	0,3247	gaus	-0,000014749	k.n.	-2E+13	-2,1E+39	0,2854	linear	0,154784204	k.	-0,0039	0,32468	0,3247	spher	0,464203105	k.	0,2588	10	0,396
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,154784202	k.	4E+06	-3,3E+09	0,3247																										
gaus	-0,000014749	k.n.	-2E+13	-2,1E+39	0,2854																										
linear	0,154784204	k.	-0,0039	0,32468	0,3247																										
spher	0,464203105	k.	0,2588	10	0,396																										
<p>Ochsenhausen_Null Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,350677642</td><td>k.</td><td>1,6E+09</td><td>-2E+08</td><td>1561,13</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,301015301</td><td>k.</td><td>974,668</td><td>22,229</td><td>1492,45</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,35067765</td><td>k.</td><td>-30,027</td><td>1561,1</td><td>1561,13</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,367828441</td><td>k.</td><td>1143,52</td><td>10</td><td>1760,87</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,350677642	k.	1,6E+09	-2E+08	1561,13	gaus	0,301015301	k.	974,668	22,229	1492,45	linear	0,35067765	k.	-30,027	1561,1	1561,13	spher	0,367828441	k.	1143,52	10	1760,87
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,350677642	k.	1,6E+09	-2E+08	1561,13																										
gaus	0,301015301	k.	974,668	22,229	1492,45																										
linear	0,35067765	k.	-30,027	1561,1	1561,13																										
spher	0,367828441	k.	1143,52	10	1760,87																										
<p>Ochsenhausen_Null Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,201631116</td><td>k.</td><td>-16007</td><td>-5E+07</td><td>0,0799</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,478997838</td><td>k.</td><td>0,09337</td><td>6,18906</td><td>0,0665</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,201631189</td><td>k.</td><td>0,0009</td><td>0,07992</td><td>0,0799</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,478230269</td><td>k.</td><td>0,09337</td><td>7,40804</td><td>0,0622</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,201631116	k.	-16007	-5E+07	0,0799	gaus	0,478997838	k.	0,09337	6,18906	0,0665	linear	0,201631189	k.	0,0009	0,07992	0,0799	spher	0,478230269	k.	0,09337	7,40804	0,0622
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,201631116	k.	-16007	-5E+07	0,0799																										
gaus	0,478997838	k.	0,09337	6,18906	0,0665																										
linear	0,201631189	k.	0,0009	0,07992	0,0799																										
spher	0,478230269	k.	0,09337	7,40804	0,0622																										
<p>Ochsenhausen_Null Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,037608224</td><td>k.</td><td>-5E+08</td><td>-5E+11</td><td>0,3591</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-8E+14</td><td>2,9E+71</td><td>0,3889</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,037608148</td><td>k.</td><td>0,00302</td><td>0,3591</td><td>0,3591</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,349577679</td><td>k.</td><td>0,419</td><td>7,52201</td><td>0,2146</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,037608224	k.	-5E+08	-5E+11	0,3591	gaus		0k.	-8E+14	2,9E+71	0,3889	linear	0,037608148	k.	0,00302	0,3591	0,3591	spher	0,349577679	k.	0,419	7,52201	0,2146
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,037608224	k.	-5E+08	-5E+11	0,3591																										
gaus		0k.	-8E+14	2,9E+71	0,3889																										
linear	0,037608148	k.	0,00302	0,3591	0,3591																										
spher	0,349577679	k.	0,419	7,52201	0,2146																										

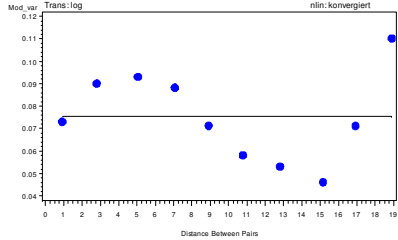
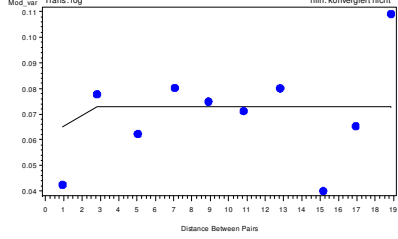
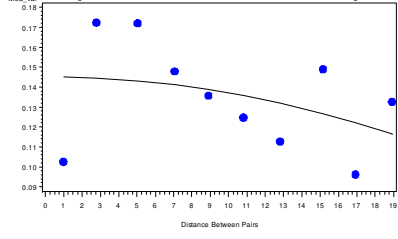
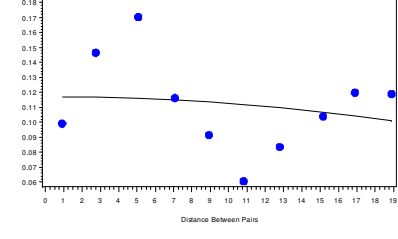
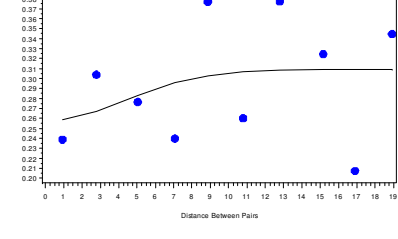
<div><div>Ochsenhausen_Null K_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,243908192</td><td>k.</td><td>0,07986</td><td>2,079</td><td>0,2154</td></tr><tr><td>gaus</td><td>4,91719E-05</td><td>k.</td><td>-871,78</td><td>-48627</td><td>0,0834</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,02339805</td><td>k.</td><td>-0,0005</td><td>0,0881</td><td>0,0881</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,154956271</td><td>k.</td><td>0,07794</td><td>10,925</td><td>0,1029</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,243908192	k.	0,07986	2,079	0,2154	gaus	4,91719E-05	k.	-871,78	-48627	0,0834	linear	0,02339805	k.	-0,0005	0,0881	0,0881	spher	0,154956271	k.	0,07794	10,925	0,1029
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,243908192	k.	0,07986	2,079	0,2154																										
gaus	4,91719E-05	k.	-871,78	-48627	0,0834																										
linear	0,02339805	k.	-0,0005	0,0881	0,0881																										
spher	0,154956271	k.	0,07794	10,925	0,1029																										
<div><div>Ochsenhausen_Null Mg_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,08551026</td><td>k.</td><td>2417945</td><td>-4,1E+09</td><td>0,1639</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,14623</td><td>0,12254</td><td>0,2203</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,08551026</td><td>k.</td><td>-0,0018</td><td>0,16391</td><td>0,1639</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,700603006</td><td>k.</td><td>0,13493</td><td>3,58931</td><td>0,3046</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,08551026	k.	2417945	-4,1E+09	0,1639	gaus		0k.	0,14623	0,12254	0,2203	linear	0,08551026	k.	-0,0018	0,16391	0,1639	spher	0,700603006	k.	0,13493	3,58931	0,3046
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,08551026	k.	2417945	-4,1E+09	0,1639																										
gaus		0k.	0,14623	0,12254	0,2203																										
linear	0,08551026	k.	-0,0018	0,16391	0,1639																										
spher	0,700603006	k.	0,13493	3,58931	0,3046																										
<div><div>Ochsenhausen_Null Al_ Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,317202311</td><td>k.</td><td>884,524</td><td>-14,1266</td><td>878,325</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,3E+18</td><td>-3,7E+72</td><td>785,391</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,247490984</td><td>k.</td><td>-16,321</td><td>946,802</td><td>946,802</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,087042405</td><td>k.</td><td>747,416</td><td>10</td><td>941,724</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,317202311	k.	884,524	-14,1266	878,325	gaus		0k.	1,3E+18	-3,7E+72	785,391	linear	0,247490984	k.	-16,321	946,802	946,802	spher	0,087042405	k.	747,416	10	941,724
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,317202311	k.	884,524	-14,1266	878,325																										
gaus		0k.	1,3E+18	-3,7E+72	785,391																										
linear	0,247490984	k.	-16,321	946,802	946,802																										
spher	0,087042405	k.	747,416	10	941,724																										
<div><div>Ochsenhausen_Null Carbon Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,330083172</td><td>k.</td><td>332232</td><td>-3E+08</td><td>0,1797</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>0,13781</td><td>2,2E+30</td><td>0,147</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,330083181</td><td>k.</td><td>-0,0033</td><td>0,17971</td><td>0,1797</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,361099249</td><td>k.</td><td>0,13343</td><td>10</td><td>0,203</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,330083172	k.	332232	-3E+08	0,1797	gaus		0k.	0,13781	2,2E+30	0,147	linear	0,330083181	k.	-0,0033	0,17971	0,1797	spher	0,361099249	k.	0,13343	10	0,203
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,330083172	k.	332232	-3E+08	0,1797																										
gaus		0k.	0,13781	2,2E+30	0,147																										
linear	0,330083181	k.	-0,0033	0,17971	0,1797																										
spher	0,361099249	k.	0,13343	10	0,203																										
<div><div>Ochsenhausen_Null Nitrogen Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,490489149</td><td>k.</td><td>-2E+07</td><td>2E+10</td><td>0,15339</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,487305066</td><td>k.</td><td>0,05702</td><td>33,176</td><td>0,14479</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,490489162</td><td>k.</td><td>-0,0032</td><td>0,1534</td><td>0,15339</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,288109319</td><td>k.</td><td>0,11169</td><td>10</td><td>0,16144</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,490489149	k.	-2E+07	2E+10	0,15339	gaus	0,487305066	k.	0,05702	33,176	0,14479	linear	0,490489162	k.	-0,0032	0,1534	0,15339	spher	0,288109319	k.	0,11169	10	0,16144
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,490489149	k.	-2E+07	2E+10	0,15339																										
gaus	0,487305066	k.	0,05702	33,176	0,14479																										
linear	0,490489162	k.	-0,0032	0,1534	0,15339																										
spher	0,288109319	k.	0,11169	10	0,16144																										
<div><div>Ochsenhausen_Null C_N Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,037719455</td><td>k.</td><td>171908</td><td>-1E+07</td><td>5,4521</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,019257977</td><td>k.</td><td>-5E+07</td><td>339511</td><td>5,2336</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,037719502</td><td>k.</td><td>-0,041</td><td>5,45209</td><td>5,4521</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,093209698</td><td>k.</td><td>4,8056</td><td>9,2434</td><td>6,1357</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,037719455	k.	171908	-1E+07	5,4521	gaus	0,019257977	k.	-5E+07	339511	5,2336	linear	0,037719502	k.	-0,041	5,45209	5,4521	spher	0,093209698	k.	4,8056	9,2434	6,1357
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,037719455	k.	171908	-1E+07	5,4521																										
gaus	0,019257977	k.	-5E+07	339511	5,2336																										
linear	0,037719502	k.	-0,041	5,45209	5,4521																										
spher	0,093209698	k.	4,8056	9,2434	6,1357																										

