

Schadrelevanz von *Cercospora beticola* (Sacc.) in Zuckerrüben als Grundlage einer Verlustprognose

Characteristics of damage caused by *Cercospora beticola* (Sacc.) in sugarbeet as a base of yield loss forecast

P.F.J. Wolf¹⁾, R. Kraft²⁾, J.-A. Verreet³⁾,

1), 3) Institut für Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität, 24118 Kiel,

2) Mathematik und Statistik, Technische Universität München-Weihenstephan, 85350 Freising

Eingegangen am 6. April 1998; angenommen am 8. Mai 1998

Zusammenfassung

Die Schadrelevanz von *Cercospora beticola* wurde 1993 bis 1996 in 64 Fallstudien ermittelt; zum Vergleich kamen Zuckerrübenbestände mit ungestörter Befallsentwicklung und durch Fungizidbehandlung weitgehend gesund gehaltene Großparzellen. Die Verluste an Rübenertrag erreichten ein Ausmaß bis zu 200 dt/ha, der "Bereinigte Zuckerertrag" war bei starkem Befall um bis zu 50 dt/ha reduziert; der Zuckergehalt war bis zu 2 %, seine Ausbeute bis 4 % vermindert. Die geringere Ausbeute an kristallisierbarem Zucker stand in Zusammenhang mit einem erhöhten Gehalt an Natrium und nachteiligen N-Verbindungen (α -Aminostickstoff). Unter Zugrundelegung von Boniturwerten über die Befallshäufigkeit und -stärke durch *Cercospora beticola* ergab sich eine Toleranzgrenze für die Zuckerrübe, unter den gegebenen Anbaubedingungen, von 5 % befallener Blattfläche im Zeitraum der ersten Oktoberdekade; dieser Wert kann als effektive Schadensschwelle und damit als Basis einer Verlustprognose angenommen werden.

Die Fallstudien ließen drei Perioden mit unterschiedlichem Risiko der Toleranzüberschreitung erkennen, die primär mit dem Zeitraum eines Epidemiebeginns, definiert bei 50 % Befallshäufigkeit (= jede zweite Pflanze weist Symptome auf; der Wert von 50 % BHB korrespondiert mit einer Befallsstärke < 0,01 %), in Zusammenhang steht:

Ein absolutes Schadriskos ist gegeben bei Epidemiebeginn bis Mitte August. Mit hoher Wahrscheinlichkeit liegt der Endbefall höher als 5 %, verbunden mit hohen Ertragsverlusten.

Bedingtes Ertragsrisiko ist zu prognostizieren bei Epidemiebeginn von Mitte bis Ende August. In diesem Zeitraum ergaben sich erhebliche Differenzierungen, die Befallsentwicklungen sind deutlich eingegrenzt, wobei bereits Fälle ohne Ertragsverlust vorkommen. Die Periode für die Halbierung des Verlustes beträgt ca. 2 Wochen.

Bei Epidemiebeginn ab Anfang September bleibt die Endbefallsstärke unter 5 %, d.h. im Regelfalle ohne Schadefekte.

Die *Cercospora*-Resistenz von Sorten findet bei der Risikoabschätzung volle Berücksichtigung; sie äußert sich in einer zeitlichen Verzögerung der epidemiologischen Entwicklung des Erregers und damit im Erreichen der Toleranzgrenze. Bei Beurteilung des Schadriskos unter diesem Gesichtspunkt wird die Resistenz so weit berücksichtigt, daß sich die Charakteristik des Schadverhaltens bei gegebenen quantitativen Unterschieden nicht wesentlich verändert.

Stichwörter: *Cercospora beticola*, Zuckerrübe, Epidemiologie, Verlustpotential, Schadensprognose, Integrierter Pflanzenschutz

Summary

The evaluation of damage caused by *Cercospora beticola* was performed in 64 field experiments with differing locations, years (1993-1996) and resistance of sugar beet cultivar. Every case of field study included a comparison of healthy and diseased plots in order to find the damage value by the difference of disease severity and yield response. The healthy plots were provided by fungicide sprays.

Cercospora beticola is affecting both the technical quality concerning the content of sugar and molasses (Potassium, Sodium, α -Amino Nitrogen) and the weight of sugar beets. High disease severity reduced the sugar content by 2 % and additionally the percentage of recoverable sugar during the production decreased by 4 % in cases of a higher content of molasses in particular by Sodium and α -Amino Nitrogen. Yield loss was measured by 200 dt/ha at the maximum. The loss of recoverable sugar yield as the result of quality and beet yield increased up to 50 dt/ha.

