

Auszug aus Habilitationsschrift: Peter F.J. Wolf
Über die Integration von Bekämpfungsmaßnahmen gegen pilzliche Blattkrankheiten der Zuckerrübe – IPS-Modell Zuckerrübe, Shaker Verlag, Aachen, 2002 ISBN 3-8322-0125-4

7.3 *Erysiphe betae*

Im Gegensatz zu *Cercospora beticola* ist die Biologie des Echten Mehltaus (*Erysiphe betae*) durch eine obligat-biotrophe Lebensweise gekennzeichnet. Der Parasit verursacht somit kein Absterben des befallenen Blattgewebes (Nekrosen), sondern ernährt sich als sogenannter Ektoparasit durch oberflächliche Besiedelung der Epidermis mittels eines Luftmycels und Ausbildung von speziellen Organellen, welche als Haustorien der obersten Zellschicht (Epidermis) des Wirtes Speicherstoffe entziehen. Der Erreger schädigt also vornehmlich durch die Bildung eines "Sinks", d.h. eines Ortes des Assimilatverbrauchs, und nicht durch eine Verminderung des Assimilationspotentials, wie im Falle des perthotropen Parasiten *Cercospora beticola*.

Die unterschiedliche Biologie der beiden Parasiten - als pilzlichen Erregern von Blattkrankheiten der Zuckerrübe ist ihnen Priorität einzuräumen - bedingt einen ausgesprochenen Antagonismus. Hohe Befälle des einen stehen meist in Zusammenhang mit einer weitgehenden Absenz des anderen Erregers (Abb. 157). Zwar ist eine parallele Entwicklung nicht ausgeschlossen, zumindest nicht in der Anfangsphase zu Epidemiebeginn, jedoch drängt ein starkes Aufkommen von *Cercospora*-Befall den obligaten Parasiten, vor allem zur stärksten Phase der Progression, deutlich zurück. Obgleich dieses Faktum nicht in gleicher Weise für den obligaten Parasiten gelten kann, so scheint eine frühzeitige

Progression auch für Infektionen des perthotropen Konkurrenten hinderlich zu sein. Häufig entwickeln sich starke Epidemien des Echten Mehltaus auch wegen eines relativen Fehlens von *Cercospora*-Befall, sei es bedingt durch die Resistenzeigenschaften der Zuckerrübensorte oder durch ungeeignete Witterungsgegebenheiten, so daß das Feld für den biotrophen Erreger frei ist.

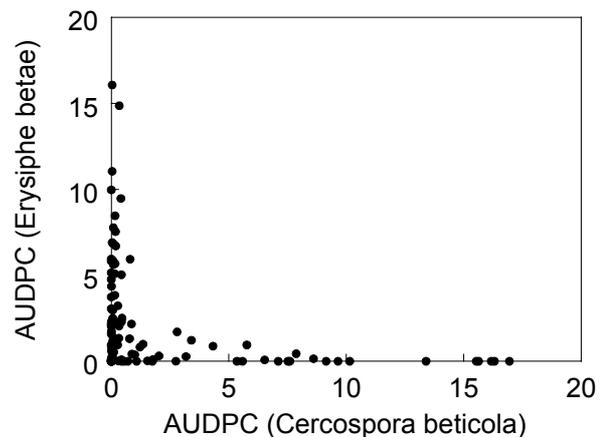


Abbildung 157: Antagonismus von *Cercospora beticola* und *Erysiphe betae*, ausgedrückt durch Gegenüberstellung des AUDPC-Wertes (= Fläche unter der Befallskurve); jedes Beispiel beinhaltet eine Fallstudie (n=109) des unbehandelten Bestandes

7.3.1 Epidemiologische Entwicklung

Die Darstellung der Ergebnisse zur Epidemiologie des Echten Mehltaus erfolgt analog zu den Ausführungen über *Cercospora beticola*. In den einzelnen Graphiken ist, neben der Blattbildung zur Veranschaulichung des Pflanzenstadiums und des Witterungsverlaufes, jeweils der Epidemieverlauf von *Cercospora beticola* demjenigen von *Erysiphe betae* gegenübergestellt. Dies wird wegen der Komplexität des Befallsgeschehens als notwendig erachtet, um insbesondere dem von *Cercospora beticola* ausgehenden Antagonismus Rechnung zu tragen. Die epi-

demologischen Parameter sind kongruent gewählt und entsprechend kalkuliert (siehe Punkt 4.1.3, Seite 46).

7.3.1.1 Standort Moosham 1995

In der *Cercospora*-anfälligen Sorte "Elan" ist der Epidemiebeginn des fakultativen Erregers jenem des Echten Mehltaus vorgelagert (Abb. 158). Erste Symptome von *Erysiphe betae* erscheinen erst gegen Ende des Monats August, also zu einem Zeitpunkt, als die vertikale Verbreitung von *Cercospora beticola* bereits gegen ein Maximum tendierte. Bei allerdings geringen Zuwachsraten der Befallsstärke findet der Antagonismus noch keine Auswirkung, die Epidemie des Echten Mehltaus ist somit in ihrer Progression bis Mitte September kaum behindert. Die Verbreitung erfolgt bei sinkendem Temperaturniveau deutlich gemäßigt, das Maximum der horizontalen Ausbreitung, d.h. eine Infektion von allen Pflanzen des Bestandes mit zumindest einem Symptom, tritt nicht ein. In der letzten Phase der Vegetationsperiode kommt es zu einer starken Ausbildung nekrotischer Blattflecken durch *Cercospora beticola*, die Epidemie des obligaten Parasiten wird dadurch sukzessive gehemmt, der visuell zu bonitierende Befall zeigt sogar rückläufige Tendenz.

Die Blattbildung, insbesondere die Absterberate, ist durch das gemäßigte Auftreten von *Cercospora* kaum berührt, noch weniger übt der Mehltau Einfluß aus. Die Seneszenz spiegelt bei 15 abgestorbenen Blättern am Ende der Saison weitgehend den Status einer gesunden Rübe wider.

Bezüglich des Einflusses der Witterung auf die Epidemiologie des Echten Mehltaus ist in dieser Fallstudie keine eindeutige Tendenz ersichtlich; die erste Sym-

ptombildung entfällt auf eine Phase mit hoher Niederschlagsfrequenz, während die weitere Progression von einer relativen Trockenheit begleitet wird.

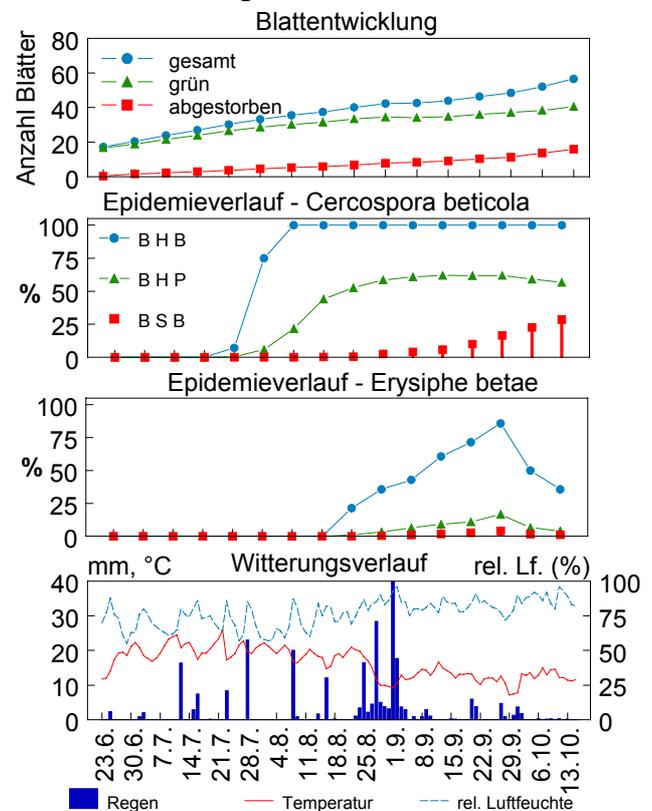


Abbildung 158: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Moosham 1995, Sorte "Elan"

7.3.1.2 Standort Rottenmann 1998

Der Fall einer frühzeitigen Epidemie des Echten Mehltaus und einer erst sukzessive beginnenden Progression von *Cercospora beticola* ergab sich am Standort Rottenmann in der hoch mehltau-anfälligen Sorte "Corinna" (Abb. 159). Der Symptombeginn des obligaten Parasiten wird noch während der letzten Dekade des Juli eingeleitet, die horizontale Infektion des Bestandes erfolgt in starken Schüben, und bereits 2 Wochen nach Befallsbeginn entwickelt sich eine wesentliche Befallsstärke. Deren stärkste Progression scheint ge-

fördert durch eine weitgehend niederschlagsfreie Periode mit hohen Temperaturen, wobei innerhalb von 3 Wochen das Maximum von ca. 50 % befallener Blattfläche zu verzeichnen ist. Der Befall stagniert zunächst auf hohem Niveau, um in der letzten Phase der Vegetationsperiode bei sinkenden Temperaturen und häufigen Regenfällen zurückzugehen.

Befallsstärke von 6,5 % BSB einstellen kann.

Wiederum ist die Blattentwicklung, vor allem deren Absterberate betreffend, nicht durch das Befallsgeschehen tangiert; weitgehend ursächlich für den Verlust von 15 Blättern ist die natürliche Seneszenz.

7.3.1.3 Frankenwienheim 1997

Fast vollständig ungestört entwickelte sich eine Epidemie des Echten Mehltaus wegen des weitgehenden Ausbleibens von *Cercospora*-Befall am Standort Frankenwienheim 1997 (Abb. 160). Erste Symptome des obligaten Parasiten werden zu Beginn des Monats August gesichtet, noch kurz vor dem Erscheinen der ersten *Cercospora*-Blattflecken. Der perthotrophe Erreger findet in der teilresistenten Sorte "Corinna" während der gesamten Saison nur in geringem Umfang Verbreitung, wie der zögerliche Anstieg der Befallshäufigkeit (BHB) belegt. Nur 18 % der Blätter werden befallen, die Befallsstärke beträgt zum Ende der Vegetationsperiode 0,35 % BSB. Die Epidemie des obligaten Erregers dagegen ist durch eine vergleichsweise hohe Progredienz gekennzeichnet, begünstigt zudem durch eine hohe Sortenanfälligkeit, wobei die qualitativen Parameter der Verbreitung (BHB, BHP) bereits 2 Wochen nach Befallsbeginn gegen ein Maximum tendieren. Die Befallsstärke (BSB) als Maß für die quantitative Blattbesiedelung entwickelt sich kurzfristig in starken Schüben bei Zunahmen von annähernd 20 % innerhalb von einer Woche. Der Befall verbreitet sich auf etwa 70 % der Blätter, d.h. nur junge Blätter im Zentrum der Blattrosette sind befallsfrei, die Befallsstärke beläuft sich am Höhepunkt der Epidemie, welcher schon gegen Ende August eintritt, auf annähernd 50 % der exponier-

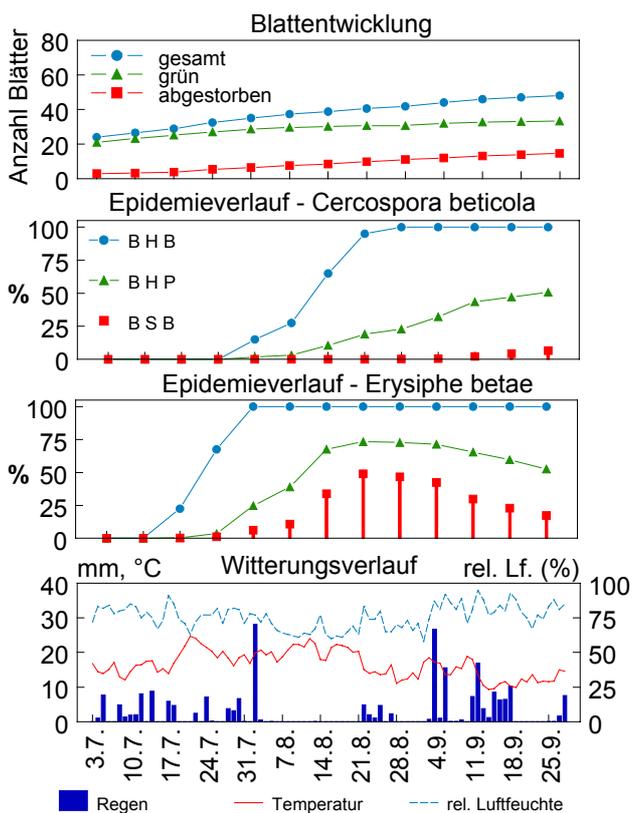


Abbildung 159: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Rottenmann 1998, Sorte "Corinna"

Der Aufbau der *Cercospora*-Epidemie erfolgt gemächlich, jedoch kontinuierlich, wie insbesondere die Zunahme der Blattbefallshäufigkeit (BHP) anzeigt. Eine regelrechte Verhinderung der Befallsprogression geht somit auch von stärkerem Befall des obligaten Parasiten nicht aus, so daß sich letztlich, einhergehend zu dem rückläufigem Mehltau-Befall, eine End-

ten Blattfläche. In der Folgeperiode bis zum Ende der Vegetationsperiode stagniert der Befall auf hohem Niveau, bei einem leichten Rückgang des visuell sichtbaren Befalls.