Tab. 44: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Rosenfeld in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Rosenfeld pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,65212332</td><td>k.</td><td>0,44916</td><td>66,8881</td><td>0,0469</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,659944025</td><td>k.</td><td>0,26772</td><td>16,7521</td><td>0,0713</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,643852393</td><td>k.</td><td>0,01177</td><td>0,06577</td><td>0,0658</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,642086942</td><td>k.</td><td>0,25289</td><td>17,1497</td><td>0,0377</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,65212332	k.	0,44916	66,8881	0,0469	gaus	0,659944025	k.	0,26772	16,7521	0,0713	linear	0,643852393	k.	0,01177	0,06577	0,0658	spher	0,642086942	k.	0,25289	17,1497	0,0377
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,65212332	k.	0,44916	66,8881	0,0469																										
gaus	0,659944025	k.	0,26772	16,7521	0,0713																										
linear	0,643852393	k.	0,01177	0,06577	0,0658																										
spher	0,642086942	k.	0,25289	17,1497	0,0377																										
<p>Rosenfeld pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,786405281</td><td>k.</td><td>1,1E+07</td><td>3,2E+09</td><td>0,02332</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,830579726</td><td>k.</td><td>50586,9</td><td>16704,8</td><td>0,05908</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,786405281</td><td>k.</td><td>0,01085</td><td>0,02332</td><td>0,02332</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,786405281</td><td>k.</td><td>4640,66</td><td>641820</td><td>0,02332</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,786405281	k.	1,1E+07	3,2E+09	0,02332	gaus	0,830579726	k.	50586,9	16704,8	0,05908	linear	0,786405281	k.	0,01085	0,02332	0,02332	spher	0,786405281	k.	4640,66	641820	0,02332
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,786405281	k.	1,1E+07	3,2E+09	0,02332																										
gaus	0,830579726	k.	50586,9	16704,8	0,05908																										
linear	0,786405281	k.	0,01085	0,02332	0,02332																										
spher	0,786405281	k.	4640,66	641820	0,02332																										
<p>Rosenfeld AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,058460558</td><td>k.</td><td>-3E+07</td><td>-2E+11</td><td>0,0281</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,044660809</td><td>k.</td><td>51337</td><td>-93191</td><td>0,0299</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,058460658</td><td>k.</td><td>0,0004</td><td>0,0281</td><td>0,0281</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,025904623</td><td>k.</td><td>0,0333</td><td>10</td><td>0,0277</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,058460558	k.	-3E+07	-2E+11	0,0281	gaus	0,044660809	k.	51337	-93191	0,0299	linear	0,058460658	k.	0,0004	0,0281	0,0281	spher	0,025904623	k.	0,0333	10	0,0277
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,058460558	k.	-3E+07	-2E+11	0,0281																										
gaus	0,044660809	k.	51337	-93191	0,0299																										
linear	0,058460658	k.	0,0004	0,0281	0,0281																										
spher	0,025904623	k.	0,0333	10	0,0277																										
<p>Rosenfeld Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,545613264</td><td>k.</td><td>0,0992</td><td>16,9235</td><td>0,0197</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,522318653</td><td>k.</td><td>0,097</td><td>13,7434</td><td>0,0416</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,444825835</td><td>k.</td><td>0,0032</td><td>0,0457</td><td>0,0457</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,558266699</td><td>k.</td><td>0,0972</td><td>16,2315</td><td>0,0323</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,545613264	k.	0,0992	16,9235	0,0197	gaus	0,522318653	k.	0,097	13,7434	0,0416	linear	0,444825835	k.	0,0032	0,0457	0,0457	spher	0,558266699	k.	0,0972	16,2315	0,0323
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,545613264	k.	0,0992	16,9235	0,0197																										
gaus	0,522318653	k.	0,097	13,7434	0,0416																										
linear	0,444825835	k.	0,0032	0,0457	0,0457																										
spher	0,558266699	k.	0,0972	16,2315	0,0323																										
<p>Rosenfeld Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,262457624</td><td>k.</td><td>0,3499</td><td>12,264</td><td>0,09062</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,252293709</td><td>k.</td><td>0,3268</td><td>5,0894</td><td>0,10364</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,200799819</td><td>k.</td><td>0,0095</td><td>0,202</td><td>0,20205</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,228736448</td><td>k.</td><td>0,3361</td><td>10</td><td>0,13152</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,262457624	k.	0,3499	12,264	0,09062	gaus	0,252293709	k.	0,3268	5,0894	0,10364	linear	0,200799819	k.	0,0095	0,202	0,20205	spher	0,228736448	k.	0,3361	10	0,13152
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,262457624	k.	0,3499	12,264	0,09062																										
gaus	0,252293709	k.	0,3268	5,0894	0,10364																										
linear	0,200799819	k.	0,0095	0,202	0,20205																										
spher	0,228736448	k.	0,3361	10	0,13152																										

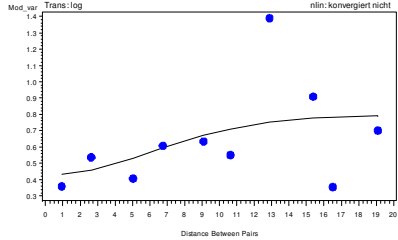
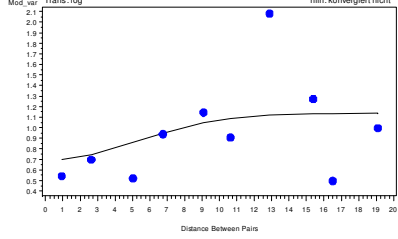
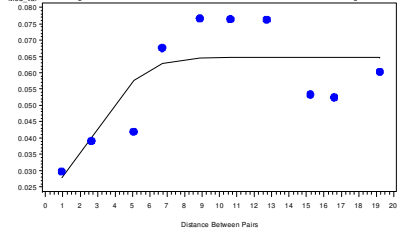
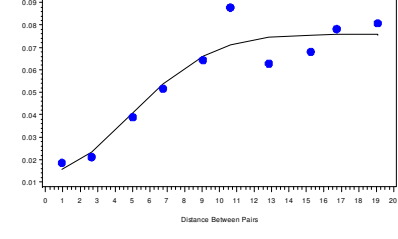
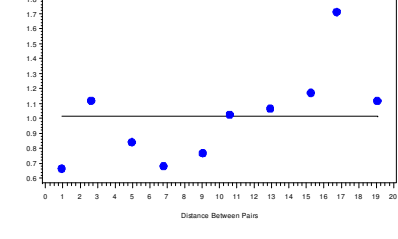


Tab. 45: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Rotenfels in 5 bis 10 cm Bodentiefe

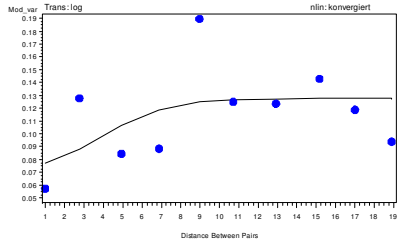
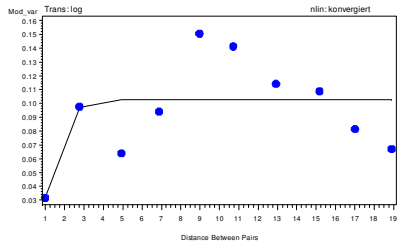
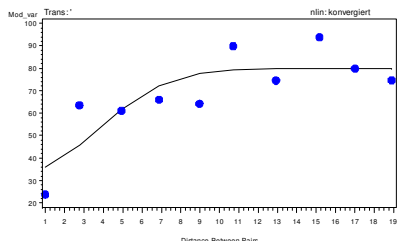
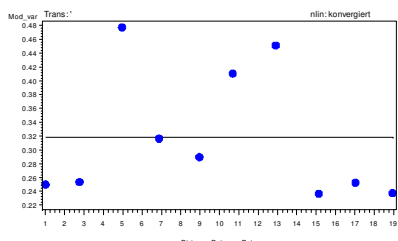
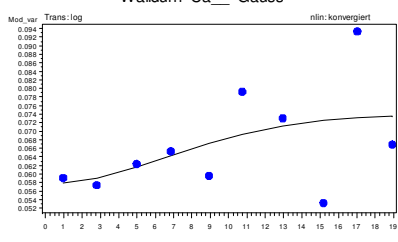
<p>Rotenfels pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,019392158</td><td>k.</td><td>1145980</td><td>-7E+09</td><td>0,08008</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>8,1E+12</td><td>-7E+63</td><td>0,07551</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,019392158</td><td>k.</td><td>-0,0005</td><td>0,08008</td><td>0,08008</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,097376241</td><td>k.</td><td>0,07033</td><td>14,4123</td><td>0,08932</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,019392158	k.	1145980	-7E+09	0,08008	gaus	0	k.	8,1E+12	-7E+63	0,07551	linear	0,019392158	k.	-0,0005	0,08008	0,08008	spher	0,097376241	k.	0,07033	14,4123	0,08932
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,019392158	k.	1145980	-7E+09	0,08008																										
gaus	0	k.	8,1E+12	-7E+63	0,07551																										
linear	0,019392158	k.	-0,0005	0,08008	0,08008																										
spher	0,097376241	k.	0,07033	14,4123	0,08932																										
<p>Rotenfels pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,22761929</td><td>k.</td><td>0,0738</td><td>2,97357</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,100137884</td><td>k.n.</td><td>0,0729</td><td>1,10854</td><td>0,00132</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,126078248</td><td>k.</td><td>0,0012</td><td>0,05878</td><td>0,05878</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,193279266</td><td>k.</td><td>0,074</td><td>5</td><td>0,03628</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,22761929	k.	0,0738	2,97357	1E-08	gaus	0,100137884	k.n.	0,0729	1,10854	0,00132	linear	0,126078248	k.	0,0012	0,05878	0,05878	spher	0,193279266	k.	0,074	5	0,03628
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,22761929	k.	0,0738	2,97357	1E-08																										
gaus	0,100137884	k.n.	0,0729	1,10854	0,00132																										
linear	0,126078248	k.	0,0012	0,05878	0,05878																										
spher	0,193279266	k.	0,074	5	0,03628																										
<p>Rotenfels AKe Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,114430623</td><td>k.</td><td>-2E+06</td><td>4,7E+09</td><td>0,1493</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,1418474</td><td>k.</td><td>-3E+07</td><td>-992692</td><td>0,1452</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,114430639</td><td>k.</td><td>-0,0015</td><td>0,14933</td><td>0,1493</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,012702886</td><td>k.</td><td>0,1328</td><td>10</td><td>0,1426</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,114430623	k.	-2E+06	4,7E+09	0,1493	gaus	0,1418474	k.	-3E+07	-992692	0,1452	linear	0,114430639	k.	-0,0015	0,14933	0,1493	spher	0,012702886	k.	0,1328	10	0,1426
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,114430623	k.	-2E+06	4,7E+09	0,1493																										
gaus	0,1418474	k.	-3E+07	-992692	0,1452																										
linear	0,114430639	k.	-0,0015	0,14933	0,1493																										
spher	0,012702886	k.	0,1328	10	0,1426																										
<p>Rotenfels Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,072312457</td><td>k.</td><td>6E+07</td><td>-1E+11</td><td>0,12486</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,031930822</td><td>k.</td><td>-80552</td><td>-73225</td><td>0,11701</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,072312412</td><td>k.</td><td>-0,0014</td><td>0,1249</td><td>0,12486</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,162010916</td><td>k.</td><td>0,1013</td><td>13,417</td><td>0,13982</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,072312457	k.	6E+07	-1E+11	0,12486	gaus	0,031930822	k.	-80552	-73225	0,11701	linear	0,072312412	k.	-0,0014	0,1249	0,12486	spher	0,162010916	k.	0,1013	13,417	0,13982
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,072312457	k.	6E+07	-1E+11	0,12486																										
gaus	0,031930822	k.	-80552	-73225	0,11701																										
linear	0,072312412	k.	-0,0014	0,1249	0,12486																										
spher	0,162010916	k.	0,1013	13,417	0,13982																										
<p>Rotenfels Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,106211857</td><td>k.</td><td>0,3066</td><td>8,0759</td><td>0,22114</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,098619767</td><td>k.n.</td><td>0,3092</td><td>10,684</td><td>0,25787</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,059583586</td><td>k.</td><td>0,0024</td><td>0,2711</td><td>0,27108</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,106549231</td><td>k.</td><td>0,3077</td><td>10,602</td><td>0,24462</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,106211857	k.	0,3066	8,0759	0,22114	gaus	0,098619767	k.n.	0,3092	10,684	0,25787	linear	0,059583586	k.	0,0024	0,2711	0,27108	spher	0,106549231	k.	0,3077	10,602	0,24462
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,106211857	k.	0,3066	8,0759	0,22114																										
gaus	0,098619767	k.n.	0,3092	10,684	0,25787																										
linear	0,059583586	k.	0,0024	0,2711	0,27108																										
spher	0,106549231	k.	0,3077	10,602	0,24462																										

