LEIBNIZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK POTSDAM-BORNIM e.V.
ATB
Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr. R. Brunsch

Abteilung Technik im Pflanzenbau
Leiter: Dr.-Ing. D. Ehlert

Praktische Erprobung und Einführung von sensorgestützten Verfahren der Düngung und des Pflanzenschutzes zur Verbesserung von Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit in der Getreide- und Grünfutterproduktion

Schlussbericht zum Projekt 03UM010
der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Laufzeit: 01.02.2005 – 31.01.2008
Berichtszeitraum: 01.02.2005 – 29.02.2008

Potsdam-Bornim, im Januar 2008

Wissenschaftliche Projektbetreuer:	Dr.-Ing. D. Ehlert Dipl.-Ing. agr. H. Thöle (Projekbearbeiter)	ATB

Antragsteller:	O. Zauer J. Nieter	Dawa-Agrar GmbH & Co. KG, Dahlenwarsleben
	R. Waldow	Agrargenossenschaft Wörlitz e.G.
	B. Thiele D. Schmager	Agrar GmbH Flämingland Blönsdorf
	S. Schütze	„Nuthequelle“ landwirtschaftliche G. Vikum Betriebsgesellschaft mbH Niedergörsdorf
	J. Frenzel	Agrar GbR Frenzel & Schmidt Wittbrietzen
	S. Jäger	Landgut GmbH Staritz
	H. Lisso	„Neu-Seeland“ Agrar GmbH Frose / Reinstedt

Bearbeiter:	H. Thöle D. Ehlert M. Heisig A. Giebel K. Witzke	ATB
	S. Otter-Nacke P. Jürschik	Agrocom Systempartner GmbH

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5
2 Aufgabenstellung 7
3 Planung und Verlauf der Arbeiten 8
4 Material und Methoden 10
4.1 Projektbetriebe und Standortbedingungen 10
4.2 Eingesetzte Technik 11
4.3 N-Düngungsstrategien in Getreide 14
4.4 Anlage von Produktionsexperimenten und Streifenversuchen 15
4.4.1 Produktionsexperimente 16
4.4.2 Streifenversuche 19
4.5 Erfassung und Aufbereitung der Untersuchungsmerkmale 22
4.5.1 Pendelwinkel 22
4.5.2 Erträge 23
4.5.3 Ertragsstruktur und Rohproteingehalt im Korn 24
4.6 Verfahrensbewertung 25
4.6.1 Produktionsexperimente zur Pflanzenmassekartierung in Wintergetreide und Grünland 25
4.6.2 Produktionsexperimente zur N-Düngung und zum Pflanzenschutz in Wintergetreide 26
4.6.3 Streifenversuche 26
4.7 Ökonomische Verfahrensbewertung 28
4.8 Ökologische Verfahrensbewertung 29
5 Ergebnisse 30
5.1 Probleme bei der Crop-Meter-Erprobung und abgeleitete Lösungen 30
5.2 Pflanzenmassekartierungen in Getreide und Grünland 32
5.3 Produktionsexperimente zur N-Düngung in W-Getreide 34
5.4 Streifenversuche zur N-Düngung 40
5.5 Teilflächenspezifische Fungizidapplikationen 45
6 Schlussfolgerungen 50
7 Zusammenfassung 56
Literaturverzeichnis 61
Tabellenverzeichnis 64

Bildverzeichnis 64
Anhang 66
Tabellenverzeichnis 66
Bildverzeichnis (CD) 98

1 Einleitung

Im Zeitalter der Globalisierung sind landwirtschaftliche Unternehmen vielfältigen äußeren Einflüssen unterworfen, die von ihnen eine stetige Anpassung ihrer betrieblichen Strategien verlangen. Die EU-Kommission strebt eine schrittweise Öffnung des Binnenmarktes für Agrarimporte an (Grams 2004), indem Stützungsmechanismen in verschiedenen Produktbereichen abgebaut werden. Gleichzeitig mit der Senkung von Agrarsubventionen werden Zahlungen zunehmend an die Einhaltung nationaler bzw. internationaler umweltrechtlicher Vorschriften gebunden (Cross Compliance). Weiterhin nimmt der wirtschaftliche Druck derzeit durch spürbare Erhöhungen von Betriebsmittelpreisen wie z.B. bei den Stickstoffdüngern oder bei dem Diesel zu, da die Rohölpreisentwicklung auf den Weltmärkten einem anhaltenden Aufwärtstrend folgt.

Das erfordert von Landwirten Reaktionen, indem sie beispielsweise durch Kostensenkung Umsatzverluste aus sinkenden Subventionen kompensieren. Durch die Einführung neuer Technologien können Betriebe in die Lage versetzt werden, noch kosteneffizienter zu wirtschaften und gleichzeitig die Umwelt zu entlasten. Ein Erfolg versprechender Ansatz, den zukünftigen Herausforderungen zu begegnen, besteht in der Einführung und breiten Anwendung der Präzisionslandwirtschaft (Precision Agriculture) (Raun & Johnson 1999, UBA 2005, Follett et al. 2005).

Schon immer war es den Landwirten aufgrund eigener Beobachtungen bekannt, dass sich Pflanzenbestände durch Variabilitäten in Boden und Klima unterschiedlich entwikkeln und diese Differenzen sich in heterogenen Bestandesausbildungen, Erntemengen und -qualitäten widerspiegeln.

Besonders offenkundig wurden die Ertragsvariabilitäten durch die Einführung der Ertragmessung auf den Mähdreschern Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts. Aufgrund von positionsbezogenen Ertragsmesswerten konnten Karten erzeugt werden, die ein sehr anschauliches Bild über die Verteilung von Erträgen auf einem Schlag lieferten.

Es erwuchs sehr schnell die Erkenntnis, dass unterschiedliche Erträge auf einer Fläche sowohl im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit als auch zur Reduzierung von Umweltbelastungen örtlich angepasste Aufwendungen an Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmitteln bedürfen.

Verbunden ist damit eine Abkehr von schlageinheitlicher Bewirtschaftung, um den tatsächlichen ortsbezogenen Mittelbedarf von Pflanzenbeständen möglichst exakt anzupassen.

Um Über- und Unterversorgungen zu vermeiden, werden Informationen auf landwirtschaftlichen Flächen über die Ausprägung von Heterogenitäten in Böden und Pflanzenbeständen erfasst, aus denen Algorithmen zum teilflächenspezifischen Pflanzenbau abgeleitet werden können. Die Nutzung dieser Informationen erfolgt auf Basis verschiedener Ansätze:

- Kartenansatz (Synonyme: Offline-Ansatz, mapping approach)
- Sensoransatz (Synonyme: Online-Ansatz, real-time approach)
- Sensoransatz mit Kartenüberlagerung (Synonyme: Online- + Offline-Ansatz, map overlay)

Beim Kartenansatz werden Daten, die zu einem früheren Zeitpunkt ortsgebunden erfasst wurden, am PC zu Sollwerten (Applikationskarten) verarbeitet. Die positionsgebundenen Sollwerte werden von einem Bordrechner mittels Datenträger zur Steuerung einer Maschine bei einem bestimmten Applikationsereignis abgerufen. Damit die Sollwerte sich dem entsprechenden Standort der Maschine zuordnen lassen, ist ein Positionssystem unverzichtbar. Das Positionssystem leistet außerdem wertvolle Dienste, tatsächlich applizierte Mengen (*as applied*-Karten) georeferenziert aufzuzeichnen und zur Kontrolle mit den Sollwerten zu vergleichen.

Die Gültigkeit der Daten kann Jahrzehnte (Bodenkarten) bis hin zu wenigen Tagen (N-Ernährungsstatus der Pflanzen) betragen. Häufig ist die Anwendung solcher Werte problematisch, da sie nicht immer im Einklang mit den aktuellen Gegebenheiten stehen. So hat sich herausgestellt, dass Ertragskarten von derselben Fläche sehr oft auch in aufeinander folgenden Jahren unterschiedliche Ertragsmuster wiedergeben. Auf Grund dessen ist z.B. die Erstellung von Applikationskarten für Stickstoffdünger auf der Grundlage von Ertragskarten mit Problemen behaftet (Blackmore et al. 2003).

Der **Sensoransatz** hingegen ermöglicht es, aktuelle Boden- oder Bestandsinformationen über Sensoren zu erfassen und mittels entsprechender Hard- und Softwarekomponenten unmittelbar ohne Aufnahme- oder Verarbeitungsschritte in einen Sollwert zu überführen. Der Verzicht auf zusätzliche Bearbeitungsschritte lässt die Anwendung von Sensoren in der Praxis attraktiver werden, weil das eine Einsparung von Managementaufwand für einen Betrieb bedeutet. Die Sollwerte werden unverzüglich in einen Steuerungsbefehl für die jeweilig eingesetzte Maschine umgesetzt. Ergänzend zur automatisierten Generierung der Sollwerte kann der Bediener i.d.R. manuelle Kalibrierungen am Bordrechner der Maschine vornehmen. Die Kalibrierung setzt allerdings die Kenntnis von Richt- oder Orientierungswerten voraus, die aus bisher praktizierter einheitlicher Behandlung abzuleiten sind. Anfänglich subjektive Schätzungen der Spannweiten lassen sich rasch durch Erfahrungen beim Sensoreinsatz ersetzen und sichern. Beim Sensoreinsatz ist in der einfachsten Realisierungsform das Positionssystem entbehrlich. Als Folge davon ist allerdings die nachträgliche Kontrolle der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahme nicht möglich.

Eine Verknüpfung beider Ansätze (**Sensoransatz mit Kartenüberlagerung**) eröffnet zusätzliche Wege der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Dabei fließen sowohl aktuell in Echtzeit gewonnene Sensordaten als auch auf der Landmaschine vorhandene Kartenwerte in die Sollwerte einer Applikationsanweisung ein. Damit fungieren die aktuell gewonnenen Sensordaten entweder als Korrekturgröße oder dienen als Bestätigung der Kartenwerte.

2 Aufgabenstellung

Am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim wurde ein Sensor entwickelt, der es aufgrund seines Messprinzips (physikalisches Pendel) erlaubt, Pflanzenmasseverteilungen von Getreide- und Gräserbeständen in Echtzeit indirekt zu messen (Hammen 2001, Ehlert et al. 2003). Eine praxisreife Version dieses Pendelsensors ist unter der Bezeichnung „Crop-Meter“ seit dem Jahr 2004 marktverfügbar. Die mit Hilfe des Sensors gewonnenen Informationen über das Merkmal „Pflanzenmasse“ können digital und positionsgebunden unmittelbar zur teilflächenspezifischen Bestandesführung nutzbar gemacht werden.

Ziel dieses Projektes war es, auf der Grundlage der mit dem Crop-Meter sensortechnisch gemessenen Pflanzenmasseverteilungen in halmbildenden Kulturen eine teilflächenspezifische Applikation von Stickstoffdüngern, Wachstumsreglern und Fungiziden unter Praxisbedingungen zu erproben und zu bewerten. Als Ergebnis des Projektes wird angestrebt, diese Technologie sowohl in den Antragsbetrieben als auch in weiteren Landwirtschaftsbetrieben dauerhaft zu etablieren. Sechs Projektbetriebe hatten unter Berücksichtigung ihrer technischen Ausstattung und bereits gesammelten Erfahrungen im teilflächenspezifischen Pflanzenbau betriebsspezifische Ziele und Strategien definiert (Tab. 1, Tab. A2-A4). Auf jedem der Partnerbetriebe sollte das Crop-Meter auf einer Fläche von mind. 100 ha (in den Anträgen der Betriebe als "Intensiverprobungsfläche" bezeichnet) entsprechend der Aufgabenstellung getestet und eingesetzt werden. Eine Ausnahme bildete der Betrieb in Wittbrietzen, wo der Sensor auf 50 ha Fläche eingesetzt werden sollte.

Durch die wissenschaftliche Betreuung des Vorhabens war darzustellen und zu bewerten,

- inwieweit Technik und Verfahren der biomassegestützten Bestandesführung sinnvoll in die Projektbetriebe eingeordnet werden können,
- welche betriebswirtschaftlichen Effekte nach Erfolgskontrolle und monetärer Bewertung von Technik und Verfahren entstehen,
- welche ökonomischen Effekte sich auf regionaler und volkswirtschaftlicher Ebene einstellen kann,
- welche ökologischen Effekte von der untersuchten Technik und den Verfahren ausgehen,
- welche zusätzliche Transparenz sich durch die neue Technik in Hinsicht Rückverfolgbarkeit ergibt und
- inwieweit sich ökologische Effekte auf betrieblicher, regionaler und volkswirtschaftlicher Ebene monetär ausdrücken lassen.

Tabelle 1: Projektbetriebe mit Ausgangssituation, Aufgabenstellung und Vernetzung

Betrieb	Ausgangssituation	Aufgabenstellung	Vernetzung
Dahlenwarsleben	Grunddüngung nach Nährstoffverteilungskarten	Online-Verfahren zum teilflächenspezifischen Pflanzenschutz und zur Applikation von u.a. stabilisierten N-Düngern	relativ eigenständig
Reinstedt	N-Düngung und Saat nach Ertragspotential-karten und Luftbildern, Grunddüngung nach Nährstoffverteilungskarten	Pflanzenmassekartierung und Verifizierung von Luftbildern, Online-Verfahren der Düngung und des Pflanzenschutzes mit Hinterlegung von Karten (Map-Overlay)	relativ eigenständig
Niedergörsdorf	bisher keine teilflächenspezifischen Verfahren im Betrieb	Online-Applikation von Stickstoff- und Fungiziden in Kombination mit einer Pflanzenschutzspritze (ausgerüstet mit VARIOSELECT- Düsengetriebe), Flüssigdüngung mit stabilisierten Stickstoffdüngern	teilweise mit Neu-Seeland
Blönsdorf	Pneumatische Düngerstreuer, bisher keine teilflächenspezifischen Verfahren im Betrieb	Online-Stickstoffdüngung mit pneumatischer Düngungstechnik ohne GPS, Erprobung und Einführung der pflanzenmassebasierten Applikation in der einfachsten Form	Düngung mit Landgut Staritz
Wittbrietzen	bisher keine teilflächenspezifischen Verfahren im Betrieb	Grünlandkartierung (Pflanzenmasse) auf Niedermoor und Beregnungsstandorten zur Ableitung von Applikationskarten zur Grund- und N-Düngung speziell auf Grünland; N- Düngung auf leichten Böden	relativ eigenständig
Staritz	Teilflächenspezifische Saat nach Bodenkarten, Grunddüngung nach Nährstoffverteilungskarten	Online-Stickstoffdüngung mittels Schleuderdüngerstreuer auf alluvialen, sehr heterogenen Böden	teilweise Düngung mit Neu-Seeland
Wörlitz	bisher keine teilflächenspezifischen Verfahren im Betrieb, Selbstfahrer-Pflanzenschutzspritze	Teilflächenspezifische Ausbringung von Fungiziden in Wintergetreide mit Pflanzenschutzspritze in Echtzeit; Pflanzenmassekartierung	teilweise mit Dawa

3 Planung und Verlauf der Arbeiten

Aus diesem Untersuchungsbedarf ergab sich folgende Planung für den zeitlichen Ablauf des Projektes und die damit verbundenen Betreuungsarbeiten (Tab. 2). Diese Planung konnte im Wesentlichen umgesetzt werden.

Tabelle 2: Planung des Projektverlaufs für die Jahre 2005 bis 2008

Arbeitsinhalte für die Jahre 2005 bis 2008	Zeitraum
Schaffung der technischen Voraussetzungen in den Landwirtschaftsbetrieben durch Aufrüstung und/oder Nachrüstung der teilflächenspezifischen Applikationstechnik und Vorbereitung auf die geplanten Arbeiten zur Bestandesführung und die Produktionsexperimente; z.B. Erstmontage des Crop-Meters am Basisfahrzeug, Einbindung des Sensors in die Bordelektronik und Ersterprobung zur Funktionsüberprüfung der Applikationstechnik (unter Mitwirkung der Fa. AGROCOM Bielefeld)	02/2005-03/2005
Herstellung der Einsatzbereitschaft der Applikationstechnik in den Landwirtschaftsbetrieben durch Überprüfung sowie ggf. Reparaturen und Austausch von Bauteilen und Vorbereitung auf die geplanten Arbeiten zur Bestandesführung und die Produktionsexperimente	01/2006 bis 03/2006 und 01/2007 bis 03/2007
Abstimmung und Planung der Produktionsexperimente mit den Landwirtschaftsbetrieben für die jeweiligen Vegetationsjahre	02/2005 bis 03/2005 und 01/2006 bis 03/2006 und 01/2007 bis 03/2007
Anlage und Durchführung der Versuche zur Bestandesführung, mit gleichzeitiger technischer Erprobung der teilflächenspezifischen Applikationstechnik, Abarbeitung des jeweils vereinbarten Leistungsteils der Regionalbetriebe	04/2005 bis 06/2005 und 04/2006 bis 06/2006 und 04/2007 bis 06/2007
Betreuung der Versuchschläge einschließlich Erfolgskontrolle der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen durch Bonituren	05/2005 bis 07/2005 und 05/2006 bis 07/2006 und 05/2007 bis 07/2007
Begleiten der Erntearbeiten zur Ertragsermittlung und Qualitätskontrolle	07/2005 bis 08/2005 und 07/2006 bis 08/2006 und 07/2007 bis 08/2007
Auswertung der Versuchsergebnisse und Ableiten von Schlussfolgerungen für die Arbeiten zur Vorbereitung der Folgejahre 2006 und 2007 Abschließende Auswertung der Versuchsergebnisse und Ableiten von Schlussfolgerungen	09/2005 bis 11/2005 und 09/2006 bis 12/2006 09/2007 bis 12/2007
Anfertigen des Jahresberichts 2005 Anfertigen des Jahresberichts 2006 Anfertigen des Abschlußberichts	11/2005 bis 12/2005 11/2006 bis 12/2006 11/2007 bis 01/2008
Vorbereitung und Durchführung der Projekttage Vorbereitung und Durchführung des abschließenden Projekttags	12/2005 und 11/2006 11/2007

4 Material und Methoden

4.1 Projektbetriebe und Standortbedingungen

Die teilnehmenden Betriebe (Tab. A1) bewirtschaften ihre Flächen entsprechend den jeweiligen Standortbedingungen mit angepasster Technik und Verfahren. Infolge der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen und damit verbundener differenzierter Ausstattung war eine gute Basis für die Durchführung des Projektes gegeben.

Der Betrieb **Dawa** liegt im Schwarzerde-Gürtel der Magdeburger Börde. Die nördlichen Teile befinden sich am Rande der Letzlinger Heide bzw. im Urstromtal der Ohre. Der Schwarzerde-Gürtel unterteilt sich in drei verschiedene Bereiche: in eine Ebene, die Elbe und Ohre als Urstromtal diente, die sogenannte „Niedere Börde“, in einem hügeligen Bereich mit unterschiedlichen Ausgangssubstraten und in einen Bereich der Hochflächen, der „Hohen Börde“. Im Betrieb überwiegt der hügelige Bereich mit vielen Seitentälern der Elbe. Dort streichen unterschiedlichste Schichten von kiesigen Sanden über verschiedene Lehme bis hin zu schweren Tonen aus. Löss war im gesamten Gebiet mit großer Mächtigkeit vorhanden. Dieser ist aber sehr heterogen erodiert bzw. ist wieder abgelagert worden (Domsch 2004).

Der Betrieb **Reinstedt** bewirtschaftet seine lössüberlagerten Flächen im Bereich des Nördlichen Harzvorlandes (Liedtke 2002) nahe Aschersleben.

Der Betrieb **Staritz** ist geprägt durch die extremen Bodenunterschiede aufgrund der Lage seiner Flächen im Flusstal der Elbe zwischen Riesa und Torgau und in der Dahlener Heide. In diesem Bereich der Elbtalaue sind Auenlehmböden vorherrschend, wie Braune Vegas, Amphigleye und Grundwassergleye, wobei Terassensande in der Aue mit alluvialen Ablagerungen in einer Mächtigkeit von 1 bis 2 m bedeckt wurden (Haase 1995).

Die Betriebe **Niedergörsdorf** und **Blönsdorf** liegen im Übergangsbereich vom Hohen zum Niederen Fläming südwestlich der Stadt Jüterbog, durch den sich neben seiner wesentlichen Prägung durch Sanderflächen und Endmoränen aus dem Warthestadium der Saale-Eiszeit ein Lössstreifen hindurch zieht. Vorherrschende Bodenformen sind Bänder-Parabraunerden oder Parabraunerden aus Löss über Sand oder aus Flugsand über Löss über Sand mit Lössmächtigkeiten zwischen 0 bis über 80 cm (Dobers 2002).

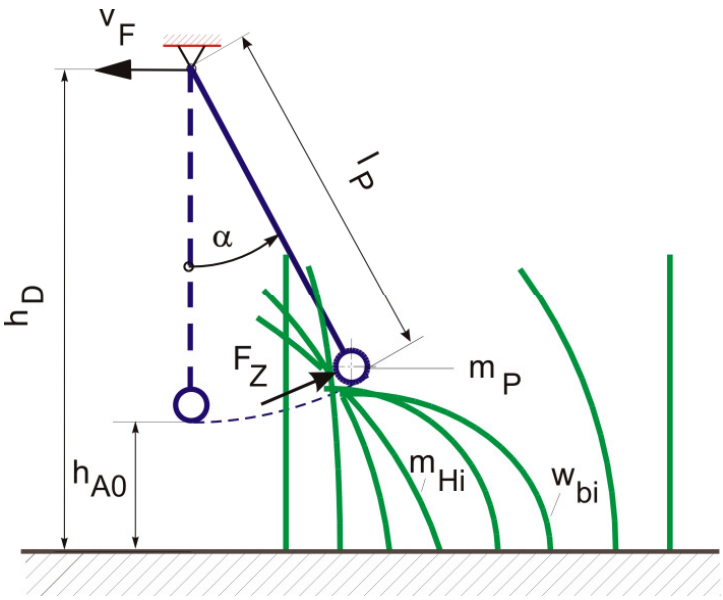
Der Betrieb **Wittbrietzen** bewirtschaftet Flächen mit leichten Böden auf dem sog. "Beelitzer Sander" und im Niederungsgebiet der Nieplitz, gelegen ca. 30 km südlich von Potsdam am Südostrand der Zauche (slawisch "sucho" = trocken) mit Übergang zur Teltower Grundmoränenplatte (Liedtke 2002).

Der Betrieb in **Wörlitz** bewirtschaftet alluvial geprägte Flächen im Flusstal der Elbe östlich von Dessau. Vorherrschende Bodengesellschaft ist Lehm-Vega /Halbgley.

4.2 Eingesetzte Technik

Die Kenntnis der örtlich gewachsenen Pflanzenmasse ist ein Kriterium für die Heterogenitätsbewertung von landwirtschaftlich genutzten Flächen und darauf aufbauende Verfahren der Bestandesführung.

Das Crop-Meter wurde als Sensor zur indirekten Messung der Pflanzenmasse in stehenden Halmkulturen entwickelt. Das Crop-Meter arbeitet nach dem Prinzip eines physikalischen Pendels, das fahrzeuggestützt in den Fahrgassen durch die Pflanzenbestände bewegt wird (Bild 1).



α_k - Pendelwinkel
F_Z - resultierende Kraft
h_D - Drehpunkthöhe
h_{A0} - Höhe des Zylinderkörpers
l_P - Pendellänge
m_{Hi} - Massenträgheitsmoment
m_P - Pendelmasse
v_F - Fahrgeschwindigkeit
W_{bi} - Biegewiderstandsmoment
$h_A = h_D - l_P \cos\alpha$

Bild 1: Messprinzip des Pendelsensors

Dabei erfährt das Pendel aufgrund der Anzahl und Masse der Halme (inkl. Trägheitsmoment m_{Hi}), des Biegewiderstands der Halme (W_{bi}) und der Reibung eine Widerstandskraft (F_Z), die zu einer Auslenkung mit dem Winkel (α) führt, der mit einem Potentiometer gemessen wird.

Der Auslenkwinkel wird neben den zuvor genannten Pflanzenbestandsmerkmalen ebenfalls von den gewählten Pendeleinstellungen und der Fahrgeschwindigkeit (v_F) bestimmt. Die bedienerseitig zu wählenden Pendeleinstellungen sind die Pendelmasse (m_P), die Pendellänge (l_P) und die Höhe des Pendels über Grund (h_{A0}), bei $\alpha = 0°$.

Das Crop-Meter ist als Dreipunkt-Frontanbaugerät ausgeführt und besteht aus den in Bild 2 dargestellten Baugruppen. Es wird mit der elektrischen Bordenergie des Trägerfahrzeuges (Traktor, Selbstfahrer) betrieben. Um Beschädigungen zu vermeiden und eine gleichbleibende Höhe des Drehpunktes (h_D) zu sichern, ist das Gerät mit einem Tastelement ausgestattet, das die unterschiedlichen Fahrspurtiefen und Fahrzeughöhen misst und über berührungslose Näherungsschalter in Verbindung mit einem geregelten Linearmotor (Dreipunkt-Regler) die Drehpunkthöhe konstant hält.

Die wichtigsten technischen Daten enthält die Tabelle 3.

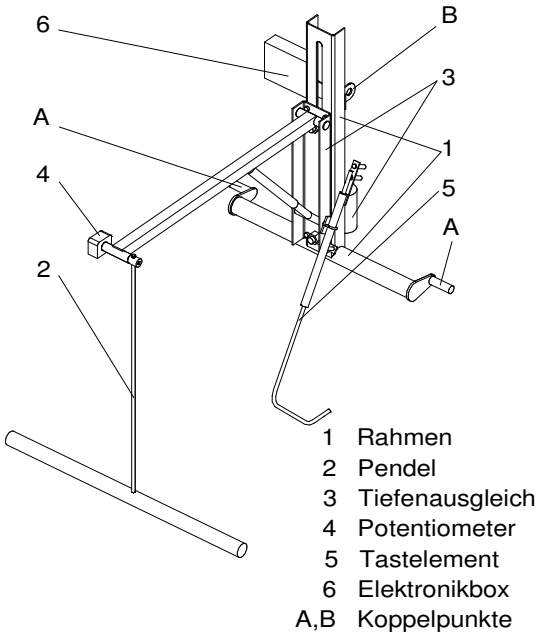


Bild 2: Crop-Meter für Frontanbau

Tabelle 3: Technische Parameter des Crop-Meters

Grundkonzeption	Dreipunkt-Frontanbau für Traktoren
Gesamtmasse	ca. 40 kg
Arbeitsbreite	1000 mm
Betriebsspannung	12 V
Leistungsaufnahme	max. ca. 200 W (kurzzeitig)
Spurtiefenausgleich	Tastelement und Linearantrieb

Breit gefächerte Untersuchungen in Getreide, Reis und anderen Gräsern ergaben sehr enge funktionale Beziehungen (linear bzw. quadratisch) zwischen Pflanzendichten (Frischmasse, Trockenmasse) und Auslenkwinkeln des Pendels, was sich in sehr hohen Bestimmtheitsmaßen ($r^2 > 0,9$) ausdrückte (Hammen 2001, Ehlert et al. 2003).

Diese engen Korrelationen eröffnen die Möglichkeit, die Information des Pendelwinkels bzw. der Pflanzenmasse als Grundlage für eine bestandsbezogene Ausbringung von Stickstoffdüngern, Fungiziden oder Wachstumsreglern in heterogenen Pflanzenbeständen teilflächenspezifisch zu nutzen.

Technisch wird dieser Ansatz realisiert, indem die mittels Potentiometer am Drehpunkt des Pendels gemessen Auslenkwinkel in ein elektrisches Signal umgewandelt werden, das von den beiden Jobrechnern (Crop-Meter, Arbeitsmaschine) in eine Mittel-

Applikation umgesetzt wird. Weiterhin wurde das AGROCOM Computer Terminal ACT II verwendet, das über ein Softwarepaket anhand von GPS-Signalen mit EGNOS-Korrektursignal geographische Positionen bereitgestellt. Gemäß Bedienervorgabe werden auf Basis der Winkel festgesetzte Algorithmen in einen Steuerbefehl für den Jobrechner des Düngerstreuers oder der Feldspritze übersetzt. Entsprechend der Ausführung und dem Fabrikat von Düngerstreuer oder Spritze unterscheiden sich Teile der Software im ACT für die Ansteuerung der Jobrechner. Die Verbindungen zwischen den Jobrechnern und dem Terminal werden über ein landwirtschaftliches BUS-System hergestellt.

Mit dem Einsatz des Crop-Meters in der jetzigen Form werden keine Applikationsalgorithmen vorgegeben. Für die N-Düngung werden durch den Anwender ein Minimalwert AM_{min} und ein Maximalwert AM_{max} der Applikationsmenge für den jeweiligen Schlag mit den entsprechenden Pendelwinkeln α_1 und α_2 bestimmt und in das Bedienterminal eingegeben (Bild 3). Diese beiden Werte orientieren sich neben aktuellen Bestandes- und Witterungsverhältnissen zum Beispiel an Herstellerangaben von Düngemitteln, Messungen zum N-Ernährungsstatus mit Handgeräten (YARA-N-Tester; Probenahmehandzange mit Nitrattest-Analysestäbchen) sowie an Erfahrungswerten des Landwirts oder betrieblichen Düngestrategien. Im Pflanzenschutz bzw. beim Wachstumsreglereinsatz richten sich Minimal- und Maximalmengen nach der örtlich zu benetzenden Oberfläche des Pflanzenbestandes und nach des Art der Pilzinfektion.

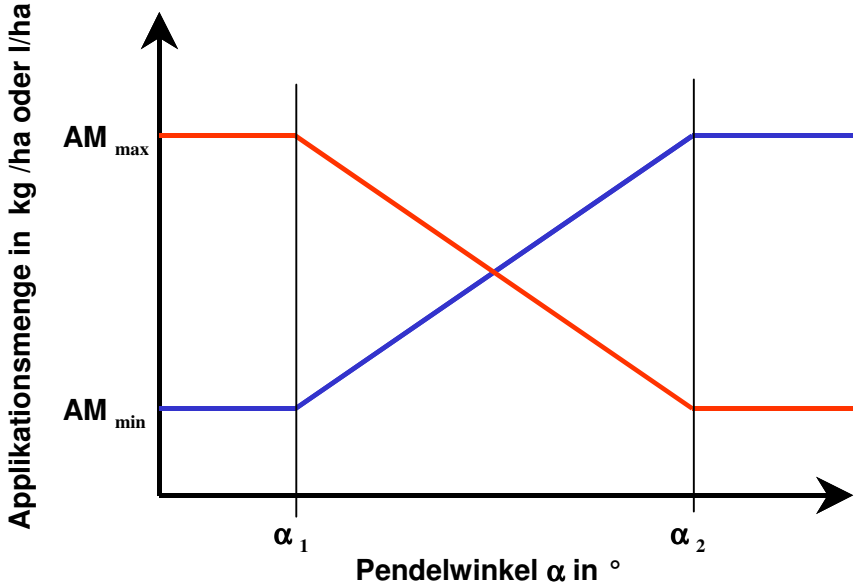


Bild 3: Verlauf eines steigenden und fallenden Applikationsalgorithmus

In einem weiteren Schritt erfolgt eine Kalibrierfahrt mit dem Pendelsensor durch eine Fahrgasse, die möglichst die gesamte Spanne der Pflanzenmasse (Variabilität) im Schlag repräsentieren sollte und somit die Spannweite des Pendelwinkels bestimmt. Während dieser Durchfahrt werden der gemessene minimale und maximale Pendelwinkel errechnet und auf dem Bedienterminal angezeigt. Auf dieser Datengrundlage kann

der Anwender die Punkte α_1 und α_2 sowie die dazugehörigen Applikationsmengen (AM_{min}; AM_{max}) festlegen.

Je nach Bestandessituation kann ein steigender oder fallender Algorithmus bestimmt werden. Zur Kontrolle werden Daten auf dem Terminal gespeichert, die mittels mobilem Datenträger (PCMCIA-Karte) auf einen stationären PC übertragen und mit dem Programm *AgroMap Basic* weiterverarbeitet werden können. Wesentliche Werte in einem Datensatz sind das Datum, die Uhrzeit, die geographische Position in WGS 84, der gemessene Pendelwinkel und die gemäß Algorithmus zugehörige Sollmenge. Datensätze werden in einem Intervall von 2 Sekunden erstellt. Bei den aufgezeichneten Winkeln handelt es sich um Momentanwerte.

Als Applikationstechnik für Dünger wurde von den Betrieben hauptsächlich Großflächenstreuer (Zweischeiben-Zentrifugalstreuer) aus der Herstellung der Güstrower Maschinen- und Antriebstechnik GmbH & Co. KG eingesetzt, die vom Crop-Meter gesteuert wurden. Dawa und Wittbrietzen nutzten das Modell D 055, Niedergörsdorf D 056 und Blönsdorf D 078. Die Düngermengen wurden bei diesen Maschinen durch eine veränderte Umdrehungsgeschwindigkeit der Antriebswelle des Kratzbodens variiert. Der Schieber, der die Düngerdosierung zu den Streuscheiben begrenzt, bleibt in seiner Stellung auch bei variabler Applikation konstant. Der Betrieb in Staritz setzte einen Anbau-Düngerstreuer des Modells Rauch Axera H 1102 EMC ein, der an einen Transportwagen (TWS 5000) gekoppelt war. Der Streuer wurde über eine Schnecke aus dem Transportwagen befüllt. Hier regelte eine veränderbare Schieberstellung die Düngerdurchflussmenge. Die Jobrechner, die die Information zur Variation der Düngermengen auf den Streuer übertrugen, waren bei den Nutzern der "Güstrower" Düngerstreuer vom Typ LH Agro 5000 und in Staritz vom Typ Rauch Quantron-P. Die Betriebe verfügten über Arbeitsbreiten von 24 bis 30 m (Tabelle A7 bis A11). Angaben zur eingesetzten Pflanzenschutztechnik sind in den Abschnitten 4.4.2 und 5.5 enthalten.

4.3 N-Düngungsstrategien in Getreide

Im konventionellen Landbau ist es übliche Praxis, die Stickstoffdüngung des Wintergetreides in mehrere Gaben zu teilen (Kübler 1994, Diepenbrock et al. 1999) (Tab. 4)

Auf diese Weise soll die Anlage der Ertragskomponenten gezielt unterstützt bzw. die natürliche Reduktion von Ertragsorganen gemildert werden. Gleichzeitig sollen negative Einflüsse überhöhter Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen (übermäßige Förderung von Trieben, Lagergetreide) vermieden werden. Diese Tabelle bildet die agronomische Grundlage für die Durchführung der Produktionsexperimente und Streifenversuche zur N-Düngung.

Tabelle 4: Termine der N-Düngung in Getreide

N-Gaben	Teil-N-Gaben	BBCH-Code	Definition	Ziel
N-Gabe im Herbst	*N0*	00/10	Saat/Auflaufen	Förderung der Jugendentwicklung im Herbst
Erste N-Gabe (N 1)	N 1 a	13/21	3-Blatt-Stadium / Beginn Bestockung	Förderung von Trieben (Vegetationsbeginn)
	N 1 b	29/30	Ende Bestockung / Beginn Schossen	Verringerung der Triebreduktion, Stabilisierung der Anzahl von Ähren je m²
Zweite N-Gabe (N 2)	N 2 a	31/32	1-Knoten-Stadium / 2-Knoten-Stadium	Verringerung der Blütchenreduktion, Stabilisierung der Kornzahl je Ähre
	N2 b	37/39	Fahnenblatt erscheint bzw. ist voll entfaltet	Stabilisierung der Kornzahl je Ähre, Erhöhung der Tausendkornmasse
Dritte N-Gabe (N 3)	N 3 a	49/51	Grannenspitzen / Beginn Ährenschieben	Erhöhung der Tausendkornmasse, Erhöhung des Proteingehaltes
	N 3 b	59/61	Ende Ährenschieben / Beginn Blüte	Erhöhung des Proteingehaltes, Erhöhung der Tausendkornmasse

4.4 Anlage von Produktionsexperimenten und Streifenversuchen

Wie in der Projektplanung vorgesehen, wurde das Crop-Meter in verschiedenen Produktionsexperimenten und Streifenversuchen in den Jahren 2005 bis 2007 von den Betrieben eingesetzt.

Die Produktionsexperimente entsprechen der Definition des Betriebsgroßversuchs nach Thomas (2006). Beim Betriebsgroßversuch kommen neue Verfahren wie die sensorgestützte, teilflächenbezogene Ausbringung von Düngern und Pflanzenschutzmitteln zum Einsatz, um diese zu testen und zu bewerten. Vergleiche verschiedener Verfahren kommen hier nicht vor.

Streifenversuche sind systematische Versuchsanlagen, in denen herkömmliche und neue produktionstechnische Verfahren miteinander verglichen werden. Dabei werden nebeneinander unechte Wiederholungen (keine Randomisation) der zu vergleichenden Verfahren angelegt. Diese Versuchsanlage wird in der Literatur auch als Langparzellenmethode bezeichnet (Mudra 1949, Thomas 2006).

Streifenversuche wurden auf Teilen von Ackerschlägen, die von den Projektbetrieben bewirtschaftet werden, in Anlehnung an das Fahrgassensystem angelegt. Fahrgassen entlang der Schlaggrenzen bzw. auf dem Vorgewende wurden prinzipiell als Ränder behandelt. Bei Düngungsversuchen mit Zentrifugaldüngerstreuern bestand eine Versuchsvariante aus zwei nebeneinander liegenden Fahrgassen bzw. zwei Arbeitsbreiten

des Streuers über die gesamte Schlaglänge. Die fächerförmigen Streubilder der Düngerstreuer waren zu berücksichtigen, bei denen sich erst durch Überlappung der Streubilder die angestrebte Querverteilung ergibt. Bei der Anlage von Fungizidversuchen mit Feldspritze genügte eine Fahrgasse für ein Prüfglied, weil die Querverteilung von Spritzen konstant ist. In den Varianten wurde nach schlageinheitlicher und teilflächenspezifischer Applikation unterschieden. Die schlageinheitliche oder praxisübliche Applikation diente in den Düngungsversuchen als Kontrolle oder Standard. In den Fungizidversuchen bestand die Kontrolle aus einer unbehandelten Variante.

4.4.1 Produktionsexperimente

In den Jahren 2005 bis 2007 wurde das Crop-Meter zur Kartierung der Pflanzenmasse in Wintergetreide und Grünlandbeständen sowie zur N-Düngung von der ersten bis dritten Gabe in Wintergetreide auf ganzen Schlägen genutzt (Tab. 5 - 7). Außerdem wurden Fungizide zur Ährenbehandlung von Winterweizen mit dem Crop-Meter appliziert (Tab. 6).

Jahr 2005

Die zusammenfassende Übersicht zu den durchgeführten Produktionsexperimenten im Jahr 2005 enthält die Tabelle 5.

Tabelle 5: Produktionsexperimente in 2005

Betrieb	Schlag	Fläche (ha)	Kultur	Maßnahme mit Crop-Meter
Staritz	Busch	109,7	W-Gerste	3. N-Gabe
Dawa	Drauen	28,5	W-Weizen	2. + 3. N-Gabe
Dawa	Klein Ammensleber Weg	36,9	W-Gerste	2. + 3. N-Gabe
Niedergörsdorf	Streitländer	100,0	W-Weizen	2. N-Gabe
Wittbrietzen	Dobbrikower Str.	37,0	W-Triticale	Pflanzenmassekartierung für Applikationskarte
Reinstedt	Burgweg	72,7	W-Weizen	Biomassekartierung zum Vergleich mit Luftbild
Reinstedt	Kleines Feld	58,6	W-Weizen	Biomassekartierung zum Vergleich mit Luftbild
Reinstedt	Schluft	25,5	W-Weizen	Biomassekartierung zum Vergleich mit Luftbild
Wittbrietzen	An der Borne / Nieplitzbrücke	12,0	Grünland	Pflanzenmassekartierung
gesamt:		**480,9**		

Anmerkungen:

Auf einer Dauergrünlandfläche (56 ha) in Wittbrietzen (Lühsdorf) (in Tab. nicht aufgeführt) wurde die Pflanzemassekartierung vor dem ersten Silageschnitt (Mai) begonnen. Aus dieser Pflanzenmassekarte sollte eine Applikationskarte zur teilflächenbezogenen N-Düngung des 2. Schnittes abgeleitet werden. Die Kartierung musste jedoch eingestellt werden, da sich vor Ort ein Befahren der Fläche aufgrund starker Vernässung nach ergiebigen Niederschlägen als nicht durchführbar erwies. Zudem ließ der durch den trockenen April und niedrige Nachttemperaturen schwach entwickelte Bestand (< 15 cm Wuchshöhe) keine messbaren Werte erwarten.

Für den gesamten Schlag "Streitländer" konnte keine Beziehung zwischen N-Düngung und Erträgen hergestellt werden, weil nur die Erträge des an einem Tag geernteten Streifenversuches als zuverlässig beurteilt werden konnten. Die Plausibilität der Ertragsmessung wurde erheblich eingeschränkt, da sich die Ernte durch Niederschläge auf eine Zeitspanne vom 19. bis 30. August erstreckte. Hervorgerufen durch ausgefallene Körner und Halminstabilität als Folge der langen Erntezeitspanne sind Ertragsbeeinflussungen sehr wahrscheinlich.

Jahr 2006

Eine zusammenfassende Übersicht zu den durchgeführten Produktionsexperimenten im Jahr 2006 enthält die Tabelle 6.

Tabelle 6: Produktionsexperimente in 2006

Betrieb	Schlag	Fläche (ha)	Kultur	Maßnahme mit Crop-Meter
Staritz	Brauhaus	10,4	W-Weizen	3. N-Gabe
Staritz	Altes Schiff	27,3	W-Weizen	3. N-Gabe
Staritz	Dammloch	38,6	W-Weizen	3. N-Gabe
Niedergörsdorf	Am Bahnhof	48,8	W-Weizen	2. N-Gabe
Dawa	Wasserstelle	24,6	W-Weizen	3. N-Gabe
Blönsdorf	Nr. 624.0	59,1	W-Weizen	3. N-Gabe
Wörlitz	Horstdorfer Trift	141,0	W-Weizen	Ährenbehandlung mit Fungizid
gesamt:		**349,8**		

Anmerkungen:

Nach Prüfung der Applikationsdaten vom Schlag Nr. 624.0 in Blönsdorf stellte sich heraus, dass die Daten im Programm AgroMap Basic 7.0 aufgrund eines Aufzeichnungsfehlers auf dem mobilen Datenträger nur teilweise lesbar waren. Daher konnte eine Auswertung für diesen Schlag nicht erfolgen. Vom Schlag "Dammloch" lagen nur Ertragsdaten für den südlichen Schlagteil vor.

Jahr 2007

Die zusammenfassende Übersicht zu den durchgeführten Produktionsexperimenten im Jahr 2007 enthält Tabelle 7.

Tabelle 7: Produktionsexperimente in 2007

Betrieb	Schlag	Fläche (ha)	Kultur	Maßnahme mit Crop-Meter
Staritz	Busch	109,7	W-Weizen	3. N-Gabe
Staritz	Kastanienallee	41,5	W-Weizen	3. N-Gabe
Niedergörsdorf	Panzerstraße	56,6	W-Weizen	2. N-Gabe
Niedergörsdorf	Streitländer (Teil)	48,0	W-Weizen	2. N-Gabe
Niedergörsdorf	Oehnaer Grenze	54,2	W-Weizen	2. N-Gabe
Blönsdorf	Nr. 627.3	67,0	W-Weizen	3. N-Gabe
Blönsdorf	Nr. 651.0	60,0	W-Weizen	3. N-Gabe
Dawa	Bennstedter Feld	38,2	W-Weizen	2. + 3. N-Gabe
Dawa	Zw. Weg u. Graben	21,9	W-Weizen	2. + 3. N-Gabe
Dawa	Schweinestall Klein Ammensleben	16,9	W-Weizen	2. + 3. N-Gabe
Wittbrietzen	Rohrwiese	8,2	Grünland	Pflanzenmassekartierung
Wittbrietzen	Wiese 1	22,9	Grünland	Pflanzenmassekartierung
Wittbrietzen	Wiese 2	29,6	Grünland	Pflanzenmassekartierung
gesamt:		**574,7**		

Anmerkungen:

Auf der Grünlandfläche "Wiese 1" (Tab. 7) in Wittbrietzen (2007) war die Kartierung der Auslenkwinkel aus technischen Gründen nicht verwertbar. Beim Schlag "Busch" (2007) konnte die Auswertung nur teilweise erfolgen, weil durch eine Stromunterbrechung die Kartierung für eine Düngerstreuerladung nicht erfolgte.

4.4.2 Streifenversuche

Die folgende Tabelle 8 verdeutlicht in zusammengefasster Form die Maßnahmen zur Stickstoffdüngung auf der Grundlage von Streifenversuchen.

Tabelle 8: Streifenversuche zur N-Düngung

Jahr	Standort	Kultur	Schlag	Maßnahme mit Crop-Meter
2005	Dawa	WG	Sandberg	N 2+N 3
	Staritz	WG	Krummes Land	N 2
	Staritz	WW	Pietzsch	N 2
	Niedergörsdorf	WW	Streitländer	N 2
	Blönsdorf	WW	Nr. 602.2	N 3
	Dawa	WW	Wasserstelle	N 2+N 3
2006	Dawa	WW	Groß Ammensleber Weg	N2 (Algorithmus)+N 3
	Dawa	WG	Wuhne	N 2 (Algorithmus)+N3
	Staritz	WW	Riesterstück	N 3
	Wittbrietzen	WT	Nr. 352	N 2
	Niedergörsdorf	WW	Betonstraße	N 2
	Blönsdorf	WW	Nr. 628.2	N 3
2007	Dawa	WW	Sandberg	N 2 (Algorithmus)
	Dawa	WG	Groß Ammensleber Weg	N 2 (Algorithmus)
	Wittbrietzen	WG	Dobbrikower Straße rechts	N 1 (Karte)

Jahr 2005

Die N-Gaben zu Vegetationsbeginn erfolgten schlageinheitlich, weil das Crop-Meter prinzipbedingt erst ab Schossbeginn einsetzbar ist. In allen Versuchen wurden steigende Applikationsalgorithmen zur teilflächenspezifischen N-Düngung gewählt, wobei geringen Pflanzenbeständen eine niedrige Düngermenge und gut entwickelten Beständen eine höhere Menge zugeordnet wurden. Das erfolgte unter der Annahme, dass Bestandesunterschiede häufig schon im zeitigen Frühjahr durch differenzierte Wachstumsraten der Biomasse auftreten, vermutlich hervorgerufen durch limitierte Wasserversorgung der Pflanzen (Ehlert et al. 2004), was eine differenzierte N-Aufnahme der Pflanzen erwarten lässt (Lemaire et al. 2004). Es kam die Düngersorte Kalkammonsalpeter (KAS, 27 % N) bei der zweiten und dritten N-Gabe zum Einsatz. Beim Einsatz des stabilisierten Düngers Alzon® (40 % N bzw. 46 % N, nitrifikationsgehemmt) wurden N 2 und N 3 zum Termin der zweiten N-Gabe zusammengefasst, weil nach Herstellerangaben durch die N-Stabilisierung eine langsam und harmonisch fließende Nährstoffquelle bereitsteht (SKWP 2007), die ein Gabensplitting ersetzen kann. Damit konnte aus arbeitswirtschaftlicher Sicht des Betriebes eine Schlagüberfahrt eingespart werden.

Anmerkungen:

Die Versuche bestanden aus zwei oder drei Varianten mit ein bis drei Wiederholungen. Detaillierte Angaben zu produktionstechnischen Daten und Versuchsanlagen enthalten die Tabellen A7 und A8.

Eine Versuchsanlage in Blönsdorf musste im Ansatz abgebrochen werden. Die Schläge Nr. 608.2 (Weizen, 101 ha) und Nr. 605 (Weizen, 81 ha) waren ausgewählt worden, um mittels Crop-Meter teilflächenspezifische N-Düngungsversuche anzulegen. Der Ausfall des im ACT-Terminal integrierten GPS-Empfängers während der Düngerapplikation machte dieses Vorhaben jedoch zunichte. Der bereits vorgerückte Termin für die Ausbringung der Schossergabe machte eine Neuaufnahme der Versuchsdurchführung nach Behebung des Defektes unmöglich, so dass auf eine dritte N-Gabe ausgewichen wurde.

Der Versuch zu N 3 wurde dann auf dem Schlag Nr. 602.2 angelegt. Aufgrund der sehr großen Schlaglänge (ca. 1250...1500 m) und des begrenzten Volumens des Mähdrescherkorntanks wurde die Beerntung auf einer Länge von ca. 700 m vorgenommen, so dass der Mähdrescher pro Erntespur nur einmal mit einem vollen Korntank abbunkern musste. Ein Kerndrusch (vgl. 4.5.2) entlang der gesamten Spur hätte eine unzumutbar hohe logistische Belastung für den Betrieb bedeutet.

Die Auswertung des Versuchs auf dem Schlag „Sandberg“ in Dahlenwarsleben wurde mit der Einschränkung bearbeitet, dass die im 1. Zwischenbericht genannte Variante „KAS teilflächenspezifisch“ (2. N-Gabe) letztlich doch verworfen wurde.

Jahr 2006

In 2006 wurden Streifenversuche zur Ausbringung der zweiten und/oder dritten N-Gabe mit Zentrifugal-Düngerstreuern und festen N-Düngemitteln in W-Weizen, W-Gerste und W-Triticale angelegt (Tab. A9 und A10). Die erste N-Gabe zu Vegetationsbeginn erfolgte wiederum in allen Betrieben schlageinheitlich. In den Versuchen in Blönsdorf, Niedergörsdorf, Staritz und Wittbrietzen wurden steigende Applikationsalgorithmen zur teilflächenspezifischen N-Düngung festgelegt.

In Dahlenwarsleben wurden zur Applikation der 2. N-Gabe in W-Gerste und W-Weizen sowohl steigende und in Analogie dazu auch fallende Algorithmen vorgegeben. Zur 3. N-Gabe wurden ausnahmslos steigende Algorithmen angewendet. Mit der Wahl eines fallenden Algorithmus zur 2. N-Gabe sollte eine Düngungsstrategie der Firma YARA untersucht werden, die im Zusammenhang mit dem Einsatz des N-Sensors® postuliert wurde. Bei der 2. N-Gabe zum Schossen soll ein Ausgleich von bereits bestehenden Pflanzenbestandsunterschieden erreicht werden (Reckleben 2004). Beim fallenden Algorithmus nimmt mit steigenden Pendelwinkeln bzw. steigenden Pflanzenmassen die applizierte Düngermenge ab. Als Stickstoffdünger wurde Kalkammonsalpeter (KAS, 27 % N) zur zweiten und dritten N-Gabe eingesetzt. In Dahlenwarsleben erfolgte die 3. N-

Gabe in Wintergerste mit Piamon 33 S (33 % N). Ebenso wurden in Blönsdorf zwei Varianten der 3. N-Gabe mit Piamon 33 S in W-Weizen angelegt.

Die Versuche bestanden aus zwei oder drei Varianten mit ein bis drei Wiederholungen.

Anmerkungen:

Im Streifenversuch auf dem Schlag 628.2 in Blönsdorf wurde nach dem Auslesen der Erntedaten am PC festgestellt, dass in den 8 mit Piamon 33 S gedüngten Spuren aus unbekannter Ursache keine Daten auf der PCMCIA-Karte ablegt worden waren, so dass diese für die Auswertung unwiederbringlich verloren waren. In den KAS gedüngten Streifen wurden 4 Spuren nicht beerntet, weil ein Drillfehler im Versuch, der die Ausgangsbedingungen gegenüber den anderen Spuren veränderte, erst nachträglich erkannt wurde.

Jahr 2007

In 2007 wurden 3 Streifenversuche zur N-Düngung in Dahlenwarsleben und Wittbrietzen angelegt. In Wittbrietzen wurde die Frage untersucht, ob eine auf Basis der Pflanzenmassekartierung (Milchreife des Getreidebestandes) in 2005 erstellte Applikationskarte einen vorteilhafteren N-Düngereinsatz verspricht als die einheitliche Düngung. Dazu wurde die Gesamt-N-Menge in beiden Varianten entgegen der üblichen Praxis (vgl. 4.3) zu Vegetationsbeginn ausgebracht. Versuchsergebnisse mit W-Roggen und W-Weizen von einem vergleichbaren Versuchsstandort (Thyrow) der Humboldt-Universität zu Berlin stützen diese Vorgehensweise (Baumecker 2005, Baumecker & Wellie-Stephan 2005).

In Dahlenwarsleben wurde die im Jahr 2006 begonnenen Untersuchungen zu verschiedenen Algorithmen zu N 2 in Weizen und Gerste im Vergleich zu einheitlicher Düngung weitergeführt. Zu N 3 wurde in allen Prüfgliedern einheitlich Dünger ausgebracht, um die Effekte des steigenden bzw. fallenden Algorithmus zu N 2 noch deutlicher herauszustellen.

Anmerkungen:

Der Düngungsversuch in W-Weizen auf Schlag "Sandberg" konnte jedoch aufgrund von zwei Ernteterminen nicht ausgewertet werden. Aufgrund eines großen zeitlichen Abstandes der zwei Versuchserntetermine (14 Tage) waren die Weizenertragswerte der Varianten miteinander nicht mehr vergleichbar, weil wegen Niederschlägen beim zweiten Erntetermin mit höheren Körnerverlusten durch Ausfall gerechnet werden musste (Tab. A44). Aufgrund hoher Verluste durch Knickähren im Wintergerstenversuch auf dem Dawa-Schlag "Groß Ammensleber Weg" waren dort die gemessenen Erträge auch nur mit Einschränkungen zu bewerten.

Zur Fungizidanwendung wurden drei Streifenversuche in W-Weizen durchgeführt. Ein Versuch wurde in Niedergörsdorf angelegt und zwei gleichartige in einem Partnerbetrieb im Rahmen des Verbundprojekts *preagro II* in Rodleben bei Dessau. Die Fungizidapplikation erfolgte zum Ährenschieben. In diesen Versuchen wurden vier Varianten getestet: eine unbehandelte Kontrolle und eine flächeneinheitliche Variante sowie zwei teilflächenspezifische Applikationen. Die eine teilflächenspezifische Variante basierte auf dem Sensoransatz mit Crop-Meter, bei der mit einem steigenden Algorithmus das Pflanzenschutzmittel appliziert wurde. Die andere teilflächenbezogene Variante beruhte auf einem Map-Overlay, der hier nicht näher betrachtet wird. Das Crop-Meter war über einen Jobrechner mit dem Basic Terminal TOP® der Firma Müller-Elektronik GmbH & Co. KG (Salzkotten) verbunden. Dieses Terminal kommunizierte mit dem Jobrechner der verwendeten Feldspritze Amazone BBG S 340 Air, ausgestattet mit einem Vario-Select®-Düsensystem der Firma Lechler GmbH (Metzingen) (Wollny et al. 2007).

Nach einer Kalibrierfahrt wurden steigende Applikationsalgorithmus mit minimalen und maximalen Ausbringmengen entsprechend der gemessenen Spanne der Crop-Meter-Auslenkwinkel definiert. Demnach findet bei der Applikation eine lineare Anpassung der Aufwandmenge innerhalb der gewählten Grenzen an die aktuellen Pflanzenmasse statt.

