

**Abschlussbericht Projekt 01HS085**

## **„Integrierte Bekämpfung der Zuckerrübenkrankheiten Mehltau, Rost und Ramularia“**

Berichtszeitraum : 1.3.2007 30.4.2010

Zuwendungsempfänger:

### **ZEPP**

**Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz**

Rüdesheimer Str. 60-68  
55545 Bad Kreuznach

Projektleiter

Dr. Benno Kleinhenz

ZEPP

Tel.: 0671 820 426

Fax: 0671 820 402

Email: kleinhenz@zepp.info

Projektbearbeiter:

Dr. Paolo Racca

Cornelia Braun

### Unterauftragnehmer

#### **IfZ**

**Institut für Zuckerrübenforschung**

Holtenser Landstraße 77  
37079 Göttingen

Projektverantwortlicher:

Dr. Marc Varrelmann

#### **ISIP**

**Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V.**

Rüdesheimer Str. 60-68  
55545 Bad Kreuznach

Projektverantwortlicher:

Dr. Manfred Roehrig

Arbeitsgemeinschaft für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau in Hessen und Rheinland-Pfalz

Rathenaustraße 10  
67547 Worms

## Inhaltsverzeichnis

1. Ziel des Projektes.....	3
1.1. Planung und Ablauf des Projekts .....	4
1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
1.2.1. Einsatz von Prognosemodellen .....	5
1.2.2. Echter Mehltau ( <i>Erysiphe betae</i> (Vaňha) Weltzien) .....	5
1.2.3. Rübenrost ( <i>Uromyces betae</i> (Pers.) Lev).....	7
1.2.4. Ramularia- Blattflecken ( <i>Ramularia beticola</i> Fautr. et Lamb.) .....	8
2. Material und Methoden .....	10
2.1. Modellierung der Schaderregerentwicklung .....	10
3. Ergebnisse .....	14
3.1. Modellierung des Krankheitserstauftretens (ERYBET1, UROBET1, RAMUBET1) .....	14
3.1.1. Datenbasis.....	14
3.1.2. Modellbildung.....	14
3.1.2.1. Überwinterungsmodul.....	14
3.1.2.2. Modulvalidierung.....	19
3.1.2.3. Erstauftrittsprognose .....	24
3.1.2.4. Modulvalidierung.....	26
3.2. Prognosen der Bekämpfungstermine .....	29
3.2.1. Krankheitseffizienz.....	29
3.2.2. Datenbasis.....	29
3.2.3. Modellierung der Krankheitseffizienz für Mehltau .....	29
3.2.4. Modellierung der Krankheitseffizienz für Rost.....	33
3.2.5. Modellierung der Krankheitseffizienz für Ramularia .....	36
3.3. Modellierung der Befallshäufigkeitsverläufe (ERYBET3, UROBET3, RAMUBET3) .....	40
3.3.1. Bekämpfungsschwelle .....	40
3.3.2. Modellierung .....	40
3.3.3. Simulationsstartwert .....	41
3.3.4. Modellierung der Sortenanfälligkeit (Sortenfaktor SF) .....	42
3.3.4.1. Sortenfaktoren Mehltau .....	43
3.3.4.2. Sortenfaktoren für Rost .....	45
3.3.4.3. Sortenfaktoren Ramularia.....	47
3.3.5. Modellvalidierung.....	48
3.3.6. Modellierungen der Fungizidwirkung an Mehltau (Faktor FW) .....	51
3.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	57
4. Zusammenfassung .....	58
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu dem tatsächlich erreichten Zielen.....	59
6. Literaturverzeichnis .....	60

## 1. Ziel des Projektes

Ziel des Projektes war die Entwicklung von Prognosemodellen für die Zuckerrübenblattkrankheiten Mehltau (*Erysiphe betae*), Rost (*Uromyces betae*) und *Ramularia beticola*. Als Basis sollen die Prognosemodelle CERCBET1 und CERCBET3 dienen, die das Erstauftreten bzw. den Epidemieverlauf von *Cercospora beticola* berechnen. Dadurch sollte die Prognose der wichtigsten Blattkrankheiten der Zuckerrübe in einem Entscheidungshilfesystem (EHS) zusammengefasst und unter Einbeziehung der summarischen Bekämpfungsschwelle durch ein integriertes System bekämpft werden.

Durch Prognosemodelle sollen mit großer Treffsicherheit Termine zum Erstauftreten dieser Blattkrankheiten und Zeiträume mit hohem Befallsdruck berechnet werden. Dies wird bei hoher Bekämpfungssicherheit die Reduktion der Bekämpfungsintensität ermöglichen und somit wesentliche Beiträge zur umweltschonenden Landbewirtschaftung leisten, wie sie von der EU Kommission, der Bundesregierung (Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz, siehe S. 52), den Umweltverbänden, den Verbraucherverbänden und den Vertretern der Landwirtschaft gefordert wird. Durch die Einbeziehung der computergestützten Modelle zur Prognose des befallsfreien Zeitraumes und zur Simulation des Epidemieverlaufes und des Epidemiedruckes soll der Aufwand für Feldbeobachtungen verringert und damit die Akzeptanz integrierter Bekämpfungsstrategien bei den Landwirten verbessert werden.

Die Arbeitsschwerpunkte waren im Einzelnen:

- Überprüfung der summarischen Schadensschwelle für *C. beticola*, *E. betae*, *U. betae* und *R. beticola*
- Beobachtung der zeitlichen Abfolge des Auftretens der Blattkrankheiten der Zuckerrübe in Abhängigkeit von Region, Standort, Witterung und Bewirtschaftungsform.
- Entwicklung von Prognosemodellen zur Prognose der befallsfreien Zeiträume, der Befallsverläufe und der Epidemiedrucke für die Mehltau-, Rost- und Ramulariakrankheit anhand von Laborergebnissen sowie und Monitoringdaten aus dem Freiland.
- Datenerhebung und Adjustierung von Regionalfaktoren für einzelne Befallsgebiete, als Voraussetzung für die bundesweite Anwendung von Computersimulationsmodellen.
- Untersuchung zum Einfluss neuer Zuckerrübensorten mit partieller Resistenz gegen Blattkrankheiten auf derzeit praktizierte Bekämpfungskonzepte, insbesondere auf den befallsfreien Zeitraum, den Zeitpunkt des Erreichens der Schadensschwellen und auf den Epidemieverlauf.
- Retrospektive und prospektive Validierung der Prognosemodelle anhand von Daten aus Monitoringaktivitäten der Pflanzenschutzdienste der Länder und Arbeitsgemeinschaften bzw. Zuckerindustrie.
- Untersuchungen zur Wirkungsdauer moderner Blattfungizide zur Vorhersage von Folgebehandlungen.

Zentrales Ziel ist die Integration von Prognosemodellen, Monitoring, Bekämpfungsschwellen und Sortenresistenzen in ein ökonomisch sinnvolles und weitgehend umweltentlastendes Pflanzenschutzsystem und die Entwicklung einer Software für eine interaktive Beratung der Landwirte bei der Bekämpfung von allen Blattkrankheiten in Zuckerrüben.

Durch die Kooperation der in der Beratung tätigen Institutionen soll die integrierte Bekämpfung von Blattkrankheiten essentieller Bestandteil zukünftiger integrierter Zuckerrübenproduktion werden. Die Entscheidungshilfe wird der praktischen Landwirtschaft, wie schon die CERCBET-Modelle, unter [www.isip.de](http://www.isip.de) angeboten werden. Über das ISIP-System ist eine Versorgung der landwirtschaftlichen Betriebe mit allen relevanten Informationen in Zukunft gesichert.



## 1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In den letzten 25 Jahren vollzog sich in der Landwirtschaft ein Strukturwandel. Der Gedanke des Umweltschutzes, sowie der Zwang zum rationalen Wirtschaften führen dazu, dass alte Produktionssysteme neu überdacht werden müssen.

Im Hinblick auf die ökonomische Bedeutung der Zuckerrübe (*Beta vulgaris* var. *Altissima* L.) in der Fruchtfolge nehmen die Blattkrankheiten an Relevanz zu. Insbesondere die durch Pilzbefall hervorgerufenen Blattkrankheiten, wie *Cercospora*, Mehltau, Rost und *Ramularia* treten seit Beginn der neunziger Jahre in verstärktem Maße auf. Diese pilzlichen Krankheitserreger haben einen großen Einfluss auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe (JÖRG & RACCA, 2001; JÖRG, 2001). Gründe für das verstärkte Auftreten dieser Blattkrankheiten sind einerseits eine engere Fruchtfolge, andererseits das Verbleiben der befallenen Rübenblätter, also des Inokulums, auf dem Schlag (WOLF & VERREET, 1997).

Angesichts dieser Situation kann damit gerechnet werden, dass auf produktionstechnischer Seite durch Züchtungsfortschritte, reduzierte Bearbeitungsintensität z. B. in der Bodenbearbeitung und durch Einsparung beim Pflanzenschutz versucht wird, die Wirtschaftlichkeit der Zuckerrübe zu erhalten.

### 1.2.1. Einsatz von Prognosemodellen

Eine Möglichkeit den Fungizideinsatz zu minimieren, ist der Einsatz von Prognosemodellen. In anderen Ackerbau- und vor allem Obstbaukulturen wurden schon sehr gute Erfahrungen mit computergestützten Entscheidungshilfen (Prognosemodelle und Expertensysteme) gesammelt (JÖRG et al., 1999; KLEINHENZ, et al. 2006a und 2006b; KLEINHENZ und SANDER, 2006).

Eine Prognose sagt das Auftreten und den Verlauf einer Krankheit voraus. Sie erlaubt, unter Beurteilung aller in Betracht kommenden Umstände vorausschauend zu entscheiden, ob Gefahr droht, und ob Abwehrmaßnahmen erforderlich sind (HEITEFUSS, 2000).

Besonders im Kartoffel- und Apfelanbau spielen Prognosemodelle eine zentrale Rolle bei der Steuerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (JÖRG et al., 1999). Ziele dieser Modelle sind es, den Zeitbedarf für die Felderhebungen zu minimieren, indem frühe Erhebungen eingespart werden (ROßBERG et al., 2000). Somit kann auch der Zeitbedarf für die Befallserhebungen gesenkt werden. Weiterhin wird eine Optimierung des Bekämpfungstermins angestrebt, d. h. mit einem Prognosemodell sollte der Termin des Überschreitens der Bekämpfungsschwelle und somit der Einsatztermin für die Fungizide mit Sicherheit vorhergesagt werden (JÖRG et al., 1999). Häufig werden Prognosemodelle von Beratungsinstitutionen eingesetzt. Auch bei den Blattkrankheiten der Zuckerrübe soll die Bekämpfung mit Hilfe von Modellen effizienter gestaltet werden.

Mit Hilfe von computergestützten Prognosemodellen können Epidemiebeginn und -verlauf berechnet und vorhergesagt werden. Bis jetzt stehen in Deutschland zwei Modelle zur Prognose von *C. beticola* zur Verfügung (CERC BET1 und 3) (RACCA, et al. 2004; RACCA, et al. 2005).

### 1.2.2. Echter Mehltau (*Erysiphe betae* (Vaňha) Weltzien)

Systematische Stellung: *Ascomycotina*, *Plectomycetes*, *Erysiphales*, *Erysiphaceae*.

In Europa ist diese Krankheit bereits in allen Zuckerrübenanbaugebieten beobachtet worden (AHRENS & BREUSTED, 1984; AHRENS & WELTZIEN, 1980). Kennzeichnend für einen Befall mit Echtem Mehltau ist ein weißes, leicht abwaschbares Pilzgeflecht auf der Ober- und Unterseite der Rübenblätter (ZELLNER et al., 1997). Die Pusteln treten häufig zuerst in der Nähe der Haupt- und Nebenadern auf (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983). Mitunter wachsen sie zusammen und bedecken eine mehr oder weniger große Blattfläche. Bevorzugt befallen werden die mittleren und äußeren Blätter, die bei starker Erkrankung vorzeitig vergilben und schließlich eintrocknen (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983). Der Mehltau bildet an einfachen Trägern an kurzen Ketten, zylindrische Konidien (30 bis 50 x 13 bis 20 µm). Die größte Sporulationsrate für die Konidien wird bei Temperaturen über 15 °C und einer relativen Luftfeuchte von 30 bis 40% erreicht.

Das Temperaturoptimum für die Keimung liegt bei 30 °C, das Minimum bzw. Maximum bei 5° bzw. 35 °C. Die höchste Keimungsrate wird bei 100% relativer Luftfeuchte erreicht, aber noch bei 30 bis 40% relativer Luftfeuchte keimen bis zu 70% der Konidien aus. Die Keimung wird durch Licht positiv beeinflusst und erreicht mittags die höchsten Werte. Der Erreger ist an semiaride und aride Bedingungen sehr gut angepasst. Im Mehltaumyzel entstehen regelmäßige Chasmothecien (95 bis 120 µm) (BRAUN et al., 2002), welche 3 bis 8 Asci mit jeweils 3 bis 5 Ascosporen (18 bis 30 x 12 bis 19 µm) enthalten. Sie können zur Überdauerung ungünstiger Bedingungen beitragen, jedoch ist ihre Bedeutung für den Lebenszyklus des Pilzes (Abb. 1) noch nicht voll aufgeklärt. Im Mittelmeerraum ist eine

Überwinterung auf Wildrüben nachgewiesen (WELTZIEN, 1963; DRANDAREWSKY, 1978; BYFORD 1978)

Die Sporen werden durch Wind im Bestand verbreitet. (ZELLNER et al., 1997). Fördernd für den Echten Mehltau sind eine hohe Stickstoffversorgung der Böden und große Unterschiede in den Tag- und Nachttemperaturen (LIZ, 2001). Ungünstige Perioden kann der Pilz mit Fruchtkörpern überdauern. Im Winter überlebt der Pilz meist nicht. Die Sporen werden im neuen Jahr vermutlich über größere Entfernungen angeweht (HEITEFUSS et al., 1987).

*E. betae* ist auf Beta-Arten spezialisiert; der begrenzte Wirtskreis ist ein wichtiges Merkmal zur Artabgrenzung. Früher wurde der Erreger als *E. communis* oder *E. polygoni* beschrieben. Neben Zucker-, Futterrübe und Mangold werden *B. vulgaris* ssp. *maritima*, *B. trigyna*, *B. corolliflora*, *B. patellaris*, *B. patula* und *B. rara* befallen (WELTZIEN, 1963).

Die Termine des regionalen Erstauftretens des Rübenmehltaus variieren erheblich (DRANDAREWSKI, 1969a, 1969b, 1969c, 1978). Mehltau – Epidemien laufen extrem schnell ab (HILLS et al., 1975; HILLS et al., 1980; AYALA & GORDO, 1998; MAIER & LANG, 2001). Die Ertragsminderungen können maximal bis zu 25% bei den Rüben, 50% bei der Blattmasse und 24% beim Zuckerertrag erreichen (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983). Verluste, die geringer als 10% beim Zuckerertrag sind, werden durch Epidemien, die ab Mitte August beginnen erreicht (AHRENS & BREUSTED, 1984; AHRENS & WELTZIEN, 1980; WOLF, 2002). Ein Anbau von besonders anfälligen Sorten kann einen Befall in trockenwarmen Sommerperioden begünstigen (DRANDAREWSKI, 1969a, 1969b, 1969c, 1978; MUKHOPADHYAY, 1987; LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN, 2000).

Um Ertragverluste zu verringern sind daher Fungizidanwendungen notwendig (SKOYEN et al., 1975; WELTZIEN and AHRENS, 1977; AHRENS and WELTZIEN, 1980; CIONI et al., 1996). Der optimale Termin für die erste Fungizidspritzung ist erreicht, wenn erste kleine weiße Flecken erscheinen (PAULUS et al., 1975; BYFORD, 1978; MEEUS, 1976; HRUBESCH, 1979; ASHER, 1986).

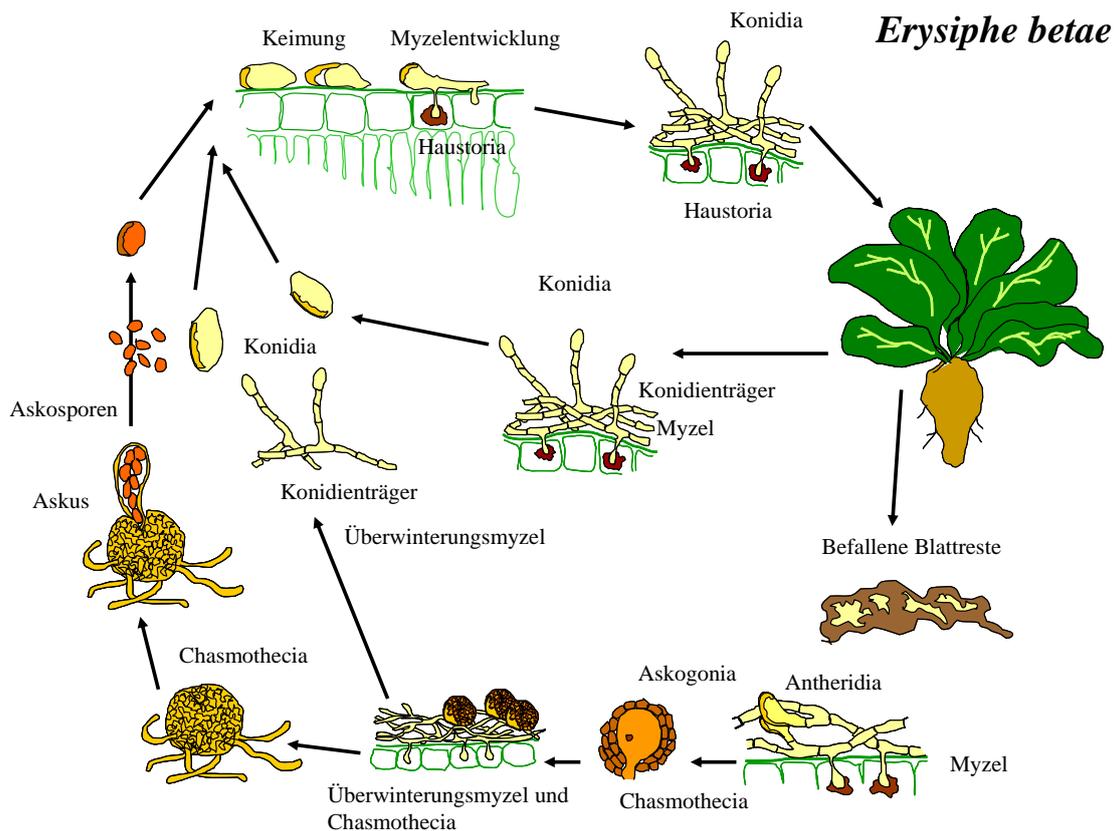


Abbildung 1. *Erysiphe betae* – Befallszyklus (RACCA 2008)

### 1.2.3. Rübenrost (*Uromyces betae* (Pers.) Lev)

Systematische Stellung: *Basidiomycotina, Teliomycetes, Uredinales*

Die Bedeutung des Rübenrostes hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Es wird angenommen, dass der Schaden des Rübenrostes, aufgrund seines sporadischen und in der Regel späten Auftretens, meist wenig ins Gewicht fällt (KURTZ, 1988, HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983; BÜRCKY & LANG, 2000). Allerdings existieren auch Untersuchungen aus Dänemark und Irland, die gezeigt haben, dass der Rübenrost bedeutende Verluste im Rübenertrag, sowie in der Rübenqualität verursachen kann (SØRENSEN & MARCUSSEN, 1996, O'SULLIVAN, 1996, O'SULLIVAN, 1997).

Versuche in Dänemark haben gezeigt, dass durch Fungizideinsatz ein Mehrertrag von 1,1 bis 4,6 t/ha erzielt werden konnte. Außerdem konnte der Zuckergehalt erhöht, sowie der schädliche Amino-N Gehalt gesenkt werden (SØRENSEN & MARCUSSEN, 1996). Auch aus Irland existieren Untersuchungen, die die Schadwirkungen des Pilzes analysieren. Durch eine Fungizidapplikation konnte in Irland ein Mehrertrag von bis zu 6,1 t/ha erzielt werden. Beim Zuckergehalt und der Zuckerextrahierbarkeit konnte ebenfalls eine Steigerung erreicht werden (O'SULLIVAN, 1996; O'SULLIVAN, 1997). Versuche in Irland haben ergeben, dass eine einmalige Fungizidbehandlung mit systemischen Mitteln ausreicht, um den Rübenrost gut bekämpfen zu können (O' Sullivan, 1996).

Zu Befallsbeginn bilden sich auf der Blattober- und Unterseite ca. 1 mm große rostbraune Pusteln aus. Um die Pusteln herum entsteht ein aufgehellter gelblicher Rand (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983). Bei starkem Befall ist auf dem Rübenblatt ein flächiger, rostbrauner Befall zu erkennen. Die vergilbten und gekräuselten Blätter vertrocknen und sterben ab (LIZ, 2001).

Der Rostpilz *U. betae* durchläuft einen vollen Entwicklungszyklus (Abb. 2); die Spermogonien bilden sich blattoberseits in Gruppen stehend auf jungen Rübenpflanzen oder Samenträgern im Frühjahr; blattunterseits entstehen kreisförmig angeordnet, weißliche Aecidien. Die bis 1 mm großen Uredolager sind über die Blattfläche verstreut und oft um eine zentrale Pustel angelegt. Ende des Sommers bilden sich dickwandige, einzellige, ovale Teleutosporen (26 bis 30 x 18 bis 22 µm), welche mit Blattresten, am Saatgut oder an Stecklingen überdauern können und im Frühjahr Basidiosporen freisetzen. Der Rübenrost ist empfindlich gegenüber höheren Temperaturen und die Uredosporenkeimung verläuft bei hoher Feuchtigkeit zwischen 10 bis 22 °C. Stärkere Rostentwicklung tritt bei 15 bis 22 °C ein (PUNITHALINGAM, 1968). Alle Sporenarten werden durch Wind und Regen im Bestand verbreitet (HEITEFUSS et al., 2000).

Der Rübenrost befällt neben Zucker- und Futterrüben auch Rote Rüben, Spinat und Mangold sowie *B. vulgaris* ssp. *maritima*, *B. cycla* und *B. rapa*.

Nach KURTZ (1988) und HOFFMANN & SCHMUTTERER (1983) sind in der Regel Einzelpflanzen stark befallen, während im übrigen Bestand noch kein Befall zu ermitteln ist. Diese Aussage bestätigte sich in eigenen Untersuchungen nicht. Ein starker Befall von Einzelpflanzen war nicht zu beobachten. Meist ist im gesamten Bestand ein schwacher bis mittlerer Befall bereits festzustellen, bevor auf Einzelpflanzen Starkbefall auftritt.

Es gibt auch Untersuchungen, die Interaktionen zwischen verschiedenen Blattkrankheiten festgestellt haben. Einen Antagonismus zwischen *E. betae* und *U. betae* wurde schon 1969 in einem Feldexperiment beobachtet (RUSSEL, 1969).

Aus eigenen Beobachtungen geht die Vermutung hervor, dass bei Pflanzen, die mit Rübenrost befallen sind, die Anfälligkeit für Mehltau wesentlich stärker ist. So waren bei Befallsbeginn Mehltaukolonien häufig um Rostpusteln herum festzustellen. Ein Befall mit der Blattkrankheit *C. beticola* erfolgt meist früher als der Befall mit *U. betae*. Eine Konkurrenz um Blattfläche ist also vorhanden. Daraus ergibt sich die große Bedeutung der Interaktionen zwischen den verschiedenen Blattkrankheiten und die Notwendigkeit diese intensiver zu untersuchen.

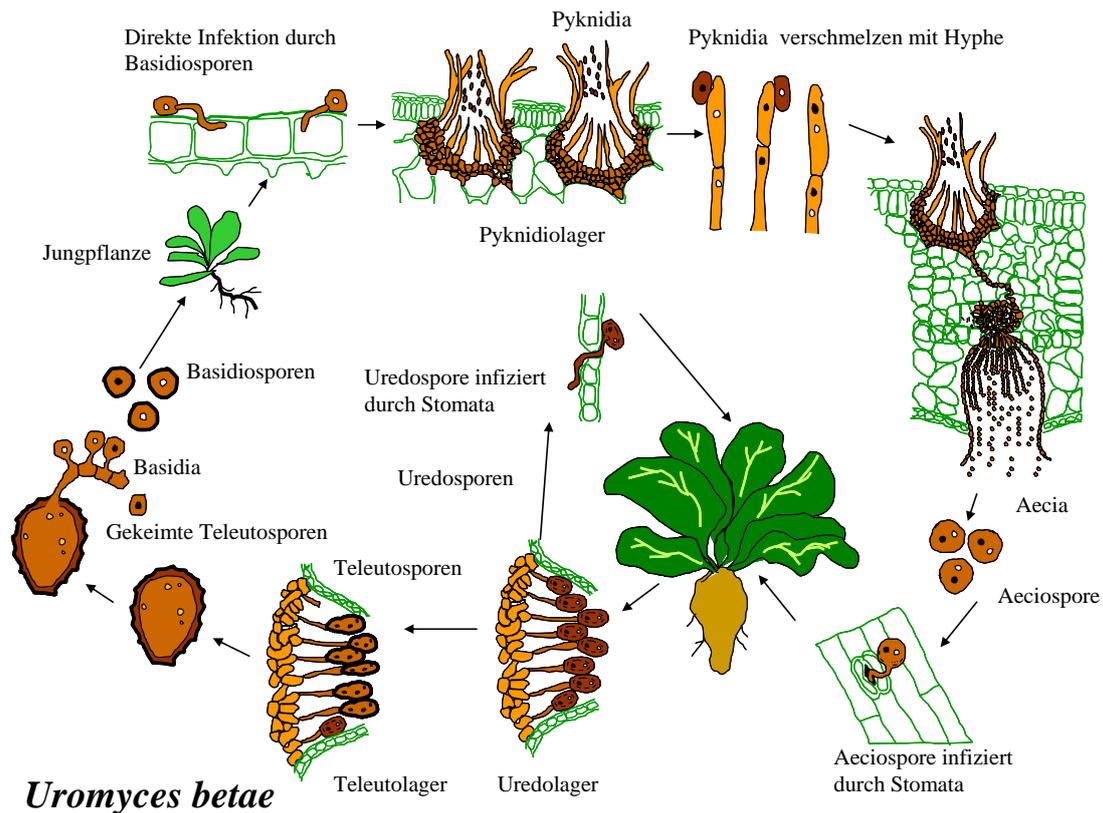


Abbildung 2. *Uromyces betae* – Befallszyklus (RACCA 2008)

#### 1.2.4. Ramularia- Blattflecken (*Ramularia beticola* Fautr. et Lamb.)

Systematische Stellung: *Deuteromycotina, Hyphomycetales, Moniliaceae*

*R. beticola* wurde in Deutschland erstmals 1928 von WENZEL (1931) als Erreger von Blattflecken an Beta-Rüben beschrieben. WIESNER (1967) fand den damals im Rheinland vereinzelt festgestellten Pilz 1966 auch in der Magdeburger Börde und in der Altmark, wobei auch hier die geringe Befallsstärke keine Ertragsverluste erwarten ließ. Der erste Bericht über ein epidemisches Auftreten der *Ramularia*-Blattfleckenkrankheit stammt von ROSTRUP aus Dänemark aus dem Jahre 1902 (WENZEL 1931).

Ein erstes epidemisches Schadaufreten wurde Ende Oktober 1981 im Rheinland (KIEWNICK 1983) und in Nordostniedersachsen beschrieben (MAYKUHS 1982). Im darauf folgenden Jahr 1982 berichtet KÖNIG (1983) über ein großflächiges Schadaufreten der *Ramularia*-Blattfleckenkrankheit bereits ab Ende Juli in den typischen *Cercospora*-Lagen Ostbayerns.

Auf den Blättern entstehen unregelmäßige, eckige oder runde Nekrosen von 5 bis 8 mm Durchmesser (deutlich größer als bei *C. beticola*). Die Pflanze versucht den Blattverlust durch Neubildung auszugleichen; bei schwerem Befall bleibt die Rübe kleiner und entwickelt einen erhöhten Kopf (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983).

Auf den Blattflecken entsteht blattunterseits ein flaumartiges Myzel mit einfachen, büscheligen Sporenträgern, die in kurzen Ketten ein- bis zwei zellige, gestreckte, an den Enden zugespitzte oder auch birnenförmige Konidien (8-15 x 5-15 µm) bilden. Optimale Keimungs- und Entwicklungsbedingungen liegen bei 18-20 °C und hoher Feuchte vor (HESTBJERG et al. 1994; FRANCIS, 2000). Bei Temperaturen von 25 °C und höher kann sich die Krankheit nicht entwickeln (HESTBJERG et al. 1994). Feuchte und relativ kühle Sommer bzw. Herbst sind für den Erreger günstig (ASHER & WILLIAMS 1992). Die Infektion erfolgt über Stomazellen; der Erreger parasitiert im Schwammparenchym; die Konidienträger brechen aus den nekrotischen Flecken blattunterseits hervor. Die Inkubationszeit liegt bei 17 °C etwa um 16-18 Tage. Epidemische Ausbreitung ist daher kurzfristig möglich (Abb. 3). Die Überwinterung erfolgt auf Blattrückständen oder Rübenköpfen; Samenübertragung scheint möglich zu sein, dürfte aber wegen allgemein vorgenommener Beizung ohne Bedeutung bleiben (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983).

