

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

7.2.6 Die Prognose des *Cercospora*-Befalls

Die Analyse der Epidemiologie vermittelt eine hohe Variation des Erregerauftretens im Hinblick auf Befallsbeginn und Abfolge verschiedener Phasen des Krankheitsgeschehens. Wie aufgezeigt werden konnte, geht ein Teil der Variation auf den Einfluß der Sortenresistenz zurück, die Stickstoffernährung der Rübenpflanze ist als Einflußfaktor zu vernachlässigen. Bei der zusammenfassenden Analyse verbleibt jedoch eine beträchtliche Reststreuung, welche weiter zu ergründen ist. Unbeachtet ist bisher der Einfluß der Witterung geblieben. Nach der Analyse von meteorologischen Faktoren unter Standardbedingungen ist jedoch den Temperatur- und Feuchtebedingungen eine bedeutende Rolle bei der dynamischen Entfaltung einer Epidemie zuzurechnen.

Tabelle 12: Problemstellung und Ziele der *Cercospora*-Prognose

Problemstellung:

- IPS-Modell Zuckerrübe epidemieorientiert
- Voraussetzung ist Diagnose und
- Quantifizierung des Befalls

Ziel:

- Prognose des Epidemiebeginns
- = Zeitraum unter IPS-Schwellenwert
- Reduktion von Bestandeskontrollen

Die Prognose des *Cercospora*-Befalls hat nicht nur vom wissenschaftlichen Standpunkt Bedeutung, sondern beinhaltet insbesondere auch praktische Aspekte. Da das zu entwickelnde Modell zur Integrierten Bekämpfung des Erregers sich im Kern an der Epidemiologie des Erregers orientieren wird, ist die Möglichkeit einer Prognose eine wichtige Frage, nämlich, inwieweit die Ausbreitung des Erregers in mathematische Modelle gefaßt werden kann und wie die Aussichten einer Tragfähigkeit und Anwendung von derartigen Schätzungen in der praktischen Landwirtschaft einzustufen sind. Hier zielt die Prognose im wesentlichen auf eine Begrenzung des Beobachtungsumfanges und somit des Arbeitsaufwandes hin (Tab. 12).

Tabelle 13: Einfluß- und Zielvariable der Prognose

Einflußvariable:

- Bestandesentwicklung
- Pflanzenbauliche Parameter
- Witterung

Zielvariable:

- Epidemiebeginn

Die Entwicklung der Prognose beruht auf einer Analyse von Einflußfaktoren auf den Epidemiebeginn in der Retrospektive. Sie stützt sich also auf konkrete Epidemieverläufe, und die Zuverlässigkeit der Prognose leitet sich davon ab, inwieweit die Variation der Epidemie mit Hilfe der gewählten Einflußparameter erklärt werden kann. Sie ist also nichts anderes als eine Schätzung des Befalls auf Basis von Kal-

kulationen, bei Validierung anhand von vergangenen Fällen, welche eine Projektion auch für künftige Prognosen des Befalls hergeben kann.

Als Einflußvariable wären in die Kalkulation die Bestandesentwicklung, pflanzenbauliche Parameter (z.B. Saatzeit, Unkrautbekämpfung, Düngung, Fruchtfolge) und meteorologische Faktoren (Witterung) einzubeziehen. Abhängige oder Zielvariable stellt der Epidemiebeginn dar (Tab. 13).

7.2.6.1 Prognose des Epidemiebeginns

Für die Entwicklung und Validierung einer Terminprognose wäre es theoretisch auch möglich den Symptombeginn als Zielvariable zu verwenden. Dies ist jedoch nicht sinnvoll, da das Auffinden des ersten Symptoms in hohem Maße zufallsbehaftet ist. Es wird daher vorgezogen, den Epidemiebeginn, definiert als die Halbwertszeit der horizontalen Verbreitung in einem Rübenbestand, als Ziel der Terminprognose zu verwenden (Abb. 104). Als Zeitpunkt des Epidemiebeginns gilt jene Woche, zu welcher eine Überschreitung des Kriteriums $BHB \geq 50\%$ eintritt, d.h. die Infektion sich auf mehr als 50 % der Rübenpflanzen eines Feldbestandes erstreckt. Bei Zusammenfassung von 57 Fallstudien aus den Anbausystemversuchen - der Epidemiebeginn der einzelnen Fallstudien ist hier gleich 0 gesetzt - ergibt sich ein sigmoider Zusammenhang, gleich einer Dosis-Wirkungs-Kurve. Am sichersten zu erfassen ist dabei ein 50 %iger Verbreitungsgrad, da sich in diesem Bereich der steilste Anstieg des Graphen ergibt, d.h. dieses Stadium wird innerhalb einer kurzen Zeitspanne durchlaufen, so daß es sicher zu determinieren ist. Im Feld ist die-

ses Kriterium durch die Verwendung der Methode der Einzelblattbonitur sicher zu bestimmen. Als weiterer Gesichtspunkt ist zu folgern, daß die Prognose nicht enger als auf den Zeitraum einer Kalenderwoche zu fassen ist, da auch die Bonitur entsprechende Intervalle aufweist.

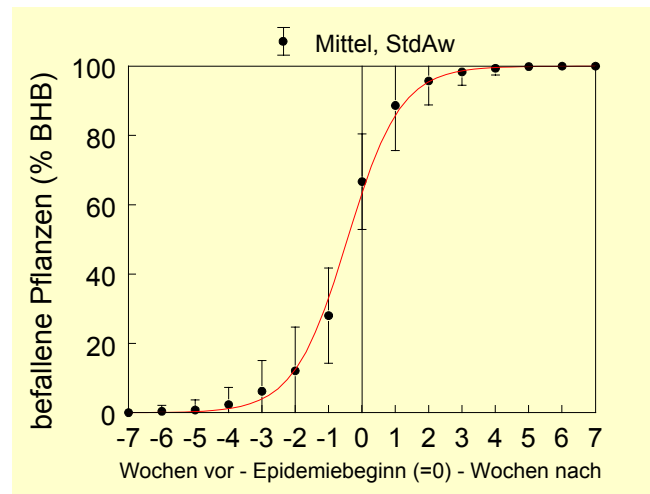


Abbildung 104: Sigmoider Verlauf der horizontalen Verbreitung; Epidemiebeginn (0) = $BHB \geq 50\%$

Im Hinblick auf die Konzeption der Prognose scheint es nicht von Vorteil, jeglichen möglichen Einflußparameter ohne vorherige Betrachtung der Zusammenhänge einzubinden, da anzunehmen ist, daß die Einflußfaktoren unterschiedlich gewichtet sind und daher untergeordnete Einflußgrößen den Fehler der Kalkulation sogar vergrößern können. Bezüglich der Bestandesentwicklung ist der Reihenschluß als bedeutendes Kriterium zu erachten und in Zusammenhang mit der Epidemie des Parasiten zu stellen. Der Zeitpunkt des Reihenschlusses ist normalverteilt und tritt zwischen der 23ten und 28ten Kalenderwoche ein, also etwa im Zeitraum von Anfang Juni bis in die erste Dekade des Juli (Abb. 105, oben). Die Epidemie beginnt in anfälligen Sorten frühestens zur 27-28ten Kalenderwoche, in

resistenten Sorten zur 31-32ten Kalenderwoche (Abb. 105, mitte). Der Schwerpunkt weist jeweils um 4-5 Wochen Verzögerung auf. Bei Darstellung des Epidemiebeginns in Abhängigkeit vom Reihenschluß geht die Streuung von 12 auf 10 Wochen zurück (Abb. 105, unten). Somit kann neben der Sortenresistenz ein Teil der Streuung durch den unterschiedlichen Zeitpunkt des Reihenschlusses erklärt werden.