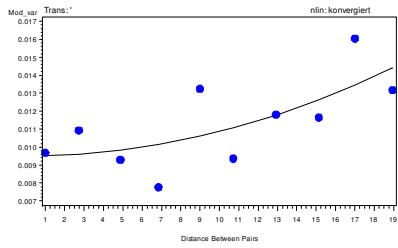
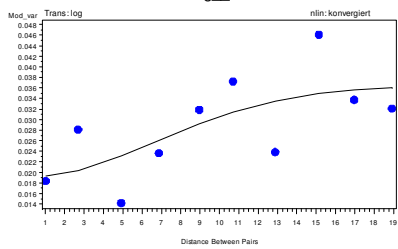
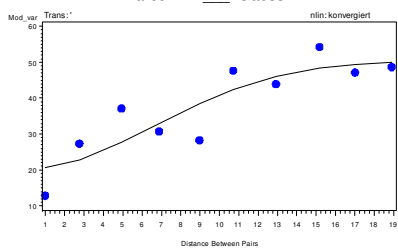
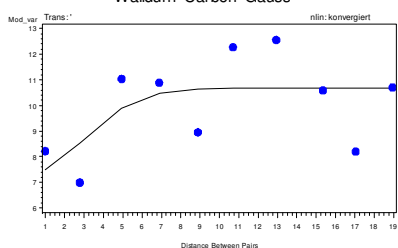
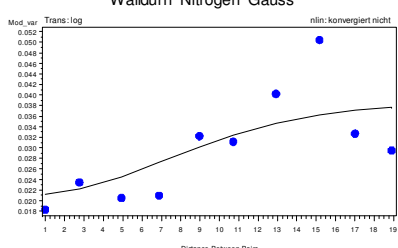
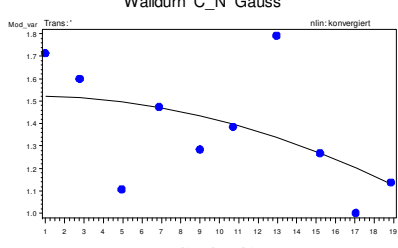
<div>Rotenfels K_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,505798715</td><td>k.</td><td>0,1002</td><td>24,89</td><td>0,2106</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,520673956</td><td>k.</td><td>0,1139</td><td>13,838</td><td>0,1929</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,455589359</td><td>k.</td><td>-0,0046</td><td>0,1874</td><td>0,1874</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,440153089</td><td>k.</td><td>0,1252</td><td>10</td><td>0,2148</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,505798715	k.	0,1002	24,89	0,2106	gaus	0,520673956	k.	0,1139	13,838	0,1929	linear	0,455589359	k.	-0,0046	0,1874	0,1874	spher	0,440153089	k.	0,1252	10	0,2148
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,505798715	k.	0,1002	24,89	0,2106																										
gaus	0,520673956	k.	0,1139	13,838	0,1929																										
linear	0,455589359	k.	-0,0046	0,1874	0,1874																										
spher	0,440153089	k.	0,1252	10	0,2148																										
<div>Rotenfels Mg_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,591596551</td><td>k.</td><td>0,1419</td><td>43,1373</td><td>0,2899</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,610859495</td><td>k.</td><td>0,17915</td><td>17,8611</td><td>0,2733</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,56664339</td><td>k.</td><td>-0,0054</td><td>0,27565</td><td>0,2756</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,436533823</td><td>k.</td><td>0,20444</td><td>10</td><td>0,2978</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,591596551	k.	0,1419	43,1373	0,2899	gaus	0,610859495	k.	0,17915	17,8611	0,2733	linear	0,56664339	k.	-0,0054	0,27565	0,2756	spher	0,436533823	k.	0,20444	10	0,2978
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,591596551	k.	0,1419	43,1373	0,2899																										
gaus	0,610859495	k.	0,17915	17,8611	0,2733																										
linear	0,56664339	k.	-0,0054	0,27565	0,2756																										
spher	0,436533823	k.	0,20444	10	0,2978																										
<div>Rotenfels Al_ Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,036654411</td><td>k.</td><td>-2,9E+08</td><td>-5E+11</td><td>0,17211</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,018985762</td><td>k.</td><td>40400,7</td><td>44765,8</td><td>0,18126</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,036654321</td><td>k.</td><td>0,00172</td><td>0,17211</td><td>0,17211</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,234453769</td><td>k.</td><td>0,20025</td><td>5</td><td>0,08679</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,036654411	k.	-2,9E+08	-5E+11	0,17211	gaus	0,018985762	k.	40400,7	44765,8	0,18126	linear	0,036654321	k.	0,00172	0,17211	0,17211	spher	0,234453769	k.	0,20025	5	0,08679
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,036654411	k.	-2,9E+08	-5E+11	0,17211																										
gaus	0,018985762	k.	40400,7	44765,8	0,18126																										
linear	0,036654321	k.	0,00172	0,17211	0,17211																										
spher	0,234453769	k.	0,20025	5	0,08679																										
<div>Rotenfels Carbon Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,148001269</td><td>k.</td><td>0,22397</td><td>2,68819</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,165936042</td><td>k.</td><td>0,2239</td><td>-1,7203</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,147325134</td><td>k.</td><td>0,0045</td><td>0,17006</td><td>0,17006</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,072938806</td><td>k.</td><td>0,22663</td><td>10</td><td>0,1638</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,148001269	k.	0,22397	2,68819	1E-08	gaus	0,165936042	k.	0,2239	-1,7203	1E-08	linear	0,147325134	k.	0,0045	0,17006	0,17006	spher	0,072938806	k.	0,22663	10	0,1638
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,148001269	k.	0,22397	2,68819	1E-08																										
gaus	0,165936042	k.	0,2239	-1,7203	1E-08																										
linear	0,147325134	k.	0,0045	0,17006	0,17006																										
spher	0,072938806	k.	0,22663	10	0,1638																										
<div>Rotenfels Nitrogen Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,163137563</td><td>k.</td><td>0,1994</td><td>2,66577</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,174575501</td><td>k.</td><td>0,199</td><td>-1,6479</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,125353147</td><td>k.</td><td>0,0034</td><td>0,15742</td><td>0,15742</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,12045297</td><td>k.</td><td>0,2002</td><td>5,71697</td><td>0,119</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,163137563	k.	0,1994	2,66577	1E-08	gaus	0,174575501	k.	0,199	-1,6479	1E-08	linear	0,125353147	k.	0,0034	0,15742	0,15742	spher	0,12045297	k.	0,2002	5,71697	0,119
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,163137563	k.	0,1994	2,66577	1E-08																										
gaus	0,174575501	k.	0,199	-1,6479	1E-08																										
linear	0,125353147	k.	0,0034	0,15742	0,15742																										
spher	0,12045297	k.	0,2002	5,71697	0,119																										
<div>Rotenfels C_N Gauss</div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,658739009</td><td>k.</td><td>823237</td><td>8,4E+09</td><td>0,00547</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,623704752</td><td>k.</td><td>0,0365</td><td>77,1102</td><td>0,0065</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,658739009</td><td>k.</td><td>0,0003</td><td>0,00547</td><td>0,00547</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,556641703</td><td>k.</td><td>0,0098</td><td>14,674</td><td>0,0048</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,658739009	k.	823237	8,4E+09	0,00547	gaus	0,623704752	k.	0,0365	77,1102	0,0065	linear	0,658739009	k.	0,0003	0,00547	0,00547	spher	0,556641703	k.	0,0098	14,674	0,0048
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,658739009	k.	823237	8,4E+09	0,00547																										
gaus	0,623704752	k.	0,0365	77,1102	0,0065																										
linear	0,658739009	k.	0,0003	0,00547	0,00547																										
spher	0,556641703	k.	0,0098	14,674	0,0048																										

Tab. 46: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Tuttlingen in 5 bis 10 cm Bodentiefe

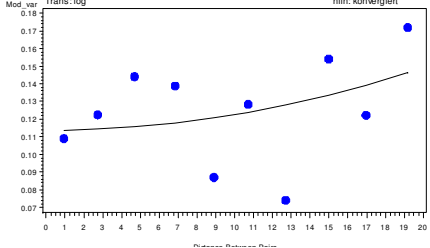
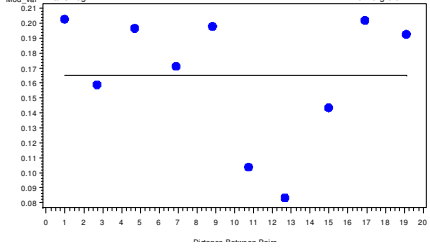
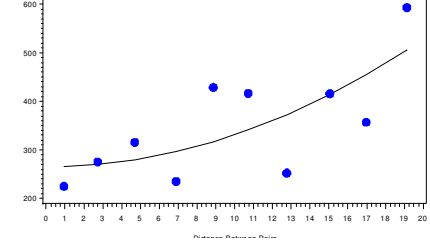
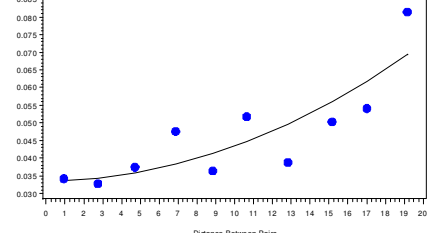
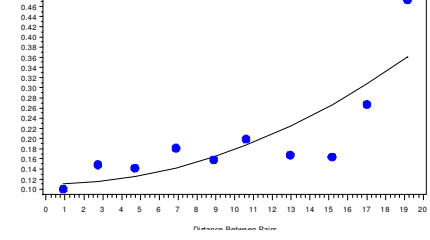
<p>Tuttlingen pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,215687007</td><td>k.</td><td>0,8002</td><td>17,863</td><td>0,2708</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,232252444</td><td>k.n.</td><td>0,7925</td><td>15,0622</td><td>0,4283</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,159001589</td><td>k.</td><td>0,0203</td><td>0,44401</td><td>0,444</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,21584146</td><td>k.</td><td>0,8037</td><td>19,0151</td><td>0,3667</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,215687007	k.	0,8002	17,863	0,2708	gaus	0,232252444	k.n.	0,7925	15,0622	0,4283	linear	0,159001589	k.	0,0203	0,44401	0,444	spher	0,21584146	k.	0,8037	19,0151	0,3667
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,215687007	k.	0,8002	17,863	0,2708																										
gaus	0,232252444	k.n.	0,7925	15,0622	0,4283																										
linear	0,159001589	k.	0,0203	0,44401	0,444																										
spher	0,21584146	k.	0,8037	19,0151	0,3667																										
<p>Tuttlingen pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,145785909</td><td>k.</td><td>-4E+07</td><td>-4E+09</td><td>0,6656</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,237591956</td><td>k.n.</td><td>1,1369</td><td>12,5612</td><td>0,6917</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,145785912</td><td>k.</td><td>0,0298</td><td>0,66556</td><td>0,6656</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,279035811</td><td>k.</td><td>1,16</td><td>13,5742</td><td>0,3949</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,145785909	k.	-4E+07	-4E+09	0,6656	gaus	0,237591956	k.n.	1,1369	12,5612	0,6917	linear	0,145785912	k.	0,0298	0,66556	0,6656	spher	0,279035811	k.	1,16	13,5742	0,3949
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,145785909	k.	-4E+07	-4E+09	0,6656																										
gaus	0,237591956	k.n.	1,1369	12,5612	0,6917																										
linear	0,145785912	k.	0,0298	0,66556	0,6656																										
spher	0,279035811	k.	1,16	13,5742	0,3949																										
<p>Tuttlingen Carbon Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,225507686</td><td>k.</td><td>18754</td><td>4,3E+07</td><td>0,0444</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,6144731</td><td>k.n.</td><td>0,0647</td><td>6,69653</td><td>0,0255</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,22550757</td><td>k.</td><td>0,0013</td><td>0,04443</td><td>0,0444</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,652410598</td><td>k.</td><td>0,0658</td><td>9,55354</td><td>0,0207</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,225507686	k.	18754	4,3E+07	0,0444	gaus	0,6144731	k.n.	0,0647	6,69653	0,0255	linear	0,22550757	k.	0,0013	0,04443	0,0444	spher	0,652410598	k.	0,0658	9,55354	0,0207
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,225507686	k.	18754	4,3E+07	0,0444																										
gaus	0,6144731	k.n.	0,0647	6,69653	0,0255																										
linear	0,22550757	k.	0,0013	0,04443	0,0444																										
spher	0,652410598	k.	0,0658	9,55354	0,0207																										
<p>Tuttlingen Nitrogen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,867035493</td><td>k.</td><td>0,08562</td><td>21,4843</td><td>0,0024</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,900236213</td><td>k.</td><td>0,07596</td><td>11,585</td><td>0,0143</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,762919447</td><td>k.</td><td>0,00347</td><td>0,02294</td><td>0,0229</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,888409224</td><td>k.</td><td>0,07443</td><td>12,7057</td><td>0,0041</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,867035493	k.	0,08562	21,4843	0,0024	gaus	0,900236213	k.	0,07596	11,585	0,0143	linear	0,762919447	k.	0,00347	0,02294	0,0229	spher	0,888409224	k.	0,07443	12,7057	0,0041
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,867035493	k.	0,08562	21,4843	0,0024																										
gaus	0,900236213	k.	0,07596	11,585	0,0143																										
linear	0,762919447	k.	0,00347	0,02294	0,0229																										
spher	0,888409224	k.	0,07443	12,7057	0,0041																										
<p>Tuttlingen C_N Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,432110329</td><td>k.</td><td>3E+07</td><td>2,6E+09</td><td>0,68823</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>-1E+15</td><td>-8E+67</td><td>1,01668</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,43211033</td><td>k.</td><td>0,0332</td><td>0,68823</td><td>0,68823</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,16096878</td><td>k.</td><td>1,0946</td><td>10</td><td>0,69309</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,432110329	k.	3E+07	2,6E+09	0,68823	gaus	0	k.	-1E+15	-8E+67	1,01668	linear	0,43211033	k.	0,0332	0,68823	0,68823	spher	0,16096878	k.	1,0946	10	0,69309
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,432110329	k.	3E+07	2,6E+09	0,68823																										
gaus	0	k.	-1E+15	-8E+67	1,01668																										
linear	0,43211033	k.	0,0332	0,68823	0,68823																										
spher	0,16096878	k.	1,0946	10	0,69309																										