The influence of disease severity on the yield factors was analyzed by regressions and mathematical functions. Considering quality and yield factors, a tolerance limit of 5 % necroses (percentage of leaf area showing symptoms) at the end of the vegetation period was found. This value has to be declared as the effective damage-threshold and therefore as a base of yield risk forecast. As a consequence there were three periods with a differing risk corresponding with the beginning of the epidemic phase (50 % of beet plants are infected, leaf area showing symptoms < 0,01 %):

There is an absolute risk if the epidemic phase begins in the period of July up to middle of August. The resulting disease severity is higher than 5 % followed by serious yield losses.

A conditional risk is given in the period of middle to the end of August. Leaf necroses at harvest time is varying at 5 %, but there are already cases without any loss. The halftime of yield loss reduction, depending on the delay of the epidemic phase, is about 2 weeks.

No risk is evident if first symptoms of the fungus occur in September. Disease severity at harvest time is less than 5 % and no sugar loss was significant at all cases.

This mode of damage forecast can be proclaimed also for sugar beet cultivars with a higher level of resistance. Disease severity is quantitatively reduced by resistant cultivars and the beginning of the epidemic phase is delayed. Therefore a resistant reaction is already included due to the orientation at the beginning of the epidemic phase as it is defined. Characteristics of damage behavior is not different concerning the prediction of risk.

Keywords *Cercospora beticola*, sugar beet, epidemiology, damage, forecast, integrated plant protection

1 Einleitung

Auf die epidemiologische Entwicklung von *Cercospora beticola*, insbesondere auf die Variationsbreite des Befalls in Zusammenhang mit wechselnden Klima- und Anbaubedingungen, wurde von WOLF und VERREET (1997) hingewiesen. Trotz eines hohen Schadpotentials ist wegen des jahresspezifisch und regional unterschiedlichen Auftretens eine direkte Bekämpfung des Erregers mit Fungiziden nicht regelmäßig erforderlich (WOLF et al. 1995b). Die Integration von chemischen Maßnahmen im Hinblick auf eine Verwendung nach Notwendigkeit ist aus ökologischen Gründen heute wesentlicher Bestandteil moderner Pflanzenschutzstrategien. Die Konzeption eines Integrierten Pflanzenschutzsystems für die Zuckerrübe (IPS-Modell Zuckerrübe) wurde von WOLF et al. (1995a) vorgestellt. Die Intention besteht darin, Fungizide epidemieorientiert nach Indikation von Bekämpfungsschwellen einzusetzen (VER-

REET et al. 1996). Ziel ist die Minimierung des Pflanzenschutzaufwandes bei gleichzeitiger Optimierung von Ertrag und Qualität.

Neben der Evaluierung von Bekämpfungsschwellen ist es zur Erfüllung dieser Forderung notwendig, das Maximum des tolerierbaren Befalls 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. Um diese Lücke zu füllen, war eine hohe Anzahl an Fallstudien zum Epidemieverlauf und Schadpotential von *Cercospora beticola* unter praxisnahen Bedingungen notwendig. Die Studien mußten eine möglichst breite Streuung von „gering befallen“ bis „stark befallen“ aufweisen, welche sich durch die Auswahl klimatisch unterschiedlicher Regionen über mehrere Jahre (1993-1996) ergab. Die Bemessung der Schadrelevanz basiert jeweils auf der Reaktion der Ertragsparameter in Abhängigkeit von der Befallsstärke. Eine Selektion geeigneter Fälle hatte zu erfolgen, um Störeffekte durch andere Krankheiten (*Erysiphe betae*, *Rizomania betae*) zu eliminieren und den ausschließlichen Bezug auf *Cercospora beticola* sicherzustellen.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte, Sorten, Bestandesführung

Die Versuche waren in den Regionen konzentrierten Zuckerrübenanbaus in Bayern angelegt. Der Standort „Seligenstadt“ (Lkr. Würzburg) repräsentierte eine Anbaulage Nordbayerns, in Südbayern wurden als Standorte „Moosham“ (Lkr. Regensburg), „Piering“ (Lkr. Straubing), „Rottenmann“ (Lkr. Deggendorf) und „Hettenkofen“ (Lkr. Deggendorf) gewählt. Die Bestandesführung erfolgte ortsüblich nach guter landwirtschaftlicher Praxis mit einem Ertragsziel von ca. 650 dt/ha Rüben, die Stickstoffdüngung orientierte sich an der Empfehlung nach der EUF (Elektro-Ultra-Filtration)-Methode.