4.5 Erfassung und Aufbereitung der Untersuchungsmerkmale

4.5.1 Pendelwinkel

Die Pendelwinkel wurden bei der teilflächenbezogenen Applikation der Stickstoffdünger oder der Fungizide bzw. bei Kartierungen aufgezeichnet und per PCMCIA-Karte auf einen PC übertragen.

Am PC wurden die Daten mit dem Programm *AgroMap Basic 5.5* ausgelesen und konnten dann als Dateien im Format *.aft in *MS Excel* bearbeitet werden. Ab 2006 wurden die Daten mit dem Programm *AgroMap Basic 7.0* ausgelesen und dann als Dateien im Format *.crp in *MS Excel* bearbeitet.

In *MS Excel* wurden die Datensätze dann nach folgender Prozedur aufbereitet und verrechnet:

1. Benennung der Datensätze nach Herkunftsdatei (*.aft oder *.crp)
2. Vergabe einer laufenden Nummer
3. Umrechnung der Positionen von WGS 84-Koordinaten in Bezugssystem Gauß-Krüger-Bessel (Bezugsmeridian: 12° östliche Länge)
4. Umrechnung der Uhrzeit in Sekunden seit 0.00 Uhr des Aufzeichnungstages
5. Berechnung der Positionsänderung und der vergangenen Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Datensätzen (für den 1. Datensatz wird eine Null gesetzt)
6. Berechnung durchschnittlicher Fahrgeschwindigkeiten in m/s (für den 1. Datensatz wird eine Null gesetzt)

Eine Weiterbearbeitung erfolgte im Anschluss mit Hilfe des GIS-Programms ESRI *ArcView 3.2.* Es wurden:

1. alle Winkel < 0° auf 0° gesetzt
2. alle Datensätze entfernt, in denen die Fahrgeschwindigkeit gleich Null war
3. alle Datensätze entfernt mit einer Fahrgeschwindigkeit größer als die mittlere Geschwindigkeit + zweifache Standardabweichung bzw. kleiner als die mittlere Geschwindigkeit – zweifache Standardabweichung
4. alle Datensätze im Vorgewende als Rand interpretiert und verworfen

Die so aufbereiteten Punktdaten wurden dann zur geostatistischen Verrechnung weiterverwendet.

4.5.2 Erträge

In den Streifenversuchen wurde über die gesamte Länge einer jeden Fahrgasse ein sogenannter Kerndrusch durchgeführt (Bild 4).

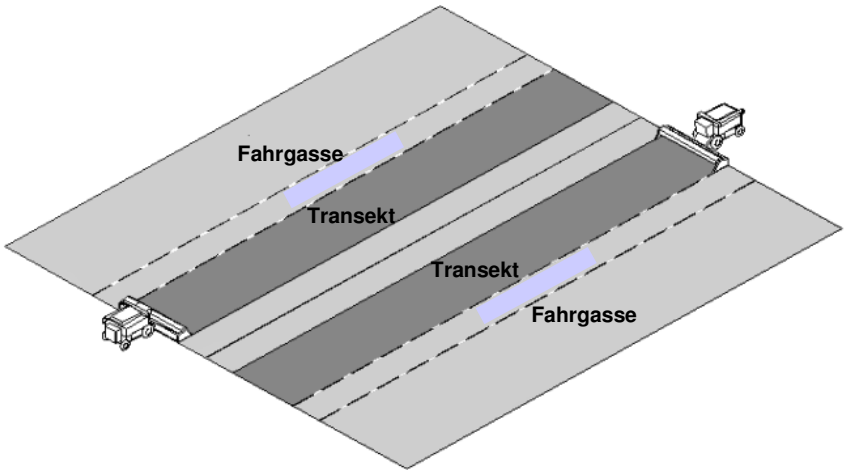


Bild 4: Kerndrusch mit Mähdrescher und Ertragskartierung in einem Düngungsprüfglied

Mit Mähdreschern, die mit Ertragskartierungssystemen ausgerüstet sind, wurde eine volle Schneidwerksbreite zwischen den Fahrgassen einer Düngungsvariante geerntet. Die äußeren Grenzen einer Kerndruschspur bildeten die beiden inneren Fahrspuren einer Variante. Die verbleibende Fläche zwischen den Fahrgassen wurde als Rand behandelt und nicht in die Bewertung einbezogen. Damit wurde der Einfluss der überlappenden fächerförmigen Streubilder von Zentrifugalstreuern auf die tatsächlich je Position entfallenen Düngermengen weitgehend reduziert. Vermeidbare Fehler bei der Ertragserfassung wurden durch die Betreuung während des Erntevorgangs weitgehend unterbunden. In den Produktionsexperimenten führten die Betriebe die Ertragsmessungen selbständig durch. Die Beerntung erfolgte hier in praxisüblicher Weise. Auch in den Produktionsexperimenten wurden Ertragsmessdaten vom Vorgewende verworfen. Die

Ertragserfassung erfolgte in den Betrieben Staritz, Wittbrietzen und Blönsdorf mit Claas Lexion Mähdreschern verschiedener Typen, die mit dem Ertragsmesssystem *Quantimeter* ausgerüstet sind. Der Betrieb Dawa setzte *John Deere* Mähdrescher vom Typ *9880 STS* mit *GreenStar*-Erfassungssystem ein. In Niedergörsdorf übernahmen *New Holland* Mähdrescher die Ernte, ausgestattet mit einem *LH-Agro*-System.

Das *Quantimeter* misst das Körnerstromvolumen mit einer Lichtschranke im Körnerelevator. Die Ertragsmesswerte wurden, soweit logistisch während der Ernte umsetzbar, auf Grundlage der gewogenen Gesamtmassen je Druschstreifen nachkalibriert.

Das *GreenStar*- und *LH-Agro*-System arbeiteten nach dem Masseflussprinzip. Der Gutstrom trifft dabei auf eine gekrümmte Prallplatte im Kopf des Körnerelevators (Demmel 2001). Die Kalibrierung wurde direkt vor dem Kerndrusch für jede Getreideart anhand des Vergleichs von angezeigter Masse zu gewogener Masse aus dem Probedrusch einer definierten Strecke durchgeführt. Jede Erfassungseinheit verfügte zusätzlich über einen Sensor, der die Kornfeuchte bestimmte, so dass die aufgezeichneten Ertragswerte auf eine Basis von 14% Feuchtigkeit bezogen werden konnten.

Die Ertragswerte wurden in *MS Excel* bzw. *ESRI ArcView 3.2* nach folgendem Schema bearbeitet:

1. Erträge gleich Null entfernt
2. Erträge mit einer Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers gleich Null entfernt
3. Werte größer als der Mittelwert + zweifache Standardabweichung verworfen
4. Werte kleiner als der Mittelwert – zweifache Standardabweichung wurden durch visuelle Bewertung auf Plausibilität untersucht (vereinzelte Werte werden gelöscht; Abfolge ab fünf niedriger Einzelwerte wird akzeptiert)
5. Kornerträge mit Feuchtewerten gleich Null entsprechend dem nächst folgenden plausiblen Feuchtewert angepasst
6. Kornerträge auf eine Feuchte von 14% bezogen

4.5.3 Ertragsstruktur und Rohproteingehalt im Korn

In den 2005er Streifenversuchen wurden auf Basis der Pflanzenmasseverteilung an den jeweiligen Applikationsterminen in jedem Druschstreifen vier (Blönsdorf) bzw. fünf Getreideproben entnommen, um Richtwerte für die Ertragsstruktur (Tab. 9) und die Rohproteingehalte im Korn zu erhalten. Dabei wurden pro Probe drei laufende Meter aus den Drillreihen geschnitten.

In den Streifenversuchen des Jahres 2006 wurden entsprechend dem Spektrum der Pflanzenmasseverteilung an den jeweiligen Applikationsterminen in jedem Druschstreifen fünf Getreideproben entnommen, um Richtwerte für die Rohproteingehalte im Korn zu erhalten. Dabei wurden pro Probe drei laufende Meter aus den Drillreihen geschnitten. In 2007 wurden im Weizenversuch analog zu 2006 auf dem Schlag "Sandberg"

des Betriebes Dawa in jedem Druschstreifen fünf Getreideproben entnommen, um Richtwerte für die Rohproteingehalte im Korn zu erhalten.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Beprobung in den flächenmäßig großen Streifenversuchen können die Aussagen zu Rohproteingehalten und zur Ertragsstruktur nur den Charakter von Orientierungswerten erfüllen (Tab. A14 bis A46). Belastbare Aussagen mit einer ausreichenden Datenbasis können z.B. mit einer zusätzlichen Sensorausstattung von Mähdreschern erzielt werden (Reckleben 2004). Die eingesetzten Mähdrescher verfügten jedoch nicht über eine derartige Sensortechnik.

Tabelle 9: Erfassung von Ertragsstruktur und Rohproteingehalt im Korn

Prüfmerkmal	Einheit	Untersuchungsmethode
Ährendichte	Ähren pro m²	Ähren zählen; Umrechnung auf 1 m²
Kornzahl je Ähre	./.	Berechnung nach der Formel (Gesamtkornmasse/TKM *1000)/Ährenzahl
Tausendkornmasse (TKM)	g	1000 Körner zählen und wiegen
Rohproteingehalt im Korn	%	Nicht-destruktive Messung durch Nahinfrarotspektroskopie mit Perten DA 7200 (2005) mit Foss Tecator 1241 Analyser (2006 und 2007)

4.6 Verfahrensbewertung

4.6.1 Produktionsexperimente zur Pflanzenmassekartierung in Wintergetreide und Grünland

Aus bereinigten Datensätzen der Pendelwinkel (α) wurden durch Berechnung relativer Biomassen (1) und Kriging-Interpolation im Programm *AgroMap Basic 7.0* Pflanzenmassekarten von drei Schlägen des Betriebs Reinstedt (2005) im 20 m x 20 m Raster erstellt.

$$CBD_{rel\ i} = (\tan \alpha)_i / (\tan \alpha)_{mean} \quad (i = 1,\ldots, n) \qquad (1)$$

Dabei entspricht $CBD_{rel\ i}$ der relativen örtlichen Pflanzenmasse, α einem Pendelwinkel und $(\tan \alpha)_{mean}$ dem Mittelwert der relativen Biomasseverteilung der Gesamtfläche. Die Pflanzenmassekarten wurden visuell mit vom Betrieb erstellten Luftbildern verglichen.

In Wittbrietzen (Schlag "Dobbrikower Straße rechts") wurde bei einheitlicher Düngung in 2005 eine Karte der relativen Pflanzenmasse erstellt, die in 2007 zur Ableitung einer Applikationskarte diente und auf deren Grundlage die erste N-Gabe zu Vegetationsbeginn in Wintergerste verabreicht wurde (vgl. Streifenversuche 2007). Die Pflanzen-

massekartierung auf dem Grünland wurde entsprechend der dort gemachten Erfahrungen verbal beurteilt.

4.6.2 Produktionsexperimente zur N-Düngung und zum Pflanzenschutz in Wintergetreide

Für alle Produktionsexperimente wurden für Winkel und Kornerträge Maßzahlen der beschreibenden Statistik (Mittelwert und Variationskoeffizient (CV)) berechnet. Für den Gesamt-Düngeraufwand wurde bei der teilflächenspezifischen Düngung die Spannweite der Gesamtdüngermenge (einheitliche Düngermenge + variable Düngermenge) angegeben.

Für den Schlag "Busch" in Staritz (2005) wurden empirische Semi-Variogramme für aufbereitete Pendelwinkel und Ertragsdaten kalkuliert und anschließend mittels Kriging-Verfahren im 20 m x 20 m Raster interpoliert. Ebenso wurde bei den Schlägen "Drauen" und "Klein Ammensleber Weg" des Betriebes Dawa verfahren.

Für die Schläge „Altes Schiff“, „Dammloch“ und „Brauhaus“ aus Staritz sowie den Schlag „Am Bahnhof“ aus Niedergörsdorf (alle 2006) wurden empirische Semi-Variogramme für die aufbereiteten Pendelwinkel und Ertragsdaten kalkuliert sowie nachfolgend mittels Kriging-Verfahren entsprechend der betrieblichen Arbeitsbreite im 30 m x 30 m Raster (Staritz) bzw. 24 m x 24 m (Niedergörsdorf) interpoliert. Die gleiche Vorgehensweise fand bei den in Tabelle 7 genannten Schlägen in 2007 Anwendung. Aus den interpolierten Pendelwinkeln wurde, abhängig vom jeweiligen Applikationsalgorithmus, eine zu applizierende Düngermenge abgeleitet. Für alle Schläge wurde ein Düngereinsparpotential bei Unterstellung einer schlageinheitlichen N-Düngung als Obergrenze errechnet, sowie zusätzlich ein spezifischer Stickstoffaufwand (in kg N dt^{-1}) ermittelt. Die Einsparungen wurden monetär (in € ha^{-1}) bewertet. Mit dem Programm *ArcView* wurden Karten erstellt für die relative Winkelverteilungen, relative Ertragsverteilungen und für einen Quotienten aus Kornertrag (in kg) und Düngeraufwand (in kg), der ein anschauliches Bild über die teilflächenbezogene Produktivität eines Schlages liefert. Für den Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" des Betriebes Wörlitz wurden neben den realen Einsparungen Fungizideinsparpotentiale berechnet.

4.6.3 Streifenversuche

Beschreibende Statistik

Für die Pendelwinkel wurden auf Grundlage der aufbereiteten Einzelwerte jeder Fahrgasse Mittelwerte und Variationskoeffizienten errechnet. Für die Erträge wurden analog zu den Pendelwinkeln für jeden Druschstreifen ebenfalls Mittelwerte und Variationskoeffizienten berechnet (Tab. A14 bis A46). Jeder Düngungsfahrgasse war dabei ein Druschstreifen zugeordnet.

Aggregierung von Applikations- und Erntedaten

Eine Aussage über die Effizienz der einheitlich oder teilflächenspezifisch eingesetzten N-Dünger erfordert, dass die an verschiedenen Orten erhobenen Punktinformationen über Düngerapplikationen und Ernte auf dieselbe räumliche Basis gestellt werden.

Dazu wurden die Positionswerte des Gauß-Krüger-Bessel-Bezugssystems in Anlehnung an eine festgelegte Linie in Längs- (x-Koordinate) und Querabstände (y-Koordinate) eines lokalen kartesischen Koordinatensystems umgerechnet. Damit verfügte jeder Ertragswert oder gemessene Pendelwinkel über eine bestimmte Lage zu einem definierten Ursprung. Dieses diente zur Vereinfachung der räumlichen Übersicht in den Versuchen.

Anschließend wurde ein Raster über die aus Punktdaten bestehenden Spuren gelegt. Das Raster orientierte sich dabei parallel bzw. im rechten Winkel am Verlauf der Spuren, so dass eine Applikationsspur mit ihrer zugehörigen Erntespur durch Rasterzellen überlagert wurde. Die Rastergrößen orientierten sich an den Arbeitsbreiten der verwendeten Applikationstechnik (24 m x 24 m bis 30 m x 30 m). Für jede Rasterzelle wurde auf Basis der darin befindlichen Einzelmesswerte (Pendelwinkeln bzw. Erträge) ein Mittelwert bezogen auf den Raster-Schwerpunkt berechnet (aggregierte Mittelwerte). Das führte zu einer gemeinsamen Bezugsbasis für Düngungs- und Erntewerte.

Aus den gemittelten Pendelwinkeln wurde abhängig vom jeweiligen Applikationsalgorithmus eine applizierte Düngermenge abgeleitet. Diese berechneten Düngermengen wurden mit Probewägungen während der Düngerausbringung verglichen.

Schließende Statistik

Auf der genannten Datengrundlage erfolgte daraufhin eine statistische Auswertung mit dem Programm *SAS Version 9.1 für Windows*. Als Hypothese war mittels Varianzanalyse zu prüfen, ob die vorwiegend an einer N-Dünger-Einsparung ausgerichteten Applikationsalgorithmen in den teilflächenspezifischen Varianten aus statistischer Sicht zu Ertragsunterschieden gegenüber dem einheitlichen Düngeverfahren geführt haben.

Versuchshypothese

$$H_0 : \mu_{einh} = \mu_{tf} ; \quad H_A: \mu_{einh} \neq \mu_{tf} \qquad (2)$$

Dabei entspricht H_0 der Nullhypothese, H_A der Alternativhypothese und μ dem Mittelwert der Prüfglieder "einheitlich" (einh) bzw "teilflächenspezifisch" (tf).

Datensätze mit Raumbezug können die Bedingungen für eine klassische Varianzanalyse oft nicht erfüllen. Eine klassische Varianzanalyse setzt als wichtigste Annahme die stochastische Unabhängigkeit der Residuen voraus (Schabenberger & Pierce 2002). Häufig unterliegen Kornertragsdaten aus Streifenversuchen jedoch räumlichen Autokorrelationen der Residuen (Kovarianzen ungleich Null), was die stochastische Unabhängigkeit der Residuen verletzt. Eine Erweiterung der theoretischen Annahmen bei der Bildung statistischer Modelle ermöglicht es, räumliche Korrelationen über distanzabhängige Kovarianzstrukturen bei der Schätzung fester Prüffaktoreffekte zu berücksichti-

gen. Dazu wurden in der Prozedur "MIXED" in SAS die Kornerträge als abhängige Variable und die N-Düngungsverfahren "einheitlich" und "teilflächenspezifisch" als fixe Effekte des Prüffaktors "N-Düngung" definiert (Littell et al. 2006). Mit der "repeated"-Option von "MIXED" wurden 11 mögliche räumliche Autokovarianzstrukturen bei der Schätzung der Varianzkomponenten einbezogen. Zur Schätzung der Varianzkomponenten wurde der REML-Algorithmus (Restricted Maximum Likelihood) in "MIXED" verwendet. Vergleichend wurde eine klassische Varianzanalyse (Unabhängigkeit der Residuen) durchgeführt. In einem zusätzlichen Rechenschritt wurde jede räumliche Kovarianzstruktur weiter differenziert, indem noch ein Varianzparameter in der Modellbildung (Nugget-Varianz) zugelassen wurde (Littell et al. 2006). Insgesamt wurden auf diese Weise 23 Modelle zur Auswertung der Streifenversuche angepasst. Die Qualität der Modellanpassung wurde über den Likelihood-Ratio-Test (LRT) und das korrigierte Akaike-Informationskriterium (AICC = Akaike´s corrected information criteria) ermittelt. Das Signifikanzniveau für den LRT wurde mit 0,05 festgelegt. Für den AICC gilt, dass die Modellanpassung umso besser ist, je geringer dieser Wert ausfällt. Die Versuchshypothese wurde am F-Test überprüft. Das Signifikanzniveau für die festen Effekte im F-Test wurde ebenfalls mit 0,05 festgelegt. Das beste räumliche Modell musste im LRT dem klassischen Modell signifikant überlegen sein.

Es wurden Mittelwerte der Kornerträge und Standardfehler für die einheitlichen und teilflächenspezifischen Düngungsvarianten auf Grundlage der besten räumlichen Modelle geschätzt. Zusätzlich wurde der Standardfehler der Mittelwertdifferenzen angegeben. Quotienten (N-Effizienzen, in kg N dt^{-1}) wurden aus Ertragsmittelwerten und mittlerer N-Düngermenge der Varianten gebildet. Weitere mögliche N-Quellen (Bodenvorrat, Vorfruchteffekt, organische Düngung etc.) blieben unberücksichtigt, da es sich um eine rein ökonomische Betrachtungsweise handelte.

4.7 Ökonomische Verfahrensbewertung

Für eine ökonomische Bewertung der Produktionsexperimente kam in einem ersten Schritt eine monetäre Bewertung tatsächlich realisierter Dünger- bzw. Pflanzenschutzmitteleinsparungen (€ ha^{-1}) zum Ansatz. In einem zweiten Schritt mussten die Maschinenkosten des Crop-Meters, bestehend aus den festen Kosten für die Abschreibung des Crop-Meters und dem Zinsansatz für Eigenkapital sowie veränderlichen Reparaturkosten und zusätzlichen Kosten für Arbeiten bei der Installation berücksichtigt werden. Die Verfahrenskosten richteten sich beim Crop-Meter-Einsatz nach der tatsächlichen jährlichen Einsatzfläche. Die Kosten sanken degressiv mit steigender Einsatzfläche.

Die Streifenversuche konnten anhand einer direktkostenfreien Leistung beurteilt werden. Eine direktkostenfreie Leistung entspricht der Marktleistung des Getreides (Mittlerer Kornertrag * Preis pro Einheit) vermindert um die Düngungskosten (mittlere Düngermenge * Preis pro kg N) bzw. Kosten für Pflanzenschutzmittel. Zur Beurteilung ein-

gesparter Kosten wurden für alle Jahre 0,60 € je kg N angesetzt, obwohl sich reale Preise für N-Dünger im Herbst 2007 schon auf höherem Niveau befanden.

Für die wirtschaftliche Betrachtung der Streifenversuche war von Bedeutung, ob statistisch signifikante Ertragsunterschiede zwischen praxisüblichen und teilflächenspezifischen Varianten vorlagen. Sofern keine signifikanten Mittelwertdifferenzen vorlagen, wurde von einer identischen Marktleistung des Getreides ausgegangen. In diesem Fall wurden nur die Düngungskosten verglichen. Im umgekehrten Falle wurde die Marktleistung je Variante berücksichtigt. Als Getreidepreis wurde für alle Arten und Jahre 10,00 € dt^{-1} bestimmt. Die Maschinenkosten des Crop-Meters wurden gegengerechnet.

4.8 Ökologische Verfahrensbewertung

Eine direkte Beurteilung ökologischer Effekte konnte nicht vorgenommen werden, weil dazu keine Messungen in den Versuchen erfolgten. Man kann jedoch indirekt folgern, dass jede zusätzliche Einsparung bei den Betriebsmitteln N-Dünger und Fungiziden zu einer Entlastung der Umwelt beiträgt. Geringere spezifische N-Aufwendungen bzw. größere Getreideerträge pro eingesetztem Kilogramm Stickstoff lassen ebenfalls indirekt eine höhere Umweltfreundlichkeit des jeweiligen Verfahrens erwarten. Für jeden Schlag in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung wurde eine Karte generiert, die einen Eindruck vermittelt, wie viel Getreide (in kg) pro eingesetztem Kilogramm N produziert wurde.

In einer Publikation des IPCC (2006) wird angegeben, dass bei Ausbringung einer bestimmten mineralischen N-Düngermenge mit 1 % der Menge als direkter Distickstoffoxid-Emission (N_2O) gerechnet werden kann. Somit kann mit jedem eingesparten Kilogramm Düngerstickstoff von einer Emissionsvermeidung in entsprechender Größenordnung ausgegangen werden. Aus der Vermeidung von N_2O-Emissionen kann ein Einsparpotential in CO_2-Äquivalenten abgeleitet werden, wobei 1 kg N_2O ein 296fach höheres Klimaerwärmungspotential gegenüber 1 kg CO_2 über einen Zeitraum von 100 Jahren hat (Wegener et al. 2006). Daraus folgt:

$$CO_2\text{-Äquivalent}_{\text{N-Dünger}} = F^* 1\ \% * 1{,}57 * 296 \qquad (3)$$

wobei F einer eingesparten N-Düngermenge in kg N entspricht, 1,57 einem Faktor zur Umrechnung von kg N in kg N_2O und 296 dem Klimaerwärmungspotential von 1 kg N_2O gegenüber 1 kg CO_2.

Es handelt sich um einen vereinfachten Ansatz, das klimarelevante Potential von N-Dünger-Einsparungen grob abzuschätzen, wobei applizierte Mineral-N-Dünger nur eine von mehreren Quellen darstellen, die zu direkten N_2O-Emissionen beitragen. Indirekte Emissionen werden hier nicht angesprochen. Auch werden Unterschiede diverser N-Dünger im Potential nicht berücksichtigt.

Als Vergleichsgröße wurde errechnet, welchem Dieselkraftverbrauch (in Litern) die CO_2-Einsparpotentiale entsprechen würden, wobei 1 l Diesel ein Erwärmungspotential von 2,9 kg CO_2 hat (Reinhardt 1993).

5 Ergebnisse

5.1 Probleme bei der Crop-Meter-Erprobung und abgeleitete Lösungen

In diesem Abschnitt sind Unzulänglichkeiten technischer Art aufgeführt, die beim Feldeinsatz des Crop-Meters zu Einschränkungen hinsichtlich des Erreichens der gesteckten Ziele beigetragen haben.

Eine wichtige Voraussetzung für den Frontanbau des Crop-Meters an Schlepper oder selbstfahrende Pflanzenschutzspritzen besteht in dem Vorhandensein von Frontkrafthebern oder in der Schaffung von Alternativlösungen. In den Betrieben Wittbrietzen, Blönsdorf (beide mit Deutz AgroStar) und Staritz (CASE CVX 1170) waren die Schlep-

per bereits mit Frontkrafthebern ausgestattet. In Niedergörsdorf und Dahlenwarsleben wurden betriebsseitig individuelle Lösungen erarbeitet, die darauf beruhten, dass an derSchlepperfrontpartie fest angebaute Zusatzgewichte in der empfohlenen Anbauhöhe von 600 mm mit selbstgefertigten, starren Unterlenkern aus Flachstahl versehen wurden.

Im Betrieb **Reinstedt** bereitete der Frontanbau an die Amazone Selbstfahrer-Pflanzenschutzspritze Schwierigkeiten, weil nur ein geringer Anbauraum für die Anbringung zusätzlicher Unterlenker nahe der Fahrerkabine zur Verfügung stand. Zunächst nahm ein selbst geschweißtes Gestell im Frontanbau das Crop-Meter auf. Das Crop-Meter wurde bei der Applikation später Fungizidgaben gleichzeitig zur Kartierung der Pflanzenmasse eingesetzt. Daraus ergaben sich Einschränkungen bei der Funktion des Tiefenausgleichs, so dass der Betrieb schließlich auf Gestell und Tiefenausgleich vollständig verzichtete und den Auslegearm mit Pendel und Potentiometer fest an den Mittelholm des Fahrzeugrahmens montierte. Die Kabelverbindung zur Elektronikbox für den Jobrechner wurde in die Fahrerkabine integriert. Als ein Ziel des Projektes strebte der Betrieb Reinstedt die Verknüpfung von bestehenden ertragsbasierten Karten und Crop-Meter-Information an, um den Betriebsmitteleinsatz weiter zu optimieren. Dieses Ziel konnte jedoch nicht realisiert werden, weil die benötigte Softwarelösung vom Hersteller nicht zur Verfügung gestellt werden konnte.

In **Wörlitz** wurde, vergleichbar zum Betrieb Reinstedt in 2005, ebenfalls eine betriebseigene Lösung geschaffen, um den Frontanbau des Crop-Meters an eine Dammann Selbstfahrer-Pflanzenschutzspritze zu realisieren. Durch die Ausführung der dafür notwendigen Sonderlösung entstanden dem Betrieb Zusatzkosten, die in der ökonomischen Betrachtung berücksichtigt wurden. Im Betrieb Wörlitz stellte sich heraus, dass die genannte Anbauweise an der selbstfahrenden Feldspritze die Bodenfreiheit des Fahrzeugs insoweit reduzierte, dass mit erhöhten Pflanzenschäden innerhalb von Fahrgassen (z.B. bei Vollblütenbehandlung von Raps) gerechnet werden musste. Um Pflanzenschäden zu vermeiden, wäre eine vollständige, arbeitsaufwändige Demontage des Gerätes erforderlich. Vergleichbar mit Reinstedt wurde auch die Höhenführung bemängelt. Die Nachrüstung einer Vorrichtung zum automatischen Ausheben des Sensors wurde vorgeschlagen. Kompatibilitätsprobleme zwischen dem Jobrechner der Spritze und dem ACT-Terminal führten bei der Inbetriebnahme zu irreparablen Schäden an zwei baugleichen Jobrechnern. Gleichzeitig führte dies zu einem Verlust von Applikationsdaten, die auf einem der Jobrechner abgelegt waren, was eine vollständige manuelle Neueingabe dieser Daten erforderte. Auf der Grundlage visueller Bebachtungen wurde auf dem Versuchsstandort Wörlitz die Regelgeschwindigkeit der Spritze bei variierten Aufwandmengen als zu langsam eingestuft und befürchtet, dass niedrigere oder höhere Aufwandmengen nicht immer an den betreffenden Positionen platziert werden.

Von der Firma AGROCOM wurde in 2006 eine Softwareergänzung für das ACT-Terminal angeboten, die u.a. zusätzliche Variationsmöglichkeiten bei der Vorgabe der Applikationsalgorithmen ermöglicht. Die bisherige Anlehnung des Algorithmus an zwei

Punkte konnte wahlweise durch eine weitere Differenzierung in vier Winkel-Applikationsmengen-Beziehungen erweitert werden. Dieses Angebot wurde vom Betrieb **Dawa** in Anspruch genommen. Aus Sicht einer kontinuierlichen Projektfortführung fand auf keiner der Testflächen ein "Vier-Punkte"-Algorithmus Anwendung, da Vergleiche zwischen den Jahren deutlich erschwert würden. Das neue Softwareupdate verursachte beim Betrieb Dawa (Schlag "Wuhne") nach der Ausbringung der 2. N-Gabe in Wintergerste Lücken bei der Speicherung der Applikationsdaten auf der PCMCIA-Karte. Dieser Mangel konnte jedoch schnell noch während des Arbeitsabschnitts "2. N-Gabe" behoben werden.

Leichte Funktionsstörungen traten in **Blönsdorf** und **Niedergörsdorf** durch den Defekt der GPS-Empfänger auf. Applikationen wurden dadurch nicht behindert, verhinderten aber eine Dokumentation durchgeführter Applikationen. Ebenfalls führten Fehler durch ein defektes Potentiometer zu Datenverlusten (Dawa, Wasserstelle, 2005). Nachdem im Juni 2005 in Wittbrietzen eine Heuschnittwiese (An der Borne/Nieplitzbrücke, 12 ha) kartiert worden war, stellte sich bei der Überprüfung der Aufzeichnung heraus, dass die Daten unbrauchbar waren. Überwiegend waren negative Winkel aufgezeichnet worden, was auf eine Dejustierung des Potentiometers zurückgeführt werden konnte.

Auf der Grünlandfläche "Wiese 1" in **Wittbrietzen** (2007) wurde in der Spalte "Winkel" ständig der Wert "0" aufgezeichnet, was ebenfalls dazu führte, dass diese Kartierung nicht verwertbar war. Bei der Prüfung der Applikationsdaten vom Schlag 624.0 in Blönsdorf (2006) stellte sich heraus, dass die Daten im Programm *AgroMap Basic 7.0* aufgrund eines Aufzeichnungsfehlers auf dem mobilen Datenträger nur teilweise lesbar waren. Somit konnte eine Auswertung für diesen Schlag nicht erfolgen. Auf den Schlägen "Wasserstelle" (2005) und "Wuhne" (2006) in Dahlenwarsleben wurde die Messung der Bestandsunterschiede noch einmal wiederholt, um aussagefähige, vollständige Datensätze zu erhalten.

5.2 Pflanzenmassekartierungen in Getreide und Grünland

Die Kartierung der Pflanzenmasse mittels Crop-Meter erfüllt den Zweck, die Variabilität des Getreidebestandes eines Schlages zu erfassen bzw. eine Planungsgrundlage für teilflächenbezogene Anwendungen zu bieten (Kartenansatz). Der Kartenansatz lässt sich am besten umsetzen, wenn sich räumlich ähnliche Bestandsausbildungen unabhängig vom Witterungsverlauf jährlich wiedererkennen lassen, da in diesem Fall die Information mit geringen Anpassungen zu verschiedenen Maßnahmen verwendbar ist.

Getreide

Ein Beispiel für ein stabiles Muster zeigt der Schlag "Schluft" vom Betrieb **Reinstedt**. Der visuelle Vergleich zwischen dem Luftbild vom 11.07.03 und der interpolierten Pflanzenmassekarte vom 21.05.05 lässt schnell eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Informationen erkennen (Bild A1). Im Gegensatz dazu finden sich weniger gute

Übereinstimmungen (Bild A2 und A3) zwischen Luftbildern und Pflanzenmassekarten der Schläge "Kleines Feld" (Luftbild: 2.07.02; Pflanzenmasse: 21.05.05) und "Burgweg" (Luftbild: 21.07.04; Pflanzenmasse: 24.06.05). Das kann als Indiz dafür gewertet werden, dass ähnliche Verteilungsmuster hier nicht unbedingt wiederkehren müssen, bzw. sich in aktuellen Bestandsunterschieden noch nicht abbilden. An dieser Stelle kann ein Sensor, der online eingesetzt wird, das Mittel der Wahl sein. Auch kann an den beiden zuletzt genannten Beispielen noch einmal die Bedeutung der Kontrolle der Crop-Meter-Einstellungen unterstrichen werden. Eine offenbar nicht ausreichende Einstellungsüberwachung durch den Bediener kann zu systembedingten Streifen in der Karte führen, was ihren Nutzen zumindest teilweise einschränkt. Weitere Ausführungen zur Pflanzenmassekartierung auf der Fläche "Dobbrikower Straße rechts" (**Wittbrietzen**, 2005) stehen im Zusammenhang mit den Ergebnissen zur teilflächenbezogenen N-Düngung in Streifenversuchen.

Grünland

Insbesondere aus arbeitswirtschaftlicher Sicht ist wie in Getreide eine Online-Düngung mit gleichzeitiger Bestandskartierung auch auf Grünland zu bevorzugen. Dieses hätte allerdings das Befahren des Bestandes vor einem bevorstehenden Schnitt erfordert, um für den folgenden Aufwuchs Dünger streuen zu können (z.B. Befahren des Bestands vor dem 1. Schnitt mit Düngung zum 2. Schnitt). Fahrgassen wie im Getreide sind hier jedoch nicht vorhanden. Niedergefahrenes Gras und Futterverluste wären die Folgen. Außerdem wurden ungünstige Auswirkungen auf die Tiergesundheit durch den direkten Kontakt des Grünfutters mit dem Dünger befürchtet. Daher wurde vom Betrieb **Wittbrietzen** eine Offline-Lösung favorisiert, bei der während der Kartierung kein Gras niedergefahren werden sollte (2 Arbeitsgänge = 1. Kartierung, 2. Düngung nach Applikationskarte).

Eine Möglichkeit der Kartierung hätte beispielsweise darin bestanden, einen zusätzlichen Arbeitsgang während der Mahd durchzuführen und dabei einen Extra-Schlepper plus Bediener mit dem Crop-Meter einzusetzen. Das Crop-Meter wäre an einem seitlichen Ausleger (links oder rechts neben der Schlepperspur) befestigt worden, so dass die Kartierung an der Grenze zwischen gemähtem und nicht gemähtem Bestand durchgeführt worden wäre, ohne Fahrspuren im Bestand und damit Futterverluste zu produzieren. In anderen Untersuchungen des ATB wurde mit seitlichen Auslegern gearbeitet (Ehlert et al. 2007).

Betriebe verfügen jedoch oft nicht über die Kapazität, zusätzlich Zeit und Aufwand für reine Kartierungen zu investieren. Eine weitere Möglichkeit der Kartierung bot die Kombination von Crop-Meter im Frontanbau und Mähwerk im Heckanbau, die auch probeweise zur Kartierung des Grünlandbestandes auf dem Schlag "An der Borne/Nieplitzbrücke" angewendet wurde. Diese Methode setzte aber die Schlagkraft der Mahd deutlich herab, da der Anbauraum für ein Frontmähwerk durch den Sensor belegt wurde.

Bei der Auswertung traten Schwierigkeiten hinsichtlich der Interpretation der Pflanzenmasseverteilung auf, weil Dauergrünlandnarben aus einer Vergesellschaftung verschiedener Arten bestehen. Damit war auch teilflächenspezifisch betrachtet von einer unterschiedlichen Artenzusammensetzung auszugehen. Beispielsweise suggerierten große Unkräuter oder stark horstbildende minderwertige Gräser bei einer vorbehaltlosen Interpretation der Messwerte hohe Pflanzenmassebestände. Derartige Erfahrungen konnten beim Kartieren auf der Fläche "An der Borne/Nieplitzbrücke" (7.06.05) und auch auf der Fläche "Wiese 2" (1.08.07) gemacht werden. Auf der verhältnismäßig feuchten Fläche "An der Borne/Nieplitzbrücke" wurden extreme Auslenkungen des Pendels beim Auftreten dichter Straußgrashorste beobachtet. Auf der "Wiese 2" waren große Ampferpflanzen vorhanden, die ebenso hohe Pendelausschläge bewirkten. Auf die Erstellung einer Karte für "Wiese 2" wurde deshalb verzichtet.

Aus den genannten Gründen wird eine Kartierung von Pflanzenmasse auf Dauergrünland mit Artenmischungen, die zur Ableitung von Düngerapplikationskarten genutzt werden soll, nur eingeschränkt empfohlen.

Anders verhält es sich in Grasbeständen, die aus einer Art bestehen und damit Getreidebeständen vergleichbar sind. Hier können Bestandsunterscheide relativ sicher aufgezeichnet (Bild A4) und für eine teilflächenspezifische Anwendung nutzbar gemacht werden. Dies läßt sich am Beispiel des Schlages "Rohrwiese" (Wittbrietzen, 2007) belegen.

5.3 Produktionsexperimente zur N-Düngung in W-Getreide

Das standörtliche Ertragspotential der Betriebe für Wintergetreide hängt maßgeblich vom Wasserspeichervermögen der Böden und von der jährlichen Niederschlagsverteilung ab. Typisch für die Standorte der beteiligten Partnerbetriebe sind Trockenphasen im Frühjahr und Frühsommer. Dadurch sind die Kornerträge stark durch die Wasserspeicherfähigkeit der Böden bzw. durch das gespeicherte Wasser im Boden beeinflusst. Die Wasserspeicherfähigkeit der Böden variiert zwischen den Betrieben sehr stark. Geisler (1988) nennt für sandige Böden, wie sie in Wittbrietzen vorherrschen, eine nutzbare Feldkapazität als Maß für das Wasserspeichervermögen von weniger als 50 mm und für einen tiefgründigen Lößböden, wie man ihn in Dahlenwarsleben vorfindet, 200 bis 300 mm. Damit ist Getreide in Wittbrietzen sehr schnell von Wassermangel, Dahlenwarsleben deutlich später bedroht. Die anderen Betriebe in Niedergörsdorf, Blönsdorf und Staritz lassen sich zwischen den beiden Extrema einordnen, wobei Niedergörsdorf und Blönsdorf annähernd vergleichbar sind und Staritz als Alluvialstandort zwischen den Flämingbetrieben und Dawa eingestuft werden kann.

Dementsprechend müssen die Betriebe ihre N-Gaben vorwiegend nach der Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen ausrichten, um eine möglichst hohe Düngerwirkung zu erzielen. Dem Einhalten optimaler Düngungstermine wird damit eine sekundäre Bedeutung zugeordnet.

N-Gaben zum Ährenschieben werden aufgrund dessen in Wittbrietzen und Niedergörsdorf, die vorrangig Futterweizen produzieren, dessen Vermarktung nicht vorrangig vom Eiweißgehalt bestimmt wird, nicht praktiziert. Die Betriebe in Blönsdorf, Staritz und Dahlenwarleben produzieren hingegen Qualitätsweizen und streben durch N 3-Gaben die zum Verkauf geforderten Rohproteinwerte an. Blönsdorf und Staritz wählen dabei vielversprechende Einzelweizenschläge aus, wohingegen N 3 in Dahlenwarsleben in Wintergerste und Winterweizen zum Standard gehört.

Diese Rahmenbedingungen üben einen starken Einfluss auf das mögliche Einsatzspektrum des Crop-Meters zur N-Düngung aus. Ferner ist zu beachten, das für eine effiziente Arbeitserledigung möglichst wenig Überfahrten bei den Maßnahmen zur Bestandsführung angestrebt werden, so dass eine Splittung in a- und b-Teilgaben, wie in Abschnitt 4.3 aufgeführt, eher die Ausnahme darstellt. Optimal ist das Crop-Meter ab Schossbeginn einsetzbar. Dabei hat der Sensor seine technische Eignung zur teilflächenbezogenen N-Applikation voll unter Beweis stellen können, abgesehen von kleineren Funktionsstörungen, die in erster Linie auf Defekten elektronischer Bauteile beruhten, wie in Abschnitt 5.1 geschildert wurde.

Die variable Düngung mit Crop-Meter wurde in die einzelbetrieblichen Produktionsverfahren für Wintergetreide integriert. Die teilflächenspezifische Sensoranwendung wurde von einer N 2-Gabe bis zu N 3 in den Düngungsstrategien berücksichtigt.

Tabelle 10: Annahmen zur Kalkulation der Maschinenkosten für das CROP-Meter

Nutzungsdauer (Jahre)	5
Anschaffungspreis netto (€)	12.000
Abschreibung nach Nutzung (€ Jahr^{-1})	2.400
Zinsen (i = 5 %, € Jahr^{-1})	600
Reparaturen (€ Jahr^{-1})	250
Zusätzlicher Arbeitsaufwand* (€ Jahr^{-1})	32
Maschinenkosten (€ Jahr^{-1})	3.282
Spezifische Maschinenkosten (€ ha^{-1})	4,37

* u.a. Montage der betriebseigenen Anbaulösungen (2 Tage je 8 h mit 10 € h^{-1})

Tabelle 11: Berechnete Maschinenkosten für das CROP-Meter

Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 100 ha Fläche)	32,82
Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 200 ha Fläche)	16,41
Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 300 ha Fläche)	10,94
Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 500 ha Fläche)	6,56
Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 750 ha Fläche)	4,37
Maschinenkosten (€ ha^{-1}; 1.000 ha Fläche)	3,28

In Niedergörsdorf wurden Produktionsexperimente zu N 2 durchgeführt, in Staritz vorrangig zu N 3 und N 2b, in Blönsdorf zu N 3 und in Dahlenwarsleben zu N 2 und N 3.

Die Kalkulation der Maschinenkosten unterstellt eine Nutzungsdauer von 5 Jahren (Tab. 10). Alle Betriebe verfügten im Mittel der Jahre über eine Wintergetreidefläche von mindestens 750 ha so dass Maschinenkosten von 4,37 € ha^{-1} angesetzt werden konnten (Tab. 11). Nicht alle Betriebe hatten Kosten für die Schaffung von Eigenlösungen für den Crop-Meter-Anbau. Trotzdem wurden bei der Bewertung der variablen N-Düngung von Maschinenkosten von 4,37 € ha^{-1} ausgegangen, um abzusichern, dass die Kosten nicht zu niedrig angesetzt wurden.

Jahr 2005

In 2005 wurden drei Schläge als Produktionsexperimente in die Auswertung einbezogen: die Dawa-Schläge "Klein Ammensleber Weg" und "Drauen" und der Schlag "Busch" aus Staritz. Kennzeichnend für das Jahr 2005 war das hohe Ertragsniveau beim Getreide, das sich auch in den hohen mittleren Erträgen der Versuchsschläge ausdrückt (70,7...87,7 t ha^{-1}). Zu den Düngungsterminen zeigte sich eine eher geringe Variabilität innerhalb der Pflanzenbestände (Winkel-CV = 15,6 %; 17,7 %), wenn man den Vergleich zu Untersuchungen von Ehlert und Dammer (2006) mit mittleren Variationskoeffzienten der Pflanzenmassedichte von 27,1 bis 29,7 % zieht. Für den "Klein Ammensleber Weg" wurden der Median der Winkel (13,3°) und halber Interquartilsabstand der Winkel (19,1°) angegeben, da es sich um eine nicht normale Winkelverteilung handelte. Zur Einordnung bestand generell bei den gemessenen Winkeln eine mögliche Spanne von 0...60°, die neben der Bestandesausbildung von den Pendeleinstellungen bestimmt wurden.

Typisch für den Betrieb **Dawa** war das höchste N-Düngungsniveau (> 200 kg N ha^{-1}) sowie die größte Düngungsspannweite im Betriebsvergleich, in der der N-Aufwand variiert wurde (Schlag "Drauen": 153...208 kg N ha^{-1}; Schlag "Klein Ammensleber Weg": 148...180 kg N ha^{-1}). Im Wesentlichen waren die großen Spannweiten in allen Jahren auf die konsequente Crop-Meter-Nutzung zu N 2 und N 3 zurückzuführen. Das führte zu N-Einsparungen von 8 und 23 kg N ha^{-1}. Damit wurden Düngerkosten von 4,80 und 13,80 € ha^{-1} gespart (Tab. 12, A6).

Auf dem Schlag "Busch" in **Staritz** (Bild A12 bis A14) ergab sich eine geringere Einsparung von im Mittel 3 kg N ha^{-1} mit einer Kostensenkung von 1,80 € ha^{-1}. Das ist recht gering und führt in diesem Fall zu einem Verlust, wenn die Maschinenkosten des Crop-Meter von 4,37 € ha^{-1} berücksichtigt werden. Ursache dafür war die sehr geringe Spanne, die beim variablen N-Aufwand vorgegeben wurde. Somit wurde der Ausbringalgorithmus vermutlich zu undifferenziert gewählt. Positiv hervorzuheben ist aber, dass der Betrieb Staritz einen niedrigeren spezifischen N-Aufwand (2,01 kg N dt^{-1}) aufwies als Dawa (2,33 kg N dt^{-1}; 2,72 kg N dt^{-1}) (Tab. 12). Beim Betrieb Dawa wurde das Crop-Meter zu N 2 und N 3 eingesetzt und in Staritz nur zu N 3, so dass in Dahlenwarsleben

vorab ein höheres Einsparpotential zu erwarten war. Zwischen den relativen Winkelverteilungen aller Schläge und den relativen Ertragsverteilungen konnten visuell nur geringe Übereinstimmungen festgestellt werden. Das weist darauf hin, dass vom Zeitpunkt der Aufzeichnung einer Pflanzenmasseverteilung an noch starke Veränderungen im Verteilungsmuster einer Fläche stattfinden können. Wenn z.B. in der Kornfüllungsphase auf einem Schlag teilflächenabhängig unterschiedlich hoher Wasserstress einsetzt, dann können hohe Biomassen bzw. Bestandesdichten in einem mittleren oder sogar geringen Kornertrag resultieren. Umgekehrt liefern mittlere Biomassen bzw. Bestandesdichten oft höhere Kornerträge (Petr et al. 1983).

Jahr 2006

Das Jahr 2006 war von einer Trockenperiode im Vorsommer geprägt, die sich spürbar auf die Kornerträge ausgewirkt hat.

Für die Schläge "Am Bahnhof" aus **Niedergörsdorf** und "Wasserstelle" aus **Dahlenwarsleben** zeigte sich der Wassermangel in dem Jahr durch geringe mittlere Kornerträge von 39,8 und 43,1 dtha^{-1} (Tab. A5). Das führte zu schlechten spezifischen N-Aufwendungen beider Schläge (Bahnhof: 3,44 kg N dt^{-1}; Wasserstelle: 3,52 kg N dt^{-1}) sowie zu sehr hohen Extremwerten in den Spannen (8,28 bzw. 11,17 kg N dt^{-1}) (Tab. 12, A6). Andererseits kann man bei einer einheitlichen, undifferenzierten Düngung ohne Crop-Meter erwarten, dass die spezifischen N-Aufwendungen noch deutlich schlechter ausgefallen wären. Damit handelt es sich bei der variablen N-Düngung um einen Weg zur Absenkung des landwirtschaftlichen Produktionsrisikos und um einen Beitrag zur Senkung von N-Bilanzüberschüssen. Auch ergaben sich mit 16 kg N ha^{-1} (Bahnhof, Bild A15 - A17) und 23 kg N ha^{-1} (Wasserstelle, Bild A18 - A20) wirtschaftliche N-Einsparungen von 9,60 € ha^{-1} und 13,80 € ha^{-1}.

Auf den Schlägen "Brauhaus" (Bild A21 - A23) und "Altes Schiff" (Bild A24 - A26) in **Staritz** bestand zum Termin der N 3-Gabe eine sehr geringe Variabilität der Biomasse. Diese Schläge wurden trotzdem zur N-Düngung mit Crop-Meter einbezogen, weil hier gezielt auf die Kornqualität des Weizens Einfluss genommen werden sollte. Der Schlag "Dammloch" (Bild A27 - A29) hingegen verfügte über eine höhere Variabilität des Pflanzenbestandes (CV = 31,4 %). Im Ertragsniveau der Schläge machten sich beim "Brauhaus" (61,9 dt ha^{-1}) wie auch beim "Dammloch" (56,3 dt ha^{-1}) ungünstige Vorfrüchte und die Vorsommertrockenheit im Juni 2006 bemerkbar. Beim "Brauhaus" handelte es sich um die Vorfrucht Körnermais, nach der mit der Saatfurche große Mengen an Ernterückständen untergepflügt wurden und damit eine ungünstige Bodenstruktur für den nachfolgenden Weizen bestand (Jäger 2006). In ähnlicher Weise war der Weizen auf dem Schlag "Dammloch" betroffen, der Zuckerrüben als Vorfrucht hatte, die vermutlich einen starken Einfluss auf den Verbrauch der Bodenwasserreserven ausübten. Die günstige Vorfrucht zum Weizen auf dem Schlag "Altes Schiff" (Erbsen) fand einen sehr positiven Niederschlag im Kornertrag (83,1 dt ha^{-1}). Die Variation der Kornerträge auf den Schlägen "Brauhaus" und "Altes Schiff" war mit 8,7 % bzw. 8,5 % relativ gering. Durch die

Differenzierung der N-Düngung nach oberirdischer Pflanzenmasse konnten in Staritz mittlere N-Einsparungen von 17 kg N ha^{-1} (Brauhaus), 10 kg N ha^{-1} (Altes Schiff) und 19 kg N ha^{-1} (Dammloch) erreicht werden (Tab. 12, A6). Man kann auch bei diesen Schlägen von wirtschaftlich sinnvollen Einsparungen ausgehen, die bei einheitlicher Düngung nicht entstanden wären.

Gerade bei geringem Ertragsniveau verbleiben durch hohe N3-Gaben in Weizen häufig hohe N-Überschüsse im Boden, weil diese Gaben durch die Pflanzen meist schlecht ausgenutzt werden. Durch die variable Form der Düngung können die Überschüsse reduziert werden, was potentielle Umweltbelastungen mindert.

Jahr 2007

Tabelle 12: Wirtschaftliche und umweltrelevante Ergebnisse der Produktionsexperimente zur N-Düngung

Jahr	Betrieb, Schlag	N-Einsparung (Mittel, kg N ha^{-1})	Kosten-einsparung (Mittel, € ha^{-1})	CO_2-Vermei-dungs-potential (Mittel, kg CO_2 ha^{-1})	Spezifischer N-Aufwand (kg N dt^{-1})
2005	Dawa, Drauen	8	4,80	37	2,72
	Dawa, Klein Ammensle-ber Weg	23	13,80	107	2,33
	Staritz, Busch	3	1,80	14	2,01
2006	N´dorf, Bahnhof	16	9,60	74	3,44
	Dawa, Wasserstelle	23	13,80	107	3,52
	Staritz, Brauhaus	17	10,20	79	2,54
	Staritz, Altes Schiff	10	6,00	46	2,00
	Staritz, Dammloch	19	11,40	88	1,93
2007	N´dorf, Panzerstraße	18	10,80	84	1,84
	N´dorf, Streitländer	26	15,60	121	1,67
	N´dorf, Oehnaer Grenze	21	12,60	98	1,76
	Dawa, Bennstedter Feld	28	16,80	130	2,37
	Dawa, Weg+Graben	23	13,80	107	2,54
	Dawa, Schweinestall	16	9,60	74	2,63
	Staritz, Busch	6	3,60	28	1,95
	Staritz, Kastanienallee	7	4,20	33	2,31
	Blönsdorf, Nr. 627.3	7	4,20	33	2,34
	Blönsdorf, Nr. 651	16	9,60	74	2,49
	Gesamt (Median)	**17**	**9,90**	**77**	**2,34**

N´dorf = Niedergörsdorf

Auf den drei **Niedergörsdorfer** Schlägen ist das Ergebnis der teilflächenspezifischen N-Düngung in 2007 als sehr gut einzuschätzten.

Bei einer relativ großen Spanne der eingesetzten Düngermenge von 71...117 kg N ha^{-1} konnte ein Ertragsniveau von ca. 55 dt ha^{-1} erzielt werden (Tab. A5). Daraus ergeben sich gegenüber "einheitlich" sehr hohe N-Aufwandsreduzierungen von 18 kg N ha^{-1} (Panzerstraße), 26 kg N ha^{-1} (Streitländer) und 21 kg N ha^{-1} (Oehnaer Grenze) (Bild A30 - A38). Gleichzeitig wurde der aufgewendete Mineralstickstoff mit im Mittel 1,67 bis 1,84 kg N dt^{-1} sehr effizient eingesetzt (Tab. 12, A6).

Auch auf den Dawa-Schlägen "Bennstedter Feld" (Bild A39 - A41) und "Zwischen Weg und Graben" (Bild A42 - A44) mit zwei differenzierten N-Gaben entstanden hohe N-Einsparungen (28 und 23 kg N ha^{-1}). Das führte zu Kostensenkungen von 16,80 bzw. 13,80 € ha^{-1}. Damit übersteigen die Einsparungen deutlich die unterstellten Maschinenkosten. Die spezifischen N-Aufwendungen sind im mittleren Bereich anzusiedeln. In ähnlicher Weise verhielt es auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben": mit einem mittleren Kornertrag von 72,7 dt ha^{-1} und einer Spanne von 141 bis 201 kg N ha^{-1} konnte im Mittel eine N-Einsparung von 16 kg N ha^{-1} erreicht werden (Bild A45 - A47). Der mittlere spezifische N-Aufwand betrug 2,63 kg N dt^{-1}.

Auf den **Staritzer** Schlägen "Busch" (Bild A48 - A50) und "Kastanienallee" (Bild A51 - A53) führten gering gewählte Spannen beim N-Aufwand zu niedrigen Kosteneinsparungen, die die Kosten von 4,37 € ha^{-1} nicht ausgleichen konnten. Trotzdem erreichte Staritz durch eine gute Einschätzung des jährlichen Ertragsniveaus mit einer angemessenen Höhe der N-Düngung gute bis sehr gute spezifische N-Aufwendungen. Beim Schlag "Busch" zeigt sich im Vergleich zum Jahr 2005 ein ähnliches Verteilungsmuster der Erträge, allerdings mit einem mittleren Unterschied von ca. 20 dt ha^{-1}. Insbesondere die Niedrigertragszonen wurden bei der Sensordüngung in den zwei Jahren nicht ausreichend erfasst. Da dieser Schlag über relativ stabile Ertragszonen verfügt, könnte ein kartenbasierter Ansatz zukünftig zu einer noch effizienteren N-Düngung beitragen.

Auf dem Schlag Nr. 627.3 in Blönsdorf (Bild A54 - A56) ergab sich zum Zeitpunkt der N3-Gabe eine sehr geringe Variabilität des Pflanzenbestandes (CV = 5,1 %), die sich zur Ernte verstärkte (CV = 19,6 %). Dadurch fielen auch hier die Einsparungen zu niedrig aus, um die Grenze der Wirtschaftlichkeit zu überschreiten. Die bei der Sensordüngung auf diesem Schlag nicht zu erkennende spätere Ertragsverteilung der Teilflächen führte auch zu Extremwerten beim spezifischen N-Aufwand von bis zu 11,30 kg N dt^{-1}. Auf dem Schlag Nr. 651 (Bild A57 - A59) dagegen war die Reduzierung der mittleren N-Düngung um 16 kg N ha^{-1} mit 9,60 € ha^{-1} ökonomisch sinnvoll (Tab. 12).