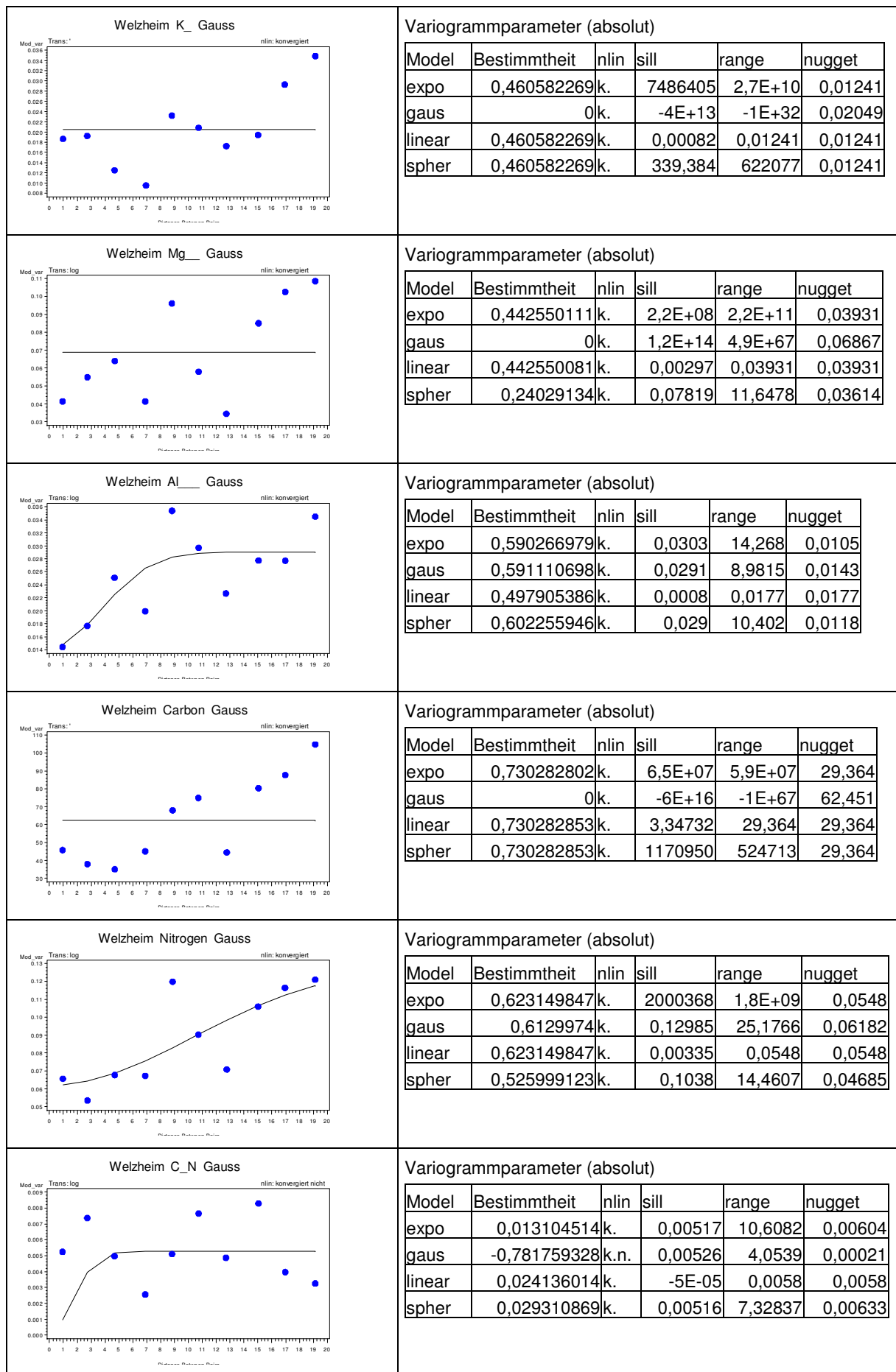
Tab. 47: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Walldürn in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Walldürn pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,290789809</td><td>k.</td><td>0,124</td><td>4,285</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,256868646</td><td>k.</td><td>0,128</td><td>8,9194</td><td>0,0751</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,089872038</td><td>k.</td><td>0,002</td><td>0,0973</td><td>0,0973</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,288076233</td><td>k.</td><td>0,128</td><td>10,007</td><td>0,0629</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,290789809	k.	0,124	4,285	1E-08	gaus	0,256868646	k.	0,128	8,9194	0,0751	linear	0,089872038	k.	0,002	0,0973	0,0973	spher	0,288076233	k.	0,128	10,007	0,0629
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,290789809	k.	0,124	4,285	1E-08																										
gaus	0,256868646	k.	0,128	8,9194	0,0751																										
linear	0,089872038	k.	0,002	0,0973	0,0973																										
spher	0,288076233	k.	0,128	10,007	0,0629																										
<p>Walldürn pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,389467549</td><td>k.</td><td>0,1066</td><td>6,3152</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,382520446</td><td>k.</td><td>0,1028</td><td>2,8355</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,056419123</td><td>k.</td><td>0,0014</td><td>0,0811</td><td>0,0811</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,390753149</td><td>k.</td><td>0,1088</td><td>9,4525</td><td>0,0332</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,389467549	k.	0,1066	6,3152	1E-08	gaus	0,382520446	k.	0,1028	2,8355	1E-08	linear	0,056419123	k.	0,0014	0,0811	0,0811	spher	0,390753149	k.	0,1088	9,4525	0,0332
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,389467549	k.	0,1066	6,3152	1E-08																										
gaus	0,382520446	k.	0,1028	2,8355	1E-08																										
linear	0,056419123	k.	0,0014	0,0811	0,0811																										
spher	0,390753149	k.	0,1088	9,4525	0,0332																										
<p>Walldürn Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,77064744</td><td>k.</td><td>80,524</td><td>9,42524</td><td>8,82621</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,691490464</td><td>k.</td><td>79,869</td><td>8,9246</td><td>34,2268</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,545255374</td><td>k.</td><td>2,357</td><td>45,7642</td><td>45,7642</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,714351347</td><td>k.</td><td>79,51</td><td>10</td><td>25,4384</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,77064744	k.	80,524	9,42524	8,82621	gaus	0,691490464	k.	79,869	8,9246	34,2268	linear	0,545255374	k.	2,357	45,7642	45,7642	spher	0,714351347	k.	79,51	10	25,4384
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,77064744	k.	80,524	9,42524	8,82621																										
gaus	0,691490464	k.	79,869	8,9246	34,2268																										
linear	0,545255374	k.	2,357	45,7642	45,7642																										
spher	0,714351347	k.	79,51	10	25,4384																										
<p>Walldürn Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,026749534</td><td>k.</td><td>1E+07</td><td>-1E+10</td><td>0,34251</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>9E+14</td><td>-2E+32</td><td>0,31756</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,026749535</td><td>k.</td><td>-0,0025</td><td>0,34251</td><td>0,34251</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,031626516</td><td>k.</td><td>0,328</td><td>10</td><td>0,27316</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,026749534	k.	1E+07	-1E+10	0,34251	gaus	0	k.	9E+14	-2E+32	0,31756	linear	0,026749535	k.	-0,0025	0,34251	0,34251	spher	0,031626516	k.	0,328	10	0,27316
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,026749534	k.	1E+07	-1E+10	0,34251																										
gaus	0	k.	9E+14	-2E+32	0,31756																										
linear	0,026749535	k.	-0,0025	0,34251	0,34251																										
spher	0,031626516	k.	0,328	10	0,27316																										
<p>Walldürn Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,23565421</td><td>k.</td><td>0,0851</td><td>56,1195</td><td>0,05567</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,242013443</td><td>k.</td><td>0,0739</td><td>16,5867</td><td>0,05778</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,230557223</td><td>k.</td><td>0,0009</td><td>0,05755</td><td>0,05755</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,184540168</td><td>k.</td><td>0,0702</td><td>10</td><td>0,05319</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,23565421	k.	0,0851	56,1195	0,05567	gaus	0,242013443	k.	0,0739	16,5867	0,05778	linear	0,230557223	k.	0,0009	0,05755	0,05755	spher	0,184540168	k.	0,0702	10	0,05319
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,23565421	k.	0,0851	56,1195	0,05567																										
gaus	0,242013443	k.	0,0739	16,5867	0,05778																										
linear	0,230557223	k.	0,0009	0,05755	0,05755																										
spher	0,184540168	k.	0,0702	10	0,05319																										

<div>Walddürn K_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,439483317</td><td>k.</td><td>1574,89</td><td>2E+07</td><td>0,00868</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,495914347</td><td>k.</td><td>2,1E+07</td><td>-2E+06</td><td>0,0095</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,439483317</td><td>k.</td><td>0,00026</td><td>0,0087</td><td>0,00868</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,439483317</td><td>k.</td><td>58,015</td><td>329418</td><td>0,00868</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,439483317	k.	1574,89	2E+07	0,00868	gaus	0,495914347	k.	2,1E+07	-2E+06	0,0095	linear	0,439483317	k.	0,00026	0,0087	0,00868	spher	0,439483317	k.	58,015	329418	0,00868
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,439483317	k.	1574,89	2E+07	0,00868																										
gaus	0,495914347	k.	2,1E+07	-2E+06	0,0095																										
linear	0,439483317	k.	0,00026	0,0087	0,00868																										
spher	0,439483317	k.	58,015	329418	0,00868																										
<div>Walddürn Mg_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,428972065</td><td>k.</td><td>0,0459</td><td>49,9636</td><td>0,0169</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,463047528</td><td>k.</td><td>0,0363</td><td>16,5882</td><td>0,0191</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,414649798</td><td>k.</td><td>0,001</td><td>0,01914</td><td>0,0191</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,448639062</td><td>k.</td><td>0,0354</td><td>17,9016</td><td>0,0165</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,428972065	k.	0,0459	49,9636	0,0169	gaus	0,463047528	k.	0,0363	16,5882	0,0191	linear	0,414649798	k.	0,001	0,01914	0,0191	spher	0,448639062	k.	0,0354	17,9016	0,0165
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,428972065	k.	0,0459	49,9636	0,0169																										
gaus	0,463047528	k.	0,0363	16,5882	0,0191																										
linear	0,414649798	k.	0,001	0,01914	0,0191																										
spher	0,448639062	k.	0,0354	17,9016	0,0165																										
<div>Walddürn Al_ Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,79657873</td><td>k.</td><td>55,866</td><td>27,506</td><td>11,885</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,761237057</td><td>k.</td><td>50,481</td><td>16,2</td><td>20,286</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,745473573</td><td>k.</td><td>1,8181</td><td>19,791</td><td>19,791</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,668276765</td><td>k.</td><td>44,443</td><td>10</td><td>9,9417</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,79657873	k.	55,866	27,506	11,885	gaus	0,761237057	k.	50,481	16,2	20,286	linear	0,745473573	k.	1,8181	19,791	19,791	spher	0,668276765	k.	44,443	10	9,9417
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,79657873	k.	55,866	27,506	11,885																										
gaus	0,761237057	k.	50,481	16,2	20,286																										
linear	0,745473573	k.	1,8181	19,791	19,791																										
spher	0,668276765	k.	44,443	10	9,9417																										
<div>Walddürn Carbon Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,129866674</td><td>k.</td><td>2E+07</td><td>5,5E+08</td><td>8,9592</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,368857319</td><td>k.</td><td>10,683</td><td>7,13899</td><td>7,2987</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,129866669</td><td>k.</td><td>0,1091</td><td>8,95918</td><td>8,9592</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,339332162</td><td>k.</td><td>10,724</td><td>10</td><td>7,1679</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,129866674	k.	2E+07	5,5E+08	8,9592	gaus	0,368857319	k.	10,683	7,13899	7,2987	linear	0,129866669	k.	0,1091	8,95918	8,9592	spher	0,339332162	k.	10,724	10	7,1679
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,129866674	k.	2E+07	5,5E+08	8,9592																										
gaus	0,368857319	k.	10,683	7,13899	7,2987																										
linear	0,129866669	k.	0,1091	8,95918	8,9592																										
spher	0,339332162	k.	10,724	10	7,1679																										
<div>Walddürn Nitrogen Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,48167646</td><td>k.</td><td>-132902</td><td>-4E+08</td><td>0,01874</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,56345281</td><td>k.n.</td><td>0,03819</td><td>17,8182</td><td>0,02101</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,48167646</td><td>k.</td><td>0,00113</td><td>0,01874</td><td>0,01874</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,590854427</td><td>k.</td><td>0,03711</td><td>16,3676</td><td>0,01416</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,48167646	k.	-132902	-4E+08	0,01874	gaus	0,56345281	k.n.	0,03819	17,8182	0,02101	linear	0,48167646	k.	0,00113	0,01874	0,01874	spher	0,590854427	k.	0,03711	16,3676	0,01416
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,48167646	k.	-132902	-4E+08	0,01874																										
gaus	0,56345281	k.n.	0,03819	17,8182	0,02101																										
linear	0,48167646	k.	0,00113	0,01874	0,01874																										
spher	0,590854427	k.	0,03711	16,3676	0,01416																										
<div>Walddürn C_N Gauss</div> 	<div>Variogramparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,266305845</td><td>k.</td><td>1,3066</td><td>6,071</td><td>2,00914</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,26954323</td><td>k.</td><td>-144370</td><td>-19816</td><td>1,52279</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,270286716</td><td>k.</td><td>-0,0227</td><td>1,6023</td><td>1,60235</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,224911597</td><td>k.</td><td>1,2978</td><td>10</td><td>1,7128</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,266305845	k.	1,3066	6,071	2,00914	gaus	0,26954323	k.	-144370	-19816	1,52279	linear	0,270286716	k.	-0,0227	1,6023	1,60235	spher	0,224911597	k.	1,2978	10	1,7128
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,266305845	k.	1,3066	6,071	2,00914																										
gaus	0,26954323	k.	-144370	-19816	1,52279																										
linear	0,270286716	k.	-0,0227	1,6023	1,60235																										
spher	0,224911597	k.	1,2978	10	1,7128																										