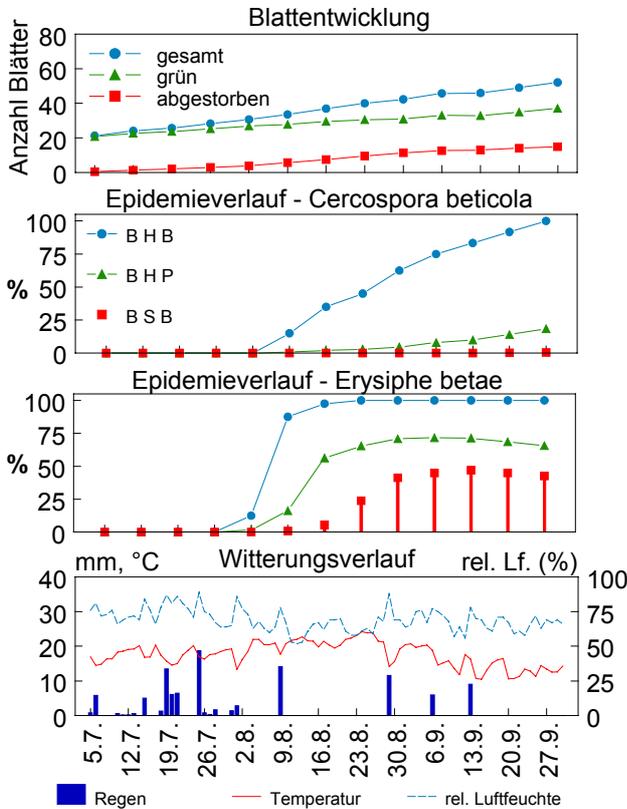


Abbildung 160: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Frankenwienheim 1997, Sorte "Corinna"

Das Krankheitsgeschehen insgesamt ist geprägt durch starke Trockenheit von Anfang August bis Ende September und ein teilweise hohes Temperaturniveau mit Tagesdurchschnitten von bis zu 20 °C. Unter derartigen Bedingungen ist die von *Cercospora beticola* ausgehende Infektionsfähigkeit sichtlich eingeschränkt, der Echte Mehltau dagegen scheint gefördert.

Das Seneszenzverhalten der Rübe jedoch ist selbst durch den starken Mehltaubefall in keiner Weise gestört; insgesamt werden im Durchschnitt 52 Blätter angelegt, 15 davon gehen weitgehend bedingt durch natürliche Seneszenz verloren.

7.3.1.4 Standort Höckelheim 1998

Dieser Standort befindet sich in der Hildesheimer Börde (Niedersachsen) und ist seiner Lage entsprechend durch ein eher kühl-gemäßigtes Klima gekennzeichnet (Abb. 161). Trotz der Verwendung einer *Cercospora*-anfälligen Sorte ("Meta") und eines für die Region relativ zeitigen Symptombeginns schreitet der Befall des perthotrophen Erregers nur zögerlich fort. Eine vollständige Erfassung aller Rübenpflanzen (BHB=100 %) ist erst zum Ende des Monats August evident, die Blattbefallshäufigkeit verbleibt bei ca. 25 % deutlich unter einem für die Ausbildung einer schadrelevanten Befallstärke notwendigen Verbreitungsgrad auf 60 % der gebildeten Blätter.

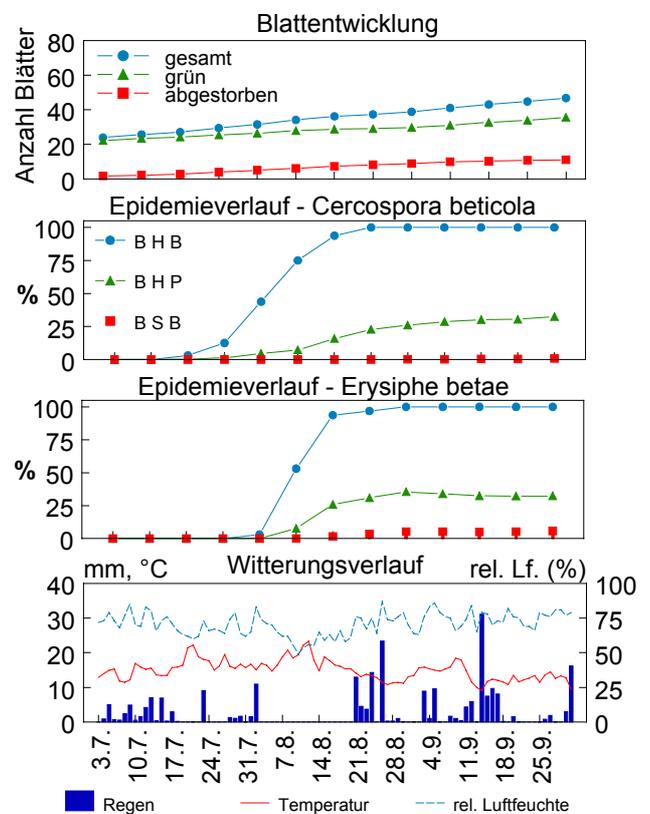


Abbildung 161: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Höckelheim 1998, Sorte "Meta"

Unter diesen Voraussetzungen wäre die Epidemie des Echten Mehltaus durchweg ungestört von parasitischer Nekrosenbildung, verläuft jedoch letztlich nur schwach progredient. Wenngleich eine zügige horizontale Verbreitung im Bestand zunächst durch trocken-warme Witterung begünstigt wird, so scheint in der Folgephase, bedingt durch eine merkliche Abkühlung und hohe Niederschlagsfrequenz, die Ausbreitung deutlich eingeschränkt. Eine Befallsstärke von etwa 5 % war bereits zu Beginn des Septembers zu verzeichnen, der Befall stagniert wegen der bereits angeführten Gründe. Die Zuckerrübe bildet unter den Gegebenheiten des Standortes durchschnittlich 47 Blätter; die relative Gesundheit des Bestandes wird durch den geringen Verlust von 11 Blättern bestätigt.

7.3.1.5 Standort Pamukova 1996 (Türkei)

Die Lokalität repräsentiert eine Region des kontinental-mediteranen Klimaraumes mit extremer Sommertrockenheit und Tagesdurchschnittstemperaturen von großteils >20°C während der Vegetationszeit (Abb. 162).

Trotzdem beginnt die Epidemie von *Cercospora beticola* in der Vegetationsperiode 1996 frühzeitig - erste Blattflecken erscheinen schon zu Anfang Juni -, die Aridität des Sommers jedoch bewirkt eine starke Behinderung der horizontalen Ausbreitung, welche einen vergleichsweise langen Zeitraum bis Mitte August benötigt. Ein merklicher Anstieg der Befallsstärke kann daher erst im Laufe des Septembers erfolgen, als Endbefallswert ist eine erregerspezifische Nekrotisierung von 6,5 % zu registrieren.

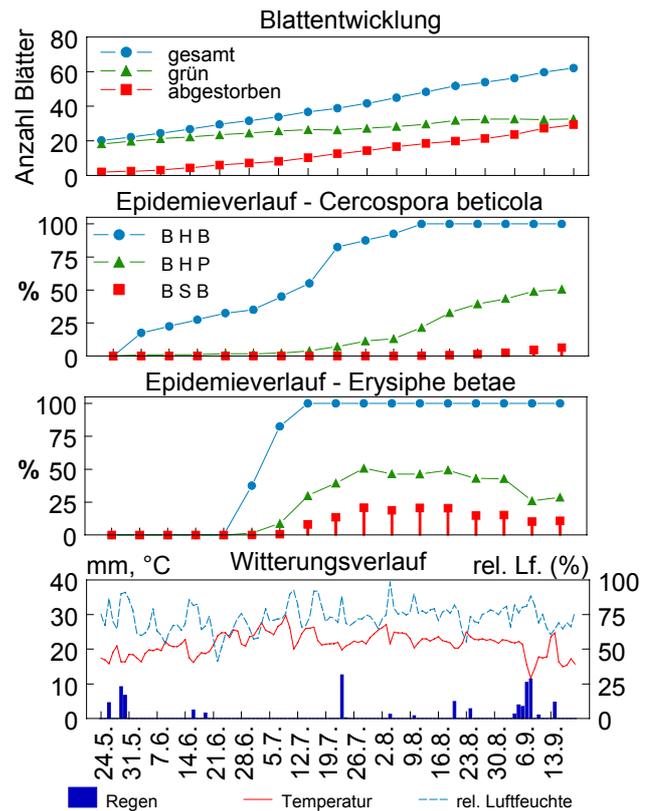


Abbildung 162: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Pamukova 1996, Sorte "Aura"; (Daten nach GIRGIN, 1999)

Demgegenüber tritt der Befallsbeginn des Echten Mehltaus deutlich später zu Anfang Juli ein. Jedoch erfolgt der Übergriff des Erregers auf den Gesamtbestand zügig innerhalb von 2-3 Wochen, die Blattbefallshäufigkeit tendiert sukzessive gegen ein Maximum von 50 %. Zu Anfang August sind etwa 25 % der Blattfläche mit Mehltau bedeckt. Der Befall erhöht sich allerdings in der Folge nicht weiter, gegen Ende der Saison setzt sich die Tendenz einer Minderung des sichtbaren Befalls durch.

Die Sorte "Aura" bildet im Laufe der Vegetation 62 Blätter. Der hohe Verlust von 29 Blättern geht dabei vornehmlich auf den Mangel an Wasser zurück.

7.3.2 Untersuchungen zur Populationsdynamik von *Erysiphe betae*

Die bisher vorgestellten Daten zur Epidemiologie des Echten Mehltaus beruhen ausschließlich auf visuellen Bonituren. Diese gestalten sich wegen der Symptomatologie des Erregers häufig schwierig, da nur der oberflächlich wahrnehmbare Mycelbelag zu bewerten ist, dessen Beschaffenheit wiederum wechselnden Witterungsgegebenheiten unterworfen ist. Die häufig zu beobachtende Tendenz einer zunächst starken Progression, nach Erreichen eines Befallshöhepunktes jedoch zunehmend rückläufigen Befallsgeschehens, gab Veranlassung die Sporulation des Parasiten näher zu beleuchten. Die Technik der Sporengewinnung entspricht dabei der unter Punkt 7.2.2 vorgestellten Methodik.

Die Sporulation von *Erysiphe betae* wurde am Standort Aiterhofen 1998 untersucht (Abb. 163). Das Befallsgeschehen ist von einer hohen Dominanz des obligaten Parasiten bestimmt, welche durch die Resistenzeigenschaften der Sorte "Corinna" noch zusätzlich gefördert wurde. Die Epidemie von *Cercospora beticola* beginnt gegen Ende August, die schwache Progression in der Folge erlaubt eine Symptombildung auf lediglich 1,6 % der Blattfläche.

Infolgedessen kann sich die Epidemie des obligaten Parasiten weitgehend unbeeinflusst durch den perthotrophen Konkurrenten entfalten. Die horizontale Verbreitung entfällt auf die erste Hälfte des Monats August, der Anteil der befallenen Blätter (BHP) nimmt in der Folge stetig zu und zeigt zu Anfang September das Maximum von ca. 70 %. Einher geht eine verstärkte Blattbesiedelung, welche schließlich auf hohem Niveau von 40 % Befallsstärke verbleibt. Das Infektionsge-

schehen wird dabei bis Anfang September durch eine niederschlagsarme Periode begleitet, die nachfolgend hohe Regenfrequenz trifft den Erregers während der Phase einer stärkeren Befallsprogression. Die Anlage ebenso wie der seneszenzbedingte Verlust von Blättern wird durch das vorliegende Befallsgeschehen nicht beeinflusst.