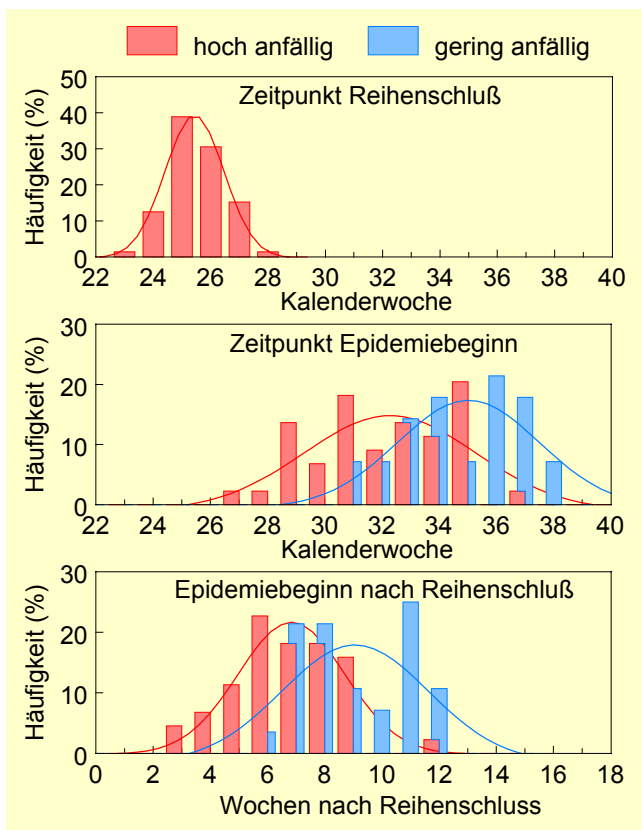


Abbildung 105: Zeitpunkt des Reihenschlusses (oben) und des Epidemiebeginns (mitte) nach Kalendarium; Zeitpunkt des Epidemiebeginns in Abhängigkeit vom Reihenschluß (unten)

Als einfacher Ansatz für eine Negativprognose kann gefolgert werden, daß der Epidemiebeginn bei anfälligen Sorten frühestens 3-4, bei gering anfälligen Sorten 6-7 Wochen nach Reihenschluß zu erwarten ist (Tab. 14), wenngleich in den überwiegenden Fällen die Epidemie noch deutlich

verzögert beginnt. Die Negativprognose konkretisiert den Zeitraum, zu welchem das Erregerauftreten mit hoher Wahrscheinlichkeit unter dem Stadium des Epidemiebeginns zurückbleibt, sie trifft keine Vorhersage desselben.

Tabelle 14: Einfacher Ansatz der Negativprognose: Epidemiebeginn nach Sorte und Reihenschluß

Sorte	Epidemiebeginn (Wochen nach Reihenschluß)
hoch anfällig	3-4
gering anfällig	6-7

Unter optimalen Bedingungen beträgt die Inkubationszeit des Erregers 6-7 Tage. Somit ist zu folgern, daß, selbst unter ungünstigen Witterungsbedingungen und entsprechender Verlängerung der Inkubationszeit, die Kontamination der Rübenpflanze im wesentlichen in der Periode nach dem Reihenschluß erfolgt, auch wegen der starken Zunahme des Blattflächenindex (siehe Abb. 54) in dieser Phase. Damit ist weiter zu folgern, daß Ereignisse mit Einfluß auf die Biologie des Erregers vor dem Reihenschluß in der Relation unbedeutend sind. Die Ausgangssituation für die Prognose bzw. für die Klärung der Variation kann daher wie folgt vereinfacht werden: Faktoren wie Saatzeit, Düngung und Unkrautbekämpfung wirken weniger auf den Pilz direkt, als daß diese die Bestandesentwicklung des Erregers beeinflussen. Ergo ist deren Einfluß bereits im Zeitpunkt des Reihenschließens enthalten und benötigt keine weitere Berücksichtigung. Der Stickstoffeinfluß ist ohnehin zu vernachlässigen. Effekte von Phytotoxizität, ausgehend von Herbizidbehandlungen beispielsweise, würden den Reihenschluß verzögern. Insofern können derartige

Auswirkungen durch den Parameter Zeitpunkt des Reihenschlusses in der Kalkulation Berücksichtigung finden. Gleiches kann beispielsweise für die Saatzeit gelten, indem eine frühe Aussaat entsprechend in einem frühen Reihenschluß ihren Niederschlag findet. Des weiteren von Bedeutung ist die Fruchtfolge bzw. der Anteil der Zuckerrübe in einer Fruchtfolgerotation, da das Potential des Primär-Inokulums damit in Zusammenhang stehen dürfte. Allerdings wirkt dieser Parameter weitgehend als Konstante, da in allen untersuchten Fällen der Anteil der Rübe entweder 1/4 oder 1/3 betrug, und in der Kalkulation daher keine Beachtung findet.

Eigene Untersuchungen zur Persistenz des Erregers legen nahe, daß die Überdauerung des Parasiten weitgehend auf die Bodenoberfläche beschränkt ist, also hauptsächlich von Blattresten des Vorjahres ausgeht, zumal bereits nach einer Herbst-Winterperiode ein vollständiger Abbau des Rübenblattes im Boden erfolgt. Der Versuch einer Re-Isolierung des Erregers von organischen Resten, welche zwischen engmaschige Kunststoffnetze im Boden eingelegt waren, brachte keinen positiven Befund der Überdauerung.

Der Ansatz einer Kalkulation vom Zeitpunkt des Reihenschlusses an erhält zusätzlich Berechtigung dadurch, daß mit dem Reihenschluß zusätzlich eine Veränderung des Mikroklimas verbunden ist (Abb. 106). Eine wesentliche Erhöhung der Luftfeuchte im Bestand gegenüber 2m-Werten stellt sich sukzessive ab der 22-23ten Kalenderwoche ein; der Höhepunkt der Differenzen ist zur 30-32ten Kalenderwoche evident. Sie betragen bis zu 10 %, und sind unmittelbar in der Periode nach dem Reihenschluß, insbesondere tagsüber, wirksam.

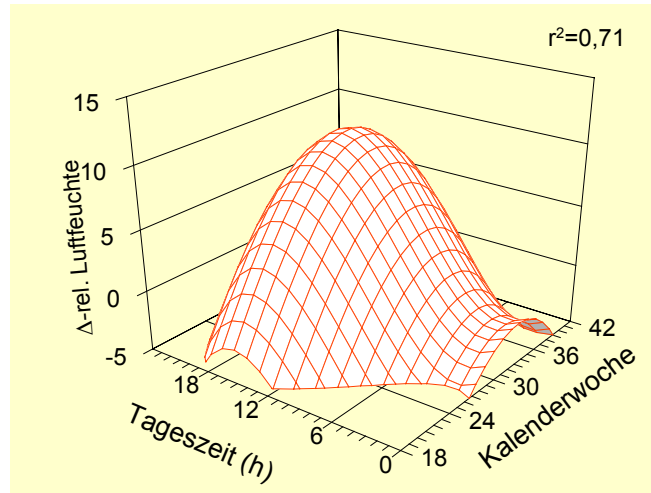


Abbildung 106: Veränderung des Mikroklimas im Rübenbestand (Δ -rel. Luftfeuchte = $rLf_{\text{Bestand}} - rLf_{2m}$) in Abhängigkeit vom Kalendarium und Tageszeit

$$z = -41,83 + (0,72*x) + (-0,68*y) + (0,00023*x*y) + (0,066*x^2) + (0,22*y^2) + (-0,0054*x^3) + (0,0083*y^3)$$

Als Grundlage der Berechnungen wird daher der Zeitraum vom Reihenschluß bis zum Epidemiebeginn zugrunde gelegt. Für diesen Zeitraum ist zu prüfen, ob die Witterungskonstellation in den einzelnen Fallstudien plausibler Grund für die Rest-Varianz des Epidemiebeginns ist. Die Konzeption der Kalkulation geht von der einfachen Formel "Infektion = Temperatur * Feuchte" aus. Die Infektionswahrscheinlichkeit ist in Beziehung zu Zeiträumen zu setzen, wobei die kleinste zu berechnende Zeiteinheit eine Stunde ist. Die Verwendung von Tagesmitteln scheint weniger geeignet, da die Konstellationen von Temperatur und Feuchte während eines Tagesverlaufs unterschiedlich sind; beispielsweise sind hohe Tagestemperaturen häufig mit geringen Werten der Luftfeuchte kombiniert, umgekehrt geringe Nachttemperaturen mit höheren Werten der Luftfeuchte (siehe Punkt 6.3.3). Der Tagesinfektionswert (TIW) basiert deshalb auf stündlichen Berechnungen und kennzeichnet die Infektionswahrscheinlichkeit.