Tab. 48: Variogrammanpassungen auf der Versuchsfläche Welzheim in 5 bis 10 cm Bodentiefe

<p>Welzheim pH_H2O_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,085952424</td><td>k.</td><td>1,9E+07</td><td>4,1E+10</td><td>0,11129</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,14539981</td><td>k.</td><td>306880</td><td>101553</td><td>0,11355</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,085952412</td><td>k.</td><td>0,00142</td><td>0,11129</td><td>0,11129</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,009034722</td><td>k.</td><td>0,12707</td><td>10</td><td>0,11791</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,085952424	k.	1,9E+07	4,1E+10	0,11129	gaus	0,14539981	k.	306880	101553	0,11355	linear	0,085952412	k.	0,00142	0,11129	0,11129	spher	0,009034722	k.	0,12707	10	0,11791
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,085952424	k.	1,9E+07	4,1E+10	0,11129																										
gaus	0,14539981	k.	306880	101553	0,11355																										
linear	0,085952412	k.	0,00142	0,11129	0,11129																										
spher	0,009034722	k.	0,12707	10	0,11791																										
<p>Welzheim pH_KCL_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,107614715</td><td>k.n.</td><td>0,15488</td><td>11,4127</td><td>0,20305</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-8E+14</td><td>1,6E+54</td><td>0,16536</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,026453912</td><td>k.</td><td>-0,0011</td><td>0,17662</td><td>0,17662</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,116074519</td><td>k.</td><td>0,15604</td><td>10</td><td>0,20375</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,107614715	k.n.	0,15488	11,4127	0,20305	gaus		0k.	-8E+14	1,6E+54	0,16536	linear	0,026453912	k.	-0,0011	0,17662	0,17662	spher	0,116074519	k.	0,15604	10	0,20375
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,107614715	k.n.	0,15488	11,4127	0,20305																										
gaus		0k.	-8E+14	1,6E+54	0,16536																										
linear	0,026453912	k.	-0,0011	0,17662	0,17662																										
spher	0,116074519	k.	0,15604	10	0,20375																										
<p>Welzheim Ake Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,501139007</td><td>k.</td><td>2,2E+10</td><td>4,9E+09</td><td>220,361</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,525140494</td><td>k.</td><td>1,3E+09</td><td>76881,8</td><td>264,808</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,501139001</td><td>k.</td><td>13,2736</td><td>220,361</td><td>220,361</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,355618733</td><td>k.</td><td>405,453</td><td>13,3135</td><td>196,284</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,501139007	k.	2,2E+10	4,9E+09	220,361	gaus	0,525140494	k.	1,3E+09	76881,8	264,808	linear	0,501139001	k.	13,2736	220,361	220,361	spher	0,355618733	k.	405,453	13,3135	196,284
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,501139007	k.	2,2E+10	4,9E+09	220,361																										
gaus	0,525140494	k.	1,3E+09	76881,8	264,808																										
linear	0,501139001	k.	13,2736	220,361	220,361																										
spher	0,355618733	k.	405,453	13,3135	196,284																										
<p>Welzheim Basen Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,632110188</td><td>k.</td><td>3665755</td><td>5,9E+09</td><td>0,0279</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,72518656</td><td>k.</td><td>7640,58</td><td>15354,7</td><td>0,0337</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,632110188</td><td>k.</td><td>0,00188</td><td>0,02795</td><td>0,0279</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,296116918</td><td>k.</td><td>0,05155</td><td>10</td><td>0,0258</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,632110188	k.	3665755	5,9E+09	0,0279	gaus	0,72518656	k.	7640,58	15354,7	0,0337	linear	0,632110188	k.	0,00188	0,02795	0,0279	spher	0,296116918	k.	0,05155	10	0,0258
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,632110188	k.	3665755	5,9E+09	0,0279																										
gaus	0,72518656	k.	7640,58	15354,7	0,0337																										
linear	0,632110188	k.	0,00188	0,02795	0,0279																										
spher	0,296116918	k.	0,05155	10	0,0258																										
<p>Welzheim Ca_ Gauss</p> 	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,562842242</td><td>k.</td><td>7187832</td><td>1,7E+09</td><td>0,07368</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,685476963</td><td>k.</td><td>1,8E+09</td><td>2843876</td><td>0,10982</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,562842247</td><td>k.</td><td>0,01278</td><td>0,07368</td><td>0,07368</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,230191315</td><td>k.</td><td>0,2323</td><td>10</td><td>0,06876</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,562842242	k.	7187832	1,7E+09	0,07368	gaus	0,685476963	k.	1,8E+09	2843876	0,10982	linear	0,562842247	k.	0,01278	0,07368	0,07368	spher	0,230191315	k.	0,2323	10	0,06876
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,562842242	k.	7187832	1,7E+09	0,07368																										
gaus	0,685476963	k.	1,8E+09	2843876	0,10982																										
linear	0,562842247	k.	0,01278	0,07368	0,07368																										
spher	0,230191315	k.	0,2323	10	0,06876																										

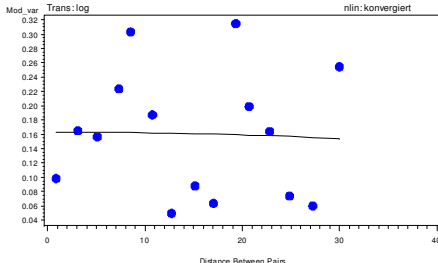
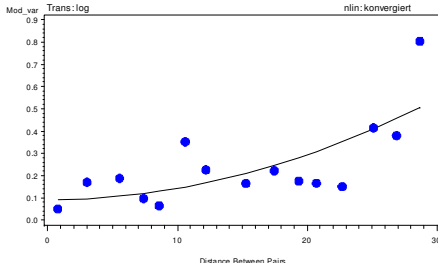
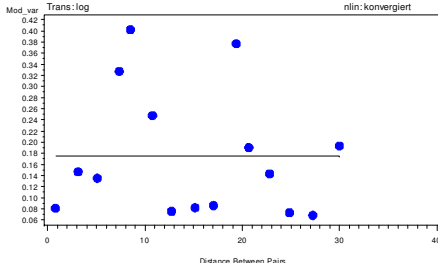
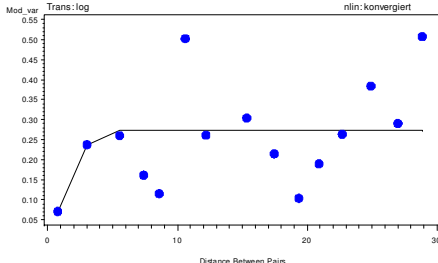


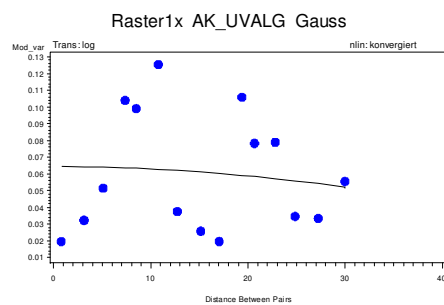
Tab. 49: Korrelationskoeffizienten auf den Level II-Versuchsflächen

Tiefe 0 bis 5 cm									
Flaeche	H ⁺ -H ₂ O	H ⁺ -KCL	AKe	Basen%	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	N
Alt	0,56	0,50	0,48	0,58	0,66	0,59	0,78	-0,13	0,94
Con	0,60	0,71	0,80	0,19	0,40	0,44	0,72	0,75	0,92
HeiCA	0,27	0,22	0,84	0,29	0,57	0,81	0,61	0,12	0,97
HeiNU	0,65	0,71	0,68	0,63	0,69	0,71	0,78	0,17	0,97
Mue	0,52	0,52	0,54	0,42	0,49	0,26	0,58	0,35	0,97
OchDO	0,45	0,52	0,59	-0,27	-0,21	0,67	-0,18	0,38	0,92
OchNU	0,64	0,71	0,83	0,43	0,47	0,73	0,76	0,53	0,94
Ros	0,67	0,65	0,59	0,35	0,55	0,65	0,50	0,25	0,97
Rot	0,65	0,79	0,89	0,48	0,76	0,82	0,87	0,74	0,97
Tut	-0,22	-0,22							0,78
Wal	0,53	0,64	0,78	0,32	0,41	0,51	0,68	0,63	0,95
Wel	0,47	0,35	0,39	0,57	0,55	0,49	0,69	0,07	0,97
Median	0,55	0,58	0,68	0,42	0,55	0,65	0,69	0,35	0,96
Mittel	0,48	0,51	0,67	0,36	0,49	0,61	0,62	0,35	0,94

Tiefe 5 bis 10 cm									
Flaeche	H ⁺ -H ₂ O	H ⁺ -KCL	AKe	Basen%	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	N
Alt	0,84	0,80	0,72	0,21	0,53	0,07	0,72	0,51	0,94
Con	0,50	0,58	0,83	0,28	0,42	0,42	0,78	0,68	0,87
HeiCA	0,43	0,34	0,58	-0,06	0,20	0,52	0,27	0,29	0,96
HeiNU	0,34	0,37	0,63	0,34	0,48	0,60	0,74	0,31	0,91
Mue	0,51	0,41	0,67	0,22	0,39	0,18	0,70	0,45	0,98
OchDO	0,49	0,53	0,80	-0,27	-0,15	0,58	-0,09	0,58	0,89
OchNU	0,80	0,88	0,94	-0,19	0,17	0,73	0,84	0,92	0,97
Ros	0,54	0,43	0,88	-0,13	0,27	0,40	0,19	0,76	0,96
Rot	0,66	0,78	0,72	0,26	0,68	0,77	0,80	0,42	0,97
Tut	-0,48	-0,58							0,95
Wal	0,60	0,65	0,74	-0,06	0,27	0,26	0,70	0,70	0,95
Wel	0,73	0,67	0,87	0,25	0,62	0,40	0,81	0,71	0,96
Median	0,53	0,56	0,74	0,21	0,39	0,42	0,72	0,58	0,96
Mittel	0,50	0,49	0,76	0,08	0,35	0,45	0,59	0,58	0,94

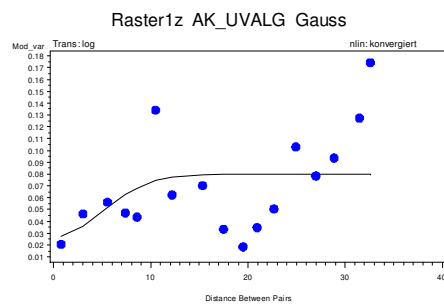
Tab. 50: Anpassung theoretischer Variogramme im Buchenmischbestand. Die Kronenstraten wurden nach Prüfung auf Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit zusammengefasst (Raster 1x= Kronenkern, 1z= Kronenlücke und 1: Kern und Lücke zusammengefasst).