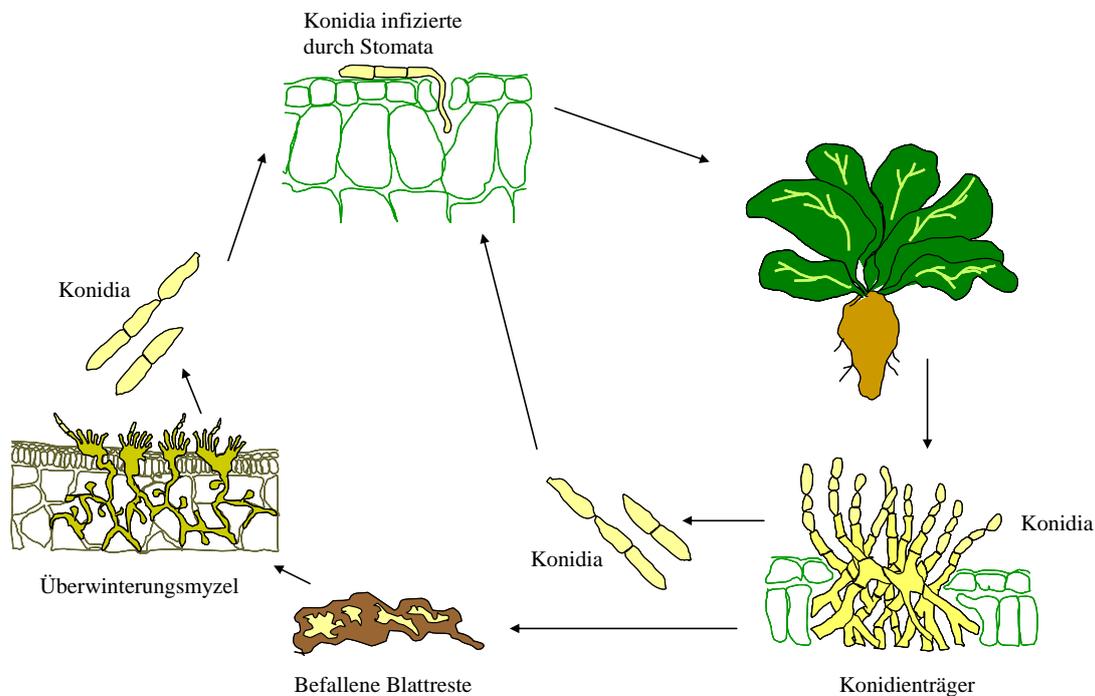
Das Hauptverbreitungsgebiet von *R. beticola* ist daher an eher maritim beeinflusste Klimate gebunden (z. B. Britische Inseln, Dänemark, Norddeutschland, Japan) (BYFORD, 1975; FUJII et al. 1985; AHRENS, 1987; ASCHER & WILLIAMS, 1992; HESTBJERG & DISSING 1994). Selten tritt der Erreger in Regionen mit wärmeren Sommer auf (USA, Ukraine, Süddeutschland) (WIESNER, 1967; AHRENS 1987).

Zur Gattung *Ramularia* werden zahlreiche Spezies gezählt, die weitgehend alle Blattparasiten sind. Eine kritische taxonomische Bearbeitung steht noch aus, so dass über die Wirtsspezifität von *R. beticola* keine genauen Vorstellungen vorliegen. Neben Zucker- und Futterrüben können wahrscheinlich noch nahe verwandte Chenopodiaceen befallen werden. Die einzelnen Rübensorten zeigen Unterschiede in der Anfälligkeit (ADAMS, 1998; ADAMS et al., 1995; PETERSEN et al., 2001).

Pflanzenbaulich wirken sich enge Fruchtfolgen und Beregnung positiv auf eine *Ramularia*-Epidemie aus (LIZ, 2001).

Die Bekämpfungsschwellen sind momentan identisch mit denen von *C. beticola* (ZELLNER et al., 1997). Fungizide, die eine Wirkung gegen *C. beticola* zeigen, können auch zur Bekämpfung von *R. beticola* eingesetzt werden (HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983).

In den letzten Jahren hat diese Krankheit in Deutschland an Bedeutung gewonnen. Besonders im Samenrübenanbau ist sie von größerer Bedeutung. An Fabrikrüben verursacht sie nur geringere, regional begrenzte Einbußen (HEITFUSS et al., 1987). Die Ertrags- und Qualitätseinbußen sind teilweise ähnlich hoch wie bei *C. beticola* (ZELLNER et al., 1997). Die Zuckerertragverluste können je nach Befallszeitdauer 8 bis 25% betragen (AHRENS, 1987).



### *Ramularia beticola*

Abbildung 3. *Ramularia beticola* – Befallszyklus (RACCA 2008)

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Modellierung der Schaderregerentwicklung

Ziel der Entwicklung ist die Empfehlung geeigneter Fungizidstrategien mit Hilfe von Prognosemodellen. Die Prognosemodelle tragen den Namen ERYBET (Simulation von *Erysiphe betae*), UROBET (Simulation von *Uromyces betae*) und RAMBET (Simulation von *Ramularia beticola*).

Im ersten Schritt wurden die Befallszyklen der drei Krankheiten als Vorlage für die Modelle verwendet und in einem allgemeinen Strukturdiagramm nach einer Methode von LEFFELAER and FERRARI (1989) zusammengestellt (Abb. 4 - 6 und Tab. 1 - 3).

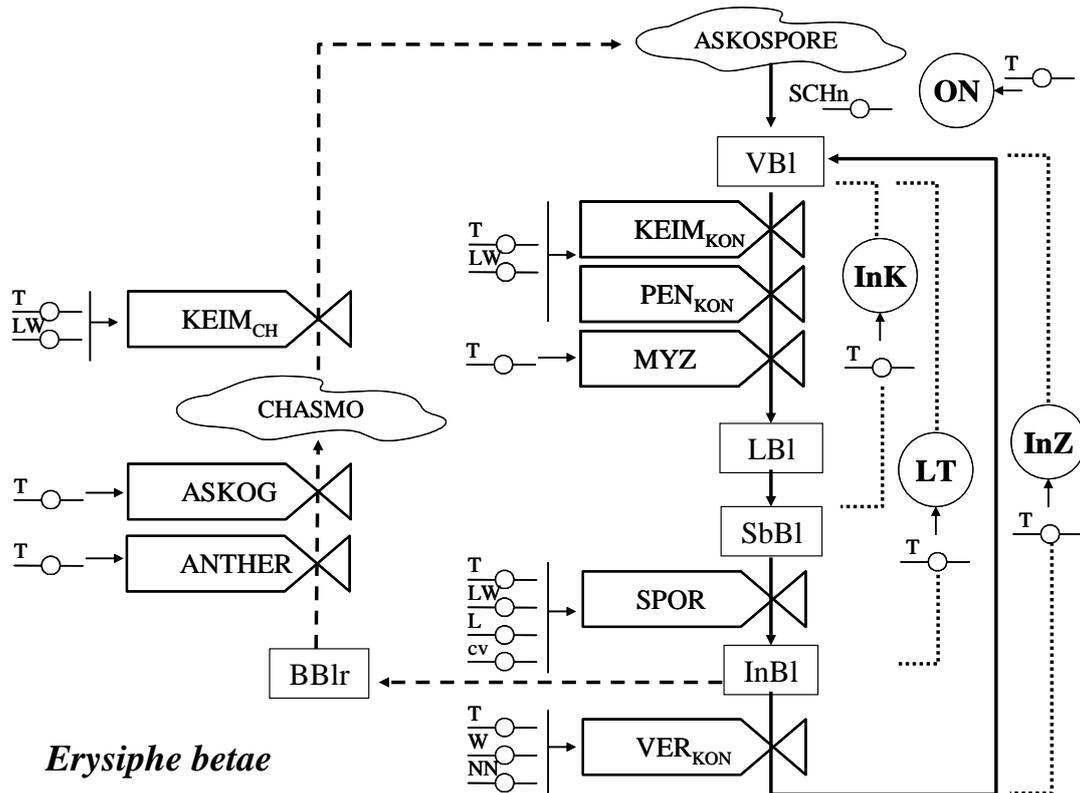


Abbildung 4. Vollständiges ERYBET - Strukturdiagramm zur Epidemiologie von *E. betae*.

Tabelle 1. Parameter und Variablen des ERYBET – Modells

<b>Zustandsvariablen</b>	
VBI	Verfügbare Blattfläche
LBI	Latent befallene Blattfläche
SbBI	Sichtbar befallene Blattfläche
InBI	Infektiöse Blattfläche
BBIr	Befallene Blattreste
ASKOSPORE	Askosporen (Primär Inokulum)
CHASMO	Chasmothecien (Überwintertes Inokulum)
<b>Zustandsveränderungs Variablen</b>	
KEIM <sub>KON</sub>	Konidien/Askosporen- Keimungsrate
PEN <sub>KON</sub>	Konidien/Askosporen- Penetrationsrate
MYZ	Myzelwachstumsrate
SPOR	Sporulationsrate
VER <sub>KON</sub>	Konidien- Verteilungsrate
ANTHER	Antheridien- Wachstumsrate
ASKOG	Askogonien- Wachstumsrate
KEIM <sub>CH</sub>	Chasmothecien- Keimungsrate
<b>Hilfsvariablen</b>	
ON	Ontogenese Zuckerrüben
InK	Inkubationszeit
LT	Latenzzeit
InZ	Infektiöse Zeit
<b>Parameter</b>	
T	Temperatur
LW	Blattnässedauer
L	Licht
W	Wind
NN	Niederschlag
Cv	Sortenanfälligkeit
SCHn	Schlagspezifische Faktoren

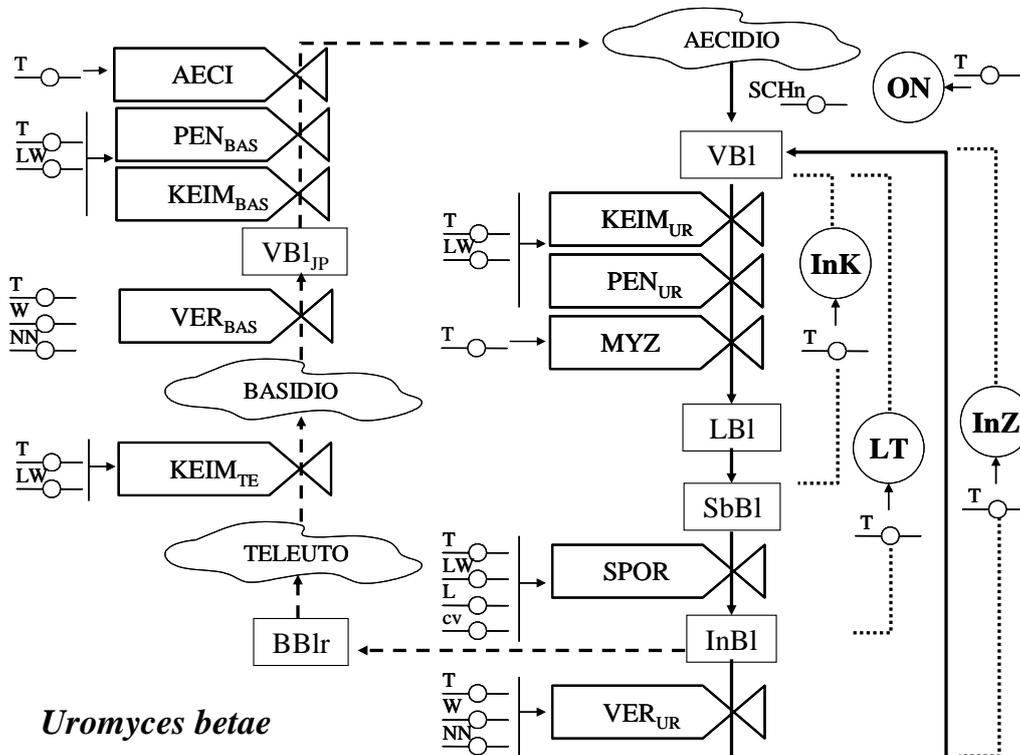


Abbildung 5. Vollständiges UROBET - Strukturdiagramm zur Epidemiologie von *U. betae*.

Tabelle 2. Parameter und Variablen des UROBET – Modells

<b>Zustandsvariablen</b>	
VBI	Verfügbare Blattfläche
LBI	Latent befallene Blattfläche
SbBI	Sichtbar befallene Blattfläche
InBI	Infektiöse Blattfläche
BBIr	Befallene Blattreste
VBI <sub>JP</sub>	Verfügbare Blattfläche (Junge Pflanze)
AECIDIO	Aecidiosporen (Primär Inokulum)
TELEUTO	Teleutosporen (Überwintertes Inokulum)
BASIDIO	Basidiosporen
<b>Zustandsveränderungs Variablen</b>	
KEIM <sub>UR</sub>	Uredospore/Aecidiosporen- Keimungsrate
PEN <sub>UR</sub>	Uredospore/Aecidiosporen- Penetrationsrate
MYZ	Myzelwachstumsrate
SPOR	Sporulationsrate
VER <sub>UR</sub>	Uredosporen- Verteilungsrate
KEIM <sub>TE</sub>	Teleutosporen- Keimungsrate
VER <sub>BAS</sub>	Basidiosporen- Verteilungsrate
KEIM <sub>BAS</sub>	Basidiosporen- Keimungsrate
PEN <sub>BAS</sub>	Basidiosporen- Penetrationsrate
AECI	Aecidien- Wachstumsrate
<b>Hilfsvariablen</b>	
ON	Ontogenese Zuckerrüben
InK	Inkubationszeit
LT	Latenzzeit
InZ	Infektiöse Zeit
<b>Parameter</b>	
T	Temperatur
LW	Blattnässedauer
L	Licht
W	Wind
NN	Niederschlag
Cv	Sortenanfälligkeit
SCHn	Schlagspezifische Faktoren

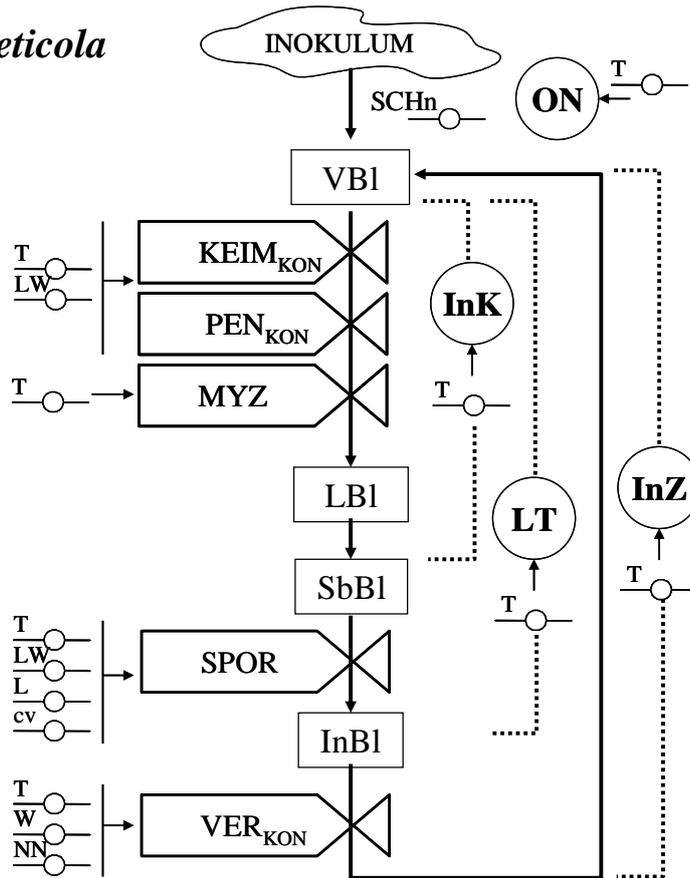
*Ramularia beticola*Abbildung 6. Vollständiges RAMUBET - Strukturdiagramm zur Epidemiologie von *R. beticola*.

Tabelle 3. Parameter und Variablen des RAMUBET – Modells

<b>Zustandsvariablen</b>	
VBI	Verfügbare Blattfläche
LBI	Latent befallene Blattfläche
SbBI	Sichtbar befallene Blattfläche
InBI	Infektiöse Blattfläche
INOKULUM	Primär Inokulum
<b>Zustandsveränderungs Variablen</b>	
KEIM	Konidien- Keimungsrate
PEN	Konidien- Penetrationsrate
MYZ	Myzelwachstumsrate
SPOR	Sporulationsrate
VER	Konidien- Verteilungsrate
<b>Hilfsvariablen</b>	
ON	Ontogenese Zuckerrüben
InK	Inkubationszeit
LT	Latenzzeit
InZ	Infektiöse Zeit
<b>Parameter</b>	
T	Temperatur
LW	Blattnässedauer
L	Licht
W	Wind
NN	Niederschlag
Cv	Sortenanfälligkeit
SCHn	Schlagspezifische Faktoren

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Modellierung des Krankheitserstauffretens (ERYBET1, UROBET1, RAMUBET1)

##### 3.1.1. Datenbasis

Die Daten zum Auftreten der Krankheiten wurden von den PSD der Länder durch ein jährliches regionales Zuckerrübenmonitoring gesammelt und in die Datenbank ISIP seit 2004 integriert (Tabelle 4).

Tabelle 4. Datenbasis für Modellbildung

Jahr	bonitiertes Krankheitserstauffreten (Standorte)		
	Mehltau	Rost	Ramularia
2004	99	154	36
2005	100	94	49
2006	64	41	26
2007	127	151	77
2008	149	103	46
2009	134	123	65
Summe	673	666	299

Um ein breiteres Spektrum an Datenvariabilität für die statistische Analyse und Modellbildung zu erhalten, wurde die Datenbasis mit einem einfachen randomisierten Algorithmus in zwei Teile unterteilt: ca. 50 % für den Modellaufbau und die restlichen 50 % für die Modell Validierung.

##### 3.1.2. Modellbildung

Um eine genauere Vorhersage des Auftretens der Krankheiten durchzuführen, wurden die Erstauffretensmodelle in jeweils zwei Sub-Modelle bzw. Module aufgeteilt:

1. Überwinterung / Verfügbarkeit des Primär-Inokulums vor der Zuckerrüben Saison.
2. Erstauffretensprognose in der laufenden Zuckerrüben Saison.

###### 3.1.2.1. Überwinterungsmodul

Das Krankheitserstauffreten hängt zum einen von günstigen Witterungsbedingungen für eine Infektion und zum anderen von der Verfügbarkeit des Primärinokulums ab.

Das Inokulum der drei pilzlichen Schaderreger überlebt, von einer Saison zur nächsten, in Form von Sporen (Konidien, Uredosporen und Kleistotecien) oder Myzel in Ernterückständen der Zuckerrübe, die sich auf und im Boden befinden. Die Menge des verfügbaren Inokulums zu Beginn einer Saison ist stark abhängig von der winterlichen Witterung.

Hauptinflussfaktoren, die die Überwinterungsformen des Pilzes inaktivieren können, sind niedrige Temperaturen und der Niederschlag, welcher die Sporen von infizierten Ernterückständen in den Boden abwäscht. Aufgrund dessen wurden die folgenden Parameter während der Wintersaison (1. Oktober bis 30. April) bewertet:

- Summe der minimalen Temperaturen (Kältesumme);
- Anzahl der Frosttage (Tage mit minimaler Temperatur  $<0^{\circ}\text{C}$ );
- Niederschlagsmenge (mm);
- Anzahl der Tage mit Niederschlag  $>0.2$  mm (Regentage)

Die Parameter wurden korreliert mit einem frühen (bis zur 31. Kalenderwoche – Zeitraum bis Ende Juli, im folgenden Text als Klasse\_EA\_1 bezeichnet) und einem späten (ab der 31. Kalenderwoche-Zeitraum ab Anfang August, im folgenden Text als Klasse\_EA\_2 bezeichnet) Krankheitserstauffreten. Die Daten werden in Form von „Box-Plots“-Analysen in Abbildung 7-9 zusammengefasst.

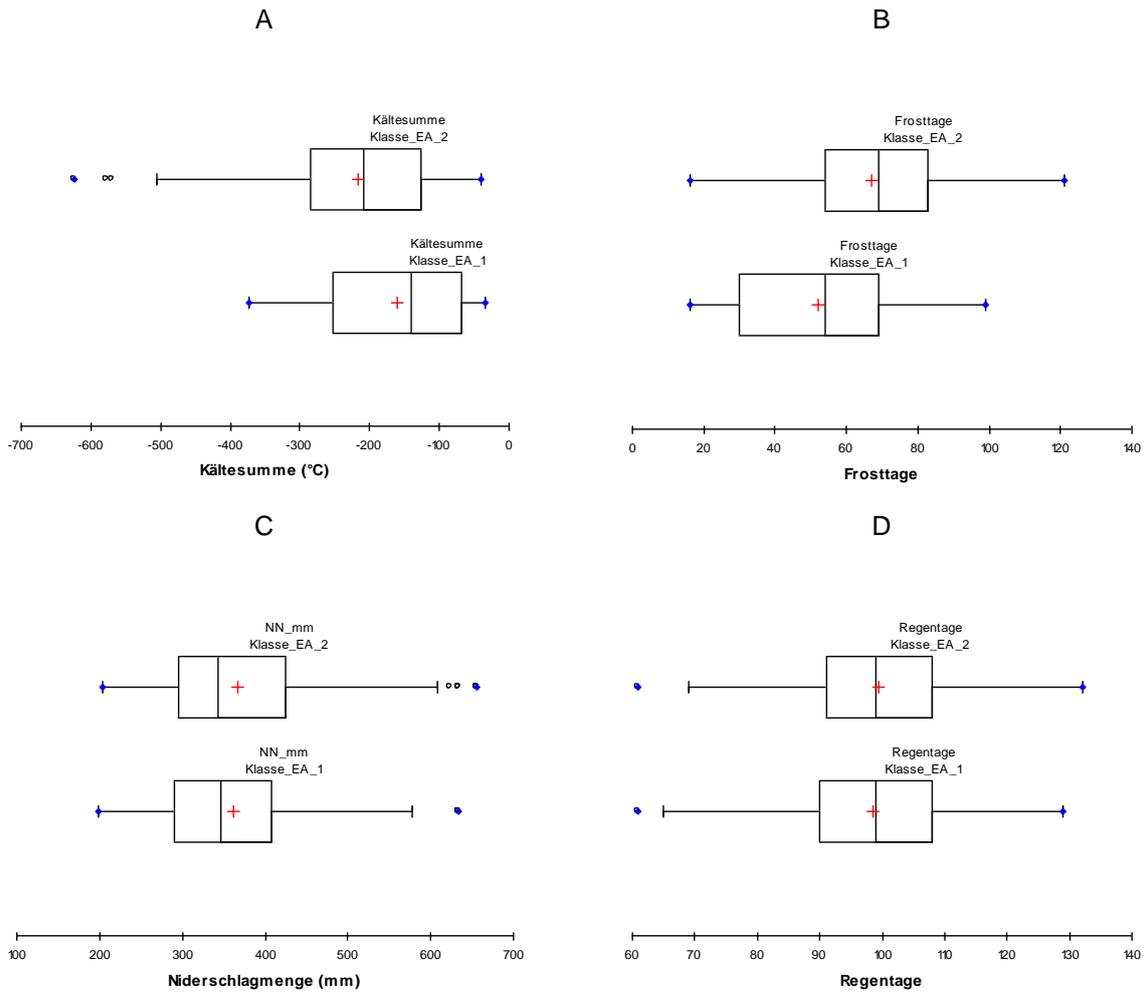


Abbildung 7: Einfluss der Kältesumme (A), Frosttage (B), Niederschlagsmenge (C) und Regentage (D) für das Mehltau Erstauftreten (frühe Klasse: EA\_Klasse\_1, vor 31. Kalenderwoche; späte Klasse: EA\_Klasse\_2, ab 31. Kalenderwoche) (n = 673).

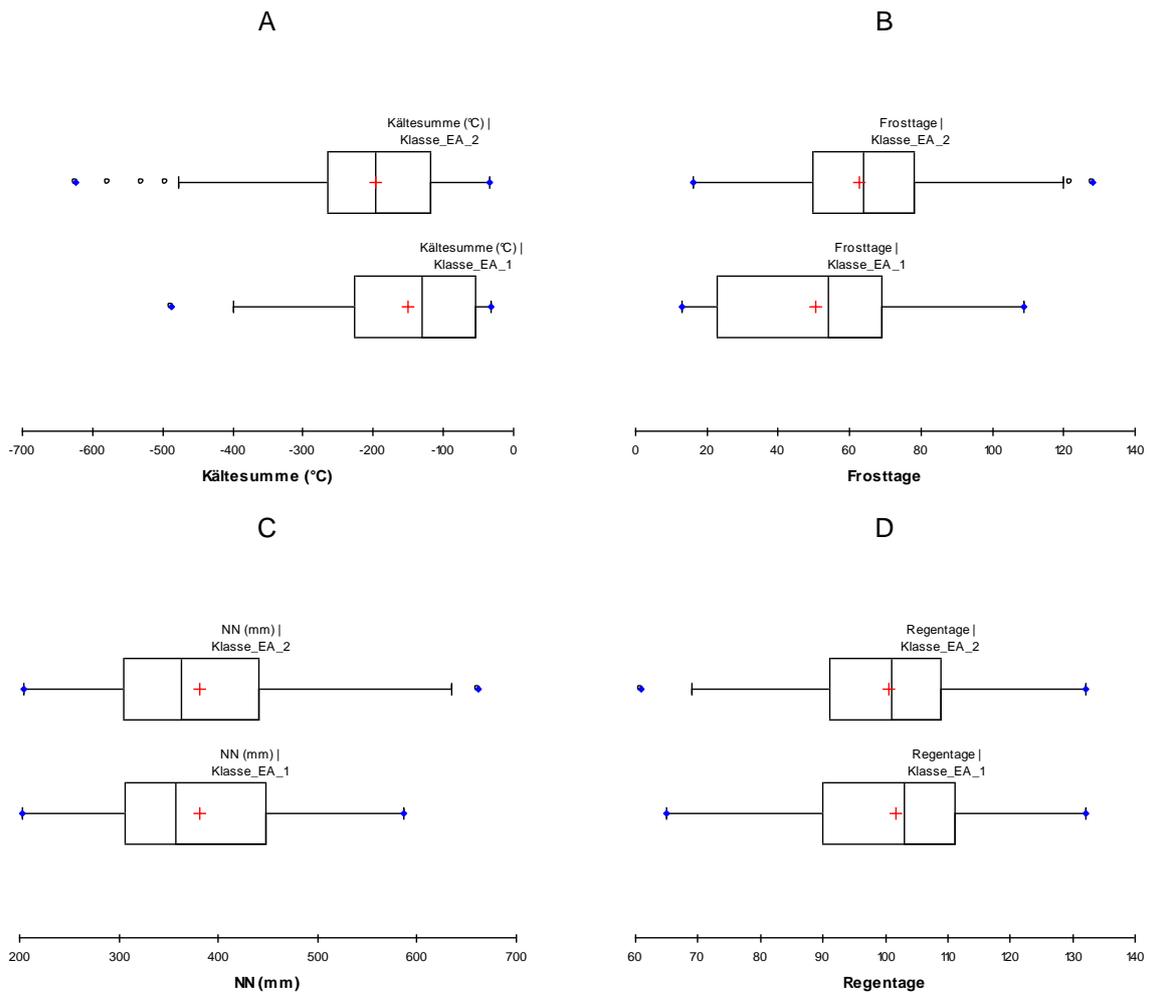


Abbildung 8: Einfluss der Kältesumme (A), Frosttage (B), Niederschlagsmenge (C) und Regentage (D) auf das Rost Erstaufreten (frühe Klasse: EA\_Klasse\_1, vor 31. Kalenderwoche; späte Klasse: EA\_Klasse\_2, ab 31. Kalenderwoche) (n = 666).

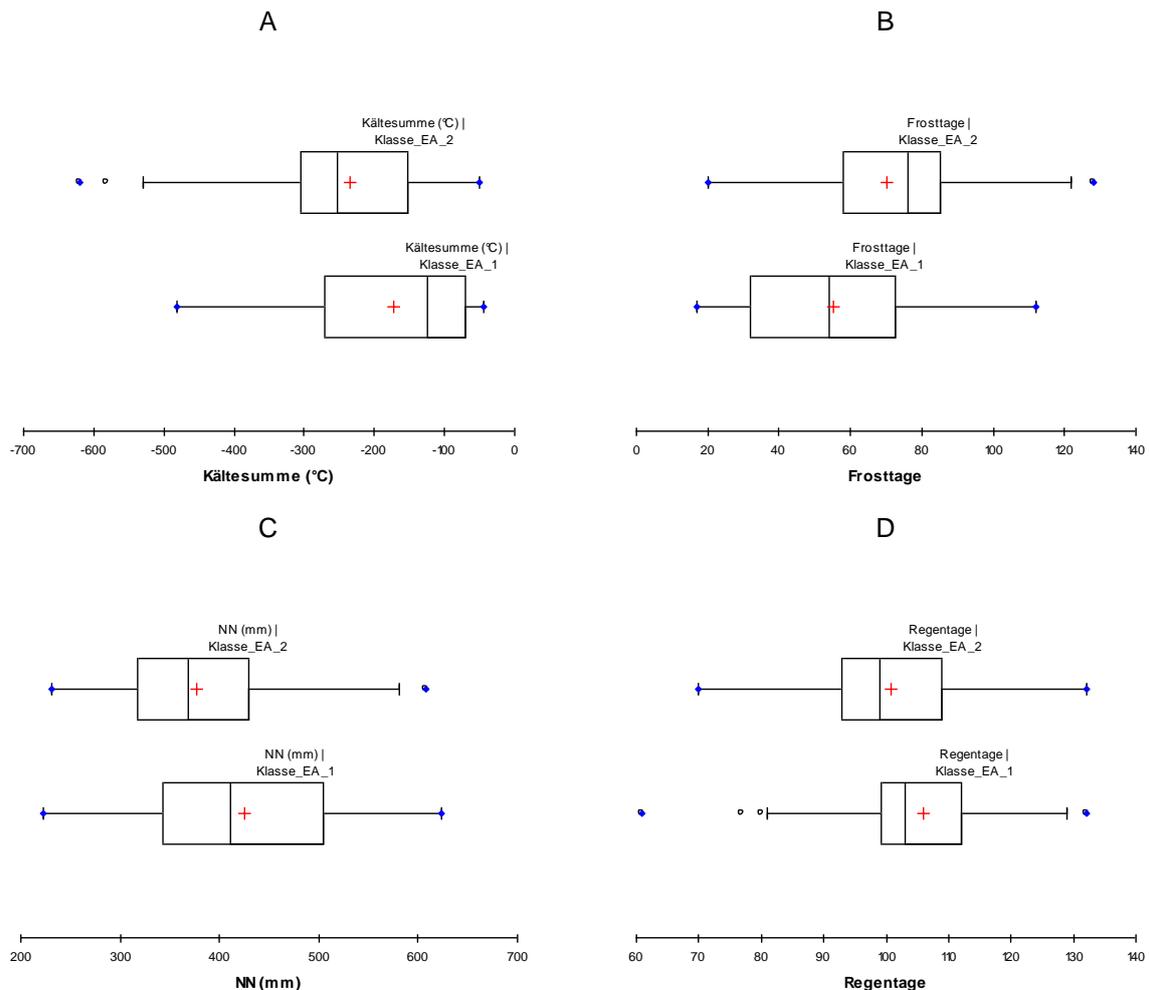


Abbildung 9: Einfluss der Kältesumme (A), Frosttage (B), Niederschlagsmenge (C) und Regentage (D) auf das Ramularia Erstauftreten (frühe Klasse: EA\_Klasse\_1, vor 31. Kalenderwoche; späte Klasse: EA\_Klasse\_2, ab 31. Kalenderwoche) (n = 299).