Ferner, bezüglich der Effekte der Temperatur auf die Biologie des Erregers ist herauszustellen, daß diese quantitativ wirkt, jedoch nicht quantitativ linear, wie anhand des Verlaufes der Inkubationszeit in Abhängigkeit von der Temperatur nachzuweisen ist. Eine entsprechende Gewichtung kann einfach erfolgen durch Einführung eines Temperatur-Faktors (Abb. 107), nach Bildung des Quotienten aus IZ_{opt} (Inkubationszeit bei optimaler Temperatur) und IZ_x (Inkubationszeit bei Temperatur x). Entsprechend beträgt der Wert des Quotienten 1 im Temperaturbereich von 25-30°C, bei 10°C beispielsweise nur noch 0,2, d.h. bei dieser Temperatur ist das Wachstum des Pilzes um 80 % gegenüber der Optimaltemperatur verzögert.

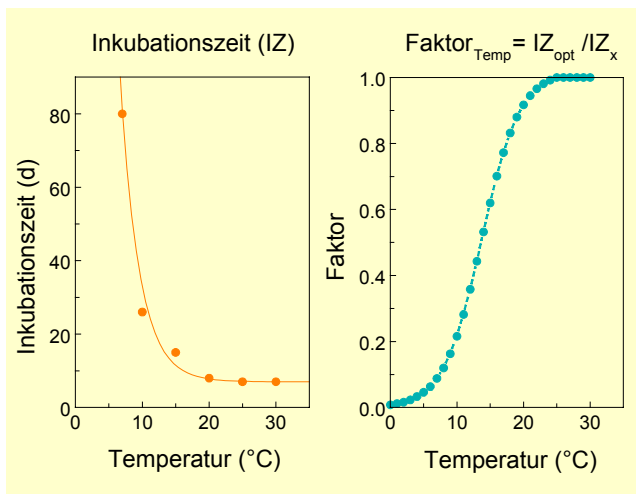


Abbildung 107: Ableitung eines Faktors zur Gewichtung der Temperatur aus der Inkubationszeit (IZ)

$$IZ = 7 + 26 * e^{(-0,35 * (°C - 10))}, r^2 = 0,99$$

Im Gegensatz zur Temperatur wirkt die Feuchte qualitativ. Wie bereits aufgezeigt wurde, wird eine Keimung und Infektion im wesentlichen erst ab einer Luftfeuchte von $\geq 95\%$ bzw. bei Vorliegen von Blattnässe eingeleitet. Im Freiland ist jedoch zu konstatieren, daß trotz Vorliegen von Blattnässe, also Erfüllung des Kriteriums

für eine Infektion, die Luftfeuchte in einem weiten Bereich zwischen 50 % und 100 % differiert. Da die meisten Wetterstationen nicht mit entsprechenden Benetzungsfühlern ausgestattet waren, muß hier eine Näherung erfolgen. Diesbezüglich kann abgeleitet werden, daß bei Vorliegen von Blattnässe die relative Luftfeuchte mit 75 %iger Wahrscheinlichkeit $\geq 90\%$ liegt (Abb. 108).

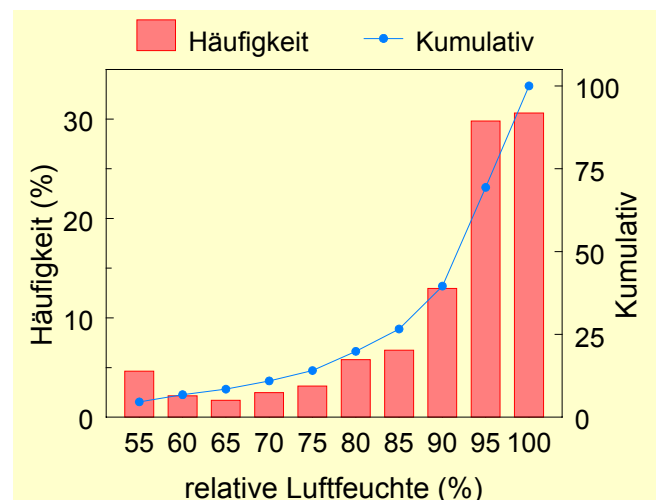


Abbildung 108: Häufigkeit von Blattnässe in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit

Als Konsequenz wird in der Berechnung der qualitative Faktor_{Feuchte} bei Werten der relativen Luftfeuchte >90 gleich 1, also Feuchteanspruch erfüllt, gesetzt und ebenso, falls der Niederschlagswert, unabhängig von der gerade herrschenden Luftfeuchte, $\geq 0,1$ mm/h beträgt. Für die Kalkulation von Tagesinfektionswerten (TIW) ergibt sich somit ein Wert zwischen 0 und 1; bei 1 wären die biologischen Ansprüche des Erregers während eines gesamten Tages optimal erfüllt. Für eine Fallstudie sind die TIW, wie bereits erwähnt, jeweils für den Zeitraum von Reihenschluß bis Epidemiebeginn zu addieren (Tab. 15); es resultiert der kumulierte Tagesinfektionswert (kTIW).

Tabelle 15: Terminprognose von *Cercospora beticola* auf Basis des kumulierten Tagesinfektionswertes; Angaben zur Kalkulation

$$kTIW = \sum_{i=1}^n TIW \quad (Gl. 1)$$

worin

kTIW: kumulierter Tagesinfektionswert

t_i: i-ter Tag der Meßwert-Erfassung

n: Zahl der hintereinander liegenden Tage der Meßwert-Erfassung

TIW(t_i): Tagesinfektionswert am Tag t_i

$$TIW(t_k) = 1/24 * \sum_{h=1}^{24} T_h(k) * F_h(k) \quad (Gl. 2)$$

worin

T_h(k): Temperaturfaktor in der h-ten Stunde am k-ten Tag

F_h(k): Feuchtigkeitsfaktor in der h-ten Stunde am k-ten Tag

t_k: k-ter Tag der Meßwert-Erfassung

$$T_h(k) = IZ_{opt} / IZ(x(h)) \quad (Gl. 3)$$

worin

IZ_{opt}: Inkubationszeit bei optimaler Temperatur in Tagen

IZ(x): Inkubationszeit bei Temperatur x in Tagen

x(h): Temperatur zur Stunde h

und

F_h(k) = $\begin{matrix} 1 & \text{falls relative Luftfeuchte} > 90 \% \text{ oder} \\ & \text{Niederschlagsmenge} > 0,1 \text{ mm/h} \\ 0 & \text{sonst} \end{matrix}$

$$IZ(x) = IZ_{opt} + a * \exp [b * (x-c)] \quad (Gl. 4)$$

worin

IZ_{opt}: Inkubationszeit bei optimaler Temperatur in Tagen

x: Temperatur in °C

a, b, c: Faktoren

Zur Veranschaulichung des Rechenganges sind die Tagesinfektionswerte in Abbildung 109 und 110 graphisch dargestellt, jeweils für den zu kalkulierenden Zeitraum vom Reihenschluß bis Epidemiebeginn. Im Fallbeispiel des Standortes Moosham 1994 differieren die kumulierten Tagesinfektionswerte zwischen 0,06 und 0,61 (Abb. 109); hohe Infektions-

wahrscheinlichkeiten stehen dabei im Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen, wengleich deren Frequenz im Kalkulationszeitraum als gering einzustufen ist. Jedoch auch in regenfreien Perioden, beispielsweise von 21. bis 28. Juni, ist die Infektionstätigkeit keineswegs vollständig unterbunden. Der Zusammenhang von relativer Luftfeuchte und Temperatur, wie

im Algorithmus der Witterung definiert (Tab. 15), kommt deutlich zum Ausdruck, auch wenn in der graphischen Darstellung der Witterung Tagesmittelwerte verzeichnet sind und die Berechnung der Tagesinfektionswerte auf stündlicher Basis erfolgt. Die Summe der TIW für den Kalkulationszeitraum beträgt 9,8.