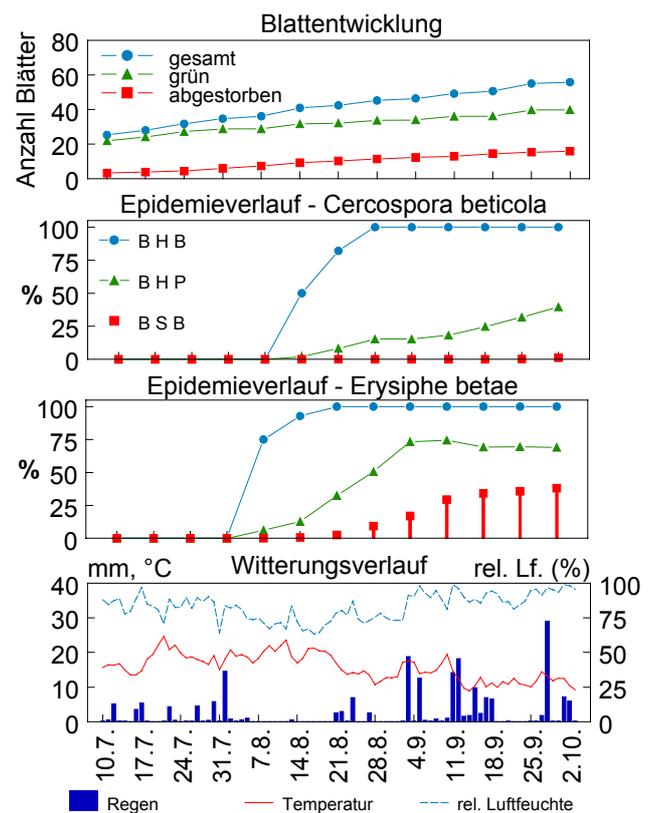


Abbildung 163: Vergleichende Darstellung des Epidemieverlaufes von Pilzkrankheiten der Zuckerrübe, Standort Aiterhofen 1998, Sorte "Corinna"

Unter den gegebenen Bedingungen zeigt die Populationsdynamik des Erregers exponentiellen Charakter bis Anfang September (Abb. 164). Starke, überproportionale Zunahmen der Konidienzahlen sind insbesondere in der zweiten Augushälfte zu verzeichnen. Am Höhepunkt der Sporogenese schwanken die Konidienzahlen im Bereich von 10 bis 100 x 10⁹ Konidien

pro Pflanze. In der Folge tritt die Populationsentwicklung innerhalb kurzer Zeit in eine Phase der Retrogradation, d.h. das Potential der Sporenbildung nimmt deutlich ab. Die Abnahme fällt einerseits zusammen mit einer Periode hoher Niederschlagsfrequenz, andererseits mit der Bildung des sexuellen Vermehrungsstadiums, welches nicht näher quantifiziert wurde, jedoch mikroskopisch nachzuweisen war. Gegen Ende der Vegetation wird die Sporulation fast vollständig eingestellt.

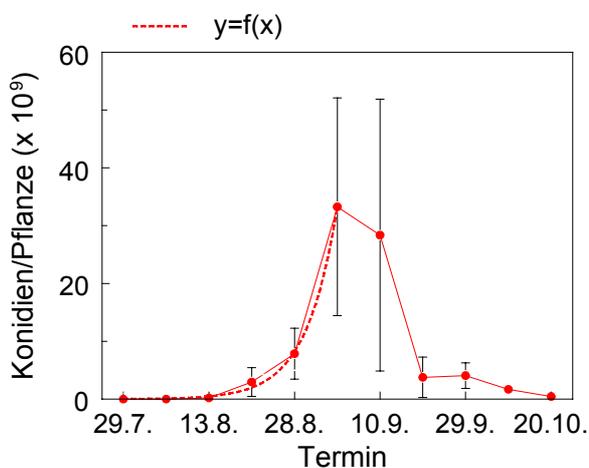


Abbildung 164: Populationsentwicklung von *Erysiphe betae* am Standort Aiterhofen 1998, Sorte "Corinna"; Exponentieller Verlauf bis 3.9.: $y=0,0075 * e^{(-x/-0,715)}$, $r^2=0,99$

Als Grund für die häufig festgestellte Stagnation bzw. Abnahme des visuell sichtbaren Befalls, welche nicht nur unter feuchten Bedingungen gegenwärtig war, ist somit die Populationsdynamik sowie das Abundanzverhalten des Erregers als mögliche Ursache anzuführen, indem geringe Sporulationsraten die visuelle Wahrnehmbarkeit des oberflächlichen Mycelbelags verringern.

Das Potential der Konidienbildung befindet sich in linearer Abhängigkeit von der Befallsstärke, sofern nur Erhebungen aus der Periode einer positiven Befallspro-

gression zugrunde gelegt sind (Abb. 165). Die Streuung wäre beträchtlich erhöht, gingen auch Werte nach der Kulmination der Population ein. Bei hohen Befallsstärken ergaben die Auszählungen Konidienzahlen bis zu $120 * 10^9$ pro Pflanze. Verglichen mit *Cercospora beticola* ist das Potential der Konidienbildung deutlich höher, etwa um den Faktor $2,5 * 10^2$.

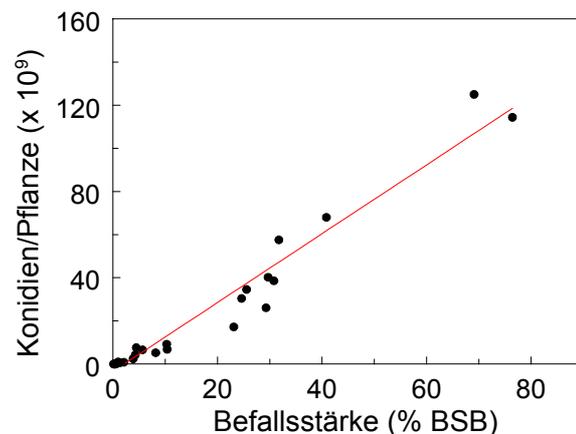


Abbildung 165: Regression von Befallsstärke und Konidienbildung

$$y = 1,51 (* 10^9) * \text{BSB}; r^2=0,94$$

7.3.3 Einfluß der Sortenanfälligkeit auf die Epidemiologie von *Erysiphe betae*

Die Wahl einer resistenten Sorte ist ein wesentliches Instrument des Integrierten Pflanzenschutzes zur präventiven Kontrolle von Krankheitserregern. In diesem Zusammenhang ist die Sichtung der Resistenzeigenschaften von unterschiedlichen Genotypen der Zuckerrübe von besonderem Interesse. Darüber hinaus ergab sich bei den epidemiologischen Studien eine beträchtliche Streuung von Beginn, Verlauf und Stärke einer Epidemie. Als ein Faktor des Streuungsmaßes ist nicht zu-

letzten auch die Sortenresistenz in die Betrachtungen einzubeziehen.

Als Maßstab für entsprechende Vergleiche kann nur eine parallele Versuchsanordnung dienen, d.h. ein paralleler Anbau der Sorten in einer Fallstudie unter "ceteris paribus"-Bedingungen von Bodeneigenschaften, Witterung und Düngung. Die Ausführungen sind daher zu beschränken auf die Sortenprüfungen im Anbausystem Zuckerrübe (1994-1996, Versuchsdurchführung siehe Seite 117).

Im vorhinein ist zu konstatieren, daß der Epidemiebeginn des Echten Mehltaus - anders als im Falle von *Cercospora beticola* - durch die Sortenresistenz weitgehend unbeeinflusst bleibt. Der Charakter der Feldresistenz scheint ausschließlich quantitativ und manifestiert sich während der Progressionsphase vornehmlich in einer Minderung der Befallsstärke.

Eine deutliche Differenzierung der Befallsprogression ergab sich am Standort Moosham 1995 (Abb. 166, oben), wengleich zu beachten ist, daß insbesondere in den *Cercospora*-anfälligen Sorten "Steffi", "Meta" und "Elan" ab Mitte September schon höherer Befall des perthotrophen Erregers zu beobachten war, wodurch die verminderte Progression teilweise auch auf den bereits erläuterten Antagonismus zurückzuführen ist. Jedoch auch bei einer der Objektivität dienlichen Reduzierung der Betrachtung auf den Zeitraum bis Mitte September bleibt die Größenordnung der Befallsminderung erhalten, welche in einem Bereich von 40-80 % gegenüber der hochanfälligen Sorte "Ribella" liegt.

Ohne die Auswirkungen einer parasitischen Nekrosenbildung zu interpretieren ist das Krankheitsgeschehen am Standort Rottenmann 1996 (Abb. 166, mitte). Der Beginn der Progression weist innerhalb der Sorten wiederum hohe Kongruenz auf,

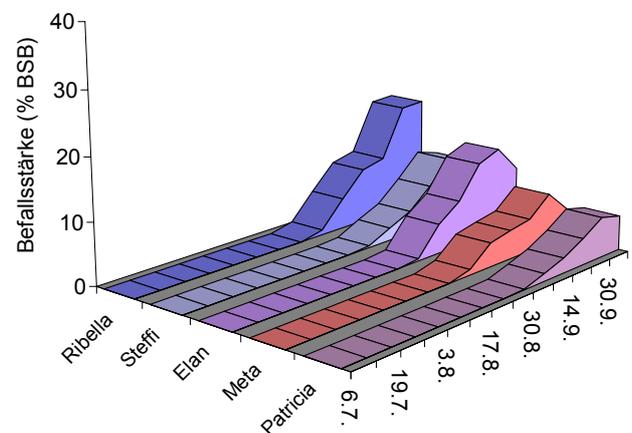
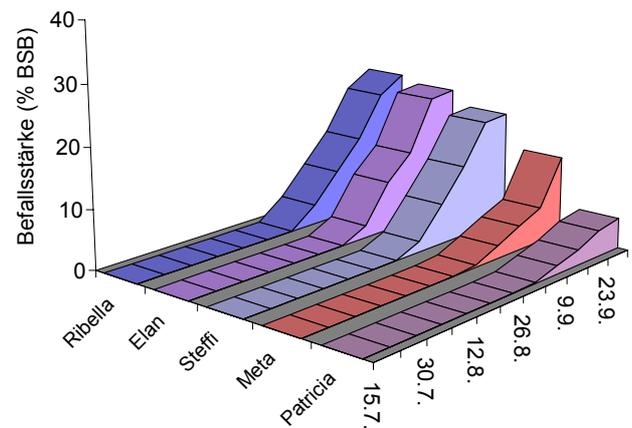
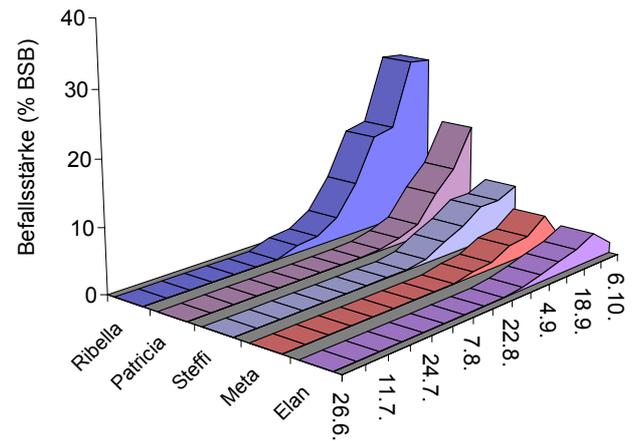


Abbildung 166: Entwicklung der Befallsstärke von *Erysiphe betae* in unterschiedlich anfälligen Zuckerrübensorten; Oben: Standort Moosham 1995; Mitte: Standort Rottenmann 1996; Unten: Standort Seligenstadt 1996

die Befallsreduzierungen der Sorten "Steffi" und "Elan" gegenüber der hochanfälligen Sorte "Ribella" sind dabei eher unwesentlich, jedoch deutlich im Falle der Sorten "Patricia" und "Meta". Die Sortenresis-

tenz bestätigt dabei erneut den quantitativen Charakter, eine Eliminierung des Befalls jedoch kann die Resistenz des verwendeten Sortenspektrums keinesfalls leisten.