Auch dieser Schlag veränderte von der Düngung bis zur Ernte sein Verteilungsmuster. Die relativ geringe Variation des Pflanzenbestandes zum Düngungszeitpunkt (CV =

7,1 %) veränderte sich zu einer größeren Variabilität des Getreideertrages (CV = 16,8 %) bei einem Mittel von 69,5 dt ha^{-1} .

Für jeden Schlag in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung wurden Karten generiert, die gut veranschaulichen, wie sich Winkel und Erträge über die Flächen verteilten und wieviel Getreide (in kg) pro eingesetztem Kilogramm N produziert wurde (Bild A6-A59). Entsprechend den N-Einsparungen konnten potentielle Emissionen, berechnet als CO_2-Äquivalente, von 14 bis 130 kg ha^{-1} vermieden werden.

5.4 Streifenversuche zur N-Düngung

In den Streifenversuchen zur N-Düngung wurden verschiedene Varianten teilflächenspezifischer N-Düngung mit praxisüblicher, flächeneinheitlicher N-Düngung verglichen. Die Wirtschaftlichkeitsschwelle einer Düngungsmaßnahme wurde wie in den Produktionsexperimenten mit 4,37 € ha^{-1} Maschinenkosten angenommen. Die düngungskostenfreie Leistung musste diese Schwelle überschreiten, damit die Maßnahme als wirtschaftlich betrachtet werden konnte. Zusätzliche Informationen über die versuchspurbezogene Statistik von Pendelwinkeln und Kornerträge können dem Anhang entnommen werden. Ebenso finden sich dort Angaben zu Ertragsstrukturen und Rohproteingehalten, die den Charakter von beschreibenden Orientierungswerten haben.

Jahr 2005

In 2005 wurden bei variabler Düngung ausschließlich steigende Ausbringalgorithmen angewendet. Bei der Festlegung der variablen Düngermengen wurden praxisübliche einheitliche Mengen als Orientierungswerte angesetzt (Tab. A7 - A8). In den Versuchen auf den Schlägen "Streitländer" (Niedergörsdorf), "Wasserstelle" und "Sandberg" (beide Dawa) sowie "Pietzsch" (Staritz) entsprach die höchste Düngermenge des teilflächenbezogenen Algorithmus der einheitlichen N-Düngermenge. Im Versuch "Krummes Land" (Staritz) stellte die einheitliche Menge das Minimum des Algorithmus dar, und im Versuch auf Schlag Nr. 602.2 in Blönsdorf eine mittlere Menge.

Für **Dahlenwarsleben** stellte sich heraus, das die Ertragsmittel zweier Spuren innerhalb des gleichen Prüfgliedes auf dem Schlag "Wasserstelle" große Differenzen aufwiesen (Tab. A21). Das führte zu dem Schluss, dass die kartierten Daten für eine weitere Auswertung unbrauchbar waren. Für den Schlag "Sandberg" (Dawa, 2005) wurde die Auswertung der teilflächenbezogenen KAS-Variante verworfen. Im Vergleich zwischen "KAS einheitlich" und "Alzon variabel" wurden im Mittel 46 kg N ha^{-1} in den mit Alzon gedüngten Spuren weniger aufgewendet. Das führte zu einem Kostenvorteil der variablen Ausbringung von 27,60 € ha^{-1}. Im Ertrag bestand aus statistischer Sicht kein Unterschied zwischen den Prüfgliedern. Entsprechend gering fiel der spezifische N-Aufwand mit 1,43 kg N dt^{-1} zugunsten der variablen Alzon-Düngung aus (einheitlich: 1,95 kg N dt^{1}) (Tab. 13).

In **Staritz** wurde in den KAS-Varianten des Schlages "Pietzsch" auf die zuvor geplante Applikation einer N 3-Gabe aus betrieblichen Gründen verzichtet. Hingegen wurde mit der Ausbringung des stabilisierten N-Düngers Alzon 46 zu N 2 bereits die N-Menge für N 3 vorweggenommen. Die im Mittel höhere Gesamt-N-Menge von 43 kg ha^{-1} äußerte sich tendenziell im höheren Ertrag von 84,9 dt ha^{-1}. Statistisch ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied zu den KAS-Varianten mit 77,9 dt ha^{-1} (einheitlich) und 79,6 dt ha^{-1} (teilflächenbezogen). Damit trat aus ökonomischer Sicht mit der Alzon-Düngung ein Verlust von 25,80 € ha^{-1} im Vergleich zur einheitlichen Düngung auf, weil die nicht signifikanten Ertragsunterschiede auf der Leistungsseite nicht berücksichtigt wurden. In den KAS-Varianten ergab sich ein finanzieller Vorteil der teilflächenbezogenen Variante von 4,80 € ha^{-1} mit einer N-Einsparung von im Mittel 8 kg N ha^{-1}. Der spezifische N-Aufwand war in der teilflächenbezogenen KAS-Variante am günstigsten (1,85 kg N dt^{-1}) und in der Alzon-Variante am ungünstigsten (2,34 kg N dt^{-1}).

Auf dem Schlag "Krummes Land" brachte der teilflächenspezifisch im Mittel um 9 kg N ha^{-1} höhere Aufwand keinen statistisch signifikanten Ertragsvorteil. Die Erträge lagen auf einem Niveau von 88,7 dt ha^{-1} (einheitlich) und 86,7 dt ha^{-1} (teilflächenbezogen). Das fand auch in einem ökonomischen Vorteil von 5,40 € ha^{-1} der einheitlichen Düngung seinen Niederschlag. Auch im spezifischen N-Aufwand war "einheitlich" mit 1,86 kg N dt^{-1} "variabel" (2,01 kg N dt^{-1}) leicht überlegen.

In **Niedergörsdorf** ergaben sich im Mittel vergleichbare Erträge (Unterschied nicht signifikant) zwischen den Versuchsvarianten mit einer Düngereinsparung von 7 kg N ha^{-1} bei den teilflächenspezifisch gedüngten Streifen, was sich in einer mittleren monetären Einsparung von 4,20 € ha^{-1} auswirkte. Damit war die variable N-Düngung knapp unter der Wirtschaftlichgrenze. Hingegen war die teilflächenspezifische Düngung mit 2,05 kg N dt^{-1} effizienter als die einheitliche Düngung (2,28 kg N dt^{-1}) (Tab. 13).

In **Blönsdorf** wurden Düngungsvarianten in den Winterweizensorten "Cubus" und "Dekan" miteinander verglichen. Bei der Sorte "Dekan" bestand im Mittel der Erträge kein statistischer Unterschied (einheitlich: 76,9 dt ha^{-1}; teilflächenspezifisch: 79,6 dt ha^{-1}) mit einem teilflächenspezifischen N-Mehraufwand von 8 kg N ha^{-1} bzw. einem monetären Kostennachteil von 4,80 € ha^{-1} (Tab. 13, A13). Bei der Sorte "Cubus" wurden zwei teilflächenbezogene Düngungsvarianten der einheitlichen gegenübergestellt. Der erste Algorithmus (SA1) wurde mit einer Spanne von 14 bis 54 kg N ha^{-1} gewählt und der zweite (SA2) mit einer Spanne von 27 bis 54 kg N ha^{-1}. Durchschnittlich entstanden geringe mittlere Differenzen zwischen "einheitlich" und "teilflächenspezifisch" im N-Düngungsaufwand, so dass monetär bewertet ein leichter Vorteil für Algorithmus Nr. 1 (1,20 € ha^{-1}) vorhanden gegenüber für Algorithmus Nr. 2 (2,40 € ha^{1}). Im spezifischen N-Aufwand zwischen den Varianten beider Sorten waren keine feststellbaren Unterschiede vorhanden (Tab. 13). Im Ertrag konnte die Sorte "Cubus" die Sorte "Dekan" übertreffen. Zwischen den Erträgen der Varianten in der Sorte "Cubus" wurde ein signifikanter Unterschied errechnet, weil das Mittel des Prüfgliedes des variablen Algorithmus´ 2 (73,9 dt ha^{-1}) deutlich von den beiden anderen (einheitlich: 83,8 dt ha^{-1}; Algo-

rithmus 1 variabel: 84,1 dt ha^{-1}) abwich. Ein zu geringes N-Düngungsniveau als Ursache konnte ausgeschlossen werden, weil sich die Varianten im Durchschnitt kaum unterschieden.

Jahr 2006

In 2006 wurden im Betrieb **Dawa** eine einheitliche N-Düngung mit der Anwendung eines fallenden und eines steigenden Algorithmus zu N 2 auf zwei Schlägen verglichen. Zu N 3 wurde in den variabel gedüngten Spuren ein steigender Algorithmus gewählt (Tab. A9 - A10).

In Wintergerste auf dem Schlag „Wuhne“ waren zwischen den Prüfvarianten bei einem Ertragsniveau von ca. 90 dt ha^{-1} keine statistisch signifikanten Differenzen feststellbar.

Gegenüber der einheitlichen Düngung wurden mit steigendem Algorithmus im Mittel 28 kg N ha^{-1} weniger ausgebracht; mit fallendem Algorithmus konnte der N-Aufwand um 22 kg N ha^{-1} reduziert werden. Somit wurden beim steigenden Algorithmus 16,80 € ha^{-1} gespart und beim fallenden Algorithmus 13,20 € ha^{-1}. Auch der mittlere spezifische N-Aufwand der einheitlichen Applikation von 1,81 kg N dt^{-1} wurde mit 1,48 (steigend) und 1,59 kg N dt^{-1} noch deutlich verbessert (Tab. 13). Wirtschaftlich betrachtet lag, im Vergleich zum fallenden Algorithmus, für den steigenden Algorithmus ein Vorteil von 3,60 € ha^{-1} vor (Tab. A13).

Im Weizen auf dem Schlag "Groß Ammensleber Weg" konnten ebenfalls keine statistischen Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern ermittelt werden. Allerdings lag das Ertragsniveau lediglich bei ca. 60 dt ha^{-1}, was sich mit der ausgeprägten Frühsommertrockenheit im Juni 2006 begründen lässt. Die Düngereinsparung der Variante mit steigendem Algorithmus ergab im Mittel 44 kg N ha^{-1}. Unter Anwendung eines fallenden Algorithmus wurde nur 22 kg N ha^{-1} eingespart. Der wirtschaftliche Vorteil des steigenden Algorithmus konnte mit 26,40 € ha^{-1} beziffert werden. Der fallende Algorithmus erbrachte gegenüber einheitlicher Applikation 13,20 € ha^{-1}. Der spezifische N-Aufwand betrug bei teilflächenspezifischer Ausbringung 2,55 kg N dt^{-1} (steigend) und 2,91 kg N dt^{-1} (fallend). Einheitlich wurden dagegen im Mittel 3,36 kg N dt^{-1} aufgewendet.

In den drei Versuchen in **Staritz** ("Riesterstück"), **Niedergörsdorf** ("Betonstraße") und **Wittbrietzen** (Nr. 352) wurden zu N 2 bzw. N 3 steigende Algorithmen zur variablen Düngerapplikation gewählt. Im Kornertrag unterschieden sich die Versuchsglieder nicht voneinander. N-Einsparungen lagen zwischen 21 und 23 kg N ha^{-1}, die in monetären Einsparungen von 12,60 bis 14,40 € ha^{-1} resultierten. Gleichzeitig konnte der N-Dünger im Mittel effizienter eingesetzt werden. (Tab. 13).

In **Blönsdorf** (Schlag 628.2) wurden aufgrund der räumlich entfernteren Lage zwei "Wiederholungen" als getrennte Versuche behandelt. In beiden Versuchen bestanden keine signifikanten Ertragsdifferenzen. In Versuch 1 fiel die einheitliche Variante im Mittel um 0,3 dt ha^{-1} höher aus als variabel mit 51,5 dt ha^{-1} und in Versuch 2 überwog leicht die teilflächenbezogene Düngung mit 0,3 dt ha^{-1} (einheitlich: 52,4 dt ha^{-1}). Die mittleren Düngereinsparungen beliefen sich auf 22 kg N ha^{-1} (Versuch 1) und 25 kg N ha^{-1} (Versuch 2), so dass 13,20 bzw. 15,00 € ha^{-1} weniger aufgewendet werden

mussten. Dementsprechend waren die spezifischen N-Aufwendungen niedriger (Tab. 13).

Jahr 2007

In 2007 wurde in **Dahlenwarsleben** wiederum einheitliche N-Düngung mit der Anwendung eines fallenden und eines steigenden Algorithmus zu N 2 auf zwei Schlägen verglichen. Zu N 3 wurde in allen Spuren einheitlich gedüngt, um den Effekt der N 2 noch deutlicher herausarbeiten zu können (Tab. A11 und A12). Die Erträge auf dem Schlag "Groß Ammensleber Weg" bewegten sich zwischen 57,6 dt ha^{-1} (einheitlich) und 59,8 dt ha^{-1} (steigender Algorithmus). Der fallende Algorithmus lag dazwischen mit 58,2 dt ha^{-1}. Gegenüber der einheitlichen Ausbringung konnten 20 kg N ha^{-1} (fallend) bzw. 21 kg N ha^{-1} (steigend) eingespart werden. Ökonomisch wirkte sich das in einer Aufwandsreduzierung von 12,00 bzw. 12,60 € ha^{-1} aus. Auch der spezifische N-Aufwand der variablen Düngung gestaltete sich günstiger. Bei flächeneinheitlicher Applikation wurden 2,45 kg N dt^{-1} aufgewendet und bei variabler 2,01 kg N ha^{-1} (steigend) bzw. 2,08 kg N dt^{-1} (fallend) (Tab. 13).

In **Wittbrietzen** wurde die N1-Variante "Gesamt-N einheitlich" mit "Gesamt-N nach Kartenansatz" auf dem Schlag "Dobbrikower Straße rechts" verglichen. Die N-Menge wurde entsprechend einer winkelabhängigen relativen Biomasse, die im Jahr 2005 kartiert worden war, festgelegt. Dabei wurde unterstellt, dass das Muster der räumlichen Winkelverteilung wiederkehrend ist. Im mittleren Kornertrag wurde kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt. In der einheitlich gedüngten Variante wurden 33,3 dt ha^{1} geerntet und in der variabel gedüngten 32,4 dt ha^{-1}.

Die Düngereinsparung von 18 kg N ha^{-1} führte zu einem Kostenvorteil der teilflächenbezogenen Variante von 10,80 € ha^{-1}. Im spezifischen N-Aufwand schnitt die variable N-Düngung mit 2,77 kg N dt^{-1} ebenfalls besser ab als die einheitliche Düngung (3,24 kg N dt^{-1}) (Tab. A13).

Hinsichtlich einer Vermeidung von klimawirksamen N2O-Emissionen können Einsparungen beim N-Dünger einen wichtigen Beitrag leisten. In Tabelle 13 sind Angaben enthalten, in welcher Größenordnung durchschnittliche N-Einsparungen je Flächeneinheit zu potentiellen Reduzierungen von CO_2-Äquivalenten führen können. Die möglichen Reduzierungen liegen dabei um 98 kg CO_2 pro Hektar, wenn teilflächenspezifisch ca. 21 kg N ha^{-1} weniger Dünger ausgebracht werden. Wo im Durchschnitt teilflächenspezifisch mehr N-Dünger als in der einheitlichen Variante aufgewendet wurde (Schläge: Pietzsch, Krummes Land, Nr. 602.2/Cubus), ergeben sich höhere CO_2-Äquivalente.

Tabelle 13: Spezifische N-Aufwendungen der Düngungsvarianten, Bilanz der CO_2-Äquivalente sowie N-Düngungs- und Kosten

Jahr	Betrieb, Schlag	Spezifischer N-Aufwand (Mittel)		Bilanz der CO_2-Äquivalente: variabel zu einheitlich (Mittel)	Differenz zu einheitlicher Düngung (ohne CO_2-Bilanz) (Mittel)	
		kg N dt^{-1}		kg CO_2 ha^{-1}	kg N ha^{-1}	€ ha^{-1}
		einh.	tfs			
2005	Dawa, Sandberg	1,95	A: 1,43	-214	-46	+27,60
	Staritz, Krummes Land	1,86	2,01	42	+ 9	-5,40
	Staritz, Pietzsch	2,00	K: 1,85 A: 2,34	-37 200	K: -8 A: +43	K: +4,80 A: -25,80
	N´dorf, Streitländer	2,28	2,05	-33	-7	+4,20
	Blönsdorf, Nr. 602.2 (Cubus)	1,90	SA 1: 1,87 SA 2: ./.	-9 19	SA1: -2 SA2: +4	SA1: +1,20 SA2: -2,40
	Nr. 602.2 (Dekan)	2,08	2,11	37	+8	-4,80
2006	Dawa, Wuhne	1,81	SA: 1,48 FA: 1,59	-130 -102	SA: -28 FA: -22	SA: +16,80 FA: +13,20
	Dawa, Gross Ammensleber Weg	3,36	SA: 2,55 FA: 2,91	-204 -102	SA: -44 FA: -22	SA: +26,40 FA: +13,20
	Staritz, R.stück	2,51	2,08	-112	-24	+14,40
	Wittbrietz., Nr. 352	2,38	1,93	-98	-21	+12,60
	N´dorf, Betonstr.	2,28	2,06	-107	-23	+13,80
	B´dorf, Nr. 628.2 (1)	3,47	3,07	-102	-22	+13,20
	B´dorf, Nr. 628.2 (2)	3,44	2,94	-116	-25	+15,00
2007	Dawa, Gross Ammensleber Weg	2,45	SA: 2,01 FA: 2,08	-98 -93	SA: -21 FA: -20	SA: +12,60 FA: +12,00
	Wittbrietzen, Dobbrikower Str.	3,24	2,77	-84	-18	+10,80
	Gesamt (Median)	**2,28**	**2,06**	**-98**	**-21**	**+12,60**

N´dorf = Niedergörsdorf, B´dorf = Blönsdorf, R.stück = Riesterstück, SA = steigender Algorithmus; FA = Fallender Algorithmus; A = Alzon, K = KAS; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

5.5 Teilflächenspezifische Fungizidapplikationen

Produktionsexperiment

In einem Produktionsexperiment auf dem Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" des Betriebes Wörlitz wurde mit einer selbstfahrenden Feldspritze (Dammann Trac HD 1500,

4000 l Tank, 36 m Arbeitsbreite) in die Blüte des Weizens das Fungizid "Input" teilflächenspezifisch mit dem Crop-Meter ausgebracht. Die maximale Aufwandmenge des Fungizides betrug 0,9 l ha^{-1} (Preis = 36,80 € l^{-1}) bei einem Wasseraufwand von 125 l ha^{-1}. Entsprechend der Pflanzenmassedichte wurde die Aufwandmenge mit einem steigenden Algorithmus variiert:

Minimum: 35 % bei 86 l Wasser ha^{-1}; Maximum: 50 % bei 125 l Wasser ha^{-1}.

Erfahrungen hinsichtlich der technischen Umsetzung der teilflächenspezifischen Fungizidausbringung im Betrieb Wörlitz wurden unter Punkt 5.1 ausführlich dargelegt.

Aus produktionstechnischer Sicht konnten gegenüber einer einheitlichen Ausbringung von 125 l Spritzbrühe ha^{-1} Einsparungen bei der ausgebrachten Fungizidmenge auf verschiedenen Teilen des Schlagkomplexes realisiert werden (Tab. 14). Auswertbar waren die Daten von den als Schlag „Nr. 2" und Schlag „Nr. 3" bezeichneten Teilen. Auf dem Schlag „Nr. 2“ wurden sehr geringe Aufwandmengeneinsparungen erzielt und auf dem Schlag „Nr. 3“ in Bezug zum Algorithmus sehr große.

Daraufhin ergaben sich Kosteneinsparungen von 1,68 € ha^{-1} (Schlag „Nr. 2“) bzw. 9,03 € ha^{-1} (Schlag „Nr. 3“). Demnach wäre die Anwendung des Algorithmus auf Schlag „Nr. 3" wirtschaftlich und auf Schlag „Nr. 2“ unwirtschaftlich (Schwelle: 4,37 € ha^{-1}). Selbst bei der geringen Einsparung von 6 l Spritzbrühe ha^{-1} wurden in der Summe 1,92 l des Fungizids ‚Input’ nicht ausgebracht. Das ist aus dem Blickwinkel des Umweltschutzes begrüßenswert. Die mittlere Spritzbrüheneinsparung auf Schlag „Nr. 2“ liegt nahe dem Minimum und die mittlere Einsparung auf Schlag „Nr. 3“ nahe dem Maximum.

Tabelle 14: Spritzbrühen- und Fungizideinsparungen auf dem Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" (Wörlitz, 2006)

Schlag	Spritzbrühen-Einsparung (Mittel, l ha^{-1})	Spritzbrühen-Einsparung (Spanne, l ha^{-1})	Spritzbrühen-Einsparung (absolut, l)	Fungizid-einsparung (absolut, Input’)	Fungizid-einsparung (absolut, €)	Fungizid-einsparung (€ ha^{-1})
Nr. 2	6	0...39	267	1,92	70,74	1,68
Nr. 3	34	0...39	804	5,79	213,03	9,03

Unter Praktikern wird der Pflanzenschutz häufig als Versicherung bezeichnet, weil der Eintritt eines Schadensfalls bzw. einer Ertragsreduktion durch Infektionen mit Krankheitserregern in Unkenntnis des zukünftigen Witterungsverlaufs ungewiss ist, so dass ein ökonomisch gerechtfertigter Fungizideinsatz erst sicher nach der Ernte bestimmt werden kann. Entscheidungen in der Praxis von Großbetrieben werden häufig in zwei Extrema gefällt. Entweder wird eine Fungizidmaßnahme mit Aufwandmengen im Bereich zugelassener Höchstaufwandmengen durchgeführt, um eine möglichst lange Wirkungsdauer zu erreichen, oder aber gänzlich unterlassen. Das vereinfacht Planungsabläufe in der Arbeitserledigung wesentlich.

Der teilflächenbezogene Fungizideinsatz kommt im Gegensatz zu den Extrema dem Gedanken des integrierten Pflanzenschutzes näher. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass bei der Fungizidapplikation eine bestimmte Pflanzenoberfläche mit dem Wirkstoff zu benetzen ist, deren Größe eng mit der Pflanzenmasse korreliert. Weiterhin werden sinnvollerweise nur gezielt in den Teilen eines Getreidebestandes verstärkt fungizide Wirkstoffe eingesetzt, die ein höheres Infektionsrisiko erwarten lassen, in der Regel also dort, wo höhere Bestandesdichten vorliegen.

Um mögliche Einsparpotentiale aufzuzeigen, wurden Applikationsszenarien aufgrund theoretischer Ausbringalgorithmen berechnet, die auf die gemessenen Winkelverteilungen der Schläge „Nr.2“ und „Nr. 3“ (Bild A5) angewendet wurden.

Beim ersten Ansatz „Halbe Spannweite“ wurde als minimaler Winkel für die Algorithmen in den Szenarien 1 und 2 die Summe aus halber Spannweite und Minimalwert der Winkelverteilung angenommen. In Szenario 3 bildete die letztgenannte Größe den Maximalwinkel bzw. Null den Minimalwinkel. Den maximalen Winkel in Szenario 1 und 2 stellte der höchste gemessene Winkel der Verteilung dar.

Beim Ansatz „Median“ wurde der Median der jeweiligen Winkelverteilung in Szenario 1 und 2 als Minimalwinkel festgelegt und in Szenario 3 als Maximalwinkel. Der höchste gemessene Winkel stellte den maximalen Winkel in Szenario 1 und 2 dar (Bild 5).

Entsprechend wurden den Minimal- und Maximalwinkeln 0,50 oder 100 % einer Wasseraufwandmenge zugeordnet. Daraus konnte man bei einer maximalen Aufwandmenge des Fungizides ‚Input’ von 0,9 l ha^{-1} (100 % Wasser) Einsparungspotentiale berechnen. Die Wahl der Algorithmen orientierte sich an einer Publikation von Ehlert und Adamek (2005). Der Unterschied zwischen den beiden Ansätzen besteht darin, dass für die Schätzung der Lageparameter Median oder Mittelwert eine bessere Kenntnis der Winkel- bzw. Pflanzenmasseverteilung (größere Stichprobe) auf einer Fläche erforderlich machen als zur Berechnung der halben Spannweite, die bereits relativ sicher abgeleitet werden kann, wenn die Extremwerte durch das Befahren einer repräsentativen Spur erfasst wurden.

Mit dem Szenario 1 konnte auf Schlag „Nr. 2“ eine Kostensenkung von bis zu 26,86 € ha^{-1} erreicht werden, weil aufgrund der starken Rechtssteilheit der Verteilung 50 % der Winkel zwischen 50° und 55° lagen (Tab. A47). Der Ansatz "Halbe Spannweite" erbrachte in den Szenarien nur Einsparungen von 0 bis 10,92 € ha^{-1}. Hier äußerte sich die Kenntnis über die Schiefe der Verteilung in einem klaren Vorteil. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass man prinzipiell bestrebt sein sollte, über die zeitliche und räumliche Verteilung der Pflanzenmasse Erfahrungswerte (Karten) zu schaffen. Eine Verknüpfung von Karten- und Sensoransatz bietet einen Weg, um Erfahrungswerte zu nutzen und sie automatisiert einfließen zu lassen.

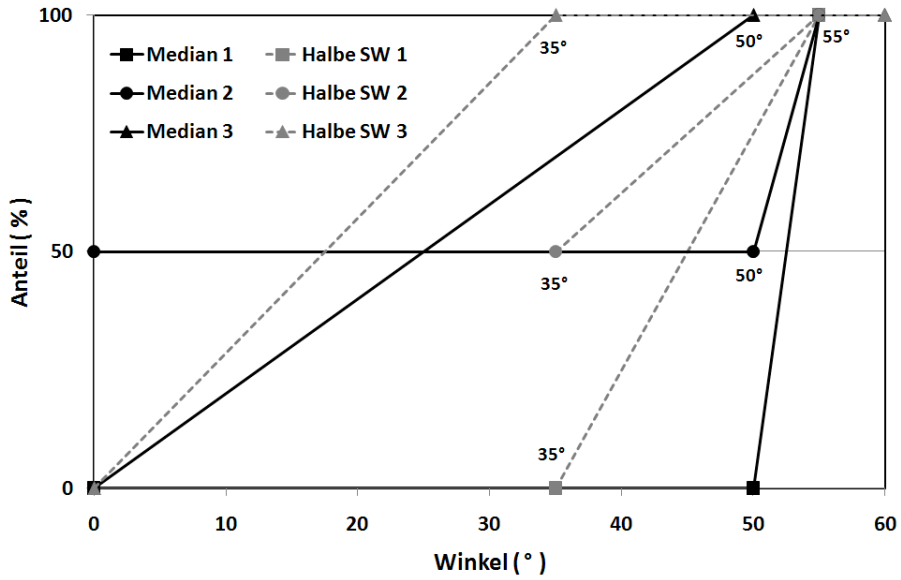


Bild 5: Applikationsalgorithmen zur Szenarioberechnung am Beispiel des Schlages "Nr. 2" (Wörlitz, 2006)

Auf dem Schlag „Nr. 3“ ergaben sich im Vergleich der drei Szenarien geringe Vorteile für den Median-Ansatz. Das beruht darauf, dass die Differenz zwischen Median und halber Spannweite im Vergleich zu Schlag „Nr. 2“ viel geringer war (Tab. A49 – A50).

Streifenversuche in W-Weizen

In den Streifenversuchen zur Fungizidanwendung wurden folgende Prüfglieder miteinander verglichen:

- Unbehandelte Kontrolle
- Einheitliche, praxisübliche Applikation
- Teilflächenspezifische Applikation mit Crop-Meter

Produktionstechnische Daten finden sich in der Tabelle A12 wieder. Die Fungizid- und Wasseraufwandmengen in den drei Versuchen sind der Tabelle 15 zu entnehmen: Die einheitliche Fungizidaufwandmenge wurde bei der Crop-Meter-Variante als maximale Aufwandmenge im Algorithmus festgelegt. Bei den monetären Einsparungen wurde von 41,60 € l^{-1} für das Fungizid ´Input´, 57,10 € l^{-1} für ´Proline´ und 27,30 € l^{-1} für ´Swing Gold´ ausgegangen. Auf allen Schlägen wurde mit der Nutzung der teilflächenspezifischen Applikationstechnik Fungizideinsparungen gegenüber einheitlicher Ausbringung erbracht. Die höchsten Einsparungen ergaben sich auf dem Schlag Nr. 840 in Rodleben mit 20,3 % (Tab. 16). Die Einsparungen auf dem Schlag Nr. 818 und "Gölsdorfer Mühle" lagen bei 11,1 % und 11,9 %. Entsprechend der höchsten Fungizideinsparung auf dem Schlag Nr. 840 lag auch die höchste monetäre Einsparung von 16,44 € ha^{-1} vor.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass die Größenordnung der Aufwandsreduzierungen entscheidend von der Variabilität der oberirdischen Pflanzenmasse abhängt. Zusätzliche positive Effekte könnten durch eine Zusammenführung von Crop-Meter und vorzeitiger Schlageinteilung in Zonen erreicht werden.

Tabelle 15: Wasser- und Fungizidaufwandmengen bei einheitlicher und teilflächenspezifischer Applikation

Schlag	Fungizidmenge einheitlich (l ha^{-1})	H_2O-Aufwand einheitlich (l ha^{-1})	H_2O-Aufwand Crop-Meter (l ha^{-1})
Gölsdorfer Mühle	1,2 ´Input´	260	130...260
Rodleben Nr. 818 / Nr. 840	1,1 ´Swing Gold´ + 0,7 ´Proline´	300	150...300

Tabelle 16: Mittel- und Kosteneinsparungen der teilflächenspezifischen Varianten in Fungizidversuchen

Schlag	Fungizideinsparung Crop-Meter / einheitlich (%)	Monetäre Einsparung Crop-Meter / einheitlich (€ ha^{-1})
Gölsdorfer Mühle	11,9	5,94
Rodleben Nr. 818	11,1	9,00
Rodleben Nr. 840	20,3	16,44

Bezüglich der Kornerträge lassen sich tendenziell auf den Schlägen "Gölsdorfer Mühle" und Nr. 818 in Rodleben gegenüber "unbehandelt" positive Effekte der Fungizidbehandlungen feststellen. Auf dem Schlag Nr. 840 war das scheinbar nicht der Fall. Dennoch konnte die teilflächenbezogene Ausbringung dazu beitragen, das Risiko einer ineffektiven Applikation zu senken, indem Mittel- und Kosten eingespart wurden. Zwischen den behandelten Varianten konnten im Ertrag nur geringe Unterschiede ausgemacht werden, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass die Fungizideinsparungen in der teilflächenspezifischen Variante nicht zu Ertragseinbußen geführt haben (Tab. 17).

Tabelle 17: Kornerträge in den Fungizidversuchen

Schlag	Ertrag unbehandelt	Ertrag einheitlich	Ertrag Crop-Meter
Gölsdorfer Mühle	51,3	61,9	60,3
Rodleben Nr. 818	55,2	57,9	58,0
Rodleben Nr. 840	49,5	51,9	52,4

6 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann für die **Produktionsexperimente** aus den Jahren 2005 bis 2007 eingeschätzt werden, dass die sensorgestützte N-Düngung, angepasst an die Pflanzenmassendichte, trendmäßig eine Reduzierung des N-Aufwandes ermöglichte. Sie erwies sich auf dem überwiegenden Teil der Testschläge als wirtschaftliche Maßnahme, bei der der Effekt der Einsparung von N-Düngern höher war als die Maschinenkosten für das Crop-Meter bei entsprechender Auslastung. Damit ging auch eine mittlere Senkung von N-Überhängen einher, was zur Reduktion potentieller Stoffeinträge in die Umwelt beitrug.

Wenn man 1 % N-Emissionen in Form von N_2O je einer ausgebrachten N-Menge unterstellt, kann pro eingespartem Kilogramm N die potentiell klimarelevante Wirkung um 4,64 kg CO_2 entsprechend reduziert werden (vgl. Abschnitt 4.8). In Abhängigkeit von der durchschnittlich eingesparten N-Menge pro Schlag konnten potentielle Emissionsreduktionen von 77kg CO_2-Äquivalent pro Hektar berechnet werden. Zum Vergleich würde dieses CO_2-Äquivalent einem Dieselverbrauch von 26,6 l ha^{-1} gleichkommen. Die Landwirtschaft könnte somit einen entscheidenden Beitrag zur Senkung von Emissionen klimawirksamer Gase durch Nutzung des CROP-Meters zur gezielteren N-Düngung leisten.

Häufig hatten Jahreseffekte (Niederschlagsverteilung) einen entscheidenden Einfluss auf das Ertragsniveau eines Schlages bzw. die räumliche Ertragsverteilung. Die Verteilung der Pflanzenmasse zum Zeitpunkt einer variablen Düngergabe fand sich nicht immer in der späteren Ertragsverteilung wieder. Damit wurden auch die teilflächenbezogenen spezifischen N-Aufwendungen wesentlich beeinflusst. Nicht immer gelang es, die Menge des mineralischen N-Düngers an jeder Stelle des Schlages adäquat zu platzieren. Das äußerte sich durch teilweise sehr hohe Extremwerte bei den spezifischen N-Aufwendungen. Eine sehr wichtige Maßnahme bei der Wahl des Applikationsalgorithmus stellt die repräsentative Erfassung der Variabilität (Spanne der Winkel) auf einer Fläche dar. Sie ist neben dem agronomischen Wissen des Landwirts die Grundlage für eine "richtige" Entscheidungsfindung bei der Bemessung von N-Düngergaben. Auch sind die Hilfsmittel zur manuellen Bestimmung der N-Konzentration im Pflanzensaft (Yara-N-Tester, Nitrachek, Nitrat-Teststreifen) hilfreiche Instrumente zur Bemessung von N-Düngergaben. Diese Hilfsmittel erlauben allerdings auf großen Schlägen nur die Erhebung punktueller Informationen.

Der Landwirt hat, wenn über eine Düngungsmaßnahme zu entscheiden ist, bis dato nur die Möglichkeit, einen Pflanzenbestand nach seiner zurückliegenden Entwicklung und den aktuellen Gegebenheiten zu beurteilen. Ein Blick in die Zukunft (bis zur Abreife) ist ihm weitgehend verwehrt, weil die zu erwartende Niederschlagsverteilung nicht zuverlässig vorhergesagt werden kann. Daher ist das Vorgeben eines Ziel-Kornertrages trotz vieler Hilfsmittel mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet, den optimalen N-Düngungsaufwand des entsprechenden Jahres festzulegen. Dennoch kann einge-

schätzt werden, dass eine teilflächenspezifische N-Düngung gegenüber einheitlicher Düngung als ein richtiger Schritt zur Annäherung an das Optimum gewertet werden kann.

Ex post werden zur ökonomischen und ökologischen Bewertung für Düngungsmaßnahmen N-Bilanzen berechnet. Das erfolgt unter Vorliegen von vollständigen Informationen nach der Ernte bzw. wenn der Verlauf der Witterung bekannt ist. Daraus lässt sich ableiten, welche Art und Weise der N-Düngung angebracht gewesen wäre. Der Landwirt in der konkreten Situation verfügt aber nur über unvollständige Informationen, so dass ein gewisser Anteil der Düngungsentscheidung zufällig "richtig" oder "falsch" getroffen wurde. Derzeit ist es nur möglich, den relativen Anteil des Zufalls zu reduzieren.

Durch die Streifenversuche konnte nachgewiesen werden, dass der infolge der teilflächenspezifischen Applikation eingesparte Stickstoffdünger keine negativen Auswirkungen auf die Erträge hatte. Da bei den durchgeführten Produktionsexperimenten etwas weniger Stickstoffdünger (17 kg ha^{-1}) eingespart wurde, kann geschlussfolgert werden, dass wahrscheinlich auch in den Produktionsexperimenten keine Ertragsverluste durch die sensorgestützte Düngung entstanden sind. Damit trägt der eingesparte Stickstoffdünger mit 9,90 € ha^{-1} unter Berücksichtigung der Maschinenkosten in Höhe von 4.37 € ha^{-1} dazu bei, das Betriebsergebnis um 5,53 € ha^{-1} zu verbessern. Es ist bei den Produktionsexperimenten davon auszugehen, dass das mögliche Einsparpotential noch nicht voll ausgeschöpft wurde, das bei der Stickstoffdüngung nach Pflanzenmassedichte vorhanden ist. Um dieses Potential auszuschöpfen, sollten folgende Verbesserungen umgesetzt werden:

- Technische Verbesserung des Crop-Meters (Zuverlässigkeit, Bedienbarkeit, Kompatibilität)
- Unterweisung der Landwirte und Lohnunternehmer zum Gebrauch des Crop-Meters
- Ausnutzen der agronomischen Möglichkeiten zur Optimierung der Düngermenge

Durch die im Projekt durchgeführten **Streifenversuche** zur sensorgestützten Stickstoffdüngung wird nachgewiesen, dass tendenziell positive betriebswirtschaftliche und die Umwelt entlastende Effekte erzielt werden. Wie die Einzelergebnisse belegen, gilt diese Aussage allerdings nicht ausnahmslos für alle Untersuchungsflächen. Unter Einbeziehung aller Untersuchungsergebnisse kann zusammenfassend eingeschätzt werden, dass im Mittel ca. 21 kg Stickstoff je Hektar ohne Ertragseinbußen eingespart werden konnten. Der daraus erwachsende monetäre Einspareffekt beträgt 12,60 € je Hektar. Unter Berücksichtigung der Mehrkosten in Höhe von 4,37 € je Hektar , die bei den getroffenen Annahmen durch das Crop-Meter entstehen, ergibt sich ein mittlerer betriebswirtschaftlicher Gewinn von 8,23 € je Hektar. Der positive Effekt des Sensoreinsatzes wird deutlicher, wenn der spezifische Stickstoffaufwand zur Erzeugung einer Dezitonne

Getreide verglichen wird. Bei einheitlicher Düngung beträgt dieser im Mittel 2,28 kg N ha^{-1} und bei teilflächenspezifischer 2,06 kg N ha^{-1}, was einer Effektivitätssteigerung von ca. 10 % entspricht. Bei der Annahme, dass mit dem Crop-Meter 750 ha je Jahr gedüngt werden, ergibt sich allein für die Stickstoffdüngung eine Kosteneinsparung von 6172,50 € je Jahr. Mit diesem Effekt wäre abgesichert, dass die Rentabilitätsschwelle bereits im zweiten Einsatzjahr überschritten wird.

Neben dem positiven betriebswirtschaftlichen Effekt werden gleichzeitig Entlastungen der Umwelt erreicht. Wird der eingesparte Stickstoffdünger hinsichtlich der Reduktion der Lachgasemission bewertet, so ergibt sich ein eingespartes Kohlendioxidäquivalent von 98 kg ha^{1}. Um die Größenordnung dieses Effektes zu verdeutlichen, sei angemerkt, dass die je Hektar eingesparten 21 kg Stickstoffdünger damit einem $C0_2$-Äquivalent von 33,8 l Dieselkraftstoff je Hektar entsprechen.

Aus den Projektjahren 2006 und 2007 kann auf der Grundlage der Ergebnisse am Standort Dahlenwarsleben eine anbautechnische Empfehlung hinsichtlich des Vergleichs der beiden teilflächenbezogenen N 2-Algorithmen ein tendenzieller Vorteil für den steigenden Algorithmus ermittelt werden. Daher wird in Abhängigkeit von der Niederschlagsverteilung der Vegetationsjahre ein steigender Algorithmus zu N 2 favorisiert, weil aufgrund von Frühjahrstrockenperioden (z.B. April 2005 und 2007) bereits früh zu Schossbeginn der Getreidepflanzen eine starke Differenzierung der Triebdichten zu erwarten ist. Auf Schlagteilen mit unterdurchschnittlichen Bodenbedingungen dürften aufgrund von stärkerem Wassermangel die größten Triebreduktionen aufgetreten sein, so dass hier bereits früh mit einer Absenkung des Kornertragsniveaus zu rechnen war. Gleichzeitig war mit einer Reduktion der Spindelstufen der Ährenanlage, die parallel mit der Triebbildung abläuft, zu rechnen. Die applizierten Düngermengen belegen, dass im Mittel sowohl beim steigenden wie auch beim fallenden Algorithmus weniger Stickstoff ausgebracht wurde, ohne signifikante Ertragseinbußen zu verursachen. Daraus kann abgeleitet werden, dass offensichtlich mehr Stickstoff im Boden zur Verfügung stand als von den Pflanzen infolge der limitierten Wasserverfügbarkeit aufgenommen werden konnte.

Hinsichtlich des **teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes** mit dem Crop-Meter ist einzuschätzen, dass im Verhältnis zur Stickstoffdüngung nur relativ wenig Versuchsfläche einbezogen werden konnte. Dies hat seine Ursache in den fehlenden technischen Voraussetzungen zur schnellen und breit gefächerten Anpassung der Applikationsmenge. Bei Düngerstreuern kann die Applikationsmenge durch Verstellen der Dosierorgane sehr schnell und mit großer Bandbreite verändert werden. Düsen an Pflanzenschutzspritzen brauchen einen bestimmten Druck, um ein optimales Tropfenspektrum zu erzeugen. Ist der Druck zu hoch, entstehen zu kleine Tröpfchen, die eine unzulässig hohe Abdrift bewirken. Bei zu niedrigem Druck werden die Tröpfchen so groß, dass sie von den Pflanzenoberflächen abrollen und sich daher nicht auf der Pflanzenoberfläche anlagern. Da bei einer Einzeldüse dem optimalen Betriebsdruck nur eine bestimmte Durchflussmenge zugeordnet werden kann, bestehen nur sehr begrenzte Möglichkeiten

über einen veränderten Druck die Durchflussmenge zu beeinflussen. Es gibt bereits technische Lösungen auf dem Markt zur weiten Anpassung der Applikationsmenge bei Pflanzenschutzspritzen (z.B. VarioSelekt der Fa. Lechler). Diese sind relativ kostenaufwendig und standen im Rahmen des Projektes nicht zur Verfügung.

Dennoch zeigen die durchgeführten Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Fungizidapplikation, dass Mitteleinsparungen ohne Ertragseinbußen möglich sind. Dieses Ergebnis wird durch andere Untersuchungen mit dem Crop-Meter zur Applikation von Fungiziden und Wachstumsreglern bestätigt, in denen Einsparungen in der Größenordnung von 21 % erzielt werden konnten (Dammer &Ehlert 2006).

Wie bereits aufgeführt wurde, besteht ein Ansatzpunkt zur Steigerung der Effektivität des Crop-Meters in **technischen Verbesserungen**.

Nachdem das CROP-Meter zur AGRITECHNICA'2003 erstmalig der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, erfolgte im Frühjahr 2004 seine Markteinführung durch die Firma AGROCOM in Bielefeld. Im Projekt konnten umfangreiche Erfahrungen beim Einsatz dieses Sensors gemacht werden, die u.a. in die Entwicklung eines neuen und verbesserten CROP-Meters eingingen.

Der Praxiseinsatz des CROP-Meter bewies, dass das Pendel-Messprinzip grundsätzlich geeignet ist, die Pflanzenmassedichte in stehenden Halmfruchtbeständen unter Feldbedingungen funktionssicher zu erfassen. Hinsichtlich der Robustheit zeigte sich, dass der Taststößel 1 zum Abtasten der Bodenoberfläche (Bild 6) in Extremfällen empfindlich gegen mechanische Beschädigungen ist. Des weiteren erwiesen sich der Linearantrieb (2) und die für seine Steuerung erforderlichen induktiven Näherungsschalter (3) als kostenintensiv und potenzielle Störquellen. Die Nutzer äußerten zusätzlich den Wunsch, beim Wechseln zwischen Transportstellung und Arbeitsstellung die Fahrerkabine nicht verlassen zu müssen.

Beim neuen CROP-Meter (Bild 7), das am ATB entwickelt wurde, wird auf den Linearantrieb zum Spurtiefenausgleich und somit auch auf die induktiven Näherungsschalter plus Verkabelung zur elektro-mechanischen Höhenregelung verzichtet. An ihrer Stelle wird eine direkte Höhenführung bestehend aus einem Bodentaster (1) und einer Parallelogrammführung (2) verwendet. Um die Auflagekräfte und damit den Verschleiß am Bodentaster sowie Beschädigungen an den Kulturpflanzen zu minimieren, wird eine Zugfeder in Form eines Gummiseiles (3) eingesetzt. Das Gummiseil besitzt im Gegensatz zu einer Schraubenfeder eine Eigendämpfung für die Schwingungstilgung. Darüber hinaus kann es zum Erzielen einer flachen Federkennlinie sehr lang ausgebildet werden, indem es über eine Rolle (4) umgelenkt wird.

Mit der neu eingesetzten Parallelogrammführung konnte das bei der alten Schiebeführung vorhandene Spiel entscheidend reduziert werden. Alle acht Lagerstellen des oberen und unteren Lenkers werden mit Buchsen aus Lagerbronze ausgeführt, so dass der Wartungsaufwand auf ein Minimum beschränkt werden kann. Um abzusichern, dass

der Bodentaster sich entsprechend der Fahrtrichtung selbst ausrichtet, ist er in einem Rohr (5) um eine vertikale Achse drehbar gelagert.

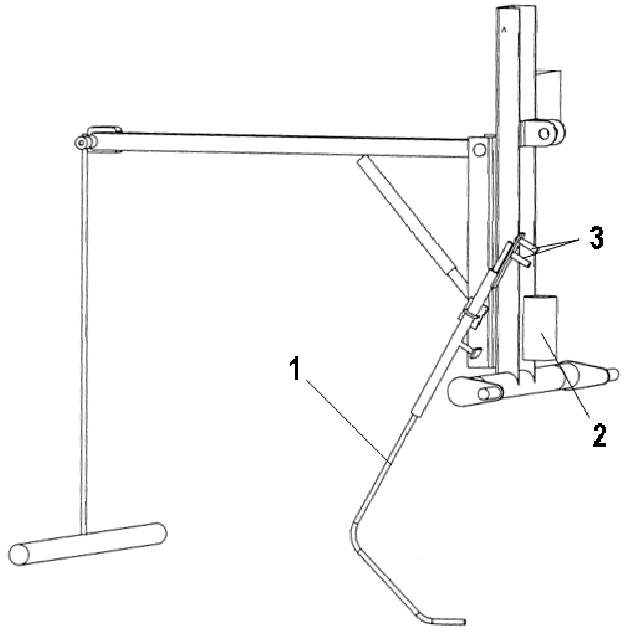


Bild 6: Bisherige Ausführung des CROP-Meters

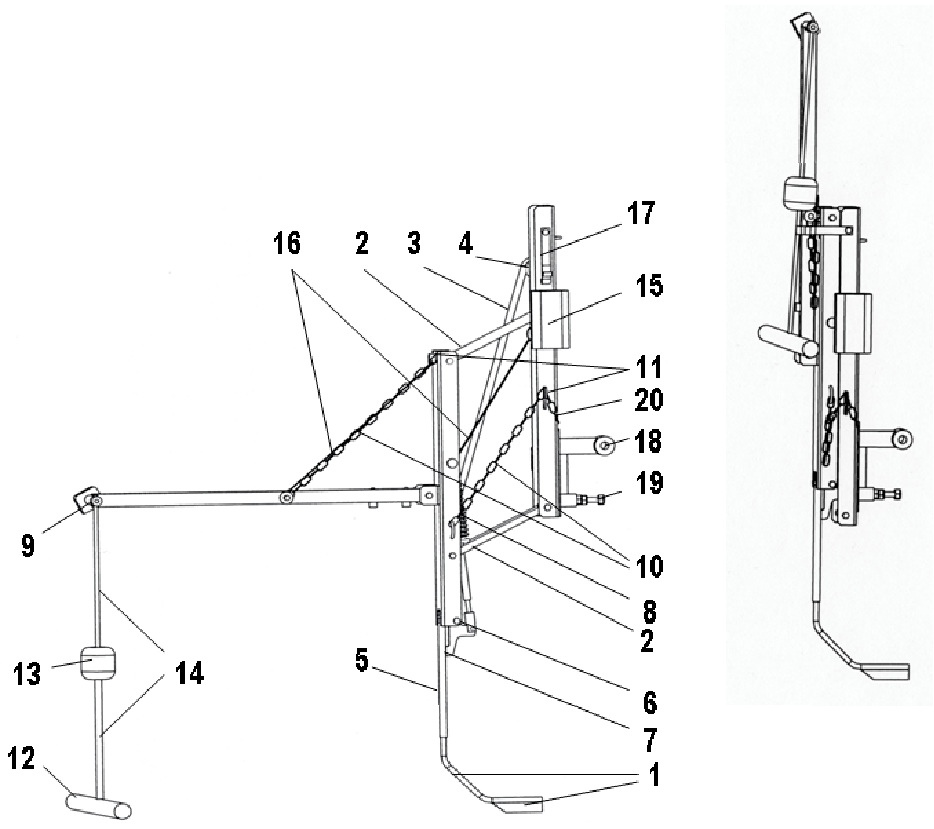


Bild 7: Neues Crop-Meter in Arbeits- und Transportstellung

Zum Vermeiden von Schädigungen durch plötzlich einwirkende extrem hohe Kräfte infolge von z.B. großen Steinen, Bodenrinnen und -wällen ist der Bodentaster zusätzlich

um eine horizontale Achse (6) schwenkbar gelagert. Um die während der Vorwärtsfahrt auftretenden Widerstandskräfte zu überwinden, stützt sich der Bodentaster gegen einen Anschlag (7) mit Druckfeder (8) ab, die hinsichtlich ihrer Vorspannkraft einstellbar ist. Bei Rückwärtsfahrt hebt der Bodentaster vom Anschlag ab und schwenkt bei gleichzeitiger Drehbewegung aus, ohne sich in den Boden zu bohren.

Als eine weitere Verbesserung ist mit dem neuen CROP-Meter ein sehr schnelles und flexibles Einstellen der unteren Lage des Bodentasters sowie der Höhe des Pendel-Drehpunktes (9) möglich. Dies wird mit Rundstahlketten (10) erreicht, deren Glieder in eingearbeitete Schlitze (11) eingehängt werden. Weiterhin werden die Pendel-Zusatzmassen zur Wahl des Pendel-Rückstellmomentes nicht mehr im Rohr des Pendels (12) untergebracht, sondern als eine Zusatzmasse (13). Diese kann in drei unterschiedlichen Abstandsstufen und somit in drei Empfindlichkeitsstufen durch entsprechendes Anordnen von zwei Distanzrohren (14) zum Pendel-Drehpunkt angebracht werden. Um den Sensor besser handhaben zu können, (Transport, Montage, Demontage) wurden das Pendelrohr und die Pendelstange von 1000 mm auf 800 mm verkürzt. Das von den Nutzern geforderte Wechseln zwischen der Transportstellung und der Arbeitsstellung vom Fahrersitz aus wird mittels eines kleinen Elektro-Getriebemotors (15) erreicht, der in der Fahrzeugelektrik in großen Stückzahlen eingesetzt wird. Seine Antriebswelle ist mit einer Rolle kombiniert, auf die sich ein Band (16) auf- bzw. abwickelt. Durch zwei weitere Umlenkrollen wird erreicht, dass das am Ausleger befestigte Band das gesamte CROP-Meter mit einen Zug in Arbeits- bzw. in Transportstellung bringt. Für einen längeren Transportbetrieb und zum Zweck der Montage bzw. Demontage kann das CROP-Meter mittels einer mechanischen Transportsicherung (17) zusätzlich verriegelt werden. Das CROP-Meter ist als Gerät für den Traktoren-Frontanbau konzipiert. Infolge der gesteigerten Bodenfreiheit auf mindestens 450mm in der Transportstellung ist der zusätzliche Hubweg eines Frontkrafthebers nicht mehr erforderlich. Für den Anbau des CROP-Meters an Traktoren, die mit Frontkrafthebern ausgerüstet sind, wird ein angepasster Montage-Adapter eingesetzt, der sich ausschließlich über den Bolzen des Oberlenkers (18) und eine auf Druck belastete Justierschraube (19) zur Einstellung der Sensorneigung abstützt. Mit dieser einfachen Form des Anbaus entfällt das bisher erforderliche ständige Einstellen der unteren Lenker des Krafthebers auf die vorgeschriebene Höhe von 600mm. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das CROP-Meter sich dichter am Traktor befindet und somit die Parallelogrammführung geringere Ausgleichsbewegungen bei Bodenunebenheiten ausführen muss. Auch im Straßenverkehr entstehen Vorteile, da das CROP-Meter nicht mehr so weit vor der Motorhaube des Traktors hervorragt. An Traktoren ohne Frontkraftheber kann das CROP-Meter fest installiert werden, indem das hintere U-Profil als universelle Montagefläche (20) genutzt wird.

Mit dem neuen CROP-Meter wird zukünftig der Landwirtschaft ein kostengünstiger mechanischer Sensor zur Erfassung der Pflanzenmassedichte zur Verfügung gestellt, der sich gegenüber der bisherigen Ausführung durch höhere Robustheit, verbesserte

Messgenauigkeit und eine erweiterte Funktionalität auszeichnet. Durch das Anbringen einer speziellen Gleitkufe aus verschleißfestem Stahl am Bodentaster werden die Standzeit sowie die Instandhaltungseignung deutlich gesteigert. Der Weg zum Ausgleich von Regelspuren konnte durch den Einsatz der Parallelogrammführung auf bis zu 450 mm erhöht werden.

Beim bisherigen Ausgleich der Spurtiefe traten infolge des verwendeten Dreipunkt-Reglers Ungenauigkeiten auf, die aus dem Abstand der induktiven Näherungsschalter, der einprogrammierten Totzeit von 0,5 Sekunden zum Vermeiden von Prellerscheinungen und der begrenzten Verstellgeschwindigkeit des Linearantriebes (34 mm s^{-1}) resultierten. Durch die direkte Abtastung der Bodenoberfläche können diese Einflussgrößen zukünftig weitgehend eliminiert werden, so dass einerseits die Messgenauigkeit gesteigert wird und andererseits das Einsatzspektrum des CROP-Meters sich zu weniger entwickelten Pflanzenbeständen und damit früheren Einsatzterminen hin erweitert.

Mit der Möglichkeit, zwischen Transportstellung und Arbeitsstellung vom Fahrersitz über das ISOBUS-Terminal zu wechseln, werden sowohl Verbesserungen hinsichtlich der Ergonomie als auch eine bessere Ausnutzung der Arbeitszeit erreicht, wovon vor allem Lohnunternehmer und größere Landwirtschaftsbetriebe profitieren werden.

Das neue Crop-Meter wird in der Vegetationssaison 2008 in Form einer Vorserie auf den Markt gebracht und auch zukünftig von der Fa. AGROCOM vertrieben.

7 Zusammenfassung

Heterogenitäten in Pflanzenbeständen auf landwirtschaftlichen Flächen sind ein Ausdruck des komplexen Zusammenwirkens der Variabilität natürlicher Standortbedingungen, der Bewirtschaftung und des Witterungsverlaufs. Eine an den lokalen Bedarf angepasste Applikation von Düngern und Pflanzenschutzmitteln bewirkt, dass Überdosierungen und somit unnötige Umweltbelastungen vermieden werden. Um die Mengen an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln bedarfsgerechter ausbringen zu können, besteht die Möglichkeit, Sensoren einzusetzen. Mit dem Mechanischen Sensor "Crop-Meter" kann die Pflanzenmasse in Getreide und Gräsern indirekt erfasst werden, womit eine Information über die örtliche Ausbildung eines Pflanzenbestandes zur Verfügung steht, die als Eingangs- und Steuergröße zur variablen Ausbringung von Düngern und Pflanzenschutzmitteln genutzt werden kann.