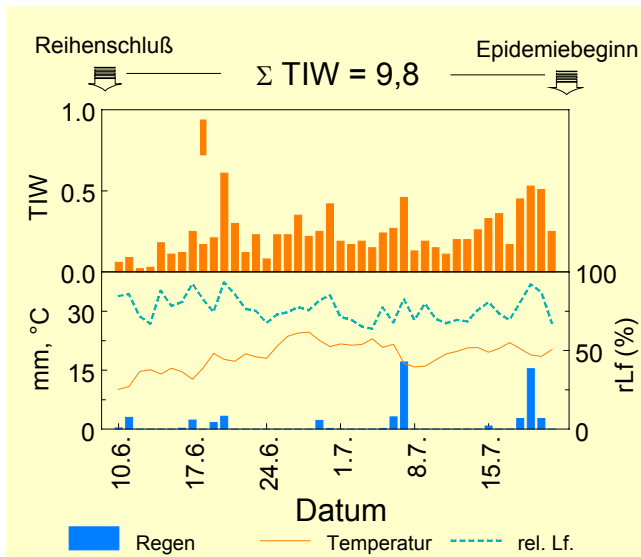


Abbildung 109: Kalkulation der Tagesinfektionswerte (TIW) von Reihenschluß bis Epidemiebeginn (Standort Moosham 1994, Sorte "Meta") in Abhängigkeit von der Witterung

Deutlich verzögert, zur letzten Dekade des September (22.09.), ist am Standort Hartham 1997 (Niederbayern) der Epidemiebeginn von *Cercospora beticola* eingetreten, trotz vergleichsweise hoher Tagesinfektionswerte (TIW), zumindest von Reihenschluß bis Ende Juli und erneut in der Phase von Ende August bis Anfang September (Abb. 110). In der Folgeperiode ist die Infektionswahrscheinlichkeit vor allem wegen der sinkenden Temperaturen gemindert. Aus der Addition der Tagesinfektionswerte für den Zeitraum von Reihenschluß bis Epidemiebeginn, welcher in dieser Fallstudie erheblich verlängert vorliegt, ergibt sich eine Summe von 24,7.

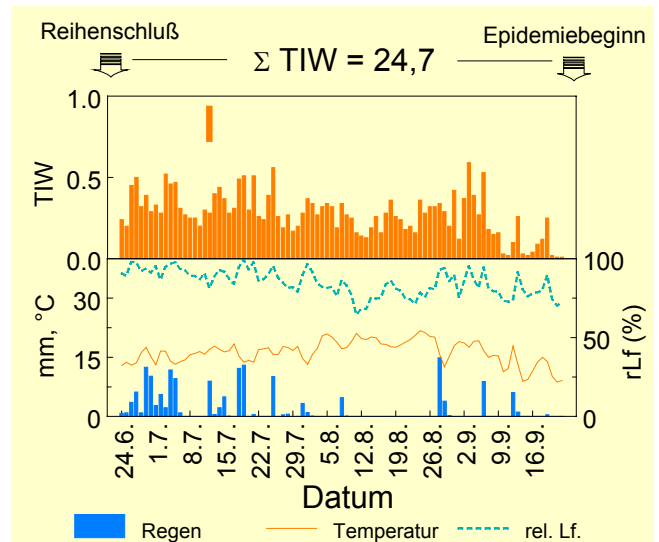


Abbildung 110: Kalkulation der Tagesinfektionswerte (TIW) von Reihenschluß bis Epidemiebeginn (Standort Hartham 1997, Sorte "Patricia") in Abhängigkeit von der Witterung

Der Validierung der Prognose auf Basis der Kalkulation von TIW-Summen liegen insgesamt 42 Fallstudien aus bayerischen Anbaugebieten zugrunde. Der Idealfall wäre, wenn in den zur graphischen Darstellung gewählten Boxplots sämtliche Kalkulationen auf einem Punkt zu liegen kämen, bzw. sich für alle Fallstudien der gleiche Wert als kumulierter TIW ergäbe. Dies ist jedoch bei weitem nicht der Fall (Abb. 111, links). Vielmehr verbleibt auch unter Einbeziehung von Witterungsfaktoren eine beträchtliche Streuung. Bei einer Betrachtung von Gesamt-Bayern beträgt diese bezüglich des Wertes der "Σ-TIW" für hoch anfällige Sorten eine Spanne von 7-19, für gering anfällige Genotypen von 12-25; d.h. den Fallstudien liegt im Zeitraum von Reihenschluß bis Epidemiebeginn eine Variation der Witterung zugrunde, welche sich von 7 bis hin zu 25 Tagen optimaler Infektionswahrscheinlichkeit erstreckt.

Mit der Einengung der Kalkulation auf das Anbaugebiet des Donaugäues – Anbaudichte (10-15% Flächenanteil) und

Fruchtfolgeanteil (25-33%) der Zuckerrübe sind hier in etwa auf einem Niveau - geht eine deutliche Minderung der Varianz einher, wobei die " Σ -TIW" zwischen 7-12 bei hoch anfälligen bzw. 11-22 bei gering anfälligen Sorten differiert (Abb. 111, rechts). Würde man sich mit einer 75 %igen Sicherheit der Prognose begnügen, so wäre der Epidemiebeginn im Bereich von 7-12, bei teilresistenten Sorten innerhalb einer Spanne von 12 bis 18 (Σ -TIW) zu erwarten (Tab. 16).

gleich im Freiland sich optimale und suboptimale Bedingungen in ständigem Wechsel befinden und dieser Wert aus einer Addition über mehrere Wochen resultiert. Für gering anfällige Varietäten ist der Epidemiebeginn nicht vor der Subsumierung von 12 Tagen optimaler Infektionswahrscheinlichkeit zu erwarten.

Tabelle 16: Negativ- und Terminprognose unter Einbeziehung der Witterung

Sorte	Prognose (Σ -TIW)	
	Negativ	Termin (75 % wahrscheinlich)
hoch anfällig	7	7-12
gering anfällig	12	12-18

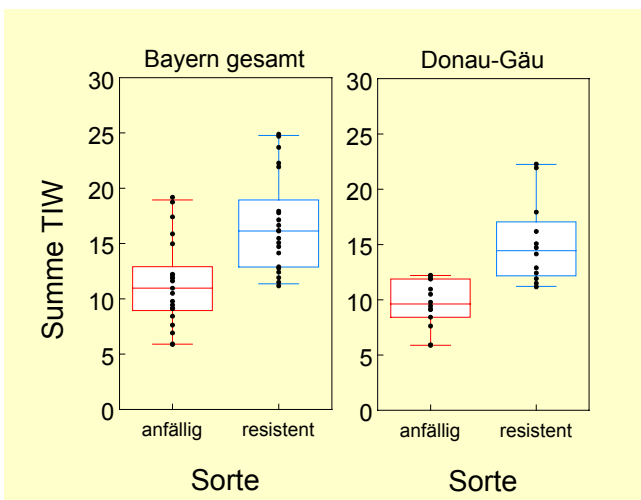


Abbildung 111: Kalkulation der Summe TIW (Tages-Infektions-Wert) für den Zeitraum Reihenschluß bis Epidemiebeginn nach Region [Bayern gesamt (links), Donau-Gäu (rechts)] und Sorte

Die minimalen Werte der "Summe-TIW" beinhalten dabei bereits die Definition einer Negativprognose unter Einbeziehung der Witterung (Tab. 16). Für anfällige Sorten wurde ein Wert von 7 ermittelt. Somit erfährt der Rechengang eine hohe Plausibilität, da dieser Wert exakt der Inkubationszeit des Erregers unter optimalen Bedingungen entspricht, d.h. zumindest in jenen Fällen mit einem Mindestbesatz an Primärinokulum kann der Epidemiebeginn nach 7 Tagen optimaler Infektionswahrscheinlichkeit erwartet werden, wenn-

Da die Kalkulation vom Zeitpunkt des Reihenschlusses an eine subjektiv geschaffene Vorbedingung darstellt, ist deren Berechtigung anhand eines Vergleiches mit einer starren Bezugswahl (18-26 Kalenderwoche) zu prüfen (Abb. 112).