<div><div>Raster1x pH_H2O Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,03754728</td><td>k.</td><td>0,165</td><td>2,78111</td><td>9,95E-09</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,001099925</td><td>k.</td><td>-7451,4</td><td>-46899,6</td><td>0,163321</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,001127217</td><td>k.</td><td>-0,00032</td><td>0,16512</td><td>0,165125</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,037949933</td><td>k.</td><td>0,16465</td><td>3,10443</td><td>0,052271</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,03754728	k.	0,165	2,78111	9,95E-09	gaus	0,001099925	k.	-7451,4	-46899,6	0,163321	linear	0,001127217	k.	-0,00032	0,16512	0,165125	spher	0,037949933	k.	0,16465	3,10443	0,052271
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,03754728	k.	0,165	2,78111	9,95E-09																										
gaus	0,001099925	k.	-7451,4	-46899,6	0,163321																										
linear	0,001127217	k.	-0,00032	0,16512	0,165125																										
spher	0,037949933	k.	0,16465	3,10443	0,052271																										
<div><div>Raster1z pH_H2O Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,432824014</td><td>k.</td><td>1124863</td><td>2,4E+08</td><td>0,03326</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,536003451</td><td>k.</td><td>300346</td><td>42287,2</td><td>0,09185</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,432824038</td><td>k.</td><td>0,01395</td><td>0,03326</td><td>0,03326</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,12320067</td><td>k.</td><td>0,2728</td><td>10</td><td>0,01783</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,432824014	k.	1124863	2,4E+08	0,03326	gaus	0,536003451	k.	300346	42287,2	0,09185	linear	0,432824038	k.	0,01395	0,03326	0,03326	spher	0,12320067	k.	0,2728	10	0,01783
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,432824014	k.	1124863	2,4E+08	0,03326																										
gaus	0,536003451	k.	300346	42287,2	0,09185																										
linear	0,432824038	k.	0,01395	0,03326	0,03326																										
spher	0,12320067	k.	0,2728	10	0,01783																										
<div><div>Raster1x pH_KCL Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,022549764</td><td>k.</td><td>2458641</td><td>-3,9E+09</td><td>0,20374</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0 k.</td><td>2,4E+15</td><td>2,8E+59</td><td>0,17536</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,022549764</td><td>k.</td><td>-0,00189</td><td>0,20374</td><td>0,20374</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,066667286</td><td>k.</td><td>0,1871</td><td>7,60572</td><td>0,06163</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,022549764	k.	2458641	-3,9E+09	0,20374	gaus		0 k.	2,4E+15	2,8E+59	0,17536	linear	0,022549764	k.	-0,00189	0,20374	0,20374	spher	0,066667286	k.	0,1871	7,60572	0,06163
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,022549764	k.	2458641	-3,9E+09	0,20374																										
gaus		0 k.	2,4E+15	2,8E+59	0,17536																										
linear	0,022549764	k.	-0,00189	0,20374	0,20374																										
spher	0,066667286	k.	0,1871	7,60572	0,06163																										
<div><div>Raster1z pH_KCL Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div>Variogrammparameter (absolut)</div> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,208836432</td><td>k.</td><td>1,7E+08</td><td>7,7E+10</td><td>0,15844</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,163560081</td><td>k.</td><td>0,27421</td><td>3,88715</td><td>0,04483</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,208836456</td><td>k.</td><td>0,00665</td><td>0,15844</td><td>0,15844</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,159098442</td><td>k.</td><td>0,28233</td><td>10</td><td>0,08276</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,208836432	k.	1,7E+08	7,7E+10	0,15844	gaus	0,163560081	k.	0,27421	3,88715	0,04483	linear	0,208836456	k.	0,00665	0,15844	0,15844	spher	0,159098442	k.	0,28233	10	0,08276
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,208836432	k.	1,7E+08	7,7E+10	0,15844																										
gaus	0,163560081	k.	0,27421	3,88715	0,04483																										
linear	0,208836456	k.	0,00665	0,15844	0,15844																										
spher	0,159098442	k.	0,28233	10	0,08276																										

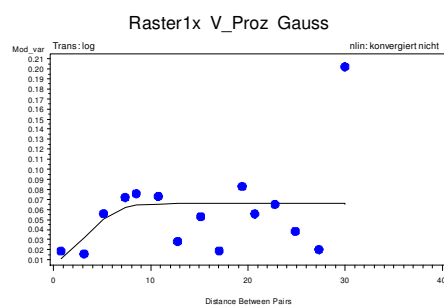


Variogramparameter (absolut)

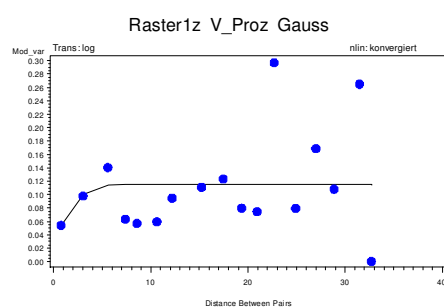
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget
expo	0,125504	k.n.	0,06545	7,56925	1E-08
gaus	0,012499	k.	-1013196	467580,7	0,064376
linear	0,000555	k.	-9,2E-05	0,06155	0,06155
sphe	0,161059	k.	0,065938	7,803901	0,005635

Variogramparameter (absolut)

Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget
expo	0,332147	k.	22198,04	26902406	0,028319
gaus	0,148427	k.	0,079952	12,00641	0,026337
linear	0,332147	k.	0,002475	0,028319	0,028319
spher	0,138706	k.	0,077399	10	0,011809

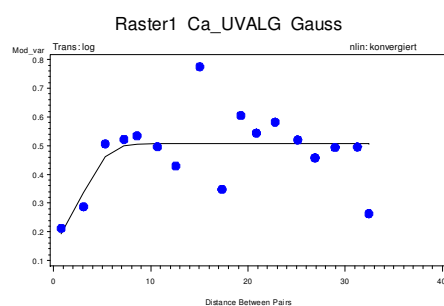
Variogramparameter (absolut)

	Bestimmtheitskoeffizient	Varianzanteil	Varianz	Skalierung	Varianz
Model	t	nlin	sill	range	nugget
expo	0,172116k.		4861782	36,92E+10	0,026728
gaus	0,120072k.n.		0,065714	7,737449	0,00965
linear	0,172116k.		0,002108	0,026728	0,026728
spher	0,118119k.		0,065341	8,832136	0,001768



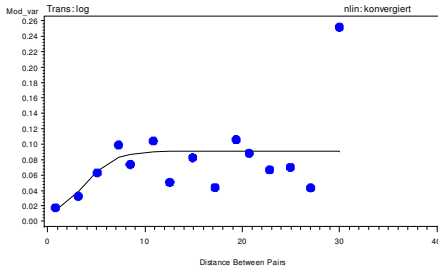
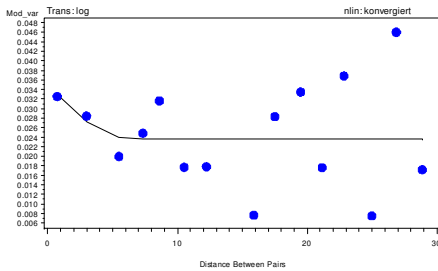
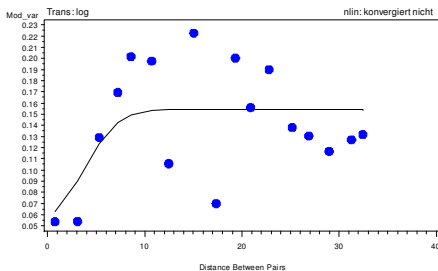
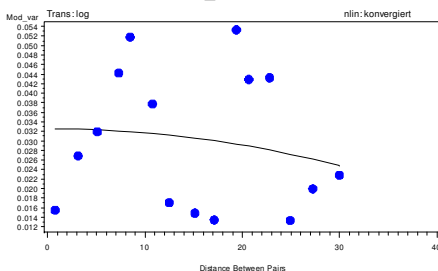
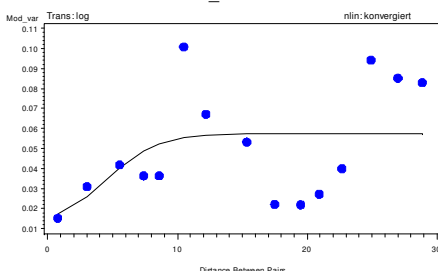
Variogrammparameter (absolut)

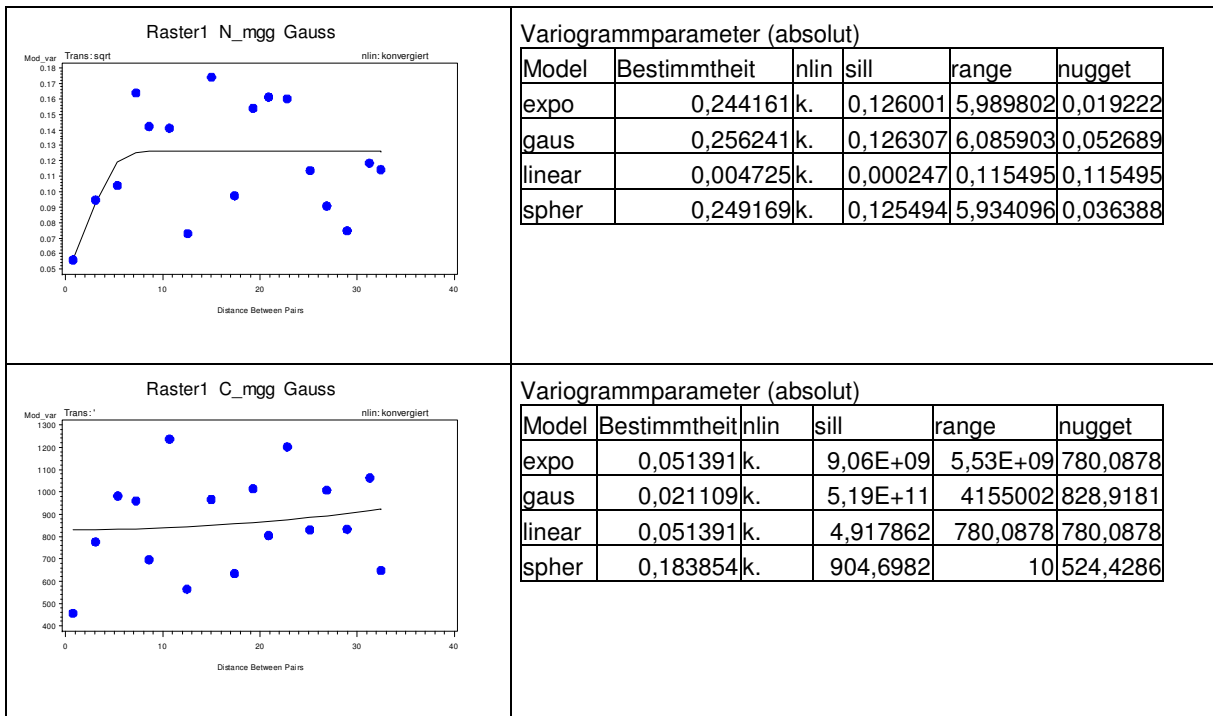
	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget
expo	0,098669	k.	0,176381	83,90808	0,062346
gaus	0,039876	k.	0,114864	4,26797	0,047606
linear	0,094349	k.	0,002277	0,071688	0,071688
spher	0,034526	k.	0,116424	10	0,059877