Ein Ziel dieses Projektes bestand darin, das Crop-Meter unter Praxisbedingungen in sechs Agrarbetrieben in den Jahren 2005 bis 2007 bei teilflächenspezifischen Düngungs- und Pflanzenschutzmassnahmen zu testen und dauerhaft zu etablieren. Ein weiteres Ziel bestand darin, infolge der Beispielswirkung weitere Landwirtschaftsbetriebe zu ermutigen, derartige Technik einzusetzen. Die ausgewählten Projektbetriebe unterschieden sich vor allem hinsichtlich der Flächenheterogenität der Standorte, des Er-

fahrungsstands im teilflächenspezifischen Pflanzenbau sowie in den praktizierten Produktionsverfahren für die einzelnen Getreidekulturen, in denen das Crop-Meter eingesetzt

werden sollte. Der Sensor wurde in Produktionsexperimenten auf ganzen Schlägen zur Düngung und zum Pflanzenschutz eingesetzt. Analog wurden in Streifenversuchen praxisübliche und teilflächenspezifische Verfahren verglichen, um quantitative Aussagen über das Einsparpotential und ggf. entstehende Auswirkungen auf den Ertrag machen zu können.

Das Crop-Meter wurde im Rahmen des Projektes bei 18 Produktionsexperimenten auf ca. 900 ha Gesamtfläche zur N-Düngung in Wintergetreide zwischen Schossbeginn und Blüte des Getreides eingesetzt. Dabei ergaben sich gegenüber einheitlicher Düngung N-Dünger-Einsparungen im Mittel von 17 kg N ha^{-1} . Daraus resultierte eine mittlere monetäre Einsparung von 9,90 € ha^{-1}. Unter Berücksichtigung der unterstellten zusätzlichen Maschinenkosten von 4,37 € ha^{-1} kann der Einsatz des Crop-Meters als Gewinn bringend bewertet werden. Aufgrund der Düngereinsparungen kann man von einer klimarelevanten potentiellen Emissionsminderung von 77kg ha^{-1} CO_2-Äquivalent ausgehen, die mit einer Einsparung an Dieselkraftstoffverbrauch von 26,6 l ha^{-1} vergleichbar ist.

In 15 ausgewerteten Einzel-Streifenversuchen ergaben sich mit geringen Ausnahmen keine statistisch signifikanten Ertragsdifferenzen zwischen einheitlichen und teilflächenspezifischen N-Düngungsvarianten, so dass die Erträge ohne Einfluss auf die Marktleistung des Getreides beurteilt werden können. Bei den Streifenversuchen mit Crop-Meter entstanden im Mittel N-Dünger-Einsparungen von 21 kg N ha^{-1} gegenüber einheitlicher Düngung, die einen monetären Kostenvorteil von 12,60 € ha^{-1} bewirkten. Unter Abzug der zusätzlichen Maschinenkosten von 4,37 € ha^{-1} entstand somit ein betriebswirtschaftlicher Gewinn von 8,23 € ha^{-1}. Auf Grund des ohne Ertragseinbußen eingesparten N-Düngers wurde im Durchschnitt bei der sensorgestützten Düngung ein spezifischer N-Aufwand von 2,06 kg N dt^{-1} erreicht, der bei einheitlicher Düngung 2,28 kg N ha^{-1} betrug und somit zu geringeren potentiellen N-Austrägen in die Umwelt führte. Mit der erzielten Düngereinsparung wurde hinsichtlich des Umwelteffektes eine Senkung an CO_2-Äquivalenten von 98 kg ha^{-1} erreicht, die einer eingesparten Dieselmenge von 33,8 l ha^{1} entspricht.

In drei Versuchen zur Fungizidanwendung in Weizen ergaben sich ohne Ertragseinbußen in teilflächenspezifischen Varianten umweltrelevante Mitteleinsparungen von 11,9 bis 20,3 % gegenüber „einheitlich“, die zu monetären Kostensenkungen von 5,94 bis 16,44 € ha^{-1} gegenüber der praxisüblichen Applikation führten.

Der Einsatz des Crop-Meters ließ sich insgesamt gut in bestehende betriebliche Getreideproduktionsverfahren integrieren. Die im Rahmen des Projektes gemachten Erfahrungen gingen ein in technische Verbesserungen des Crop-Meters, die ab der Vegetationsperiode 2008 der Landwirtschaft zur Verfügung stehen werden.

Conclusions

Heterogeneous crop stands on agricultural fields emerge by complex relations between variable soil conditions, weather trends and cultivation practises. Thereby, the local adaption of applied fertilizers and plant protection agents can achieve greater importance.

With the `Crop-Meter`, aboveground plant in cereals and fodder grasses can be measured indirectly. For this reason information about local differences is available in crop stands which can be used as input parameter for variable-rate applications of fertilizers and plant protection agents.

The aim of this project was to test the Crop-Meter under practical conditions of six farms in the years 2005 to 2007 and to establish it in common practise. The farms were distinguished by heterogeneities of fields, experiences in site-specific farming and cultivation methods of cereals.

The Crop-Meter was used for nitrogen fertilization and plant protection in on-farm trials on the entire field. Analogically, strip trials were carried out to compare uniform-rate and variable-rate applications.

The Crop-Meter was used for nitrogen fertilization of cereals between stem elongation and anthesis in 18 on-farm trials with an area of approx. 900 ha. Thereby, an N fertilizer amount of 17 kg N ha^{-1} could be saved on average. The monetary saving was 9,90 € ha-1. Compared to the machinery costs (4,37 € ha^{-1}) the economic breakeven was exceeded. Because of the fertilizer savings potential carbon-dioxide emissions of 77kg CO_2 ha^{-1} could be mitigated, corresponding to a Diesel fuel consumption of 26,6 l ha^{-1}.

In 15 single strip trials, no statistically significant differences occurred between mean grain yields of uniform-rate and variable-rate applications. So the grain yield were treated as if there was no influence on the economic result. On average, 21 kg N ha^{-1} were saved in site-specific treatments compared to uniform-rate N fertilization. The monetary advantage was 12,60 € ha^{-1}. The economic threshold of 4,37 € ha^{-1} was also be exceeded. Potential CO_2 emissions were reduced about 98 kg ha^{-1}, equating with a Diesel fuel consumption of 33,8 l ha^{-1}. In variable-rate treatments, the mean nitrogen use of 2,06 kg N dt^{-1} was less than in uniform-rate treatments (2,28 kg N dt^{-1}), contributing to reduced potential nitrogen losses. When choosing the application algorithm an increasing relation between Crop-Meter deviation angles and fertilizer amounts is preferred because spring droughts often occur causing irreversible variable crop stands in Eastern Germany.

In three strip trials, fungicides were applied uniformly and site-specifically with the Crop-Meter in winter wheat. In variable-rate applications, fungicide savings from 11,9 to 20,3 % were achieved while no yield losses occurred by reducing the application rates. Costs were decreased from about 5,94 to 16,44 € ha^{-1}.

The Crop-Meter operations were integrated without difficulty in existing cereal cultivation methods. Experiences from technical testing provided useful further developments of the Crop-Meter.

Literaturverzeichnis

Baumecker, M. (2005): Stickstoff in einer Gabe. Bauernzeitung 12, 23-25. Deutscher Bauernverlag, Berlin.

Baumecker, M., Wellie-Stephan O. (2005): Weizenanbau auf Sandböden. Innovation 4. Deutsche Saatveredelung und Th. Mann, Gelsenkirchen.

Blackmore, S., Godwin, R.J. und Fountas, S. (2003): The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, 84 (4), 455-466.

Dammer, K.-H. und Ehlert D. (2006): Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. Precision Agriculture 7, 137-148.

Demmel, M. (2001): Ertragsermittlung im Mähdrescher. DLG-Merkblatt 303. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (Hrsg.), Fachbereich Landtechnik, Ausschuss für Arbeitswirtschaft und Prozesstechnik, Frankfurt (Main).

Diepenbrock, W., Fischbeck, G. Heyland, K.-U. und Knauer, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. UTB 111, 3. Auflage Ulmer, Stuttgart.

Dobers, E. S. (2002): Methoden der Standorterkundung als Grundlage des DGPS-gestützten Ackerbaus. Dissertation, Georg-August Universität Göttingen.

Domsch, H. (Hrsg.) (2004): Entwicklung einer low-input Lösung für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung im Betriebsmaßstab. Forschungsbericht des Leibniz-Instituts für Agrartechnik, Potsdam-Bornim.

Ehlert, D., Hammen, V. und Adamek, R. (2003): On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. Precision Agriculture 4, 139-148.

Ehlert, D., Schmerler, J. und Völker, U. (2004): Variable rate nitrogen fertilization of winter wheat based on a crop density sensor. Precision Agriculture 5, 263-273.

Ehlert, D. und Adamek, R. (2005): Crop variability and resulting management effects. In Stafford J.V. (Hrsg.): Precision Agriculture ´05, 193-200. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture (5ECPA), 9. – 12.06.2005, Uppsala, Schweden. Wageningen Academic Publishers, Niederlande.

Ehlert, D. und Dammer, K.H. 2006: Wide-scale testing of the Crop-Meter for site-specific farming. Precision Agriculture 7, 101-115.

Ehlert, D., Juerschik, P. und Otter-Nacke, S. (2007): Advanced pendulum sensor for site specific crop production. VDI-Max-Eyth-Gesellschaft, VDI-Berichte Nr. 2001. Tagung Landtechnik 2007, Hannover, 9.-10.11.2007.

Follett, R.F., Shafer, S.R., Jawson, M.D. und Franzluebbers, A.J. (2005): Research and implementation needs to mitigate greenhouse gas emissions from agriculture in the USA. Soil and Tillage Research, 83,1, 159-166.

Grams, M. (2004): Analyse der EU-Milchmarktpolitik bei Unsicherheit. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.

Haase, G. (1995): Riesa-Torgauer Elbtal. In Mannsfeld K. & Richter H. (Hrsg.): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 238, 51-53. Zentralausschuß für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.

Hammen, V.C. (2001): On-line sensing of cereal crop biomass. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)(2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm (27.11.2007).

Jäger, S. (2006): Mündliche Mitteilung vom 26.07.06.

Kübler, E. (1994): Weizenanbau. Ulmer, Stuttgart.

Lemaire, G., Recous, S. und Mary, B. (2004): Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet", 26.09. – 1.10.2004, Brisbane, Australia. www.cropscience.org.au.

Liedtke, H. (2002): Namen und Abgrenzungen von Landschaften in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 239, 3. Aufl. Zentralausschuss für deutsche Landeskunde, Selbstverlag, Trier.

Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. und Schabenberger, O. (2006): SAS for mixed models. 2nd edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Mudra, A. (1949): Anleitungen zur Durchführung und Auswertung von Feldversuchen nach neueren Methoden. Hirzel, Leipzig.

Petr, J., Cerny, V. und Hruska, L. (Hrsg.) (1983): Ertragsbildung bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 1. Aufl., VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Raun, W.R. und Johnson, G.V. (1999): Improving nitrogen efficiency for cereal production. Agronomy Journal, 91, 357-363.

Reckleben, Y. (2004): Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Reinhardt, G.A. (1993): Energie und CO_2-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.

SKWP (2007): Alzon® 46. http://www.skwp.de/deutsch/mainnav/produkte/agrochemie/alzon%C2%AE_46.htm (23.10.07).

Schabenberger, O., Pierce und F.J. (2002): Contemporary statistical models for the plant and soil sciences. CRC Press, Boca Raton.

Thomas, E. (2006): Feldversuchswesen. Ulmer, Stuttgart.

UBA (Umweltbundesamt, Hrsg.) (2005): Climate Change – Die Zukunft in unseren Händen. 21 Thesen zur Klimaschutzpolitik des 21. Jahrhunderts und ihre Begründungen. Dessau. http://www.umweltbundesamt.de

Wegener, J., Lücke, W. und Heinzemann, J. (2006): Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Agricultural Engineering Research 12, 103-114.

Wollny, J., Dammer, K.H., Hau, B., Volk, T. und Wischke, T. (2007): Site –specific disease control in wheat by combining the Crop-Meter with the decision support system proPlant. In Stafford J.V. (Hrsg.): Precision Agriculture ´07, 783-789. Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture (6ECPA), 3. – 6.06.2007, Skiathos, Griechenland. Wageningen Academic Publishers, Niederlande.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektbetriebe mit Ausgangssituation, Aufgabenstellung und Vernetzung 8

Tabelle 2: Planung des Projektverlaufs für die Jahre 2005 bis 2008 9

Tabelle 3: Technische Parameter des Crop-Meters 12

Tabelle 4: Termine der N-Düngung in Getreide 15

Tabelle 5: Produktionsexperimente in 2005 16

Tabelle 6: Produktionsexperimente in 2006 17

Tabelle 7: Produktionsexperimente in 2007 18

Tabelle 8: Streifenversuche zur N-Düngung 19

Tabelle 9: Erfassung von Ertragsstruktur und Rohproteingehalt im Korn 25

Tabelle 10: Annahmen zur Kalkulation der Maschinenkosten für das CROP-Meter 35

Tabelle 11: Berechnete Maschinenkosten für das CROP-Meter 35

Tabelle 12: Wirtschaftliche und umweltrelevante Ergebnisse der Produktionsexperimente zur N-Düngung 38

Tabelle 13: Spezifische N-Aufwendungen der Düngungsvarianten, Bilanz der CO_2-Äquivalente sowie N-Düngungs- und Kosten 45

Tabelle 14: Spritzbrühen- und Fungizideinsparungen auf dem Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" (Wörlitz, 2006) 46

Tabelle 15: Wasser- und Fungizidaufwandmengen bei einheitlicher und teilflächenspezifischer Applikation 49

Tabelle 16: Mittel- und Kosteneinsparungen der teilflächenspezifischen Varianten in Fungizidversuchen 49

Tabelle 17: Kornerträge in den Fungizidversuchen 49

Bildverzeichnis

Bild 1: Messprinzip des Pendelsensors 11

Bild 2: Crop-Meter für Frontanbau 12

Bild 3: Verlauf eines steigenden und fallenden Applikationsalgorithmus 13

Bild 4: Kerndrusch mit Mähdrescher und Ertragskartierung in einem Düngungsprüfglied 23

Bild 5: Applikationsalgorithmen zur Szenarioberechnung am Beispiel des Schlages "Nr. 2" (Wörlitz, 2006) 48

Bild 6: Bisherige Ausführung des CROP-Meters 54

Bild 7: Neues Crop-Meter in Arbeits- und Transportstellung 54

Anhang

Tabellenverzeichnis

Tabelle A1: Betriebsspiegel der Projektpartnerbetriebe 69

Tabelle A2: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2005) 69

Tabelle A3: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2006) 71

Tabelle A4: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2007) 72

Tabelle A5: Beschreibende Statistik der Winkel und Kornerträge sowie N-Aufwand in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung 73

Tabelle A6: Stickstoff- und Kosteneinsparungen, spezifischer N-Aufwand und CO_2-Vermeidungspotential in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung 74

Tabelle A7: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2005) 75

Tabelle A8: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung (2005) 76

Tabelle A9: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2006) 77

Tabelle A10: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung (2006) 78

Tabelle A11: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2007) 79

Tabelle A12: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung und Fungizidapplikationen (2007) 80

Tabelle A13: Zusammenfassung der Ergebnisse in den Streifenversuche zum Vergleich von einheitlicher und teilflächenspezifischer N-Düngung (2005-2007) 81

Tabelle A14: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste) 82

Tabelle A15: Bestandesdichten (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste) 83

Tabelle A16: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste) 83

Tabelle A17: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen) 84

Tabelle A18: Ertragsstruktur (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen) 84

Tabelle A19: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen) 85

Tabelle A20: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Sandberg, 2005, W-Gerste) 85

Tabelle A21: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen) 86

Tabelle A22: Ertragsstruktur (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen) 86

Tabelle A23: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen) 87

Tabelle A24: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen) 87

Tabelle A25: Ertragsstruktur (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen) 88

Tabelle A26: Rohproteingehalte im Korn (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen) 88

Tabelle A27: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen) 89

Tabelle A28: Ertragsstruktur und Rohproteingehalte (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen) 89

Tabelle A29: Rohproteingehalte im Korn der Sorte "Cubus" (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen) 90

Tabelle A30: Rohproteingehalte im Korn der Sorte "Dekan" (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen) 90

Tabelle A31: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Wuhne, 2006, W-Gerste) 90

Tabelle A32: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Wuhne, 2006, W-Gerste), steigender bzw. fallender Algorithmus 91

Tabelle A33: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2006, W-Weizen) 91

Tabelle A34: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2006, W-Weizen), steigender bzw. fallender Algorithmus 92

Tabelle A35: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Riesterstück, 2006, W-Weizen) 92

Tabelle A36: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Riesterstück, 2006, W-Weizen) 92

Tabelle A37: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Niedergörsdorf, Betonstraße, 2006, W-Weizen) 93

Tabelle A38: Rohproteingehalte im Korn (Niedergörsdorf, Betonstraße, 2006, W-Weizen) 93

Tabelle A39: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Blönsdorf, Schlag 628.2, 2006, Versuch 1 und 2, W-Weizen) 93

Tabelle A40: Rohproteingehalte im Korn (Blönsdorf, Schlag 628.2, 2006, Versuch 1, W-Weizen) 94

Tabelle A41: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Wittbrietzen, Schlag 352, 2006, W-Triticale) 94

Tabelle A42: Rohproteingehalte im Korn (Wittbrietzen, Schlag 352, 2006, W-Triticale) 94

Tabelle A43: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2007, W-Gerste) 95

Tabelle A44: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Sandberg, 2007, W-Weizen) 95

Tabelle A45: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Sandberg, 2007, W-Weizen), steigender bzw. fallender Algorithmus 96

Tabelle A46: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Kornerträge (Wittbrietzen, Dobbrikower Straße rechts, 2007, W-Gerste) 96

Tabelle A47: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 2“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Median" 96

Tabelle A48: Applikationsszenarien für Schlag „Nr.2“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Halbe Spannweite" 97

Tabelle A49: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 3“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Median" 97

Tabelle A50: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 3“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Halbe Spannweite" 97

Tabelle A1: Betriebsspiegel der Projektpartnerbetriebe

	Dahlenwars-leben	Reinstedt	Staritz	Niedergörsdorf	Blönsdorf	Wittbrietzen	Wörlitz
Rechtsform	GmbH & Co. KG	GmbH	GmbH	GmbH	GmbH	GbR	eG
Bundesland	Sachsen-Anhalt	Sachsen-Anhalt	Sachsen	Brandenburg	Brandenburg	Brandenburg	Sachsen-Anhalt
Landkreis	Ohre-Kreis	Aschersleben-Staßfurt	Torgau-Oschatz	Teltow-Fläming	Teltow-Fläming	Potsdam-Mittelmark	Anhalt-Zerbst
Betriebstyp	Marktfrucht	Marktfrucht, Milch	Marktfrucht, Milch, Mast-schweine	Marktfrucht, Sauen, Mast-schweine, Masthähnchen	Marktfrucht, Milch, Sauen,	Marktfrucht, Milch, Geflügel,	Marktfrucht, Milch, Mast-schweine
LF (ha)	2448	1510	1983	2000	4293	2314	
Ackerfläche (ha)	2439	1430	1833	2000	4293	2010	
Angebaute Kulturen	W-getreide, W-raps, Zuckerrüben, Gemüse-bohnen, Kartoffeln, Stilllegung	W-getreide, W-raps, Zuckerrüben, Silomais, Feldgras, Futtererbsen, Stilllegung	W-getreide, W-raps, Zukkerrüben, Silomais, Feldgras, Stilllegung	W-getreide, W-raps, Zukkerrüben, Kartoffeln, Silomais, Stilllegung	W-getreide, W-raps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Silomais, Feldfutter, Stilllegung	W-getreide, W-raps, Sonnenblumen, Silomais, Feldfutter, Grünland, Stilllegung	Wintergetreide, Winterraps, Zuckerrüben, Silomais, Grünland, Stilllegung
Mittlere Höhe über NN in m	56	125	85	84	110	48	60
Mittlere Niederschlagssumme pro Jahr in mm	538	450	450	530	550	520	500

LF = Landwirtschaftliche Fläche; W = Winter

Tabelle A2: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2005)

Betrieb	Geplante Crop-Meter-Erprobung	Tatsächliche Crop-Meter-Erprobung	Mindest-erprobungs-fläche (ha)	Tatsächliche Erprobungs-fläche (ha)	davon Streifen-versu-che (ha)
Landgut GmbH Staritz	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	100	ca. 850	31
Dawa Agrar GmbH & Co. KG	Online-Applikation von WR, Fungiziden, flüssige und feste N-Dünger	Applikation von festen N-Düngern	100	ca. 1.350	46
„Nuthequelle“ landwirtschaftl. Betriebs GmbH Niedergörs-dorf	Online-Applikation von flüssigen, stabilisierten N-Düngern und Fungiziden (VARIOSELECT®-Getriebe)	Applikation von festen N-Düngern mit ZF-Düngerstreuer	100	100	27
Agrar GmbH Flämingland Blönsdorf	Online-N-Düngung ohne GPS mit pneumatischem Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit GPS und ZF-Düngerstreuer	100	40	40
Agrar GbR Frenzel & Schmidt Wittbrietzen	Grünlandkartierung zur Erstellung von Applikationskarten (N- und Grunddüngung auf Grünland); Triticaledüngung	Getreide- und Grünland-kartierung	50	Grünland: 12 Acker: 37	./.
„Neu-Seeland“ Agrar GmbH Frose / Reinstedt	Pflanzenmassekartierung in Getreide zum Abgleich mit Luftbildern; Online-Applikation von Düngern und PSM mit Hinterlegung von Faktorkarten	Pflanzenmassekartierung in Getreide zum Abgleich mit Luftbildern	100	ca. 700	./.

WR = Wachstumsregler; ZF-Düngerstreuer = Zentrifugal-Düngerstreuer

Tabelle A3: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2006)

Betrieb	Geplante Crop-Meter-Erprobung	Tatsächliche Crop-Meter-Erprobung	Geplante Erprobungs-fläche (ha)	Tatsächliche Erprobungsflä-che (ha)	davon Streifen-versu-che (ha)
Landgut GmbH Staritz	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	100	117	41
Dawa Agrar GmbH & Co. KG	Online-Applikation von WR, Fungiziden, flüssige und feste N-Dünger	Applikation von festen N-Düngern	100	2.727	84
„Nuthequelle“ landwirtschaftl. Betriebs GmbH Niedergörsdorf	Online-Applikation von flüssigen, stabilisierten N-Düngern und Fungiziden (VARIOSELECT®-Getriebe)	Online-Applikation von festen N-Düngern mit ZF-Düngerstreuer	100	131	82
Agrar GmbH Flämingland Blönsdorf	Online-N-Düngung ohne GPS mit pneumat. Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit GPS und ZF-Düngerstreuer	100	116	57
Agrar GbR Frenzel & Schmidt Wittbrietzen	Grünlandkartierung zur Erstellung von Applikationskarten (N- und Grunddüngung auf Grünland); Triticaledüngung	N-Düngung in Triticale	50	26	26
Agrargenossenschaft Wörlitz e.G.	Online-Applikation von Fungiziden in W-getreide	Online-Applikation von Fungiziden in W-getreide	100	141	./.

WR = Wachstumsregler; ZF-Düngerstreuer = Zentrifugal-Düngerstreuer; W = Winter

Tabelle A4: Stand der Crop-Meter-Erprobung und der Erprobungsfläche (2007)

Betrieb	Geplante Crop-Meter-Erprobung	Tatsächliche Crop-Meter-Erprobung	Geplante Erprobungs-fläche (ha)	Tatsächliche Erprobungsflä-che (ha)	davon Streifen-versu-che (ha)
Landgut GmbH Staritz	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit ZF-Düngerstreuer	100	150	./.
Dawa Agrar GmbH & Co. KG	Online-Applikation von WR, Fungiziden, flüssige und feste N-Dünger	Applikation von festen und flüssigen N-Düngern	100	N-Düngung: 190 Pflanzen-schutz: 395	26
„Nuthequelle“ landwirt-schaftl. Betriebs GmbH Niedergörsdorf	Online-Applikation von flüssi-gen, stabilisierten N-Düngern und Fungiziden (VARIOSE-LECT®-Getriebe)	Online-Applikation von festen N-Düngern mit ZF-Düngerstreuer; Online-Applikation von Fungiziden	100	159	9
Agrar GmbH Flämingland Blönsdorf	Online-N-Düngung ohne GPS mit pneumat. Düngerstreuer	Online-N-Düngung mit GPS und ZF-Düngerstreuer	100	127	./.
Agrar GbR Frenzel & Schmidt Wittbrietzen	Grünlandkartierung zur Erstel-lung von Applikationskarten (N- und Grunddüngung auf Grün-land); Triticaledüngung	N-Düngung in Getrei-de nach Applikations-karte, Grünlandkartie-rung	50	85	24

WR = Wachstumsregler; ZF-Düngerstreuer = Zentrifugal-Düngerstreuer

Tabelle A5: Beschreibende Statistik der Winkel und Kornerträge sowie N-Aufwand in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung

Jahr	Betrieb	Schlag	Kultur	Maßnahme	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	N-Aufwand Spanne (kg ha^{-1})	Ertrag Mittel (dt ha^{-1})	Ertrag CV (%)
2005	Dawa	Drauen	WW	N 2 + N 3	44,3 (N3)	15,6	153...208	77,7	20,2
	Dawa	Klein Ammensleber Weg	WG	N 2 + N 3	13,3 (Median: N3)	19,1 [1)]	148...180	70,7	22,9
	Staritz	Busch	WG	N 2	24,2	17,7	161...169	87,7	18,5
2006	N´görsdorf	Am Bahnhof	WW	N 2	27,9	23,3	104...144	39,8	22,1
	Dawa	Wasserstelle	WW	N 3	25,0	40,0	129...156	43,1	34,6
	Staritz	Brauhaus	WW	N 3	32,0	12,5	142...175	61,9	8,7
	Staritz	Altes Schiff	WW	N 3	44,0	9,0	90...123	83,1	8,5
	Staritz	Dammloch	WW	N 3	26,4	31,4	88...123	56,3 [2)]	13,8 [2)]
2007	N´görsdorf	Panzerstraße	WW	N 2	38,5	12,7	71...117	57,5	20,0
	N´görsdorf	Streitländer (Teil)	WW	N 2	33,0	14,8	71...117	56,3	19,8
	N´görsdorf	Oehnaer Grenze	WW	N 2	36,3	12,9	71...117	55,4	16,9
	Dawa	Bennstedter Feld	WW	N 2 + N 3	34,0 (N3)	20,6	138...194	73,6	21,3
	Dawa	Zw. Weg u. Graben	WW	N 2 + N 3	44,0 (N3)	18,2	141...201	75,8	15,0
	Dawa	Schweinestall Klein Ammensleben	WW	N 2 + N 3	47,0 (N3)	12,8	141...201	72,7	17,5
	Staritz	Busch	WW	N 3	38,8	14,1	94...126	66,1	18,1
	Staritz	Kastanienallee	WW	N 3	29,3	30,0	112...126	55,5	22,3
	Blönsdorf	Schlag 627.3	WW	N 3	51,0	5,1	146...185	80,7	19,6
	Blönsdorf	Schlag 651.0	WW	N 3	36,5 [3)]	7,1 [3)]	148...186	69,5	16,8

CV = Variationskoeffizient; WG = Wintergerste; WW = Winterweizen; N´görsdorf = Niedergörsdorf; [1)] Interquartilsabstand; [2)] nur für südliche Schlaghälfte Daten verfügbar

Tabelle A6: Stickstoff- und Kosteneinsparungen, spezifischer N-Aufwand und CO_2-Vermeidungspotential in den Produktionsexperimenten zur N-Düngung

Jahr	Betrieb	Schlag	Kultur	Düngungstermine	N-Einsparung			Kostensenkung	Spezifischer N-Aufwand	
					Mittel	Spanne (kg ha^{-1})	Summe (kg)	(€ ha^{-1})	Mittel	Spanne (kg dt^{-1})
2005	Dawa	Drauen	WW	N 2 + N 3	8	0...47	234	4,80	2,72	1,66...5,75
	Dawa	K.A:	WG	N 2 + N 3	23	0...32	690	13,80	2,33	1,46...4,51
	Staritz	Busch	WG	N 2	3	0...8	326	1,80	2,01	1,45...4,03
2006	N´dorf	Am Bahnhof	WW	N 2	16	5...41	753	9,60	3,44	1,90...8,28
	Dawa	Wasserstelle	WW	N 3	23	2...27	514	13,80	3,52	1,87...11,17
	Staritz	Brauhaus	WW	N 3	17	5...33	193	10,20	2,54	2,09...2,98
	Staritz	Altes Schiff	WW	N 3	10	5...34	195	6,00	2,00	1,73...2,56
	Staritz	Dammloch	WW	N 3	19	0...32	396	11,40	1,93	1,39...2,63
2007	N´dorf	Panzerstraße	WW	N 2	18	6...46	929	10,80	1,84	1,23...5,43
	N´dorf	Streitländer (Teil)	WW	N 2	26	16...47	1047	15,60	1,67	1,02...4,52
	N´dorf	Oehnaer Grenze	WW	N 2	21	4...47	1006	12,60	1,76	1,22...4,89
	Dawa	Bennstedter Feld	WW	N 2 + N 3	28	0...56	1044	16,80	2,37	1,65...4,74
	Dawa	Zw. Weg u. Graben	WW	N 2 + N 3	23	0...60	488	13,80	2,54	1,72...3,89
	Dawa	Schweinestall K.A.	WW	N 2 + N 3	16	0…63	212	9,60	2,63	1,94…4,28
	Staritz	Busch	WW	N 3	6	0...32	425	3,60	1,95	1,36...4,61
	Staritz	Kastanienallee	WW	N 3	7	0...14	541	4,20	2,31	1,59...7,47
	B´dorf	Schlag 627.3	WW	N 3	7	0...39	350	4,20	2,34	1,63...11,30
	B´dorf	Schlag 651.0	WW	N 3	16	0...38	648	9,60	2,49	1,78...5,62

N´dorf = Niedergörsdorf; B´dorf = Blönsdorf; K.A. = Klein Ammensleben; WW = Winterweizen; WG = Wintergerste

Tabelle A7: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2005)

Betrieb	Dawa	Dawa	Staritz	Staritz	Niedergörsdorf	Blönsdorf
Schlag	Sandberg	Wasser-stelle	Krummes Land	Am Pietzsch	Streitländer	Schlag 602.2
Versuchsfläche (ha)	32,9	12,9	18,9	12	27,3	40
Frucht	Wintergerste	Winter-weizen	Wintergerste	Winter-weizen	Winter-weizen	Winter-weizen
Sorte, Qualitätsgruppe	Franziska E	Altos,	Naomie	Ludwig, A	Skater, B	Cubus, Dekan A, B
Saattermin; Saatstärke (Körner/m^2)	21.09.04; 320	29.09.04; 300	20.09.04; 270	25.09.04; 280	9.10.2004; 350	13.10.04; 270
Vorfrucht	Winterraps	Winterraps	Winter-weizen	Futter-erbsen	Silomais	Kartoffeln
Eingesetzte Applikationstechnik, Arbeitsbreite	Düngerstreuer MA Güstrow D 055, 27 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 055, 27 m	Transportwagen Rauch TWS 5000 + Düngerstreuer Rauch Axera H 1102 EMC, 30 m	Transportwagen Rauch TWS 5000 + Düngerstreuer Rauch Axera H 1102 EMC, 30 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 056, 24 m	Düngerstreuer Rauch Axera H, 24 m
N-Menge einheitlich vor Versuch (kg N ha^{-1})	N1: 68	N1: 68	N1a+N1b: 124	N1a+N1b: 115	N1: 72	N1: 65 N2: 54

N1 = N-Gabe zu Vegetationsbeginn; N2 = N-Gabe zu Schoßbeginn

Tabelle A8: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung (2005)

Betrieb	Dawa	Dawa	Staritz	Staritz	Niedergörsdorf	Blönsdorf
Schlag	Sandberg	Wasserstelle	Am Pietzsch	Krummes Land	Streitländer	Schlag Nr. 602.2
Versuchs-varianten	1. KAS schlageinheitlich 2. KAS teilflächenspezifisch 3. Alzon teilflächenspezifisch			1. KAS schlageinheitlich 2. KAS teilflächenspezifisch		Sorte Cubus: KAS schlageinheitlich KAS teilflächenspezifisch (SA1) KAS teilflächenspezifisch (SA2)
						Sorte Dekan: KAS teilflächenspezifisch KAS schlageinheitlich (SA2)
Anzahl der Wiederholungen	3	2	2	3	3	1 (Sorte Cubus) 1 (Sorte Dekan)
Versuchsdurch-führung zu Düngungs-termin/-en	N2 + N3	N2 + N3	N2 (N3 in Var. 1 u. 2 nicht ausgeführt)	N2	N2	N3
N-Mengen (kg N ha^{-1}) einheitlich und teilflächenspezi-fisch mit Mini-mum...Maximum	zu 1. 65 + 54 zu 2. N2, KAS: 49...65 N3, KAS: 38...54 zu 3. N2, Alzon 40: 60...100	zu 1. 70 + 65 zu 2. N2, KAS: 49...70 N3, KAS: 38...65 zu 3. N2, Alzon 40: 80...120	zu 1. 41 zu 2. N2, KAS: 19...41 zu 3. N2, Alzon 46: 60...90	zu 1. 41 zu 2. 41...59	zu 1. 68 zu 2. 41...68	einheitlich: 41 SA1: 14 – 54 SA2: 27 – 54

N2 = N-Gabe zu Schoßbeginn; N3 = N-Gabe zum Ährenschieben; KAS = Kalkammonsalpeter; SA1 = steigender Algorithmus Nr. 1; SA2 = steigender Algorithmus Nr. 2

Tabelle A9: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2006)

Betrieb	Dawa	Dawa	Staritz	Wittbrietzen	Niedergörsdorf	Blönsdorf
Schlag	Wuhne	Groß Ammens-leber Weg	Horst-Riester-Stück	Schlag 352	Betonstraße	Schlag 628.2
Versuchsfläche (ha)	41,5	42,6	40,9	25,7	82,3	57,3
Frucht	Wintergerste	Winter-weizen	Winter-weizen	Winter-triticale	Winter-weizen	Winter-weizen
Sorte, Qualitätsgruppe	Lomerit	Tommi, A	Tiger, A	Triamant	Skater, B	Tommi, A
Saattermin; Saatstärke (Körner/m^2)	05.10.05; 300	28.10.05; 350	02.10.05; 280	27.09.05; 300	280	28.10.05; 300
Vorfrucht	Winterwei-zen	Winterweizen	Körnermais	Silomais		Kartoffeln
Eingesetzte Appli-kationstechnik, Arbeitsbreite	Dünger-streuer MA Güstrow D 055, 27 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 055, 27 m	Transportwagen Rauch TWS 5000 + Düngerstreuer Rauch Axera H 1102 EMC, 30 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 056, 27 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 056, 24 m	Düngerstreuer MA Güstrow D 078, 24 m
N-Mengen einheit-lich vor Versuch (kg N ha^{-1})	N1: 54	N1: 54	N_{Herbst} : 20 N1: 67 N2a: 18	N1: 70	N1: 63	N1: 65 N2: 67

N1 = N-Gabe zu Vegetationsbeginn; N2 = N-Gabe zu Schoßbeginn

Tabelle A10: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung (2006)

Betrieb	Dawa	Dawa	Staritz	Wittbrietzen	Nieder-görsdorf	Blönsdorf
Schlag	Wuhne	G.A. Weg	H.-Riester-Stück	Schlag 352	Beton-straße	Schlag 628.0/2
Versuchs-varianten	1. KAS schlageinheitlich 2. KAS teilflächenspezifisch (steigender Algorithmus zu N2) 3. KAS teilflächenspezifisch (fallender Algorithmus zu N2)		1. KAS schlageinheitlich 2. KAS teilflächenspezifisch			1. KAS schlageinheitlich 2. Piamon teilflächenspezifisch 3. Piamon teilflächenspezifisch 4. KAS teilflächenspezifisch
Anzahl der Wiederholungen	2	2	3	2	2	6 (zu 1.) / 1 (zu 2.) / 1 (zu 3.) / 3 (zu 4.)
Versuchsdurchführung zu Düngungs-termin/-en	N2 + N3	N2 + N3	N3	N2	N2	N3
N-Mengen (kg N ha^{-1}) einheitlich und teilflächenspezifisch mit Minimum...Maximum	zu 1. 60 + 53 zu 2. N2, SA: 38...59 N3, Piamon: 26...53 zu 3. N2, FA: 59...38 N3, Piamon: 26...53	zu 1. 65 + 77 zu 2. N2, SA: 38...65 N3, KAS: 46…77 zu 3. N2, FA: 65...38 N3, KAS: 46…77	zu 1. 40 zu 2. 0...40	zu 1. 54 zu 2. 14-54	zu 1. 81 zu 2. 41-81	zu 1. KAS: 49 zu 2. Piamon: 17...50 zu 3. Piamon: 0...50 zu 4. KAS: 0...50

N2 = N-Gabe zu Schoßbeginn; N3 = N-Gabe zum Ährenschieben; KAS = Kalkammonsalpeter; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; Piamon = Piamon S 33; G.A. Weg = Groß Ammensleber Weg; H.-Riester-Stück = Horst-Riester-Stück

Tabelle A11: Produktionstechnische Daten der Streifenversuche (2007)

Betrieb	Dawa	Dawa	Wittbrietzen	Niedergörsdorf	Rodleben	Rodleben
Schlag	Groß Ammensleber Weg	Sandberg	Dobbrikower Straße rechts	Gölsdorfer Mühle	Schlag 840	Schlag 818
Versuchsfläche (ha)	9,9	15,7	24,2	8,9	6,7	6,5
Frucht	Wintergerste	Wintereizen	Wintergerste	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
Sorte, Qualitätsgruppe	Merlot	Altos, E	Lomerit	Dekan, B	Charger, C	Charger; C
Saattermin	22.09.06	4.10.06	24.09.06	9.10.06	28.09.06	25.09.06
Vorfrucht	Winter-weizen	Winter-raps	Silomais	Kartoffeln	Winter-raps	Winter-gerste
Eingesetzte Applikationstechnik, Arbeitsbreite	PS-Spritze John Deere tf 840, 27 m		Düngerstreuer MA Güstrow D 056, 27 m	PS-Spritze Amazone BBG S 340 Air, 24 m		
N-Mengen einheitlich vor Versuch (kg N ha^{-1})	N1: 0	N1: 54	./.	N1: 49 N2: 68	N1: 94 N2: 44 N3: 48	N1: 93 N2: 45

N1 = N-Gabe zu Vegetationsbeginn; N2 = N-Gabe zu Schoßbeginn; N3 = N-Gabe zum Ährenschieben

Tabelle A12: Versuchsanlagen zur teilflächenspezifischen N-Düngung und Fungizidapplikationen (2007)

Betrieb	Dawa	Dawa	Wittbrietzen	Niedergörsdorf	Rodleben	Rodleben
Schlag	G.A. Weg Weg	Sandberg	Dob. Strasse re.	Gölsdorfer Mühle	Schlag 840	Schlag 818
Versuchsvarianten	1. Piasan S einheitlich 2. Piasan S teilflächenspezifisch (steigender Algorithmus zu N2) 3. Piasan S teilflächenspezifisch (fallender Algorithmus zu N2)		1. KAS einheitlich 2. KAS teilflächen-spezifisch nach Applikationskarte	1. unbehandelte Kontrolle 3. Fungizide einheitlich 4. Fungizide nach Crop-Meter		
Anzahl der Wiederholungen	2	2	2	1	1	1
Versuchsanlage zu Düngungstermin/-en	N2	N2	N1	./.	./.	./.
Aufwandmengen der Fungizide, einheitlich in l ha^{-1}	./.	./.	./.	1,2 ´Input´	0,7 ´Proline´ +1,1 ´Swing Gold´	
Ausbringmengen in kg N ha^{-1} bzw. l ha^{-1} einheitlich und teilflächenspezifisch mit Minmum ...Maximum	zu 1. N2: 71 N3: 71 zu 2. N 2, SA : 40...61 N3 : 71 zu 3. N2, FA: 61...40 N3: 71	Zu 1. N2: 71 N3: 80 Zu 2. N2, SA: 40...61 N3: 80 zu 3. N2, FA: 61...40 N3: 80	zu 1. 110 zu 2. 62…110	zu 1. 0 zu 2. 260 H_2O zu 3. 130…260 H_2O	zu 1. 0 zu 2. 300 H_2O zu 3. 150…300 H_2O	

N 1 = N-Gabe zu Vegetationsbeginn; N 2 = N-Gabe zu Schoßbeginn; N 3 = N-Gabe zum Ährenschieben; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; Piasan S =Flüssig-N-Dünger; MZ = Managementzone; G.A. Weg = Groß Ammensleber Weg; Dob. Strasse re. = Dobbrikower Strasse rechts

Tabelle A13: Zusammenfassung der Ergebnisse in den Streifenversuche zum Vergleich von einheitlicher und teilflächenspezifischer N-Düngung (2005-2007)

Schlag (Sorte)	Kornertrag (Mittel, dt ha^{-1})		Modell	P-Wert F-Test	Standardfehler der Prüfglieddiffe-renz / -en (dt ha^{-1})	N-Aufwand (Mittel ± SD, kg ha^{-1})		Differenz zu einheitlicher Düngung (Mittel)	
	einh.	tfs				einh.	tfs	kg N ha^{-1}	€ ha^{-1}
Sandberg	K: 88,6	A: 88,2	pow a	0,8912	2,831	173 ± 0	127 ± 13	-46	+27,60
Krummes Land	88,7	86,7	N sphga	0,3619	2,205	165 ± 0	174 ± 5	+ 9	-5,40
Pietzsch	K: 77,9	K: 79,6 A: 84,9	sphga	0,1187	A tf. – K einh: 4,657 A tf. – K tf: 2,956 K einh. – K tf: 4,842	156 ± 0	K: 148 ± 7 A: 199 ± 10	K: -8 A: +43	K: +4,80 A: -25,80
Streitländer	61,4	64,6	pow a	0,1496	2,169	140 ± 0	133 ± 5	-7	+4,20
Nr. 602.2 (Cubus)	83,8	SA1:84,1 SA2:73,9	pow	0,0003	einh. – SA1: 2,439 einh. – SA2: 3,481 SA1 – SA2: 2,477	160 ± 0	SA1: 158 ± 11 SA2: 164 ± 8	SA1: -2 SA2: +4	SA1: +1,20 SA2: -2,40
Nr. 602.2 (Dekan)	76,9	79,6	pow	0,4488	3,568	160 ± 0	168 ± 7	+8	-4,80
Wuhne	91,6	SA: 93,0 FA: 90,5	pow	0,7531	einh. – FA: 2,321 einh. – SA: 2,142 FA – SA: 3,418	166 ± 0	SA: 138 ± 13 FA: 144 ± 4	SA: -28 FA: -22	SA: +16,80 FA: +13,20
G. A. Weg ´06	58,2	SA: 59,7 FA: 59,6	pow	0,1368	einh. – FA: 1,097 einh. – SA: 0,980 FA – SA: 1,472	196 ± 0	SA: 152 ± 5 FA: 174 ± 10	SA: -44 FA: -22	SA: +26,40 FA: +13,20
Riesterstück	61,6	63,1	N pow a	0,3018	1,382	155 ± 0	131 ± 10	-24	+14,40
Nr. 352	52,2	53,3	sph ga	0,3311	1,186	124 ± 0	103 ± 10	-21	+12,60
Betonstraße	55,7	55,7	pow a	0,9904	1,226	144 ± 0	121 ± 4	-23	+13,80
Nr. 628.2 (1)	51,8	51,5	sph ga	0,8853	2,189	180 ± 0	158 ± 8	-22	+13,20
Nr. 628.2 (2)	52,4	52,7	pow a	0,9210	3,290	180 ± 0	155 ± 6	-25	+15,00

Fortsetzung Tabelle A13:

Schlag (Sorte)	Kornertrag (Mittel, dt ha^{-1})		Modell	P-Wert F-Test	Standardfehler der Prüfglieddifferenz / -en (dt ha^{-1})	N-Aufwand (Mittel ± SD, kg ha^{-1})		Differenz zu einheitlicher Düngung (Mittel)	
	einh.	tfs				einh.	tfs	kg N ha^{-1}	€ ha^{-1}
G. A. Weg ´07	57,6	SA: 59,8 FA: 58,2	iid	0,1576	einh. – FA: 1,202 einh. – SA: 1,132 FA – SA: 1,389	141 ± 0	SA: 120 ± 7 FA: 121 ± 6	SA: -21 FA: -20	SA: +12,60 FA: +12,00
Dob. Straße rechts	33,3	32,4	sph	0,3095	0,815	108 ± 0	90 ± 11	-18	+10,80

SD = Standardabweichung; Kovarianzmodell: pow = power, sph = sphärisch, a = anisotrop, ga = geometrisch anisotrop, N =Nugget, K = Kalkammonsalpeter, A = Alzon; SA = Steigender Algorithmus; FA = Fallender Algorithmus; iid = Annahme unabhängiger Residuen; G.A. Weg = Groß Ammensleber Weg; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A14: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Winkel, Mittel (°)	Winkel, CV (%)	Kornertrag, Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag, CV (%)
1	tfs	18,2	25,2	8,72	12,7
2	tfs	20,4	22,3	8,91	9,9
3	einh	20,8	21,5	8,78	10,9
4	einh	18,8	27,3	8,98	15,0
5	einh	18,4	25,7	8,40	19,2
6	einh	19,0	31,6	8,64	27,1
7	tfs	19,9	22,6	8,91	28,0
8	tfs	25,3	17,1	9,71	26,0
9	einh	24,5	20,4	10,21	16,9
10	einh	23,3	23,3	10,42	17,3
11	tfs	25,0	17,9	9,69	17,6
12	tfs	25,4	14,0	9,46	15,8

Tabelle A15: Bestandesdichten (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Ähren je m² Mittel
1	tfs	488
2	tfs	544
3	tfs	637
4	einh.	565
5	einh	570
6	einh	612
7	tfs	645
8	tfs	605
9	einh	669
10	einh	714
11	tfs	731
12	tfs	638

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

Tabelle A16: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Schlag "Krummes Land", 2005, W-Gerste)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	28	27
Mittel (%)	11,5	12,2
SD (%)	1,0	1,0

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A17: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	15,5	23,6	9,34	6,8
2	KAS einh.	18,3	22,6	9,40	15,2
3	KAS tfs	19,4	28,6	7,97	26,5
4	KAS tfs.	21,9	18,2	6,98	13,5
5	Alzon tfs	21,7	23,0	8,76	18,1
6	Alzon tfs	24,3	13,9	9,53	13,2
7	KAS tfs	22,6	24,2	9,14	10,7
8	KAS tfs	21,4	18,1	9,40	10,6
9	Alzon tfs	24,1	17,5	8,97	14,9
10	Alzon tfs.	20,5	24,7	8,92	14,0
11	KAS einh.	19,8	23,9	8,20	15,3
12	KAS einh.	18,2	30,4	8,04	17,6

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A18: Ertragsstruktur (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Ähren je m² Mittel	Körner je Ähre Mittel	Tausendkornmasse Mittel (g)
1	KAS einh.	496	38,9	45,3
2	KAS einh.	503	38,8	45,3
3	KAS tfs	574	30,3	41,8
4	KAS tfs.	551	27,4	38,7
5	Alzon tfs	585	34,6	42,2
6	Alzon tfs	626	40,4	40,3
7	KAS tfs	641	36,0	41,0
8	KAS tfs	603	36,4	40,6
9	Alzon tfs	623	35,2	43,4
10	Alzon tfs.	628	37,6	42,6
11	KAS einh.	524	33,3	40,2
12	KAS einh.	516	34,0	41,1

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

Tabelle A19: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Schlag "Pietzsch", 2005, W-Weizen)

	Rohprotein		
	KAS einh.	KAS tfs	Alzon tfs
Anzahl Proben	16	20	20
Mittel (%)	12,6	14,2	13,8
SD (%)	1,6	1,8	1,8

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A20: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Sandberg, 2005, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	6,7	96,4	8,54	11,8
2	KAS einh.	9,6	69,5	9,14	13,6
5	Alzon tfs	9,4	69,8	9,03	11,8
6	Alzon tfs	13,4	44,7	8,89	11,7
9	Alzon tfs	9,7	63,0	9,39	13,4
10	Alzon tfs	9,9	69,8	8,85	18,3
11	KAS einh.	8,9	72,9	8,93	15,5
12	KAS einh.	13,9	41,0	9,18	9,8
13	Alzon tfs	12,2	44,1	9,29	14,5
14	Alzon tfs	13,6	51,5	8,30	22,0
15	KAS einh.	13,9	42,1	8,70	14,7
16	KAS einh.	13,7	48,3	8,75	13,8

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A21: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	34,8	23,8	7,55	19,5
2	KAS einh.	35,2	18,4	8,89	23,7
3	KAS tfs.	39,6	19,9	6,96	26,3
4	KAS tfs	36,0	29,2	8,42	28,2
5	Alzon tfs	46,0	8,3	8,28	15,3
6	Alzon tfs	42,0	12,4	9,29	18,4
7	KAS tfs	39,5	18,0	7,30	21,5
8	KAS tfs	38,9	17,6	8,77	16,5
9	Alzon tfs	40,1	11,0	8,71	16,7
10	Alzon tfs	33,5	18,5	9,44	17,7
11	KAS einh..	43,4	11,1	8,83	17,3
12	KAS einh.	42,7	11,0	10,82	13,8

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A22: Ertragsstruktur (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Ähren je m² Mittel	Körner je Ähre Mittel	Tausendkornmasse Mittel (g)
1	KAS einh.	467	52,4	40,8
2	KAS einh.	446	53,4	38,6
3	KAS tfs	421	46,7	37,9
4	KAS tfs	399	48,1	38,2
5	Alzon tfs	449	52,3	39,5
6	Alzon tfs	430	51,7	40,2
7	KAS tfs	474	51,1	41,0
8	KAS tfs	490	51,5	40,6
9	Alzon tfs	458	52,3	40,9
10	Alzon tfs	437	54,0	40,1
11	KAS einh.	449	48,2	42,4
12	KAS einh.	525	51,3	41,4

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

Tabelle A23: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Wasserstelle, 2005, W-Weizen)

	Rohprotein		
	KAS einh.	KAS tfs	Alzon tfs
Anzahl Proben	20	20	20
Mittel (%)	12,7	12,8	12,0
SD (%)	0,3	0,7	0,7

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A24: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS tfs	26,3	19,5	6,59	13,4
2	KAS tfs	28,5	15,6	6,71	12,1
3	KAS einh.	24,6	22,0	6,75	16,6
4	KAS einh.	24,2	17,1	6,60	13,1
5	KAS einh.	21,0	32,5	5,68	26,8
6	KAS einh.	19,0	25,5	5,88	20,9
7	KAS tfs	25,6	18,6	6,68	15,7
8	KAS tfs	24,0	19,2	6,75	14,9
9	KAS tfs	23,5	20,1	6,17	16,8
10	KAS tfs	26,5	18,8	6,32	12,6
11	KAS einh.	26,9	16,0	6,21	16,1
12	KAS einh.	21,7	18,1	6,38	17,3

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A25: Ertragsstruktur (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Ähren je m² Mittel	Körner je Ähre Mittel	Tausendkorn-masse Mittel (g)	Rohproteingehalte Mittel (%)
1	KAS tfs	529	25,9	36,7	11,7
2	KAS tfs	583	28,3	35,8	12,4
3	KAS einh.	493	28,8	37,7	11,3
4	KAS einh.	494	26,9	35,7	11,7
5	KAS einh.	449	27,8	36,7	12,1
6	KAS einh.	481	30,1	36,9	11,7
7	KAS tfs	461	27,0	34,5	11,9
8	KAS tfs	525	25,4	35,2	11,9
9	KAS tfs	480	29,4	36,2	11,5
10	KAS tfs	529	28,5	38,1	11,3
11	KAS einh.	484	26,9	35,9	12,3
12	KAS einh.	538	28,6	37,3	11,8

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

Tabelle A26: Rohproteingehalte im Korn (Niedergörsdorf, Streitländer, 2005, W-Weizen)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	30	30
Mittel (%)	11,8	11,8
SD (%)	1,3	1,2

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A27: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante (Sorte)	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh. (Cubus)	30,5	9,1	8,32	13,2
2	KAS einh. (Cubus)	31,3	8,6	8,53	11,1
3	KAS teilfl. SA1 (Cubus)	32,6	10,1	8,60	12,5
4	KAS teilfl. SA1 (Cubus)	31,9	9,4	8,51	15,0
5	KAS tfs SA2 (Cubus)	31,4	8,4	7,71	16,6
6	KAS tfs SA2 (Cubus)	33,7	8,3	8,10	18,0
7	KAS tfs (Dekan)	34,9	8,6	8,40	14,0
8	KAS tfs (Dekan)	35,2	8,5	8,39	15,4
9	KAS einh. (Dekan)	34,1	8,7	8,01	14,2

KAS = Kalkammonsalpeter; SA1 = steigender Algorithmus Nr. 1; SA2 = steigender Algorithmus Nr. 2; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A28: Ertragsstruktur und Rohproteingehalte (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante, (Sorte)	Ähren je m^2 Mittel	Körner je Ähre Mittel	Tausendkornmasse Mittel (g)
1	KAS einh. (Cubus)	366	53,3	41,4
2	KAS einh. (Cubus)	401	52,2	39,2
3	KAS teilfl. SA1 (Cubus)	420	50,9	42,5
4	KAS teilfl. SA1 (Cubus)	342	52,1	41,6
5	KAS teilfl SA2 (Cubus)	365	50,4	41,0
6	KAS teilfl. SA2 (Cubus)	368	52,8	40,6
7	KAS tfs (Dekan)	365	48,4	42,5
8	KAS tfs (Dekan)	345	50,5	41,5
9	KAS einh. (Dekan)	422	43,5	42,5
10	KAS einh. (Dekan)	428	41,8	43,5

KAS = Kalkammonsalpeter; SA1 = steigender Algorithmus Nr. 1; SA2 = steigender Algorithmus Nr. 2; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch

Tabelle A29: Rohproteingehalte im Korn der Sorte "Cubus" (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen)

	Rohprotein		
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung SA1	tfs N-Düngung SA2
Sorte	Cubus	Cubus	Cubus
Anzahl Proben	8	8	8
Mittel (%)	10,9	11,1	11,2
SD (%)	0,4	0,5	0,9

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung; SA1 = steigender Algorithmus Nr. 1; SA2 = steigender Algorithmus Nr. 2

Tabelle A30: Rohproteingehalte im Korn der Sorte "Dekan" (Blönsdorf, Schlag 602.2, 2005, W-Weizen)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Sorte	Dekan	Dekan
Anzahl Proben	8	8
Mittel (%)	11,6	12,2
SD (%)	0,9	0,3