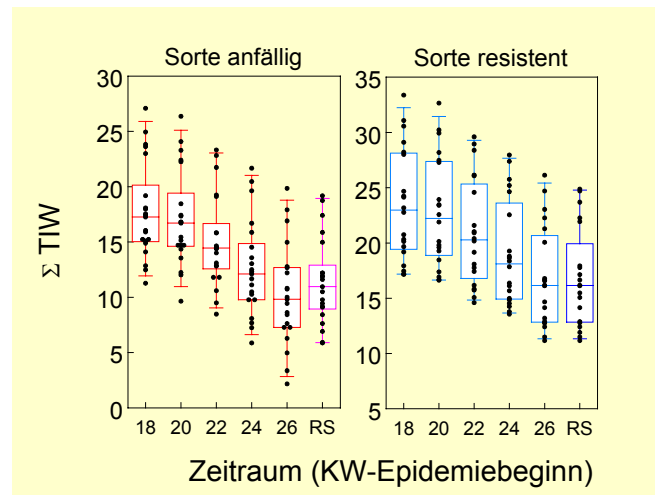


Abbildung 112: Vergleich unterschiedlicher Zeiträume (Ausgangspunkt bis Epidemiebeginn) der Kalkulation (Ausgangspunkte = Kalenderwoche 18-26; RS=Reihenschluß)

Zunächst ist zu erkennen, daß die Summe der TIW an sich deutlich vom Zeitpunkt

der Kalkulation abhängt. Dies ist auch gar nicht anders zu erwarten, da beispielsweise bei Bezugspunkt 18-20te Kalenderwoche Witterungsereignisse über einen deutlich längeren Zeitraum addiert werden. Von weit höherem Interesse ist jedoch die Streuung der einzelnen Kalkulationen. Dabei wird erkenntlich, daß jeweils der Berechnung auf Basis des Reihenschlusses noch die geringste Streuung zugrunde liegt, wodurch die Berechtigung einer Kalkulation vom Zeitpunkt des Reihenschlusses an belegt ist.

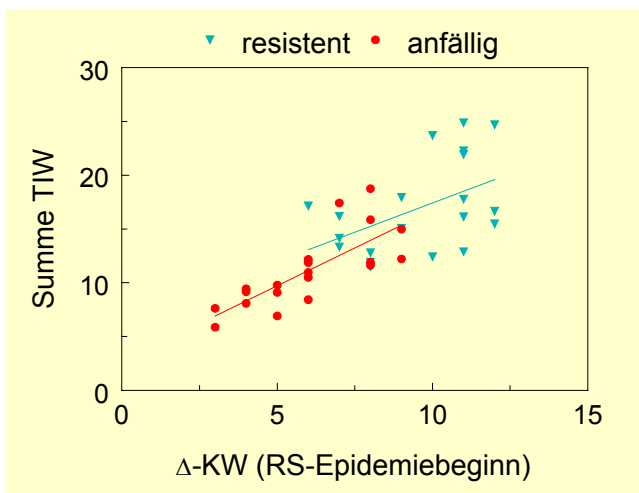


Abbildung 113: Zusammenhang von Summe-TIW (Tagesinfektionswerte) und Δ -KW (Zeitraum von Reihenschluß bis Epidemiebeginn)

Die Abhängigkeit der kalkulierten TIW-Summen vom Zeitraum der Berechnung ist selbstverständlich auch bei Zugrundelegung des Reihenschlusses wirksam. In Abbildung 113 ist der Zusammenhang von " Σ -TIW" und des Zeitraums von Reihenschluß bis Epidemiebeginn (Δ -KW) dargestellt. Im Idealfall wären die einzelnen Punkte aus den Fallstudien linear mit der Steigung "0" in horizontaler Richtung verteilt, also ohne Einfluß der Kalkulationsdauer auf den zu kalkulierenden Wert " Σ -TIW". Es stellt sich jedoch eine deutliche

Steigung der Regressionsgeraden ein, die in hohem Maße durch den Zeitraum der Kalkulation bedingt ist.

Des weiteren sei erwähnt, daß zusätzliche Ansätze einer Prognose überprüft wurden. Der Versuch auf Basis von Tagesmittelwerten vergrößerte die Streuung eindeutig. Ebenso wenig konnte eine Berechnung auf Basis von Temperatursummen und Tagesniederschlägen eine Verbesserung im Hinblick auf eine Einengung der verbleibende Streuung erbringen. Auf eine gesonderte Darstellung kann daher verzichtet werden.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, daß die Streuung des Epidemiebeginns auch unter Einbeziehung von meteorologischen Faktoren eine zufriedenstellende Erklärung nicht finden kann. Jene Parameter, welche die Biologie des Erregers beeinflussen, scheinen ausreichend berücksichtigt. Bisher keine Berücksichtigung fand jedoch das Inokulumpotential, also das infektiöse Stadium des Erregers selbst, abgesehen von der Einengung der Kalkulation auf ein Anbaugelände mit gleichen Ausgangsbedingungen. Das Inokulumpotential ist jedoch als der entscheidende Parameter anzusehen, da die übrigen Einflußparameter, wie auch immer sie geartet sein mögen, nur dann ein Risiko erzeugen, sofern ein ausreichendes Infektionspotential gegeben ist. Das Inokulumpotential kann jedoch auch schlagspezifisch, d.h. innerhalb einer Region mit relativ gleichen Ausgangsbedingungen, stark differieren. In den eigenen Berechnungen ist ein Parameter, welcher das Inokulumpotential gewichtet, nicht enthalten. Eine diesbezügliche Kalkulation im Wirt-Parasit-System Zuckerrübe-*Cercospora beticola* scheint schwierig. Die Rübe läuft befallsfrei auf und bleibt dies über einen relativ langen Zeitraum; eine Schätzung des Epi-

demiebeginns auf Basis eines Anfangsbefalls scheidet daher aus. Eine grobe Gewichtung wäre zum einen möglich durch die Kenngröße "regionale Anbaudichte" und insbesondere "Epidemie-Vorjahr", da die Inokulation vorwiegend von infizierten Blattresten des Vorjahres ausgehen dürfte. Einen Eindruck im Hinblick auf die übergeordnete Rolle des Inokulums gibt ein Versuch (2 Standorte) nach Einbringung natürlichen Inokulums in Form von befallenen Blattresten des Vorjahres (Abb. 114).

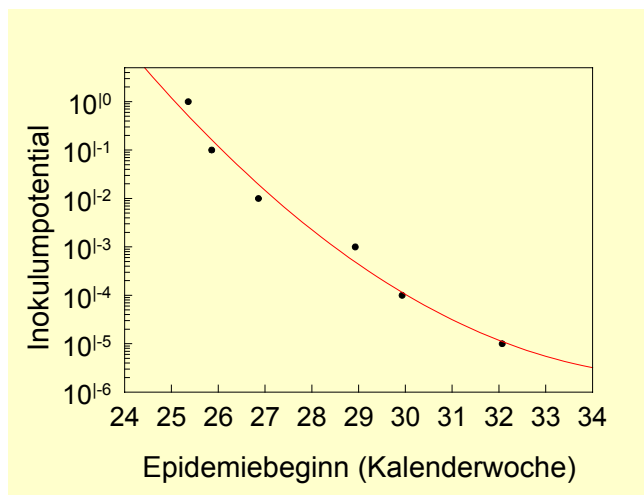


Abbildung 114: Abhängigkeit des Epidemiebeginns vom Inokulumpotential (Ausgangssubstrat = 10^0 ; Staffelung durch jeweils Verdünnung auf 1/10)

In Abhängigkeit vom Potential des Inokulums stellte sich eine deutliche Differenzierung des Epidemiebeginns ein; bei hohem Inokulumpotential ist dieser bereits zur 25-26ten Kalenderwoche evident, wohingegen in der geringsten Inokulumstufe der Epidemiebeginn erst zur 32ten Kalenderwoche angezeigt war (Abb. 114). Die Auswirkungen eines unterschiedlichen Inokulumpotentials und damit die Bedeutung des Parameters für die Prognose des Epidemiebeginns kommen hiermit unter "ceteris paribus"-Bedingungen deutlich zum Ausdruck.