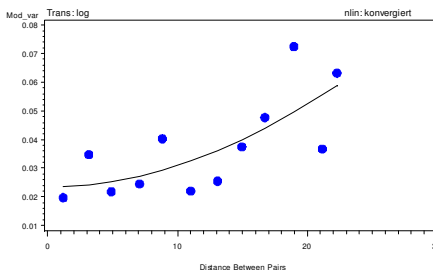
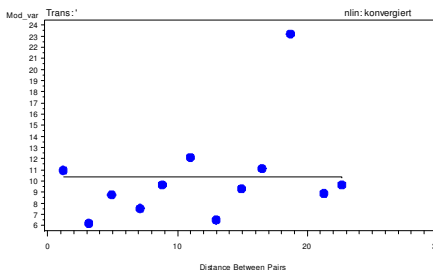
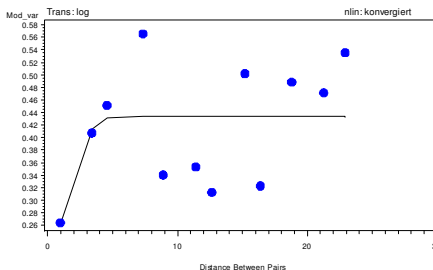
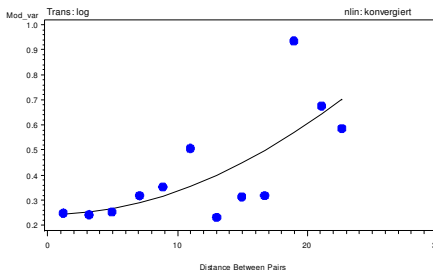
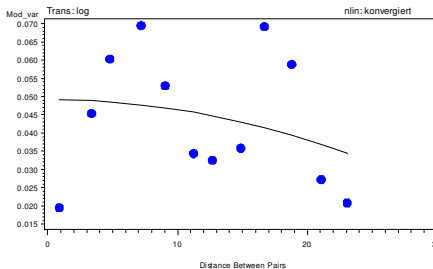
Variogrammparameter (absolut)

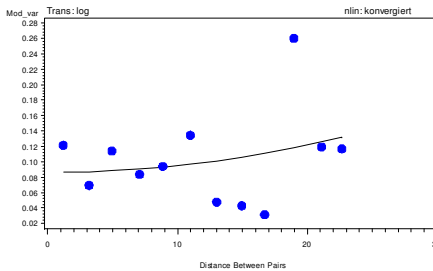
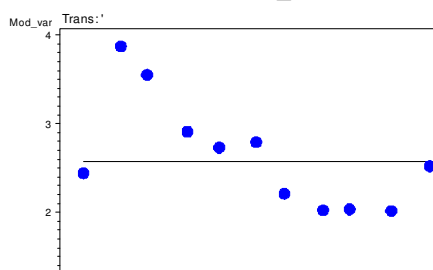
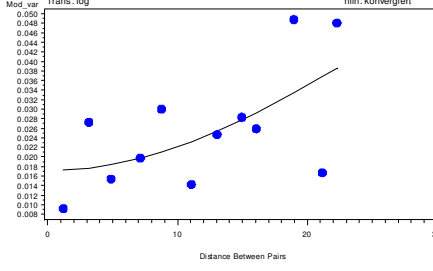
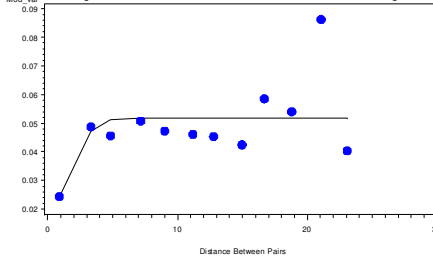
	Be- stimmt				
Model	t	nlin	sill	range	nugget
expo	0,34425	k.	0,507996	7,802693	0,076931
gaus	0,372528	k.	0,506889	6,602739	0,179488
linear	0,02664	k.	0,002221	0,437403	0,437403
spher	0,369999	k.	0,505748	7,585572	0,130399

<div><div>Raster1x K_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,256775403</td><td>k.</td><td>13149,6</td><td>1,3E+07</td><td>0,03389</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,180380249</td><td>k.</td><td>0,09081</td><td>8,45434</td><td>0,01195</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,256775593</td><td>k.</td><td>0,00304</td><td>0,03389</td><td>0,03389</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,177812159</td><td>k.</td><td>0,09062</td><td>10,0644</td><td>0,00218</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,256775403	k.	13149,6	1,3E+07	0,03389	gaus	0,180380249	k.	0,09081	8,45434	0,01195	linear	0,256775593	k.	0,00304	0,03389	0,03389	spher	0,177812159	k.	0,09062	10,0644	0,00218
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,256775403	k.	13149,6	1,3E+07	0,03389																										
gaus	0,180380249	k.	0,09081	8,45434	0,01195																										
linear	0,256775593	k.	0,00304	0,03389	0,03389																										
spher	0,177812159	k.	0,09062	10,0644	0,00218																										
<div><div>Raster1z K_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,001081202</td><td>k.</td><td>4592629</td><td>-3,5E+11</td><td>0,02512</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,053308485</td><td>k.</td><td>0,02365</td><td>5,19229</td><td>0,03347</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,001081202</td><td>k.</td><td>-4E-05</td><td>0,02512</td><td>0,02512</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,045217225</td><td>k.</td><td>0,02345</td><td>10</td><td>0,03221</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,001081202	k.	4592629	-3,5E+11	0,02512	gaus	0,053308485	k.	0,02365	5,19229	0,03347	linear	0,001081202	k.	-4E-05	0,02512	0,02512	spher	0,045217225	k.	0,02345	10	0,03221
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,001081202	k.	4592629	-3,5E+11	0,02512																										
gaus	0,053308485	k.	0,02365	5,19229	0,03347																										
linear	0,001081202	k.	-4E-05	0,02512	0,02512																										
spher	0,045217225	k.	0,02345	10	0,03221																										
<div><div>Raster1 Mg_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert nicht</div></div></div>	<div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>-1E+187</td><td>k.n.</td><td>0,018942</td><td>-0,38322</td><td>0,018942</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,352961</td><td>k.n.</td><td>0,15413</td><td>8,77699</td><td>0,06086</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,024843</td><td>k.</td><td>0,000811</td><td>0,127123</td><td>0,127123</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,373761</td><td>k.</td><td>0,153621</td><td>8,774316</td><td>0,019036</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	-1E+187	k.n.	0,018942	-0,38322	0,018942	gaus	0,352961	k.n.	0,15413	8,77699	0,06086	linear	0,024843	k.	0,000811	0,127123	0,127123	spher	0,373761	k.	0,153621	8,774316	0,019036
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	-1E+187	k.n.	0,018942	-0,38322	0,018942																										
gaus	0,352961	k.n.	0,15413	8,77699	0,06086																										
linear	0,024843	k.	0,000811	0,127123	0,127123																										
spher	0,373761	k.	0,153621	8,774316	0,019036																										
<div><div>Raster1x AL_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,009648051</td><td>k.</td><td>82631</td><td>-1,6E+09</td><td>0,03232</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,028856911</td><td>k.</td><td>-31873</td><td>-105481</td><td>0,03257</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,009648051</td><td>k.</td><td>-0,0002</td><td>0,03232</td><td>0,03232</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,082015979</td><td>k.</td><td>0,0313</td><td>5,26561</td><td>0,01099</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,009648051	k.	82631	-1,6E+09	0,03232	gaus	0,028856911	k.	-31873	-105481	0,03257	linear	0,009648051	k.	-0,0002	0,03232	0,03232	spher	0,082015979	k.	0,0313	5,26561	0,01099
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,009648051	k.	82631	-1,6E+09	0,03232																										
gaus	0,028856911	k.	-31873	-105481	0,03257																										
linear	0,009648051	k.	-0,0002	0,03232	0,03232																										
spher	0,082015979	k.	0,0313	5,26561	0,01099																										
<div><div>Raster1z AL_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,19172655</td><td>k.</td><td>0,05935</td><td>16,1503</td><td>0,00922</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,19797964</td><td>k.</td><td>0,05736</td><td>10,2565</td><td>0,01666</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,207645186</td><td>k.</td><td>0,00145</td><td>0,02867</td><td>0,02867</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,207747147</td><td>k.</td><td>0,05734</td><td>11,9317</td><td>0,01011</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,19172655	k.	0,05935	16,1503	0,00922	gaus	0,19797964	k.	0,05736	10,2565	0,01666	linear	0,207645186	k.	0,00145	0,02867	0,02867	spher	0,207747147	k.	0,05734	11,9317	0,01011
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,19172655	k.	0,05935	16,1503	0,00922																										
gaus	0,19797964	k.	0,05736	10,2565	0,01666																										
linear	0,207645186	k.	0,00145	0,02867	0,02867																										
spher	0,207747147	k.	0,05734	11,9317	0,01011																										



Tab. 51: Anpassung theoretischer Variogramme im Buchen- und Fichtenstangenholz. Die Kronenstraten wurden nach Prüfung auf Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit zusammengefasst (Raster WBu2x/ WFi2x= Kronenkern Fichte/Buche, WBu2z/ WFi2z = Kronenlücke Buche/Fichte).

<div><div>Raster2 AK_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WFi2x – WFi2z</div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,542383</td><td>k.</td><td>0,014804</td><td>-36,9409</td><td>0,022133</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,54786</td><td>k.</td><td>0,31267</td><td>106,5853</td><td>0,0234</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,508082</td><td>k.</td><td>0,001696</td><td>0,016928</td><td>0,016928</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,305726</td><td>k.</td><td>0,044493</td><td>15,95557</td><td>0,014899</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,542383	k.	0,014804	-36,9409	0,022133	gaus	0,54786	k.	0,31267	106,5853	0,0234	linear	0,508082	k.	0,001696	0,016928	0,016928	spher	0,305726	k.	0,044493	15,95557	0,014899
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,542383	k.	0,014804	-36,9409	0,022133																										
gaus	0,54786	k.	0,31267	106,5853	0,0234																										
linear	0,508082	k.	0,001696	0,016928	0,016928																										
spher	0,305726	k.	0,044493	15,95557	0,014899																										
<div><div>Raster2 V_proz Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: ''</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WFi2x – WFi2z</div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,114649</td><td>k.</td><td>-5,5E+07</td><td>-7,8E+08</td><td>7,794076</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0</td><td>k.</td><td>3,49E+16</td><td>1,19E+32</td><td>10,31981</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,114649</td><td>k.</td><td>0,211393</td><td>7,794076</td><td>7,794076</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,116267</td><td>k.</td><td>14,87095</td><td>46,71365</td><td>7,679517</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,114649	k.	-5,5E+07	-7,8E+08	7,794076	gaus	0	k.	3,49E+16	1,19E+32	10,31981	linear	0,114649	k.	0,211393	7,794076	7,794076	spher	0,116267	k.	14,87095	46,71365	7,679517
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,114649	k.	-5,5E+07	-7,8E+08	7,794076																										
gaus	0	k.	3,49E+16	1,19E+32	10,31981																										
linear	0,114649	k.	0,211393	7,794076	7,794076																										
spher	0,116267	k.	14,87095	46,71365	7,679517																										
<div><div>Raster2 Ca_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WBu2x – WFi2z</div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,246447</td><td>k.</td><td>0,433964</td><td>3,096519</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,248689</td><td>k.</td><td>0,434282</td><td>3,895424</td><td>0,228444</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,168746</td><td>k.</td><td>0,005631</td><td>0,350611</td><td>0,350611</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,139275</td><td>k.</td><td>0,438323</td><td>10</td><td>0,306276</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,246447	k.	0,433964	3,096519	1E-08	gaus	0,248689	k.	0,434282	3,895424	0,228444	linear	0,168746	k.	0,005631	0,350611	0,350611	spher	0,139275	k.	0,438323	10	0,306276
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,246447	k.	0,433964	3,096519	1E-08																										
gaus	0,248689	k.	0,434282	3,895424	0,228444																										
linear	0,168746	k.	0,005631	0,350611	0,350611																										
spher	0,139275	k.	0,438323	10	0,306276																										
<div><div>Raster2 Ca_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WFi2x – WFi2z</div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,516789</td><td>k.</td><td>0,129054</td><td>-37,7766</td><td>0,225061</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,520132</td><td>k.</td><td>7,974609</td><td>158,5452</td><td>0,243941</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,485141</td><td>k.</td><td>0,021427</td><td>0,158934</td><td>0,158934</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,485141</td><td>k.</td><td>6514,055</td><td>456015,2</td><td>0,158934</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,516789	k.	0,129054	-37,7766	0,225061	gaus	0,520132	k.	7,974609	158,5452	0,243941	linear	0,485141	k.	0,021427	0,158934	0,158934	spher	0,485141	k.	6514,055	456015,2	0,158934
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,516789	k.	0,129054	-37,7766	0,225061																										
gaus	0,520132	k.	7,974609	158,5452	0,243941																										
linear	0,485141	k.	0,021427	0,158934	0,158934																										
spher	0,485141	k.	6514,055	456015,2	0,158934																										
<div><div>Raster2 K_UVALG Gauss</div><div><div>Mod. var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WBu2x – WFi2z</div><div>Variogrammparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,165653</td><td>k.n.</td><td>0,046165</td><td>3,577006</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,075475</td><td>k.</td><td>-2,3E+08</td><td>4960572</td><td>0,049188</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,024189</td><td>k.</td><td>-0,00039</td><td>0,04858</td><td>0,04858</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,046782</td><td>k.</td><td>0,046027</td><td>10</td><td>0,032069</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,165653	k.n.	0,046165	3,577006	1E-08	gaus	0,075475	k.	-2,3E+08	4960572	0,049188	linear	0,024189	k.	-0,00039	0,04858	0,04858	spher	0,046782	k.	0,046027	10	0,032069
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,165653	k.n.	0,046165	3,577006	1E-08																										
gaus	0,075475	k.	-2,3E+08	4960572	0,049188																										
linear	0,024189	k.	-0,00039	0,04858	0,04858																										
spher	0,046782	k.	0,046027	10	0,032069																										