Die Daten wurden mit einer binär multiplen logistischen Regressionsanalyse korreliert, um ein frühes oder spätes Auftreten der Krankheit in Abhängigkeit von winterlichen Bedingungen prognostizieren zu können (Madden et al., 2007).

Die Logistische Regression wird wie folgt berechnet:

$$Y = 1 / (1 + \text{EXP}(- (a + p1 * \text{Kältesumme} + p2 * \text{Frosttage} + p3 * \text{NN} + p4 * \text{Regentage})))$$

Wobei:

Y = Wahrscheinlichkeit Klasse\_EA

a = Achsenabschnitt

p1 – p4 = Regressionsparameter

Die Analyse der Koeffizienten der Regression zeigt, dass die Parameter Anzahl der Frosttage, Kältesumme und Niederschlagsmenge die Faktoren sind, die am besten das Auftreten der beiden Klassen diskriminieren. Die Anzahl der Regentage hingegen hat keinen Einfluss auf die Trennung der zwei Erstauftretensklassen.

Das Ergebnis einer binären logistischen Regression ist ein Wert zwischen 0 und 1. Notwendigerweise muss ein Schwellenwert oder „Cut-off“-Wert definiert werden, der die Einzelfälle in eine der beiden Klassen eingrenzt. Je nachdem welcher „Cut-off“-Wert für die Klassifizierung der Daten gewählt wird, können folgende Einstufungsfälle definiert werden:

- falsch Negative: Werte der EA\_Klasse\_1 werden eingestuft in EA\_Klasse\_2 (Unterschätzung)
- richtig Negative: Fälle korrekt in EA\_Klasse\_1 eingestuft
- richtig Positive: Fälle korrekt in EA\_Klasse\_2 eingestuft
- falsch Positive: Werte der EA\_Klasse\_2 werden eingestuft in EA\_Klasse\_1 (Überschätzung)

Die Schätzung der „Cut-off“-Werte wird so gewählt, dass die Quote von falsch Positiven und falsch Negativen minimiert wird.

Die Modellgüte wird unter Verwendung einer ROC-Kurve ausgewertet (Madden et al., 2007).

Die ROC-Kurve (Receiver Operating Characteristic) erlaubt es die Performanz des Modells zu visualisieren und darüber hinaus die Performanz mit denen anderer Modelle zu vergleichen.

Für jeden möglichen „Cut-off“-Wert ermittelt man die resultierenden relativen Häufigkeitsverteilungen in Form von Sensitivität (Richtigpositiv-Rate) und Spezifität (Richtignegativ-Rate). In einem Diagramm trägt man Sensitivität (Richtigpositiv-Rate) als Ordinate und 1 - Spezifität (= Falschpositiv-Rate) als Abszisse ein (Abb. 10).

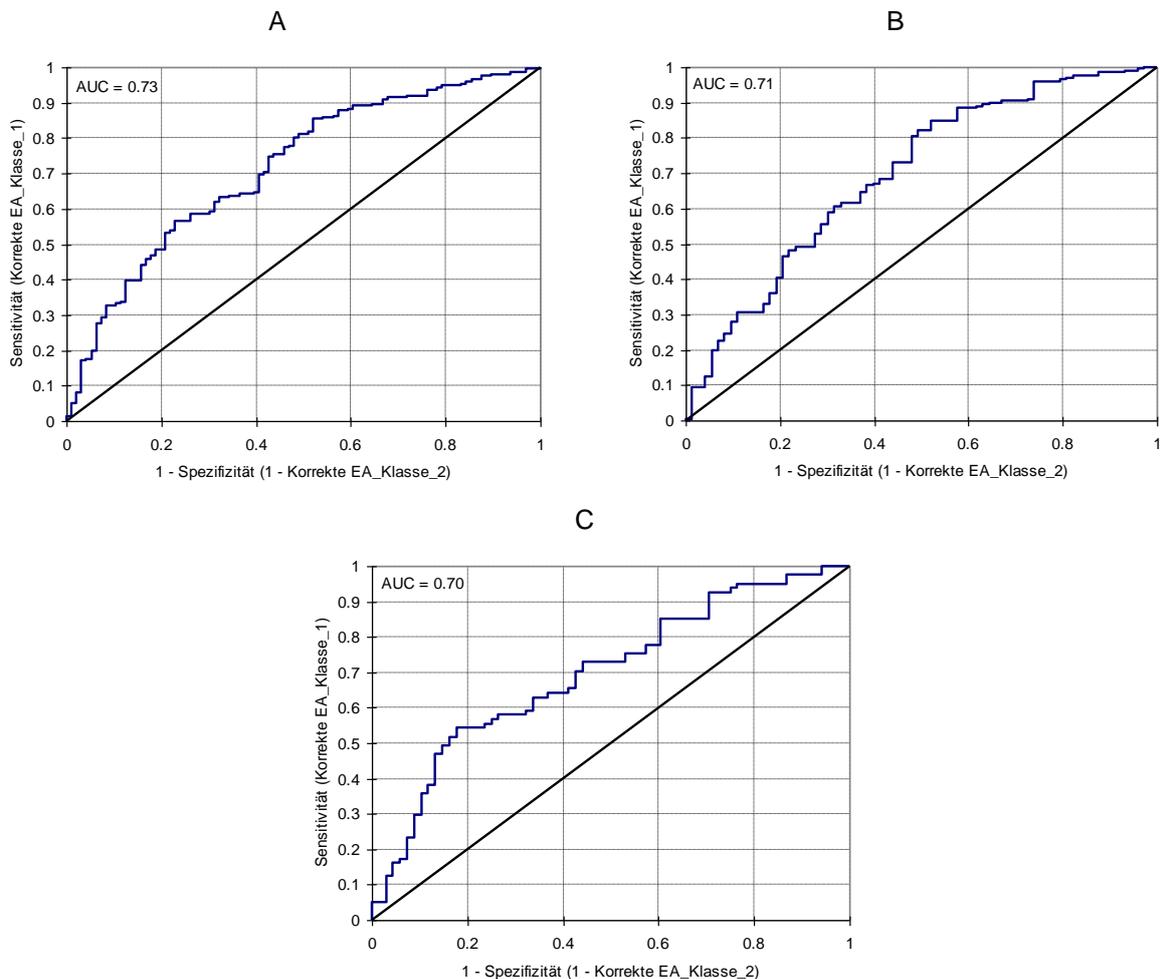


Abbildung 10: ROC Kurve für die 3 Binäre Logistische Anpassungen für Mehltau (A), Rost (B) und Ramularia (C).

Werte nahe der Diagonalen bedeuten, dass Trefferquote und Falschpositivquote gleich vorliegen, was der zu erwartenden Trefferhäufigkeit eines Zufallsprozesses entspricht. Die ideale ROC-Kurve steigt senkrecht in die linke obere Ecke an (die Trefferquote steigt auf 100%, während die Fehlerquote bei 0% bleibt), erst danach steigt die Falschpositivrate an. Eine ROC-Kurve die deutlich unterhalb der Diagonalen bleibt, deutet darauf hin, dass die Werte falsch interpretiert werden.

Die Fläche unter der Kurve (oder Area Under the Curve – AUC) ist ein aussagekräftiger Indikator für die ROC-Kurve. Der AUC entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass für ein positives Ereignis die Wahrscheinlichkeit der Modellvorhersage eines positiven Ereignisses größer ist als ein negatives Ereignis.

Für das ideale Modell gilt  $AUC=1$ , für das zufällige Modell gilt  $AUC=0.5$ . Man betrachtet ein Modell im Allgemeinen als gut, wenn der AUC-Wert größer als 0.7 ist.

### 3.1.2.2. Modulvalidierung

Das Modell wurde mit unabhängigen Daten, die nicht für die Regression verwendet wurden, validiert. Die Ergebnisse des Modells (Klassen des Erstauftretens) wurden mit tatsächlichen Daten verglichen und wie folgt eingestuft:

- Unterschätzung: Modell Klasse > bonitierte Klasse
- Korrekt: Modell Klasse = bonitierte Klasse
- Überschätzung: Modell Klasse < bonitierte Klasse

Die Ergebnisse für alle 3 Krankheiten, für den Zeitraum von 2004 bis 2009, sind in Abbildung 11-13 dargestellt.

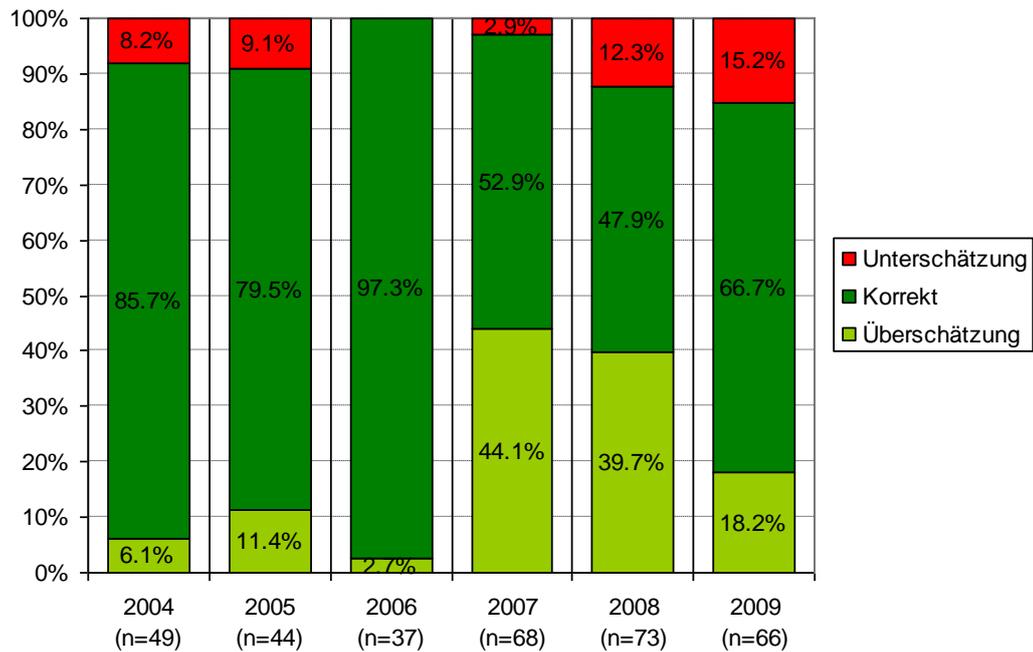


Abbildung 11: Ergebnisse der Validierung des Inokulum-Moduls für Mehltau in den Jahren 2004-2009

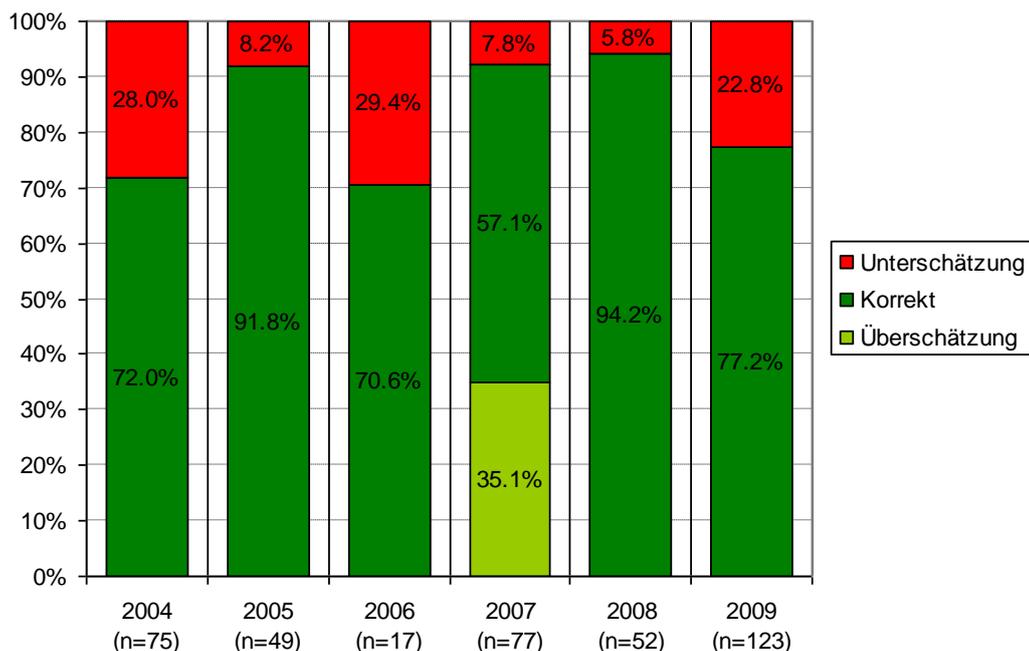


Abbildung 12: Ergebnisse der Validierung des Inokulum-Moduls für Rost in den Jahren 2004-2009

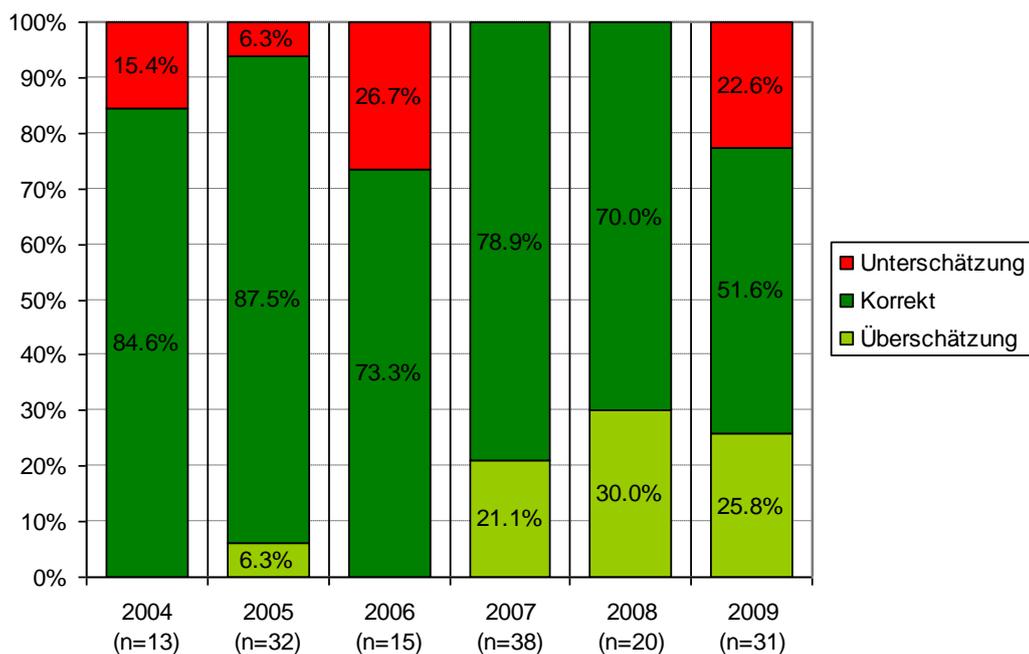


Abbildung 13: Ergebnisse der Validierung des Inokulum-Moduls für Ramularia in den Jahren 2004-2009

Die Validierung zeigt, dass im Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2009 das Modul in der Lage ist in 72 % der Fälle für Mehltau, 77 % für Rost und 74 % für Ramularia ein frühes (vor der 31. Kalenderwoche) oder ein spätes (nach der 31. Kalenderwoche) Krankheitsauftreten korrekt vorherzusagen. Die Parameter, die im Modul verwendet werden, sind nach der Wintersaison bekannt. Sie können als Eingangsparameter zur Schätzung des Epidemie-Risikos kurz vor dem Beginn der neuen Zuckerrübenanbau-Saison eingesetzt werden. Die Prognose kann mit geophytopathologischem Kriging kombiniert werden (Battilani et al., 1993, 1996; Rossi et al., 1995). Diese Methode erlaubt es durch geostatistische Verfahren, Werte an Orten, für die keine Stichproben vorliegen, durch umliegende Messwerte zu interpolieren. Die Darstellung erfolgt in Risikokarten (Abb. 14-16).

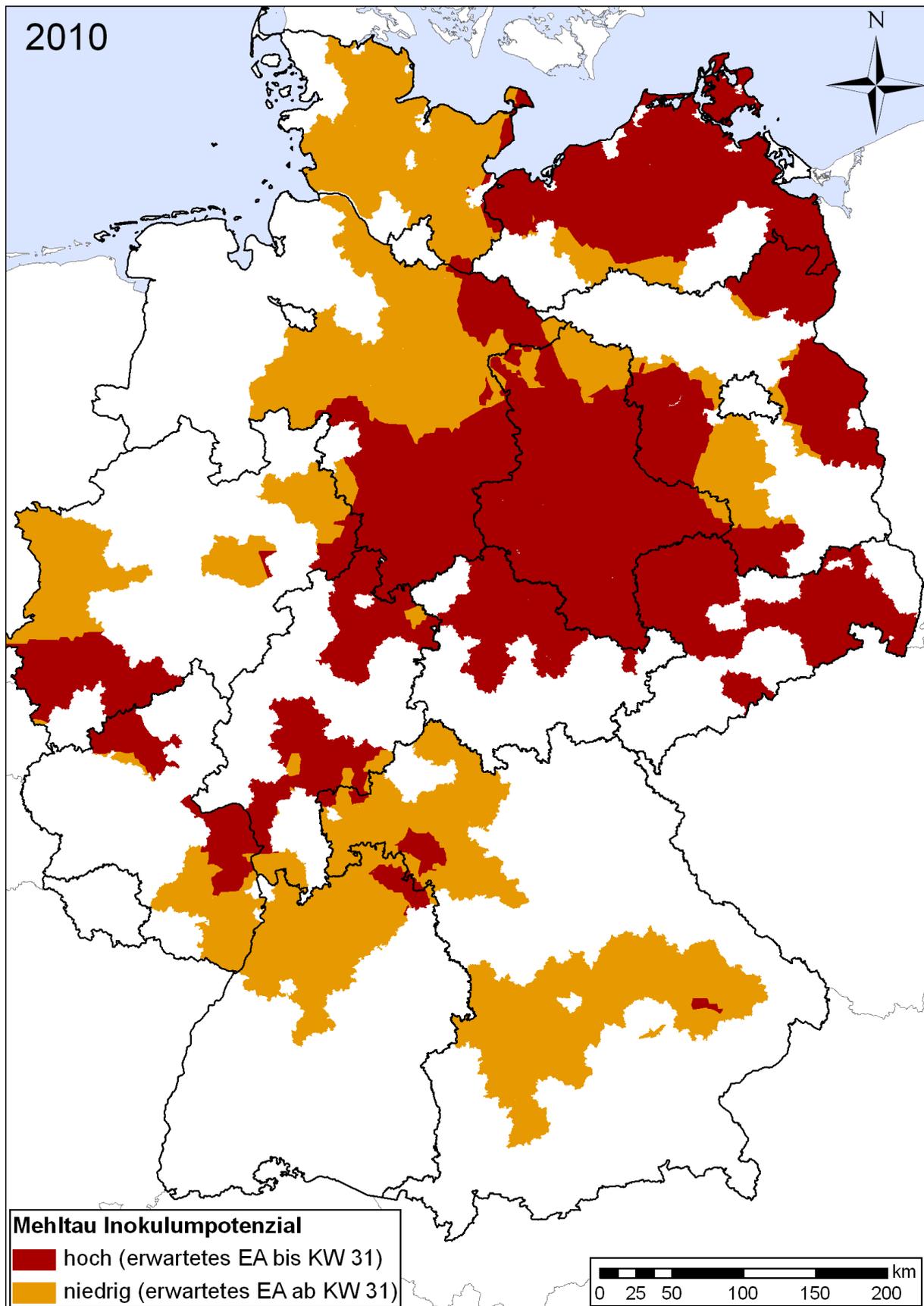


Abbildung 14: Risikokarte für das Erstauftreten von Mehltau in Zuckerrüben Anbaugeländen (eingefärbte Fläche) in Deutschland. Farblegende: Dunkelrot = frühes Auftreten erwartet (vor der 31. Kalenderwoche), Orange = spätes Auftreten erwartet (nach der 31. Kalenderwoche) für die 2010 Saison.

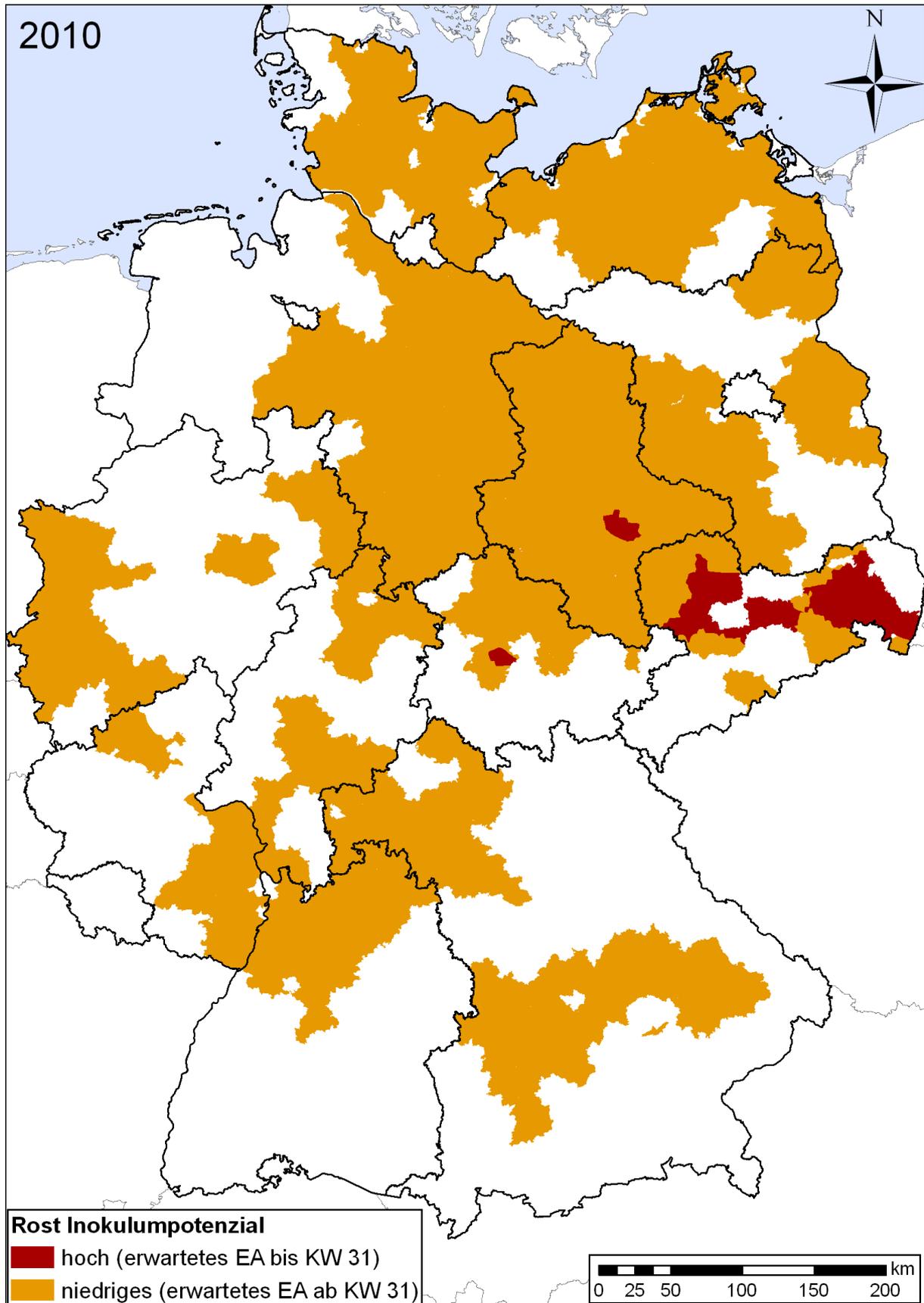


Abbildung 15. Risikokarte für das Erstauftreten von Rost in Zuckerrüben Anbaugeländen (eingefärbte Fläche) in Deutschland. Farblegende: Dunkelrot = frühes Auftreten erwartet (vor der 31. Kalenderwoche), Orange = spätes Auftreten erwartet (nach der 31. Kalenderwoche) für die 2010 Saison

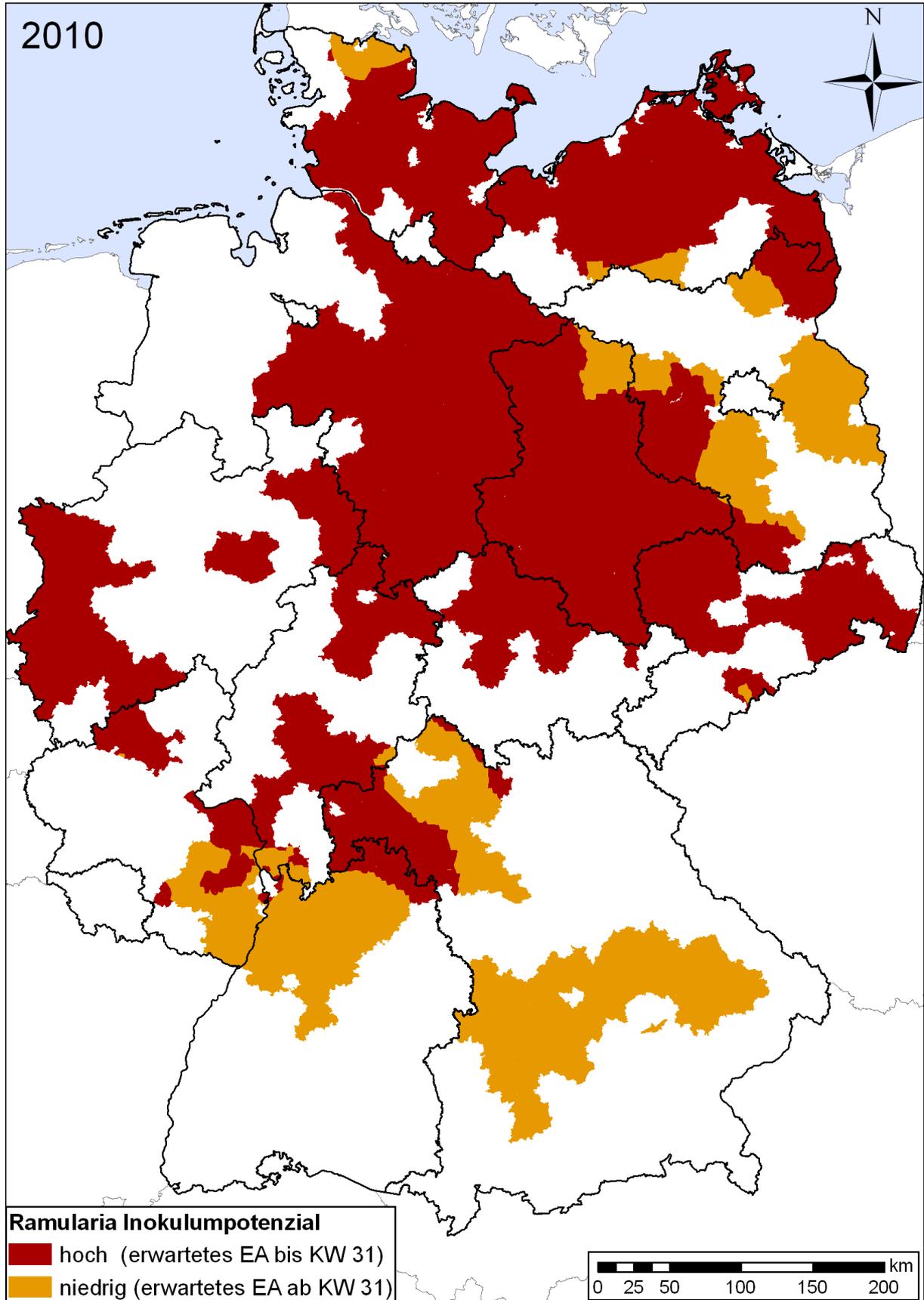


Abbildung 16: Risikokarte für das Erstauftreten von *Ramularia* in Zuckerrüben Anbaugebieten (eingefärbte Fläche) in Deutschland. Farblegende: Dunkelrot = frühes Auftreten erwartet (vor der 31. Kalenderwoche), Orange = spätes Auftreten erwartet (nach der 31. Kalenderwoche) für die 2010 Saison.

### 3.1.2.3. Erstauftretensprognose

Neben dem ersten Modul, welches die Prognose eines frühen oder eines späten Erstauftretens ermöglicht, kann mit dem zweiten Modul der genaue Tag des Erstauftretens vorhergesagt werden.

Wie für den Bau des Inokulum-Moduls wurde als Grundlage die gleiche Datenbank verwendet.

Mit Hilfe einer Temperatursumme (Basis 5° C) und der durchschnittlichen Tagestemperatur, im Zeitraum 1. April bis zum Tag des Auftretens, wird der Termin des Erstauftretens in eine "biologische Zeit" umgerechnet. Um die negative Wirkung des Niederschlages zu bewerten, wird in dem Modell nur die Temperatur der Tage ohne Niederschlag (<0,2 mm) verwendet.

Das Ziel des Moduls ist es, früh in der Saison eine Prognose abzugeben, ab welcher erreichten Temperatursumme das Auftreten der Krankheit wahrscheinlich ist.

Wie bei der Beschreibung des Inokulum-Moduls vermerkt, diskriminiert der Parameter Anzahl Frosttage das Auftreten der Krankheit am besten.

Zur weiteren Verbesserung der Schätzung des Modells wurden verschiedene Kombinationen von Parametern und verschiedene Arten von Regressionen getestet. Die beste Schätzung wurde durch die Division der abhängigen Variable (Y = Temperatursumme) durch die unabhängige Variable (X = Frosttage) erreicht. In einer exponentiellen Regression wurde durch die Korrelation dieses Quotienten mit der unabhängigen Variable die beste Anpassung erzielt.

Die Regressionen wurden getrennt für beide Klassen des Erstauftretens berechnet.

$$Y' = a * X^b$$

Wobei:

Y' = Temperatursumme / Frosttage

X = Frosttage

a – b = Regressionsparameter

Die Regression sind in Abbildung 17 dargestellt.