Das Ergebnis von Rottenmann 1996 zeigt weitgehende Übereinstimmung mit jenem des Standortes Seligenstadt 1996 (Abb. 166, unten). Auch an diesem Standort entwickelte sich der Mehltaubefall annähernd unbeeinflusst vom *Cercospora*-Befall. Wiederum treten die Zunahmen der Befallsstärke in allen Sorten zeitgleich ein, wobei in den Sorten "Ribella" und "Elan" deutlich höheres Befallsniveau als bei den übrigen Sorten zu verzeichnen ist. Der Mehltau verbreitet sich dabei im Höchstfall auf ca. 20 % der Blattfläche. Deutliche Minderungen um 40-60 % ermöglichen erneut die Sorten "Patricia" und "Meta", sie vermögen jedoch Befall nicht zu verhindern. Der saisonale Verlauf der Befallsentwicklung kann mittels der Berechnung der Fläche unter der Befallskurve (AUDPC) zu einem Wert komprimiert werden, so daß eine zusammenfassende Betrachtung der Resistenzleistung aus 3 Jahren Prüfung ermöglicht wird. Der AUDPC-Wert berücksichtigt neben dem Befallsbeginn jegliche Veränderung des Befallswertes, also auch die Zeitdauer des Befalls sowie dessen Progression, welche den Echten Mehltau betreffend, zumindest was die visuellen Bonituren anbelangt, auch negativ sein kann. Der Epidemiologie des Echten Mehltaus Rechnung tragend, ist daher der AUDPC-Wert der Verwendung eines einzelnen Befallswertes vorzuziehen, wengleich ein Zusammenhang von AUDPC-Wert und dem Maximum der Befallsstärke (BSB-Maximum) gegeben ist (Abb. 167). Der Endbefallswert, welcher noch bei *Cercospora beticola* hohe Eignung zeigte, - wegen der Bil-

dung nekrotischer Blattflecken ist die Charakteristik des Befallsverlaufes hier ausschließlich progressiv, wodurch sich die höchsten Werte immer am Ende der Vegetation finden - ist für diese Art der Bewertung keinesfalls tauglich.

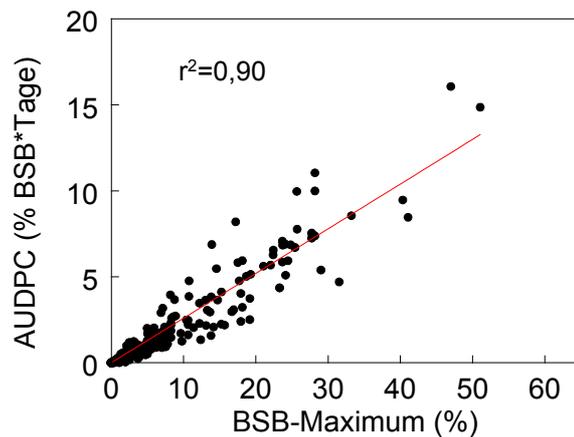


Abbildung 167: Regressionen von BSB-Maximum und AUDPC (Area under disease progress curve = Fläche unter der Befallskurve);

$$\text{AUDPC} = 0,26 * \text{BSB}_{\text{max}}, r^2=0,90$$

Bei entsprechender linearer Regression von Höchstbefall (BSB-Maximum) und AUDPC-Wert, korrespondiert eine Befallsstärke von 4 % mit einem AUDPC-Wert von 1, eine Befallsstärke von 40 % mit einem Wert von ca. 10. Zumindest bis in diesen Teilbereich liegt also weitgehende Kongruenz mit der entsprechenden Darstellung für *Cercospora beticola* vor. Bei höheren Befallsstärken allerdings ergab sich im Falle von *Cercospora beticola* ein überproportionaler Anstieg des AUDPC-Wertes, hingegen bei *Erysiphe betae* scheint bei nur wenigen Wertepaaren im Bereich von >40 % BSB die Linearität bestehen zu bleiben.

Die Resistenzleistung der einzelnen Varietäten ist in Relation zur hochanfälligen Sorte "Ribella" aufgetragen (Abb. 168).

Demnach ergibt sich eine Reihung, aus der den Sorten "Meta" und "Patricia" die höchste Resistenzleistung zu attestieren ist. Der Median des AUDPC-Wertes belegt jeweils eine Minderung des Befalls um etwa 70 %. Vergleichsweise hoch ist die Streuung innerhalb der Sorten "Elan" und "Steffi"; die Resistenzleistung ist somit trotz einer Befallsminderung von 30-40 % unsicher und abhängig von den standörtlichen Voraussetzungen. Als komplette Sorte im Hinblick auf eine integrierte Handhabung des Pflanzenschutzes ist jedoch die Sorte "Patricia" herauszustellen, da sie bereits gegenüber *Cercospora beticola* ein hohes Resistenzvermögen bewiesen hat.

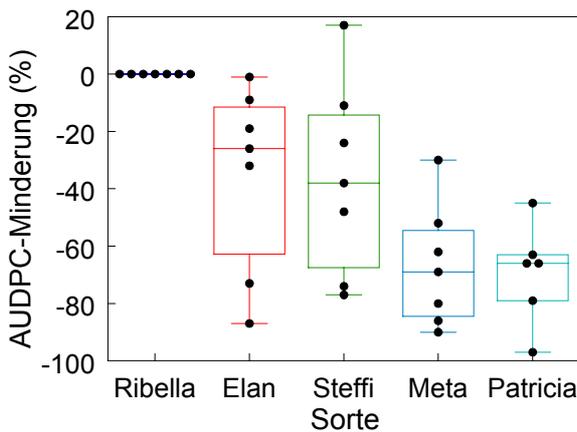


Abbildung 168: Resistenzleistung unterschiedlicher Zuckerrübensorten gegen *Erysiphe betae* anhand der Minderung des AUDPC-Wertes; Zusammenfassung aus den Anbausystemprüfungen 1994-1996

7.3.4 Einfluß unterschiedlicher Stickstoffernährung auf den Befallsverlauf von *Erysiphe betae*

Die Düngungsempfehlungen in der Praxis richten sich nach den Untersuchungen mittels der EUF-Methode (EUF=Elektro-Ultra-Filtration). Um die Auswirkungen

unterschiedlicher Stickstoff- (=N-) Niveaus auf das epidemiologische Verhalten von *Erysiphe betae* zu prüfen, wurde neben einer EUF-Variante zusätzlich eine Variante einer Unter- (EUF -60 kgN/ha) sowie einer Überversorgung (EUF +60 kgN/ha) in das Versuchsprogramm einbezogen.

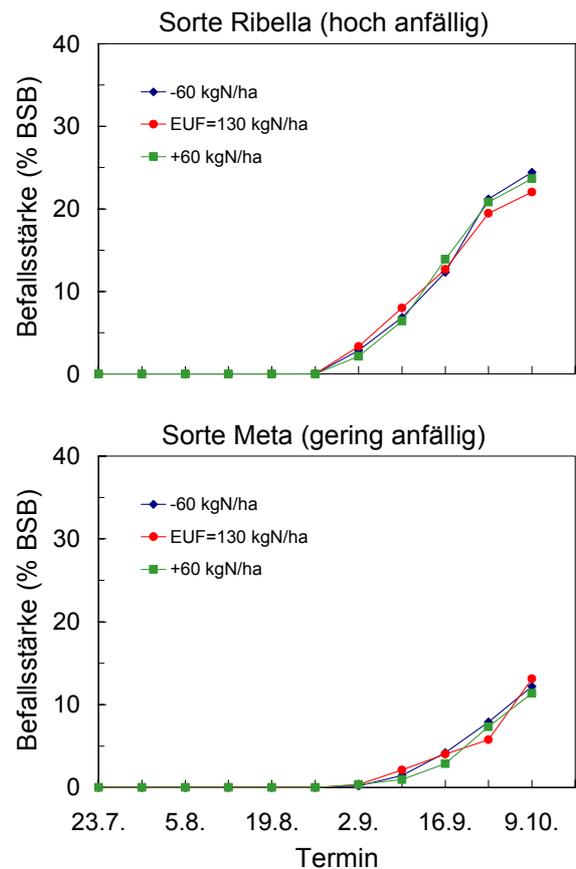


Abbildung 169: Einfluß unterschiedlicher Stickstoff-Niveaus auf den Befallsverlauf von *Erysiphe betae*; Sorte "Ribella" (oben), Sorte "Meta" (unten)

Die Darstellung (Abb. 169) ist reduziert auf die Ergebnisse des Standortes Rottenmann 1996; wegen des geringen *Cercospora*-Befalls waren ideale Voraussetzungen einer ausschließlichen Interpretation des Stickstoffeinflusses auf die Befallsentwicklung des Echten Mehltaus gegeben. Der Habitus der Rübenpflanzen er-

schien visuell von der gewählten Variation kaum beeinflusst, bei verminderter Stickstoffernährung (EUF -60 kgN/ha) machte sich eine geringfügig frühere Aufhellung des Bestandes bemerkbar.

Die unterschiedlichen N-Niveaus indes nehmen keinen Einfluß auf die Befallsprogression des obligaten Parasiten, weder in der hoch anfälligen Sorte "Ribella", noch in der mit höherer Teilresistenz ausgestatteten Sorte "Meta". Der Befall schreitet jeweils mit hoher Parallelität fort, geringfügige Unterschiede sind zufälliger Art. Somit ist der N-Einfluß zumindest im Bereich der EUF-Empfehlung als Einflußfaktor und damit als mögliches Regulativ auf die Epidemiologie des Echten Mehltaus zu vernachlässigen.

7.3.5 Analyse der Epidemie

Die Analyse zur Epidemiologie des Echten Mehltaus basiert auf insgesamt 121 Fallstudien. Davon ist in 93 Fällen visuell wahrnehmbarer Befall aufgetreten. In die Betrachtungen sind nur mitteleuropäische Ergebnisse (Bayern, Rheinland-Pfalz, Niedersachsen, Österreich) einbezogen. Die folgenden Ausführungen zielen auf eine Zusammenfassung im Hinblick auf eine Charakterisierung des epidemiologischen Verhaltens des Echten Mehltaus der Zuckerrübe.

7.3.5.1 Horizontale und vertikale Verbreitung

In dieser Zusammenstellung ist der Einfluß der Sortenresistenz vernachlässigt, da sich diese hauptsächlich in einer quantitativen Minderung der Befallsstärke, weniger aber auf die qualitative Verbreitung des Erregers im Bestand

des Erregers im Bestand niederschlägt. Die horizontale Verbreitung kennzeichnet die Periode des Befallsbeginns bis hin zu einer Infektion aller Rübenpflanzen des Bestandes mit wenigstens einem Symptom. Als Epidemiebeginn ist wiederum ein Verbreitungsgrad auf mindestens 50 % der Pflanzen definiert. Die vertikale Verbreitung, welche vornehmlich auf Sekundärinfektionen beruht, kennzeichnet die Übertragung des Erregers auf einen hohen Prozentsatz der Blätter, noch vor Entwicklung einer wesentlichen Befallsstärke. Eine strikte Trennung der aufeinanderfolgenden Ausbreitungsphasen ist jedoch im Falle von *Erysiphe betae* wenig angebracht, da die horizontale Verbreitung, wie noch auszuführen ist, häufig nur auf eine sehr kurze Zeitspanne begrenzt ist.

Aus den vorliegenden Studien folgernd (Abb. 170, oben), ist mit einem Erstbefall frühestens zur 30. Kalenderwoche zu rechnen, die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens zur letzten Julidekade beträgt allerdings nur 1,1 %. Bis Mitte August ist in 45 % der Fälle ein Befall mit *Erysiphe betae* aufgetreten, der Schwerpunkt des Befallsbeginns jedoch liegt in der zweiten Augushälfte. Die Streuung des Befallsbeginns gibt insgesamt eine schiefe Verteilung wider, wobei in 20 % der Fallstudien kein Befall mit Echten Mehltau aufgetreten ist, insbesondere dann, wenn der Antagonismus, ausgehend von starkem *Cercospora*-Befall, zur Auswirkung kam.

Der Epidemiebeginn weist vor allem bei früher Infektion nur eine geringe Verschiebung gegenüber dem Befallsbeginn auf (Abb. 170, unten). Wenngleich das Kriterium eines Befalls von 50% der Pflanzen bis Mitte August mit einer Wahrscheinlichkeit von 33 % eintritt, so liegt der Schwerpunkt, bei ebenfalls schiefer

Verteilung, im Zeitraum von der 35. bis zur 37. Kalenderwoche. Die Wahrscheinlichkeit eines Epidemiebeginns in der zweiten Septemberhälfte ist gering, jedoch vor allem in Zusammenhang mit einem späten Befallsbeginn und nachfolgend verzögerter Befallsprogression infolge der bereits kühleren Witterungsbedingungen zu sehen. In 30 % der Fälle ist die Indikation des Epidemiebeginns ausgeblieben.