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A31: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Wuhne, 2006, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	14,8	55,2	8,94	12,9
4	KAS SA.	14,0	71,2	9,67	10,0
6	KAS einh.	16,6	52,5	9,70	12,6
8	KAS FA	16,3	43,8	9,30	14,9
10	KAS einh.	15,6	58,2	9,45	12,5
12	KAS SA	13,9	73,4	9,61	11,5
14	KAS einh.	14,9	66,6	9,97	10,2
16	KAS FA	21,2	39,0	9,97	12,4

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A32: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Wuhne, 2006, W-Gerste), steigender bzw. fallender Algorithmus

	Rohprotein			
	einh. N-Düngung steigender Algorithmus	tfs N-Düngung steigender Algorithmus	einh. N-Düngung fallender Algorithmus	tfs N-Düngung fallender Algorithmus
Anzahl Proben	8	7	4	4
Mittel (%)	13,1	13,7	12,6	12,5
SD (%)	1.1	0.5	0,7	1,3

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A33: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2006, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	19,2	21,2	5,62	9,3
2	KAS einh.	15,9	23,4	5,71	12,5
3	KAS SA.	14,8	25,9	5,84	11,4
4	KAS SA.	18,8	22,8	6,17	13,8
6	KAS einh.	14,5	34,0	6,13	16,7
7	KAS FA.	15,1	27,4	5,85	10,8
8	KAS FA.	14,1	26,9	6,25	12,4
9	KAS einh.	11,9	46,2	5,64	9,4
10	KAS einh.	7,8	57,2	5,77	12,0
11	KAS SA.	13,4	30,3	5,64	9,8
12	KAS SA.	13,2	24,9	6,04	10,4
13	KAS einh.	10,8	39,2	5,62	12,5
14	KAS einh.	9,2	43,6	6,19	14,0
15	KAS FA	16,6	26,2	5,74	10,0
16	KAS FA	15,9	29,7	6,18	12,1
17	KAS einh.	7,0	56,5	5,71	10,2
18	KAS einh.	6,3	70,4	5,97	13,3

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A34: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2006, W-Weizen), steigender bzw. fallender Algorithmus

	Rohprotein			
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
	steigender Algorithmus		fallender Algorithmus	
Anzahl Proben	10	10	10	10
Mittel (%)	14,6	14,4	14,5	14,6
SD (%)	0,8	0,7	0,5	0,8

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A35: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Staritz, Riesterstück, 2006, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	26,8	18,7	6,38	5,0
2	KAS einh.	24,7	12,3	5,99	4,7
3	KAS tfs	24,1	14,3	5,86	2,8
4	KAS tfs	25,7	9,6	5,84	6,1
5	KAS einh.	24,9	12,7	5,99	5,1
6	KAS einh.	25,6	11,4	5,93	5,8
7	KAS tfs	24,0	12,2	6,05	4,7
8	KAS tfs	26,5	13,3	6,01	8,1
9	KAS einh.	22,7	44,9	5,90	16,4
10	KAS einh.	29,9	25,5	6,16	11,9
11	KAS tfs	30,6	23,4	6,66	12,7
12	KAS tfs	32,2	21,0	6,72	12,8

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A36: Rohproteingehalte im Korn (Staritz, Riesterstück, 2006, W-Weizen)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	30	30
Mittel (%)	14,3	13,9
SD (%)	0,4	0,6

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A37: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Niedergörsdorf, Betonstraße, 2006, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	30,8	15,7	5,16	14,0
2	KAS einh.	36,6	11,2	5,68	11,5
3	KAS tfs	36,8	5,4	5,49	14,3
4	KAS tfs	35,5	20,3	5,29	14,3
5	KAS einh.	37,1	8,2	5,49	13,6
6	KAS einh.	38,6	7,2	5,61	13,6
7	KAS tfs	35,3	11,3	5,80	11,9
8	KAS tfs	32,5	19,8	5,86	12,0
9	KAS einh.	34,9	20,5	5,74	11,3
10	KAS einh.	34,5	18,6	6,14	11,4

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A38: Rohproteingehalte im Korn (Niedergörsdorf, Betonstraße, 2006, W-Weizen)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	20	20
Mittel (%)	17,6	16,5
SD (%)	2,1	1,5

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A39: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Blönsdorf, Schlag 628.2, 2006, Versuch 1 und 2, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Versuch Nr.	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	1	37,9	9,7	5,95	21,6
2	KAS tfs	1	33,0	38,9	5,39	19,3
3	KAS tfs	1	33,7	20,5	4,99	21,0
4	KAS einh.	1	36,8	13,9	4,62	16,2
5	KAS einh.	2	34,9	28,0	5,23	16,1
6	KAS tfs	2	34,8	12,4	5,17	22,2
7	KAS tfs	2	38,3	18,3	5,35	20,8
8	KAS einh.	2	33,7	13,0	5,30	14,3

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A40: Rohproteingehalte im Korn (Blönsdorf, Schlag 628.2, 2006, Versuch 1, W-Weizen)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	10	10
Mittel (%)	15,7	15,2
SD (%)	1,5	1,1

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A41: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Wittbrietzen, Schlag 352, 2006, W-Triticale)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	24,5	14,9	4,78	18,5
2	KAS einh.	20,9	27,6	5,10	18,8
3	KAS tfs	21,4	28,0	5,38	18,5
4	KAS tfs	22,2	24,0	5,46	18,5
5	KAS einh.	19,9	27,0	5,26	12,8
6	KAS einh.	20,1	25,3	5,37	16,6
7	KAS tfs	22,7	18,0	5,58	13,4
8	KAS tfs	22,5	17,9	5,48	16,6
9	KAS einh.	19,2	21,5	5,74	11,8
10	KAS einh.	18,7	25,6	5,64	12,5

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A42: Rohproteingehalte im Korn (Wittbrietzen, Schlag 352, 2006, W-Triticale)

	Rohprotein	
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
Anzahl Proben	20	20
Mittel (%)	12,8	11,4
SD (%)	1,3	1,1

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A43: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Groß Ammensleber Weg, 2007, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
1	KAS einh.	16,3	52,5	5,79	8,7
2	KAS SA.	24,5	15,4	5,83	11,5
3	KAS einh.	16,7	44,3	5,78	9,6
4	KAS SA	12,6	45,3	5,99	11,4
5	KAS einh.	13,1	51,9	5,43	14,6
6	KAS FA	17,1	39,1	5,83	13,0
7	KAS einh.	21,5	33,7	5,86	12,0
8	KAS FA	21,9	31,3	5,77	12,3
9	KAS einh.	23,6	19,0	5,46	17,5

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A44: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Winkel und Kornerträge (Dawa, Sandberg, 2007, W-Weizen)

Spur Nr.	Variante	Winkel Mittel (°)	Winkel CV (%)	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)	Ernte-termin
1	KAS einh	29,0	28,8	5,46	16,0	26.07.07
2	KAS SA.	28,9	31,7	4,64	20,3	09.08.07
3	KAS einh	29,8	26,3	5,33	18,5	26.07.07
4	KAS SA	33,7	20,8	4,48	18,1	09.08.07
5	KAS einh	30,3	31,8	5,19	15,9	26.07.07
6	KAS FA	31,2	30,9	5,04	12,4	09.08.07
7	KAS einh	31,2	28,8	4,23	20,5	09.08.07
8	KAS FA	30,2	34,5	4,62	11,0	09.08.07
9	KAS einh	31,8	19,7	5,25	11,5	09.08.07

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A45: Rohproteingehalte im Korn (Dawa, Sandberg, 2007, W-Weizen), steigender bzw. fallender Algorithmus

	Rohprotein			
	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung	einh. N-Düngung	tfs N-Düngung
	steigender Algorithmus		fallender Algorithmus	
Anzahl Proben	6	9	10	10
Mittel (%)	16,0	15,8	15,7	15,7
SD (%)	1,2	1,1	0,4	0,9

einh. = einheitlich; tfs = teilflächenspezifisch; SD = Standardabweichung

Tabelle A46: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Kornerträge (Wittbrietzen, Dobbrikower Straße rechts, 2007, W-Gerste)

Spur Nr.	Variante	Kornertrag Mittel (t ha^{-1})	Kornertrag CV (%)
3	KAS tfs	3,06	22,0
4	KAS tfs	3,15	24,5
5	KAS einh.	3,33	33,1
6	KAS einh.	3,66	29,9
7	KAS tfs	3,78	34,9
8	KAS tfs	3,47	33,9
9	KAS einh.	3,67	27,8
10	KAS einh.	4,08	26,1

KAS = Kalkammonsalpeter; einh. = einheitlich; SA = steigender Algorithmus; FA = fallender Algorithmus; CV = Variationskoeffizient

Tabelle A47: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 2“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Median"

Szenario	Algorithmus				Einsparungen		
	Minimum		Maximum			Schlag	
	Winkel (°)	Anteil (%)	Winkel (°)	Anteil (%)	PS-Mittel (l ha^{-1})	€ ha^{-1}	€
1	50	0	55	100	0,73	26,86	1132
2	50	50	55	100	0,36	13,41	565
3	0	0	50	100	0,41	15,03	633

Tabelle A48: Applikationsszenarien für Schlag „Nr.2“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Halbe Spannweite"

Szenario	Algorithmus				Einsparungen		
	Minimum		Maximum			Schlag	
	Winkel (°)	Anteil (%)	Winkel (°)	Anteil (%)	PS-Mittel (l ha^{-1})	€ ha^{-1}	€
1	35	0	55	100	0,30	10,92	460
2	35	50	55	100	0,16	5,52	233
3	0	0	35	100	0	0	0

Tabelle A49: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 3“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Median"

Szenario	Algorithmus				Einsparungen		
	Minimum		Maximum			Schlag	
	Winkel (°)	Anteil (%)	Winkel (°)	Anteil (%)	PS-Mittel (l ha^{-1})	€ ha^{-1}	€
1	32	0	50	100	0,73	26,97	636
2	32	50	50	100	0,35	13,02	307
3	0	0	32	100	0,13	4,93	116

Tabelle A50: Applikationsszenarien für Schlag „Nr. 3“ (Wörlitz, 2006) nach Ansatz "Halbe Spannweite"

Szenario	Algorithmus				Einsparungen		
	Minimum		Maximum			Schlag	
	Winkel (°)	Anteil (%)	Winkel (°)	Anteil (%)	PS-Mittel (l ha^{-1})	€ ha^{-1}	€
1	28	0	50	100	0,67	24,51	578
2	28	50	50	100	0,33	12,26	289
3	0	0	28	100	0,1	3,77	89

Bildverzeichnis (CD)

Bild A1: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (21.05.05) und Luftbild (11.07.03) (Reinstedt, Schlag „Schluft“) 101

Bild A2: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (24.06.05) und Luftbild (21.07.04) (Reinstedt, Schlag „Burgweg“) 102

Bild A3: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (21.05.05) und Luftbild (02.07.02) (Reinstedt, Schlag „Kleines Feld“) 103

Bild A4: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Rohrwiese" (Wittbrietzen, 21.05.07, Grünland) 104

Bild A5: Relative Winkelverteilung auf dem Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" (Wörlitz, Schlag Nr. 2 und Nr. 3, 14.06.06, W-Weizen) 105

Bild A6: Relative Winkelverteilung auf Schlag "Drauen" (Dawa, 2005) 106

Bild A7: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Drauen" (Dawa, 2005) 107

Bild A8: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Drauen" (Dawa, 2005) 108

Bild A12: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005) 113

Bild A13: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005) 114

Bild A14: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005) 115

Bild A21: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006) 122

Bild A22: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006) 123

Bild A23: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006) 124

Bild A24: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006) 125

Bild A25: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006) 126

Bild A26: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006) 127

Bild A27: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006) 128

Bild A28: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006) 129

Bild A29: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006) 130

Bild A30: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007) 131

Bild A31: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007) 132

Bild A32: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007) 133

Bild A39: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007) 140

Bild A40: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007) 141

Bild A41: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007) 142

Bild A42: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007) 143

Bild A43: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007) 144

Bild A44: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007) 145

Bild A45: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007) 146

Bild A46: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007) 147

Bild A47: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007) 148

Bild A48: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007) 149

Bild A49: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007) 150

Bild A50: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007) 151

Bild A57: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007) 158

Bild A58: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007) 159

Bild A59: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007) 160

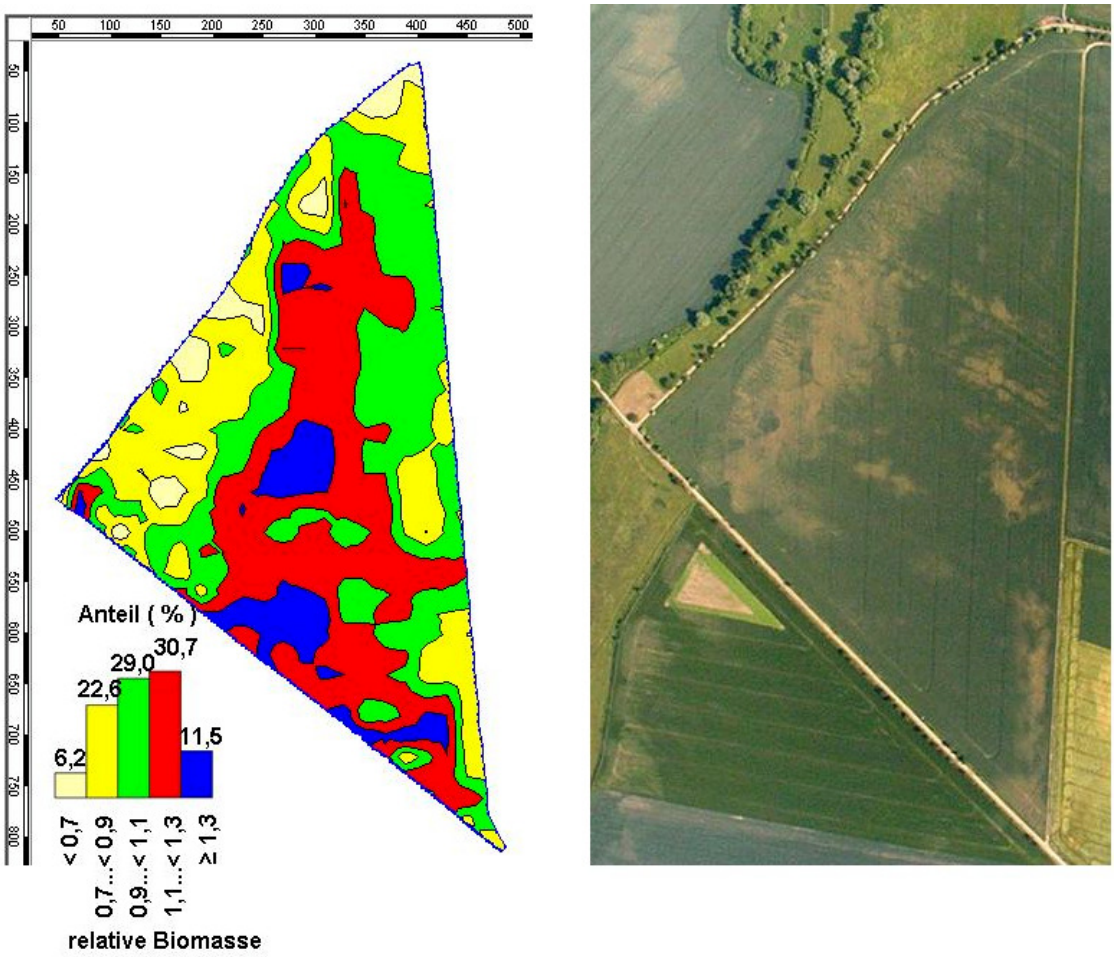


Bild A1: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (21.05.05) und Luftbild (11.07.03) (Reinstedt, Schlag „Schluft“)

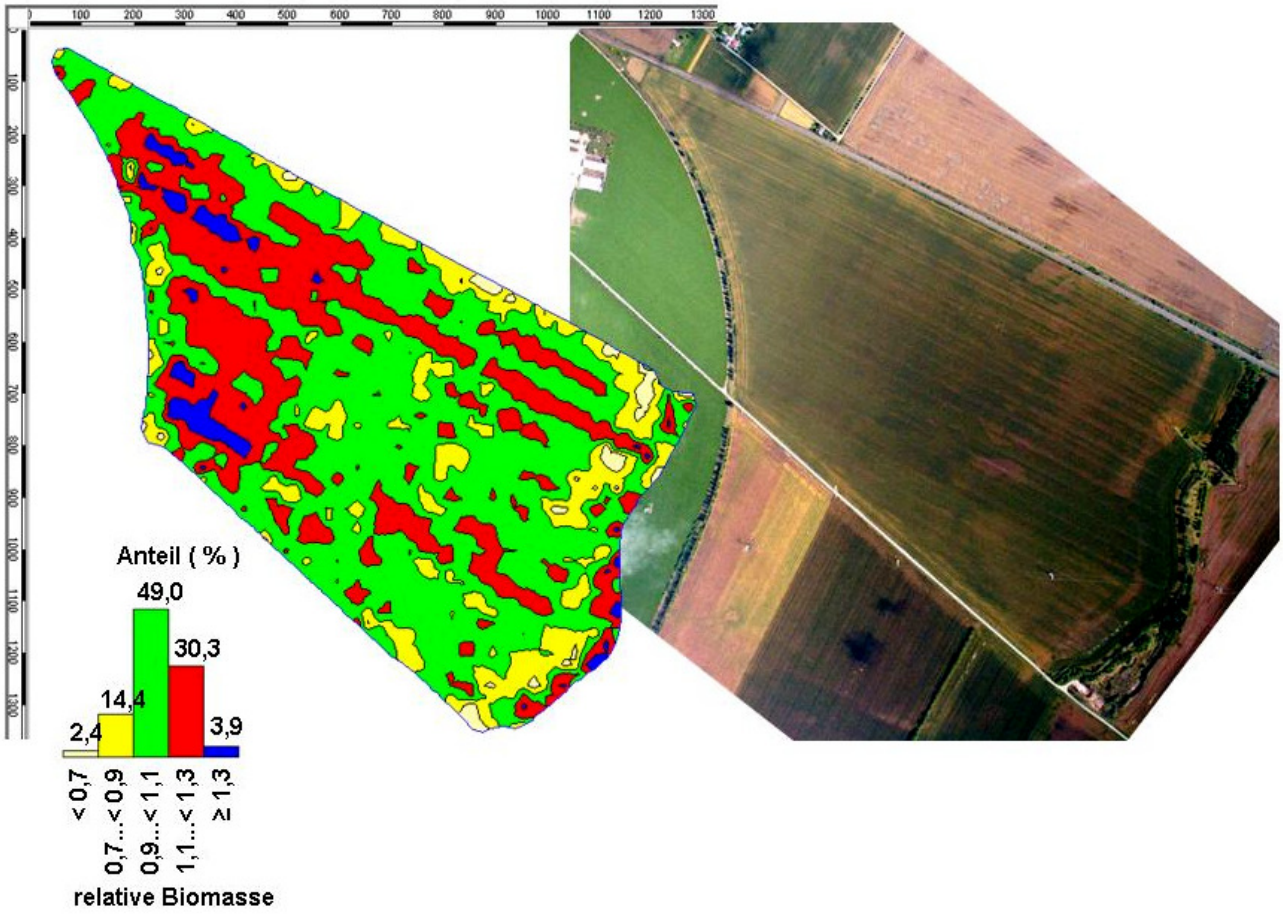


Bild A2: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (24.06.05) und Luftbild (21.07.04) (Reinstedt, Schlag „Burgweg“)

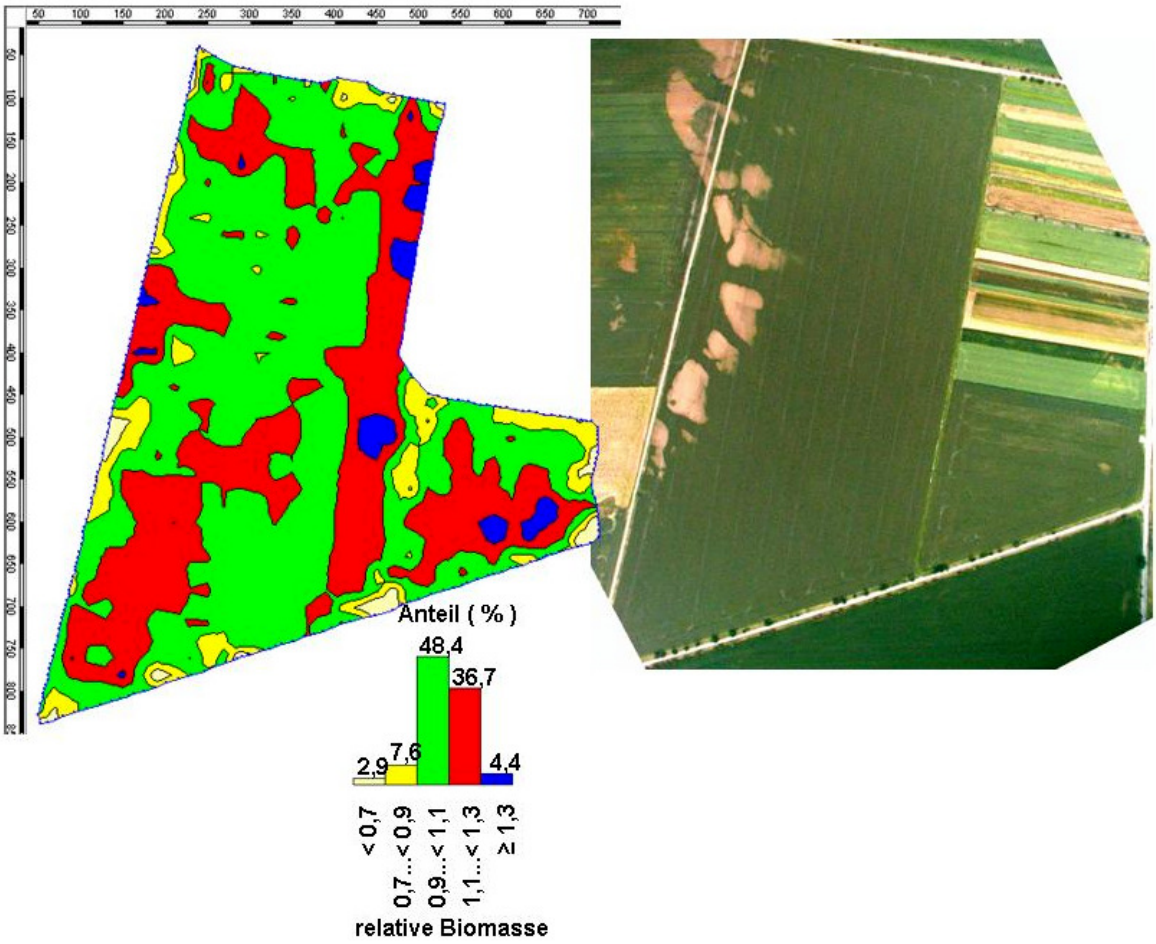


Bild A3: Interpolierte Pflanzenmassekarte nach Messung mit Crop-Meter (21.05.05) und Luftbild (02.07.02) (Reinstedt, Schlag „Kleines Feld“)

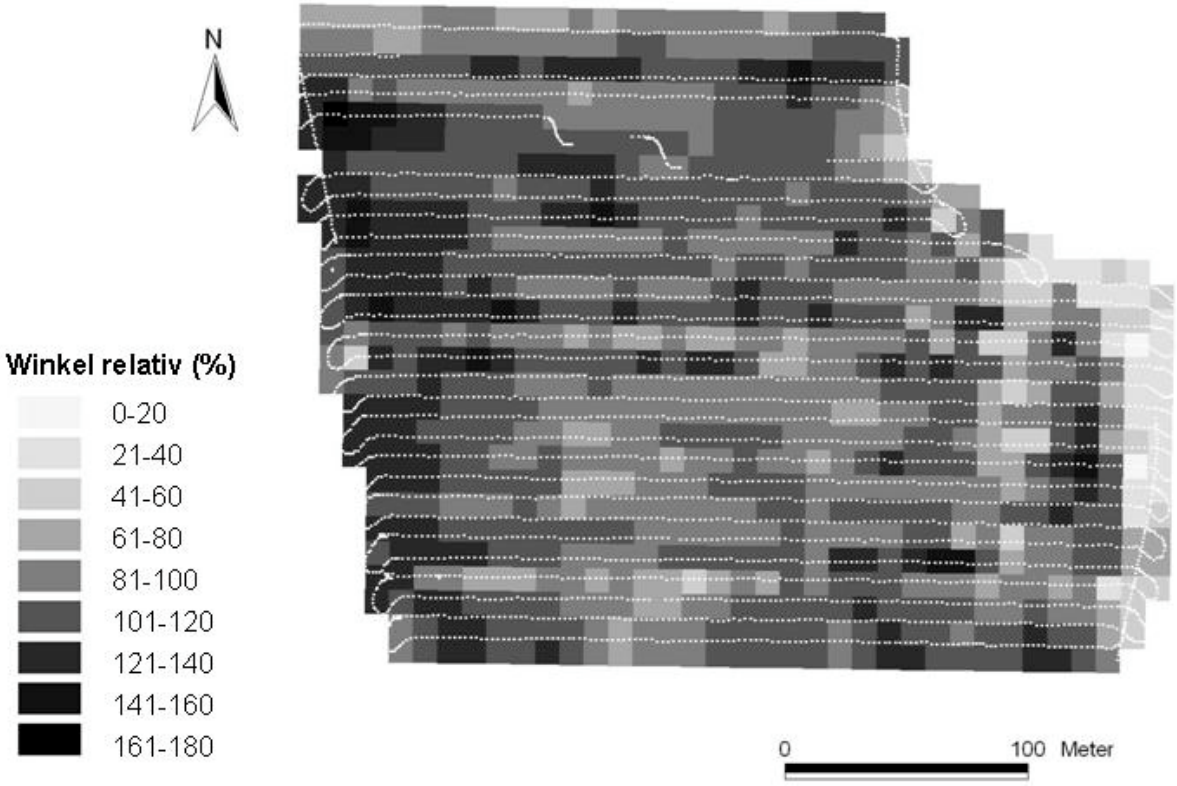


Bild A4: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Rohrwiese" (Wittbrietzen, 21.05.07, Grünland)

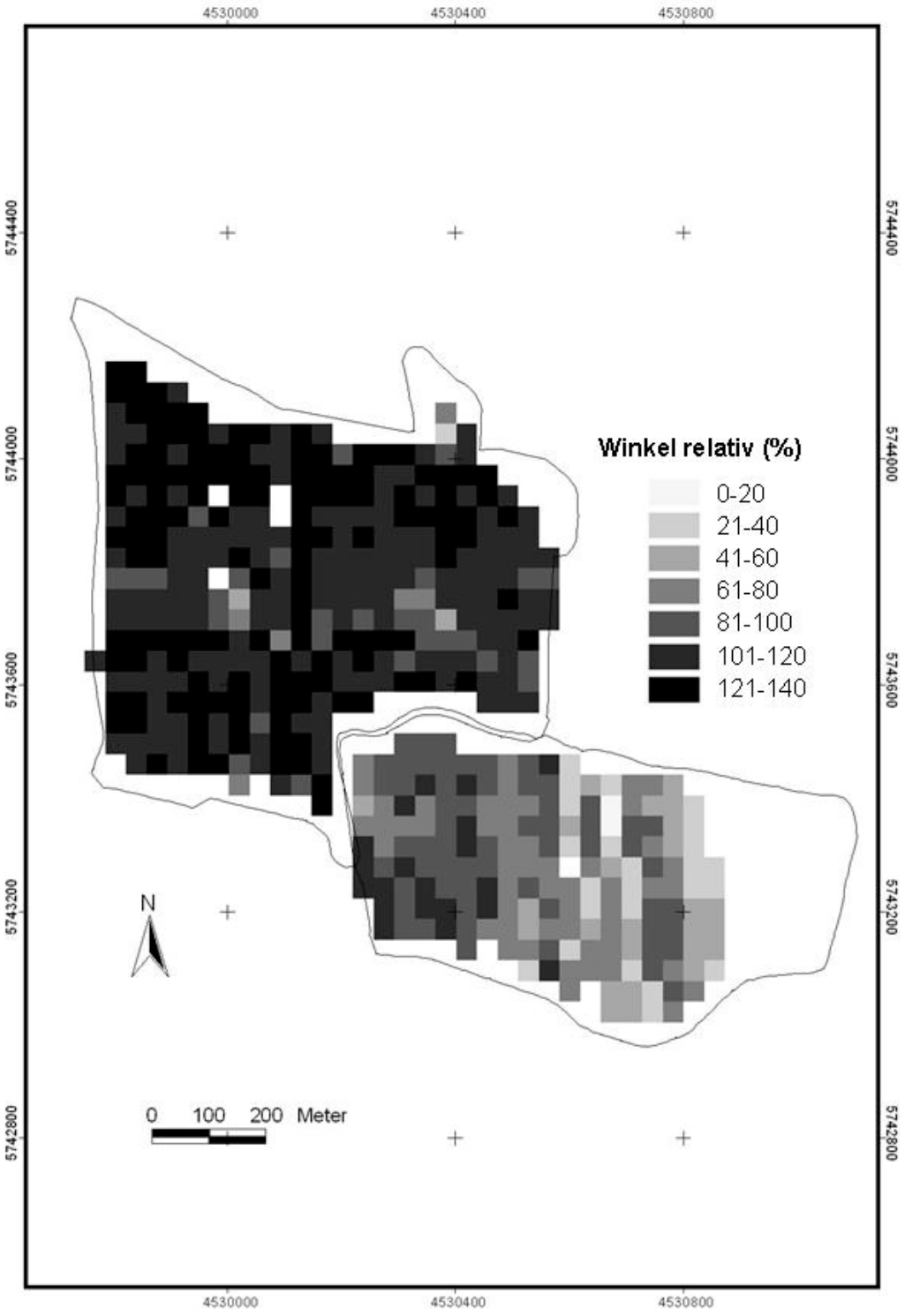


Bild A5: Relative Winkelverteilung auf dem Schlagkomplex "Horstdorfer Trift" (Wörlitz, Schlag Nr. 2 und Nr. 3, 14.06.06, W-Weizen)

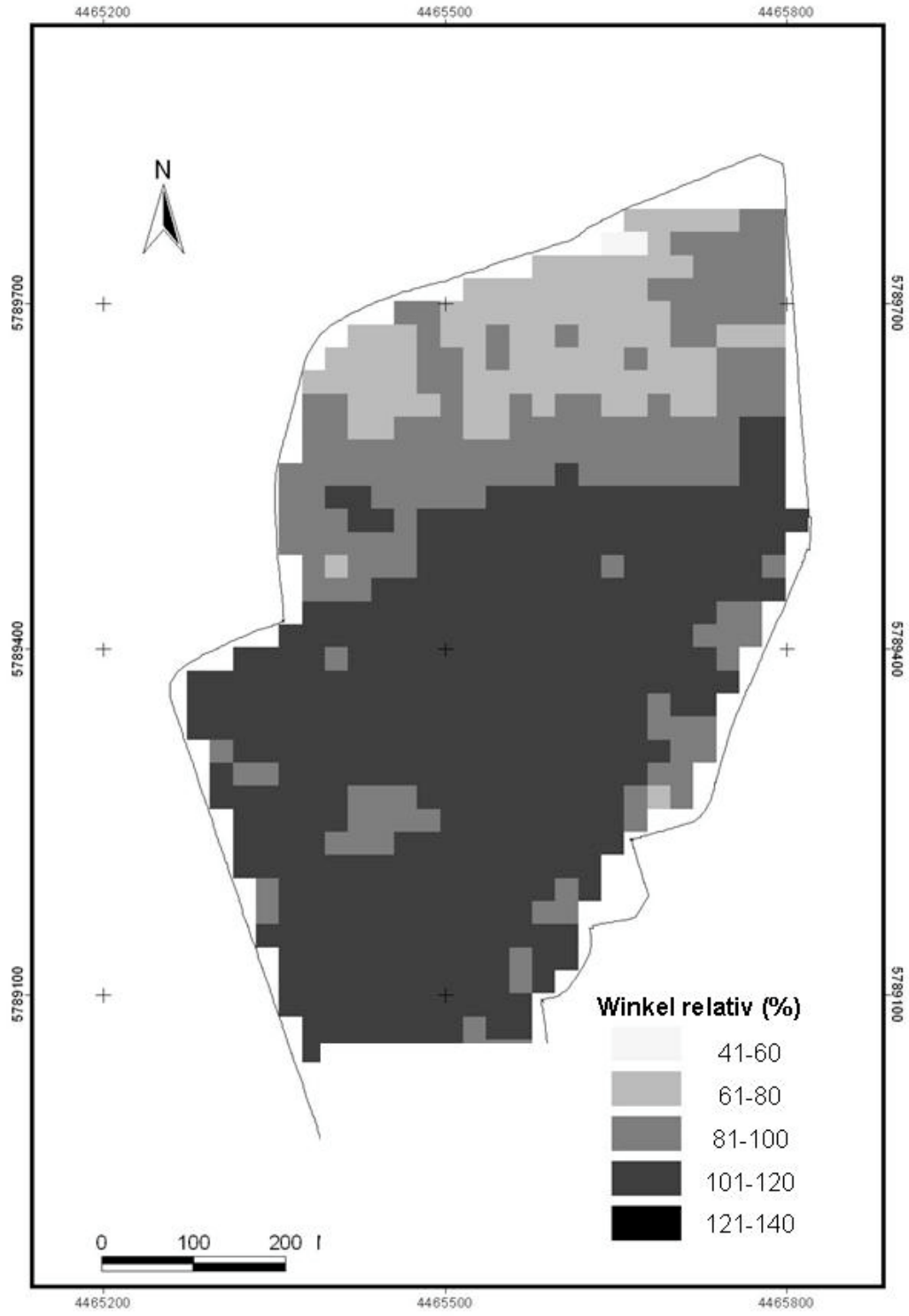


Bild A6: Relative Winkelverteilung auf Schlag "Drauen" (Dawa, 2005)

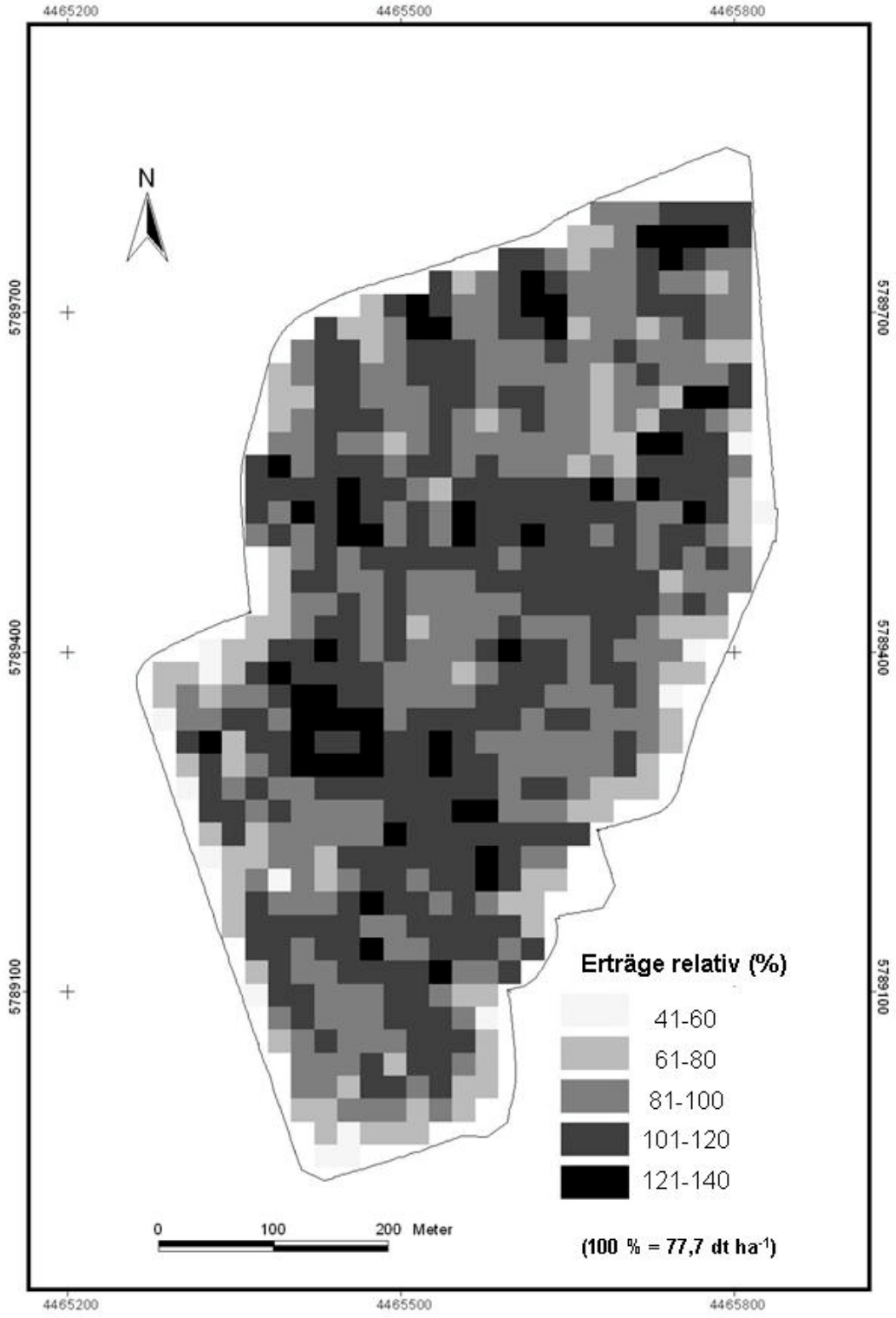


Bild A7: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Drauen" (Dawa, 2005)

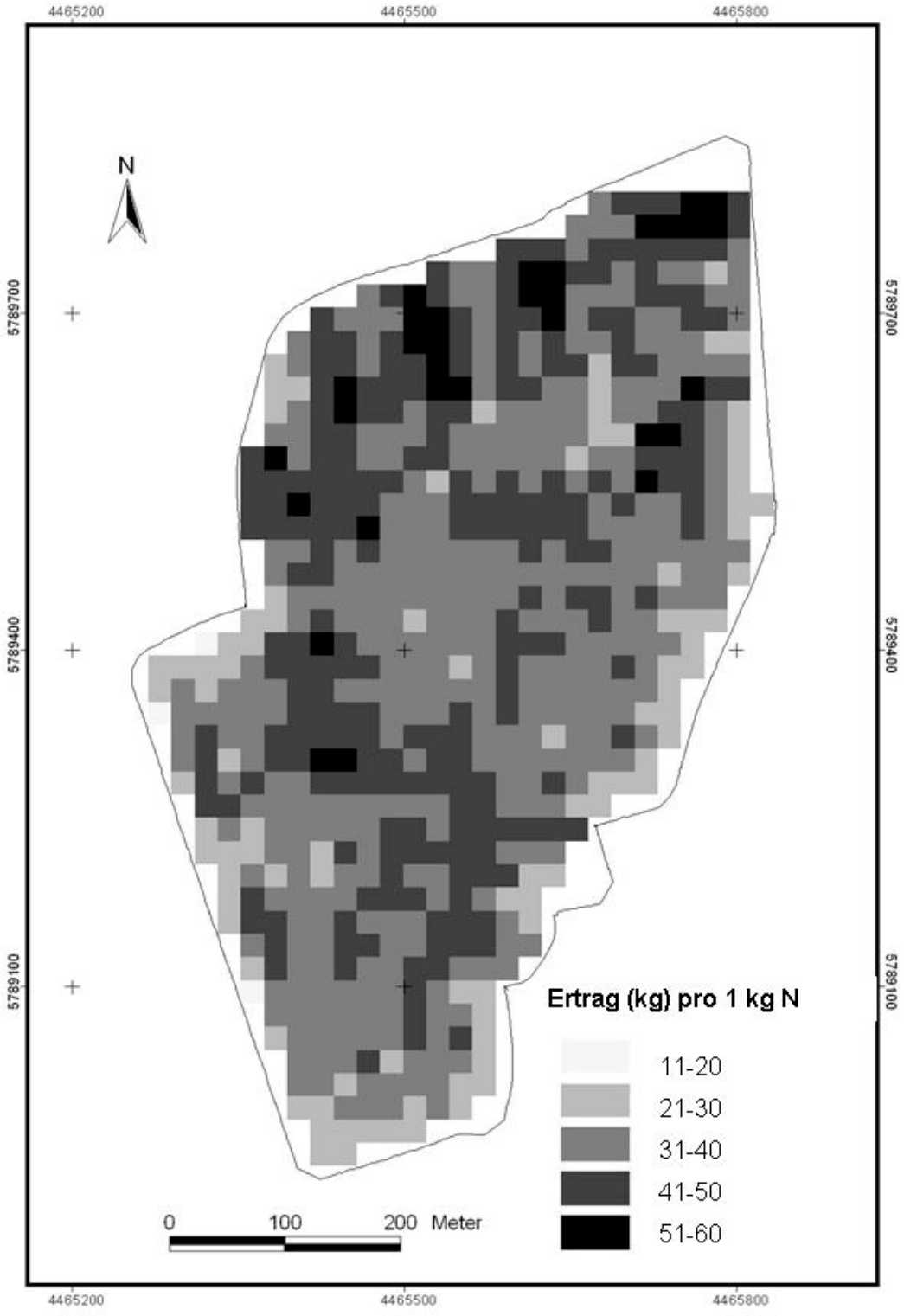


Bild A8: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Drauen" (Dawa, 2005)

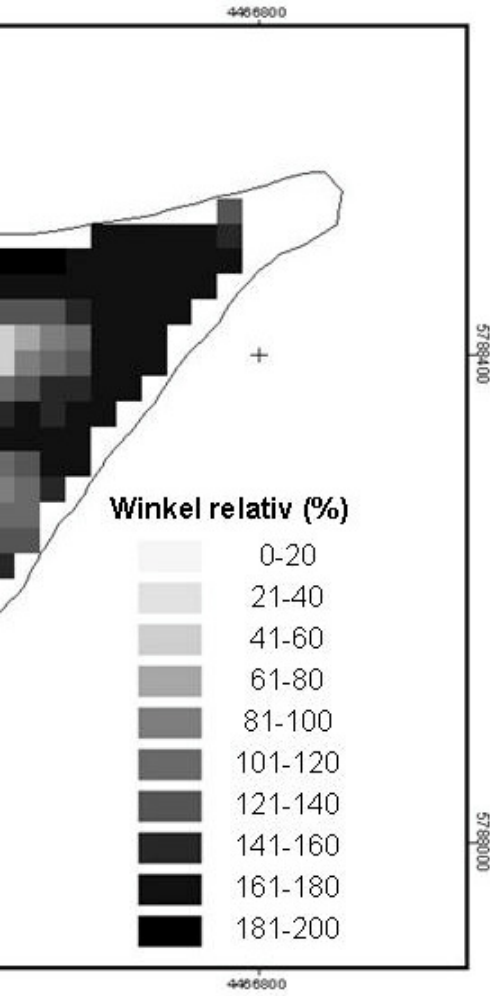


Bild A9: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Klein Ammensleber Weg" (Dawa, 2005)

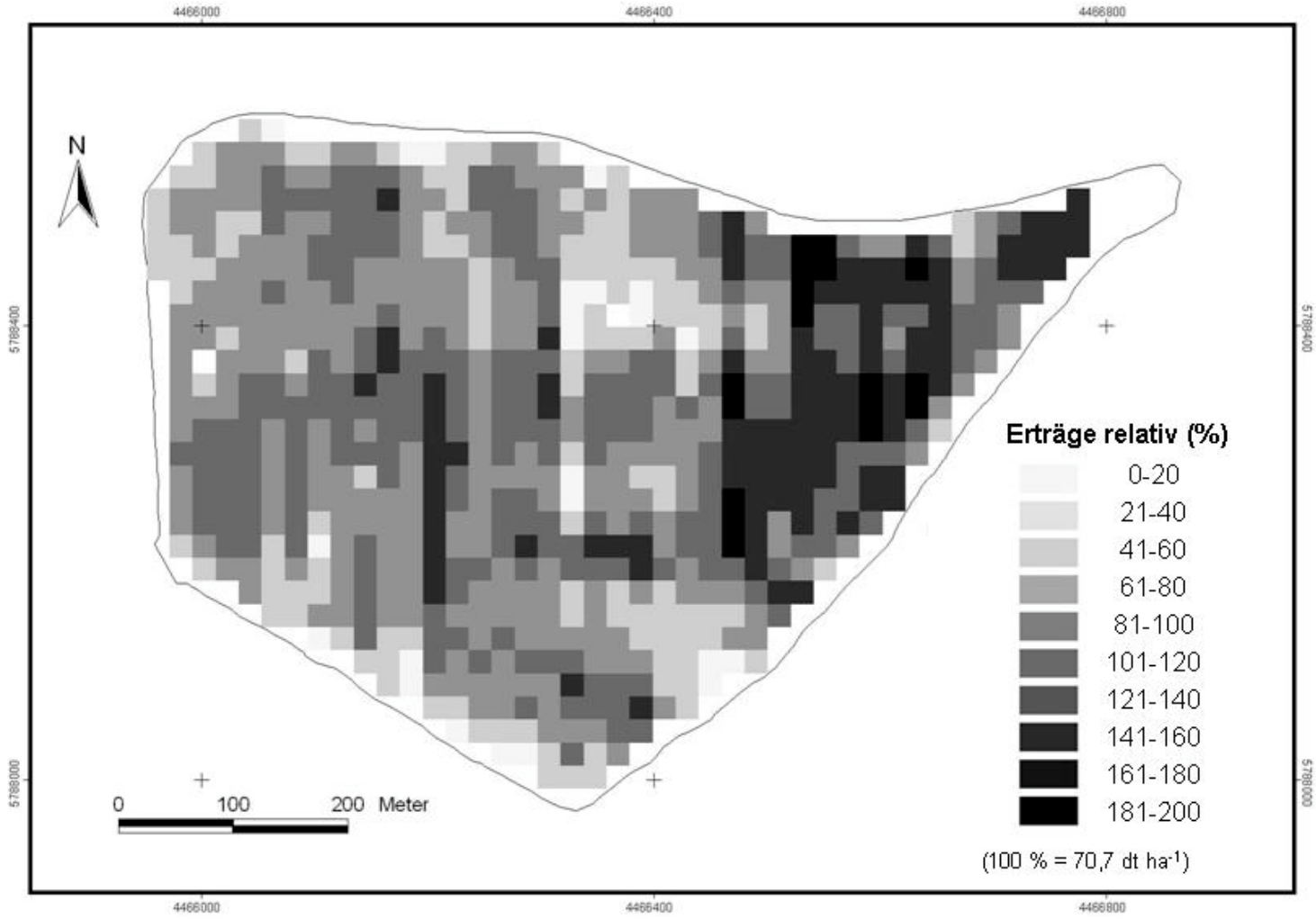


Bild A10: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Klein Ammensleber Weg" (Dawa, 2005)

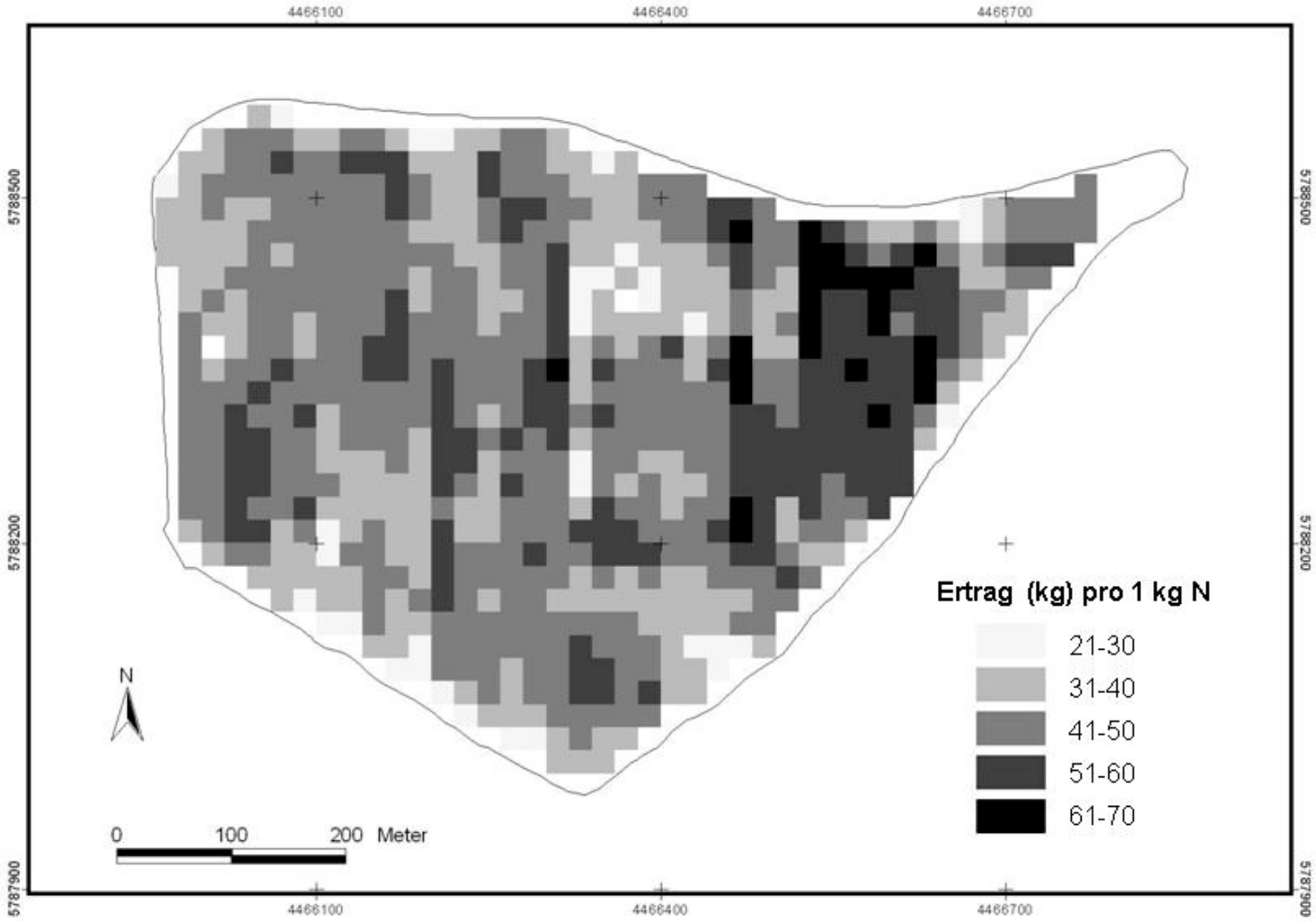


Bild A11: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Klein Ammensleber Weg" (Dawa, 2005)

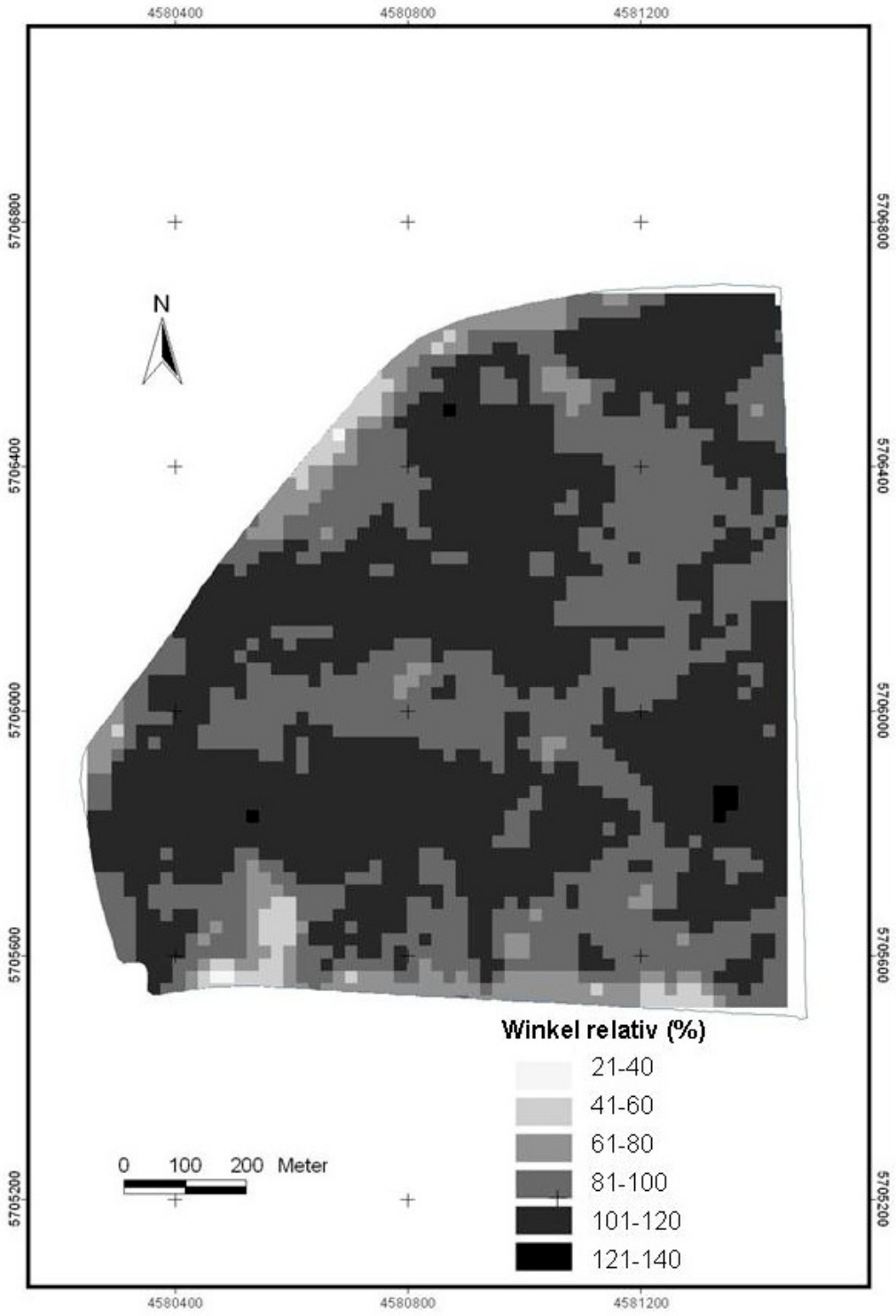


Bild A12: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005)