Methodik der Prüfung von unterschiedlichen Potentialen des Inokulums:

Befallene Blattreste wurden eingesammelt und während des Winters trocken gelagert. Zur Homogenisierung wurden die trockenen Blätter fein gehäckselt. Unterschiedliche Potentiale des Inokulums wurden nach Herstellung einer Verdünnungsreihe durch Einmischen der gehäckselten Blattreste in ein Torfsubstrat (Topferde Typ T als Trägersubstanz) zu Vegetationsbeginn in die Rübenbestände eingebracht. Die einfach auszuführende Methode eignet sich auch hervorragend zur Erhöhung des Befallsdrucks zum Zweck von Sorten- oder Fungizidprüfungen. Die Epidemie entwickelt sich natürlich von geringen Anfängen aus gegenüber Sprühinokulationen, welche eher einen abrupten Symptomausbruch zur Folge haben.

7.2.6.2 Schätzung der Progression

In eine Schätzung der Progression nach Epidemiebeginn kann dagegen neben der Witterung sehr wohl auch das Inokulumpotential als Parameter, nämlich als die Befallsstärke der Vorwoche, einfließen.

Als Basis der Schätzungen finden ausschließlich epidemiologische Daten aus den Freilandstudien (hoch anfällige Sorten: $n=21$, 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: Σ -TIW) und dem Stadium des Erregers (unabhängige Variable: BSB_{Vorwoche}). Die Schätzungen erfolgen mit Hilfe von 3-D-

Polynomen 3ten Grades nach der allgemeinen Formel

$$z = a_0 + (a_1 * x) + (a_2 * y) + (a_3 * x * y) + (a_4 * x^2) + (a_5 * y^2) + (a_6 * x^3) + (a_7 * y^3),$$

wobei z die zu schätzende Größe Δ-BSB darstellt, x als die Befallsstärke vor einer Woche (BSB_{Vorwoche}) und y als Σ-TIW in die Berechnung eingeht (Tab. 17). Die Parameter zum Tag j sind wie folgt kalkuliert:

$$x = BSB_{j-7}$$

$$y = \sum_{i=j-7}^j TIW_i$$

wobei TIW = Tagesinfektionswert,
 $z = \Delta\text{-BSB}_j = BSB_j - BSB_{j-7}$

Generell sind die Zuwachsraten deutlich von der Befallsstärke der Vorwoche abhängig (Abb. 115). Bei resistenten Sorten entspricht der Zuwachs häufig dem Grad der Befallsstärke der Vorwoche, bei anfälligen Sorten beträgt der Zuwachs höchstens das Zweifache der Vorwoche. Der Zusammenhang ist bis zu einer Befallsstärke von 3 % BSB dargestellt. Im diesem Bereich ist neben dem dominierenden Einfluß des Erregerstadiums auch ein Einfluß der Witterung erkenntlich. Insofern

Tabelle 17: Gleichungen zur Prognose der wöchentlichen Befallszunahme

Sorte	Gleichung
gering anfällig	$z = -0,140 + (0,489 * x) + (0,491 * y) + (0,262 * x * y) + (0,0121 * x^2) + (-0,319 * y^2) + (-0,00166 * x^3) + (0,00564 * y^3)$
hoch anfällig	$z = -0,200 + (1,013 * x) + (0,069 * y) + (0,498 * x * y) + (-0,864 * x^2) + (0,244 * y^2) + (0,243 * x^3) + (0,0997 * y^3)$

können die Zuwachsraten bei günstiger Witterung (Σ-TIW/Woche = 2-3) durchaus das zweifache, bei anfälligen Sorten sogar das dreifache ausmachen, als unter für den Erreger ungünstigen Bedingungen (Σ-TIW < 1).

Bei höheren Befallsstärken tritt der Einfluß der Witterung zurück. Die Progression des Befalls ist zu späteren Stadien der Epidemie somit weitgehend von der aktuellen Erregersituation bestimmt; die Epidemie ist zusätzlich von einem hohen Anteil latenter Infektionen, die in kurzen Abständen hervorbrechen, geprägt.

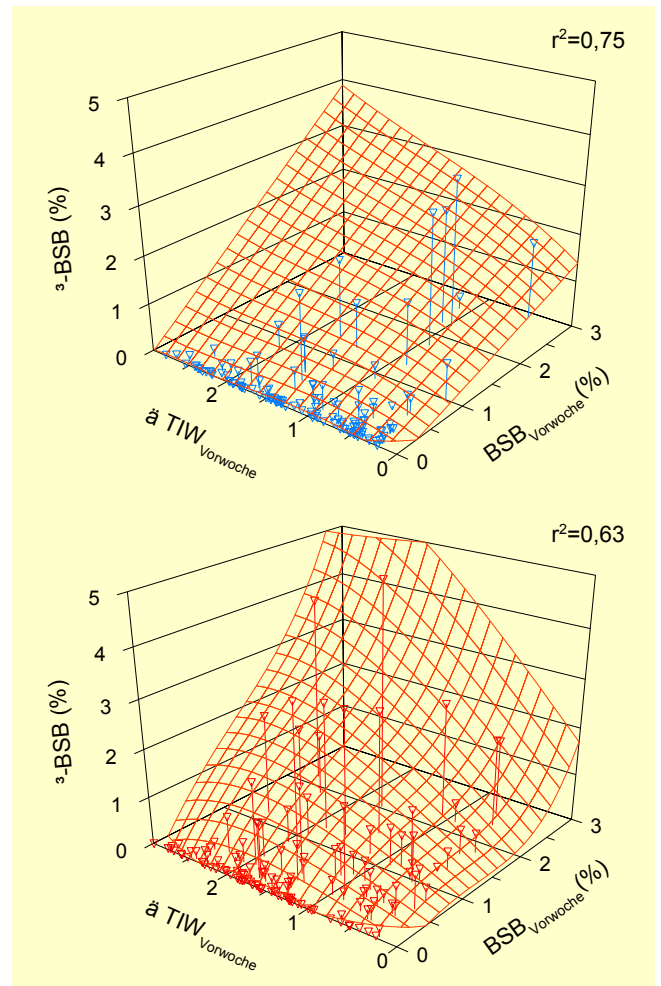


Abbildung 115: Abhängigkeit der Zuwachsraten der Befallsstärke (Δ-BSB) von der Witterung (Summe TIW-Vorwoche) und Inokulumpotential (BSB-Vorwoche); gering anfällige Sorten (oben) und anfällige Sorten (unten)

7.2.7 Schadrelevanz von *Cercospora beticola*

Die Kenntnis der Schadrelevanz ist für die Integration von Bekämpfungsmaßnahmen mit synthetischen Fungiziden, d.h. deren ausschließliche Verwendung im Falle eines Risikos für Ertrag und Qualität der Zuckerrübe, von ausschlaggebender Bedeutung. Neben der Evaluierung von Bekämpfungsschwellen, auf welche später noch einzugehen sein wird, ist es zur Erfüllung dieser Forderung notwendig, das Maximum des tolerierbaren Befalls (=Schadensschwelle) zu charakterisieren. Als Maximum ist jener Befall zu definieren, welcher zum Vegetationsende ohne Auswirkung auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe bleibt. Die Interaktion von Befall und Ertrag ist hierbei das entscheidende Kriterium. Wenn das Maximum des tolerierbaren Endbefalls bekannt ist, so ist zu analysieren, unter welchen epidemiologischen Ausgangsbedingungen ein Risiko evident wird. Erst dann läßt sich die Notwendigkeit einer direkten Bekämpfungsmaßnahme ermessen. Eine Bewertung der Schadrelevanz von *Cercospora beticola* unter diesen Gesichtspunkten fehlt bis heute.