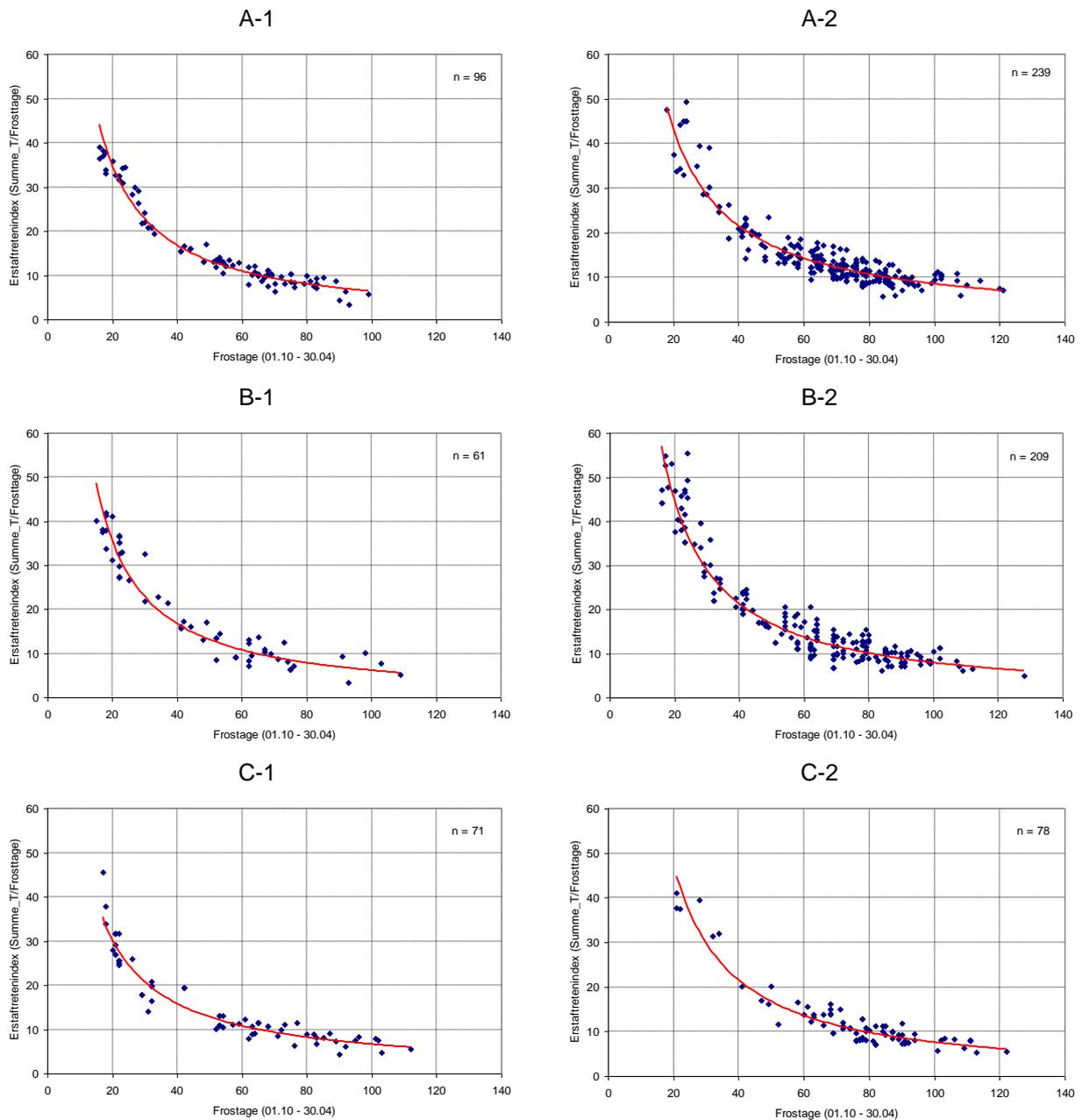


Abbildung 17: Regressionsanalyse zwischen Temperatursumme/Frosttage und Frosttage für Mehltau (A), Rost (B) und Ramularia (C) und zwei Klassen des Erstauftritts (1. früh, 2. spät).

Das Modell wird wie folgt verwendet: Zunächst wird die Anzahl Frosttage im Winter bestimmt. Mit der Anzahl der Frosttage im Winter kann die Regressionsanalyse des Modells eine Temperatursumme berechnen, die angibt ab wann mit dem Auftreten der Krankheit zu rechnen ist.

Die Temperatur wird ab dem 1. April aufsummiert und als Prozentsatz der prognostizierten Temperatursumme ausgedrückt. Wenn 100% erreicht ist, ist der Tag des Krankheitserstauftritts prognostiziert (Abb. 18).

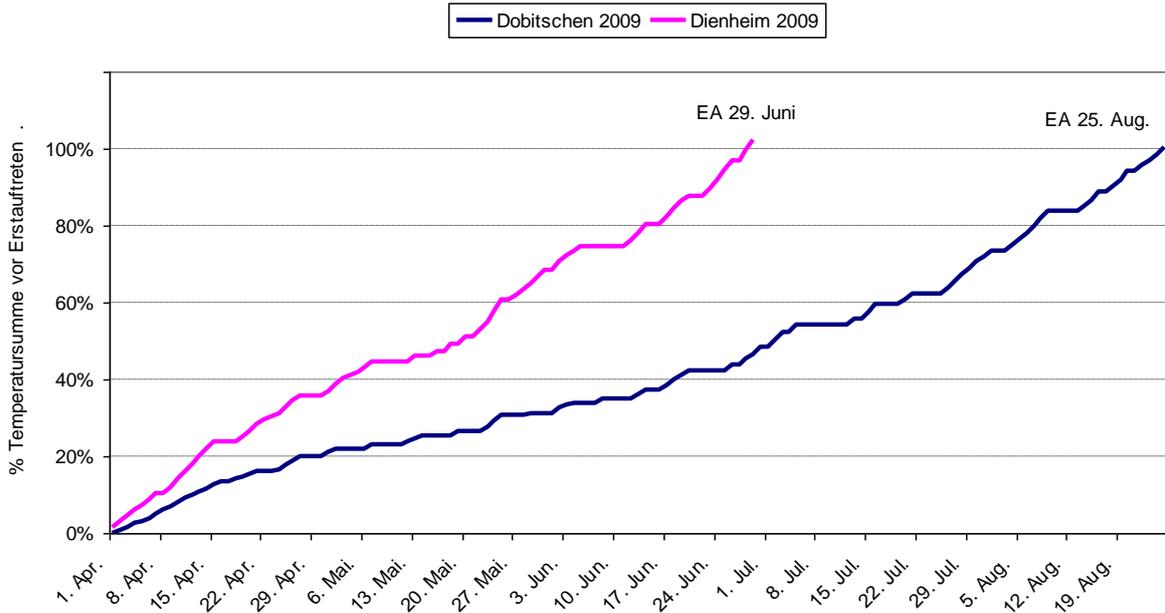


Abbildung 18. Ergebnisse des Erstaufretensmodul für die Wetterstation Dobitschen (TH) und Dienheim (RP) im Jahr 2009.

### 3.1.2.4. Modulvalidierung

Das Modell wurde durch den Vergleich der prognostizierten mit den tatsächlichen Terminen des Erstaufretens validiert. Die Ergebnisse wurden anhand des folgenden Validierungsschemas bewertet (Racca et al., 2010):

- Zu früh = Prognose mehr als 7 Tage früher als das bonitierte Erstaufreten;
- Korrekt = prognostiziertes Datum innerhalb  $\pm 7$  Tage im Vergleich zum bonitierten Datum
- Zu spät = Prognose mehr als 7 Tage später als das bonitierte Erstaufreten;

Die Validierungsergebnisse für die Saison 2004-2009 sind in Abb. 19-21 dargestellt.

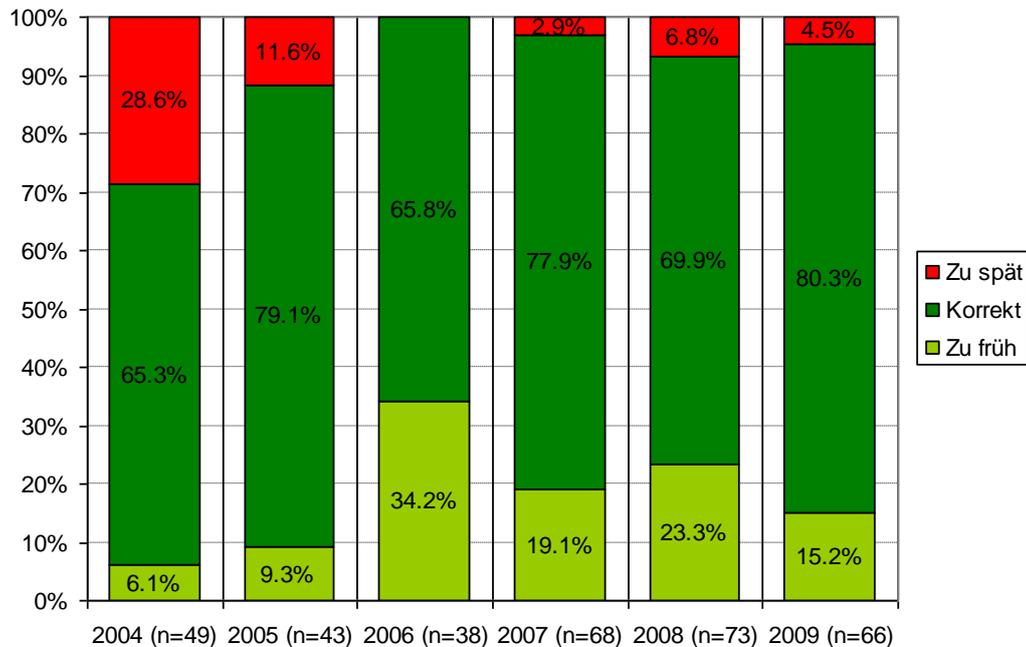


Abbildung 19: Ergebnisse der Validierung des Erstaufretens -Modul für Mehltau in den Jahren 2004-2009

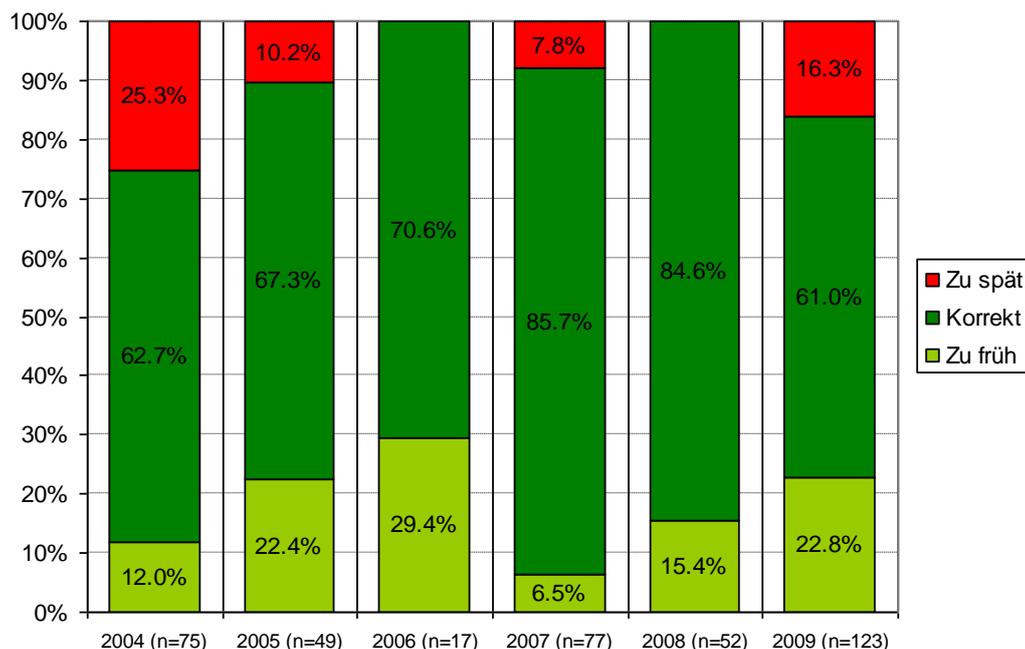


Abbildung 20: Ergebnisse der Validierung des Erstauftrittens -Modul für Rost in den Jahren 2004-2009

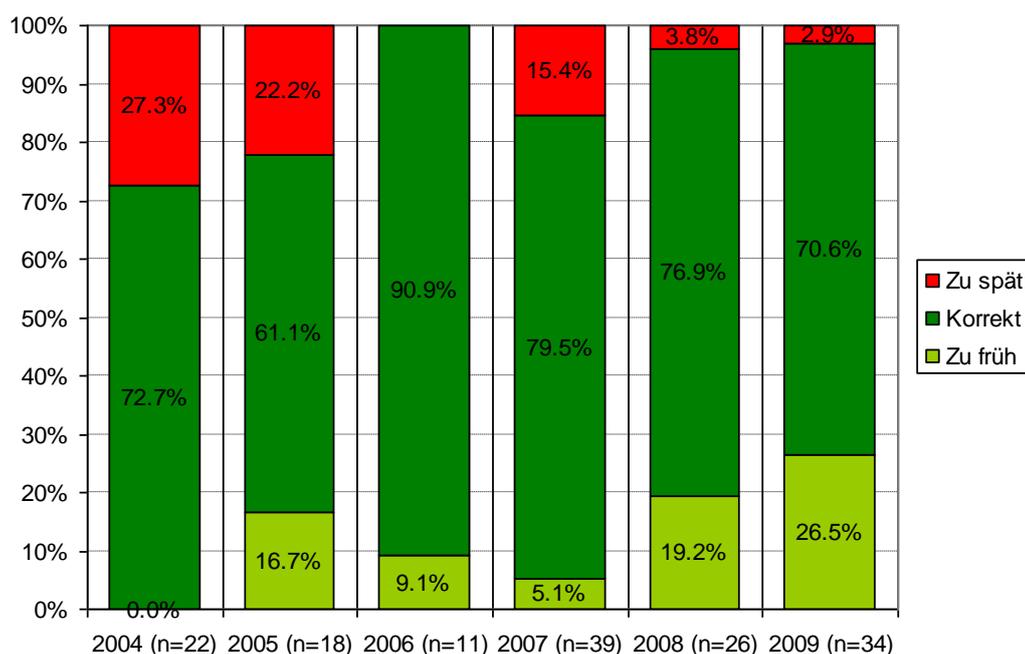


Abbildung 21: Ergebnisse der Validierung des Erstauftrittens -Modul für Ramularia in den Jahren 2004-2009

Die Ergebnisse in den Abbildungen 10-12 zeigen die Güte des Modells. Im Durchschnitt der Jahre 2004 bis 2009 liegt der Anteil korrekter Fälle für Mehltau bei 73 %, 72 % für Rost und 75 % für Ramularia. Die „Zu späten“-Modellprognosen, liegen zwischen 9 % und 12 % und die „Zu frühen“- Modellprognosen zwischen 13 % und 18 %.

Die Kombination der beiden Module wird wie folgt verwendet: Ab 1. Oktober bis zum 30. April werden die minimalen Temperaturen aufsummiert, die Frosttage gezählt und die täglichen Niederschläge aufsummiert. Mit dem Inokulum-Modul kann dann bis zum 1. Mai die Klasse des Erstauftrittens einer Krankheit (früh oder spät) prognostiziert werden.

Abhängig von der durch das erste Modul gewählten Klasse, wird für das zweite Modul die entsprechende Gleichung für die Vorhersage des Zeitpunktes des Erstaufretens ausgewählt. Mit den Frosttagen wird die erwartete Temperatursumme für das Erstaufreten berechnet. Das Modell berechnet dann, ab 1. April, die Summe der täglichen durchschnittlichen Temperaturen ( $> 5^{\circ}\text{C}$ , nur Tage ohne Niederschlag) und gibt die prognostizierte Temperatursumme als Prozentsatz aus. Wenn 100% der vorher prognostizierten Temperatursumme erreicht sind, ist der Tag des Erstaufretens der Krankheit erreicht.

## 3.2. Prognosen der Bekämpfungstermine

### 3.2.1. Krankheitseffizienz

Da die Bekämpfungsschwellen für die Zuckerrübenkrankheiten auf Befallshäufigkeiten beruhen, basieren die auch entwickelten Modelle auf der Simulation von Verläufen einer Befallshäufigkeit. Um eine Behandlung richtig zu terminieren, wird ein Termin prognostiziert, ab dem der Schwellenwert überschritten sein wird.

Pilzkrankheiten sind stark mit den Witterungsverhältnissen korreliert. Besonders großen Einfluss haben dabei meistens die Parameter Temperatur und Blattfeuchte. Die klassischen epidemiologischen Modelle versuchen die Beziehungen zwischen diesen Parametern und der pilzlichen Entwicklung zu berechnen. In Abhängigkeit zu den verfügbaren Daten wurden Infektionsrate, Infektionswahrscheinlichkeit oder Krankheitseffizienzen berechnet. Für die Modellumsetzung wurde nicht die traditionelle Infektionsrate (Vanderplank, 1963), sondern die Krankheitseffizienz (Berger et al., 1995) verwendet.

### 3.2.2. Datenbasis

Zur Berechnung der Krankheitseffizienz, die die Epidemieentwicklung simuliert, wurden Laborversuche für Mehltau und Rost durchgeführt.

Insbesondere die Beziehung zwischen der Krankheitseffizienz und den meteorologischen Parametern Temperatur und Blattfeuchte wurde untersucht.

### 3.2.3. Modellierung der Krankheitseffizienz für Mehltau

Die Krankheitseffizienz für Mehltau wurde mit kombinierten Daten aus Klimakammerversuchen und aus Literaturdaten wie folgt berechnet:

$$KE(TP) = KE(T) * KE(L)$$

Wobei:

KE(TP) = Krankheitseffizienz für eine trockene Periode

KE(T) = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur

KE(L) = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit vom Licht

#### Berechnung der Mehltau Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur KE(T)

Vorversuche und Angaben aus der Literatur (Racca et al, 2000) zeigen, dass die Blattfeuchte einen negativen Effekt auf den Mehltau-Infektionsprozess hat. Es ist jedoch eine hohe Luftfeuchtigkeit für die Keimung der Konidien erforderlich. In Labortests wurde deshalb nur der Einfluss der Temperatur untersucht.

Aus dem Gewächshaus stammende Zuckerrüben im 6-8-Blattstadium wurden trocken inokuliert und inkubiert bei einer konstanten Temperaturstufe (5, 10, 15, 20 und 25 °C) in einer Klimakammer (4 Wiederholungen mit je 4 Pflanzen) kultiviert. Die Versuche wurden in Bad Kreuznach im Zeitraum 2007-2009 durchgeführt.

Zur Überprüfung des Auftretens von Sekundärinfektionen wurde eine Vergleichsprobe mit gesunden nicht inokulierten Pflanzen in derselben Klimakammer hinzugefügt.

Bonitiert wurde das Auftreten der Symptome als Befallshäufigkeit (kranke Blätter / Pflanze) bis zum Zeitpunkt des Erstauftretens von Sekundärinfektionen an den nicht inokulierten Kontrollpflanzen. Die Versuchsergebnisse sind in Abb. 22 zusammenfasst.

Die Verläufe der Befallshäufigkeit wurden mit Hilfe einer Richards Funktion (Richards, 1959) modelliert.

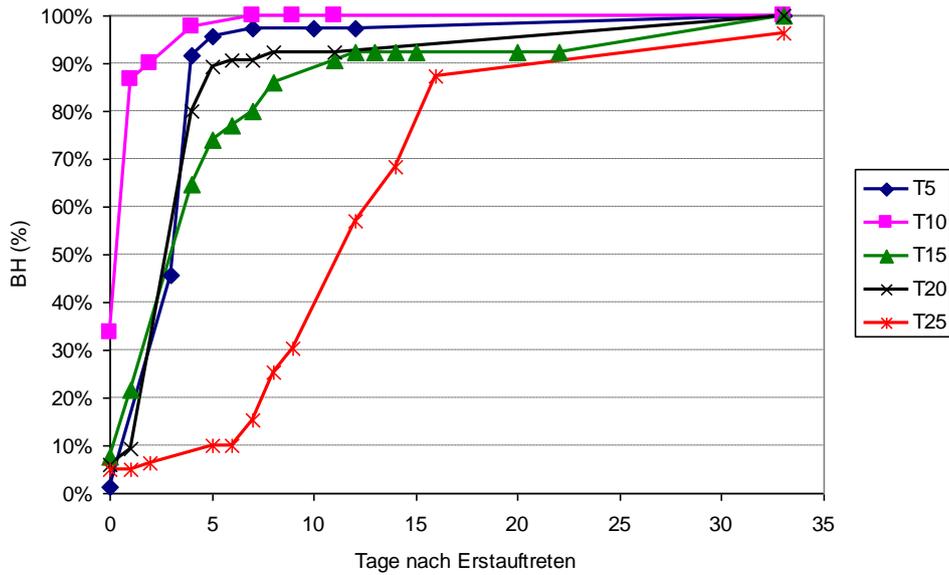


Abbildung 22.: Mehltau Befallshäufigkeitsverläufe unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur 5, 10, 15, 20 und 25°C, rL<50%).

$$BH = Y_{max} * ((1 - \text{EXP}(-(b*X))))^a$$

Wobei:

BH = Befallshäufigkeit

Y<sub>max</sub> = maximale Befallshäufigkeit im Versuch

b = Steigung der Regression

a = Formparameter

Die Regression sind in Abbildung 23 dargestellt.

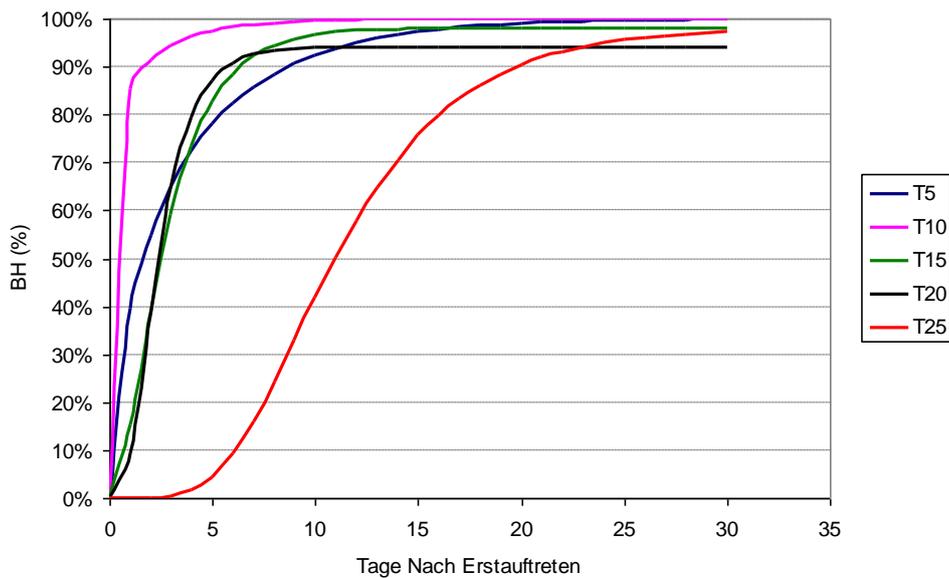


Abbildung 23. Richards Funktionen für die Mehltau Befallshäufigkeitsdaten der Klimakammerversuch

Die Steigungen der Kurven können als Zeit-abhängige Krankheitseffizienzen bei konstanter Temperatur betrachtet werden. Das Gleiche kann mit einer Beta-Hau Funktion modelliert werden (Hau, 1988) (Abb. 24).

$$KE(T) = Y_{\max} * \left( \frac{(T_{TP} - T_{\min})}{(T_{opt} - T_{\min})} \right)^n * \left( \frac{(T_{\max} - T_{TP})}{(T_{\max} - T_{opt})} \right)^n$$

wobei:

KE(T) = relative Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur

$Y_{\max}$  = relative Krankheitseffizienz bei optimaler Temperatur

$T_{TP}$  = Temperatur der Trockenperiode

$T_{\min}$  = geschätzte minimale Temperatur

$T_{\max}$  = geschätzte maximale Temperatur

$T_{opt}$  = geschätzte optimale Temperatur

n = Formparameter

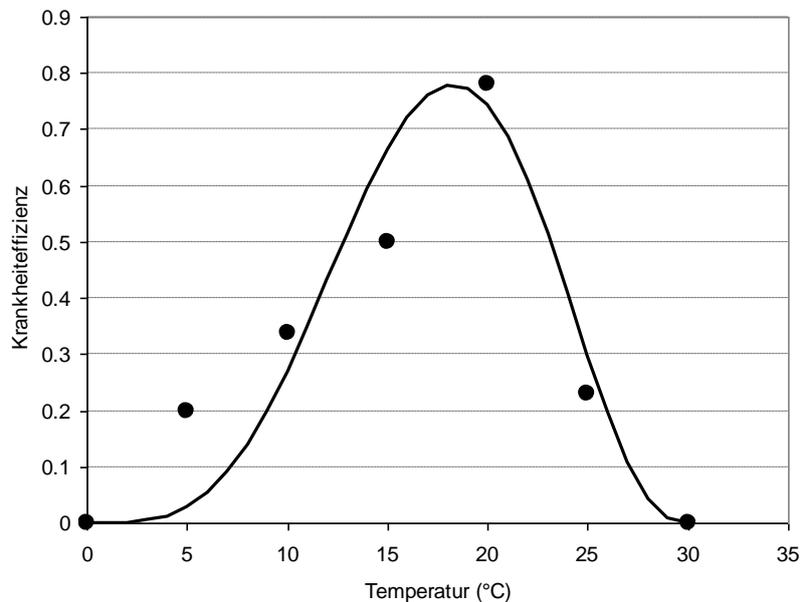


Abbildung 24. Mehltau Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur (• Krankheitseffizienz, — Beta-Hau Funktion)

Die Krankheitseffizienz wurde danach auf den Maximalwert 1 normiert.

Da die Blattfeuchte bei der Infektion eine negative Rolle spielt, wurde die Krankheitseffizienz nur für trockene Zeiträume (Stunden ohne Blattbenetzung) berechnet. Der Anfangspunkt für die Berechnung ist das Ende einer Blattbenetzungsperiode. Danach wurde die Temperatur für eine trockene Periode wie folgt kalkuliert:

$$T_{TP} = \left( \sum_{i=1}^P T_{i-p} \right) / P$$

Wobei:

$T_{TP}$  = Temperatur der Trockenperiode

$T_{i-p}$  = stündliche Temperatur der Stunde i bis zum Ende der Trockenperiode p

P = Anzahl der Stunden der Trockenperiode

### Berechnung der Mehltau Krankheitseffizienz in Abhängigkeit vom Licht KE(L)

Untersuchungen über den Tagesrhythmus der Konidienkeimung von *Erysiphaceen* sind von Yarwood (1936) und Weltzien-Stentel (1959) durchgeführt worden. Bei *E. betae* wurde ein Tagesrhythmus für die Keimfähigkeit und für die Appressorienbildung festgestellt (Drandarevski, 1969).

Die Daten von Drandarevski (1969) zur Appressorienbildung können als Krankheitseffizienz in Abhängigkeit vom Tageslicht bezeichnet werden und wurden wie folgt modelliert (Abb. 25):

Im Bereich 0-7 Uhr:

$$KE(L_{0-7}) = 0$$

In Bereich 8 – 20 Uhr:

$$KE(L_{8-20}) = Y_{\max} * \left( \frac{(L - L_{\min})}{(L_{\text{opt}} - L_{\min})} \right)^{n * \left( \frac{(L_{\text{opt}} - L_{\min})}{(L_{\max} - L_{\text{opt}})} \right)} * \left( \frac{(L_{\max} - L)}{(L_{\max} - L_{\text{opt}})} \right)^n$$

Im Bereich 20-23 Uhr:

$$KE(L_{20-23}) = 0$$

wobei:

$KE(L_{8-20})$  = relative Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Lichtstunde

$Y_{\max}$  = relative Krankheitseffizienz bei optimalem Licht

$L_{8-20}$  = Lichtstunde (in bereich 08-20 Uhr)

$L_{\min}$  = geschätzte minimale Lichtstunde

$L_{\max}$  = geschätzte maximale Lichtstunde

$L_{\text{opt}}$  = geschätzte optimale Lichtstunde

$n$  = Formparameter

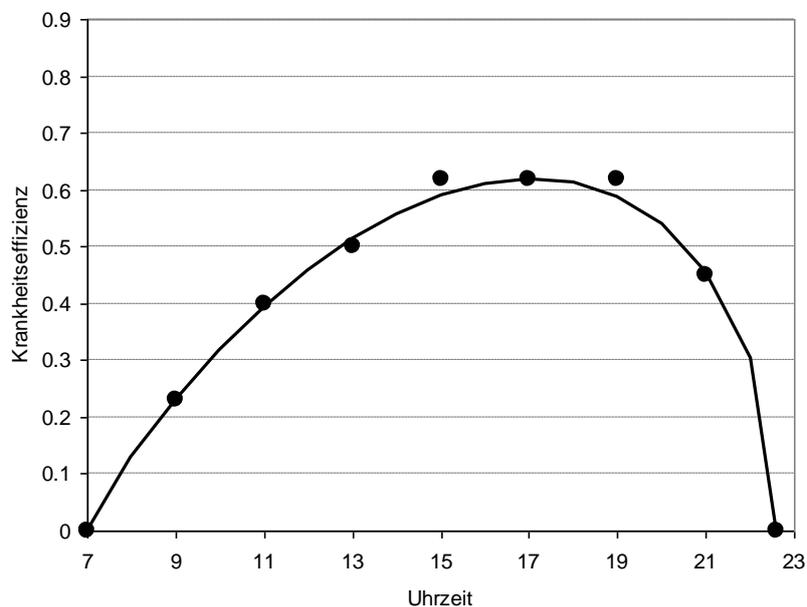


Abbildung 25. Mehltau Krankheitseffizienz in Abhängigkeit vom Tageslichtrhythmus zwischen 8-20 Uhr (• Appressoria, — Beta-Hau Funktion)

Die Krankheitseffizienz wurde danach auf den Maximalwert 1 normiert.

Im Anschluss wurde der  $KE(L)$  für eine trockene Periode wie folgt kalkuliert:

$$KE(L) = \left[ \sum_{i=1}^P KE(L_{i-p}) \right] / P$$

Wobei:

$KE(L)$  = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit vom Licht in der Trockenperiode

$KE(L_{i-p})$  = stündliche Krankheitseffizienz der Stunde  $i$  bis zum Ende der Trockenperiode  $p$

$P$  = Anzahl der Stunden der Trockenperiode

Ein Beispiel für die berechnete Krankheitseffizienz für den Monat August 2009 für zwei Wetterstationen in Rheinland-Pfalz (Dienheim, Rheingraben, feuchtes Witterungsgebiet und Rommersheim, Rheinhessen, trockenes Witterungsgebiet) ist in Abb. 26 dargestellt.