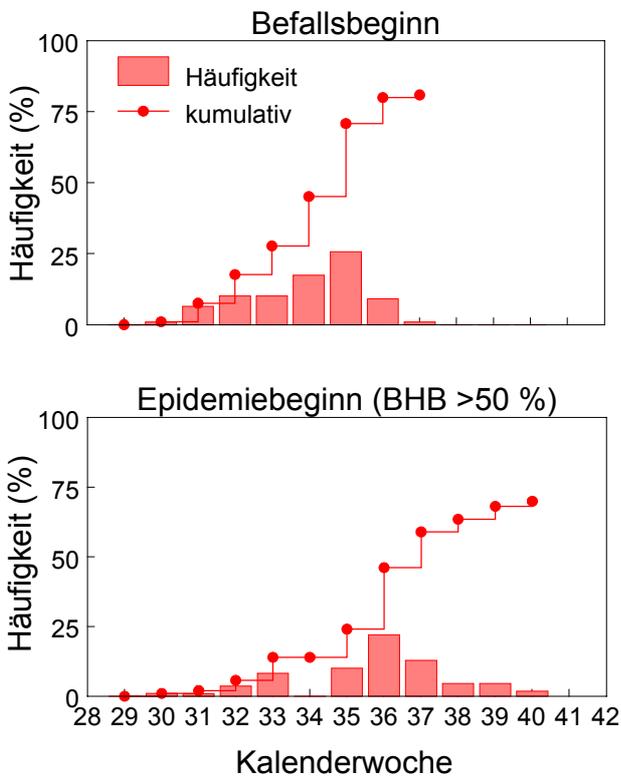


Abbildung 170: Häufigkeitsverteilung des Befallsbeginns (oben) und des Epidemiebeginns (unten) von *Erysiphe betae*

Die Epidemiologie des Echten Mehltaus ist insbesondere zur primären Phase der Ausbreitung häufig von starker Progredienz gekennzeichnet. Unter ausschließlicher Verwendung von Fallstudien mit positivem Mehltaubefund zeigt sich, daß das Kriterium des Epidemiebeginns in 17,5 % der Fälle bereits zum Erstauftreten erfüllt ist (Abb. 171, oben), in 12,5 % der Fall-

studien ist sogar schon eine Verbreitung auf 25 % der Blätter eingetreten (Abb. 171, unten). Zwei Wochen nach dem Erstauftreten beträgt die Wahrscheinlichkeit des Epidemiebeginns 74 %, für das Kriterium "25 % BHP" 57 %. Es sind jedoch auch Fälle mit einer deutlichen Verzögerung, letzteres Kriterium betreffend von bis zu 7 Wochen, vorgekommen; hier wirken insbesondere eine höhere Sortenresistenz und für die Weiterverbreitung ungeeignete Witterungsbedingungen zusammen.

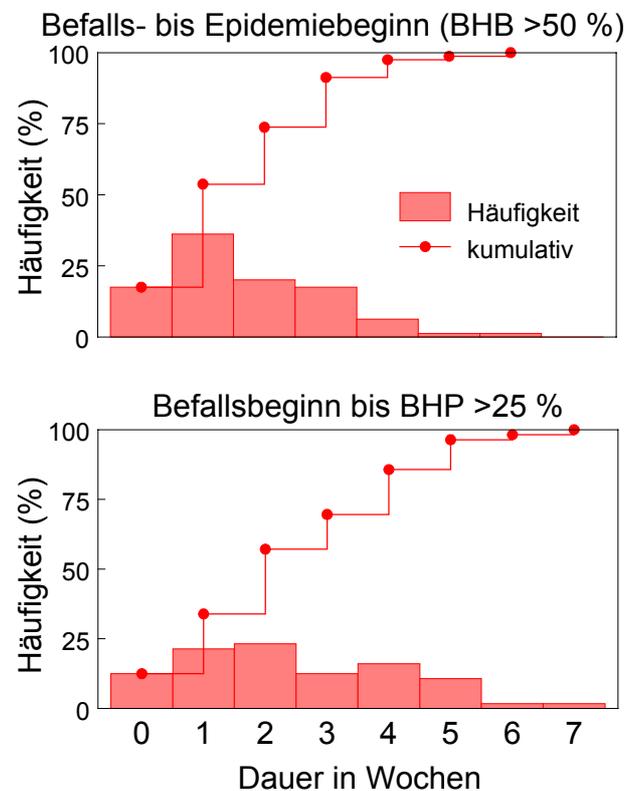


Abbildung 171: Dauer der vertikalen und horizontalen Verbreitung; Befalls- bis Epidemiebeginn (oben), Befallsbeginn bis BHP >25 % (unten)

Somit ist eine Differenzierung von horizontaler und vertikaler Verbreitung nur bedingt möglich, insbesondere bei heftigen Epidemien ist die horizontale Ausbreitung stark eingekürzt und ein sofortiger

Übergang zur vertikalen Progressionsphase kennzeichnend.

Als Begründung wäre eine kurze Latenzzeit zu vermuten, so daß neue Konidien-generationen in rascher Abfolge entstehen und Sekundärinfektionen hervorrufen. Abbildung 172 drückt die Latenz des Erregers aus in Abhängigkeit vom Blattalter, wobei verschiedene Blätter, unabhängig von der Blattstellung, entsprechend dem Beginn der Exposition gleichgesetzt wurden. Der Wert 0 auf der x-Achse drückt somit den Beginn der Blattbildung aus.

Zur Darstellung ist die Fallstudie des Standortes Sülbeck 1997 gewählt (Abb. 172); hier traten erste Infektionen bereits am 20. Juli auf, mit starker Progression des Befalls in der Folge. In Abhängigkeit von der Blatteexposition - ab diesem Zeitpunkt ist eine Erregerkontamination überhaupt erst möglich - sind zu einem geringen Prozentsatz (1,7 %) Infektionen 3 Wochen nach Beginn der Blattbildung eingetreten. Der Anteil befallener Blätter nimmt mit längerer Expositions-dauer stark zu; nach 8 Wochen weisen annähernd 80 % der Blätter Infektionen auf. Die große Streuung geht zurück auf unterschiedliche Zeitpunkte der Bildung und steht damit in Zusammenhang mit unterschiedlichen Infektionsvoraussetzungen, welche in der Darstellung nicht weiter berücksichtigt sind. Entscheidend ist jedoch der Gesichtspunkt einer relativ langen Latenzphase von mindestens 3 Wochen, so daß hiervon keine Erklärung für die Aggressivität des Erregers abzuleiten ist. Allerdings ist einzuschränken, daß bei dieser Art der Herleitung der Beginn der Blattbildung (Blattlänge \approx 2 cm) gleichzeitig für den potentiellen Beginn der Latenzphase steht und somit ein Einfluß des Blattalters nicht auszuschließen ist.

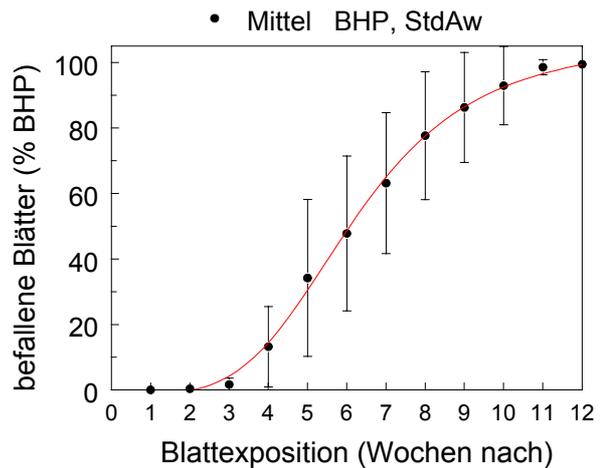


Abbildung 172: Auftreten von Infektionen des Echten Mehltaus in Abhängigkeit von der Dauer der Blatteexposition, Standort Sülbeck 1997, Sorte "Ribella"

Eine zusätzliche Abschätzung der Latenzperiode läßt sich nach künstlicher Inokulation im Freiland vornehmen. Hierbei ist der Zeitpunkt des Kontaktes mit dem Erreger bekannt. Demnach sind Infektionen innerhalb von 14 Tagen eingetreten (Abb. 173). Alle Pflanzen wiesen Befall auf, der Prozentsatz der befallenen Blätter schwankte im Bereich von 5-10 %. Die

***Erysiphe betae*: Künstliche Infektion**

Die Inokulationen im Freiland fanden am 23. Juni 1998 statt und wurden mit einer Konidien-suspension durchgeführt. Die Kultur des Erregers erfolgte im Gewächshaus auf 8-10 Wochen alten Rübenpflanzen, die Infektion durch Besprühen mit einer Konidien-suspension. Reichliche Konidienbildung tritt innerhalb von 3-4 Wochen ein. Das Abspülen der Sporen von den Rübenblättern wurde mit Hilfe eines Bohrmaschinen-Quirls vorgenommen. Grobe Bestandteile wurden durch anschließendes Sieben aus der Suspension herausgefiltert. Die Ausbringung erfolgte mit Hilfe einer herkömmlichen Parzellenspritze (2,5 bar, 300 l H₂O/ha). Die Inokulumdichte war auf 1000 Konidien/ml eingestellt.

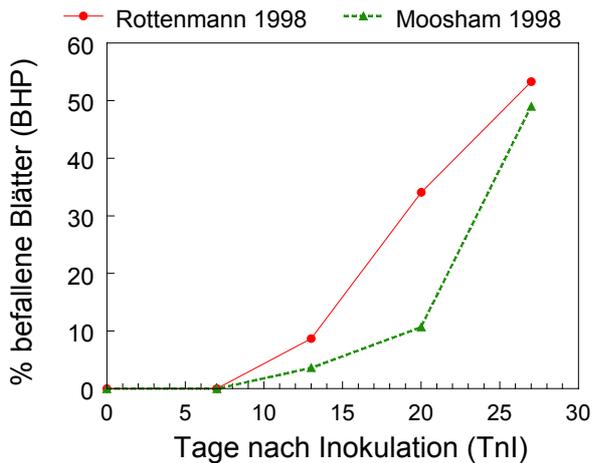


Abbildung 173: Verlauf der Blattbefallshäufigkeit (BHP) nach künstlicher Inokulation im Freiland

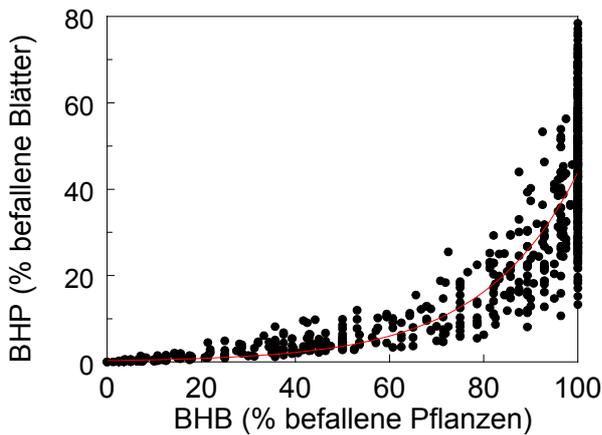


Abbildung 174: Regression von horizontaler (befallene Pflanzen = % BHB) und vertikaler Ausbreitung (befallene Blätter = % BHP)

Schätzung von BHP = $100 \cdot (1 - e^{-0,13 \cdot \text{BHB}})$; $r^2 = 0,95$

starke Progression in der Folge erklärt sich dadurch, daß alle Blätter gleichzeitig einer Erregerkontamination ausgesetzt waren. Wie schon erwähnt, befinden sich horizontale und vertikale Verbreitung des Erregers in fließendem Übergang, wobei letztere Bezug nimmt auf die sekundäre Übertragung des Erregers von Blatt zu Blatt. Die Gegenüberstellung Befallshäufigkeit_{Pflanze} (BHB) als Parameter der horizontalen Verbreitung und der Befallshäufigkeit_{Blatt} (BHP), welche die vertikale

Verbreitung ausdrückt, vermittelt weniger einen Einblick in die Dynamik der Progression, da der Faktor Zeit nicht berücksichtigt ist, vielmehr gibt Abbildung 174 die Abhängigkeit der Blattbefallshäufigkeit vom Fortschritt der horizontalen Ausbreitung wieder. Demnach verbleibt die Blattbefallshäufigkeit bis in den Bereich von 50 % BHB unter 10 %, nimmt jedoch mit steigenden BHB-Werten überproportional zu. Die Blattbefallshäufigkeit beträgt im Höchstfall 80 %. Die Parameterschätzung erfolgte mit Hilfe einer Wachstumsfunktion $y(x) = y_{\max} \cdot (1 / e^{-k \cdot x})$ durch nichtlineare Regression, die Funktion ist jedoch, wie für die entsprechende Beziehung bei *Cercospora beticola*, umgekehrt als $x(y)$ aufgetragen. Der Zusammenhang ist von Bedeutung für die Auswahl und Definition von Bekämpfungsschwellen.