Die Parameter des Ertrages und der Qualität sind mit Ausnahme des α -AminoN-Gehaltes mit dem Befall linear korreliert. Die Gleichungen der Regressionen und die Erklärung der Abhängigkeit von verschiedenen Ertragsfaktoren anhand des Bestimmtheitsmaßes (r^2) sind in Tabelle 18 einzusehen. Die Sortenreaktion ist separat dargestellt (Kategorien der Anfälligkeit siehe Punkt 7.2.5); sie bedarf jedoch keiner eigenen Interpretation, da bei Bezug auf die resultierende Befallsstärke die Wirkung der Resistenz bereits enthalten ist. Bei entsprechender Schädigung ver-

halten sich gering anfällige Sorten (= "resistent", $n=35$) nicht signifikant anders als hoch anfällige (= "anfällig", $n=52$). Abweichungen in Einzelfällen berechtigen in dieser Hinsicht nicht, generelle Unterschiede in der Sortenreaktion abzuleiten. Mit hoher Korrelation beeinträchtigt der Befall den Zuckergehalt (Abb. 116). Bis in den Bereich von 5 % Befallsstärke scheint eine Schwankung des Verlustes um den Nullpunkt noch zufallsbedingt, darüber hinaus ist sukzessive eine signifikante Minderung des Zuckergehaltes gegeben. Bei hoher Befallsstärke von 50-60 % befallener Blattfläche am Vegetationsende kann der Zuckergehalt um bis zu 10-15 % verringert vorliegen, also z.B. um 2 von 17 auf 15 % reduziert sein.

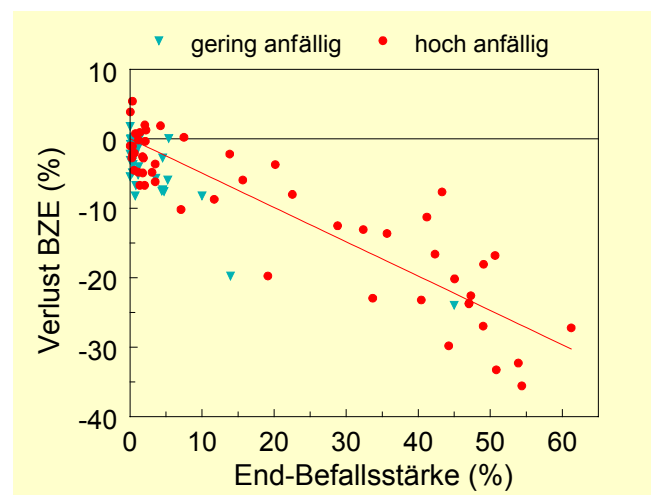


Abbildung 116: Verlust an Zuckergehalt in Abhängigkeit von der End-Befallsstärke (% BSB)

Bezüglich der Melassebildner ist kein Einfluß des *Cercospora*-Befalls auf den Kaliumgehalt ersichtlich, wie der flache Verlauf der Regressionsgeraden vermittelt (Abb. 117, oben). Die Gehalte an Natrium hingegen nehmen bei steigendem Befall zu (Abb. 117, mitte). Bei hohem Befall liegt der Natrium-Gehalt im Durchschnitt um 2,5 mmol/1000gRübe erhöht vor.

Wenngleich die Streuung der Werte relativ hoch ist, scheint ähnlich wie beim Zucker- gehalt die Schwankung bis in den Bereich von 5 % BSB eher von zufälligen Abwei- chungen abhängig, bei höheren Befalls- stärke ist mit steigender Tendenz ein Einfluß gegeben.

Tabelle 18: Einfluß der Befallsstärke auf die Minderung von Ertrag und Qualität der Zu- ckerrübe, Gleichungen und Bestimm- heitsmaße (r^2 bei $p=0,05$)

Faktor	Regressionsgleichung	r^2
Zuckergehalt	= - 0,18 * BSB	0,80
Kaliumgehalt	= - 0,012 * BSB	0,02
Natriumgehalt	= 0,058 * BSB	0,31
α AminoN	= $5*(1-e^{-0,085*x})+0,79$ * BSB	0,53
Ausbeute	= - 0,239 - 0,045 * BSB	0,85
Rüben-ertrag	= - 0,32 * BSB	0,76
Ber. Z.-Ertrag	= - 0,49 * BSB	0,81

Eine Ausnahme bezüglich der Charakteristik der Abhängigkeit stellt der α AminoN- Gehalt dar (Abb. 117, unten). Dieser reagiert deutlich bei geringem Befall, näm- lich schon unter 5 % Befallsstärke. Die Erhöhungen des Gehaltes tendieren bei gegebenen Schwankungen der Einzelwerte bereits im Bereich von 15-20 % BSB gegen ein Maximum von 5 mmol/1000g Rü- be und bleiben nachfolgend bei hohem Befall bis 60 % BSB konstant. Da hier selbst Behandlungen bei relativer Befalls- freiheit zu einer Minderung des schädlichen Stickstoffs führten, - der entspre- chenden Regressionsformel nach liegt bereits bei Nichtbefall (BSB=0) eine Er- höhung des α AminoN-Gehaltes um 0,79 mmol vor - ist jedoch eher ein Fungi- zidsynergismus als Grund für diesen Ef- fekt anzunehmen, als daß geringer *Cer-*

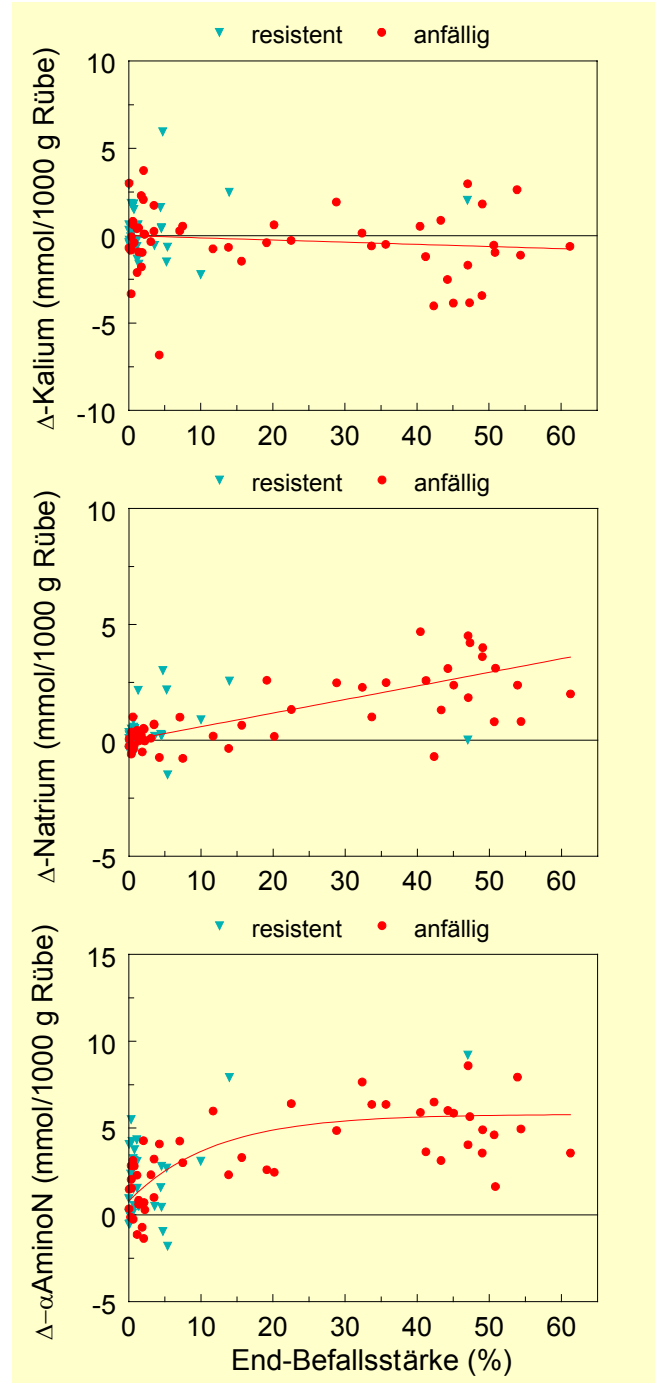


Abbildung 117: Veränderung des Gehaltes an Melassebildnern in Abhängigkeit von der Befallsstärke [Δ -Kalium (oben), Δ -Natrium (mitte), Δ - α AminoN (unten)]

cospora-Befall schon eine derartige Auswirkung hätte.