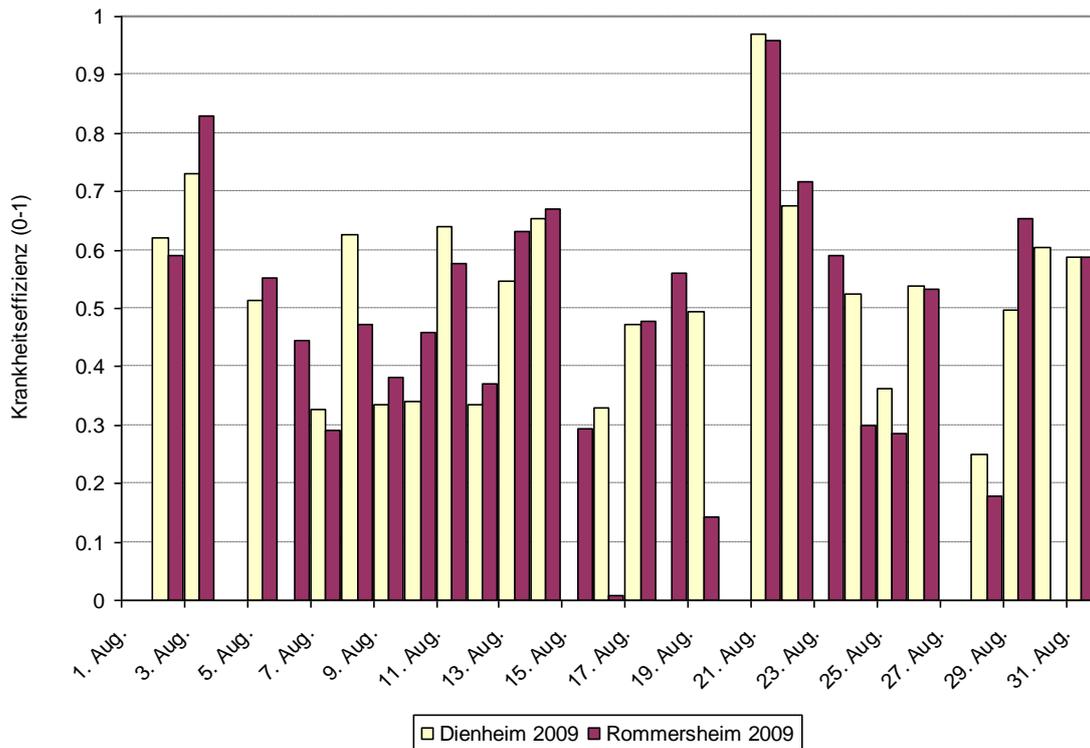


Abbildung 26. Berechnete Mehltau Krankheitseffizienz für die Wetterstationen Dienheim und Rommersheim (RP) für den Monat August 2009

### 3.2.4. Modellierung der Krankheitseffizienz für Rost

Die Krankheitseffizienz für Rost wurde mit den Daten aus Klimakammerversuchen berechnet.

Aus dem Gewächshaus stammende Zuckerrüben im 6-8-Blattstadium wurden mit einer Rostsporen Suspension inokuliert und inkubiert bei konstanten Temperaturstufen (10, 15 und 20° C) und verschiedenen Blattnässeperioden (2, 6, 14 und 24 Stunden) in einer Klimakammer (4 Wiederholungen mit je 4 Pflanzen). Die Versuche wurden in Bad Kreuznach im Zeitraum 2007-2009 durchgeführt.

Nach dem Erstauftreten wurden die Pflanzen bonitiert und die Anzahl Rostpusteln pro Blatt so lange bestimmt bis keine neuen Pusteln mehr erschienen (Bsp. In Abb. 27).

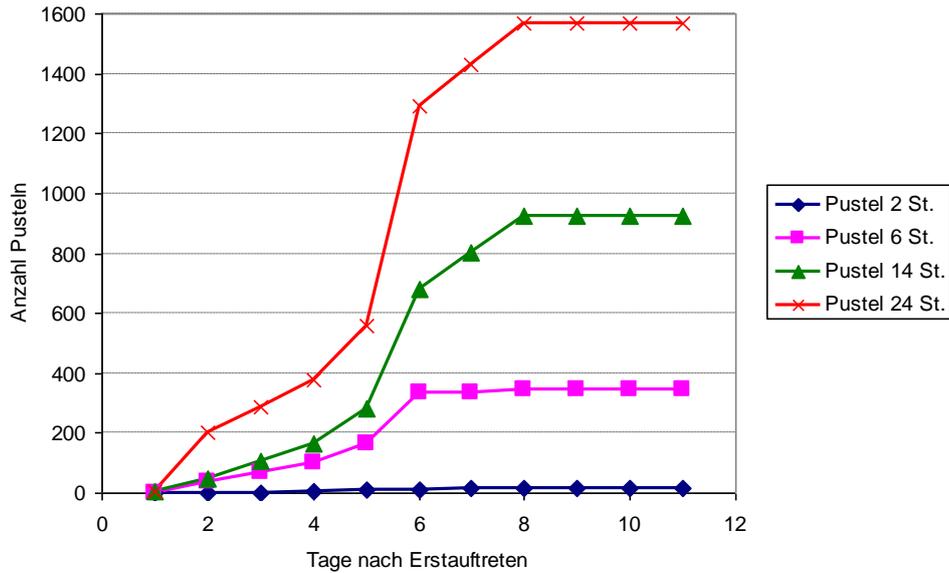


Abbildung 27. Anzahl bonitierte Rostpusteln nach einer Inokulation mit konstanter Temperatur von 10°C und verschiedener Blattnässedauer. Wie bereits für die Bewertung der Krankheitseffizienz für Mehltau, wurde die Anzahl der Rostpusteln pro Tag mit einer Logistischen Funktion für jede Temperatur und Blattnässedauer modelliert.

$$Y = Y_{\max} * (1/(1 + \text{EXP}(-(a+b*X))))$$

Wobei:

Y = Anzahl Rostpusteln

Y<sub>max</sub> = maximale Rostpusteln im Versuch

b = Steigung der Regression

a = Formparameter

Eine Regressions-Beispiel (Temp.10°C, 24 Stunden Blattbenetzung) ist in Abbildung 28 dargestellt.

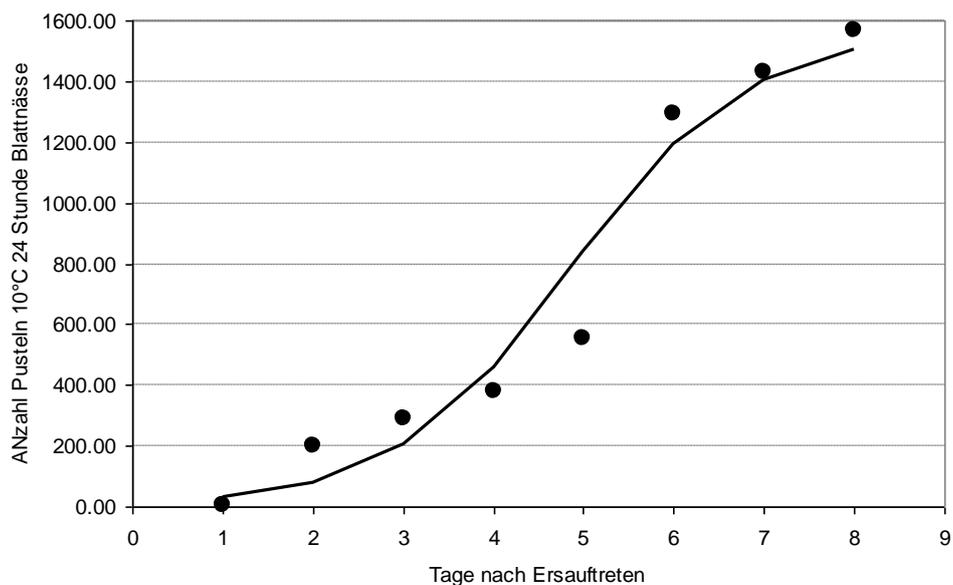


Abbildung 28. Modellierte Anzahl Rostpusteln bei einer Temperatur von 10°C und 24 Stunden Blattbenetzung bei Inokulation (• Appressoria, — Logistische Funktion)

Um gleichzeitig den Einfluss der Temperatur und der Blattfeuchte auf die Krankheitseffizienz zu beurteilen wurden die Werte der Steigungen der Kurven gleichzeitig mit einer Kombination aus einer Richards Funktion und einer Beta-Hau Funktion angepasst (Abb. 29).

$$KE = [Y_{max} * ((1 - \exp(-(a * BN)))^b)] * [Y_{max} * ((T - T_{min}) / (T_{opt} - T_{min}))^{(n * ((T_{opt} - T_{min}) / (T_{max} - T_{opt})))} * (((T_{max} - T) / (T_{max} - T_{opt}))^n)]$$

Wobei:

KE = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur (°C) und der Blattnässe (Stunde).

BN = Blattbenetzungsdauer bei Inokulation

T = Temperatur

Y<sub>max</sub> = maximale Anzahl Pusteln

T<sub>min</sub> = geschätzte minimale Temperatur

T<sub>max</sub> = geschätzte maximale Temperatur

T<sub>opt</sub> = geschätzte optimale Temperatur

a, b und n = Formparameter

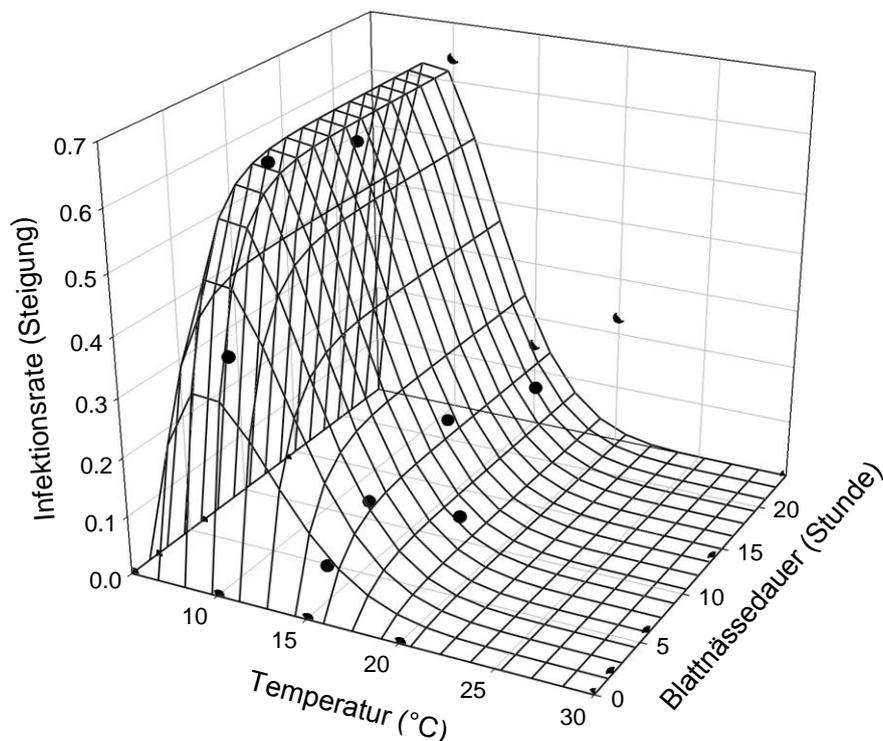


Abbildung 29. Modellerte Rost Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur (°C) und der Blattnässedauer (Stunde).

Die Krankheitseffizienz wurde danach auf den Maximalwert 1 normiert.

Da eine Abhängigkeit von Blattnässe und Krankheitseffizienz besteht, wird für die Blattnässeperiode die Temperatur der Blattnässeperiode wie folgt berechnet:

$$T_{BP} = \left( \sum_{i=1}^P T \right) / P$$

Wobei:

T<sub>BP</sub> = Temperatur der Blattnässeperiode

T = stündliche Temperatur

P = Anzahl Stunden der Blattnässeperiode

Ein Beispiel für die berechnete Krankheitseffizienz für den Monat August 2009 ist für zwei Wetterstationen in Rheinland-Pfalz (Dienheim, Rheingraben, feuchtes Witterungsgebiet und Rommersheim, Rheinhessen, trockenes Witterungsgebiete) ist in Abb. 30 dargestellt.

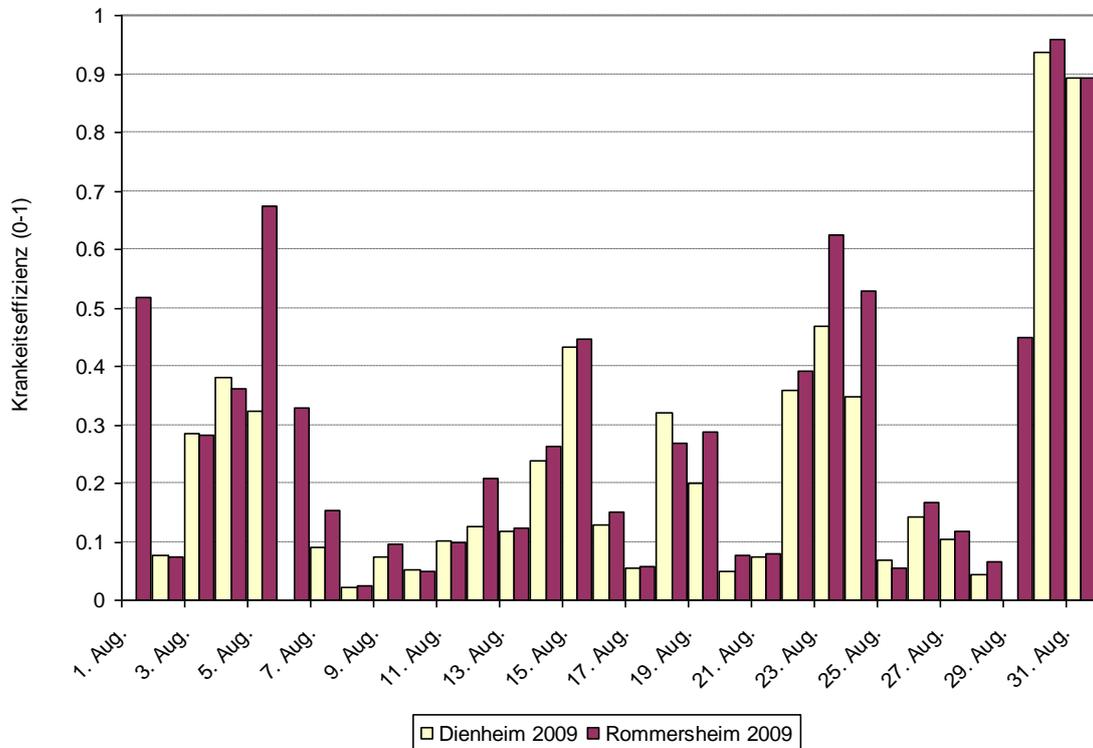


Abbildung 30. Berechnete Rost Krankheitseffizienz für die Wetterstationen Dienheim und Rommersheim (RP) für den Monat August 2009

### 3.2.5. Modellierung der Krankheitseffizienz für Ramularia

Für die Schätzung der Ramularia Krankheitseffizienz wurden Daten aus der Literatur verwendet, weil keine eigenen Daten aus dem Labor bzw. aus Klimakammeruntersuchungen zur Verfügung standen. Insbesondere die Wirkung der Temperatur wurde durch die Modellierung der Daten von Hestbjerg et al. (1994) geschätzt. Wie bei den anderen beiden Schaderregern wurde eine Beta-Hau Funktion benutzt (Abbildung 31).

$$KE(T) = Y_{\max} * \left( \frac{(T_{TP} - T_{\min})}{(T_{opt} - T_{\min})} \right)^{n * \left( \frac{(T_{opt} - T_{\min})}{(T_{\max} - T_{opt})} \right)} * \left( \frac{(T_{\max} - T_{TP})}{(T_{\max} - T_{opt})} \right)^n$$

wobei:

KE(T) = relative Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur

$Y_{\max}$  = relative Krankheitseffizienz bei optimaler Temperatur

$T_{TP}$  = Temperatur der Trockenperiode

$T_{\min}$  = geschätzte minimale Temperatur

$T_{\max}$  = geschätzte maximale Temperatur

$T_{opt}$  = geschätzte optimale Temperatur

n = Formparameter

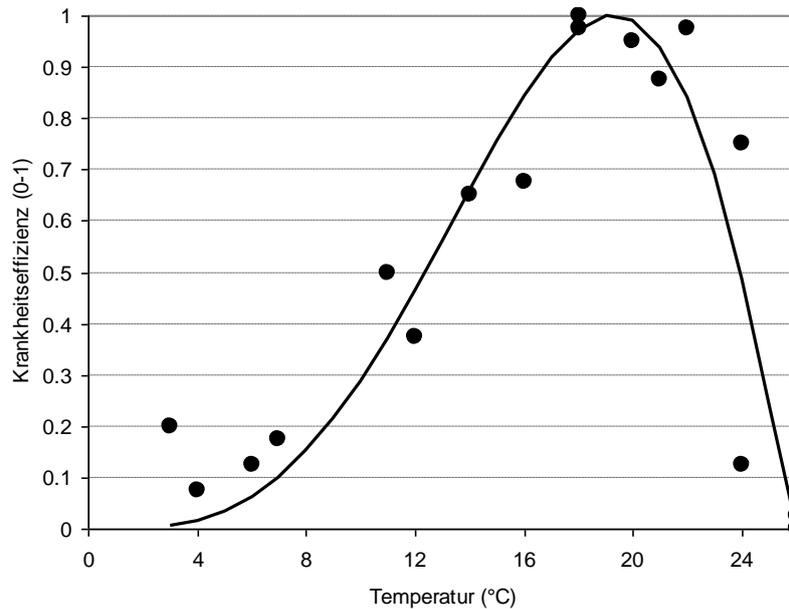


Abbildung 31. Ramularia Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur (• Krankheitseffizienz, — Beta-Hau Funktion)

Verschiedene Daten wurden verwendet, um die Wirkung der Blattnässe auf die Ramularia Krankheitseffizienz zu schätzen (HESTBJERG et al. 1994; FRANCIS, 2000; HOFFMANN & SCHMUTTERER, 1983; BYFORD, 1975; FUJII et al. 1985; AHRENS, 1987; ASCHER & WILLIAMS, 1992; HESTBJERG & DISSING 1994; WIESNER, 1967; AHRENS 1987).

Für die Datenanpassung wurde diesem Fall eine Richards Funktion benutzt (Abbildung 32).

$$KE(BN) = Y_{max} * ((1 - EXP(-(b*X))))^a$$

Wobei:

KE(BN) = relative Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Blattnässedauer

Y<sub>max</sub> = relative Krankheitseffizienz bei optimaler Blattnässedauer (24 Stunden)

b = Steigung der Regression

a = Formparameter

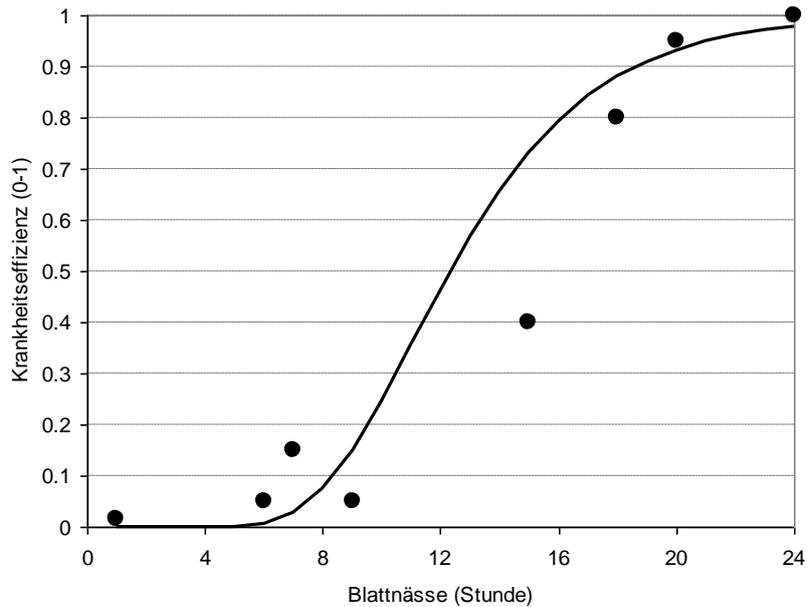


Abbildung 32. Ramularia Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Blattnäsedauer (• Krankheitseffizienz, — Beta-Hau Funktion)

Da eine Abhängigkeit zwischen Blattnässe und Krankheitseffizienz besteht, wird für Blattnässeperiode folgendes berechnet:

$$KE_{BP} = KE(T_{BP}) * KE(BN_P)$$

Wobei:

$KE_{BP}$  = Ramularia Krankheitseffizienz für eine Blattnässeperiode BP

$KE(T_{BP})$  = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von der Temperatur der Blattnässeperiode

$KE(BN_P)$  = Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von Anzahl der Stunden der Blattnässeperiode

Die Temperatur für die Blattnässeperiode wird folgt berechnet:

$$T_{BP} = \left( \sum_{i=1}^P T \right) / P$$

Wobei:

$T_{BP}$  = Temperatur der Blattnässeperiode

T = stündliche Temperatur

P = Anzahl Stunden der Blattnässeperiode

Ein Beispiel für die berechnete Krankheitseffizienz für den Monat August 2009 ist für die Wetterstationen Osterfeld (ST) und Langwedel (NI) in Abb. 33 dargestellt.

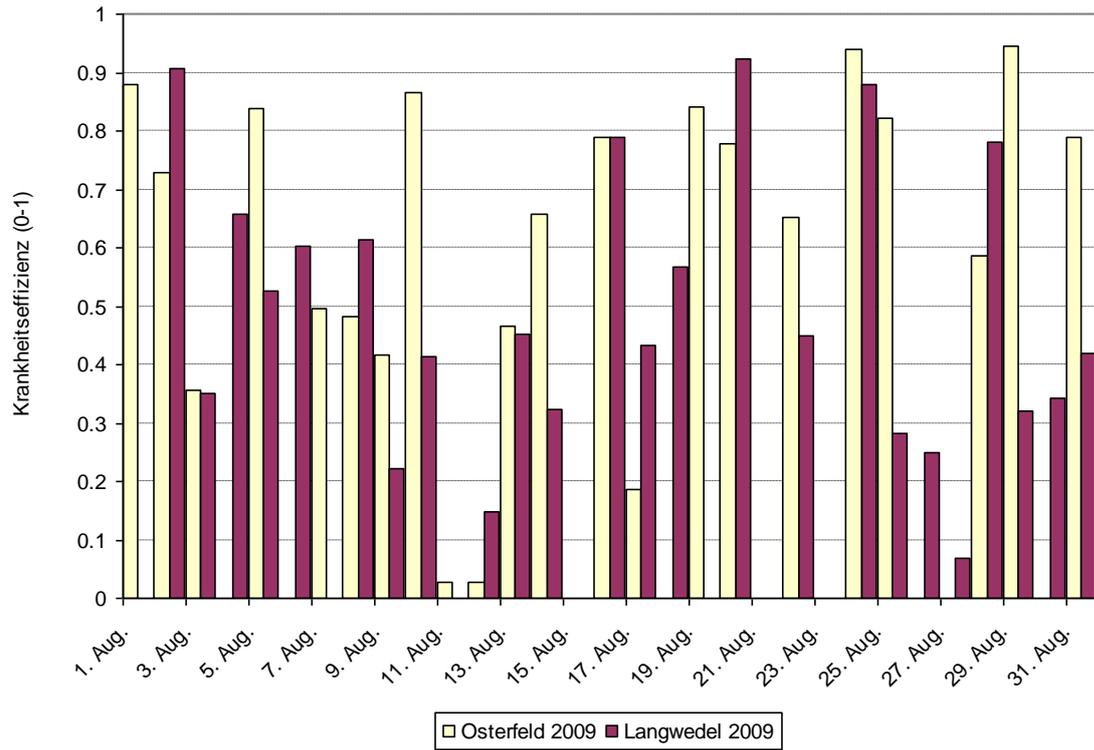


Abbildung 33. Berechnete Ramularia Krankheitseffizienz für die Wetterstationen Osterfeld (ST) und Langwedel (NI) für den Monat August 2009

### 3.3. Modellierung der Befallshäufigkeitsverläufe (ERYBET3, UROBET3, RAMUBET3)

#### 3.3.1. Bekämpfungsschwelle

Um die Zuckerrüben- Blattkrankheiten möglichst mit einer Bekämpfungsmaßnahme gemeinsam ausreichend zu erfassen, werden die in Tabelle 5 erstellten summarischen Schwellenwerte (Die summarische Schwelle wurde vom Jörg und Krauthausen (1996) entwickelt, sie wird durch die PSD der Länder empfohlen).

Tabelle 5. Bekämpfungsschwelle Zuckerrüben- Blattkrankheiten

Krankheitsauftreten	Kontrolltermin	Anteil kranker Blätter von 100 entnommenen Blättern
Erstbehandlung	bis Ende Juli	5
	bis Mitte August	15
	ab Mitte August	45
	ab Anfang September	Bekämpfung in der Regel nicht erforderlich. Ausnahme: anfällige Sorten und später Rodetermin.
Zweitbehandlung	Evtl. erforderlich in Beregnungsgebieten und / oder bei früherem Befallsbeginn. Ca. 3-4 Wochen nach der Erstbehandlung.	45

#### 3.3.2. Modellierung

Die 3er Modelle simulieren ab dem Krankheitsauftreten, einen Befallshäufigkeitsverlauf. Die Simulation wird mit dem Bekämpfungsschwellensystem für eine Behandlung kombiniert und kann somit den Termin prognostizieren, ab dem der Schwellenwert überschritten sein wird und demzufolge eine erste Behandlung empfohlen wird.

Modellbasis für alle 3 Krankheiten (Mehltau, Rost und Ramularia) ist ein modifizierter Vanderplank (1963) Ansatz:

$$BH_i = BH_{i-1} + \delta BH_i$$

Wobei:

$BH_i$  = Befallshäufigkeit am Tag i

$BH_{i-1}$  = Befallshäufigkeit am Vortag i-1

$\delta BH_i$  = Befallshäufigkeitszunahme am Tag i

Die Befallshäufigkeitszunahme wurde wie folgt kalkuliert:

$$\delta BH_i = KE_{i-1} * BH_{i-1} * (1 - BH_{i-1}) * SF$$

Wobei:

$KE_{i-1}$  = Krankheitseffizienz am Vortag i-1 (siehe Kap. 6.1.2.1, 6.1.2.2 und 6.1.2.3)

$BH_{i-1}$  = Befallshäufigkeit am Vortag i-1

$(1 - BH_{i-1})$  = Anteil noch gesunder Blätter am Vortag i-1

SF = Sortenfaktor

Ein Beispiel der Simulationsergebnisse ist in Abb. 34 dargestellt.

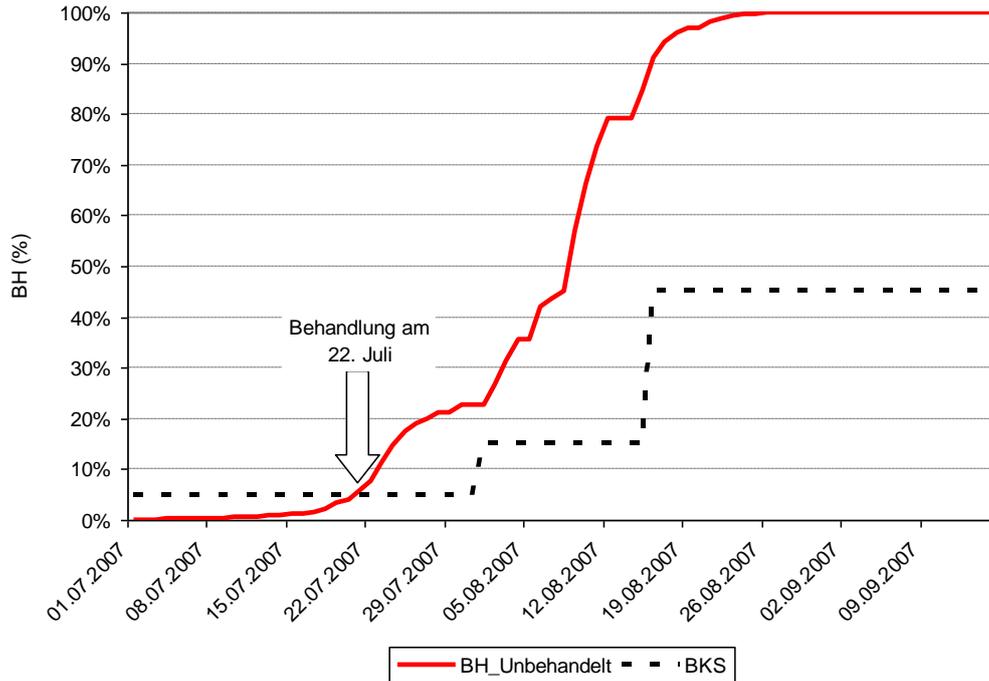


Abbildung 34. Simulationsergebnisse des Modells ERYBET3 für die Wetterstation Alsheim (RP) 2007. Erstauftreten am 1. Juli. Überschreitung der BKS 5% BH am 22. Juli

### 3.3.3. Simulationsstartwert

Das Modell nach Vanderplank (1963) braucht für jede Krankheit einen Startwert, um die Simulation zu initialisieren. Normalerweise ist dieser Wert sehr gering und entspricht dem Betrag des ersten Inokulums. Bei vielen Modellen ist dieser Wert gleich 0,0001 BH. Für ERYBET3, UROBET3 und RAMUBET3 wird der Startwert mit Hilfe des Inokulummoduls des Erstauftretensmodell geschätzt (siehe Kap. 5.2.1) und wie folgt berechnet:

Klasse EA 1 (frühes Auftreten): 1% BH (oder bonitierte BH) / 100

Klasse EA 2 (spätes Auftreten): 1% BH (oder bonitierte BH) / 1000

Der Einfluss des Startwertes auf den Simulationsverlauf ist in Abb.35 gezeigt.