Die Versuche waren jeweils als einfaktorieller vollständig randomisierter Block mit dem Faktor Behandlung in 4 – 10 Faktorstufen und 4facher Wiederholung angelegt. Zur Evaluierung der Schadrelevanz wurde ein Vergleich der unbehandelten Variante („Krank“) mit der Variante „Gesund“ durchgeführt. Weitgehende Krankheitsfreiheit wurde durch epidemieorientierte Behandlung nach dem Integrierten Pflanzenschutzsystem Zuckerrübe (IPS-Variante: Erstbehandlung: 50 % der Pflanzen sind befallen, Folgebehandlung: 0,2 % BSB bzw. 25 % der Blätter sind befallen) erreicht (VERREET et al. 1996). Als Präparate fanden Alto 100 SL (0,8 l/ha), Bardos (1,0 l/ha) und Harvesan (0,6 l/ha) Verwendung.

Eine Parzelle bestand aus 11 Reihen, wovon 6 für eine Kernbeerntung von 3 Reihen und die restlichen 5 für Probenahme und Bonitur vorgesehen waren. Die Parzellen wurden längs durch die Herausnahme einer Rübenreihe getrennt und quer durch Wege von 2,5 m. Die Reihenweite betrug 45 (Parzellenlänge 8m) oder 50 cm (Parzellenlänge 7m). Die Nettofläche der Beerntung umfaßte entsprechend 10,8 bzw. 10,5 m².

Die Wahl der Sorte bezog anfällige und geringanfällige Varietäten in das Versuchsprogramm ein. In der Darstellung der Ergebnisse sind als anfällige Varietäten die Sorten "Elan", "Steffi", "Meta", "Evita", "Hilma" und "Carla" zusammengefaßt. Die Sorten "Ribella" und "Patricia" gehören der Gruppe „gering anfällig“ an.

2.2 Erhebung des Befalls

Für die Schadrelevanz des Erregers ist der Anteil befallener Blattfläche entscheidend. Der Verlauf der Epidemie ergab sich durch wöchentliche Erhebungen im 7-Tage-Interval über den gesamten Zeitraum eines Befallsauftretens von Ende Juni bis Anfang Oktober. Die Schätzung des %-Anteils befallener Blattfläche erfolgte nach dem Boniturschema von BATTILANI et al. (1990) an allen Blättern einer Rübe. Die Bonitur wurde hierarchisch nach Blattalter vorgenommen, d.h. im Kreise gegen den Uhrzeigersinn, der Blattrosette nach innen folgend. Die Zahl der gebildeten und der Anteil der vollständig abgestorbenen Blätter wurde festgehalten. Die Symptomboniturung erfolgte an insgesamt 40 (bzw. 28) Einzelpflanzen (10 bzw. 7 pro Wiederholung). Der Mittelwert der Befallstärke je Termin berechnet sich dabei wie folgt:

BSB_{Blatt} = %-Anteil befallener Blattfläche pro Blatt

$$BSB_{\text{Pflanze}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{Blätter}}} BSB_{\text{Blatt}} / n_{\text{Blätter}} \quad n_{\text{Blätter}} = \text{Anzahl der Blätter pro Pflanze}$$

$$BSB_{\text{Wdh}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{Pflanzen}}} BSB_{\text{Pflanze}} / n_{\text{Pflanzen}} \quad n_{\text{Pflanzen}} = \text{Anzahl der Pflanzen pro Wiederholung}$$

$$BSB_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{Wdh}}} BSB_{\text{Wdh}} / n_{\text{Wdh}} \quad n_{\text{Wdh}} = \text{Anzahl der Wiederholungen}$$

2.3 Erhebung von Ertrags- und Qualitätsparametern

Nach Kernbeerntung der Versuche wurde die Analyse der Ertragsstruktur vom Rübenlabor der Südzucker AG (Ochsenfurt) vorgenommen. Die Routine der Ertragsserhebung umfaßte die in Tabelle 1 verzeichneten Parameter.