7.3.5.2 Entwicklung der Befallsstärke

Die Abhängigkeit der Befallsstärke vom Fortschreiten der vertikalen Verbreitung ist in Abbildung 175 dargestellt. Als Funktion zur Beschreibung des Zusammenhangs wurde ein Polynom 3ten Grades gewählt, korreliert wurden jeweils die Mittelwerte der Variante. Dabei ist das Verhältnis derart, daß bis in den Bereich von 20 % BHP die korrespondierende Befallsstärke unter 10 % liegt. Die Werte der Befallsstärke streuen jedoch stark um den idealisierten Verlauf der Funktion, beispielsweise im Bereich von 40 % BHP zwischen 1 und 20 %. Die Zunahmen der Befallsstärke hingegen sind mit steigender Blattbefallshäufigkeit nur gering überproportional; im Höchstfall werden 70-80 % der Blätter befallen, die Befallsstärke befindet sich dann im Bereich von 20-50 %,

wobei die Streuung der Wertepaare noch mehr zunimmt. Die Abweichungen sind dadurch zu erklären, daß der Erreger in manchen Fallstudien zwar auf einen hohen Prozentsatz der Blätter Verbreitung fand, trotzdem aber eine wesentliche Entwicklung der Befallsstärke unterblieb. Die Ursachen beruhen hauptsächlich auf einem unterschiedlichen Resistenzverhalten der Sorten, indem teilresistente Genotypen, mitunter auch ungünstige Witterungsbedingungen die Entwicklung hoher Befallsstärken einschränken.

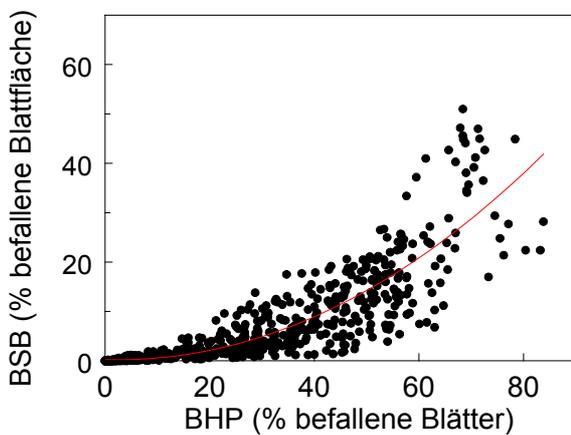


Abbildung 175: Regression von vertikaler Verbreitung (befallene Blätter = % BHP) und Befallsstärke (befallene Blattfläche = % BSB);

$$\text{Schätzung von BSB} = -0,006x^3 + 0,006x^2 - 0,0274x + 0,2555; r^2 = 0,77$$

Darüber hinaus finden sich starke Differenzen des Befalls auch bei einem individuellen Vergleich von Einzelpflanzen, welche jedoch zu erklären sind durch die Resistenzeigenschaften der Zuckerrübensorten. Das Befallsausmaß - so hat es zumindest das verwendete Sortenspektrum aufgezeigt - ist innerhalb eines Bestandes nämlich keinesfalls einheitlich, auch zu späteren Stadien tritt keine Angleichung ein, sondern es bleiben häufig stark befallene Individuen neben gering befallenen

über eine ganze Vegetationsperiode bestehen. Anfangsbefall kommt dabei auch zu einem hohen Prozentsatz auf Blättern von gering befallenen Pflanzen vor, jedoch ist die Stärke des Befalls bisweilen deutlich gemindert. Diese kann beispielsweise schwanken zwischen 5 und 60 %, bezogen auf einzelne Pflanzen (Abb. 176). Das Phänomen ist keineswegs durch das epidemiologische Ausbreitungsmuster zu erklären, also etwa einer Ausbildung von Befallsnestern, da eine Kontamination benachbarter Pflanzen wegen des luftbürtigen und damit effektiven Transfers der Konidien in kurzen Intervallen anzunehmen ist. Die Differenzierungen innerhalb eines Bestandes dürften vornehmlich auf Inhomogenitäten bezüglich der Genetik des zugrundeliegenden Sortenmaterials zurückgehen.

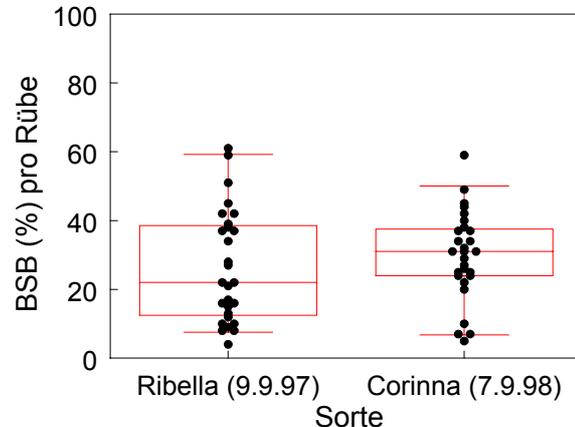


Abbildung 176: Beispiele der Befallsstreuung zwischen Einzelindividuen (n=40) eines Rübenbestandes am Standort Aiterhofen

Entscheidendes Kriterium für die Schadrelevanz des Parasiten ist, nicht anders als bei *Cercospora beticola*, die Entwicklung der Befallsstärke, also hier der Bedeckungsgrad der Blätter mit Mehltau. Zur Veranschaulichung der Progression wird in 3 Kategorien differenziert. Als Befallsdruck "hoch" sind Fallstudien mit einer

maximalen Befallsstärke >20% charakterisiert; diese stellten sich insbesondere nach frühem Epidemiebeginn bei Verwendung anfälliger Sorten ein. Der Kategorie "mäßig befallen" gehören Fälle von 5-20 % BSB_{max} an. In die Gruppe "gering befallen" sind Progressionen von <5 % BSB_{max} eingeordnet, somit Fälle mit spätem Epidemiebeginn und/oder höherer Sortenresistenz. Zur Bewertung kamen nur Fallstudien einer relativen Abwesenheit von *Cercospora beticola* (AUDPC <1), um Abweichungen, ausgehend von antagonistischen Einflüssen, auszuschließen.

Zur zusammenfassenden Analyse der Fallstudien ist in Abbildung 177 der Zeitpunkt des Befallsbeginns bzw. des ersten Symptomauftritts jeweils gleich "0" gesetzt. Der Charakter der Epidemiologie des Echten Mehltaus kommt insbesondere bei hohem Befallsdruck zum Vorschein, indem die Progression der Befallsstärke bereits unmittelbar nach Befallsbeginn einsetzt (177, oben). Die Bedeutung einer zunächst horizontalen und vertikalen Verbreitung als Voraussetzung der Progression tritt damit verglichen mit *Cercospora beticola* deutlich zurück. Die wöchentlichen Zuwachsraten des oberflächlichen Mycels liegen schon zu Beginn der Epidemie zwischen 2 und 5 % und erreichen das Maximum von bis zu 20 % innerhalb von 3-4 Wochen nach Befallsbeginn. Die Epidemie ist weiterhin von einer ausgeprägten Retrogradation gekennzeichnet, welche sich in negativen Zuwächsen äußert, so daß das Befallsausmaß (BSB-kumulativ), zumindest nach visuellen Bonituren, rückläufige Tendenz aufweist. Ein visueller Rückgang der Befallsstärke hat sich vorwiegend bei frühem Befallsbeginn und damit einer langen Dauer der Epidemie eingestellt.

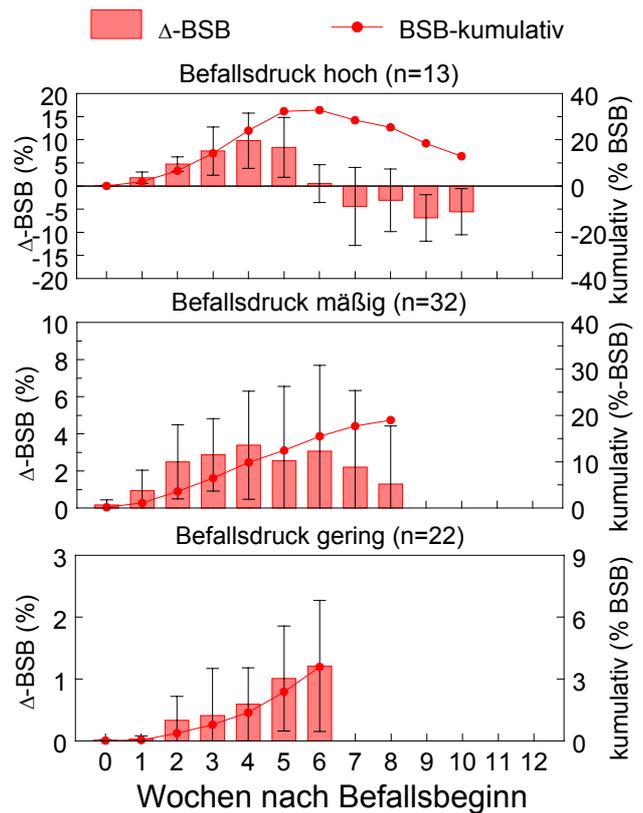


Abbildung 177: Wöchentliche Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ -BSB) in Abhängigkeit vom Befallsdruck; (Fehlerbalken = Standardabweichung)

Das Charakteristikum einer frühzeitigen Entwicklung der Befallsstärke ist auch bei gemäßigttem Epidemiebeginn angedeutet (Abb. 177, Mitte). Die Zuwachsraten bleiben jedoch im Durchschnitt unter 5 %. Bei längerer Fortdauer der Epidemie verliert die Progression ebenfalls an Dynamik, die Zuwächse nehmen jedoch keinen negativen Trend an.

Auch bei geringem Befallsdruck sind die wöchentlichen Zuwächse progredient, betragen jedoch während des gesamten Zeitraumes der Epidemie nicht mehr als 2 % (Abb. 177, unten). Die geringen Zuwächse haben sich vor allem bei spätem Epidemiebeginn ergeben, so daß die biologischen Ansprüche des Erregers, insbesondere wegen der abnehmenden Temperaturen, nur noch teilweise erfüllt sind.

7.3.5.3 Verteilung des Mehлтаubefalls innerhalb der Blattrosette der Zuckerrübe

Mehltaubefall entwickelt sich nur auf chlorophyllhaltigen, photosynthetisch aktiven Blättern. Entsprechend muß sich die Verteilung des Befalls innerhalb einer Rübenpflanze verhalten, werden die Blätter nach dem Alter angeordnet (Abb. 178). Zum Stadium des Epidemiebeginns hat die Rübe etwa 6 Blätter aufgrund von natürlicher Seneszenz verloren, deren Einfluß nimmt die nächstfolgenden Blätter betreffend stark ab (Abb. 178, oben). Die einzelnen Blätter sind im Durchschnitt mit 1-2 % der Blattfläche befallen, die Befallshäufigkeit nimmt zum mittleren Blattapparat hin zu, lediglich die jüngsten Blätter sind frei von Befall.

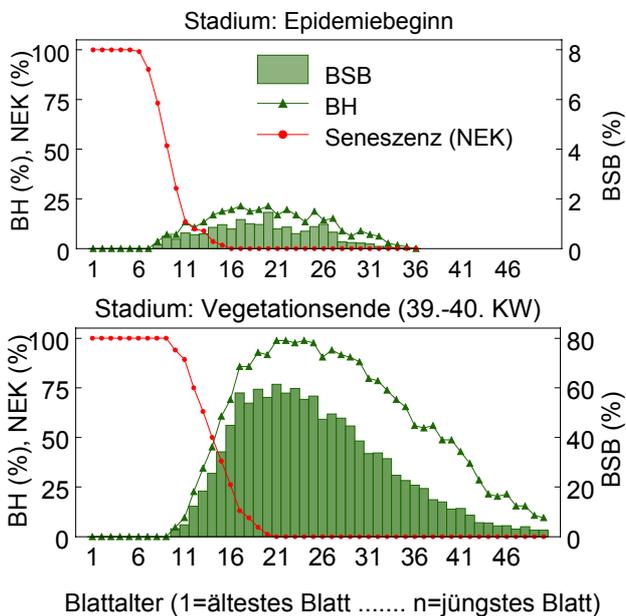


Abbildung 178: Befallsverteilung in Abhängigkeit vom Blattalter; (oben: Epidemiebeginn, unten: Vegetationsende)

Zum Vegetationsende ergibt sich unter dem Einfluß der Seneszenz und der kontinuierlichen Neubildung von Blättern eine

schiefe Verteilung des Befalls (Abb. 178, unten). Die Seneszenz schwankt etwa zwischen 10 und 20 abgestorbenen Blättern, wobei sich der Mehлтаubefall umgekehrt kongruent verhält, d.h. mit abnehmender Seneszenz zunimmt. Der Schwerpunkt des Befalls trifft den mittleren Blattapparat, die Befallsstärke beträgt bei einem hohen Prozentsatz befallener Blätter im Durchschnitt 60 %. Zu den jüngeren Blättern hin nimmt das Befallsausmaß ab, wofür vor allem die kürzer werdende Expositions-dauer der Blätter ursächlich ist.