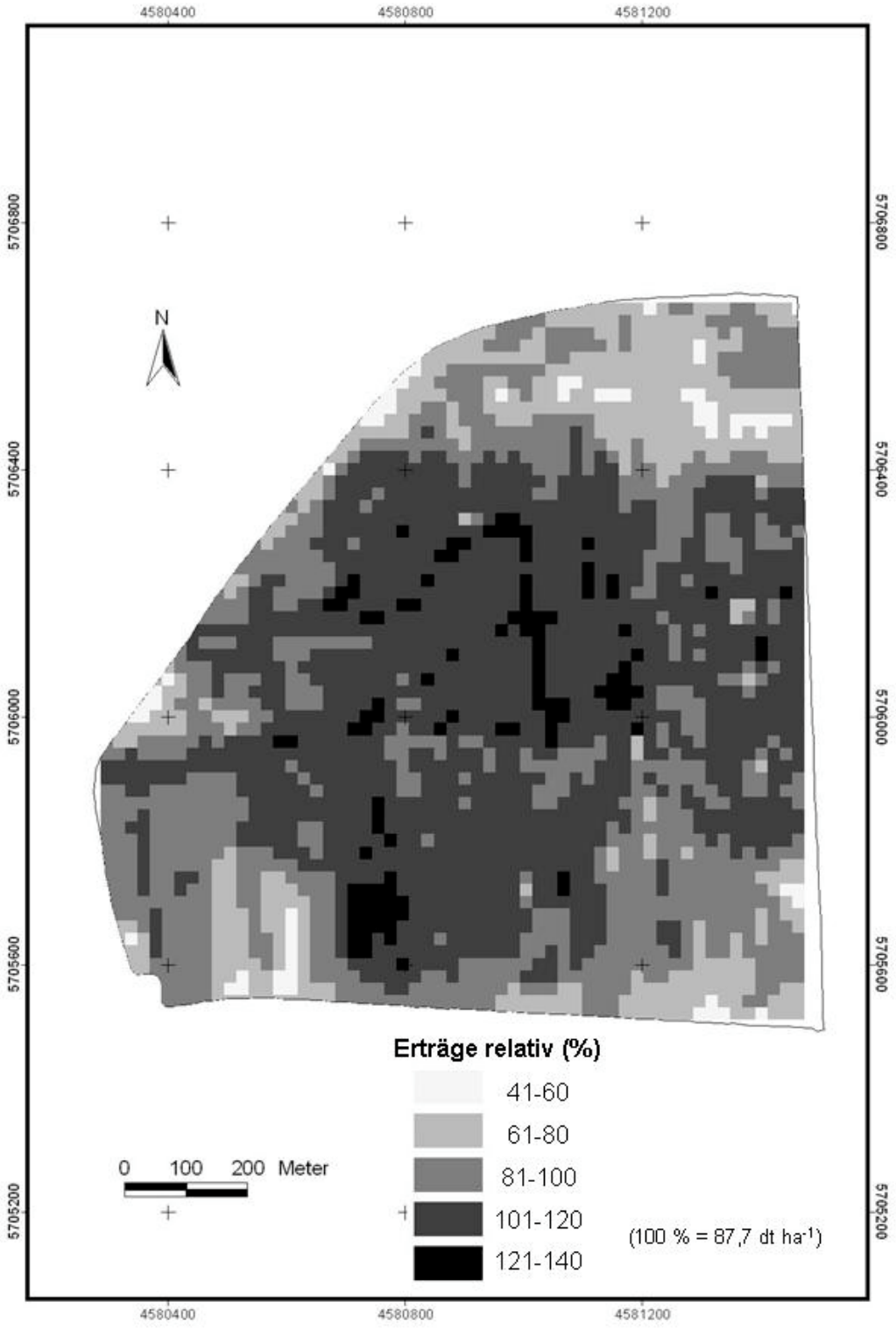


Bild A13: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005)

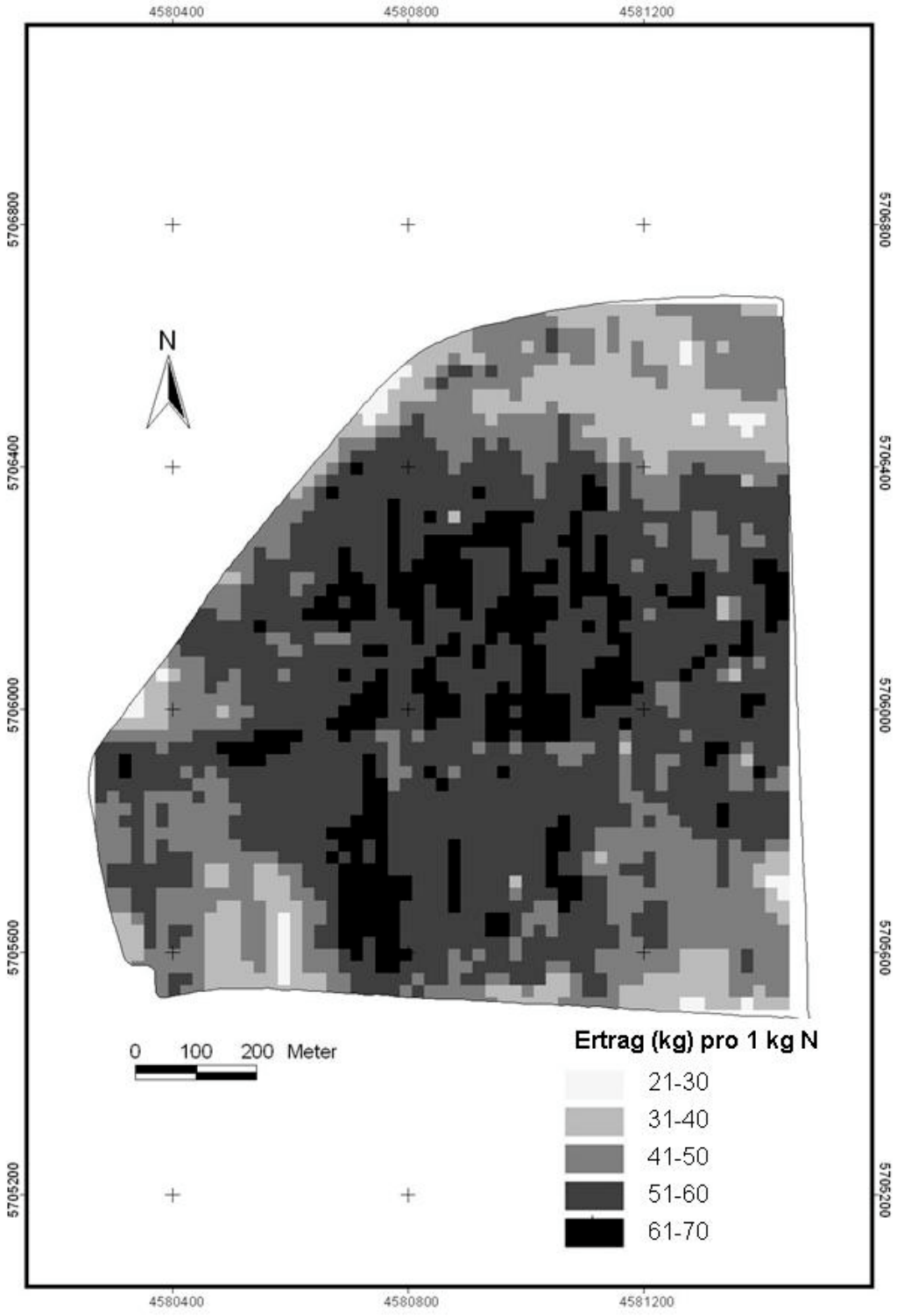


Bild A14: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2005)

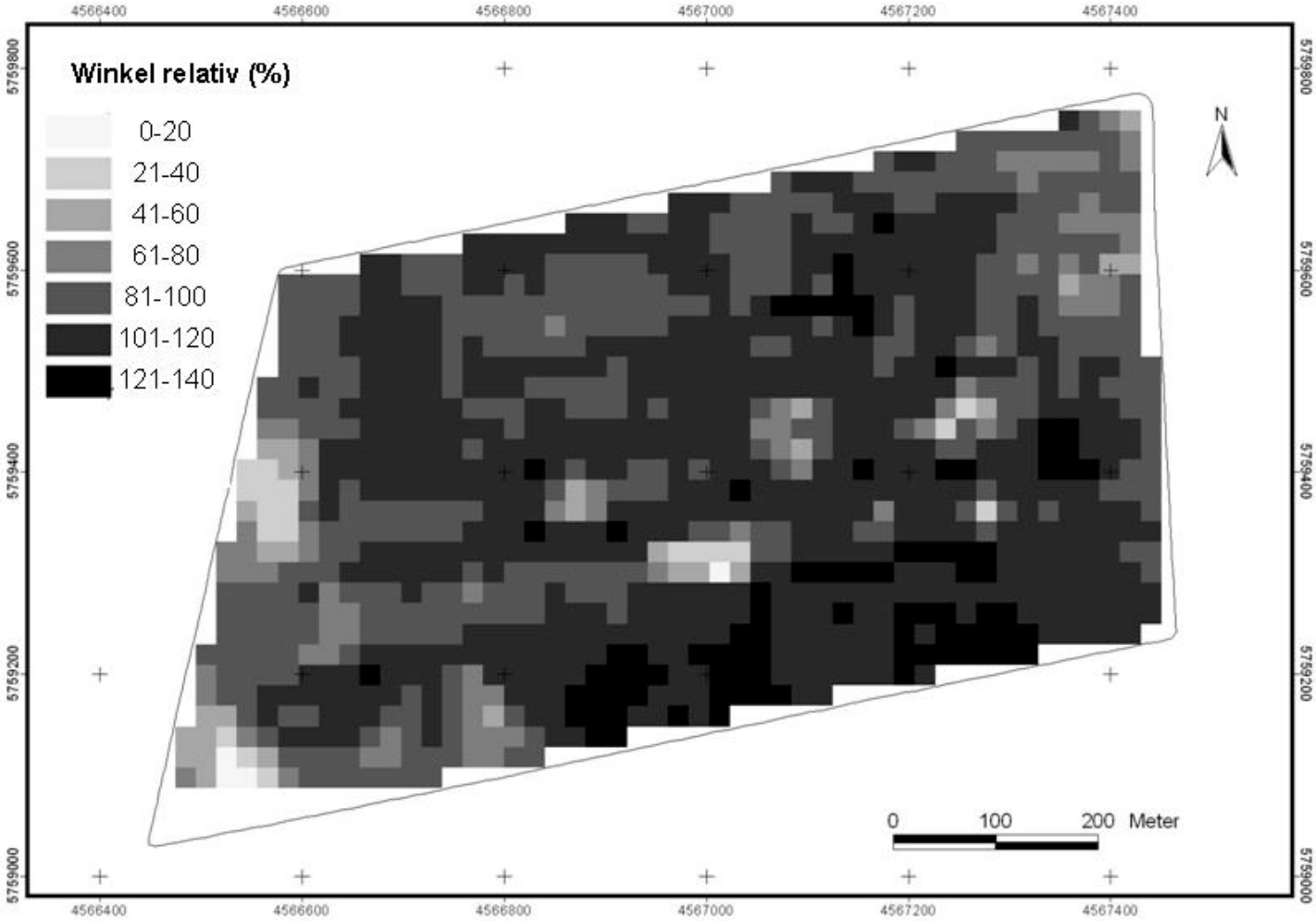


Bild A15: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Bahnhof" (Niedergörsdorf, 2006)

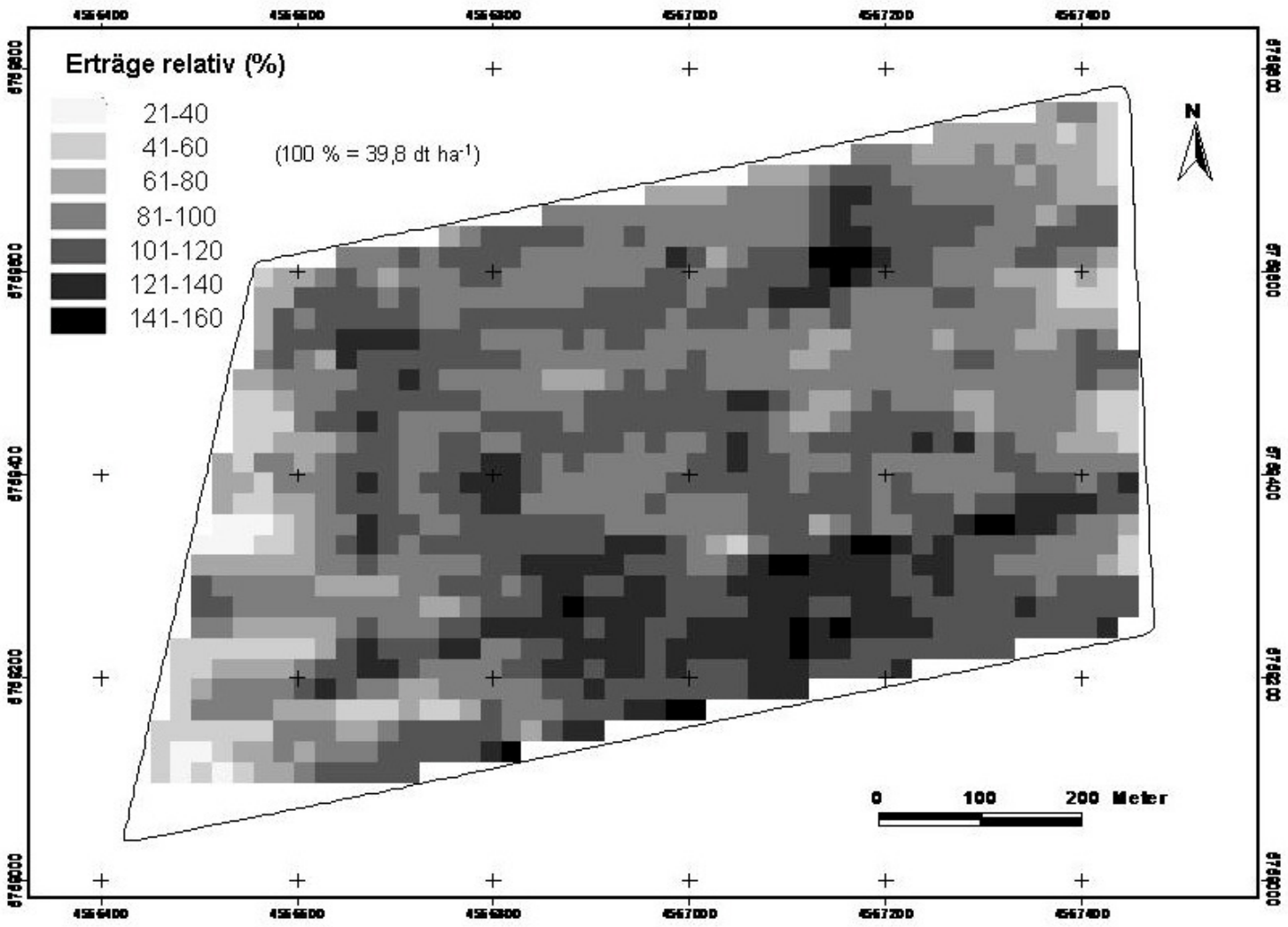


Bild A16: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Bahnhof" (Niedergörsdorf, 2006)

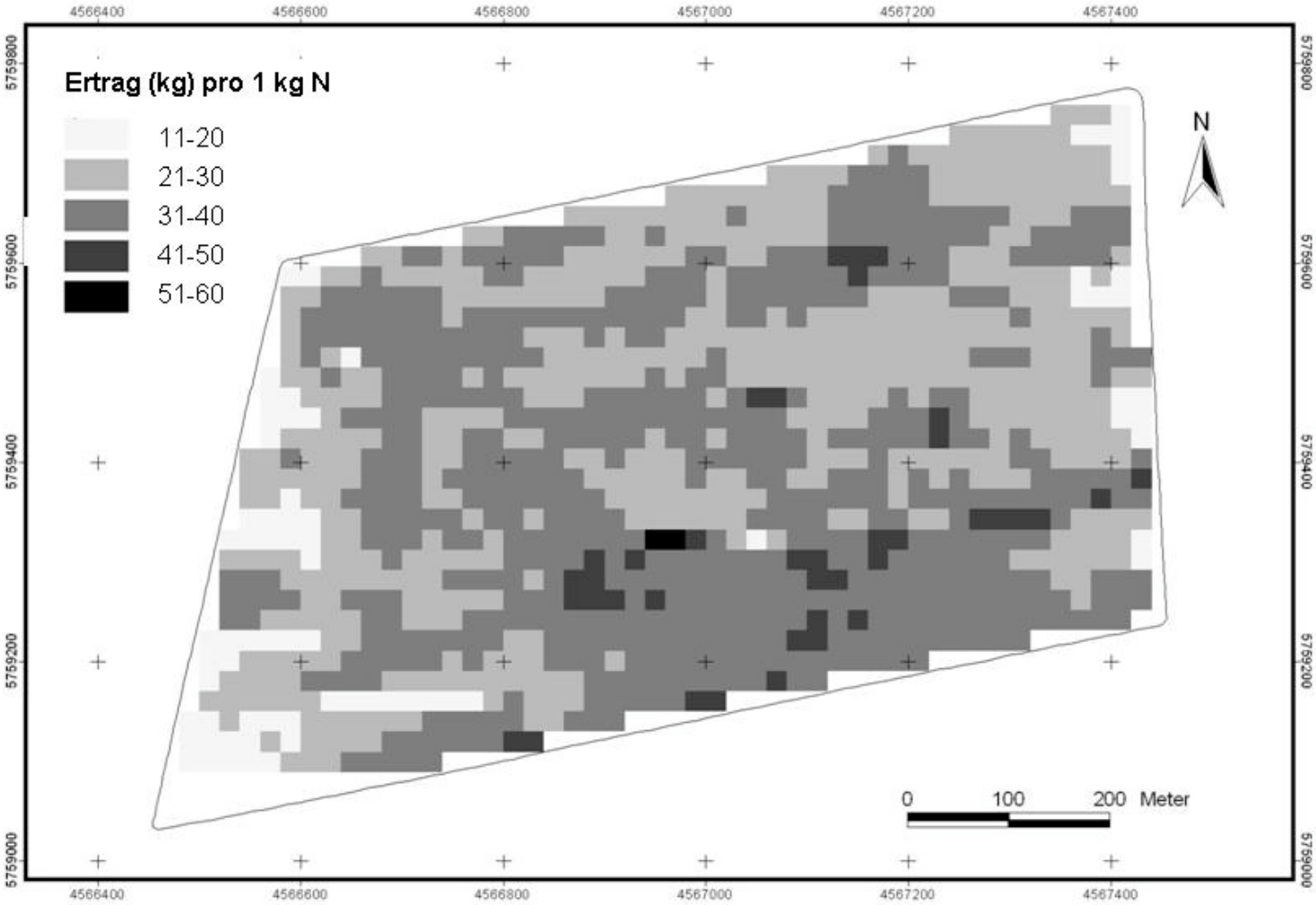


Bild A17: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Bahnhof" (Niedergörsdorf, 2006)

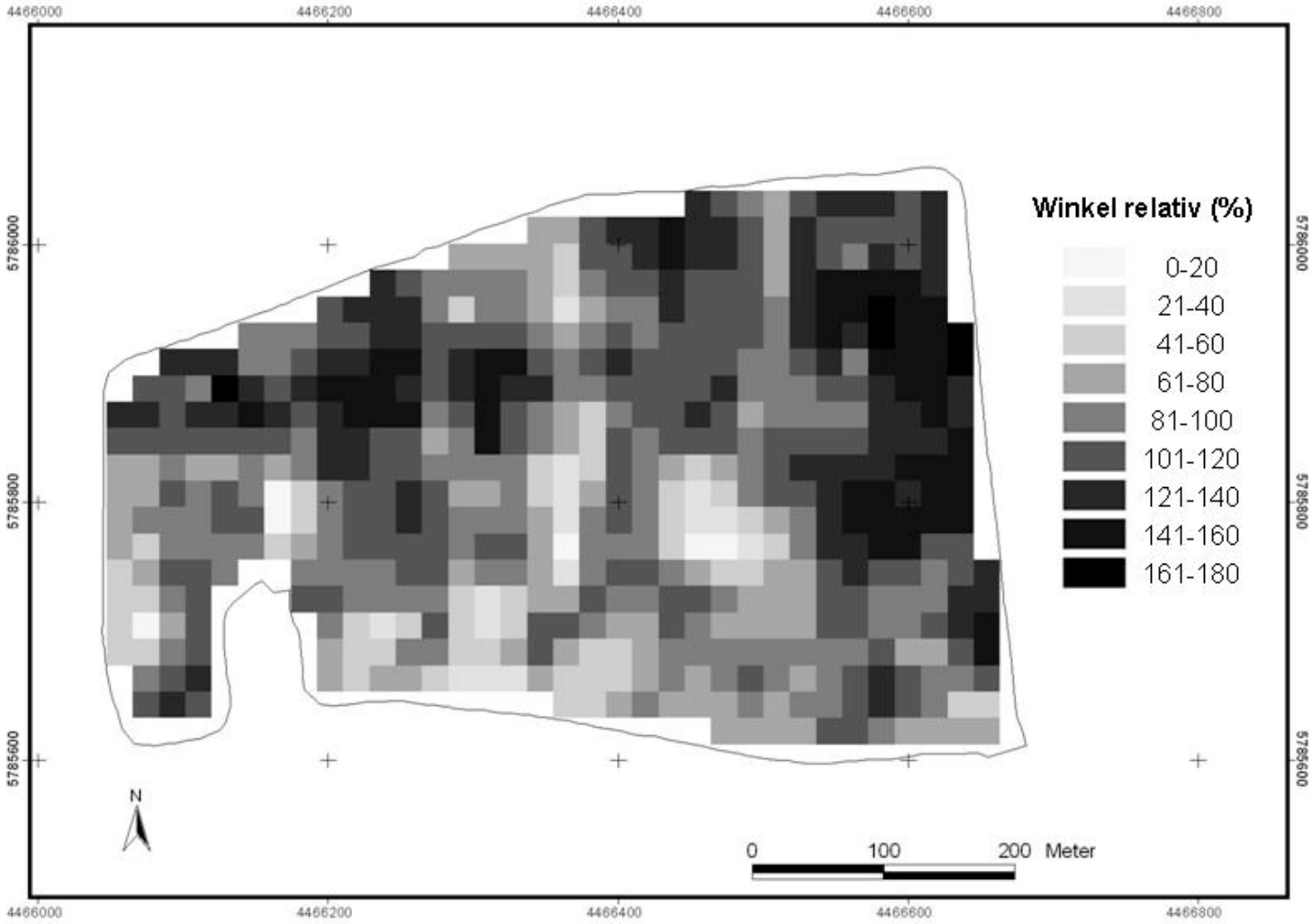


Bild A18: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Wasserstelle" (Dawa, 2006)

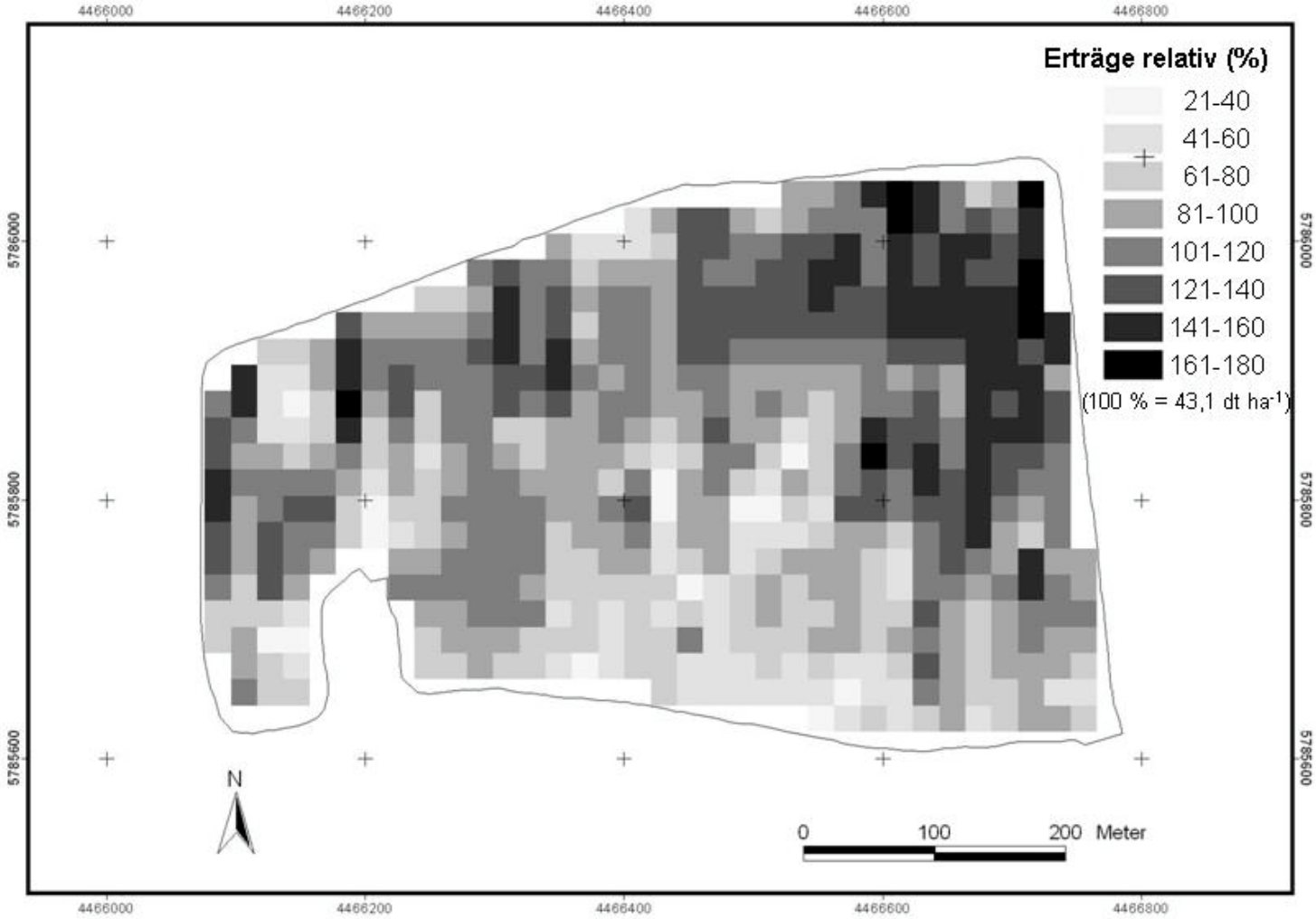


Bild A19: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Wasserstelle" (Dawa, 2006)

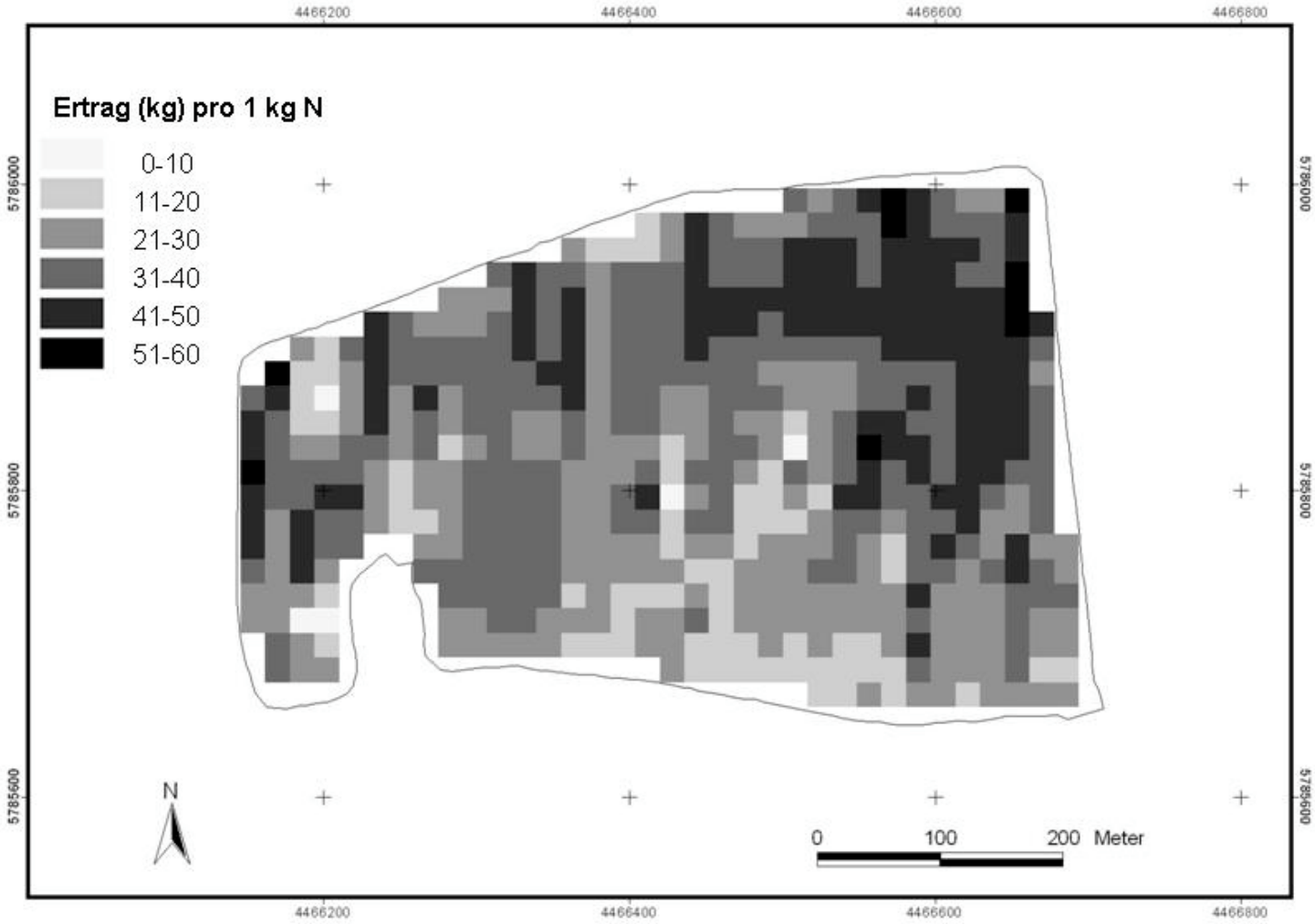


Bild A20: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Wasserstelle" (Dawa, 2006)

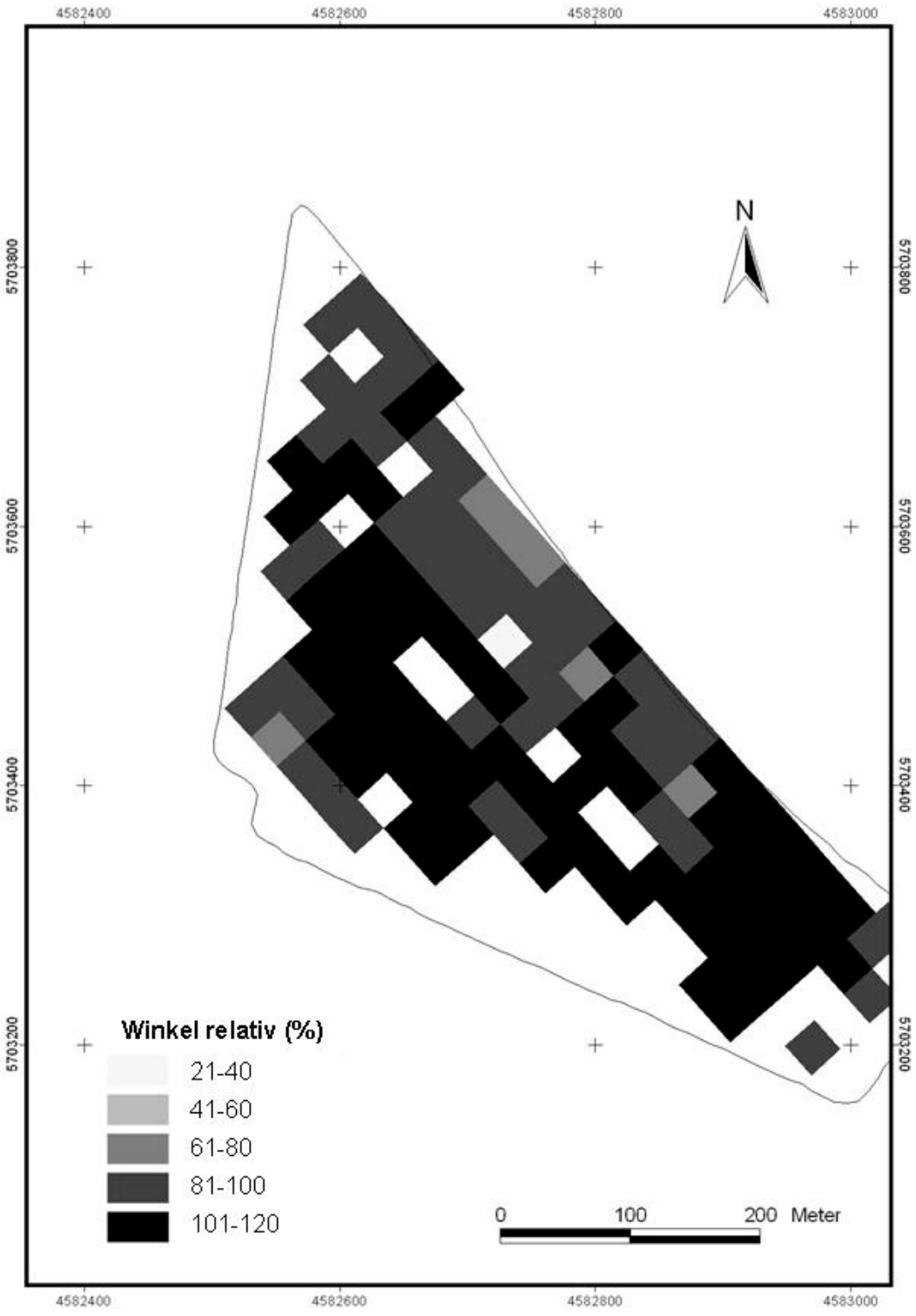


Bild A21: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006)

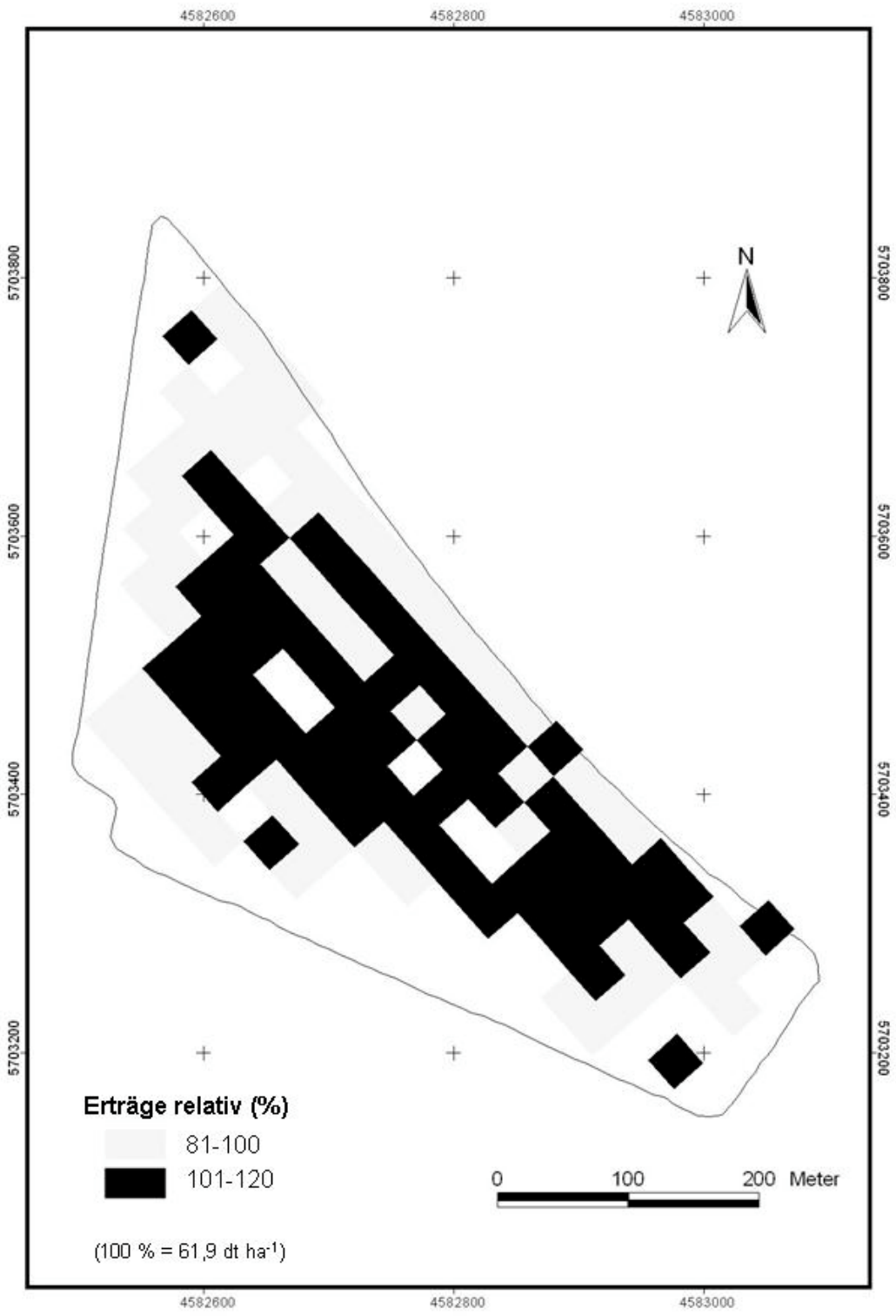


Bild A22: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006)

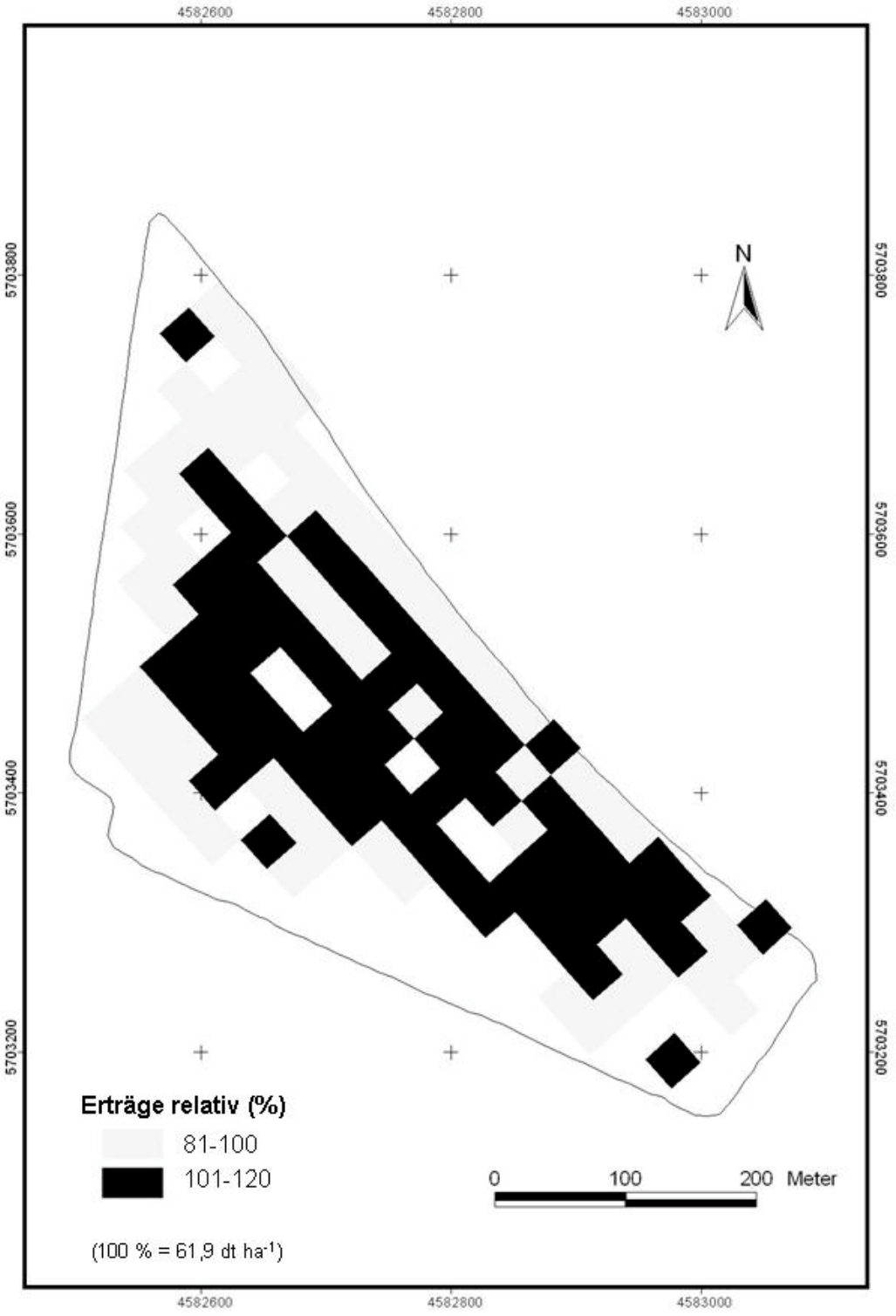


Bild A23: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Brauhaus" (Staritz, 2006)

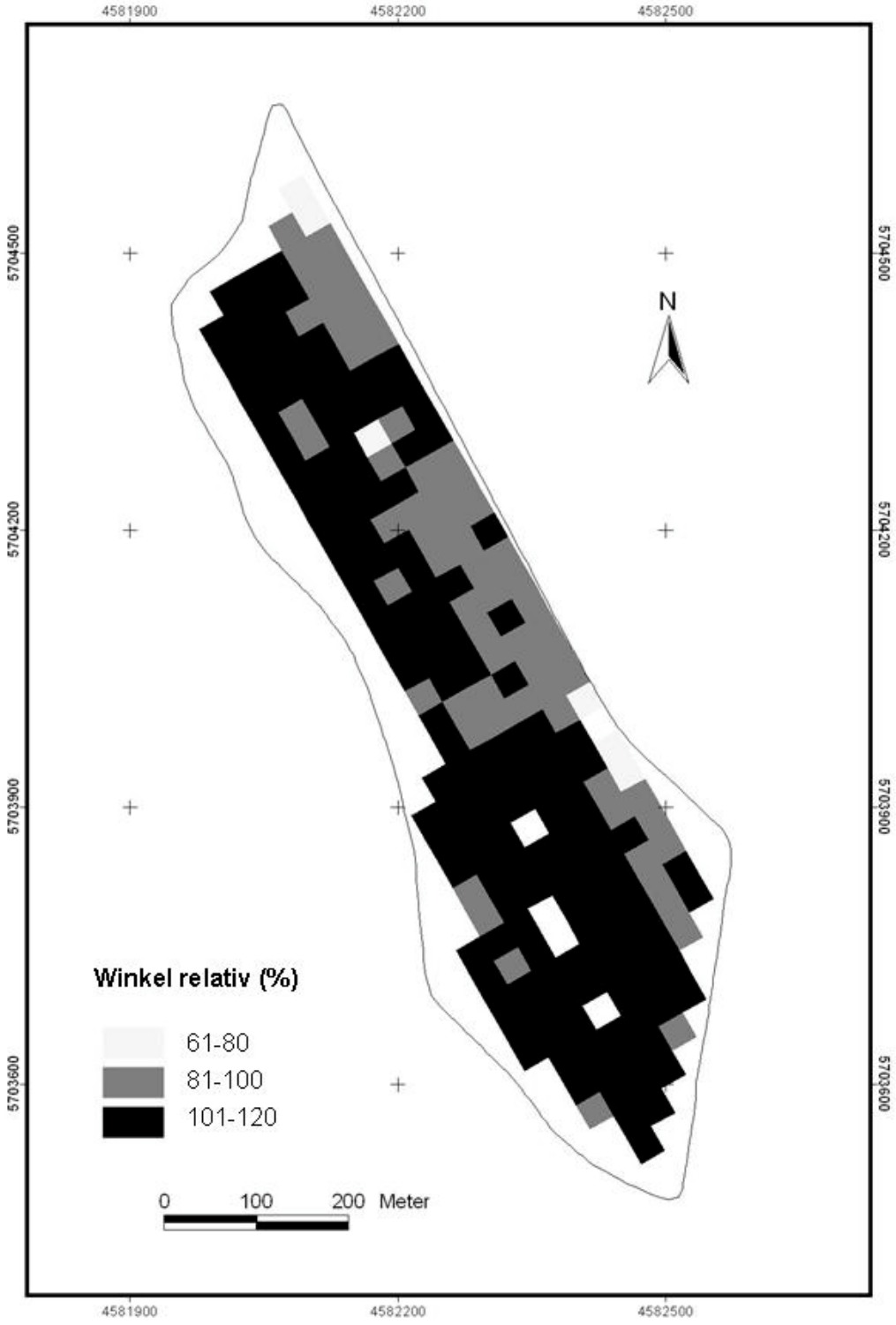


Bild A24: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006)

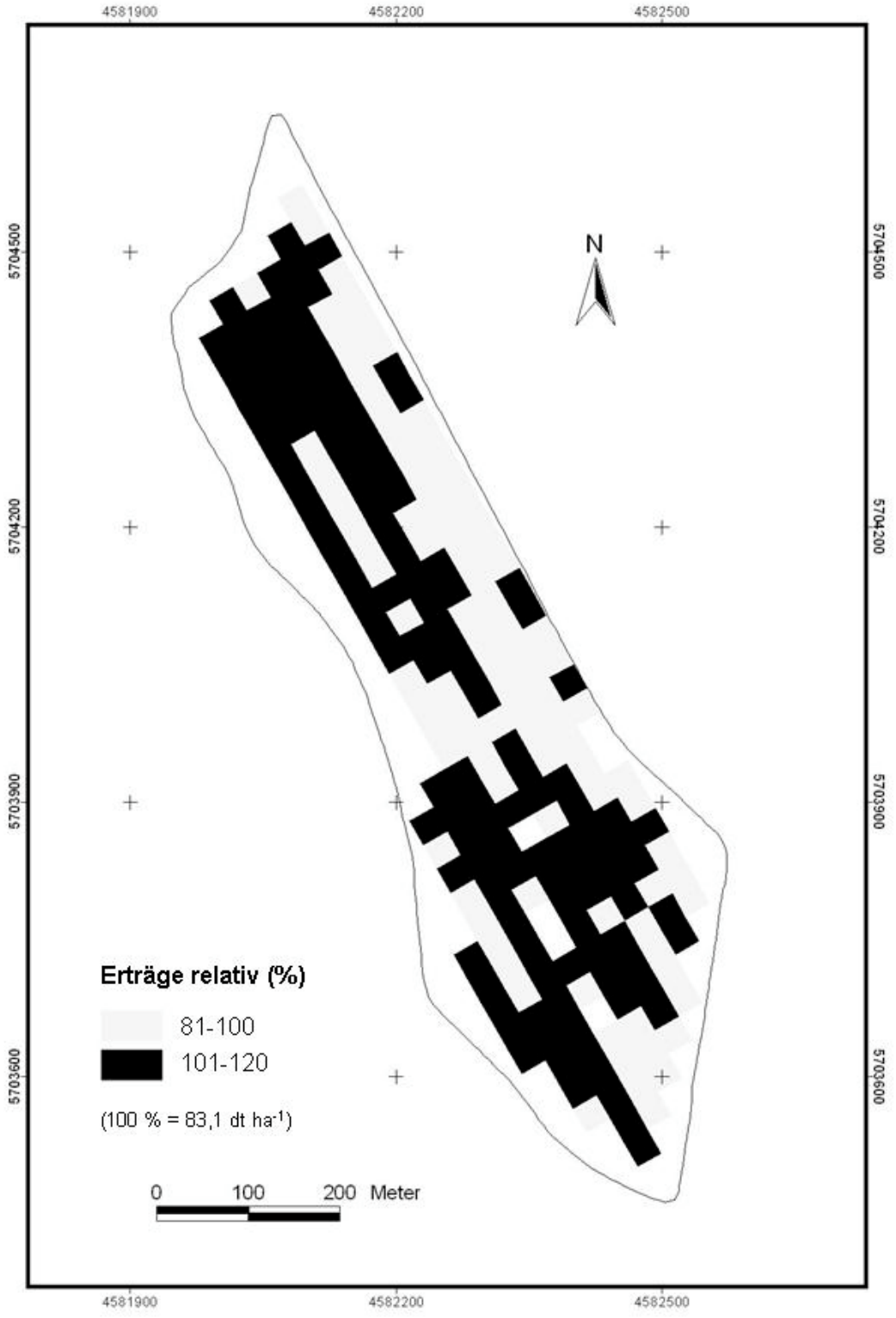


Bild A25: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006)

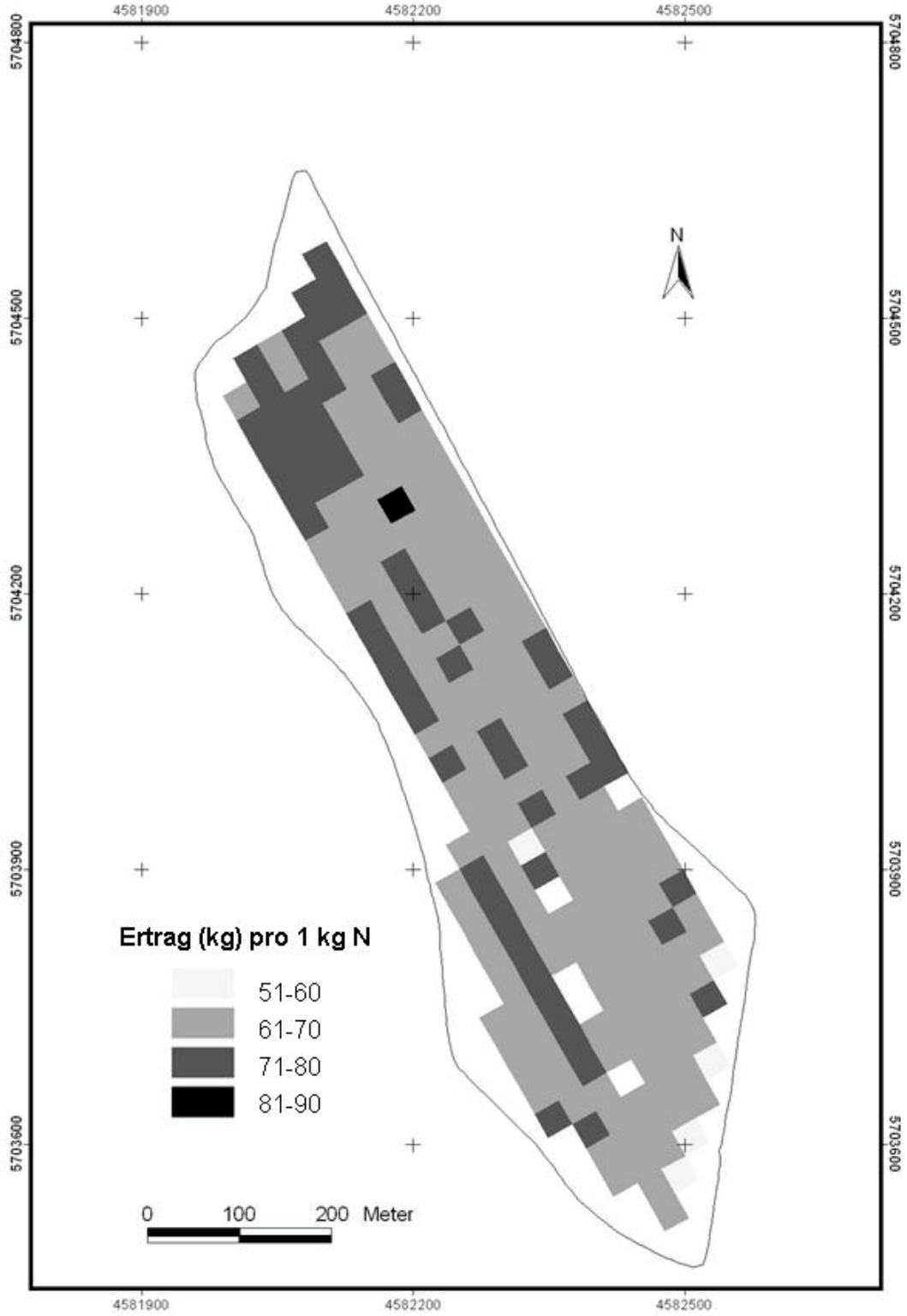


Bild A26: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Altes Schiff" (Staritz, 2006)

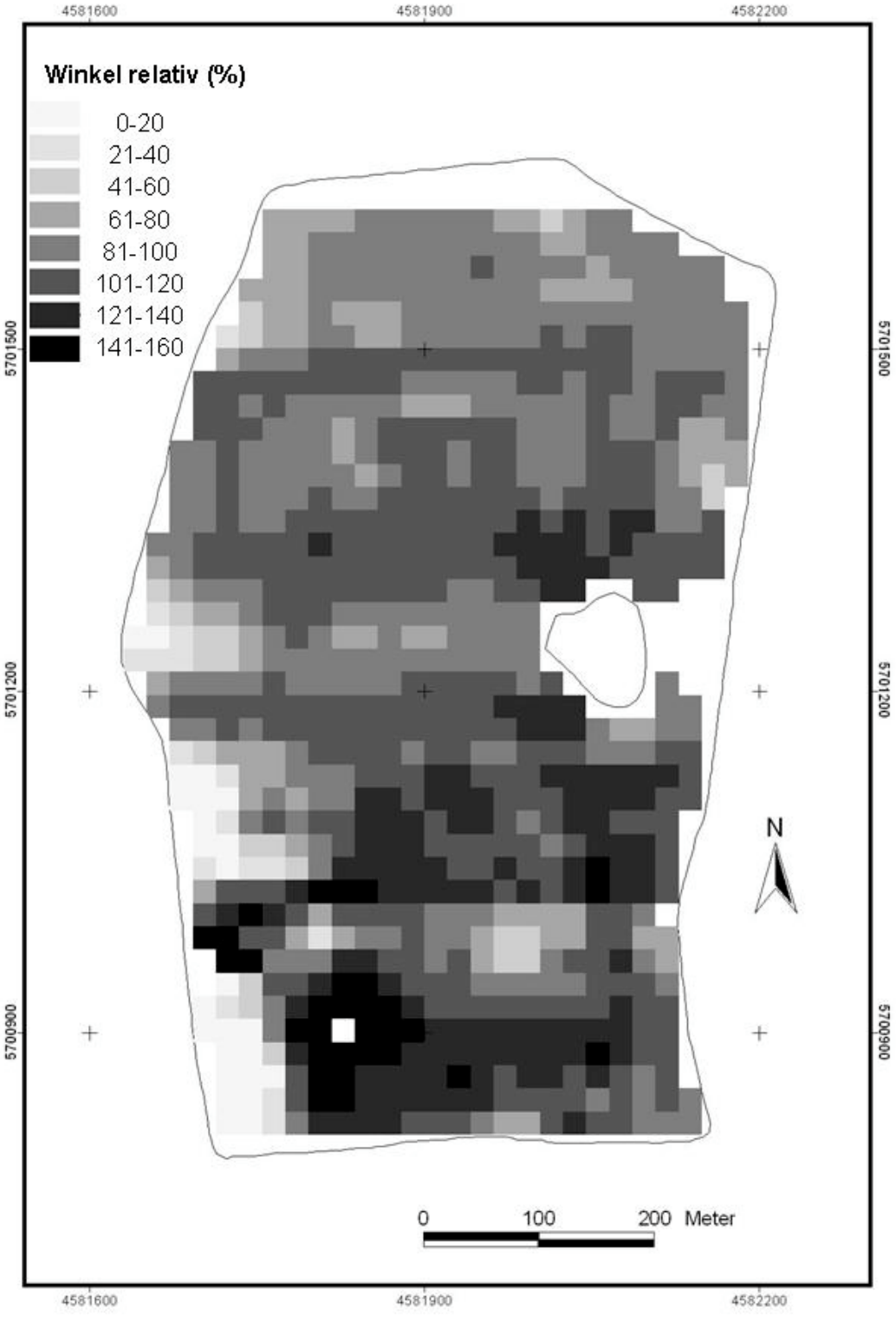


Bild A27: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006)