Tabelle 1: Angaben zu Parametern des Ertrages und der Qualität

<i>Parameter</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Maßeinheit</i>	<i>Bestimmung</i>
Rübenenertrag	RE	dt/ha	Wägung
Zuckergehalt	ZG	% (Rübe)	polarimetrisch
Kaliumgehalt	K	mmol / 1000 gRübe	flammenphotometrisch
Natriumgehalt	Na	mmol / 1000 gRübe	flammenphotometrisch
α -AminoN	AmN	mmol / 1000 gRübe	kolorimetrisch

Die technische Qualität der Rübe wird bestimmt durch den Gehalt an Zucker und Melassebildnern (Nichtzuckerstoffe). Die Melassebildner behindern während der Produktion die Kristallisation des Zuckers und verändern entsprechend ihres Gehaltes die Ausbeute (WINNER 1982). Der "Bereinigte Zuckergehalt" (BZG) und der "Ausbeutbare Zucker" (AZ) berechnen sich nach der Braunschweiger Formel (GLATTKOWSKI und THIELECKE 1995) wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{Bereinigter Zuckergehalt (BZG, \%)} &= ZG - (0,117 * (K + Na) + 0,241 * AmN + 1,08) \\ \text{Ausbeutbarer Zucker (AZ, \%)} &= BZG / ZG * 100 \end{aligned}$$

Aus den Parametern von Rübengewicht und Qualität berechnet sich der "Bereinigte Zuckerertrag" als wichtigste Kenngröße. Er umfaßt die Menge an Zucker (BZE), die bei Vorliegen einer bestimmten Qualität (AZ) pro Hektar effektiv gewonnen werden kann:

$$\text{Bereinigter Zuckerertrag (BZE, dt/ha)} = \text{RE} * \text{AZ} / 100$$

2.4 Statistische Auswertung

2.4.1 Einfluß des Befalls auf den Ertrag der Zuckerrübe

Die Bewertung der Schadrelevanz erfolgte durch eindimensionale lineare Regressionsanalyse mit dem Befall (BSB) als unabhängiger Variablen und den Ertragsparametern als abhängigen Variablen. Die Einzelwerte der Einflußgröße wie auch der Zielgrößen sind das Variantenmittel einer Fallstudie (Jahr * Standort * Sorte). Bei der Einflußgröße „Befall“ kam der Parameter $\text{BSB}_{\text{gesamt}}$ des Vegetationsendes (1te Oktoberwoche) zur Verwendung.

Störeinflüsse unterschiedlicher Jahre und Standorte, welche das Ausgangsniveau von Ertragsfaktoren wesentlich mitbestimmen, waren zu eliminieren. Dies konnte durch Bildung von Δ -Werten geschehen, entsprechend der Differenz von „Krank“ (unbehandelte Variante) und „Gesund“ (IPS-Variante). Δ -Faktor drückt somit die Höhe der Veränderung in Abhängigkeit von der Befallsstärke aus. Demnach sind Δ -Befall und Δ -Ertragsfaktor wie folgt definiert:

Unabhängige Variable: Befallsstärke

$$\Delta\text{-BSB} = \text{BSB}_{\text{Krank}} - \text{BSB}_{\text{Gesund}} \quad (\text{BSB} = \% \text{ befallene Blattfläche})$$

Da IPS weitgehende Befallsfreiheit ($\text{BSB} < 2\%$) impliziert gilt: $\Delta\text{-Befall} \approx \text{BSB}_{\text{Krank}}$

Abhängige Variable: Ertragsfaktoren (siehe 2.3)

$$\Delta\text{-Ertragsfaktor} = \text{Faktor}_{\text{Krank}} - \text{Faktor}_{\text{Gesund}}$$

2.4.2 Einfluß des Epidemiebeginns auf die Schadrelevanz

Die Darstellung erfolgt mit Hilfe eines nichtlinearen eindimensionalen Regressionsmodells. Einflußgröße ist hier der Zeitpunkt des Epidemiebeginns. Der Epidemiebeginn ist definiert als die Halbwertszeit der horizontalen Verbreitung (WOLF et al.1995b), also der Zeitpunkt, zu dem der Erreger im Begriffe ist, sich über die Hälfte der Pflanzen auszubreiten. Abhängige Variable sind die Befallsstärke zum Vegetationsende bzw. der Ertragsverlust als die Differenz der Ertragsreaktion von "Krank" und "Gesund" (siehe 2.4.1).