Eine zusammenfassende Darstellung der Melassebildner kann mit Hilfe des "Aus- beutbaren Zuckers" erfolgen (Abb. 118). Die Ausbeute und der Befall hängen ne-

gativ linear zusammen, wobei die Streuung der Werte im Gegensatz zu den Einzelparametern deutlich abnimmt. Die Ausbeute lag bei hohem Befall um bis zu 4 % reduziert vor. Die Rübe scheint Befall bis zu 5 % der Blattfläche zu tolerieren, wengleich wegen der Synergie-Wirkung der Fungizidbehandlungen auf den α -AminoN-Gehalt selbiger Effekt auch für die Zuckerausbeute durchschlägt, indem bereits ohne Befall die Tendenz einer Minderung der Ausbeute gegeben ist.

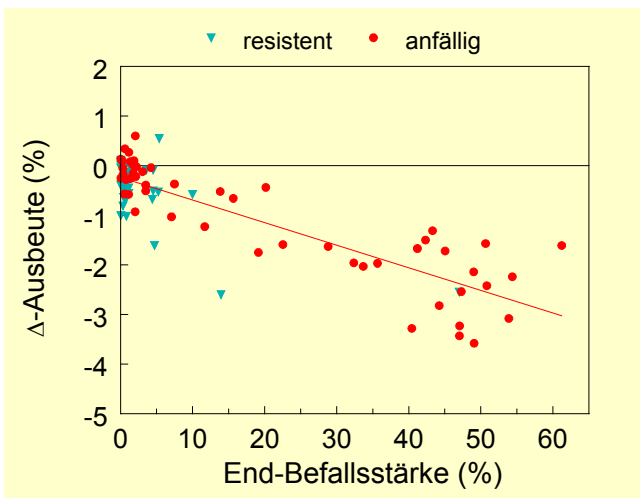


Abbildung 118: Veränderung der Ausbeute in Abhängigkeit von der Befallsstärke

Der Rübenenertrag (dt/ha) ist ebenfalls negativ linear mit dem Befall korreliert (Abb. 119). Der Regressionsgleichung nach würde eine Blattnekrotisierung von 10 % etwa 3,2 % Verlust (≈ 20 dt/ha) an Rübenenertrag entsprechen. Als Maximum kann bei hohen Befallsstärken ein Verlust von 20-30 % des Ertrages eintreten. Allerdings ist ein hohes Streuungsmaß gegeben, welches vor allem dadurch bedingt ist, daß bei zweidimensionaler Darstellung der Zeitraum der Schädigung nicht in die Berechnung eingehen kann. Bei frühem Befall sind die Auswirkungen eines hohen Befallsgrades über einen längeren Zeitraum gegeben; Verluste von bis zu 200

dt/ha an Rübenenertrag sind dann nicht auszuschließen.

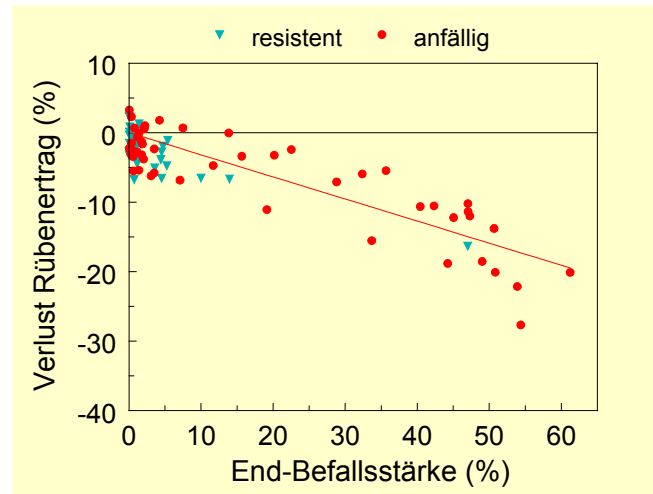


Abbildung 119: Verlust an Rübenenertrag in Abhängigkeit von der End-Befallsstärke (% BSB)

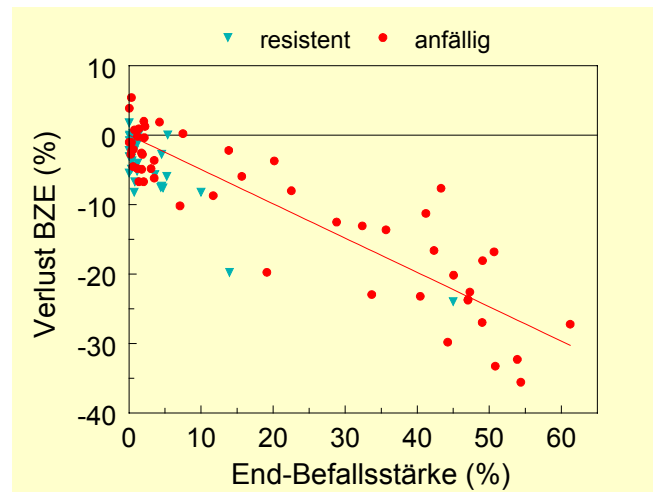


Abbildung 120: Verlust an "Bereinigtem Zuckerertrag" in Abhängigkeit von der End-Befallsstärke

Der "Bereinigte Zuckerertrag" berücksichtigt Ertrag und Qualität (Abb. 120). Bei entsprechender Zusammenfassung der Ertragsfaktoren verändert sich die Regression kaum, verglichen mit der Beziehung des Befalls zum Rübenenertrag. Im Mittel ergibt sich ein Verlust des "Bereinigten Zuckerertrages" von ca. 5 dt/ha pro 10 % Befallsstärke. Im Höchstfall gehen 50 dt/ha an Zucker verloren; das Verlustpo-

tential ist als sehr hoch einzustufen in Relation zum Ertragspotential der Zuckerrübe von derzeit 80-120 dt Zucker pro Hektar. Von größerer Bedeutung ist jedoch die Befallstoleranz der Rübe, welche bis zu einer erregerbedingten Blattnekrotisierung von 5 % im hohen Maße gegeben ist, darüber hinaus aber nimmt das Risiko von Verlusten sukzessive zu.

Es bleibt zu erwähnen, daß sowohl den Rübenertrag als auch den "Bereinigten Zuckerertrag" betreffend ein Fungizidsynergismus angedeutet ist, welcher sich unter den vorgegebenen Versuchsbedingungen, d.h. der Notwendigkeit von Fungizidbehandlungen zur Determinierung der Variante "Gesund", ergeben hat. Insofern haben die Behandlungen in der Tendenz auch in gesunden Beständen, wenn auch in geringem Umfang, zu Steigerung von Ertrag und Qualität geführt.

Die allgemeine Charakteristik des Toleranzverhaltens, wie sie sich bereits bei den Parametern der Qualität herauskristallisiert hat, bleibt jedoch auch bei Einbeziehung des Rübenertrages erhalten. Zum Teil deutet sich im Bereich von 2-5 % Befallsstärke die Tendenz einer Ertrags- bzw. Verlustminderung an; unter praktischen Gesichtspunkten ist diese jedoch zu tolerieren, da die Kosten der Bekämpfung den ökonomischen Vorteil aufbrauchen würden. Als Toleranzgrenze des Befalls oder Schadensschwelle kann daher eine erregerspezifische Blattnekrotisierung von 5 % Befallsstärke (BSB) akzeptiert werden.