7.3.6 Prognose des Mehлтаubefalls

Rückblickend ist aus den epidemiologischen Fallstudien (1993-1998) abzuleiten, daß der Befallsbeginn des Echten Mehltaus eine breite Streuung von Ende Juli bis Ende September aufweist. Die einfachste Form einer Negativ-Prognose stellt eine empirische Herleitung dar; im Hinblick auf eine Determinierung des befallsfreien Zeitraums wäre somit ein Befall mit Echten Mehltau zumindest bis Mitte Juli mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Unter Praxisbedingungen ist eine derartige Prognose jedoch nicht zufriedenstellend, bedeutet sie doch die Notwendigkeit von Bestandesbeobachtungen über einen langen Zeitraum, deren Mühe bei Ausbleiben von Befall vergeblich ist.

7.3.6.1 Terminprognose

Weit anspruchsvoller ist der Versuch einer Terminprognose, d.h. eine konkrete Datierung des Befallsbeginns auf Basis verschiedener Einflußparameter. Die Möglichkeit und Verlässlichkeit einer derartigen Prognose ist nicht zuletzt daran zu messen, inwieweit das hohe Streuungsmaß

des Epidemiebeginns zu erklären ist. Kann dabei das Streuungsmaß für vergangene Fälle nicht wesentlich eingeengt werden, so ist dies auch für zukünftige Fallstudien nicht zu erwarten. Die Verlässlichkeit einer Prognose ist aber nicht zuletzt an diesem Kriterium zu messen.

Nachdem die Analyse von pflanzenbaulichen Faktoren, insbesondere die Sortenreaktion und die Stickstoffernährung für die Erklärung des unterschiedlichen Befallsbeginns nur unzulängliche Eignung zeigten, ist der Einfluß von Witterungsfaktoren in die Kalkulationen einzubeziehen. Meteorologische Faktoren, insbesondere Temperatur und relative Luftfeuchte sind als bedeutende Einflußparameter auf Infektion und damit Progression des Krankheitsgeschehens zu erachten.

Die einzelnen Kalkulationen orientieren sich hier nicht am Entwicklungsstadium der Zuckerrübe, wie dieses im Falle der Prognose des *Cercospora*-Befalls zugrunde gelegt wurde. Die Abhängigkeit des Bestandesklimas vom Entwicklungsstand der Zuckerrübe ist für den obligaten Parasiten von weit geringerer Bedeutung, da die Ansprüche an die Feuchtebedingungen nicht qualitativer Art sind. Der Pilz vermag selbst bei geringen Luftfeuchten von 30-40 % zu infizieren, freies Wasser in Form von Blattnäse dagegen stört den Infektionsvorgang (DRANDAREVSKI, 1969b; AHRENS, 1985). Insofern scheint es gerechtfertigt, das Entwicklungsstadium der Zuckerrübe zu vernachlässigen und die Kalkulationen am Kalendarium zu orientieren. Als meteorologische Parameter wurden die Temperatur (°C), die relative Luftfeuchte (%), die Niederschlagsmenge sowie deren Frequenz als Anzahl der Tage >0,5 mm zugrunde gelegt. Anders als bei der *Cercospora*-Prognose werden die einzelnen Parameter getrennt voneinander

analysiert, da die Berechnung eines Tagesinfektionswertes (TIW), welcher die Witterungsparameter zu einem Wert integriert, wegen der fehlenden Datenbasis zur Gewichtung von Temperatur und relativer Luftfeuchte nicht möglich ist. Somit ist der Ansatz zu einer Prognose sehr einfach gehalten, indem Tagesmittelwerte des jeweiligen Einflußfaktors vom Tag 1 (Beginn der Kalkulation) bis zum Tag n (Tag des Erscheinens von Primärsymptomen) aufsummiert werden.

Der Rechengang zur Summenbildung für die Parameter °C-Tage und rLf-Tage ist dabei wie folgt:

$$\text{Summe}_{\text{Parameter}} = \sum_{i=1}^n \text{TMW}_i$$

wobei: Parameter = °C bzw. rLf (relative Luftfeuchte),

i = Periode der Kalkulation von Tag 1 (Beginn der Kalkulation) bis n (Tag des Erscheinens von Primärsymptomen),

TMW = Tagesmittelwert

$$\text{TMW} = \frac{\sum_{h=1}^{24} x_h}{24}$$

wobei: h = Stunde

x = Parameter der Witterung

Darüber hinaus wurden Tagesmittelwerte der Temperatur und relativen Luftfeuchte gleich 0 gesetzt, sofern $\text{TMW}_{\text{°C}} < 0$ gegeben war. Frosttage wurden hierdurch von der Berechnung eliminiert, da deren Einbeziehung eine Fehlerquelle darstellen würde, unter Bedingungen, welche die Möglichkeit einer Infektion vollständig ausschließen.

Für die Parameter "Niederschlag" und "Anzahl der Tage >0,5 mm" sind die Tageswerte für die Periode der Kalkulation ebenfalls zu addieren; die Berechnung eines Tagesdurchschnittswertes entfällt jedoch. Für den letzteren Parameter gilt, daß der Tageswert gleich 1 zu setzen ist, sofern das Kriterium vom "mm>0,5" erfüllt ist, sonst 0.

Zur Verwendung kamen ausschließlich Fallstudien eines relativen Fehlens von *Cercospora beticola* (AUDPC < 1). Die Sortenreaktion ist durch Bildung von 2 Kategorien berücksichtigt, wobei den gering anfälligen Varietäten die Sorten "Meta", "Patricia" und "Tatjana" zugeordnet sind (n=16), alle übrigen sind als "hoch anfällig" eingestuft (n=25).

Zunächst war nicht vorherzusehen, wie sich verschiedene Zeitpunkte des Beginns der Kalkulation (i=1) auf die Streuung der Summenwerte (°C-Tage, rLf-Tage) auswirken. Deswegen sind als Beginn alternativ die Termine des 1.1., 1.5., 16.5., 1.6. und 16.6. gewählt. In Abhängigkeit vom Beginn der Kalkulation verändert sich dabei das Streuungsmaß des Faktors Temperatur (Summe °C-Tage), welches innerhalb eines Boxplots als die Spannweite zwischen 5- und 95-Perzentile ersichtlich ist, nur unwesentlich (Abb. 179). Eine Verbesserung der Prognose hinsichtlich der Auswahl einer optimalen Kalkulationsbasis ist somit belanglos. Dieses Faktum mutet als erstaunlich an, wäre doch subjektiv zu erwarten, daß die Streuung, insbesondere gegenüber einer Kalkulation von Jahresbeginn an (1.1.), eingengt ist, zumal die Berücksichtigung von Witterungsereignissen vor dem Auflaufen der Zuckerrübe als unerheblich und damit deren Variation theoretisch als Fehlerquelle für die Kalkulation des Erstauftretens zu erachten wäre. Dies gilt sowohl für hoch

anfällige als auch für gering anfällige Sorten. Die Summenwerte der °C-Tage ergeben ebensowenig einen Hinweis auf eine Differenzierung der Sortenreaktion, wobei die Mediane unabhängig vom Zeitpunkt des Kalkulationsbeginns auf jeweils ähnlich hohem Niveau liegen.

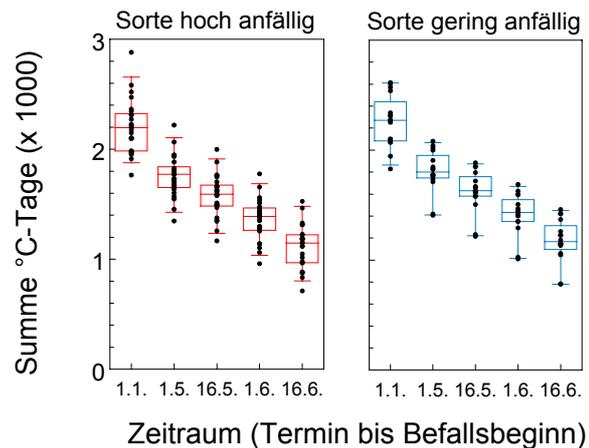


Abbildung 179: Kalkulation des Parameters "Summe °C-Tage" in Abhängigkeit von Sortenreaktion (links = hoch anfällig, rechts = gering anfällig) und Zeitraum der Kalkulation

Innerhalb der Sorteneinstufung "hoch anfällig" beispielsweise ist bei Kalkulation vom 16.6. an ein Median von 1147 °C-Tagen ausgewiesen; die Differenz zwischen 5 und 95-Perzentile beträgt 677 °C-Tage. Wird als Tagesdurchschnittstemperatur etwa 15 °C angenommen, so verbliebe immer noch eine Streuung von 45 Tagen. Die ursprüngliche Spannweite des Befallsbeginns betrug 55 Tage.

Ähnliches Verhalten stellt sich ein bei Bezug auf den Parameter relative Luftfeuchte (rLf), wenngleich die Streuung der Summenwerte bei Kalkulation von Jahresbeginn an deutlich erhöht ist (Abb. 180). Diese ist weitgehend zurückzuführen auf die unterschiedliche Anzahl der Frosttage, welche den einzelnen Witterungsverläufen zugrunde liegen, so daß deren Eliminierung zu stärkeren Abweichungen führt.

Die übrigen Kalkulationen jedoch unterscheiden sich in der Spannweite von 5 zu 95-Percentile nicht, weder hoch anfällige noch gering anfällige Sorten betreffend. Ebenso befinden sich die Mediane der beiden Sortenkategorien bei entsprechendem Kalkulationszeitraum auf vergleichbarem Niveau.

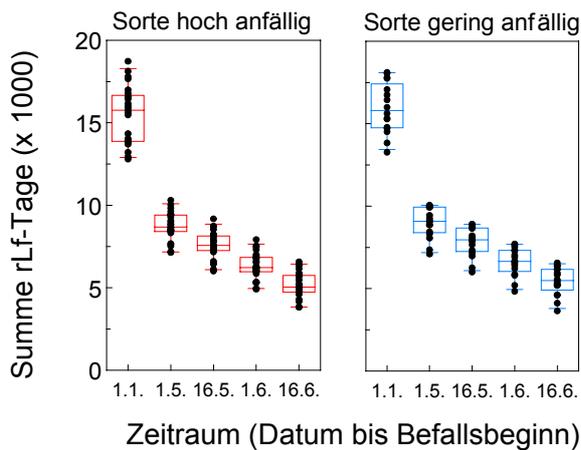


Abbildung 180: Kalkulation des Parameters "Summe rLf-Tage" in Abhängigkeit von Sortenreaktion (links = hoch anfällig, rechts = gering anfällig) und Zeitraum der Kalkulation

Letztlich verbleiben Streuungen im Bereich von etwa 3000 rLf-Tagen, welche bei einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchte von 70-80 % einer zeitlichen Spannweite von 40 Tagen entsprechen. Die alternative Verwendung der Niederschlagsmenge bzw. -frequenz kann ebenfalls keine zureichende Erklärung der Streuung des Befallsbeginns liefern. Diese korrespondiert weitgehend mit der Länge des Kalkulationszeitraumes, d.h. die Länge des Zeitraums schlägt sich weit mehr auf die Summenwerte nieder, als daß die Variation des Parameters Niederschlag innerhalb der einzelnen Fallstudien den Befallsbeginn zu terminieren in der Lage wäre. Auf eine graphische Darstellung, welche bezüglich des Streuungsmaßes im

Grundsatz jener der Temperatur und relativen Luftfeuchte entspricht, kann daher verzichtet werden.

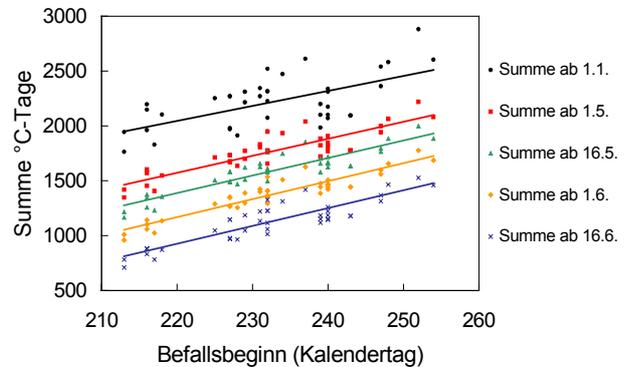


Abbildung 181: Lineare Korrelation von Befallsbeginn und Summe °C-Tage

Im Hinblick auf eine Terminprognose des Echten Mehltaus wäre es der Idealfall, würde der Befallsbeginn stets nach Erreichen einer bestimmten Summe von °C-Tagen bzw. rLf-Tagen eintreten. Die Möglichkeiten einer Datierung des Befallsbeginns auf diese Weise scheinen jedoch gering. Vielmehr zeigt der Summenwert der °C-Tage eine umgekehrte Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Befallsbeginns auf, d.h. je später dieser eintritt, um so länger ist der Zeitraum der Kalkulation und damit höher der Summenwert (Abb. 181). Der Zusammenhang wird erkenntlich aus der Korrelation von Befallsbeginn und Summe °C-Tage, wobei die Steigung sich unabhängig vom Beginn der Kalkulation weitgehend konstant verhält. Die Regressionsformel "Summe °C-Tage = a + b * Befallsbeginn" weist für Summenbildungen ab Anfang Mai je Kalendertag eine Steigung (b) bzw. Erhöhung der Temperatur-Summe von 15,4-16,2 °C aus, also etwa kongruent mit dem Temperaturmittelwert der Kalkulationsperiode. Eine Terminprognose aber wäre dann aussichtsreich, würde die Steigung gegen Null ten-

dieren. Identisches Verhalten ergibt sich bei alternativer Korrelation von Befallsbeginn und Summenwert der relativen Luftfeuchte. Die Darstellung kann daher entfallen.