3 Ergebnisse

3.1 Einfluß des Befalls auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe

Die Parameter des Ertrages und der Qualität sind mit dem Befall linear korreliert. Die Gleichungen der Linearen Regression und Intensität des Zusammenwirkens der Parameter sind in Tabelle 2 anhand des Bestimmtheitsmaßes (r^2) zu ersehen. Die Sortenreaktion ist separat dargestellt; sie bedarf jedoch keiner eigenen Interpretation, da bei Bezug auf die resultierende Befallsstärke die Wirkung der Resistenz bereits enthalten ist. Bei entsprechender Schädigung verhalten sich resistente Sorten kaum anders als anfällige. Abweichungen in Einzelfällen berechnen sich in dieser Hinsicht nicht, generelle Unterschiede in der Sortenreaktion abzuleiten.

Verlust Zuckergehalt (%)

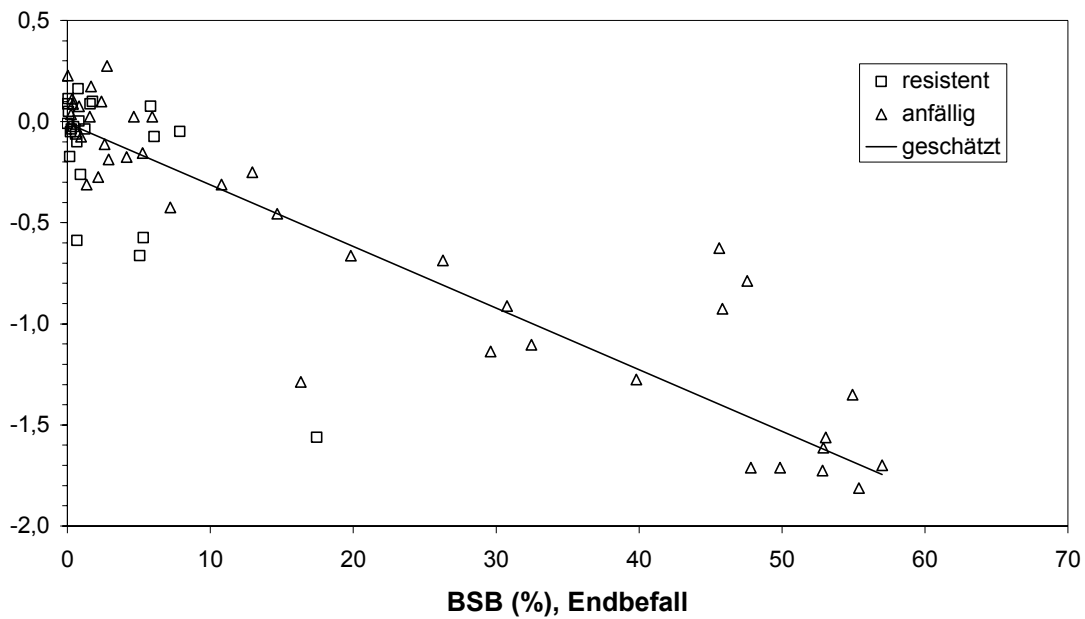


Abb. 1: Verlust an Zuckergehalt in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB)
Fig. 1: Loss of sugar content depending on severity of disease (BSB = % leaf area)

Mit hoher Korrelation beeinträchtigt der Befall den Zuckergehalt (Abb. 1). Bis in den Bereich von 5 % BSB scheint eine Schwankung des Verlustes um den Nullpunkt noch zufallsbedingt, darüber hinaus ist sukzessive eine Minderung des Zuckergehaltes gegeben. Bei hoher Befallsstärke von 50-60 % befallener Blattfläche am Vegetationsende kann der Zuckergehalt um bis zu 2 % verringert vorliegen, also z.B. von 17 auf 15 % reduziert sein. Bezüglich der Melassebildner ist kein Einfluß auf den Kaliumgehalt ersichtlich, die Gehalte an Natrium und α -AminoN nehmen im Trend zu. Wenngleich die Streuung der Werte relativ hoch ist, scheint ähnlich wie beim Zuckergehalt die Zufälligkeit der Schwankung im Bereich bis 5 % BSB mit steigender Tendenz gegeben (Abb. 2,3,4).