<div><div>Raster2 K_UVALG Gauss</div><div><div>Mod_var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WFi2x – WFi2z</div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,038857</td><td>k.</td><td>34595,33</td><td>62126606</td><td>0,08305</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,067301</td><td>k.</td><td>2,72E+08</td><td>-3031199</td><td>0,086196</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,038857</td><td>k.</td><td>0,001671</td><td>0,08305</td><td>0,08305</td></tr><tr><td>spher</td><td>9,53E-05</td><td>k.</td><td>0,103385</td><td>10</td><td>0,101209</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,038857	k.	34595,33	62126606	0,08305	gaus	0,067301	k.	2,72E+08	-3031199	0,086196	linear	0,038857	k.	0,001671	0,08305	0,08305	spher	9,53E-05	k.	0,103385	10	0,101209
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,038857	k.	34595,33	62126606	0,08305																										
gaus	0,067301	k.	2,72E+08	-3031199	0,086196																										
linear	0,038857	k.	0,001671	0,08305	0,08305																										
spher	9,53E-05	k.	0,103385	10	0,101209																										
<div><div>Raster2 MG_UVALG Gauss</div><div><div>Mod_var</div><div>Trans: '</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,535023748</td><td>k.</td><td>2,6E+08</td><td>-1,2E+10</td><td>3,36617</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>1,3E+15</td><td>-4,7E+36</td><td>2,57123</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,535023745</td><td>k.</td><td>-0,0662</td><td>3,36617</td><td>3,36617</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,538694177</td><td>k.</td><td>1,70872</td><td>32,8015</td><td>3,4357</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,535023748	k.	2,6E+08	-1,2E+10	3,36617	gaus		0k.	1,3E+15	-4,7E+36	2,57123	linear	0,535023745	k.	-0,0662	3,36617	3,36617	spher	0,538694177	k.	1,70872	32,8015	3,4357
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,535023748	k.	2,6E+08	-1,2E+10	3,36617																										
gaus		0k.	1,3E+15	-4,7E+36	2,57123																										
linear	0,535023745	k.	-0,0662	3,36617	3,36617																										
spher	0,538694177	k.	1,70872	32,8015	3,4357																										
<div><div>Raster2 AI_UVALG Gauss</div><div><div>Mod_var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WFi2x – WFi2z</div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,364925</td><td>k.</td><td>22454,24</td><td>63323110</td><td>0,013069</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,367101</td><td>k.</td><td>0,090424</td><td>65,58855</td><td>0,017194</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,364925</td><td>k.</td><td>0,001064</td><td>0,013069</td><td>0,013069</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,222189</td><td>k.</td><td>0,029576</td><td>12,71112</td><td>0,009837</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,364925	k.	22454,24	63323110	0,013069	gaus	0,367101	k.	0,090424	65,58855	0,017194	linear	0,364925	k.	0,001064	0,013069	0,013069	spher	0,222189	k.	0,029576	12,71112	0,009837
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,364925	k.	22454,24	63323110	0,013069																										
gaus	0,367101	k.	0,090424	65,58855	0,017194																										
linear	0,364925	k.	0,001064	0,013069	0,013069																										
spher	0,222189	k.	0,029576	12,71112	0,009837																										
<div><div>Raster2 N_mgg Gauss</div><div><div>Mod_var</div><div>Trans: log</div><div>nlin: konvergiert</div></div></div>	<div><div>WBU2x – WFi2z</div><div>Variogramparameter (absolut)</div><table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,309783</td><td>k.</td><td>0,052818</td><td>6,479543</td><td>0,010989</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,301434</td><td>k.</td><td>0,051916</td><td>4,186896</td><td>0,020434</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,279571</td><td>k.</td><td>0,001058</td><td>0,036516</td><td>0,036516</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,265316</td><td>k.</td><td>0,053251</td><td>10</td><td>0,026761</td></tr></table></div>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,309783	k.	0,052818	6,479543	0,010989	gaus	0,301434	k.	0,051916	4,186896	0,020434	linear	0,279571	k.	0,001058	0,036516	0,036516	spher	0,265316	k.	0,053251	10	0,026761
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,309783	k.	0,052818	6,479543	0,010989																										
gaus	0,301434	k.	0,051916	4,186896	0,020434																										
linear	0,279571	k.	0,001058	0,036516	0,036516																										
spher	0,265316	k.	0,053251	10	0,026761																										

Tab. 52: Anpassung theoretischer Variogramme im Fichtenwirtschaftswald. Es wurden Situationen Kern und Lücke auf Zugehörigkeit zur gleichen Grundgesamtheit geprüft, war dies nicht der Fall wurde auf eine Darstellung aufgrund zu geringer Beobachtungszahl verzichtet.

<p>Raster3 V_proz Gauss</p> <p>Mod. var</p> <p>Trans: log</p> <p>nlin: konvergiert</p> <p>Distance Between Pairs</p>	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,348228</td><td>k.</td><td>0,102781</td><td>19,64728</td><td>0,194071</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,344318</td><td>k.</td><td>0,10836</td><td>13,35949</td><td>0,173457</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,300972</td><td>k.</td><td>-0,00313</td><td>0,164093</td><td>0,164093</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,358149</td><td>k.</td><td>0,109326</td><td>14,6912</td><td>0,186484</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,348228	k.	0,102781	19,64728	0,194071	gaus	0,344318	k.	0,10836	13,35949	0,173457	linear	0,300972	k.	-0,00313	0,164093	0,164093	spher	0,358149	k.	0,109326	14,6912	0,186484
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,348228	k.	0,102781	19,64728	0,194071																										
gaus	0,344318	k.	0,10836	13,35949	0,173457																										
linear	0,300972	k.	-0,00313	0,164093	0,164093																										
spher	0,358149	k.	0,109326	14,6912	0,186484																										
<p>Raster3 Ca_UVALG Gauss</p> <p>Mod. var</p> <p>Trans: '</p> <p>nlin: konvergiert</p> <p>Distance Between Pairs</p>	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><td>expo</td><td>0,468879</td><td>k.</td><td>26872968</td><td>-4,9E+07</td><td>64,65542</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>4,24E+16</td><td>-2,3E+67</td><td>45,02996</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,468879</td><td>k.</td><td>-1,64822</td><td>64,65542</td><td>64,65542</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,131899</td><td>k.</td><td>41,61734</td><td>10</td><td>63,93695</td></tr><tr><td>expo</td><td>0,468879</td><td>k.</td><td>26872968</td><td>-4,9E+07</td><td>64,65542</td></tr></table>	expo	0,468879	k.	26872968	-4,9E+07	64,65542	gaus		0k.	4,24E+16	-2,3E+67	45,02996	linear	0,468879	k.	-1,64822	64,65542	64,65542	spher	0,131899	k.	41,61734	10	63,93695	expo	0,468879	k.	26872968	-4,9E+07	64,65542
expo	0,468879	k.	26872968	-4,9E+07	64,65542																										
gaus		0k.	4,24E+16	-2,3E+67	45,02996																										
linear	0,468879	k.	-1,64822	64,65542	64,65542																										
spher	0,131899	k.	41,61734	10	63,93695																										
expo	0,468879	k.	26872968	-4,9E+07	64,65542																										
<p>Raster3 K_UVALG Gauss</p> <p>Mod. var</p> <p>Trans: log</p> <p>nlin: konvergiert</p> <p>Distance Between Pairs</p>	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,031292533</td><td>k.</td><td>0,04368</td><td>12,1683</td><td>0,05698</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,03051541</td><td>k.</td><td>0,04394</td><td>10,1103</td><td>0,05295</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,037477975</td><td>k.</td><td>-0,0005</td><td>0,05161</td><td>0,05161</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,03266237</td><td>k.</td><td>0,04372</td><td>13,3255</td><td>0,05417</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,031292533	k.	0,04368	12,1683	0,05698	gaus	0,03051541	k.	0,04394	10,1103	0,05295	linear	0,037477975	k.	-0,0005	0,05161	0,05161	spher	0,03266237	k.	0,04372	13,3255	0,05417
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,031292533	k.	0,04368	12,1683	0,05698																										
gaus	0,03051541	k.	0,04394	10,1103	0,05295																										
linear	0,037477975	k.	-0,0005	0,05161	0,05161																										
spher	0,03266237	k.	0,04372	13,3255	0,05417																										
<p>Raster3 Mg_UVALG Gauss</p> <p>Mod. var</p> <p>Trans: log</p> <p>nlin: konvergiert</p> <p>Distance Between Pairs</p>	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td></td><td>0k.</td><td>9,4E+13</td><td>3,1E+56</td><td>0,1005</td></tr><tr><td>gaus</td><td>0,054916189</td><td>k.</td><td>0,10336</td><td>2,02051</td><td>1E-08</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,227841474</td><td>k.</td><td>-0,003</td><td>0,13607</td><td>0,13607</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,033148817</td><td>k.</td><td>0,09607</td><td>10</td><td>0,12515</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo		0k.	9,4E+13	3,1E+56	0,1005	gaus	0,054916189	k.	0,10336	2,02051	1E-08	linear	0,227841474	k.	-0,003	0,13607	0,13607	spher	0,033148817	k.	0,09607	10	0,12515
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo		0k.	9,4E+13	3,1E+56	0,1005																										
gaus	0,054916189	k.	0,10336	2,02051	1E-08																										
linear	0,227841474	k.	-0,003	0,13607	0,13607																										
spher	0,033148817	k.	0,09607	10	0,12515																										
<p>Raster3 C_MGG Gauss</p> <p>Mod. var</p> <p>Trans: '</p> <p>nlin: konvergiert</p> <p>Distance Between Pairs</p>	<p>Variogrammparameter (absolut)</p> <table><tr><th>Model</th><th>Bestimmtheit</th><th>nlin</th><th>sill</th><th>range</th><th>nugget</th></tr><tr><td>expo</td><td>0,165809719</td><td>k.</td><td>-3,3E+08</td><td>4,9E+07</td><td>944,889</td></tr><tr><td>gaus</td><td></td><td>0k.</td><td>-9,7E+09</td><td>7,2E+50</td><td>702,932</td></tr><tr><td>linear</td><td>0,165809815</td><td>k.</td><td>-20,312</td><td>944,889</td><td>944,889</td></tr><tr><td>spher</td><td>0,0249221</td><td>k.</td><td>718,919</td><td>2,8251</td><td>218,624</td></tr></table>	Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget	expo	0,165809719	k.	-3,3E+08	4,9E+07	944,889	gaus		0k.	-9,7E+09	7,2E+50	702,932	linear	0,165809815	k.	-20,312	944,889	944,889	spher	0,0249221	k.	718,919	2,8251	218,624
Model	Bestimmtheit	nlin	sill	range	nugget																										
expo	0,165809719	k.	-3,3E+08	4,9E+07	944,889																										
gaus		0k.	-9,7E+09	7,2E+50	702,932																										
linear	0,165809815	k.	-20,312	944,889	944,889																										
spher	0,0249221	k.	718,919	2,8251	218,624																										