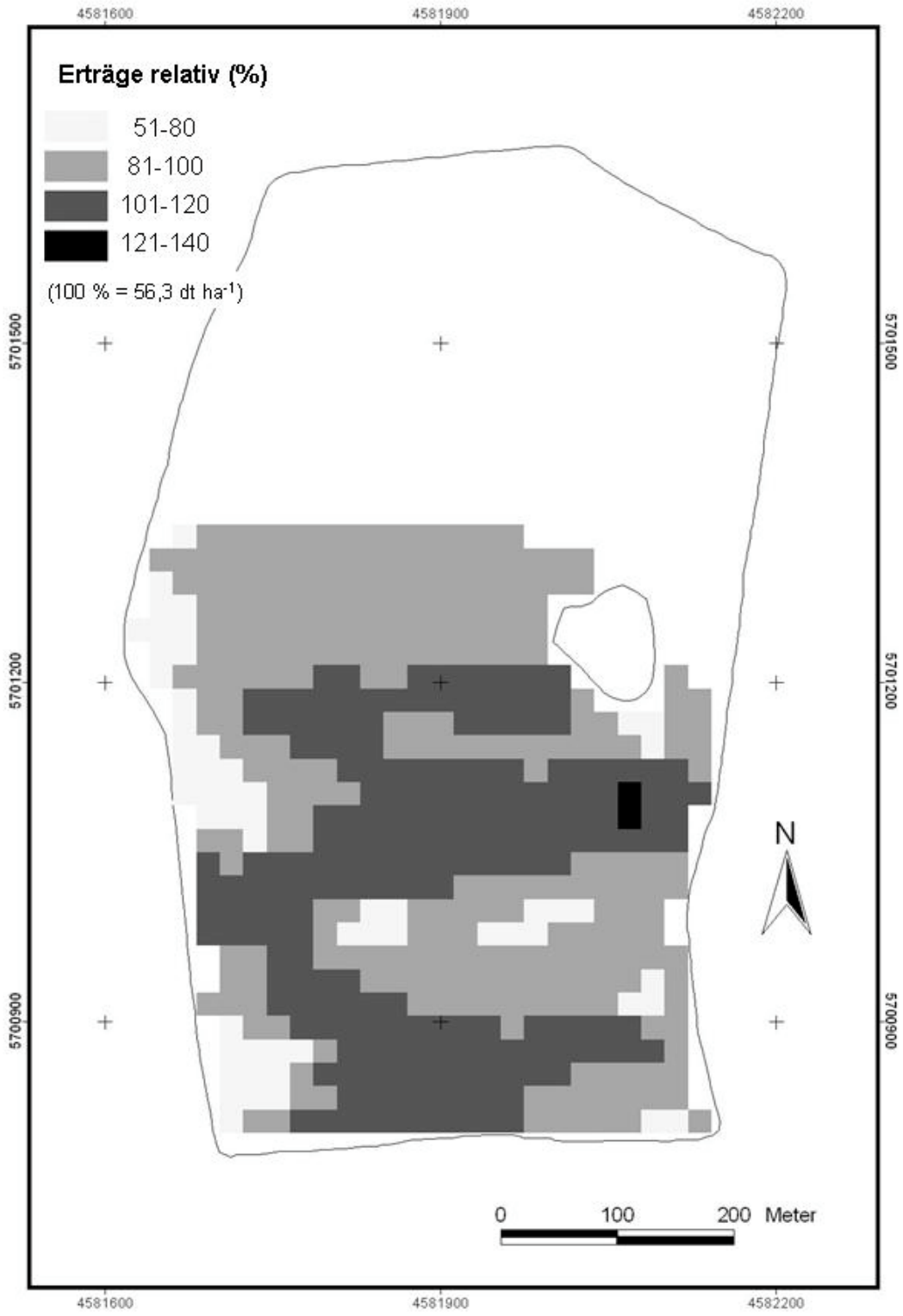


Bild A28: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006)

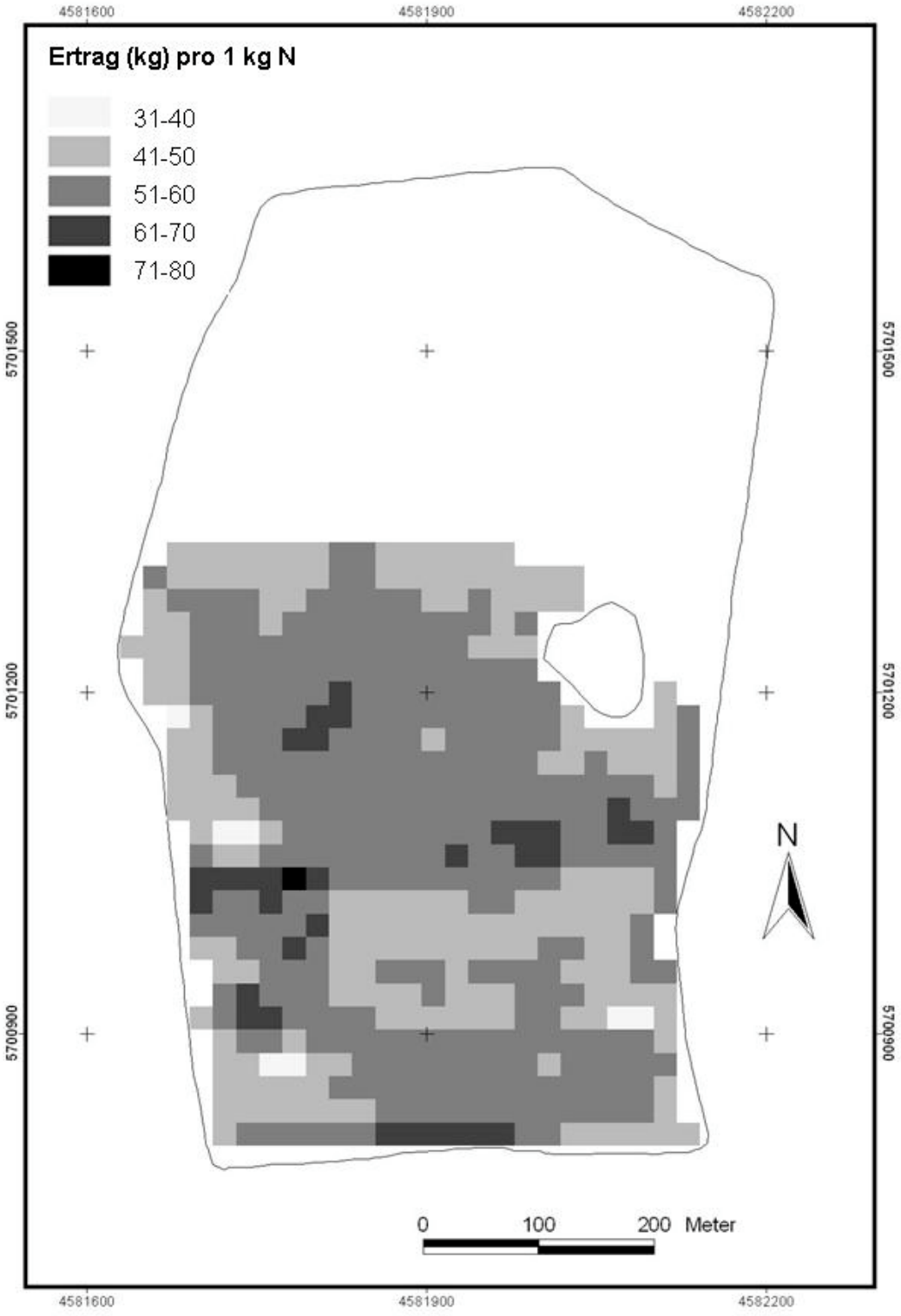


Bild A29: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Dammloch" (Staritz, 2006)

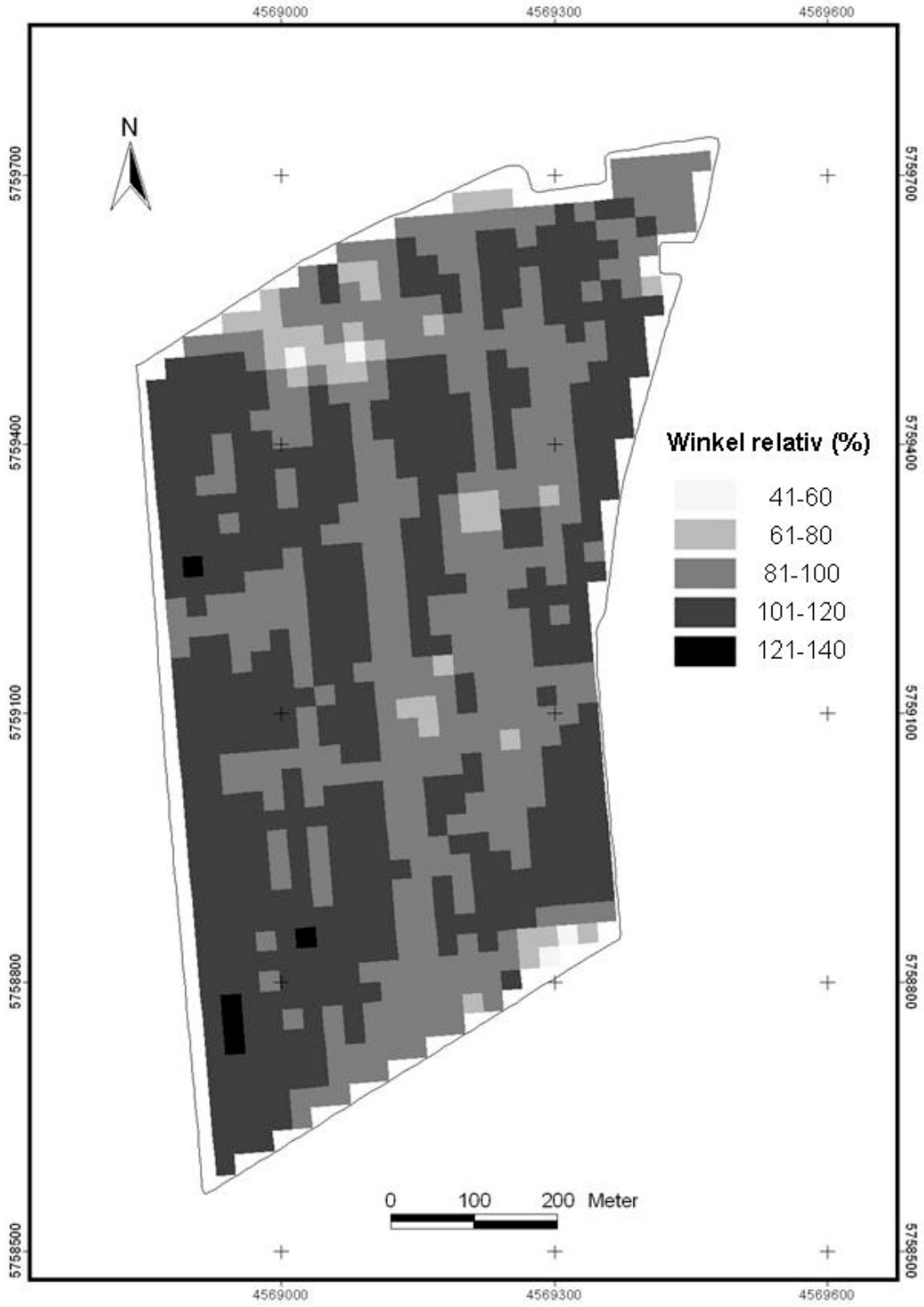


Bild A30: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007)

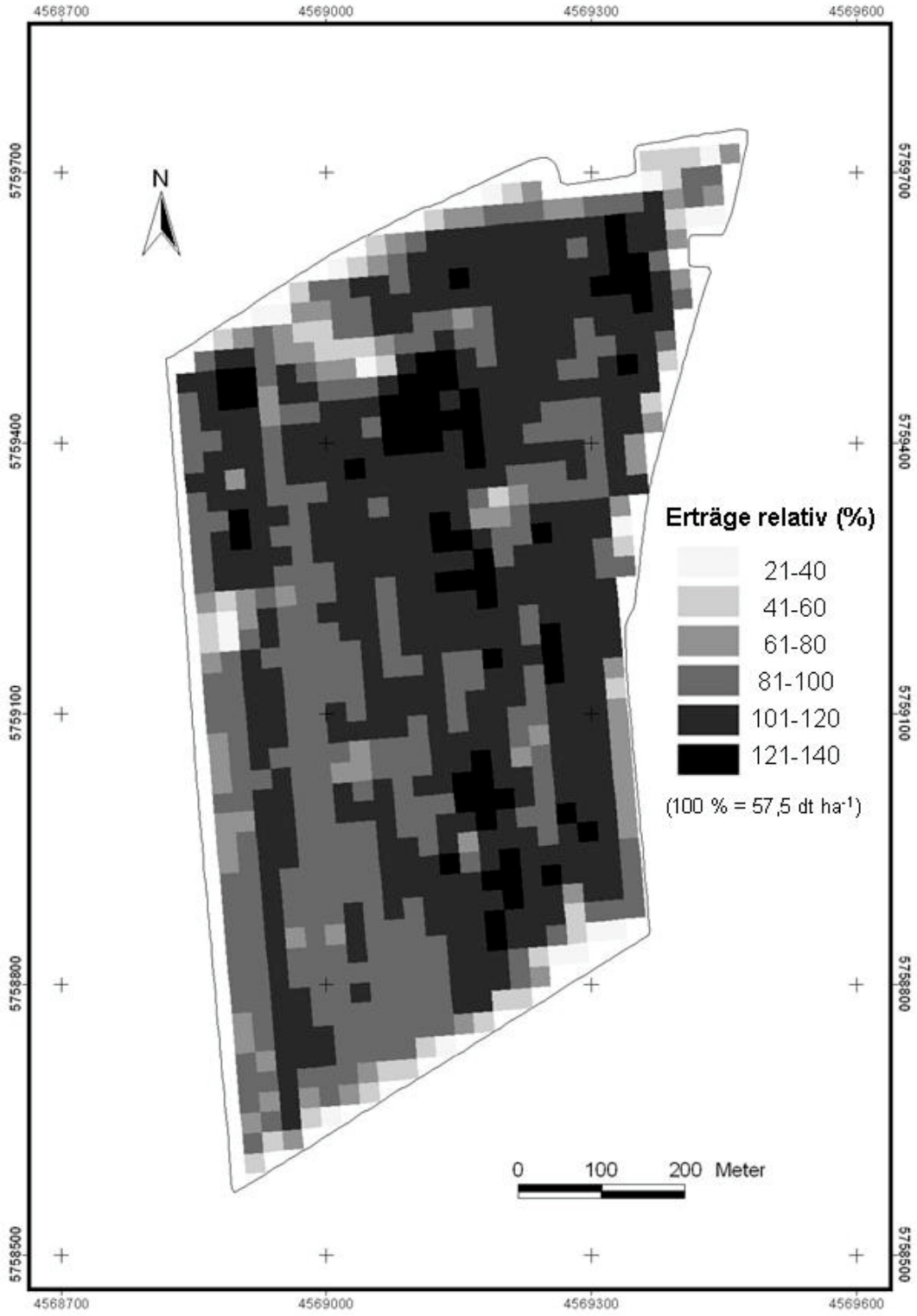


Bild A31: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007)

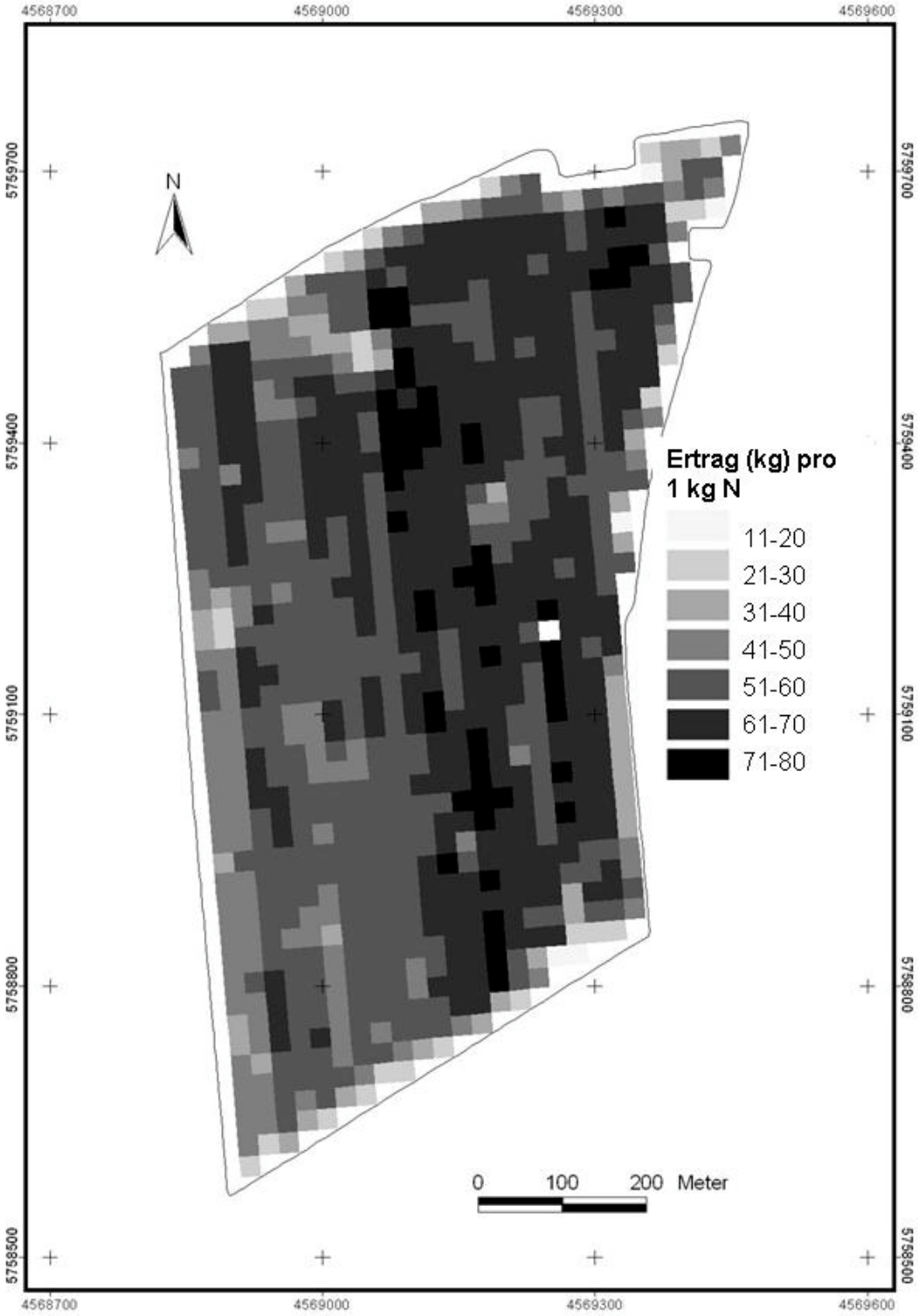


Bild A32: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Panzerstraße" (Niedergörsdorf, 2007)

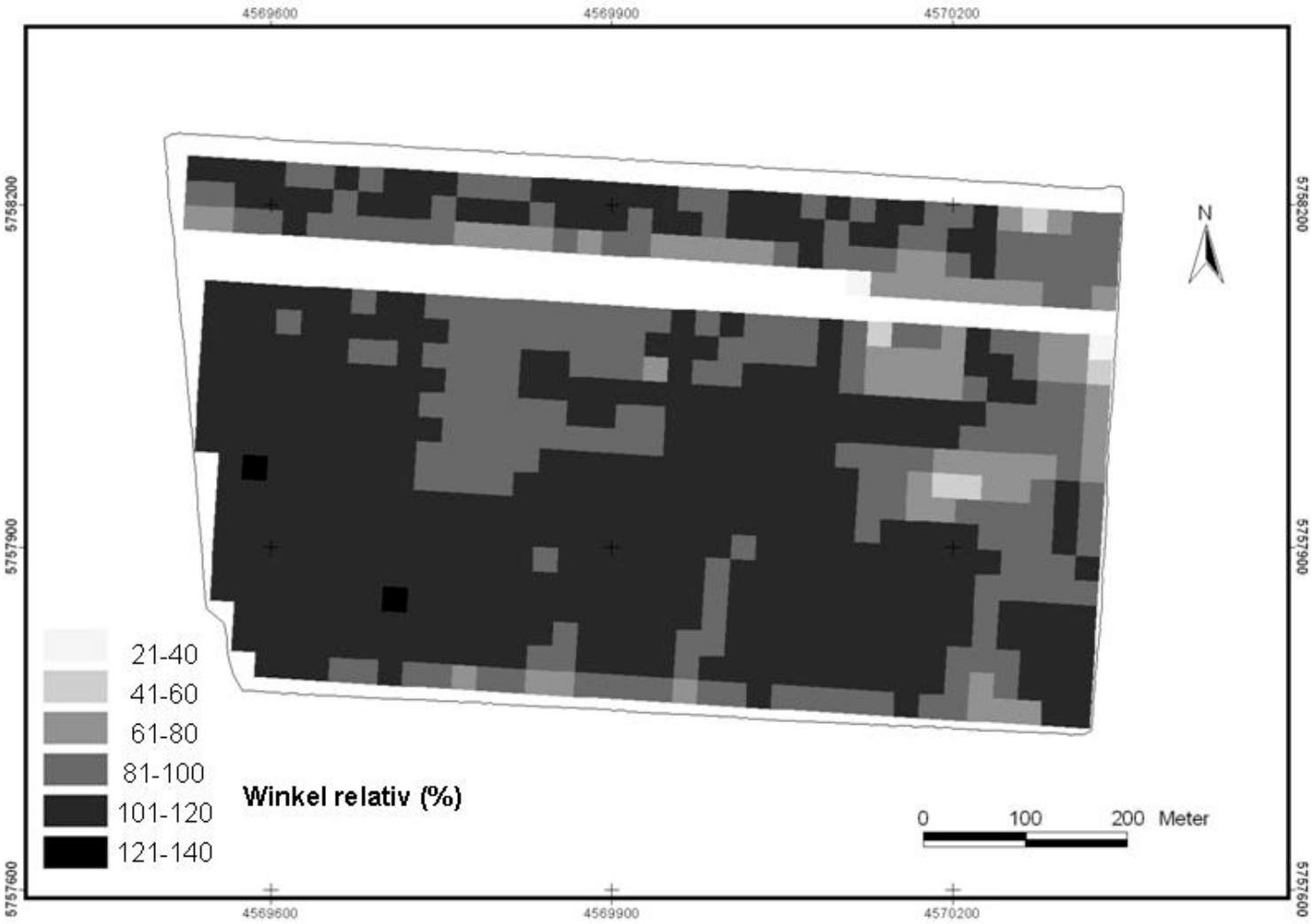


Bild A33: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Streitländer" (Niedergörsdorf, 2007

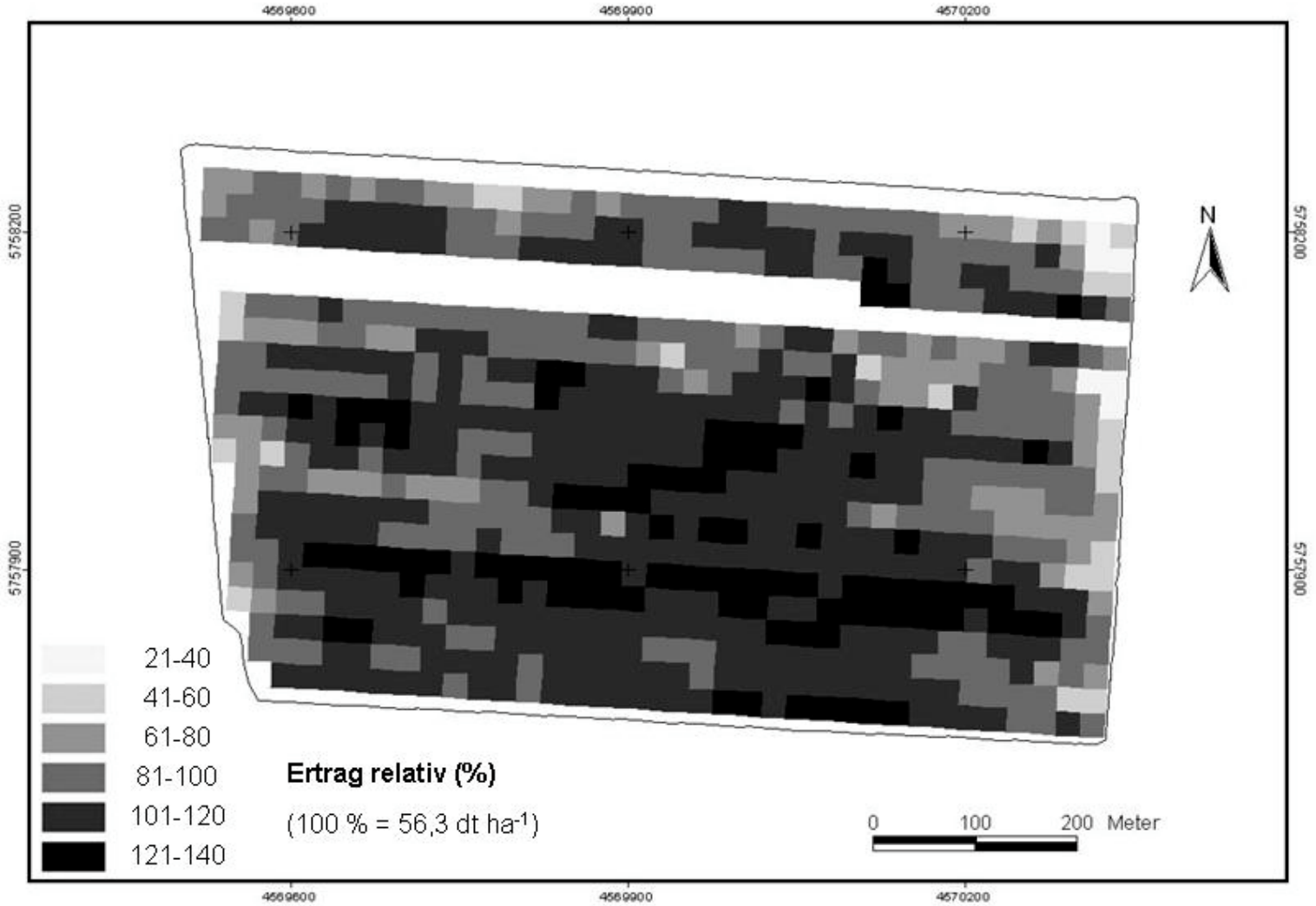


Bild A34: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Streitländer" (Niedergörsdorf, 2007)

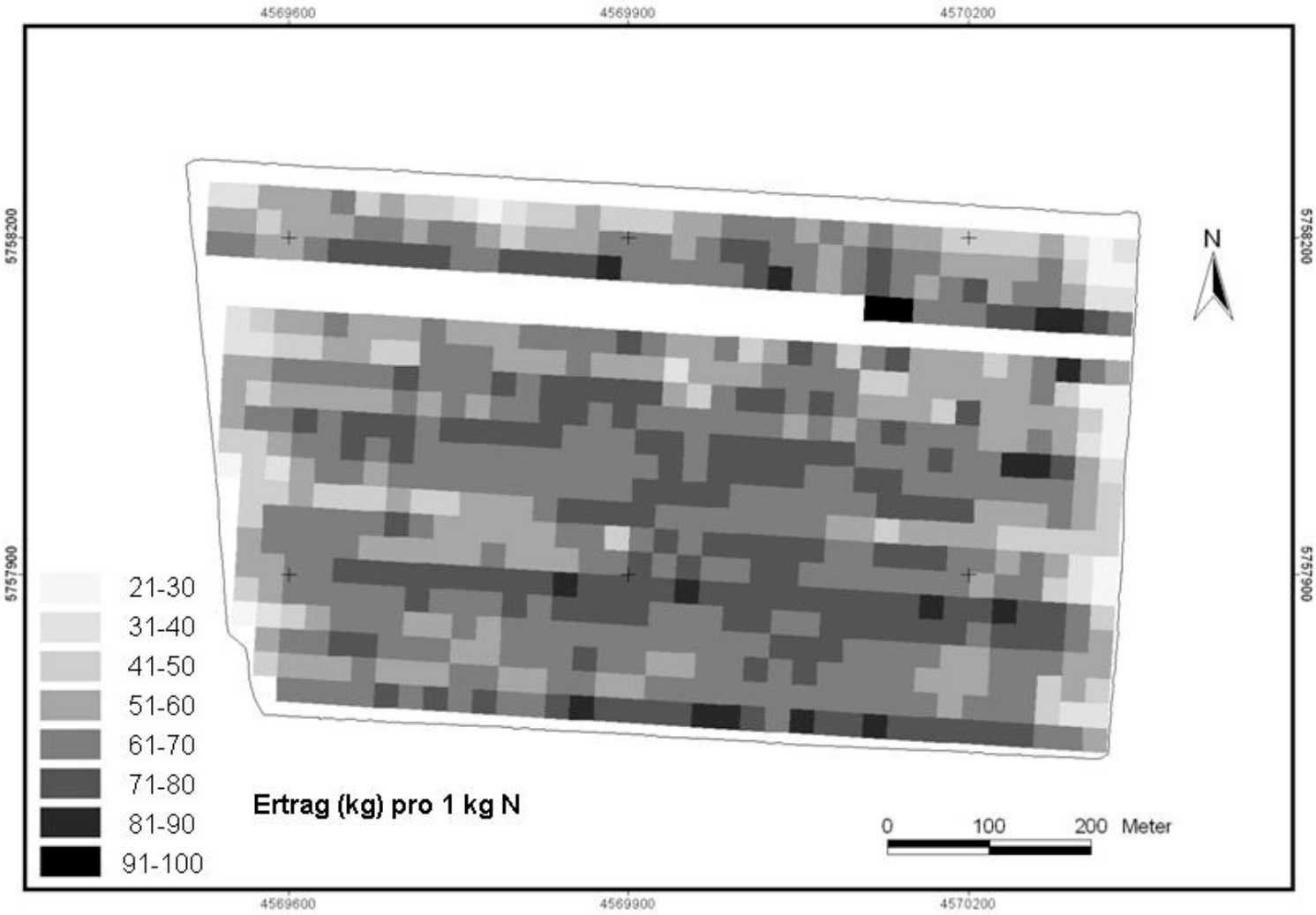


Bild A35: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Streitländer" (Niedergörsdorf, 2007)

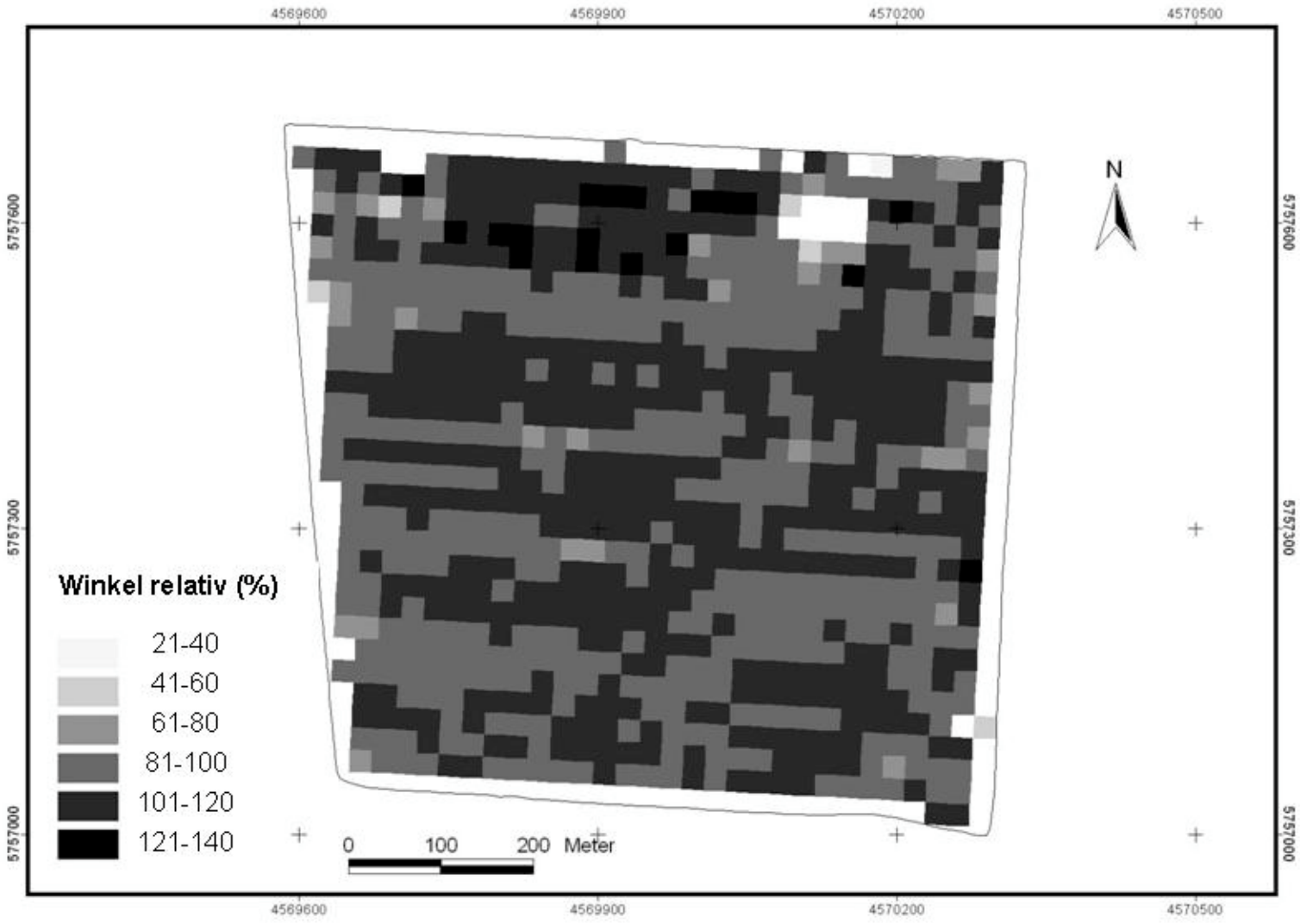


Bild A36: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Oehnaer Grenze" (Niedergörsdorf, 2007)

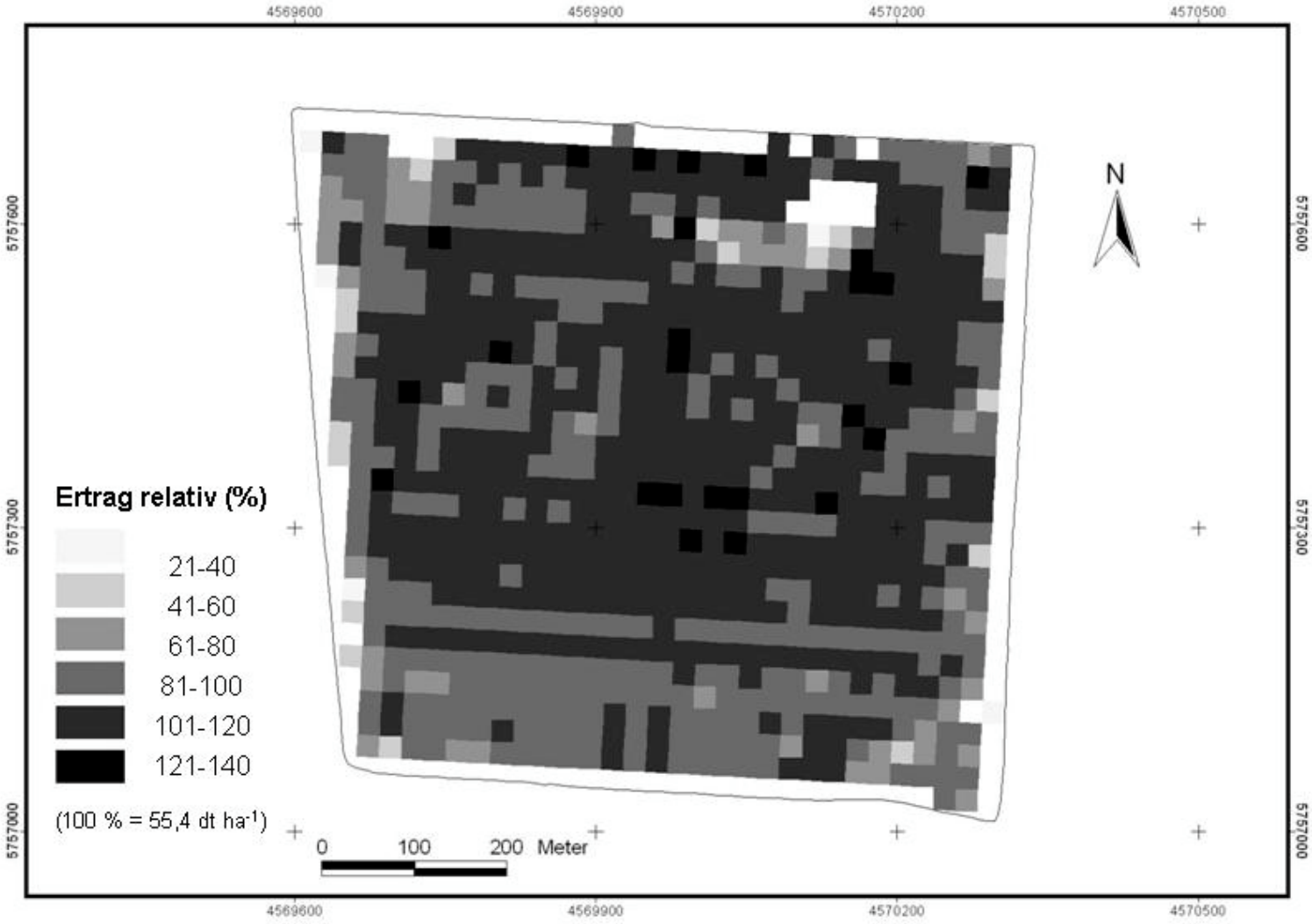


Bild A37: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Oehnaer Grenze" (Niedergörsdorf, 2007)

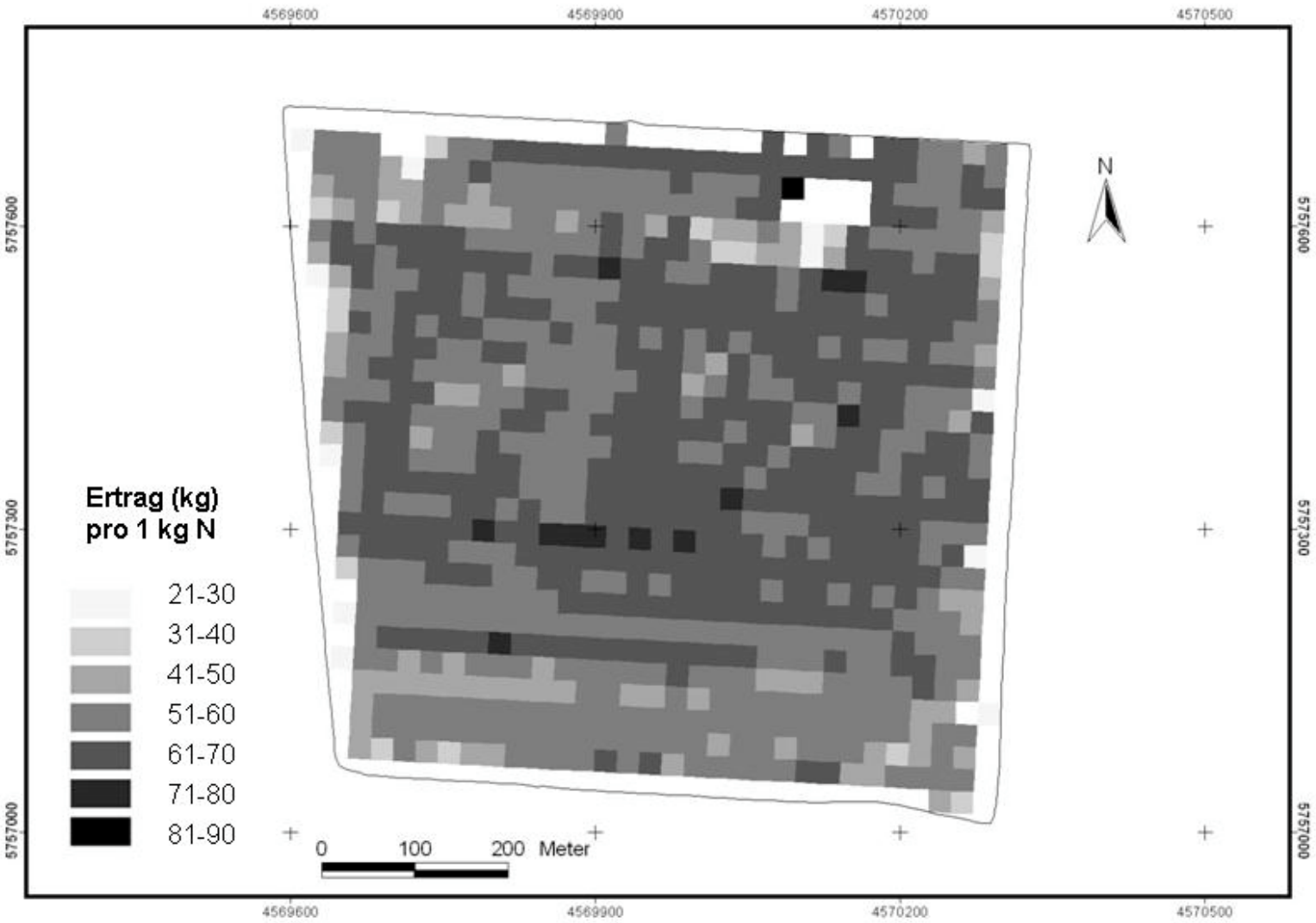


Bild A38: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Oehnaer Grenze" (Niedergörsdorf, 2007)

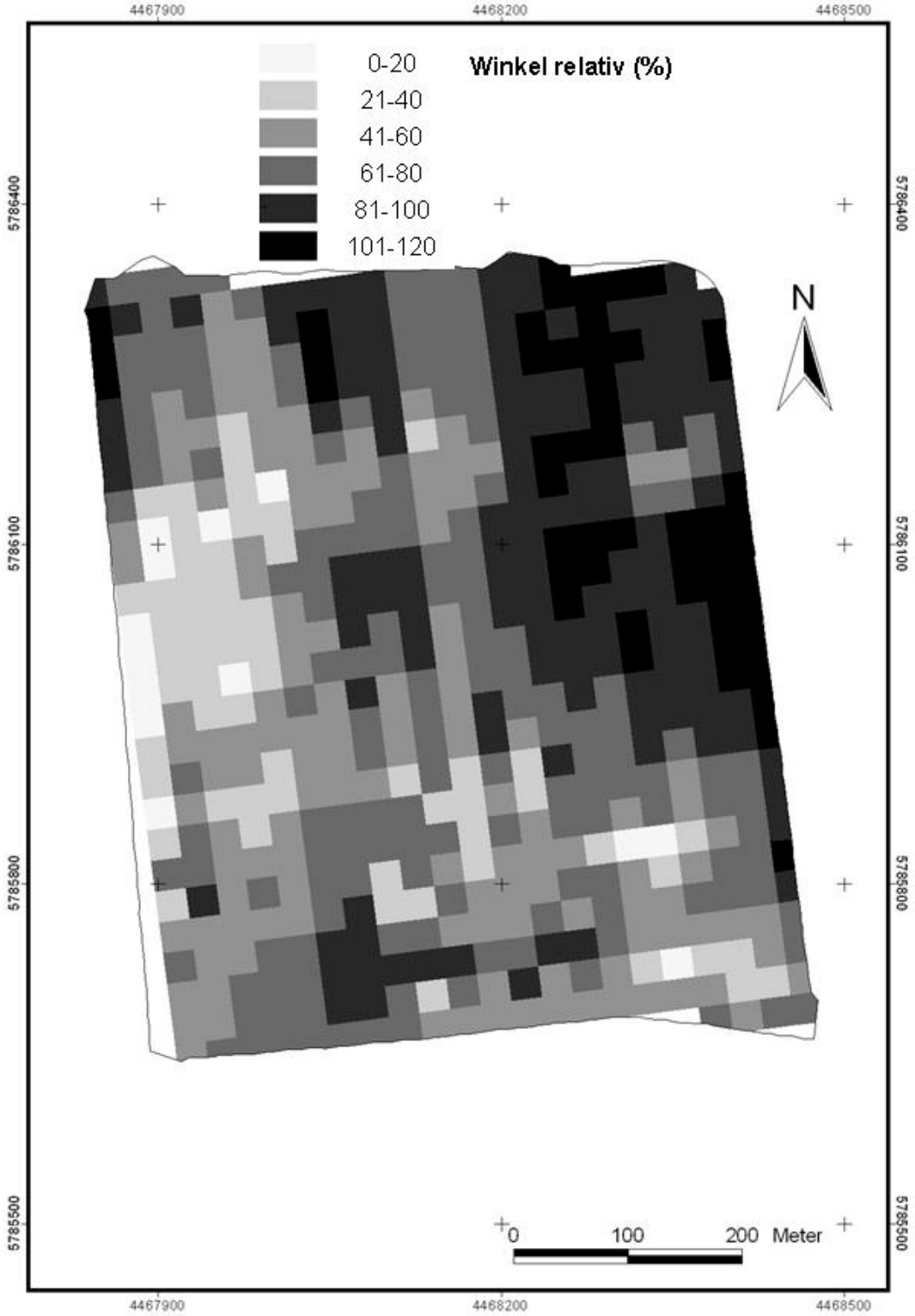


Bild A39: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007)

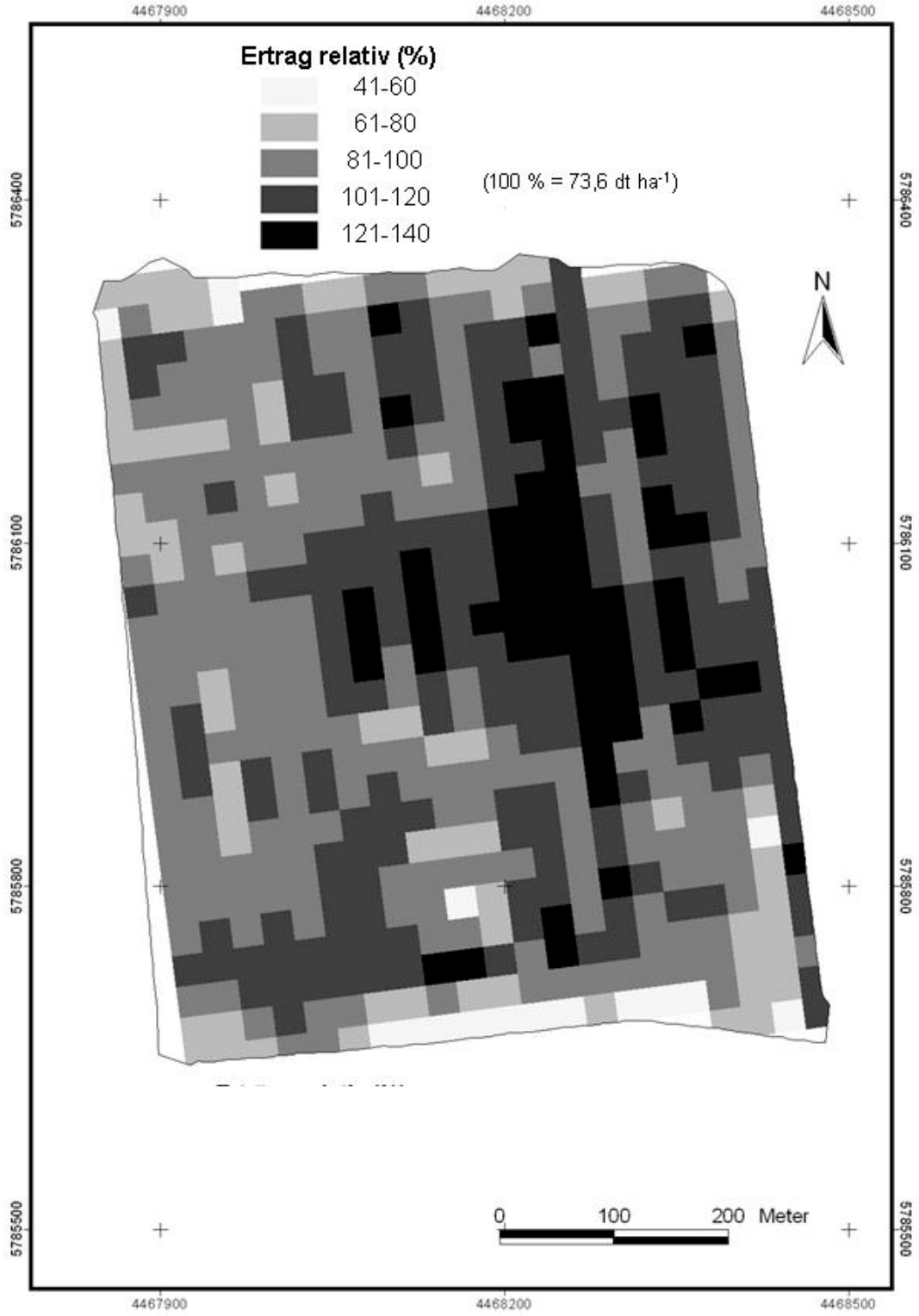


Bild A40: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007)

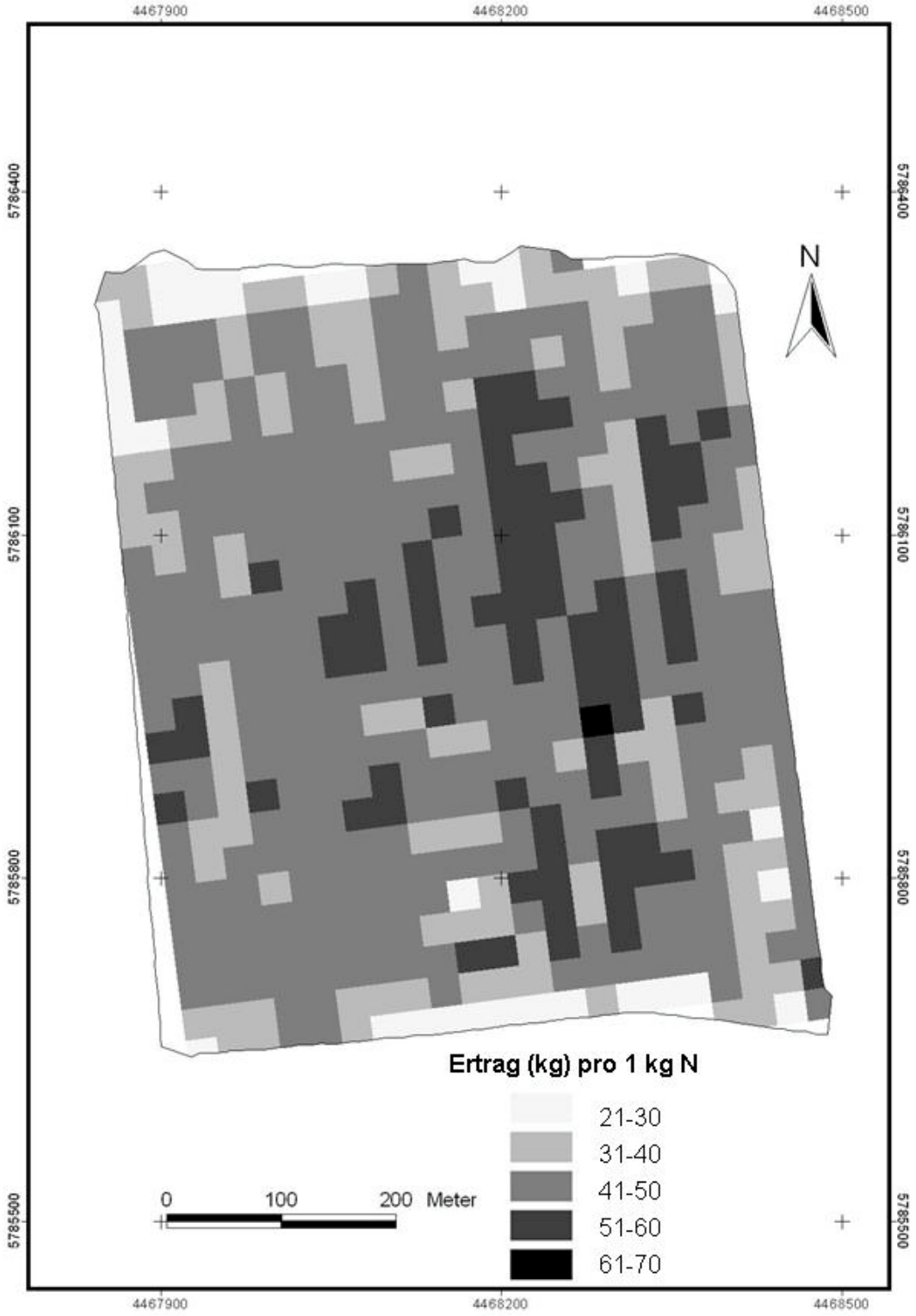


Bild A41: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Bennstedter Feld" (Dawa, 2007)