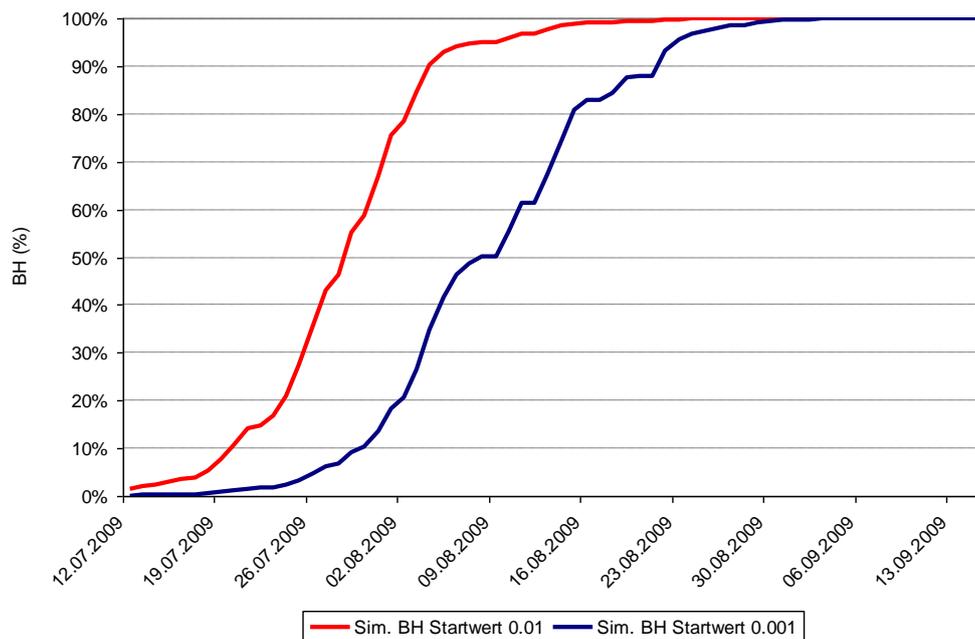


Abbildung 35. Einfluss des Startwertes auf die Simulation

### 3.3.4. Modellierung der Sortenanfälligkeit (Sortenfaktor SF)

Für die Modellierung der Sortenanfälligkeit, aber auch für die Fungizidwirkung, wurden umfangreiche Feldversuche an den Standorten Elbisheimerhof (RP) (ZEPP und Unterauftragnehmer ARGE Worms) und in Kirchhosten (NI) (IFZ und Unterauftragnehmer Strube-Dieckmann) durchgeführt.

In dreifaktoriellen Versuchen (Faktoren: Schwellenwerte, Sorte, Fungizid – Tab.6 und 7) wurden 6 verschiedenen anfällige und teilresistente Sorten sowie Fungizide mit unterschiedlicher Wirkungsdauer untersucht.

Tabelle. 6: Versuchsplan Elbisheimerhof (RP) und Kirchhosten (NI).

Nr.	Variante	Mittel + Aufwand	Einsatzzeitpunkt
1 2	Unbehandelte Kontrolle (je Bonitur und Ernteparzelle)	–	–
3	Gesund-Variante (3 bis 4 Behandlungen)	Spyrale 1,0 l/ha Spyrale 1,0 l/ha Spyrale 1,0 l/ha	vor regionalem Befallsbeginn 3 – 4 Wochen nach 1. Behandlung 3 – 4 Wochen nach 2. Behandlung evtl. 3 – 4 Wochen nach 3. Behandlung
4	Krankheitsspezifisch (5/45 % BH)	Spyrale 1,0 l/ha	<u>Erstbehandlung:</u> bis 15.08.: 5 % BH ab 16.08.: 45 % BH <u>Zweitbehandlung (nach 3-4 Wo.):</u> bis 15.09.: 45 % BH.
5	Krankheitsspezifisch (5/45 % BH)	Opus 1,0 l/ha	<u>Erstbehandlung:</u> bis 15.08.: 5 % BH ab 16.08.: 45 % BH <u>Zweitbehandlung (nach 3-4 Wo.):</u> bis 15.09.: 45 % BH.
6	Summarische Schwelle (5/15/45 % BH)	Spyrale 1,0 l/ha	<u>Erstbehandlung:</u> von 1.07 bis 31.07.: 5% befallene Blätter von 1.08 bis 15.08.: 15 % befallene Blätter ab 16.08.: 45 % befallene Blätter <u>Zweitbehandlung (nach 3-4 Wo.):</u> bis 15.09.: 45 % befallene Blätter
7	Summarische Schwelle (5/15/45 % BH)	Opus 1,0 l/ha	<u>Erstbehandlung:</u> von 1.07 bis 31.07.: 5% befallene Blätter von 1.08 bis 15.08.: 15 % befallene Blätter ab 16.08.: 45 % befallene Blätter <u>Zweitbehandlung (nach 3-4 Wo.):</u> bis 15.09.: 45 % befallene Blätter

Tab. 7: Zuckerrübensorten im Versuch und Monitoring.

Standort	Sorte	Anfälligkeit für Mehltau (Mitt. BSA 06-09)	Züchter
Elbisheimerhof und Kirchhosten	Calida	6	KWS SAAT AG
Elbisheimerhof und Kirchhosten	Prestige	6.7	Diekmann
Elbisheimerhof und Kirchhosten	Paulina	4.5	KWS SAAT AG
Elbisheimerhof und Kirchhosten	William	5.5	Diekmann
Elbisheimerhof und Kirchhosten	Alabama	2.5	KWS SAAT AG
Elbisheimerhof und Kirchhosten	Lucata	3	Syngenta Seeds GmbH
Sortenversuch und Monitoring RP	Pauletta	6.7	KWS SAAT AG
Sortenversuch und Monitoring RP	Felicita	4.2	KWS SAAT AG
Sortenversuch und Monitoring RP	Berenika	3	KWS SAAT AG

Zusätzlich wurden Bonituren von der ZEPP an drei KWS Sortenversuchen (Albig, Worms Heppenheim und Wintersheim) und an fünf Monitoring Spritzfenstern (Dexheim, Dienheim, Göllheim, Mainz-Hechtsheim und Worms-Horchheim) in RP durchgeführt.

In beiden Versuchen und an den Monitoringflächen, wurde ab Ende Juni, wöchentlich, die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke (100 Blatt-Methode, Racca et al., 2007) für jede Krankheit bonitiert.

Für die Berechnung eines Sortenfaktors wurden die einzelnen Epidemien betrachtet und die Verläufe der Befallsstärken in AUDPC-Werte transformiert.

Der Begriff AUDPC steht für „Fläche unter der Befallskurve“ (Englisch: **A**rea **U**nder **D**isease **P**rogress **C**urve). Es handelt sich um eine mathematische Methode, deren Ergebnis eine Kennzahl ist, die die Quantifizierung und den Vergleich von durch Kurvenformen beschriebenen Befallskurven ermöglicht. Die Berechnung basiert auf der Trapezregel und mindestens zwei Untersuchungen.

Die Formel zur Berechnung lautet:

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})/2] * (t_{i+1} - t_i)$$

Wobei:

X = Befallsstärke an Termin i und i+1

n = Anzahl der Bonituren

( $t_{i+1} - t_i$ ) = Zeitintervall (in Tagen oder die Anzahl der Boniturtermine) zwischen zwei aufeinander folgenden Boniturterminen (Campbell & Madden, 1990).

Der Einfluss von Standort und Jahr auf die AUDPC Werte wurde relativiert (die Sorte mit dem höchsten Mittelwert der AUDPC wurde gleich eins gesetzt und die übrigen Sorten dazu in Relation gesetzt).

#### 3.3.4.1. Sortenfaktoren Mehltau

Die AUDPC-Werte wurden erstmal als BOX-PLOT Analyse dargestellt. Abb. 36 zeigt eine gute Abhängigkeit zwischen den AUDPC Werten und der BSA-Note: ein höherer AUDPC Wert steht in Zusammenhang mit einer höheren BSA-Note.

Um die statistischen Differenzen abzusichern, wurde eine einfache ANOVA (Varianzanalyse) mit Tukey Test berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 8 zusammengefasst.

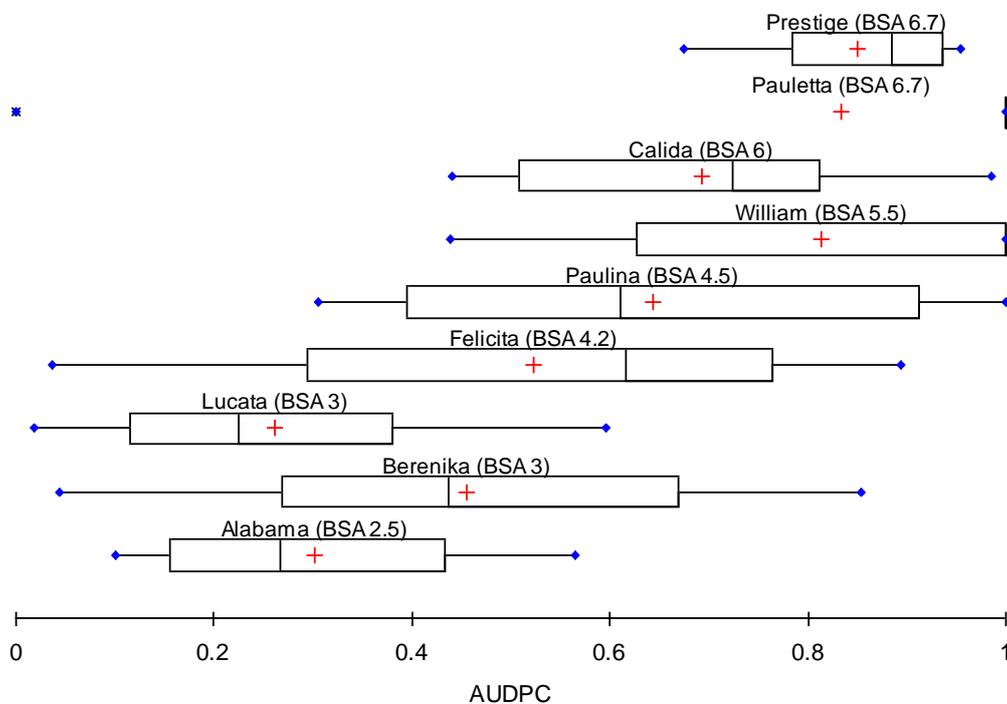


Abb. 36 Box-Plot Analyse der Mehltau relativen AUDPC Werte

Tabelle 8. Tukey (HSD) / Mehltau - Analyse der Unterschiede zwischen den Sorten.

Sorte BSA-Note für Mehltau in Klammern	AUDPC (Mehltau)	Gruppen	
Prestige (6.7)	0.850	A	
Pauletta (6.7)	0.833	A	
William (5.5)	0.814	A	
Calida (6)	0.692	A	B
Paulina (4.5)	0.644	A	B
Felicita (4.2)	0.523	A	B
Berenika (3)	0.455	A	B
Alabama (2.5)	0.301		B
Lucata (3)	0.262		B

Die ANOVA verteilt die AUDPC Mittelwerte in drei Gruppen. Somit können die Sorten wie folgt klassifiziert werden:

- Gruppe A: stark anfällige Sorte;
- Gruppe AB: mittlere anfällige Sorte;
- Gruppe B: gering anfällige Sorte;

Um einen Sortenfaktor zu berechnen, wurden die Mittelwerte der AUDPC-Werte mittels einer einfachen linearen Regression mit der BSA-Note korreliert (Abbildung 37).

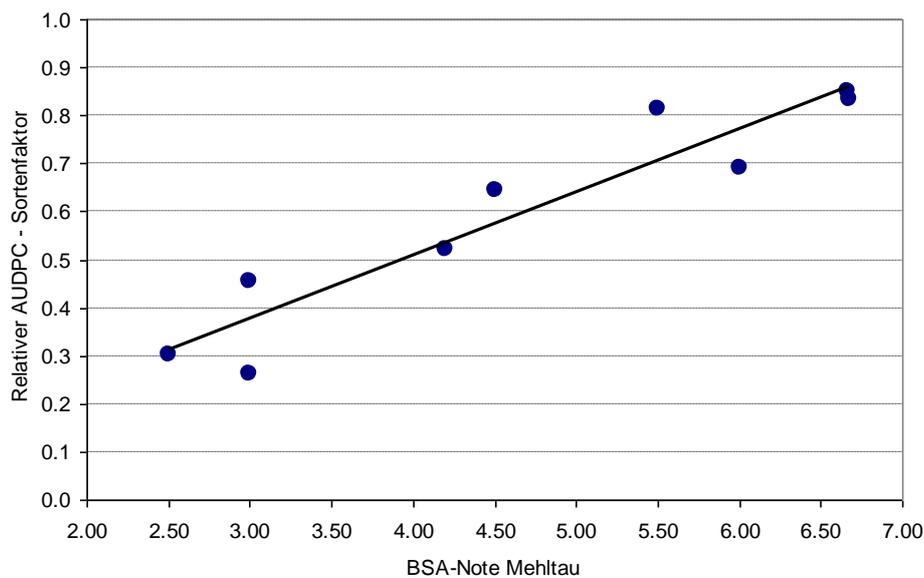


Abbildung 37. Berechnung des Mehltau Sortenfaktors in Abhängigkeit von der BSA-Note Mehltau mittels linearer Regressionsanalyse

Wie dargestellt in Abb. 38 zeigt die simulierte BH mit dem berechneten Sortenfaktor eine deutliche Verbesserung.

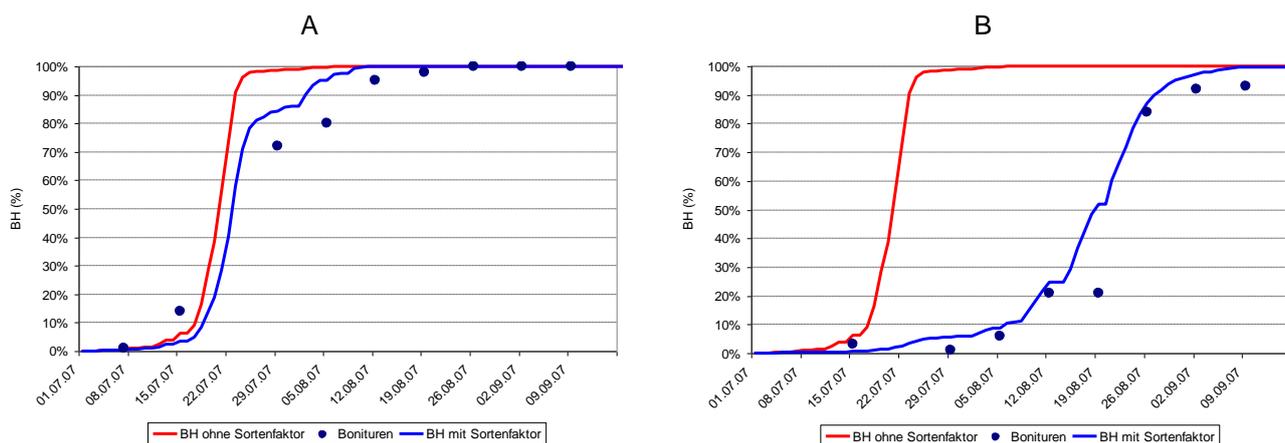


Abbildung 38: ERYBET3 Simulationsergebnisse mit Sortenfaktor. Standort Wintersheim 2008, A: Sorte Pauletta (BSA 6.7, Sortenfaktor 0.83), B: Sorte Berenika (BSA 3, Sortenfaktor 0.38)

### 3.3.4.2. Sortenfaktoren für Rost

Derzeit wird von Bundessortenamt keine BSA-Note zur Einstufung der Rostanfälligkeit erstellt. Die BOX PLOT Analyse in Abb. 39 zeigt aber deutlich, dass es eine Beziehung zwischen der BSA-Note für Mehltau und den Werten der AUDPC gibt. In diesem Fall liegt der Trend aber umgekehrt im Vergleich zur BSA-Note für Mehltau vor (Abb. 35). Eine hohe Mehltauanfälligkeit der Sorte steht im Gegensatz zu einem geringen AUDPC-Wert für Rost.

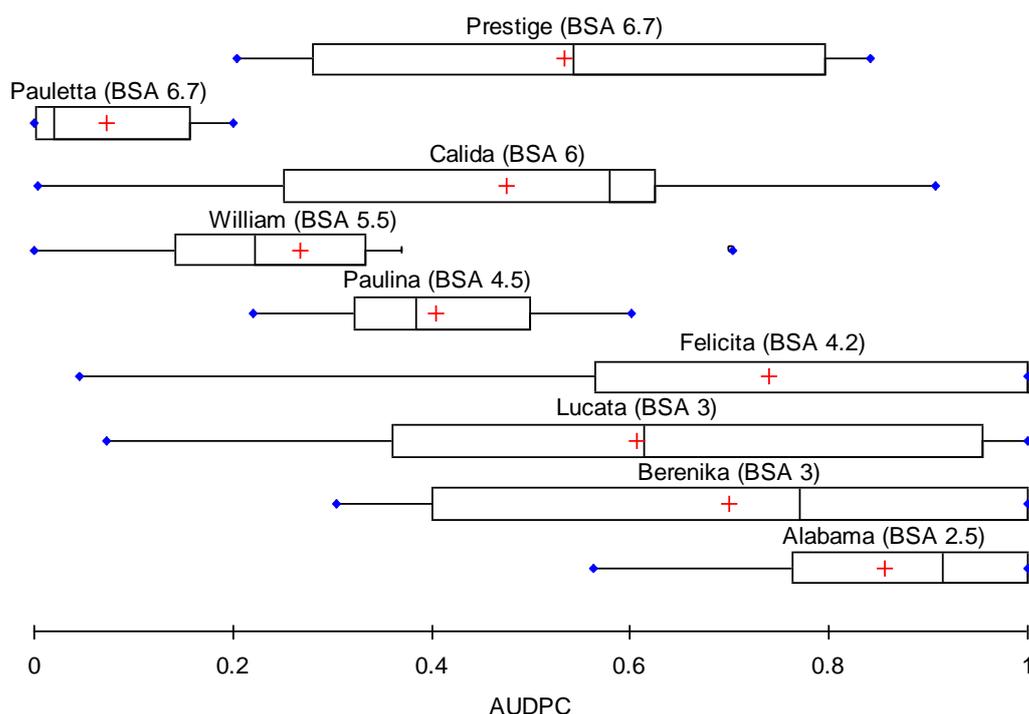


Abb. 39: Box-Plot Analyse der Rost AUDPC Werte (BSA-Note für Mehltau in Klammern)

Dies lässt sich vermutlich wie folgt erklären: Die Rostepidemie entwickelt sich im Gegensatz zur Mehltauepidemie unter ganz anderen Witterungsbedingungen. Optimal für Rost sind niedrige Temperaturen und hohe Luftfeuchte. Diese Bedingungen treten besonders häufig zu Beginn und manchmal zum Ende der Saison auf. Über die Sommermonate sind jedoch meistens warme Temperaturen und Trockenheit vorherrschend, die eine Mehltauepidemie begünstigen. Unter warmen und trockenen Bedingungen sowie wie ohne starken Cercospora-Befall, wächst, bei einer mit Mehltau infizierten, stark anfälligen Zuckerrüben-Sorte, das oberflächige Myzel rasant an. Dagegen können dann Rostsporen

die Epidermis oder die Spaltöffnungen nur noch schwer erreichen und die Möglichkeit einer Rostinfektion ist reduziert.

Die Daten unserer Versuchen zeigen, dass die sehr Mehltau anfälligen Sorten geringen Rostbefall zeigen.

Durch die Varianz-Analyse mit Tukey Test (Tab. 9) können die Sorten wie folgt klassifiziert werden:

- Gruppe A und AB: stark anfällige Sorten;
- Gruppe ABC mittlere anfällige Sorten;
- Gruppe BC und C: gering anfällige Sorten;

Tabelle 9. Tukey (HSD) / Rost - Analyse der Unterschiede zwischen den Sorten.

Sorte BSA-Note für Mehltau in Klammern	AUDPC (Rost)	Gruppen		
Alabama (2.5)	0.855	A		
Felicita (4.2)	0.739	A	B	
Berenika (3)	0.700	A	B	
Lucata (3)	0.607	A	B	C
Prestige (6.7)	0.533	A	B	C
Calida (6)	0.475	A	B	C
Paulina (4.5)	0.405	A	B	C
William (5.5)	0.269		B	C
Pauletta (6.7)	0.073			C

Wie auch beim Mehltau können die durchschnittlichen AUDPC-Werte für Rost mit der BSA-Note für Mehltau reziprok korreliert werden. Somit erhält man mittels einer einfachen linearen Regression einen Sortenfaktor für Rost (Abbildung 40)

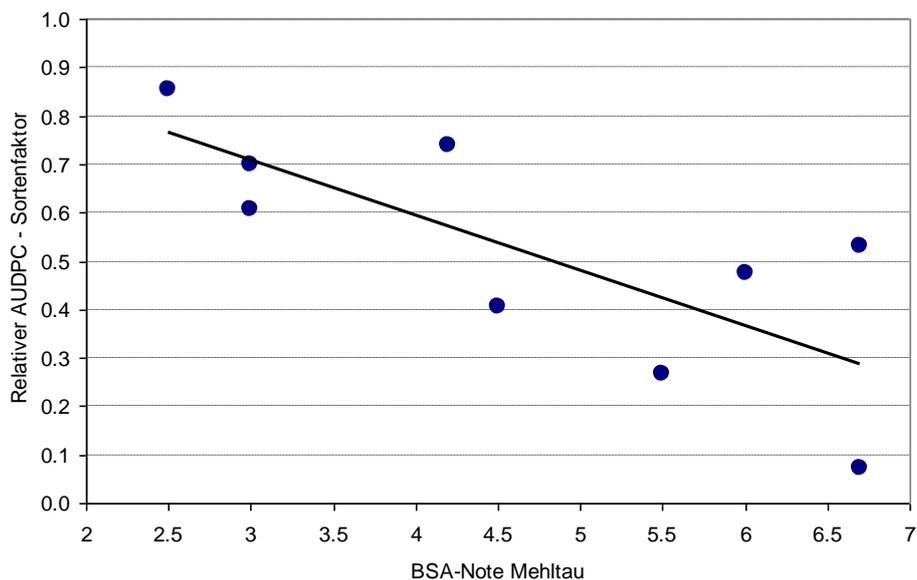


Abbildung 40. Berechnung des Rost-Sortenfaktors in Abhängigkeit von der BSA-Note für Mehltau mittels linearer Regressionsanalyse.

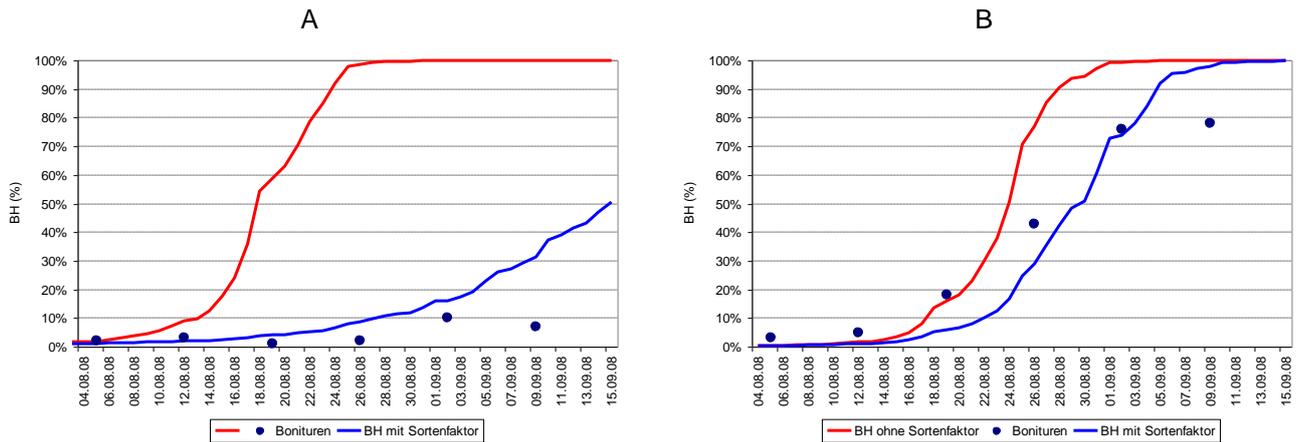


Abbildung 41. UROBET3 Simulationsergebnisse mit Sortenfaktor. Standort Wintersheim 2008, A: Sorte Pauletta (BSA 6.7, Sortenfaktor 0.28), B: Sorte Berenika (BSA 3, Sortenfaktor 0.71)

Auch in diesem Fall konnte durch die Umsetzung eines Sortenfaktors im Modell die Simulation verbessert werden (Abb. 41).

### 3.3.4.3. Sortenfaktoren Ramularia

Da es in unseren Feldversuchen keine bedeutsamen Epidemien von Ramularia in den Jahren 2007-2009 gab, war es für diese Krankheit nicht möglich einen Sortenfaktor zu berechnen.

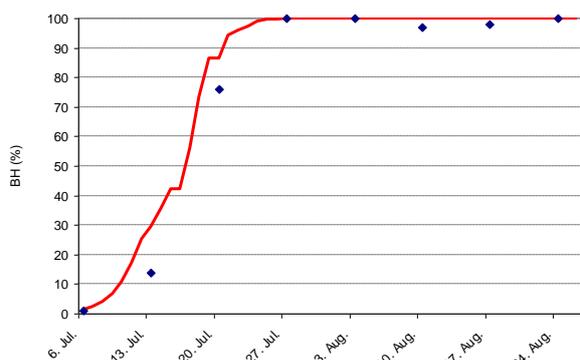
Die Informationen über die Sortenanfälligkeit gegenüber Ramularia aus der Literatur sind zu gering um die Zuckerrübensorten zu klassifizieren. Aus diesem Grund werden im Modell alle Sorten als mit-telanfällig eingestuft und erhalten einen allgemeinen Faktor von 0.5.

### 3.3.5. Modellvalidierung

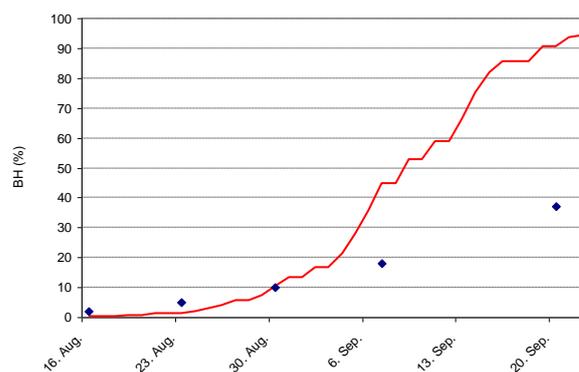
Die 3er Modelle wurden mit Daten aus dem ZR PSD Monitoring validiert. Diese Flächen lagen in den wichtigen Zuckerrüben-Anbaugebieten in Deutschland im Zeitraum 2004-2009. In die Validierung sind nur Daten von Standorten eingeflossen, bei denen während der Saison Bonituren an mindestens vier Terminen durchgeführt worden sind. Alle Boniturdaten wurden auf unbehandelten Feldern oder in Spritzfenstern durchgeführt. Wenn keine Informationen über die Sortenanfälligkeit vorlagen, wurde die Simulation mit einem durchschnittlichen Sortenresistenzfaktor von 0.5 durchgeführt.

Wie in Abbildung 42 als Beispiel dargestellt, simuliert das Modell den Verlauf der Befallshäufigkeit im Feld recht gut. Es gibt aber auch Fälle von Überschätzung und Unterschätzung.

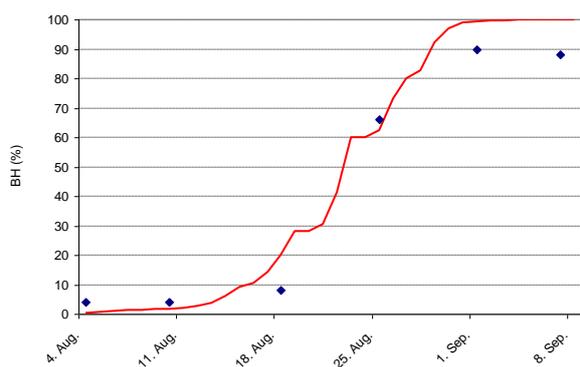
ERYBET3 – Wetterstation Dienheim (RP) 2009



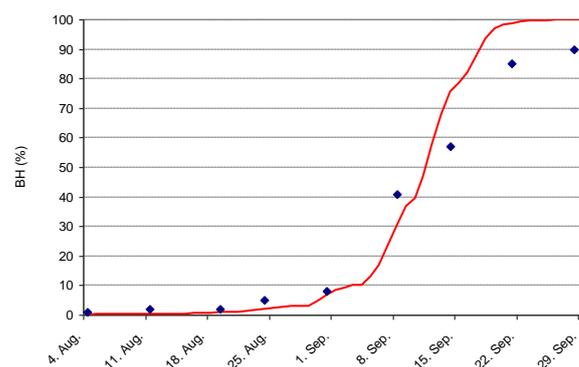
ERYBET3 – Wetterstation Chemnitz (SN) 2004



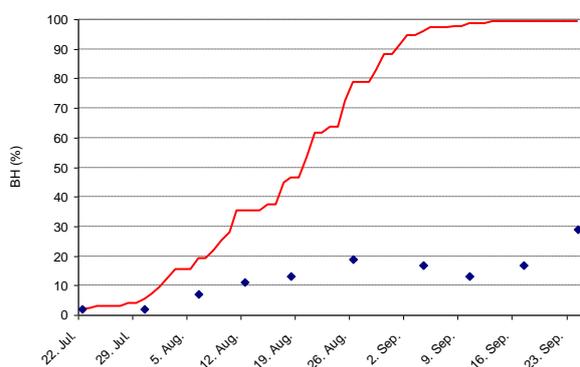
UROBET3 – Wetterstation Borwede (NI) 2009



UROBET3 – Wetterstation Magdeburg (ST) 2009



RAMUBET3 – Wetterstation Osterfeld (ST) 2009



RAMUBET3 – Wetterstation Gardelegen (ST) 2009

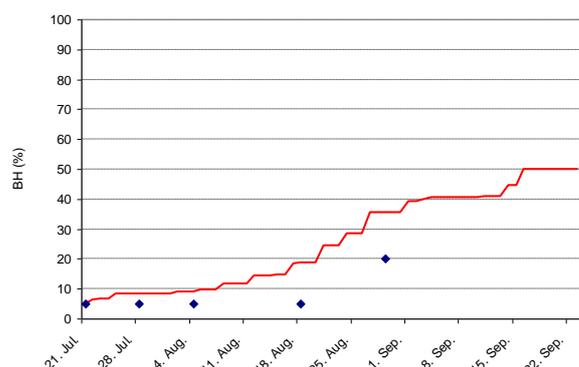


Abbildung 42: Beispielergebnisse der ERYBET3, UROBET3 und RAMUBET3 Modelle für einige Standorte in Zuckerrübenanbaugebieten in Deutschland

Das Hauptziel dieser Modelle ist es eine Überschreitung der Bekämpfungsschwelle zu prognostizieren. Die Validierung dieses wichtigen Termins wurde wie folgt durchgeführt (Racca et al., 2010) (Abb. 43):

- Das Modell ist korrekt: wenn der errechnete Termin zum Erreichen der Bekämpfungsschwelle in einem Zeitraum +/- 7 Tage im Vergleich zur Feldbefallserhebung liegt. Das Modell wurde also korrekt evaluiert, wenn sowohl das Simulationsergebnis als auch die Felddaten entweder beide keine Behandlung vorsehen oder beide einen Behandlungstermin empfehlen.
- Das Modell ist zu früh: wenn der simulierte Behandlungstermin mehr als 7 Tage früher ist als der bonitierte Termin;
- Das Modell ist zu spät: wenn der simulierte Behandlungstermin mehr als 7 Tage später ist als der bonitierte Termin;

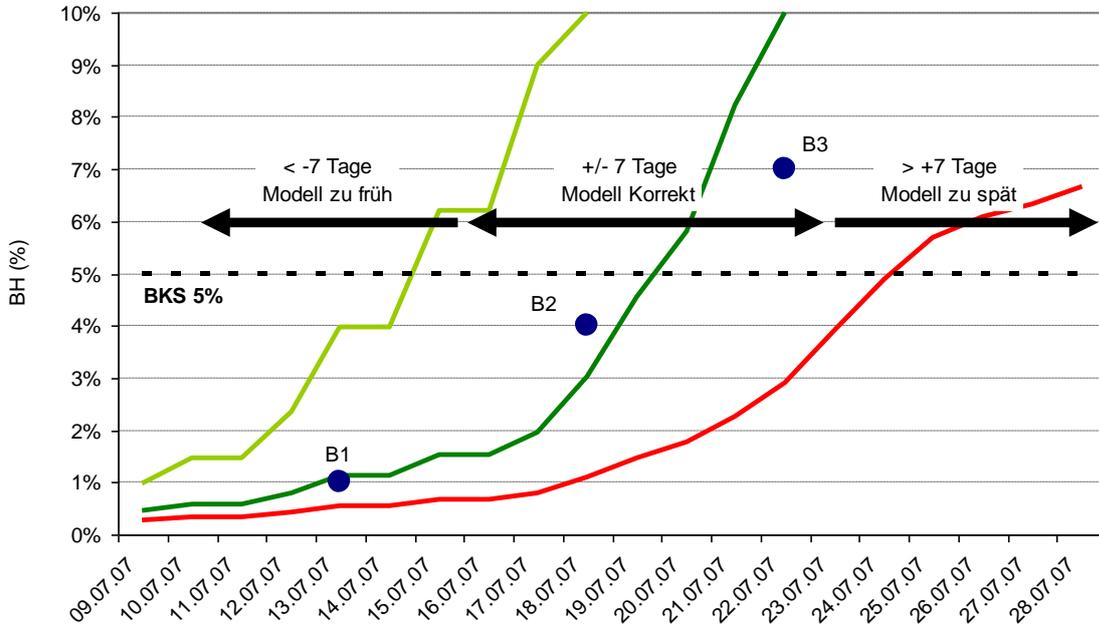


Abbildung 43. Validierungsschema des Modells ERYBET3. (Punkte B1, B2 und B3: bonitierte BH, Linien: simulierte BH). Überschreitung der BKS zwischen Bonitur 2 und 3.