Tabelle 2: Einfluß der Befallsstärke auf Qualität und Ertrag, Gleichungen und Bestimmtheitsmaße (r^2)

Table 2: Influence of disease severity on quality and yield parameters; equations and coefficients of determinations (r^2)

<i>Unabhängige Variable</i> <i>Independent variable</i>	<i>Abhängige Variable</i> <i>Dependent variable</i>	<i>Regressionsgleichung</i> <i>Regression Equation</i>	r^2
Befallsstärke (BSB) = % befallene Blattfläche (% leaf area, showing symptoms)	Zuckergehalt (ZG)	ZG = -0,031 BSB + 0,024	0,79
	Kaliumgehalt (Potassium)	K = -0,019 BSB + 0,238	0,04
	Natriumgehalt (Sodium)	Na = 0,070 BSB - 0,050	0,37
	α AminoN-Gehalt (α AmN)	α AmN = 0,080 BSB + 1,752	0,40
	Zucker Ausbeute (AZ)	AZ = -0,048 BSB - 0,217	0,81
	Rübenertrag (RE)	RE = -2,049 BSB - 15,460	0,61
	Bereinigter Z.-Ertrag (BZE)	BZE = -0,554 BSB - 2,95	0,76

Delta-Kalium (mmol / 1000 gRübe)

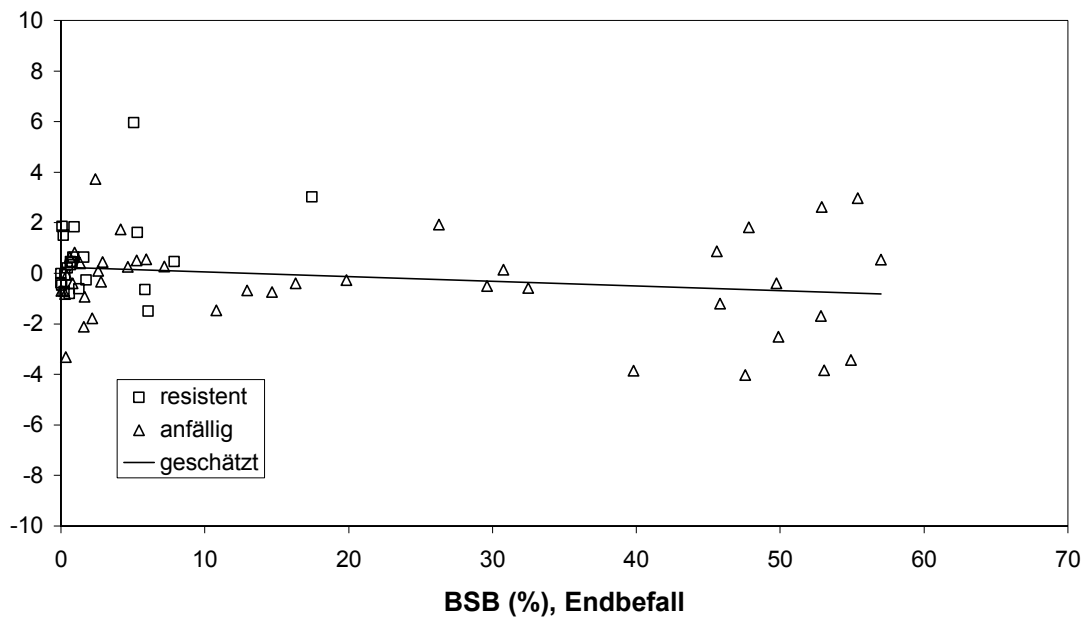


Abb. 2: Veränderung des Kalium-Gehaltes (Delta-Kalium) in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 2: Variation of Potassium-content (Delta-Kalium), depending on severity of disease (BSB = % leaf area showing symptoms)

Delta-Natrium (mmol / 1000 gRübe)