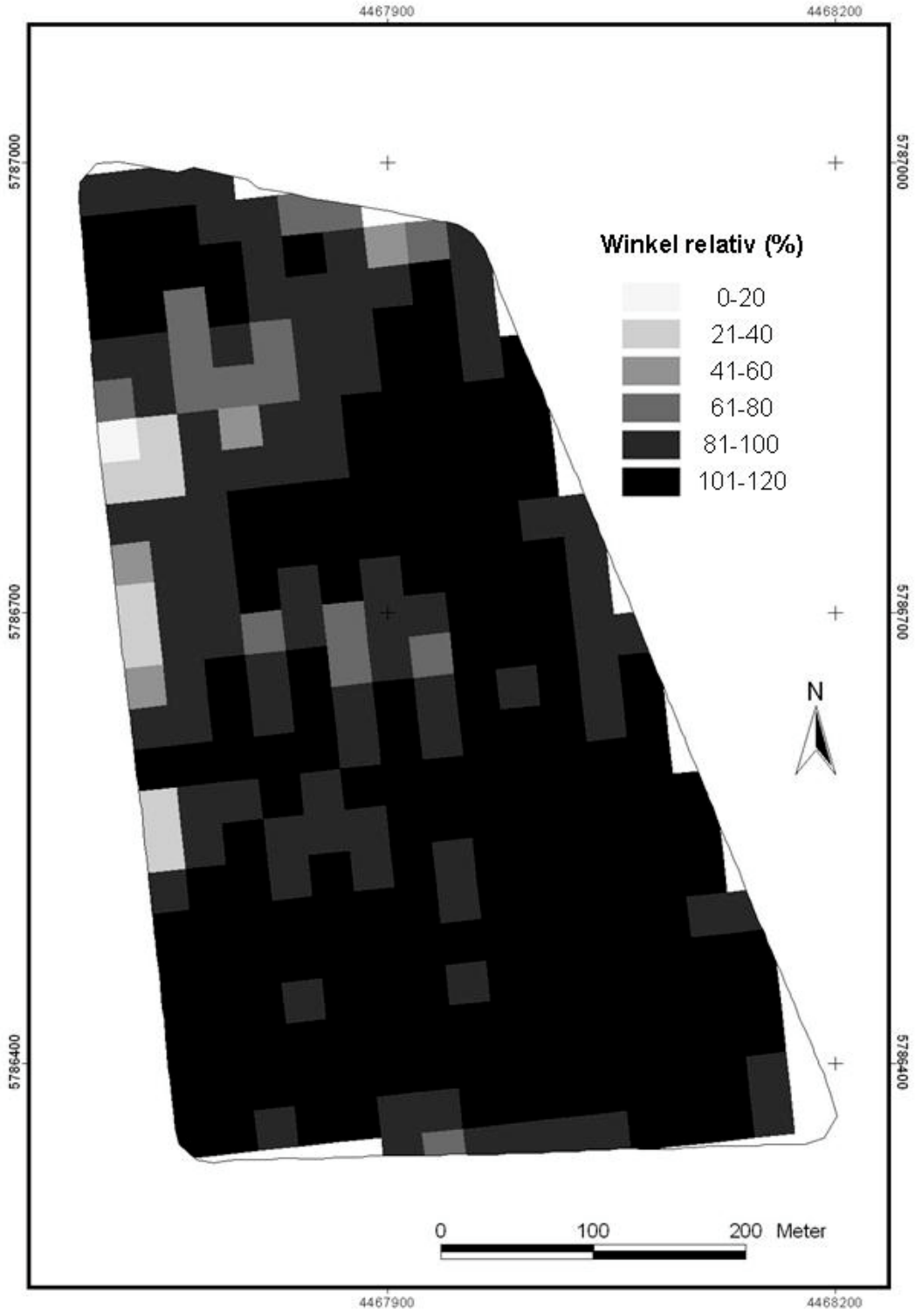


Bild A42: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007)

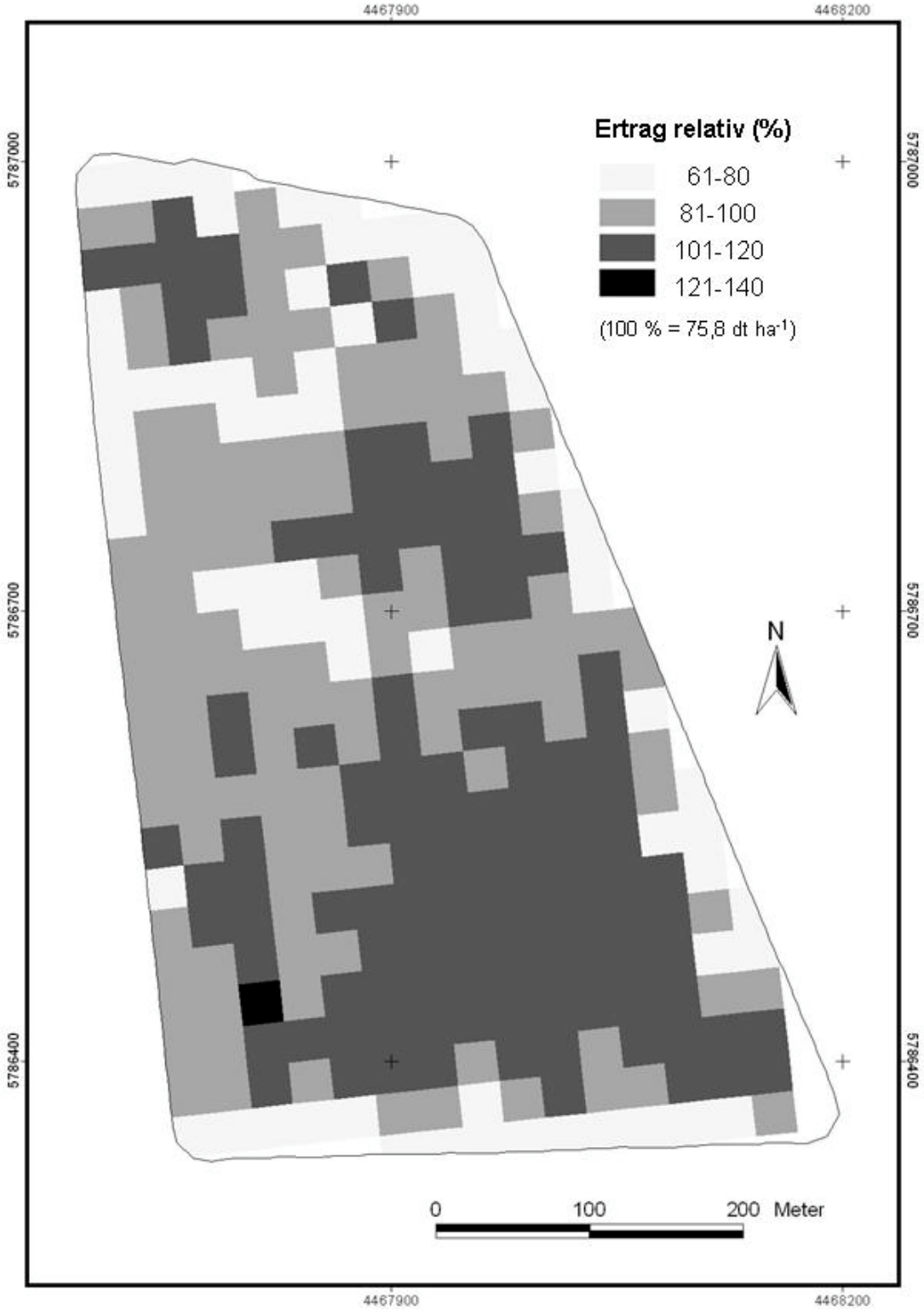


Bild A43: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007)

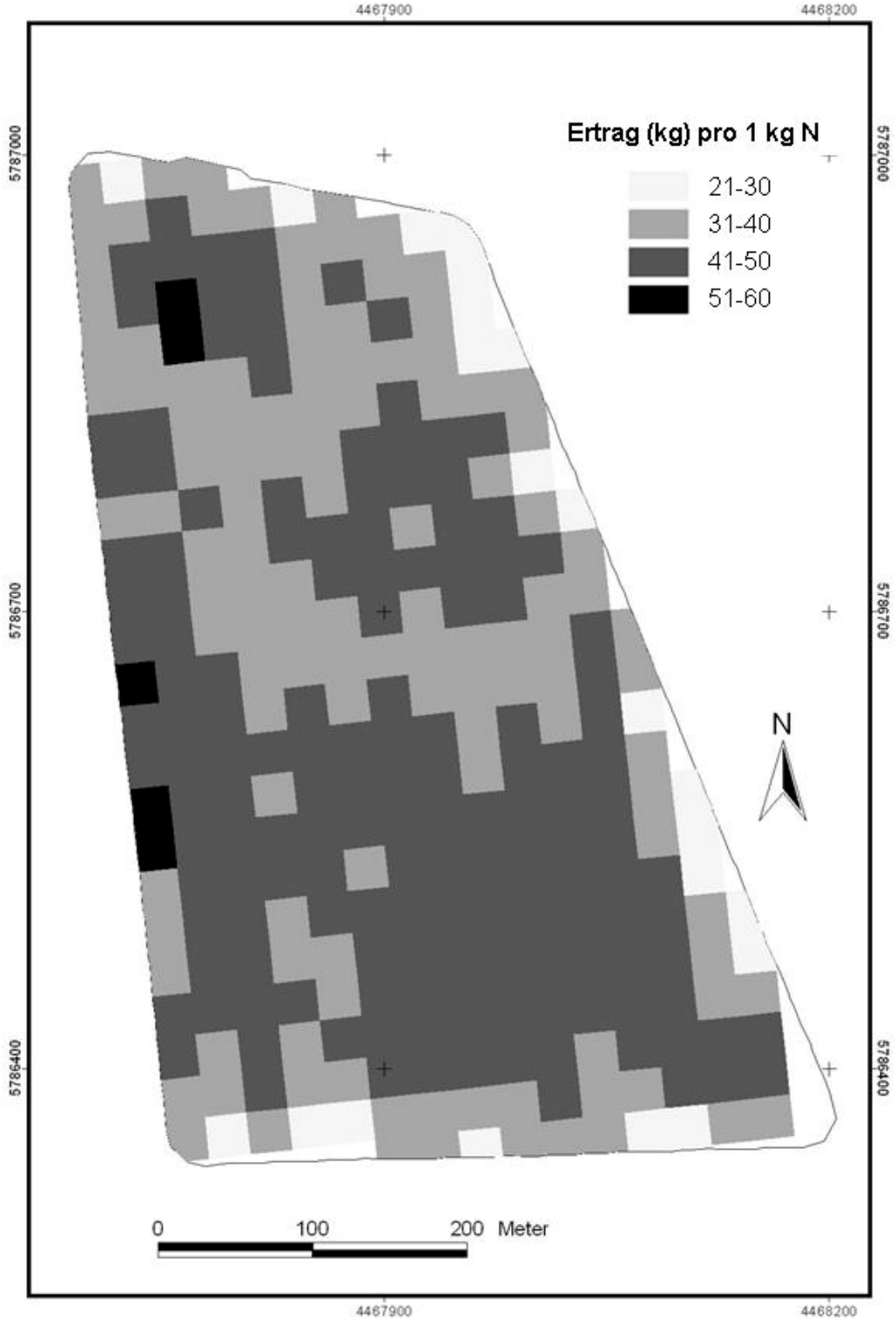


Bild A44: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Zwischen Weg und Graben" (Dawa, 2007)

Bild A45: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007)

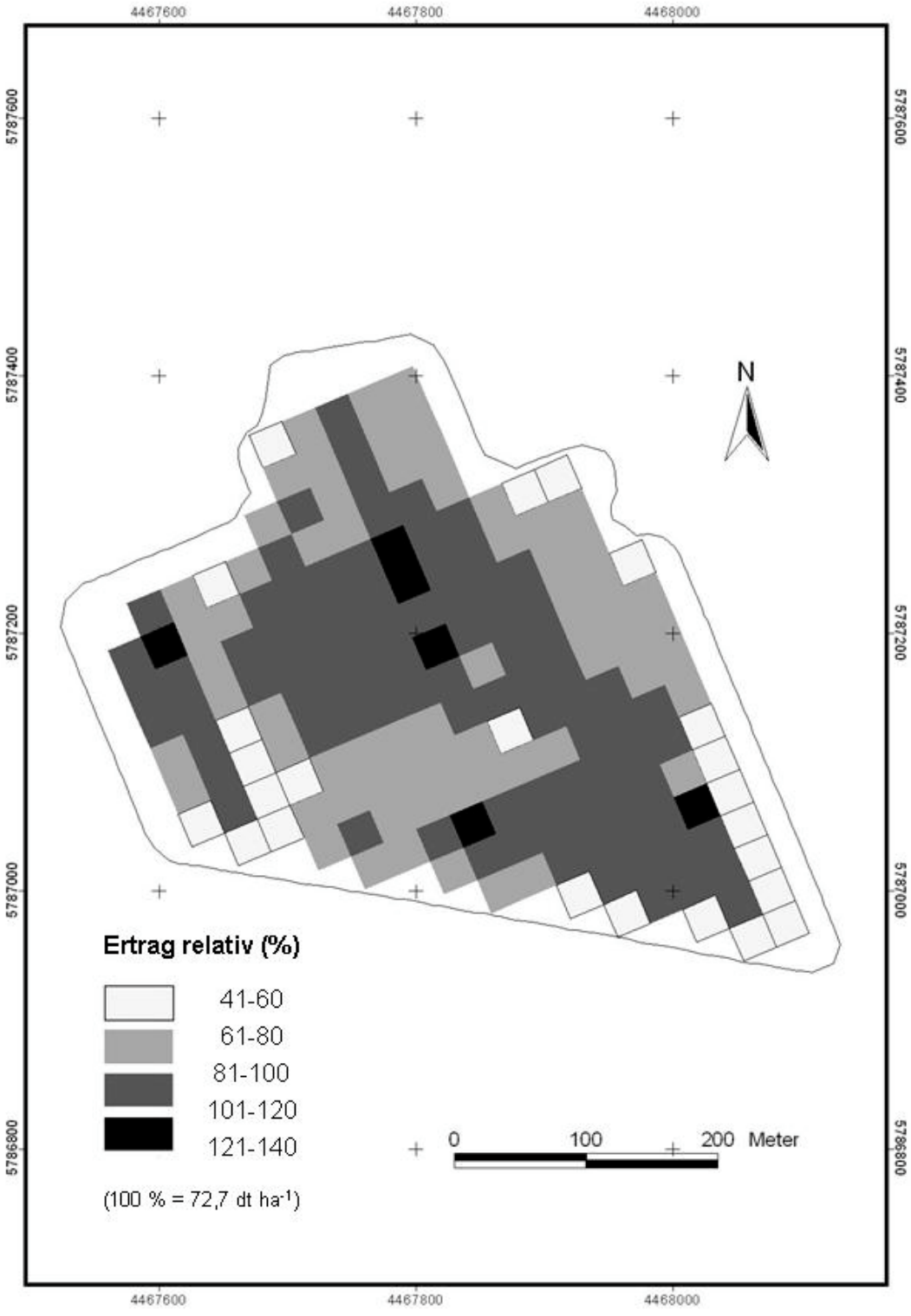


Bild A46: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007)

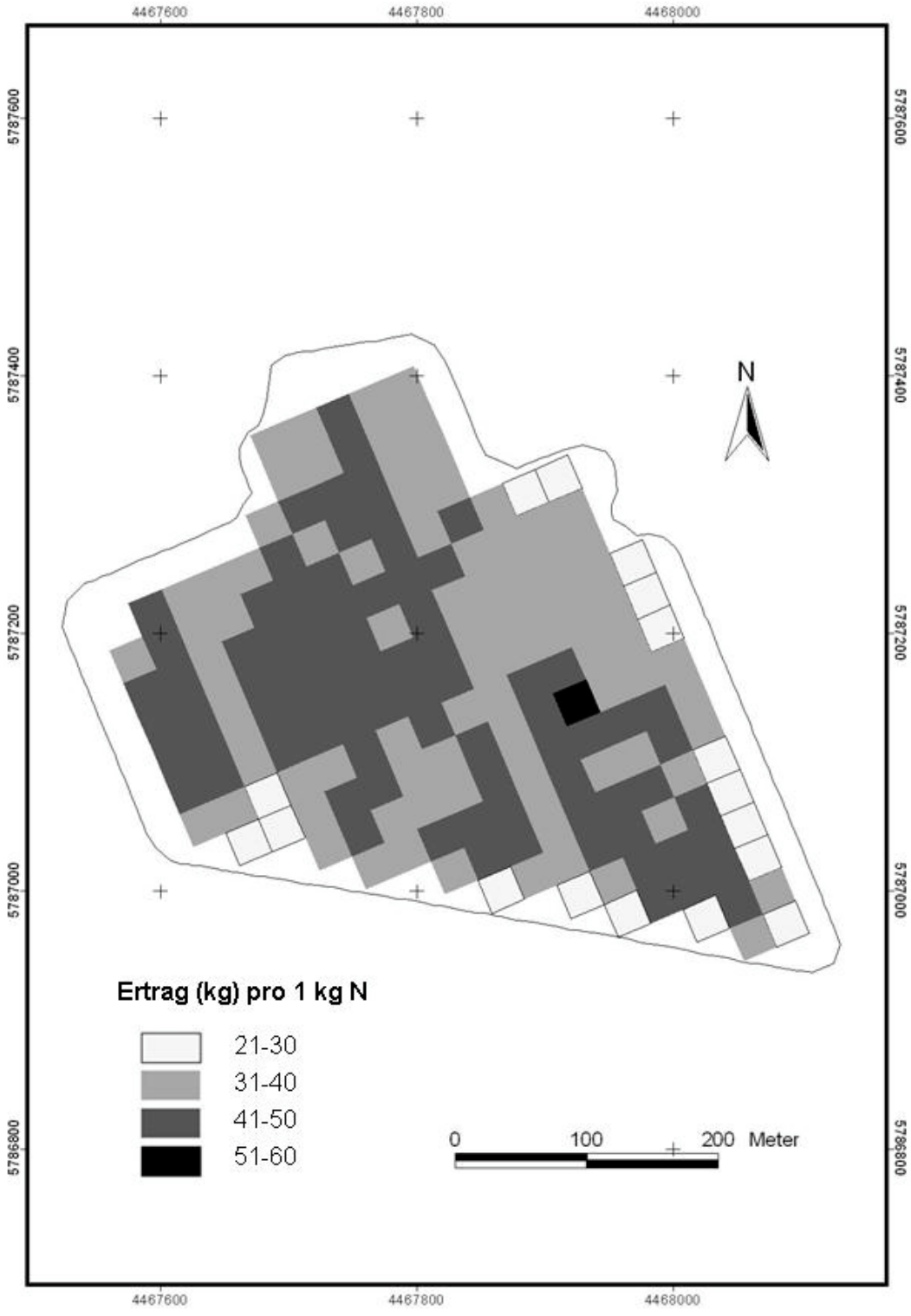


Bild A47: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Schweinestall Klein Ammensleben" (Dawa, 2007)

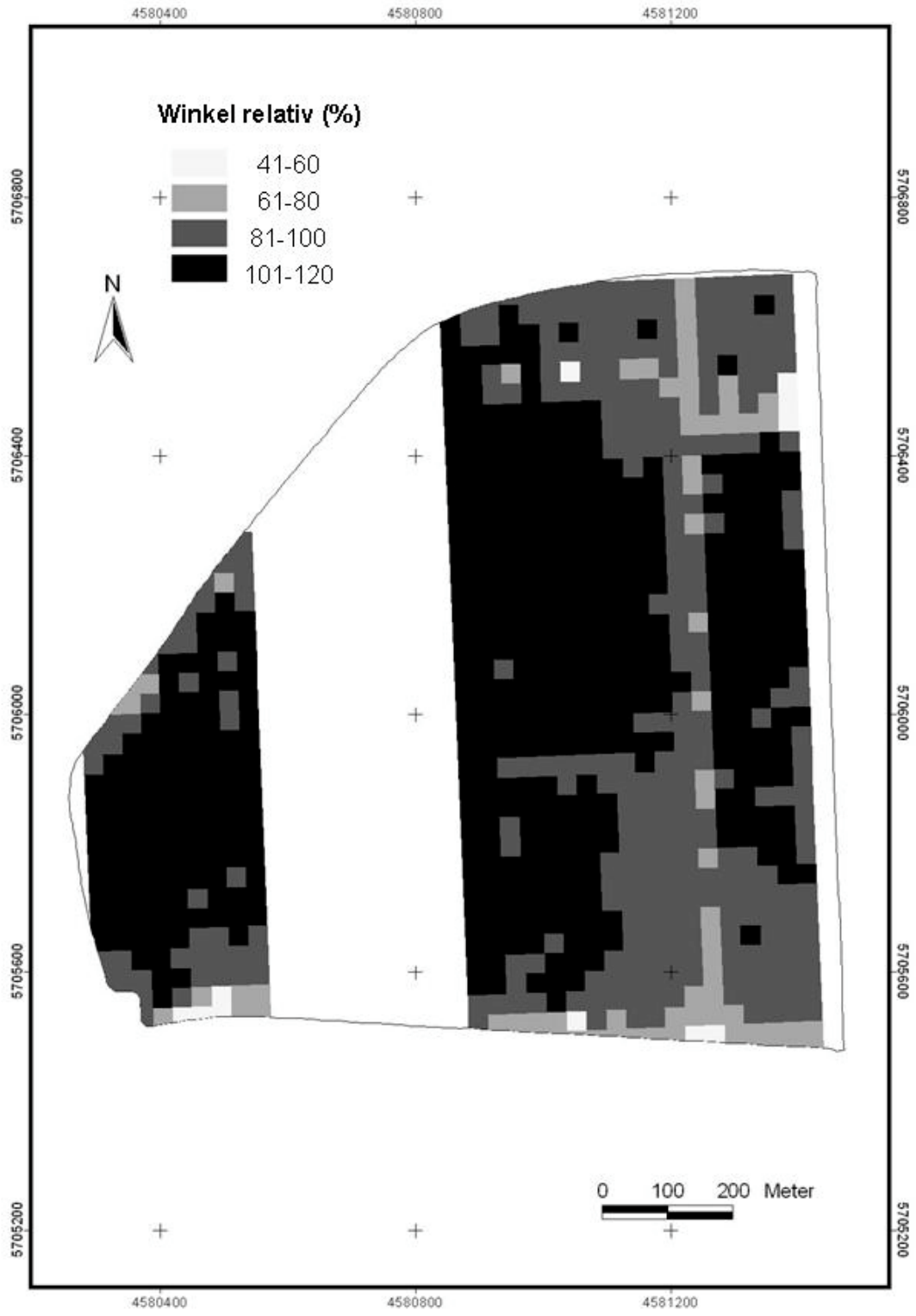


Bild A48: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007)

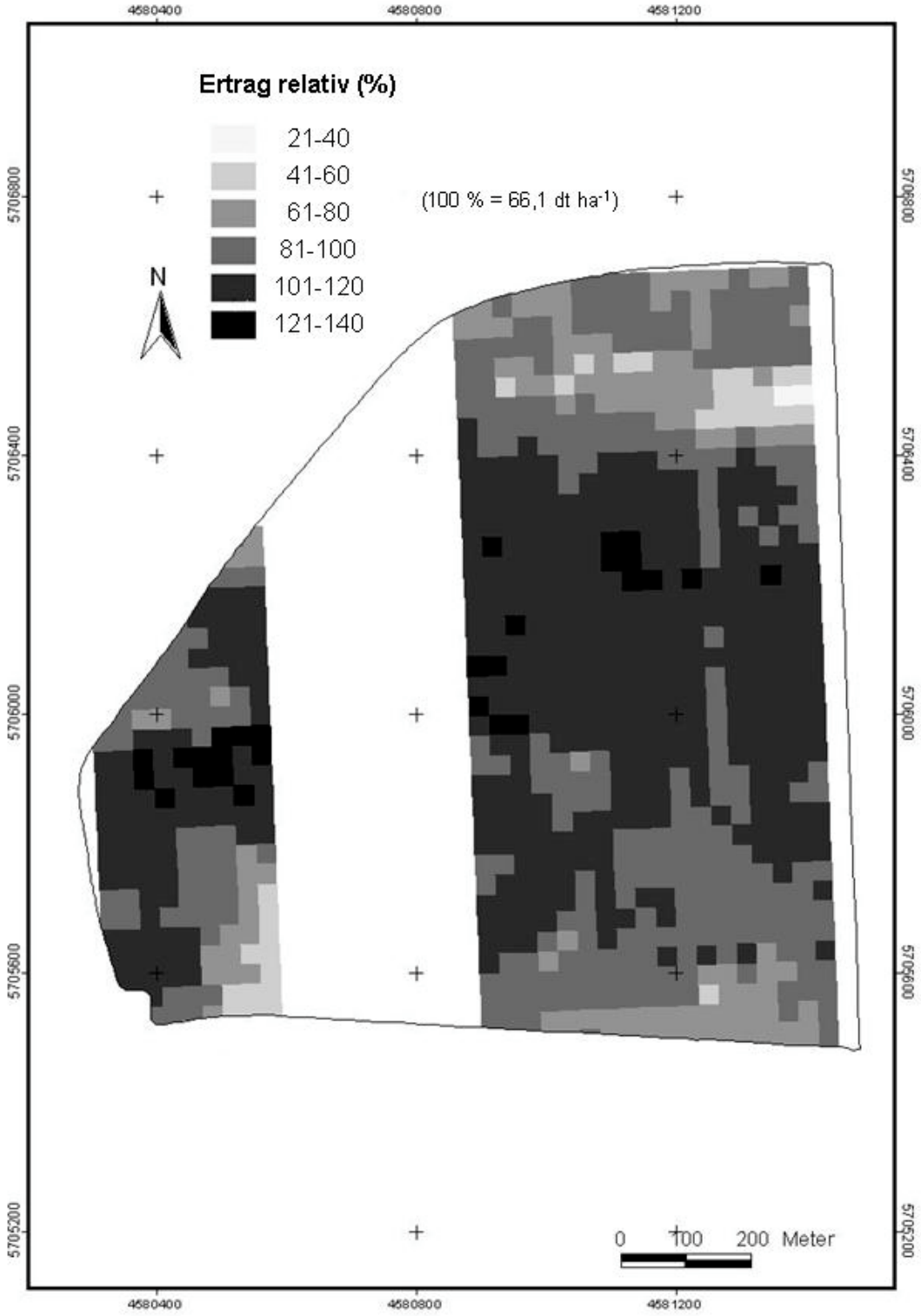


Bild A49: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007)

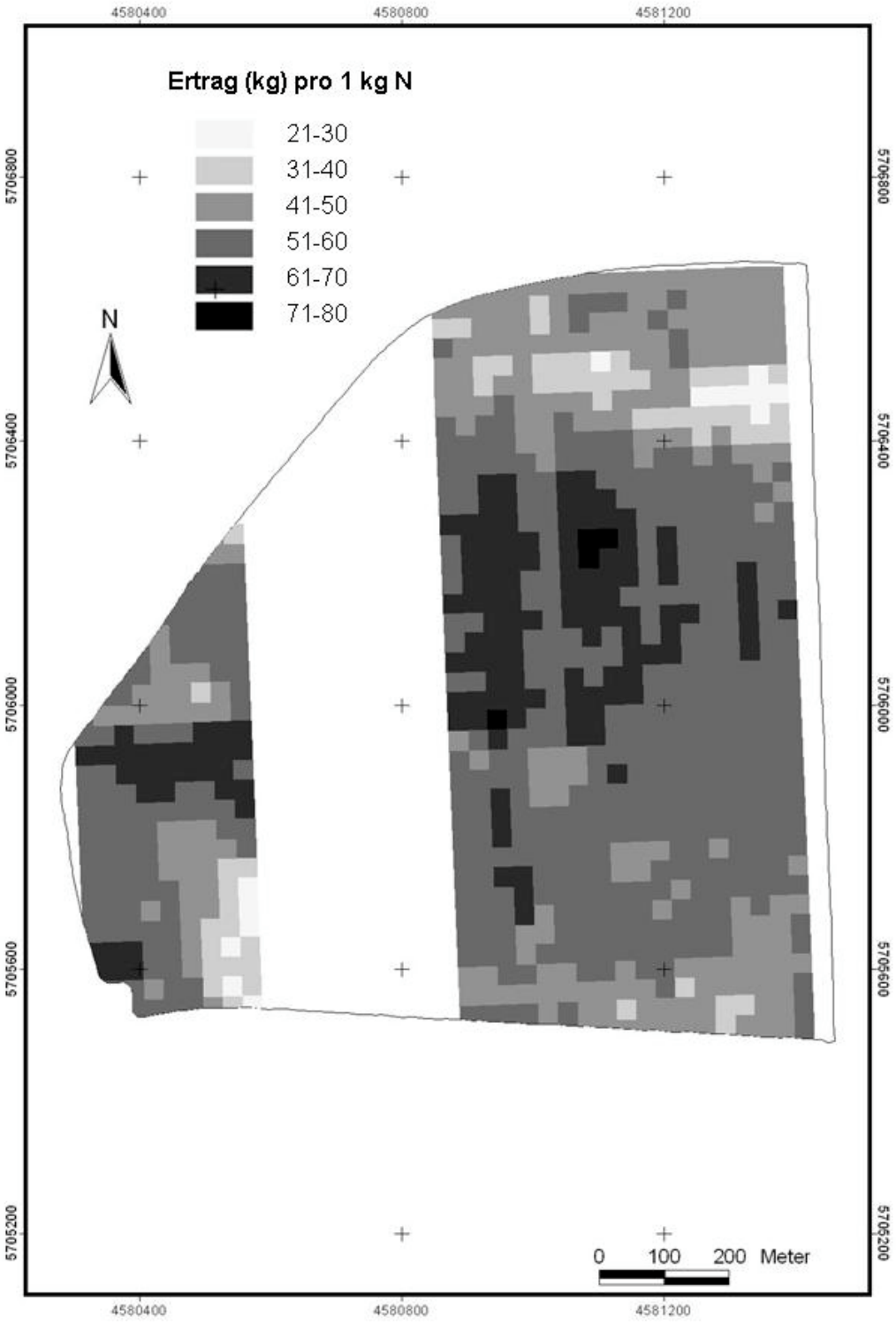


Bild A50: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Busch" (Staritz, 2007)

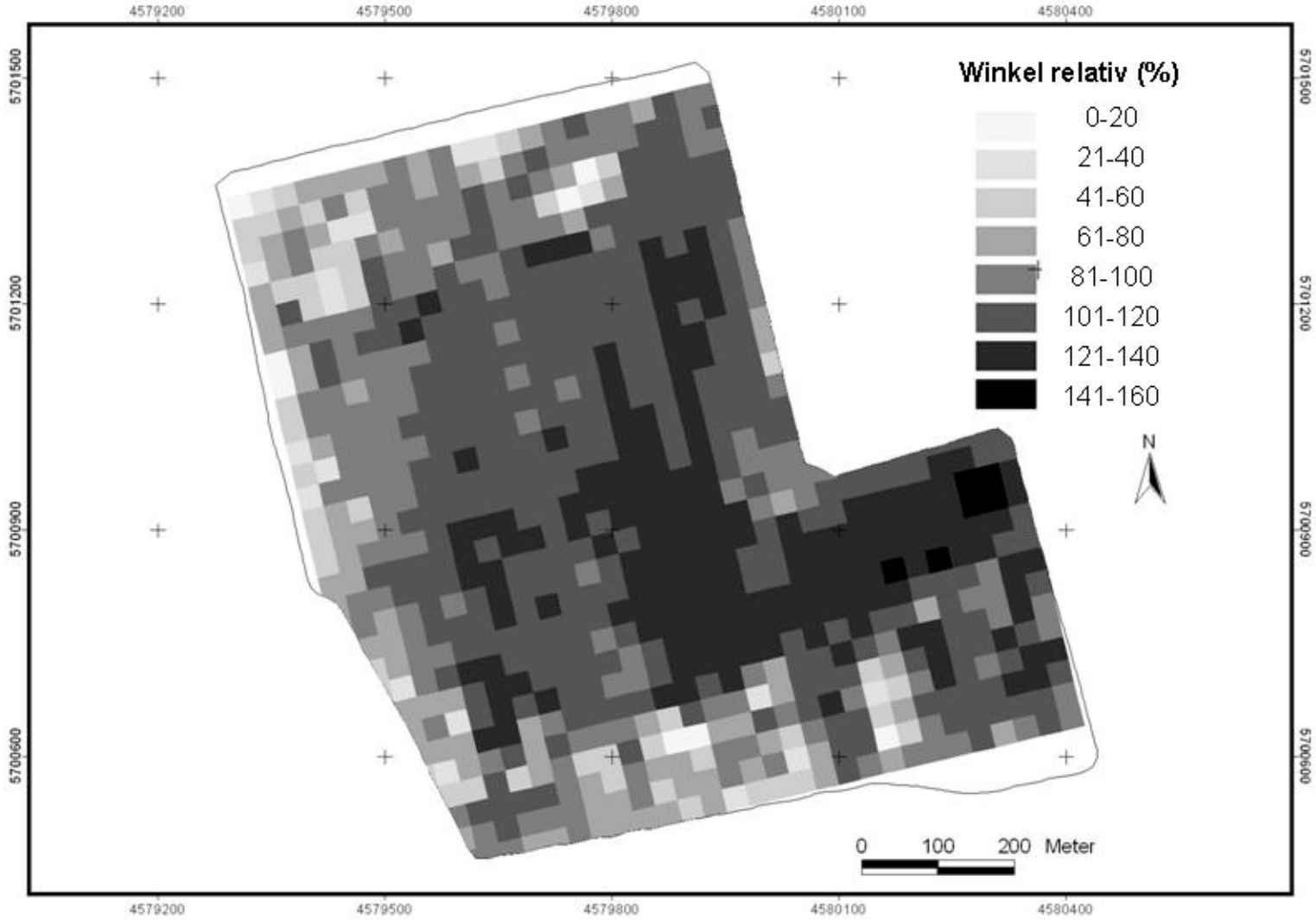


Bild A51: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag "Kastanienallee" (Staritz, 2007)

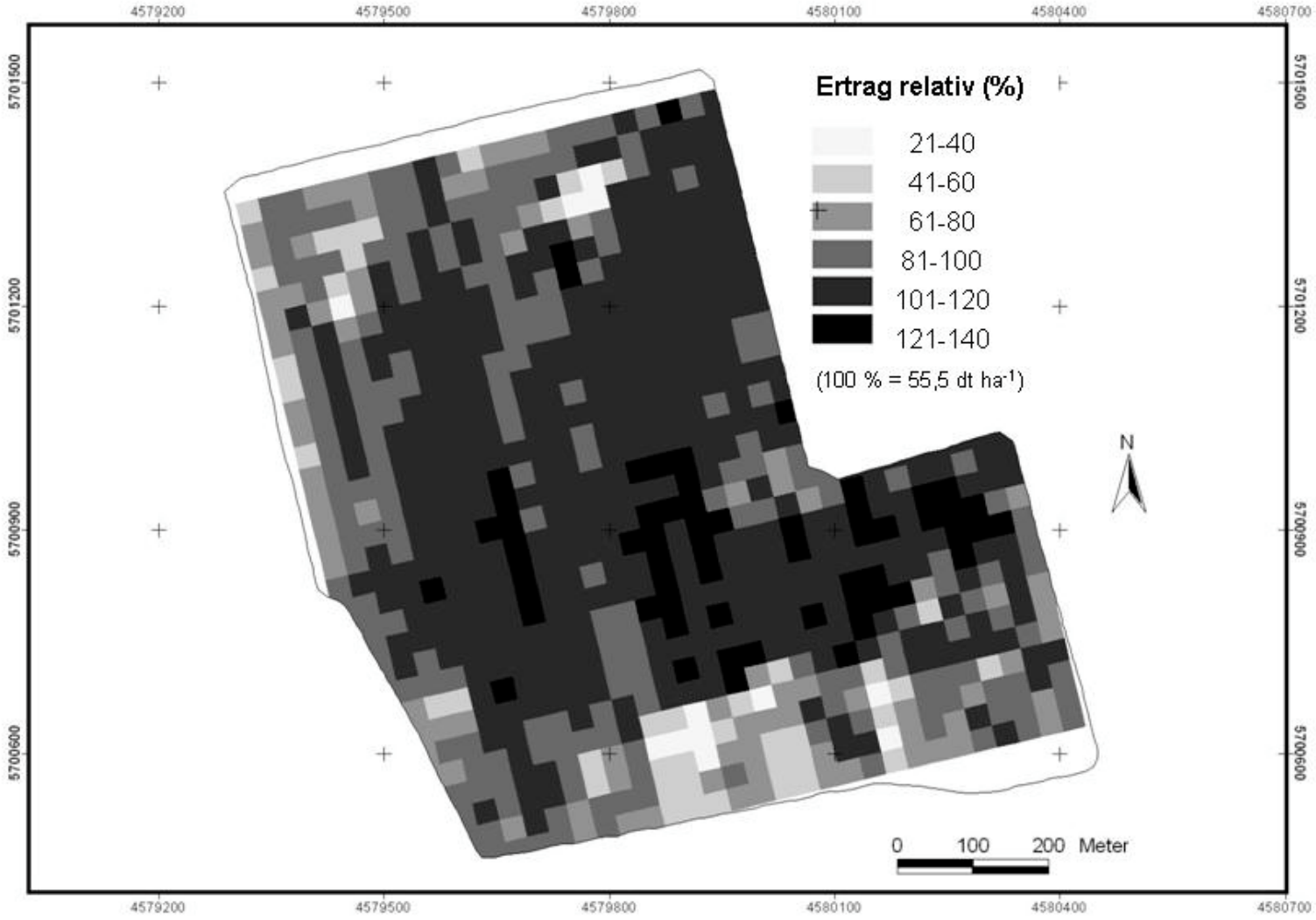


Bild A52: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag "Kastanienallee" (Staritz, 2007)

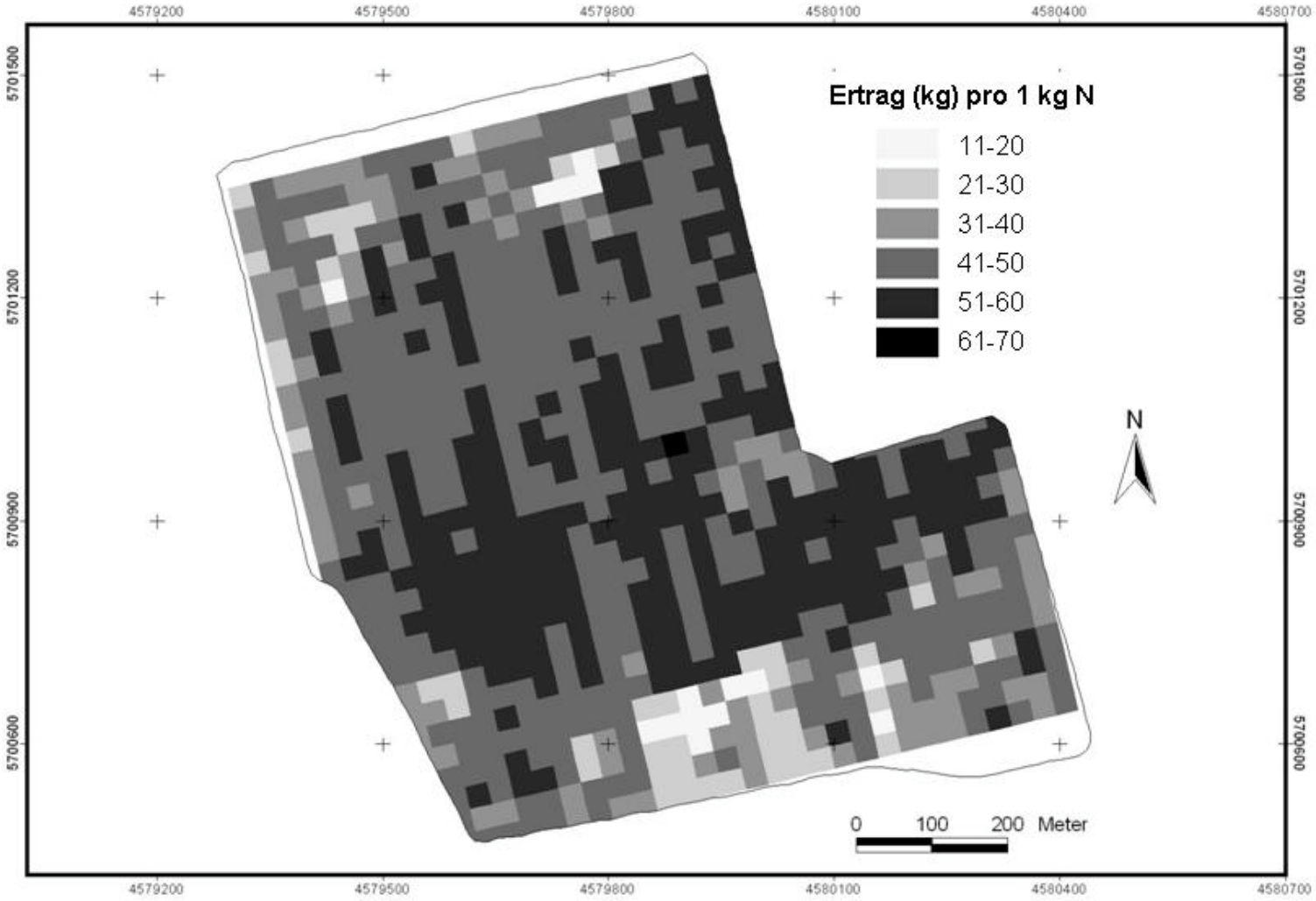


Bild A53: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag "Kastanienallee" (Staritz, 2007)

Bild A54: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag Nr. 627.3 (Blönsdorf, 2007)

Bild A55: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag Nr. 627.3 (Blönsdorf, 2007)

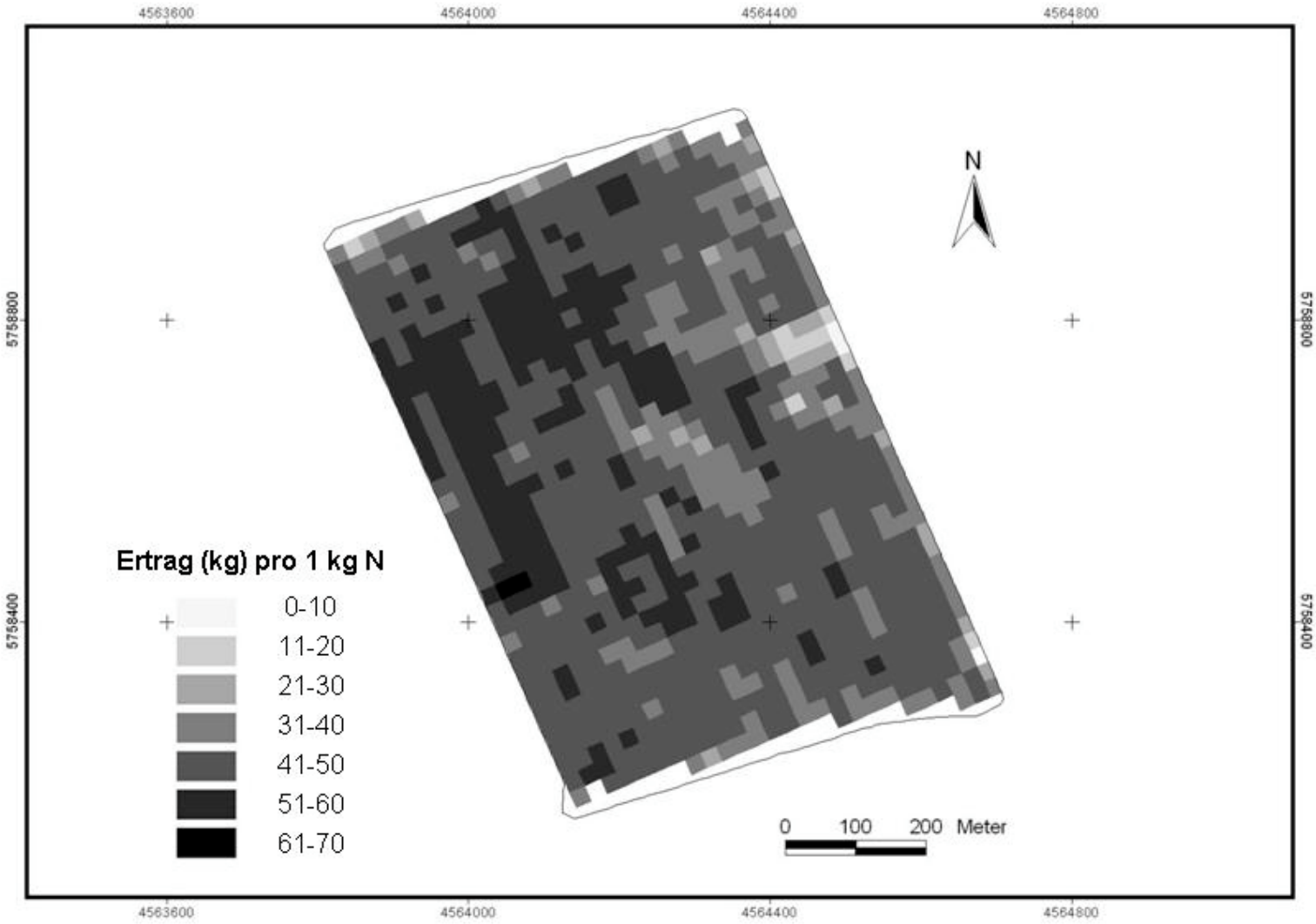


Bild A56: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag Nr. 627.3 (Blönsdorf, 2007)

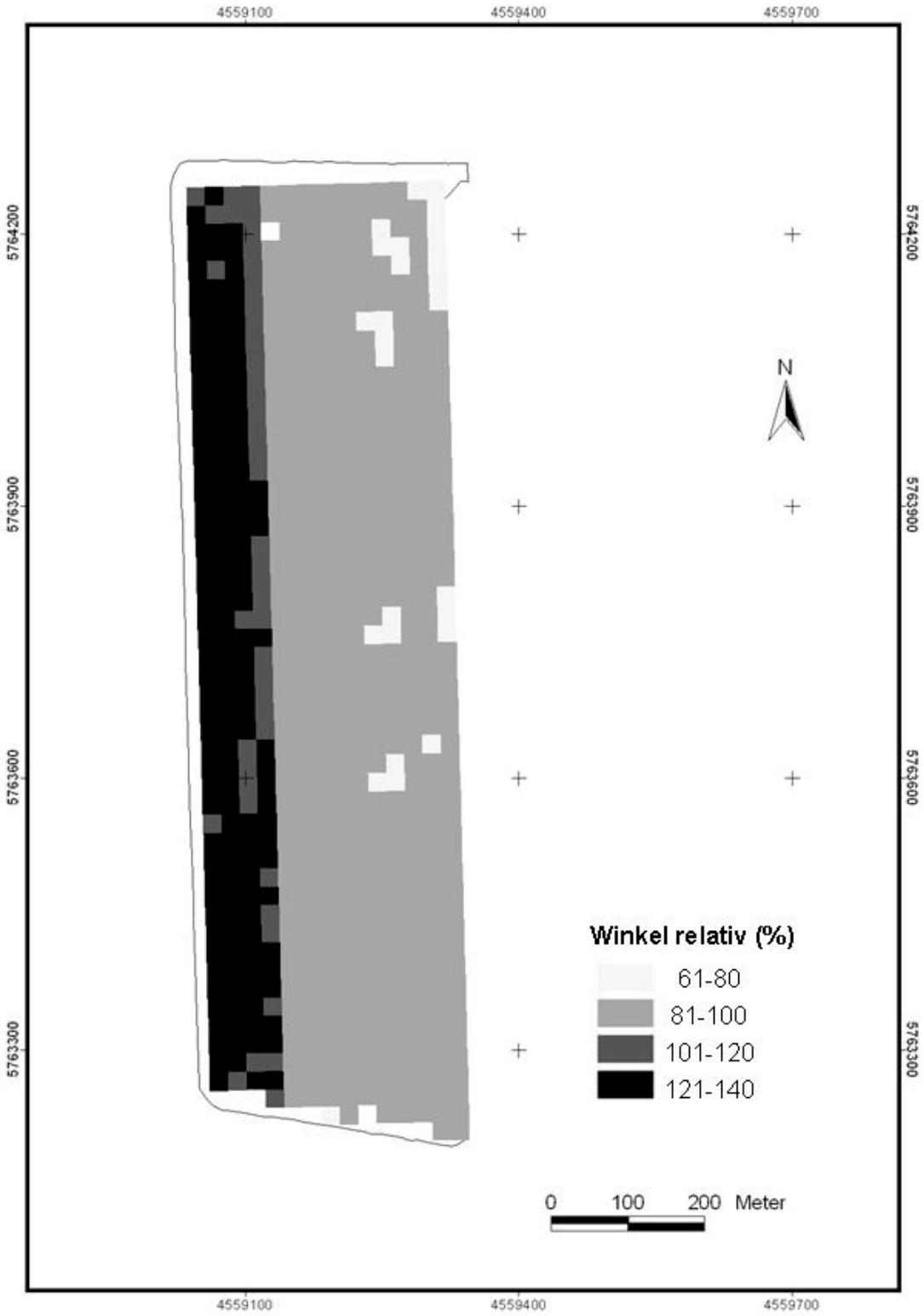


Bild A57: Relative Winkelverteilung auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007)

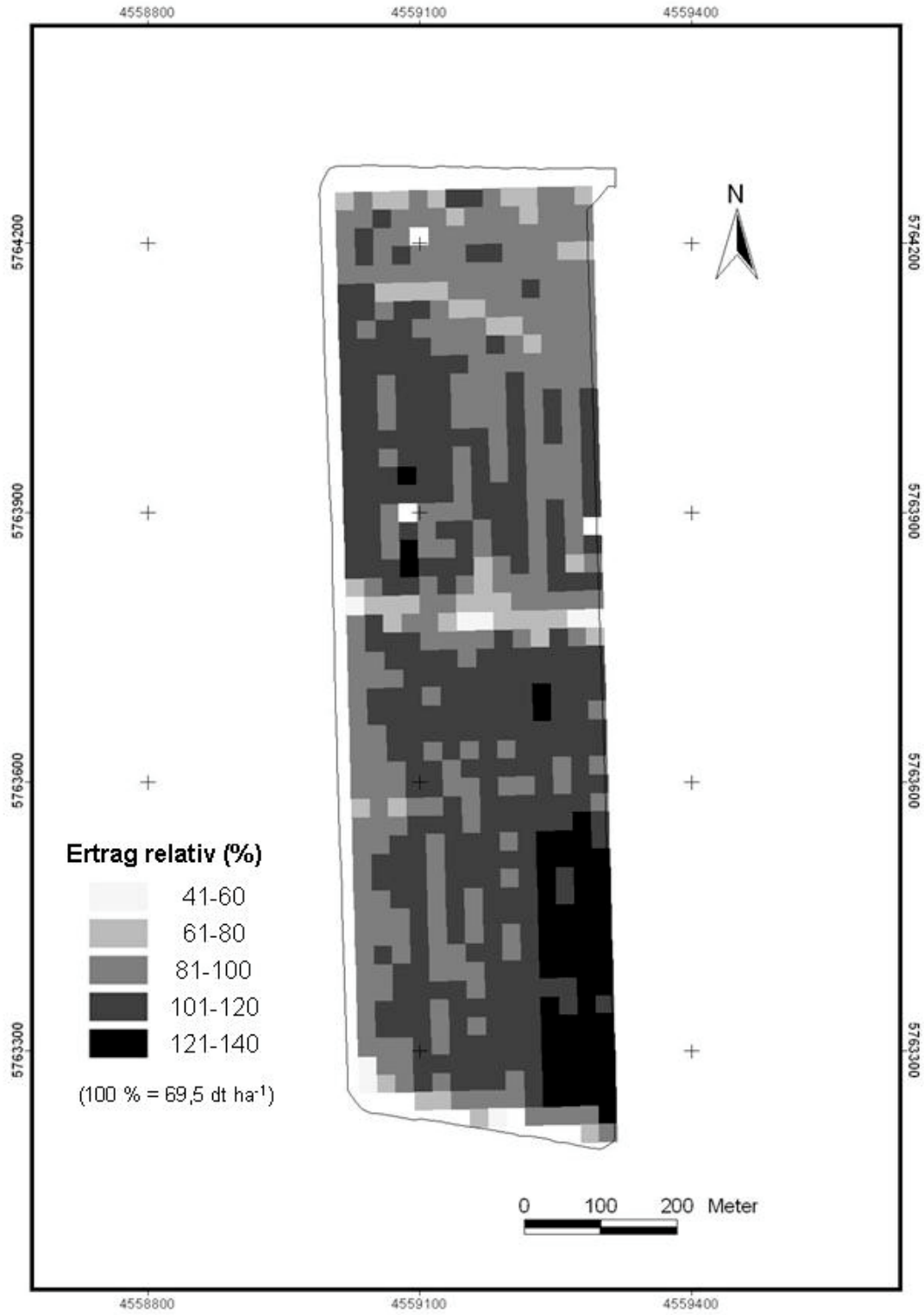


Bild A58: Relative Ertragsverteilung auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007)

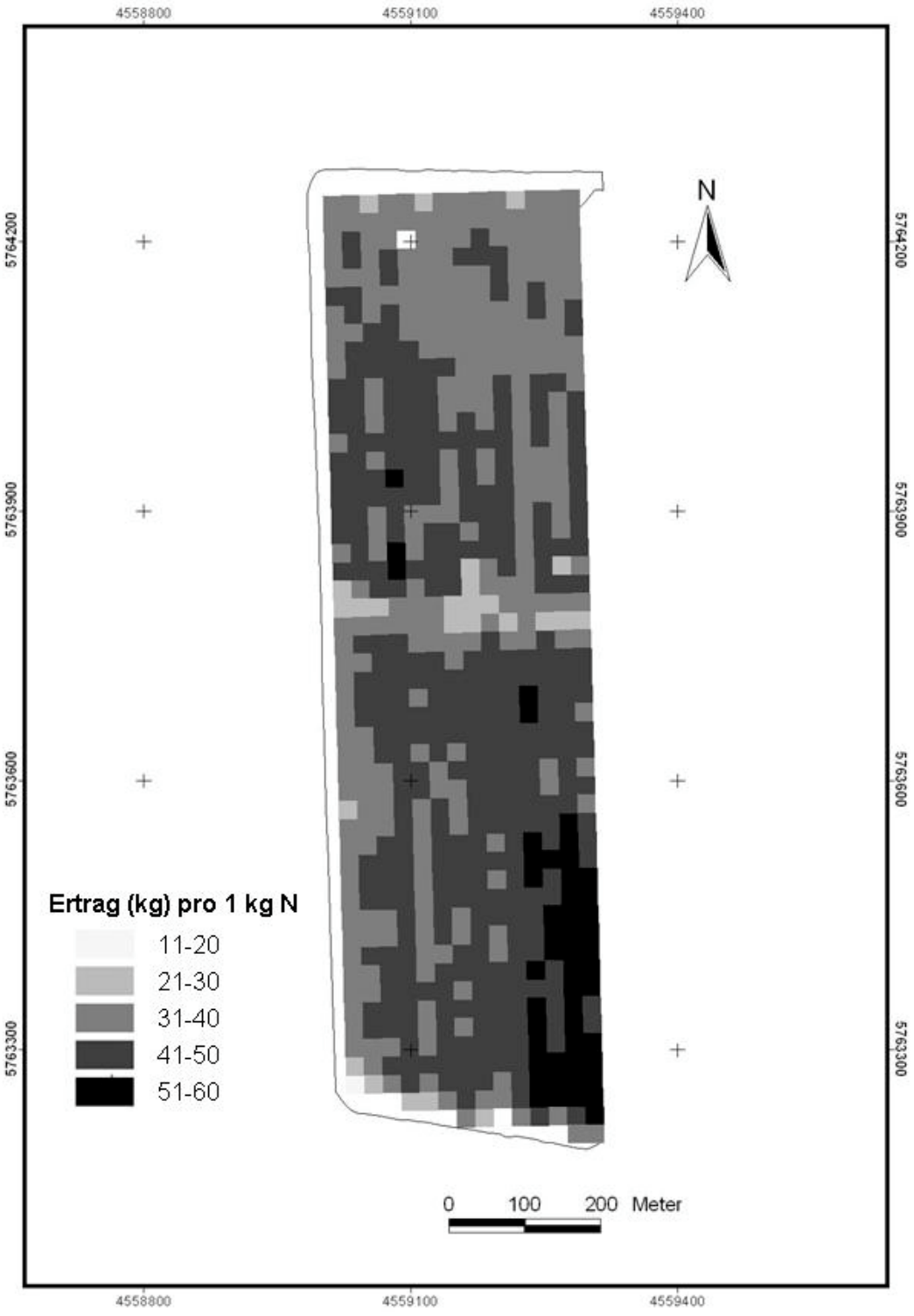


Bild A59: Erträge pro 1 kg N auf dem Schlag Nr. 651.0 (Blönsdorf, 2007)