Die Ergebnisse der ERYBET3 Validierung sind in Abbildung 44 zusammengefasst.

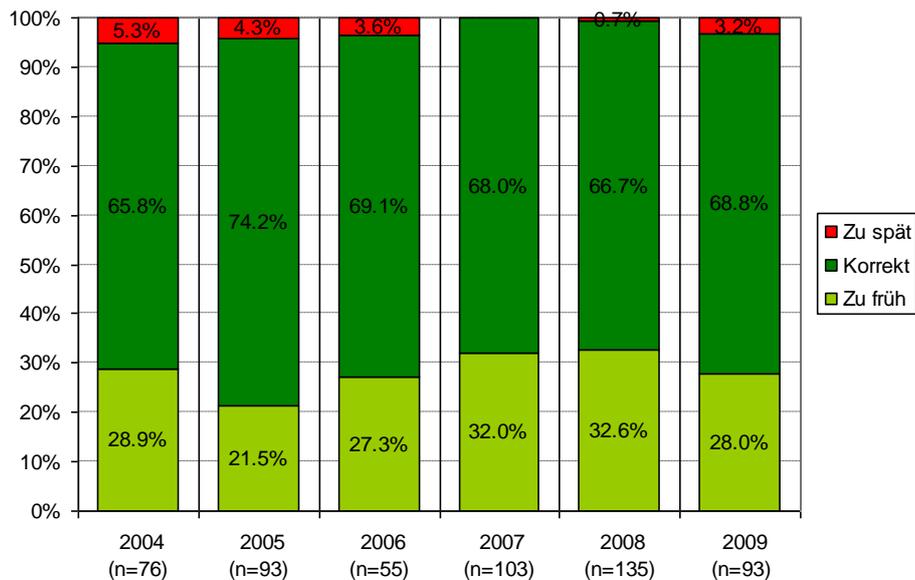


Abbildung 44. Validierungsergebnisse des Modells ERYBET3 im Zeitraum 2004-2009

Für das ERYBET3 Modell ist im Jahresdurchschnitt der Anteil korrekter Prognosen bei etwa 70%, ca. 3% zu späte Prognosen und ca. 28% zu frühe Prognosen.

Die Ergebnisse der UROBET3 Validierung sind in Abbildung 45 zusammengefasst.

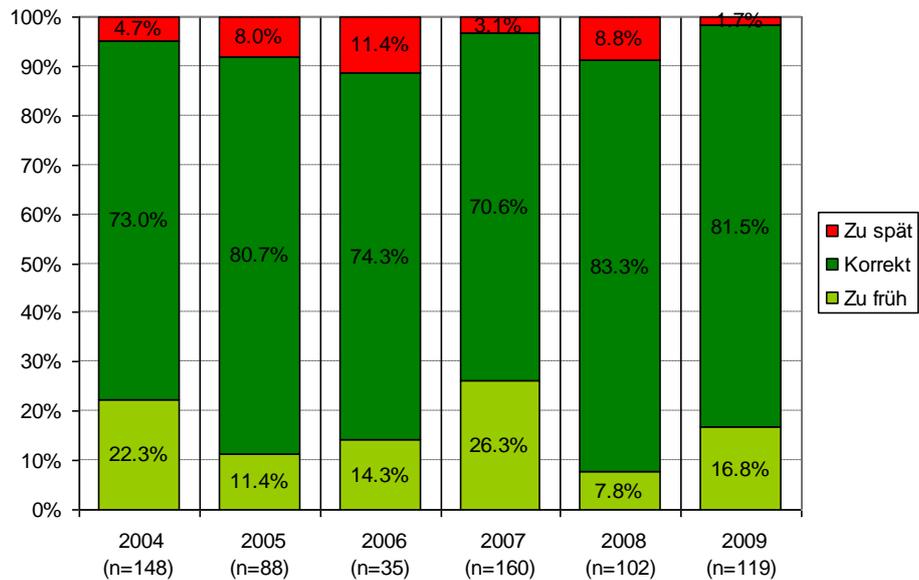


Abbildung 45. Validierungsergebnisse des Modells UROBET3 im Zeitraum 2004-2009

Für das UROBET3 Modell ist im Jahresdurchschnitt der Anteil der korrekten Prognosen bei etwa 80%, ca. 5% zu späte Prognosen und etwa 15% zu frühe Prognosen.

Die Ergebnisse der RAMUBET3 Validierung sind in Abbildung 46 zusammengefasst.

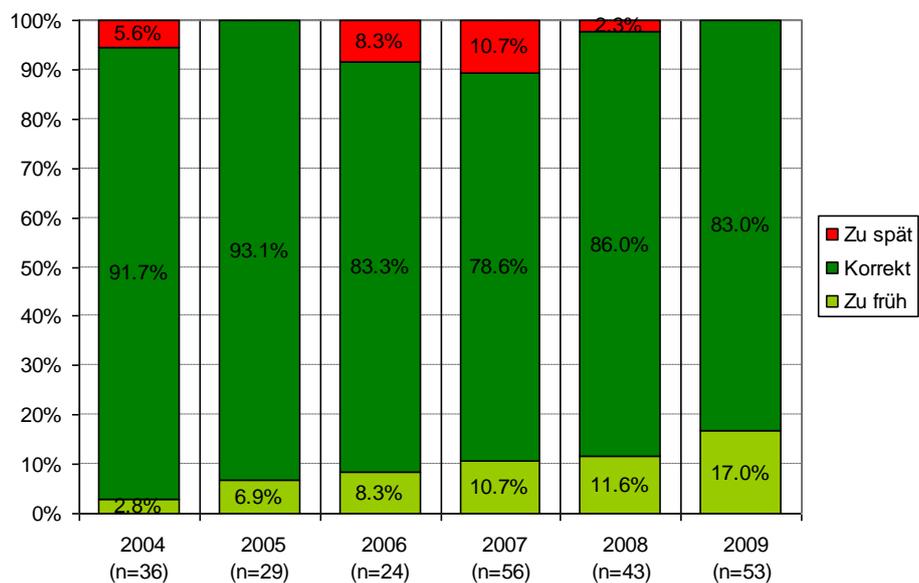


Abbildung 46. Validierungsergebnisse der Modell RAMUBET3 in Zeitraum 2004-2009

Für das RAMUBET3 Modell ist im Jahresdurchschnitt der Anteil der korrekten Prognosen bei etwa 86%, ca. 4% zu später Prognosen und etwa 10% zu frühe Prognosen.

### 3.3.6. Modellierungen der Fungizidwirkung an Mehltau (Faktor FW)

Mit den 3er Modellen ist es möglich die Befallshäufigkeitsverläufe zu simulieren und in Abhängigkeit von der Bekämpfungsschwelle, den Termin für die erste Fungizidbehandlung vorherzusagen (Racca et al. 2007).

In Regionen mit hoher Zuckerrübenanbaudichte oder in Jahren, in denen die Krankheiten, insbesondere Mehltau, sehr früh in der Saison erscheinen (Ende Juni - Anfang Juli), können weitere Behandlungen notwendig werden. Die Bekämpfungsschwelle ist für diese weiteren Behandlungen mit 45% Befallshäufigkeit festgelegt. In der Praxis wird sehr oft 2-3 Wochen nach der ersten Behandlung oder nach erneutem Überschreiten des Schwellenwertes eine weitere Behandlung routinemäßig durchgeführt.

Mit dem Modell ist es nun möglich den genauen Termin vorherzusagen, wann der Schwellenwert für eine weitere Behandlung überschritten sein wird. Zusätzlich dazu wird im Modell die Wirksamkeit von Fungiziden berücksichtigt.

Die Befallshäufigkeitszunahme wird deshalb unter Berücksichtigung der Fungizidwirkung erweitert:

$$\delta \text{ BHi} = \text{KEi-1} * \text{BHi-1} * (1-\text{BHi-1}) * \text{SF} * (1-\text{FW})$$

Wobei: FW = Fungizidwirkungsfaktor

Zur Berechnung der Wirksamkeit von Fungiziden wurden Daten aus Feldversuchen (Tabelle 15) verwendet. Als Grundlage zur Modellierung der Fungizidwirksamkeit wurden die Daten aus den Feldversuchen 2008 des Standortes Elbisheimerhof (RP) genutzt. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass ein vollständiger Datensatz zur Verfügung steht, 2008 eine starke Mehltauepidemie vorhanden war und die durchgeführten Behandlungen für alle Versuchsvarianten termingenau und gleichzeitig durchgeführt werden konnten.

Diese Daten wurden mit demselben Ansatz, der für das CERCBET3 Modell (Racca et al., 2007) verwendet wurde, modelliert.

Die restlichen Daten wurden für die Validierung verwendet.

Die Eigenschaften der Fungizide, die in den Versuchen zum Einsatz kamen, sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10. Eigenschaften der Fungizide Spyrale und Opus (Empfehlungen 2010 – DRL Bad Kreuznach – Rheinland Pfalz)

Mittel	Wirkstoff	Aufw.l/ha	Wirkung
Spyrale	Difenoconazol 100g/l + Fenpropidin 375 g/l	1,0	Cercospora, Mehltau, Ramularia (Rost wird erfasst)
Opus	Epoconazol 125g/l	1,0	Cercospora, Mehltau (Rost wird erfasst)

Für die Berechnung der Fungizidwirkung wurden Befallshäufigkeiten ab dem Tag der Behandlung genutzt. Die Differenzen der Fungizide werden zunächst, für jede behandelte Variante, wie folgt berechnet:

$$\text{FW} = 1 - (\text{BH beh.} / \text{BH unbeh.})$$

Zum Beispiel:

BH unbehandelte Kontrolle = 45%

BH behandelte Variante = 6%

$$\text{FW} = 1 - (6/45) = 0,86 = 86\%$$

Die Fungizidwirkung wird danach als Mittelwert der gleichzeitig behandelten Varianten berechnet.

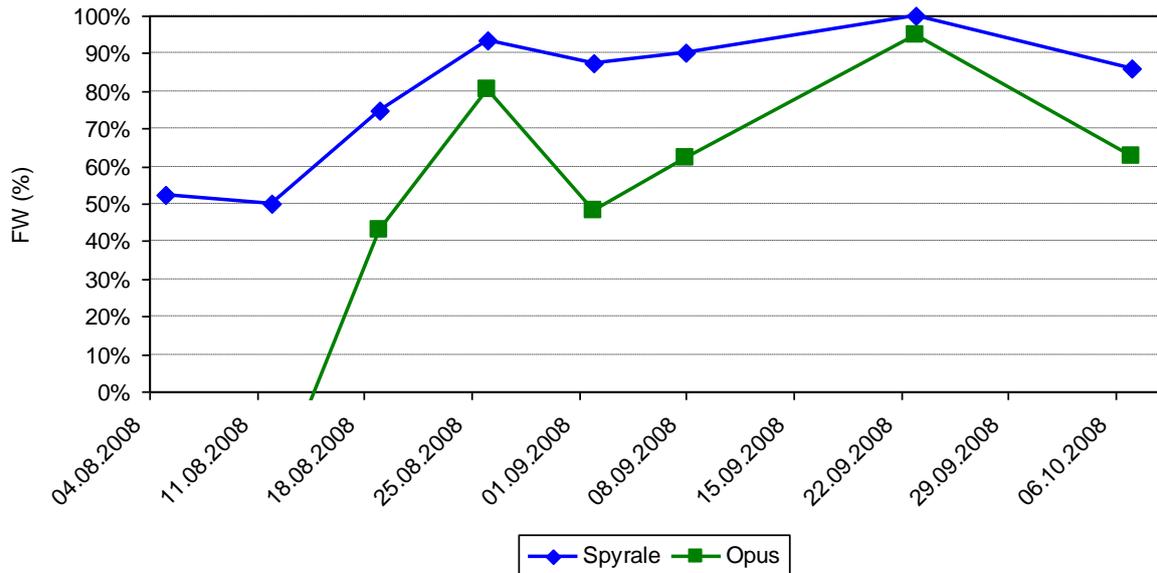


Abbildung 47. Fungizidwirkung (% Mittelwert aller gleichzeitig behandelten Varianten) an der Sorte Calida im Feldversuch Elbisheimerhof 2008

Die Fungizidwirkungen werden durch eine Temperatursumme ab dem Tag der Behandlung dargestellt. Die Temperatursumme wird, ausgehend von den Mittelwerten der Tagestemperaturen, ab dem Tag der Behandlung für jeden Boniturtermin addiert. So werden die Kalendertage zu einer Temperatursumme (Gradtage, biologische Zeit) umgerechnet.

Die Fungizidwirkung in Abhängigkeit von der Temperatursumme wurde mit einer Gauß-Funktion wie folgt berechnet:

$$FW = a * \text{EXP} (-(0,5 * ((\text{SummeT} - c) / b)^2))$$

Wobei:

FW = Fungizidwirkung

SummeT = Temperatursumme ab der Behandlung

a, b, c = Formparameter

Die jeweiligen Funktionen sind in Abbildung 48 dargestellt

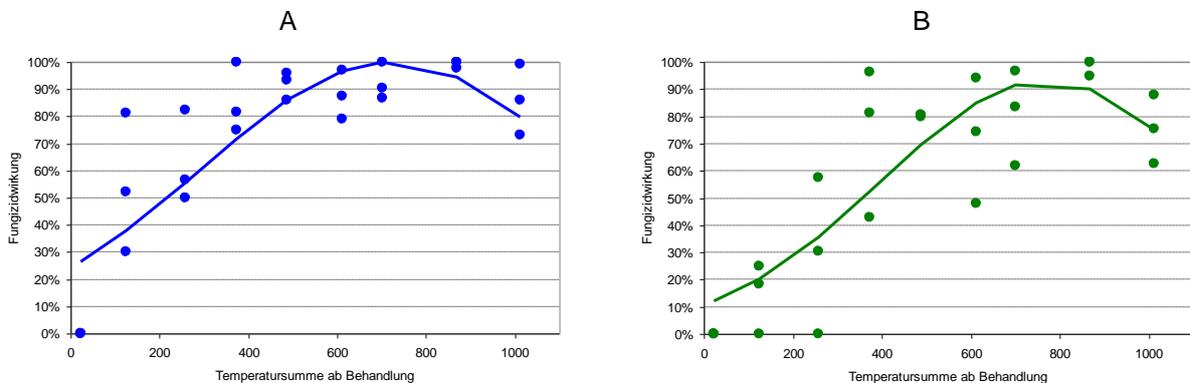


Abbildung 48. Fungizidwirkung in Abhängigkeit von der Temperatursumme ab der Behandlung (• Boniturdaten, — Gauß Funktion) für das Fungizid Spyrale (A) und Opus (B).

In der Abbildung 49 sind die Fungizidwirkungen von beiden kurativen Fungiziden dargestellt. Das Fungizid Spyrale erreicht seine maximale Wirkung nach 710 Gradtagen nach Behandlungsbeginn. Zum Vergleich erreicht das Fungizid Opus seine optimale Wirkung nach 770 Gradtagen. Mit einer theoretischen Konstante von 25°C mittlerer Tagestemperatur (Sommerbedingungen) wurde die optimale Wirkung nach 28,4 Tagen für Spyrale und nach 30,8 Tagen für Opus erreicht. Diese Beobachtung passt zur technischen Beschreibung des Herstellers der jeweiligen Fungizide. In der Tendenz verfügt das Fungizid Spyrale gegenüber Opus über eine geringfügig höhere Leistung.

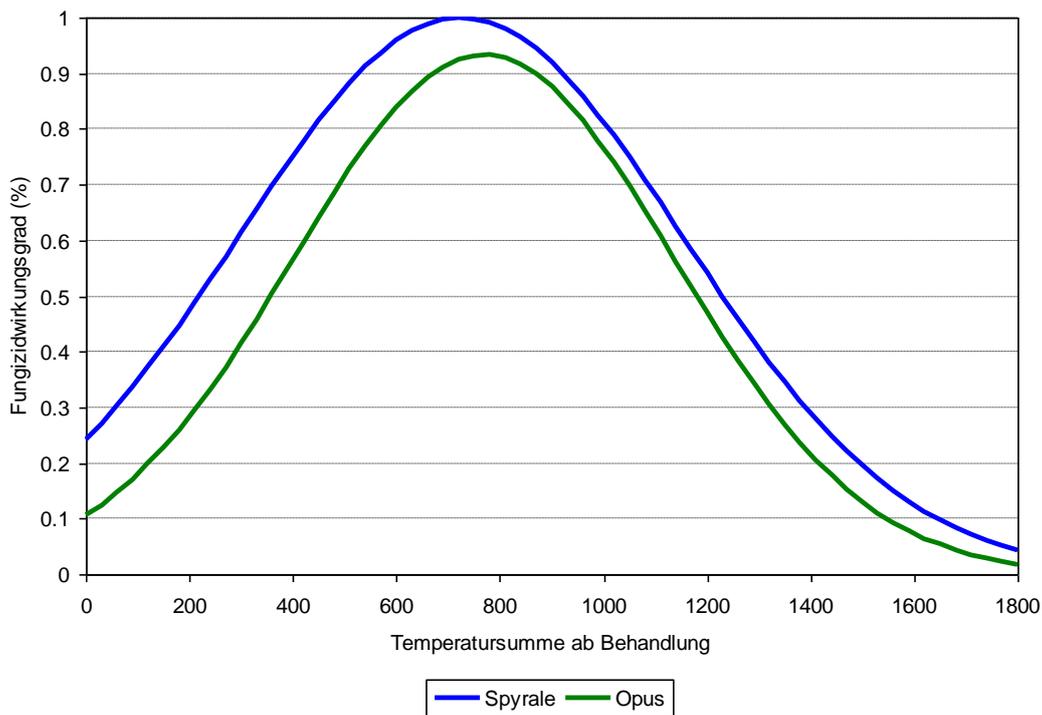


Abbildung 49: Vergleich der Fungizidwirkung von beiden Fungiziden Spyrale und Opus nach Temperatursumme ab Behandlung (°C Tage)

Die Fungizidwirkungen, die vorher berechnet werden, können als dämpfender Faktor für die Krankheitseffizienz im Modell aufgenommen werden.

Der Faktor  $(1-FW)$  mit Fungizidwirkung ( $FW$ ) ist temperaturabhängig und an den Zeitpunkt der Behandlung gekoppelt. Dadurch sinkt die Krankheitseffizienz so wie in Abbildung 50 dargestellt.

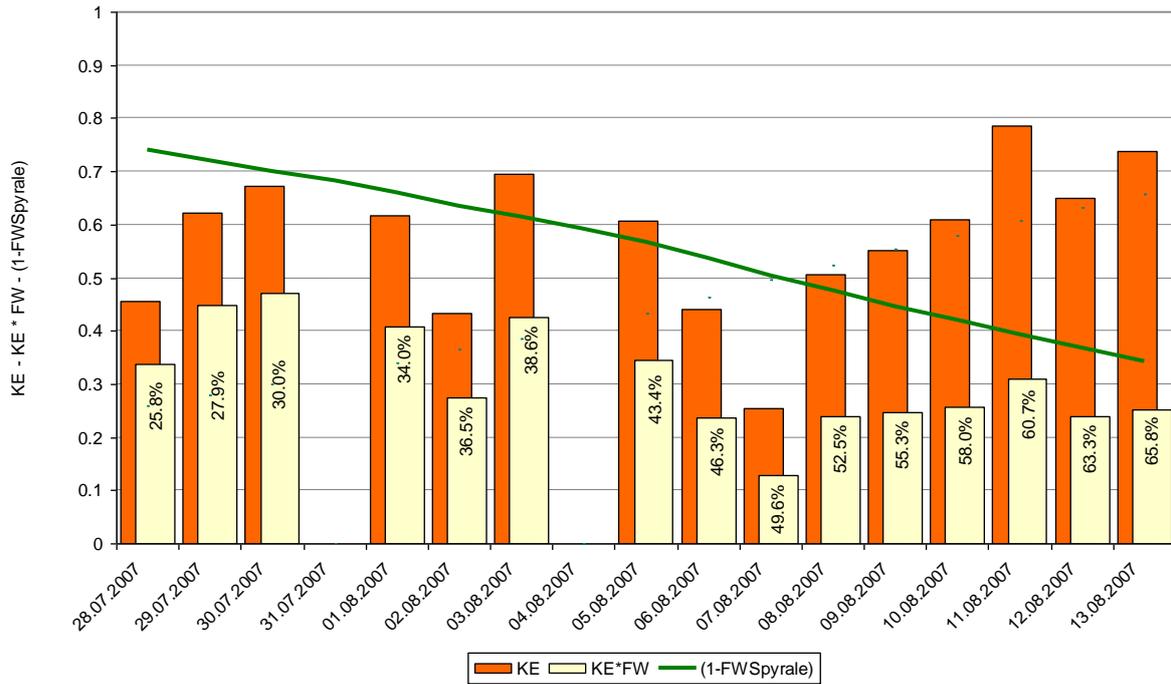


Abbildung 50: Beispielwirkung des Fungizids Spyrale auf die Mehltau Krankheitseffizienz. Die Zahlen der Säulen zeigen die prozentuale Verringerung der Krankheitseffizienz.

ERYBET3 kann den behandelten Befallshäufigkeitsverlauf mit Fungizidwirkung der zwei Fungizide Spyrale und Opus simulieren (Beispiel in Abb. 51).

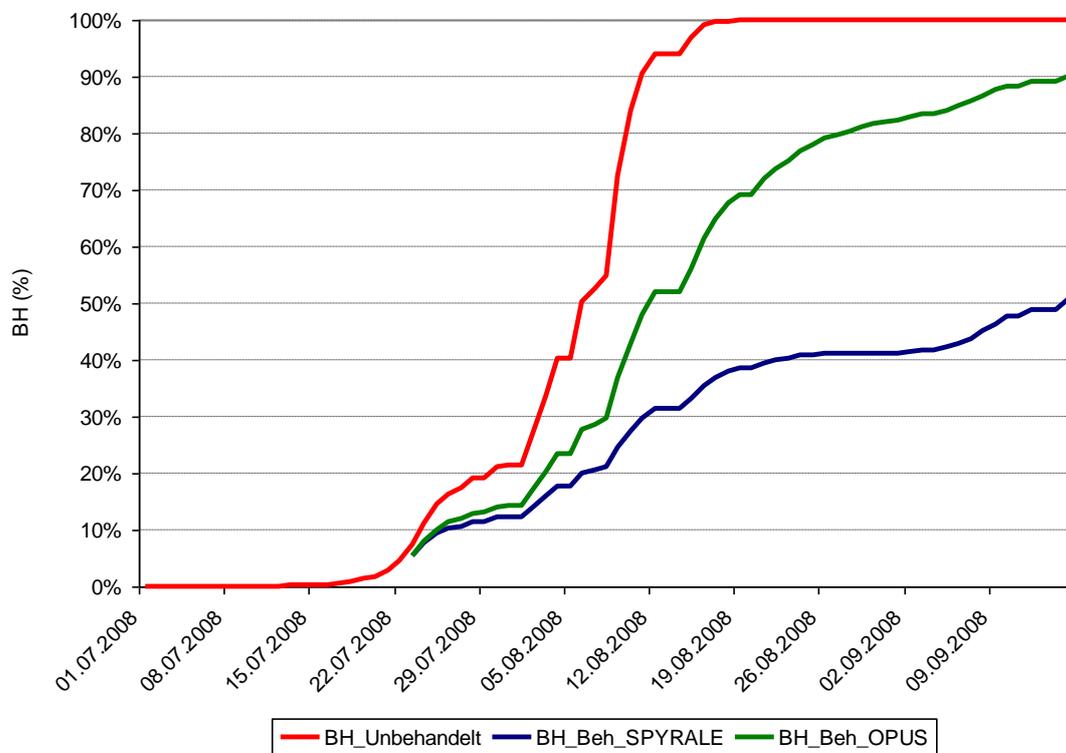


Abbildung 51: Simulierte Befallshäufigkeitsverläufe unbehandelt und behandelt mit den Fungiziden Spyrale und Opus für ERYBET 3.

Mit den simulierten Verläufen der Befallshäufigkeit für die behandelten Varianten ist es möglich eine erneute Überschreitung der Bekämpfungsschwelle und somit eine eventuell notwendige zweite Behandlung richtig zu terminieren (Abb.52 und 53).

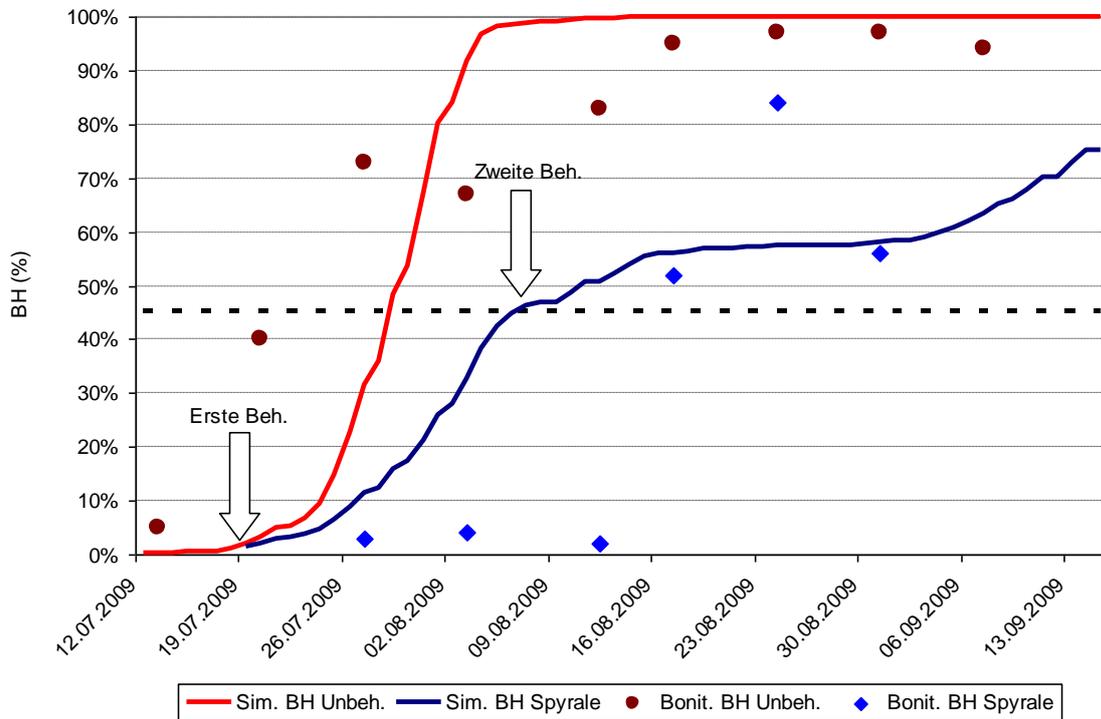


Abbildung 52: Simulierte und bonitierte Befallshäufigkeitsverläufe, unbehandelt und behandelt mit dem Fungizid Spyrale am Versuchsstandort Elbisheimerhof, 2009, Sorte Calida (Wetterstation: Weierhof)

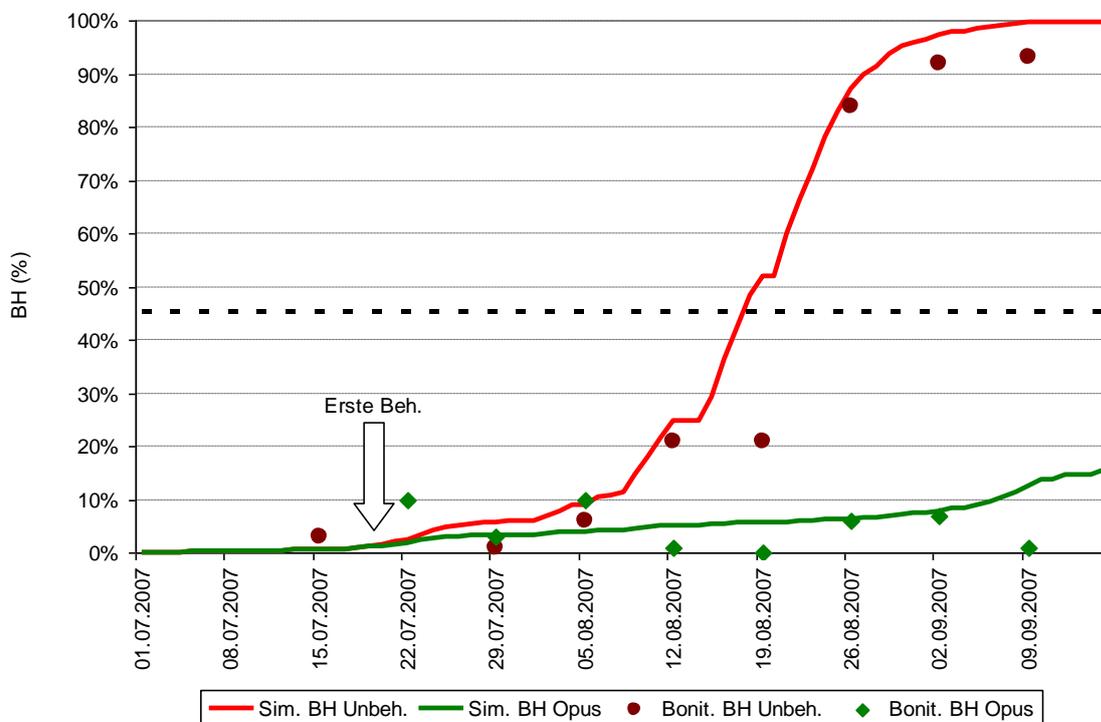


Abbildung 53: Simulierte und bonitierte Befallshäufigkeitsverläufe, unbehandelt und behandelt mit dem Fungizid OPUS am Versuchsstandort Wintersheim, 2008, Sorte Berenika (Wetterstation: Alsheim)

Das Modell mit Fungizidwirkungsfaktor wurde mit derselben Methode validiert, die schon für ERYBET3 für den Sortenfaktor beschrieben wurde (siehe Kap. 6.2.5). In diesem Fall wurde festgestellt, ob die zweite Behandlung korrekt vorhergesagt wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 und Abbildung 54 zusammengefasst.