7.3.6.2 Prognose der Befallszunahme

Die Prognose der Befallszunahme ist als Voraussetzung zu erachten für eine Simulation des Epidemieverlaufes. Als Basis der Schätzungen finden ausschließlich epidemiologische Freilandstudien mit einer über die Existenz des Erregers hinausgehenden Ausbreitung (hoch anfällige Sorten: n=40, gering anfällige Sorten: n=21) Verwendung, welche in Beziehung zu setzen sind zu den jeweils vorherrschenden Witterungsbedingungen. Den Befallserhebungen liegen wöchentliche Intervalle zugrunde, entsprechend sind die Anstiege der Befallsstärke für die Zeitspanne einer Woche zu kalkulieren. Eine Schätzung der Befallszunahme (abhängige Variable: Δ -BSB %) kann erfolgen in Abhängigkeit von der Witterung (unabhängige Variable: \varnothing - $^{\circ}\text{C}_{\text{Vorwoche}}$, \varnothing -rLf_{Vorwoche}) und dem Stadium des Erregers (unabhängige Variable: BSB_{Vorwoche}). Die Schätzungen erfolgen mit Hilfe von 3-D-Polynomen 3ten Grades (allgemeine Formel siehe Seite 99), wobei z die zu schätzende Größe Δ -BSB darstellt, x als die Befallsstärke vor einer Woche (BSB_{Vorwoche}) und y als \varnothing - $^{\circ}\text{C}_{\text{Vorwoche}}$ bzw. \varnothing -rLf_{Vorwoche} in die Berechnung eingeht. Die Parameter zum Tag j sind wie folgt kalkuliert:

$$x = \text{BSB}_{j-7}$$

$$y = \left(\sum_{i=j-7}^j \text{TMW}_i \right) / 7$$

wobei TMW = Tagesmittelwert ($^{\circ}\text{C}$, rLf)

$$z = \Delta\text{-BSB}_j = \text{BSB}_j - \text{BSB}_{j-7}$$

Hoch anfällige Sorten

Die Schätzung (Abb. 182) belegt eine Abhängigkeit des Befallsanstiegs sowohl vom Inokulumpotential, welches als die Befallsstärke der Vorwoche in die Berechnung eingeht, als auch vom Durchschnitt der Wochentemperatur. Eine Zunahme der Befallsstärke dagegen ist unabhängig vom Stadium des Erregers auszuschließen, sofern der Parameter \varnothing - $^{\circ}\text{C}_{\text{Vorwoche}} \leq 10$ $^{\circ}\text{C}$ beträgt. Für den Bereich von 10-20 $^{\circ}\text{C}$ gilt, daß sich der Zuwachs der Befallsstärke etwa verdoppelt je Erhöhung der \varnothing - $^{\circ}\text{C}_{\text{Vorwoche}}$ um 5 $^{\circ}\text{C}$. Die Zuwachsraten verbleiben unter 4 % BSB bei einem Ausgangsinokulum, welches unterhalb von 5 % BSB liegt, um bei 15-20 % Befallsstärke gegen ein Maximum von bis zu 20 % zu tendieren. Bei ursprünglichen Befallsstärken von >20 % zeigen die Zuwachsraten wiederum rückläufige Tendenz, da hohe Befallsstärken infolge der Annäherung an einen Sättigungswert den Zuwachs limitieren.

Die Zuwachsraten der Befallsstärke zeigen darüber hinaus eine Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, welche wiederum mit der BSB_{Vorwoche} als Maß für das Inokulumpotential interagiert (Abb. 183). Eine hohe \varnothing -rLf_{Vorwoche} >90 % schränkt dabei die Entwicklung der Epidemie stark ein, jedoch wird deren Progression mit sinkender Luftfeuchte kontinuierlich beschleunigt. Bei reichlichem Inokulumbesatz im Bereich von 10-20 % Befallsstärke ist je 10 % Verringerung der relativen Luftfeuchte eine Steigerung des Zuwachses von ca. 5 % zu verzeichnen. Maximale Steigerungsraten von 15-20 % BSB ergeben sich im Bereich von 60-70 % relativer

Luftfeuchte. Der Effekt von rückläufigen Zuwachsraten zeigt sich erneut infolge des Sättigungseffektes bei hoher Befallsstärke (BSB >20 %). Im Freiland wirken relative

Luftfeuchte und Temperatur, deren Einfluß in letzterer Schätzung vernachlässigt ist, zusammen. Es bleibt anzumerken, daß geringe Luftfeuchten häufig mit hoher

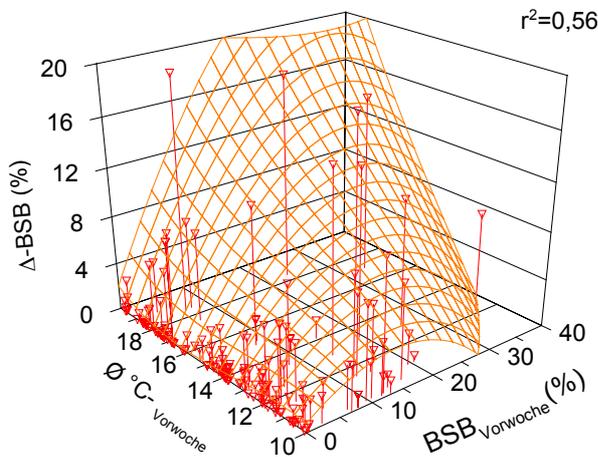


Abbildung 182: Abhängigkeit der Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ -BSB) von der Wochen-Durchschnittstemperatur (θ -°C_{Vorwoche}) und Inokulumpotential (BSB_{Vorwoche}), hoch anfällige Sorten;

$$z = -30,618 + (-0,46216 * x) + (7,24726 * y) + (0,087792 * x * y) + (-0,01690 * x^2) + (-0,54102 * y^2) + (-0,000015716 * x^3) + (0,013019 * y^3); r^2=0,56$$

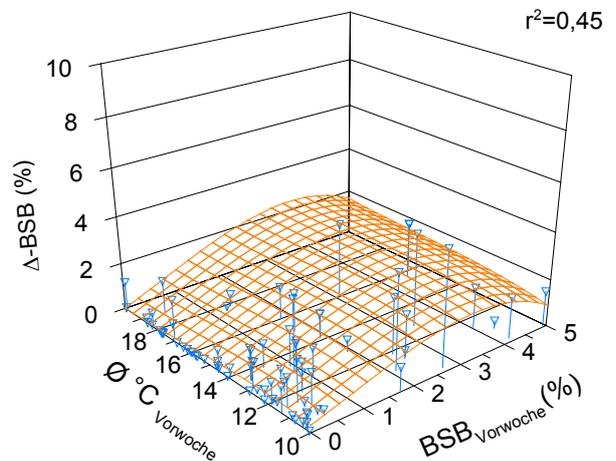


Abbildung 184: Abhängigkeit der Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ -BSB) von der Wochen-Durchschnittstemperatur (θ -°C_{Vorwoche}) und Inokulumpotential (BSB_{Vorwoche}), gering anfällige Sorten;

$$z = -4,8403 + (0,437812 * x) + (1,07526 * y) + (0,0210996 * x * y) + (0,078682 * x^2) + (-0,0704961 * y^2) + (-0,036948 * x^3) + (0,0014432 * y^3); r^2=0,45$$

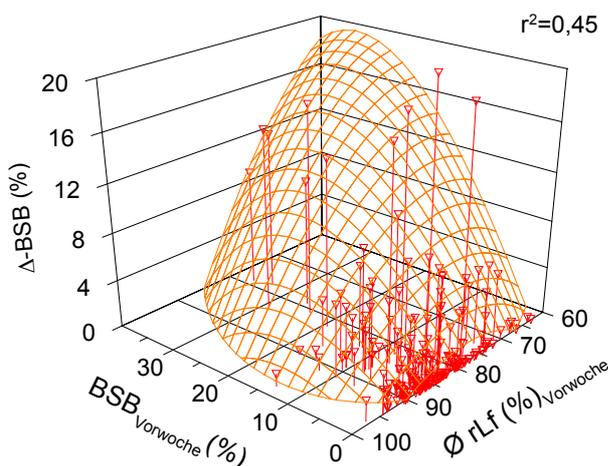


Abbildung 183: Abhängigkeit der Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ -BSB) vom Durchschnitt der relativen Luftfeuchte (ϕ -rLf_{Vorwoche}) und Inokulumpotential (BSB_{Vorwoche}), hoch anfällige Sorten;

$$z = -122,49 + (2,3841 * x) + (3,8479 * y) + (-0,02198 * x * y) + (-0,0040814 * x^2) + (-0,037425 * y^2) + (-0,000235442 * x^3) + (0,00010883 * y^3); r^2=0,45$$

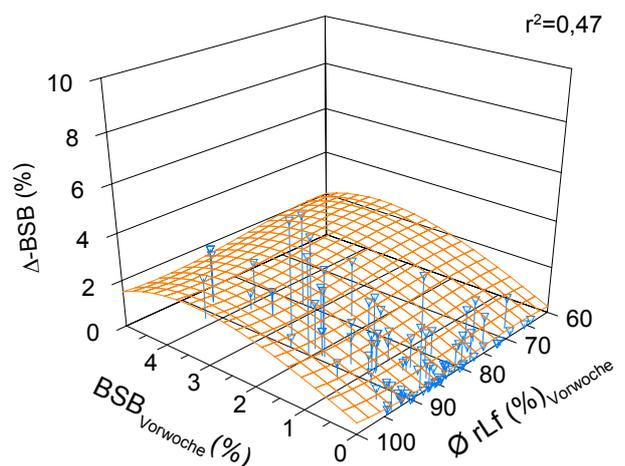


Abbildung 185: Abhängigkeit der Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ -BSB) vom Durchschnitt der relativen Luftfeuchte (ϕ -rLf_{Vorwoche}) und Inokulumpotential (BSB_{Vorwoche}), gering anfällige Sorten;

$$z = -19,3138 + (1,17570 * x) + (0,78061 * y) + (-0,00357952 * x * y) + (-0,0142736 * x^2) + (-0,010188 * y^2) + (-0,021425 * x^3) + (0,000043605 * y^3); r^2=0,47$$

Sonneneinstrahlung und höherem Temperaturniveau kombiniert sind, so daß deren Einflüsse im Hinblick auf den Zuwachs der Befallsstärke gleichgerichtet sind. Die Untersuchungen stellen eine deutliche Präferenz des Pilzes für Trockenheit und Wärme heraus; der Charakterisierung des Echten Mehltaus als Xerophyten (DRANDAREVSKI, 1969b) ist somit in hohem Maße beizupflichten.

Gering anfällige Sorten

Die quantitative Resistenz von gering anfälligen Sorten ("Meta", "Patricia", "Tatjana") schränkt die Progression des Parasiten stark ein. Die epidemische Entwicklung während einer Vegetationsperiode verbleibt dabei im allgemeinen unter einer Befallsstärke von 10 %, so daß die Auswirkungen von Temperatur und relativer Luftfeuchte kaum meßbar sind (Abb. 184, 185). Als Einflußfaktor dominiert das Inokulumpotential. Steigerungsraten der Befallsstärke von höchstens 2-4 % sind zu erwarten bei einem Ausgangsinokulum von 1-5 %. Insofern kann sich die Befallsstärke innerhalb von einer Woche verdoppeln, auf allerdings geringem Niveau. Der graphische Verlauf der dreidimensionalen Schätzfunktionen zeigt Parallelität bezüglich der Iso-Temperatur- und Iso-rLf-Linien, so daß der Einfluß der Witterungsfaktoren, zumindest im Bereich von Zuwachsraten bis 4 %, nicht signifikant hervortritt.