Tabelle 11: Ergebnisse der Validierung des Modells ERYBET 3 mit Fungizidwirkungsfaktor

Jahr	Bundesland	Standort	n	zu früh	korrekt	zu spät
2007	RP	Elbisheimerhof	12	4	5	3
	RP	Wintersheim	7	2	5	0
	RP	Worms-Heppenheim	5	1	2	2
	RP	Mainz-Hechtsheim	2	0	1	1
	NI	Kirchhosten	12	1	11	0
2008	RP	Wintersheim	3	0	2	1
	RP	Worms-Heppenheim	3	0	3	0
	RP	Mainz-Hechtsheim	1	0	1	0
	NI	Kirchhosten	12	2	8	2
2009	RP	Elbisheimerhof	12	1	10	1
	RP	Wintersheim	3	1	2	0
	NI	Kirchhosten	12	2	10	0
Summe			84	14	60	10

n = 84

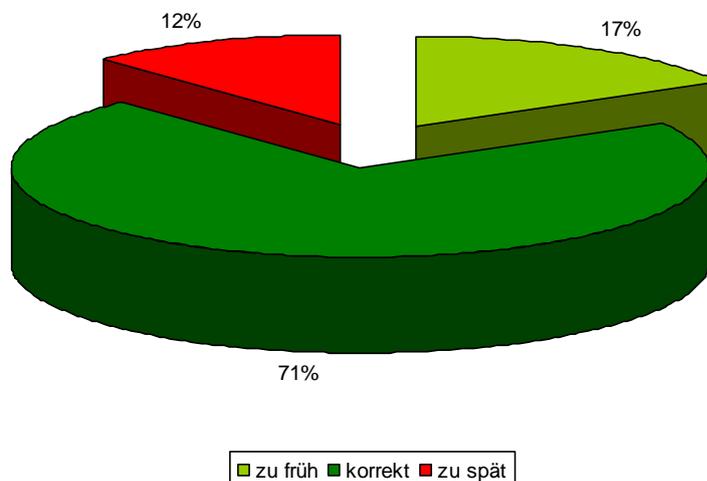


Abbildung 54: Trefferquote der Validierung des Modells ERYBET 3 mit Fungizidwirkungsfaktor

Die Einführung des Fungizidwirkungsfaktors erhöht erneut die Praxistauglichkeit des Modells:

- Die Befallshäufigkeit wird in Abhängigkeit von der Sortenanfälligkeit simuliert.
- Der Ausgabe des Behandlungstermins in Abhängigkeit von der Bekämpfungsschwellenüberschreitung.
- Die Ausgabe des 2. Behandlungstermins in Abhängigkeit von der erneuten Bekämpfungsschwellenüberschreitung unter Berücksichtigung der Fungizidwirkung der 1. Behandlung,

### 3.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Modelle ERYBET1 und 3, UROBET1 und 3 und RAMUBET1 und 3 können zusammen mit dem zuvor entwickelten Modell CERCBET1 und 3 verwendet werden,

Da die Modelle derzeit noch keine Interaktionen zwischen den vier Krankheiten berücksichtigen können (Konkurrenz oder Koexistenz), wird die folgende Strategie vorgeschlagen:

- **Erstauftreten:** Die Krankheit, welche zuerst erscheint, hat in der Regel, die besten Chancen für eine gefährliche epidemische Entwicklung. Dies ist insbesondere abhängig von klimatischen Bedingungen nach dem Erstauftreten. Die Modelle vom Typ 1 werden hauptsächlich verwendet, um den Zeitpunkt des Auftretens von Krankheiten zu schätzen und die Monitoring-Aktivitäten zu organisieren. Unter diesem Aspekt ist es nicht von besonderer Bedeutung welche Krankheit zuerst erscheint, sondern nur der genaue Zeitpunkt des Auftretens ist wichtig. Mit dieser Information kann für die Pflanzenschutzdienste der Länder der Beginn der Monitoringaktivität und für die Landwirte der Beginn der Feldkontrolle besser koordiniert und terminiert werden.
- **Die Prognose der ersten Behandlung:** Das summarische Bekämpfungsschwellensystem betrachtet alle 4 Krankheiten zusammen und beginnt am Anfang der Saison mit einer sehr niedrigen Bekämpfungsschwelle. Aus diesem Grund müssen die 3er Modelle unabhängig vom Erstauftreten genutzt werden. In Abhängigkeit vom Datum des Erstauftretens wird eine Behandlung empfohlen, wenn mindestens eine der vier Modelle eine Bekämpfungsschwelle überschritten hat.
- **Prognose für zusätzliche Behandlungen:** Nach der ersten Behandlung ist die folgende epidemische Entwicklung sehr stark von den Witterungsbedingungen während der jeweiligen Saison abhängig. Die Modelle CERCBET3 und ERYBET3 können neben dem Einfluss der Witterung auf die Krankheit zusätzlich auch die Dauer der Fungizidwirkung der ersten Behandlung simulieren. Im Fall einer gleichzeitigen Infektion von Cercospora und Mehltau ist zusätzlich eine zweite Behandlung zu empfehlen, wenn mindestens eine der beiden Modelle CERCBET3 oder ERYBET3 die 45% BH Bekämpfungsschwelle überschritten hat. UROBET3 und RAMUBET3 können in Regionen genutzt werden, in denen starker Epidemiedruck für die Krankheiten Rost und Ramularia zu beobachten ist.

Durch die Kooperation der in der Beratung tätigen Institutionen soll die integrierte Bekämpfung von Blattkrankheiten essentieller Bestandteil zukünftiger integrierter Zuckerrübenproduktion werden. Die Entscheidungshilfe soll der praktischen Landwirtschaft, wie schon die CERCBET-Modelle, unter [www.isip.de](http://www.isip.de) angeboten werden. Über das ISIP-System ist eine Versorgung der landwirtschaftlichen Betriebe mit allen relevanten Informationen in Zukunft gesichert.

Die Programmierung oben beschriebenen Entscheidungshilfen unter [www.isip.de](http://www.isip.de) wird in den Sommermonaten in 2010 durchgeführt.

Ab dem Jahr 2011 werden die Entscheidungshilfen im Pflanzenschutzdiensten der Länder zur Verfügung stehen. Dort werden sie auf Praxistauglichkeit getestet und erste Ergebnisse können über die Warndienste der praktischen Landwirtschaft zur Verfügung gestellt werden.

Während der Praxistests bei den Pflanzenschutzdiensten der Länder werden weitere Verbesserungen und Optimierungen in die Entscheidungshilfesystem durch die ZEPP und ISIP eingebaut. Es ist damit zu rechnen, dass die Entscheidungshilfen ab 2012 der praktischen Landwirtschaft direkt zur Nutzung angeboten werden.

#### 4. Zusammenfassung

Im Zeitraum 2007-2010, wurde von der ZEPP (Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz), in Bad Kreuznach, in Zusammenarbeit mit dem IFZ-Institut für Zuckerrüben in Göttingen, ein Entscheidungshilfesystem (EHS) für die drei Pilzkrankheiten Mehltau (*Erysiphe betae*), Rost (*Uromyces betae*) und Ramularia (*Ramularia beticola*) an Zuckerrüben entwickelt. Die EHS umfasst Modelle für die Vorhersage des Erstauftretens der Krankheiten (ERYBET1, UROBET1 und RAMUBET1) und die Prognose der anschließenden epidemischen Entwicklung (ERYBET3, UROBET3 und RAMUBET3). In den 3er Modellen sind zusätzlich Faktoren für die Sortenanfälligkeit und die Wirksamkeit von Fungiziden integriert.

Das **Krankheitserstauftreten** ist in zwei Module unterteilt. Mit dem ersten Modul ist es möglich, am Anfang der Saison (1. Mai) eine Vorhersage zu treffen, ob ein frühes (vor der 31. KW) oder ein spätes (nach der 31. KW) Krankheitsauftreten stattfinden wird. Das Modul schätzt das Inokulumeffizienz welches mit Hilfe einer logistisch binären Regression berechnet wird. Die Regressionsparameter wurden durch eine Bewertung der Wintersaison (vom 1. Oktober des Vorjahres bis zum 31. April des aktuellen Jahres) berechnet. Als Einflussparameter fließen die Kältesumme, die Anzahl der Frosttage und die Niederschlagsmenge in die Regressionsanalyse ein.

Mit dem zweiten Modul ist es möglich den genauen Zeitpunkt des Auftretens vorherzusagen. Je nach geschätztem Inokulumeffizienz (erstes Modul) werden zwei verschiedene Funktionen (potenzielle Regression) benutzt. Als Prädiktoren werden im zweiten Modul die Winterforsttage und die Summe der täglichen Temperaturmittelwerte (Basis 5 °C) ab 1. April genutzt.

Beide Module wurden mit den Zuckerrüben Monitoring-Daten der PSD (2004-2009) validiert. Die Ergebnisse sind sehr zufriedenstellend: die Trefferquoten liegen zwischen 72 und 77% korrekter Vorhersagen für das Modul zur Schätzung des Inokulumeffizienz Für das zweite Modul, zur Vorhersage des Datums des Erstauftretens, liegen die Trefferquoten zwischen 72 und 75%.

Für die Realisierung der 3er Modelle wurden Laborversuche durchgeführt und Literaturdaten recherchiert, um die Krankheitseffizienz in Abhängigkeit von Wetterparametern (insbesondere Temperatur und Blattnässedauer) zu berechnen. Mit der Krankheitseffizienz ist es möglich einen Befallshäufigkeitsverlauf zu prognostizieren und den Termin des Überschreitens von Bekämpfungsschwellen zu ermitteln. Um die Simulationen der beiden Modelle ERYBET3 und UROBET3 zu verbessern, wurden sie mit einem Sortenanfälligkeitsfaktoren ergänzt. Diese wurden aus der Analyse von Feldversuchsdaten aus Rheinland-Pfalz und Niedersachsen, die im Zeitraum 2007-2009 erhoben wurden, entwickelt. Bei der Validierung der Modelle wurde insbesondere getestet, ob das prognostizierte Datum der Überschreitung der Bekämpfungsschwelle in den Bereich von plus oder minus 7 Tagen zum bonitierten Termin fällt. Die Ergebnisse sind sehr gut, es fallen 70 bis 86% der Simulationen in den korrekten Bereich, die restlichen Fälle tendieren eher zu einer leicht verspäteten Prognose.

Mit Hilfe der Felddaten wurde anschließend das Modell ERYBET3 um einen Faktor, der die Wirksamkeit von Fungiziden simuliert, erweitert. Damit ist es möglich, nach der ersten Behandlung, auch das Datum für eine eventuell nötige zweite Behandlung zu prognostizieren. Die Validierung des Datums der zweiten Behandlung brachte etwa 71% korrekte Vorhersagen.

Nach Abschluss dieses Projekts kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die neuen komplexen Modelle ERYBET (für Mehltau), UROBET (für Rost) und RAMUBET (für Ramularia) zusammen mit dem zuvor entwickelten Modell CERCBET (für Cercospora) die Planung der Bekämpfungsmaßnahmen der vier Hauptpilzkrankheiten an Zuckerrüben ideal ergänzen und somit das Konzept des integrierten Pflanzenschutzes in jeder Hinsicht unterstützt wird.

Die hier beschriebenen Entscheidungshilfen werden über das Internetsystem [www.isip.der](http://www.isip.der) Beratung und der praktischen Landwirtschaft zur Verfügung gestellt.

## **5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu dem tatsächlich erreichten Zielen**

Der hier vorgelegte Abschlussbericht zeigt, dass alle im Projektangebot genannten Ziele erreicht werden konnten. Es wurde ein komplexes Entscheidungshilfensystem für alle vier relevanten Zuckerrübenblattkrankheiten erstellt. Die Programmierung der Entscheidungshilfen für das Internetsystem unter [www.isip.de](http://www.isip.de) wird durch ISIP e.V. nach der Projektlaufzeit weiter fortgesetzt, so dass die Einführung der Prognosemodelle in die landwirtschaftliche Praxis gewährleistet ist. Die Pflege und Weiterentwicklung der Modelle wird durch ZEPP sichergestellt. Dabei werden Erweiterungen und Änderungen ebenfalls in die Entscheidungshilfensysteme unter [www.isip.de](http://www.isip.de) der landwirtschaftlichen Praxis verfügbar gemacht.

## 6. Literaturverzeichnis

- ADAMS, H. (1998). Gibt es Resistenz und/oder Toleranz gegen Ramularia- Blattfleckenkrankheit bei Zuckerrüben. Zuckerindustrie 123: 702-705.
- ADAMS, H., SCHÄUFELE W.R., MÄRLANDER B. (1995). Eine Methode zur künstlichen Inokulation von Zuckerrüben mit *Cercospora beticola* unter Feldbedingungen. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz. 102: 320-322.
- AHRENS W. (1987). Feldversuche zum Auftreten der Ramularia- Blattfleckenkrankheit an Zuckerrüben. Gesunde Pflanze 39: 113-119.
- AHRENS, W., E. BREUSTEDT, (1984). Einfluss des echten Rübenmehltaus auf den Zuckerertrag im Trockenjahr 1983. Zuckerrübe 33: 42-44.
- AHRENS, W., H. C. WELTZIEN, (1980). Investigations on the distribution and yield losses caused by the sugar-beet powdery mildew (*Erysiphe betae*) in Germany, Austria and Turkey. Zuckerindustrie 105: 916-925.
- ASCHER, M., WILLIAMS, G. (1992). Controlling leaf diseases: Rust and Ramularia. British Sugar Beet Review 60: 4-6.
- ASHER M.J.C., WILLIAMS G.E., (1996). Forecasting, epidemiology and control of powdery mildew in sugar beet. 59e Congres Institut International de Recherches Betteravieres, Palais des Congres, Bruxelles, Belgium, 13-17 fevrier 1996, 83-93 Institut International de Recherches Betteravieres; Brussels; Belgium
- ASHER, M.J.C. (1986). The occurrence and control of sugar-beet powdery mildew. Asp. Appl. Biol.13: 131-137
- AYALA, J., GORDO L., (1998) : Effects de l'oidium et de la cercosporiose sur le rendement et a qualité de la betterave sucrière dans les conditions espagnoles. Meeting of Mediterranean Section of Institut International de Recherches Betteravieres, Palais des Congres, Bruxelles, Belgium, 13 fevrier 1998. 21-30. Institut International de Recherches Betteravieres; Brussels; Belgium
- BERGER, R.D., HAU, B., WEBER G.E., BACCI, L.M.A., BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L. (1995) A simulation model to describe epidemics of rust phaseollus beans. I. Development of the model and sensitivity analysis. Phytopathology 85, 715-721.
- BATTILANI P., ROSSI V., RACCA P.(1993) Risk for *Cercospora* leaf spot disease on sugarbeet in Emilia Romagna. Proc. IX Symposium pesticide chemistry, Piacenza, Italia, 795 - 806.
- BATTILANI P., GIOSUE' S., NASSISI A., RACCA P., ROSSI V. (1996) Use of geostatistics in geophytopathology: *Cercospora* leaf spot on sugarbeet in Northern Italy as a case study. Phytopathologia mediterranea, 35, 157-168.
- BÜRCKY, K., LANG, C. (2000). Anbauhinweise 2000. Blattkrankheiten. Beilage zur: Die Zuckerrübenzeitung 27: 22-24.
- BYFORD W.J. (1978). Field experiments on sugar-beet powdery mildew, *Erysiphe betae*. Ann. Appl. Biol., 88 (3) 377-382.
- BYFORD, W. J. (1975). *Ramularia beticola* in sugar beet seed crops in England. J. Agric. Sci. 85: 369-375.
- BYFORD, W. J. (1976). Experiments with fungicide sprays to control *Ramularia beticola* in sugar-beet crops. Ann. Appl. Biol. 82: 291-297.
- CAMPBELL, C.L., MADDEN, L.V. (1990): Introduction to plant disease epidemiology. New York. John Wiley & Sons.
- CIONI F., MERIGGI P., ROSSI V., (1996). Oidio e cercosporiosi della barbabietola da zucchero in Italia centrale. Atti Giornate Fitopatologiche 2: 433-438.
- DRANDAREVSKI, C.A., (1969a). Untersuchungen über den Echten Rübenmehltau *Erysiphe betae* (Vanha) Weltzien. I. Morphologie und Taxonomie des Pilzes. Phytopathol. Z. 65: 54-68.
- DRANDAREVSKI, C.A., (1969b). Untersuchungen über den Echten Rübenmehltau *Erysiphe betae* (Vanha) Weltzien. II. Biologie und Klimaabhängigkeit des Pilzes. Phytopathol. Z. 65: 124-154.
- DRANDAREVSKI, C.A., (1969c). Untersuchungen über den Echten Rübenmehltau *Erysiphe betae* (Vanha) Weltzien. III. Biologie und Klimaabhängigkeit des Pilzes. Phytopathol. Z. 65: 201-218.
- DRANDAREVSKI, C.A., (1978). Powdery mildews of beet crops, In: D. M. Spencer (ed.). The Powdery Mildews, 323-346. Academic Press, London.
- FRANCIS, S. (2000). Biology of *Ramularia* leaf spot. British Sugar Beet Review 68, 44-46.
- FUJII, K.; SUGAWARA H.; TOMIYAMA N. (1985). Effect of fungicides on controlling *Ramularia* leaf spot of sugar beets. Proceedings of the Sugar Beet Research Association, Japan 27, 75-79.
- HAU, B. (1988). Ein erweitertes analytisches Modell für Epidemien von Pflanzenkrankheiten. Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

- HEITEFUSS, R. (2000). Pflanzenschutz. Grundlagen der praktischen Phytomedizin. 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 26.
- HEITEFUSS, R., KÖNIG, K., OBST, A., RESCHKE, M. (1987). Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau, 2., Aufl., DLG- Verlag Frankfurt (Main), BLV Verlagsgesellschaft München, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, Agrarverlag Österreich Wien, Agrarverlag Wirz-Grafino Bern: 60-65.
- HESTBJERG, H.; H. DISSING (1995). Studies on the concentration of *Ramularia beticola* conidia in the air above sugar beet fields. J. Phytopathology 141: 269-273.
- HESTBJERG, H.; H.WOLFFHECHEL; H. DISSING (1994). Development of *Ramularia* leaf spot on sugar beet as influenced by temperature and age of the host plant. J. Phytopathology 140, 293-300.
- HILLS FJ; CHIARAPPA L; GENG S. (1980). Powdery mildew of sugar beet: disease and crop loss assessment. Phytopathology 70 (7): 680-682.
- HILLS FJ; HALL DH; KONTAXIS DG. (1975). Effect of powdery mildew on sugar beet production. Plant Disease Rep. 59: 6, 513-515
- HOFFMANN, G. M., SCHMUTTERER, H. (1983). Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart: 267-321.
- HULL, R (1962). *Ramularia* leaf spot. Report of Rothamsted Experimental Station for 1961, 206.
- JÖRG, E. (2001). Blattkrankheiten: Nutzen Sie das Monitoring! Top Agrar. 6: 58-60.
- JÖRG, E., KLEINHENZ, B., RACCA, P., ROSSI, V. (1999). Prognose der *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit mit dem Modell CERCOESY. Zuckerrübe. 48(4): 174-176.
- JÖRG, E., KRAUTHAUSEN, H.-J. (1996). Bekämpfung von *Cercospora beticola* an Zuckerrüben. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. 321: 185.
- JÖRG, E., RACCA, P. (2001). Neue Vorhersage für *Cercospora*. DLG-Mitteilungen. 7: 40-42.
- KIEWNICK, L. (1983). Wichtige Krankheiten an Zuckerrüben im Nordrheingebiet. Gesunde Pflanzen 35: 266 - 268.
- KLEINHENZ, B., JÖRG, E., (2001). www.phytophthora.de - An Internet-based warning service for late blight control. EFITA 2001, Third European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (vol. 1). Montpellier : 19-24.
- KLEINHENZ, B., KOCH, S.; VON TIEDEMAN, A., SANDER, R. (2006). "Prognose der Weißstängeligkeit mit SkleroPro." RAPS: 68-72.
- KLEINHENZ, B., RACCA, P., PREIß, U. (2006). "Kartoffelkäfer-Prognose mit SIMLEP." Kartoffelbau 6: 260-264.
- KLEINHENZ, B., SANDER, R. (2006). "Krautfäule-Beratung im Internet." Kartoffelbau: 192-197.
- KÖNIG, K. (1983). Aktuelles aus dem Zuckerrübenanbau in Bayern. Gesunde Pflanzen 35: 279-283.
- KURTZ, E. (1988). Der Rübenrost (*Uromyces betae*). Pflanzenschutz. 5: 4-5.
- LIZ (2001). Landwirtschaftlicher Informationsdienst Zuckerrübe: Zuckerrüben, Krankheiten und Schäden: 108-115.
- LÜTKE ENTRUP, N., OEHMICHEN, J. (2000). Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen, Verlag Th. Mann. Gelsenkirchen: 428-434, 463-464, 789-793.
- MADDEN L.V., Hughes G., van den BOSCH F. (2007). The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press St.Paul Minnesota, 421 s.
- MAIER, J.; LANG, C. (2001). Blattkrankheiten - Bekämpfung nach Schwellenwerten. In Südzucker AG (Hrsg.). Fortschritte im Zuckerrübenanbau: 60-67.
- MAYKUHS, F. (1982). Blattkrankheiten an Zuckerrüben. Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung 135 (23): 14.
- MEEUS P. (1976) : Lutte fongicide contre l'oidium de la betterave. Publication-Trimestrielle,-Institut-Belge-pour-l'Amelioration-de-la-Betterave., 44 (2) : 67-76.
- MUKHOPADHYAY, A. N., (1987). Handbook of Diseases of Sugar Beet, val. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- O`SULLIVAN, E. (1996). Effect of fungicides on the incidence of rust disease, root yield and sugar content in sugar beet. Irish J. Agricultural Food Research 35: 159-164.
- O`SULLIVAN, E. (1997). Responses of sugar-beet cultivars to the control of rust (*Uromyces betae*). Irish J. Agricultural Food Research 36: 175-184.
- PAULUS, A.O., HARVEY, O.A., NELSON, J., MEEK, V. (1975). Fungicides and timing for control of sugarbeet powdery mildew. Plant Disease Rep. 59 (6): 516-517.

- PETERSEN, J., ADAMS, H., SCHÄUFELE, W.R., BÜTTNER, G. (2001) Untersuchungen zur Schadwirkung von *Ramularia beticola* in Zuckerrüben und Möglichkeiten zur Differenzierung der Sortenanfälligkeit nach künstlicher Inokulation. *Gesunde Pflanze*, 53, 141-147.
- PUNITHALINGAM, E. (1968). *Uromyces betae*. C.M.I. Description of Pathogenetic Fungi and Bacteria 177,
- RACCA, P., JÖRG, E., KLEINHENZ, B., (2005). "CERC BET3 hat hohe Trefferquoten." *Land & Forst "Neue Strategien im Pflanzenschutz"*: 41-43.
- RACCA, P., JÖRG, E., MITTLER, S., PETERSEN, J. (2002) Blattkrankheiten bei Zuckerrüben – Prognoseansätze zur Optimierung des Fungizideinsatzes. *Zuckerindustrie* 127 (52): 949-958.
- RACCA, P., JÖRG, E., MITTLER, S., PETERSEN, J. (2004). CERC BET3 - ein Entscheidungsmodell zur Bekämpfung von *Cercospora beticola* in Zuckerrüben - Behandlungsstrategie und Fungizidwirkung. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch.* 54: 166.
- RACCA, P., ROSSI, V., JÖRG, E., KLEINHENZ, B., (2000). A preliminary model simulating Powdery Mildew epidemics on Sugar beet. *Proc. Mediterranean Commission, IIRB Congress, Interlaken.*
- RACCA, P., ZEUNER, T., JUNG, J., KLEINHENZ, B. (2010) Model Validation and Use of Geographic Information Systems in Crop Protection Warning Service. In *Precision Crop Protection*. Springer Verlag, in Druck.
- RICHARDS, F.J. (1959) A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10: 290--300.
- ROßBERG, D., RACCA, P., JÖRG, E., KLEINHENZ, B. (2000). Erste Erfahrungen mit dem Modell CERC BET1. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* (7): 153-159
- ROSSI V., RACCA P., GIOSUE' S. (1995) Geophytopathological analysis of *Cercospora* leaf spot on sugarbeet in the Mediterranean area. *Phytopathologia mediterranea*, 34, 69-82.
- RUSSEL, G. E. (1969). Interactions between diseases of sugar beet leaves. *Nat. Agri. Adv. Serv. Quart Rev Pl. breeding Inst. Trumpington Cambridge.* 87, 132-138.
- SKOYEN I. O., LEWELLEN R.T., MCFARLANE J. S. (1975). Effect of powdery mildew on sugar beet production in the Salinas valley of California. *Plant Dis. Rep.* 59 (6): 506-510.
- SØRENSEN, F., MARCUSSEN, C. (1996). Rust *Uromyces betae* in Denmark, Inoculum sources and effect on sugar beet yield. *Proceedings of the 59th I.I.R.B. Congress, February:* 119-128.
- VANDERPLANK J.E. (1963) *Plant Disease: Epidemic and control*. Academic Press. New York.
- WELTZIEN H.C. (1963). *Erysiphe betae* (Vahna) Comb. Nov. The Powdery mildew of beet. *Phytopath. Zeitschr.* 47: 123-128.
- WELTZIEN H.C., AHRENS W. (1977). Sind Ertragssteigerungen durch Bekämpfung des echten Mehltaus der Zuckerrübe (*Erysiphe betae*) möglich? *Zucker* 30 (6): 288-291
- WELTZIEN-STENTEL, M. (1959) Untersuchungen zum Keimungsbiologie der Konidien von *Uncinula necator*. *Höfchen Brief* 1: 29-51.
- WENZEL, A. (1931). Beiträge zur Kenntnis der Blattfleckenkrankheiten der Zuckerrübe. *Phytopath. Z.* 3: 519- 529.
- WIESNER, K. (1967). Die *Ramularia*- Blattfleckenkrankheit, eine in der Deutschen Demokratischen Republik nicht nachgewiesene Erkrankung der Beta-Rüben. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzensch.* 18:130-132.
- WOLF, P. F. J., VERREET, J.-A. (1997). Epidemiologische Entwicklung von *Cercospora beticola* (Sacch.) in Zuckerrüben. *Z. PflKrankh. PflSchutz.* 104 (6): 545-556.
- WOLF, P.F.J., LENZ R., BARON K., VERREET, J.A. (2006) Quaternary integrated pest management concept for powdery mildew in Sugar beet. I. Analysis of epidemic determinants to predict the disease onset. *Z. Pflanzenkrank. Pflanzensch.* 113 (2) 61-67.
- WOLF, P.F.J., VERREET, J.A. (2002). The IPM Sugar Beet Model. *Plant Disease* 86 (4), 336-344.
- WOLF, P.F.J., WEIS, F.J., VERREET, J.A. (1995). Grundlagen einer integrierten Bekämpfung von *Cercospora beticola* an Zuckerrüben. *Z. PflKrankh. PflSchutz.*, 102 (6): 574-585.
- WOLF, P.F.J., WEIS, F.J., VERREET, J.A., BÜRCKY, K., MAIER, J., TISCHNER, H. (1998). IPS (Integriertes Pflanzenschutzsystem)- Modell Zuckerrübe – Entwicklungsschritte und Einführung in die Praxis. *Gesunde Pflanzen*, 50 (8): 264-272.
- YARWOOD, C.E. (1936) The diurnal cycle of the powdery mildew *Erysiphe polygoni*. *J. Agric. Res.* 52: 654-657.
- ZELLNER, M., KÖNIG, K., STECK, U. (1997). *Integrierter Pflanzenschutz, Rübenkrankheiten*, Herausgeber: Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 6. Auflage.