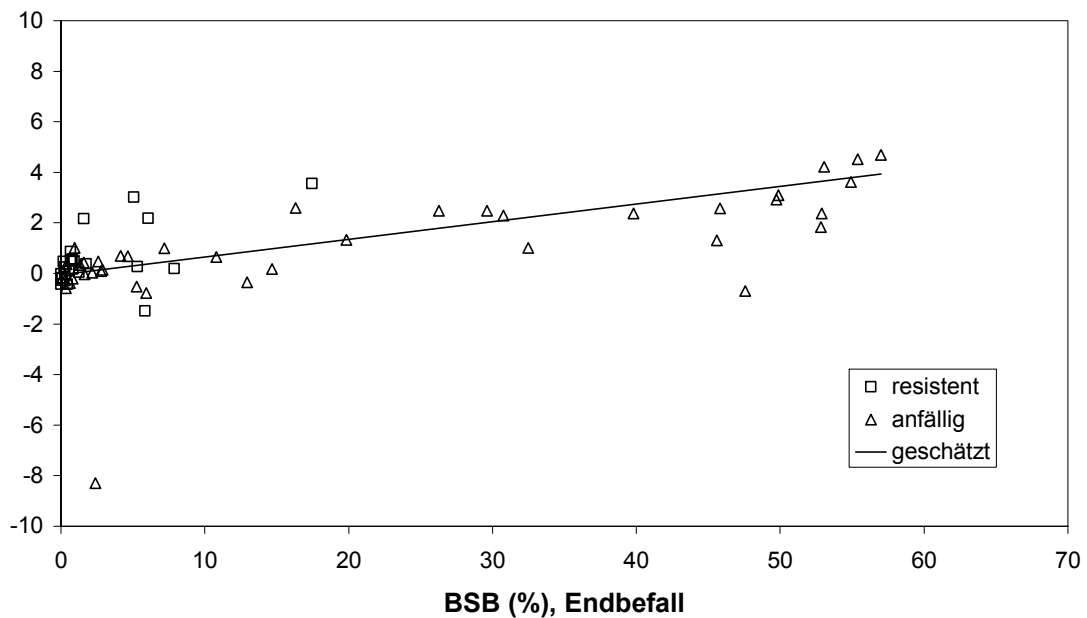


Abb. 3: Veränderung des Natrium-Gehaltes (Delta-Natrium) in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 3: Variation of Sodium-content (Delta-Sodium), depending on severity of disease

Eine zusammenfassende Darstellung der Melassebildner kann mit Hilfe der Ausbeute erfolgen (Abb. 5); die Ausbeute und der Befall hängen negativ 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. Wiederum scheint die Rübe Befall bis zu 5 % der Blattfläche zu kompensieren.

Delta- α AminoN (mmol / 1000 gRübe)

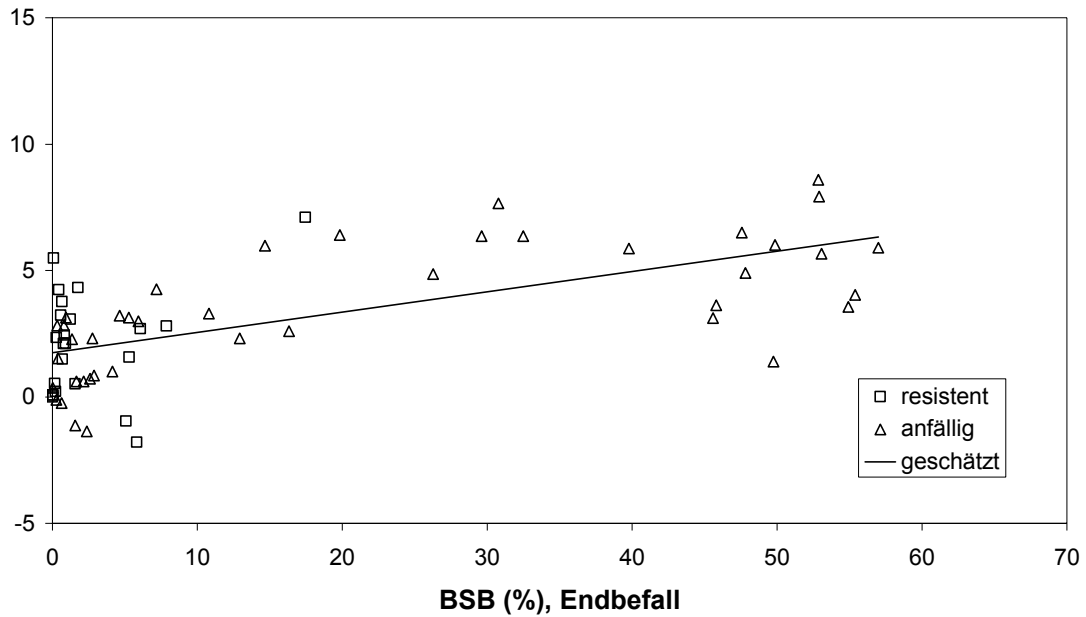


Abb. 4: Veränderung des α AminoN-Gehaltes (Delta- α AminoN) in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 4: Variation of α AminoN-content (Delta- α AminoN), depending on severity of disease (BSB = % leaf area showing symptoms)

Delta-Ausbeute (%)

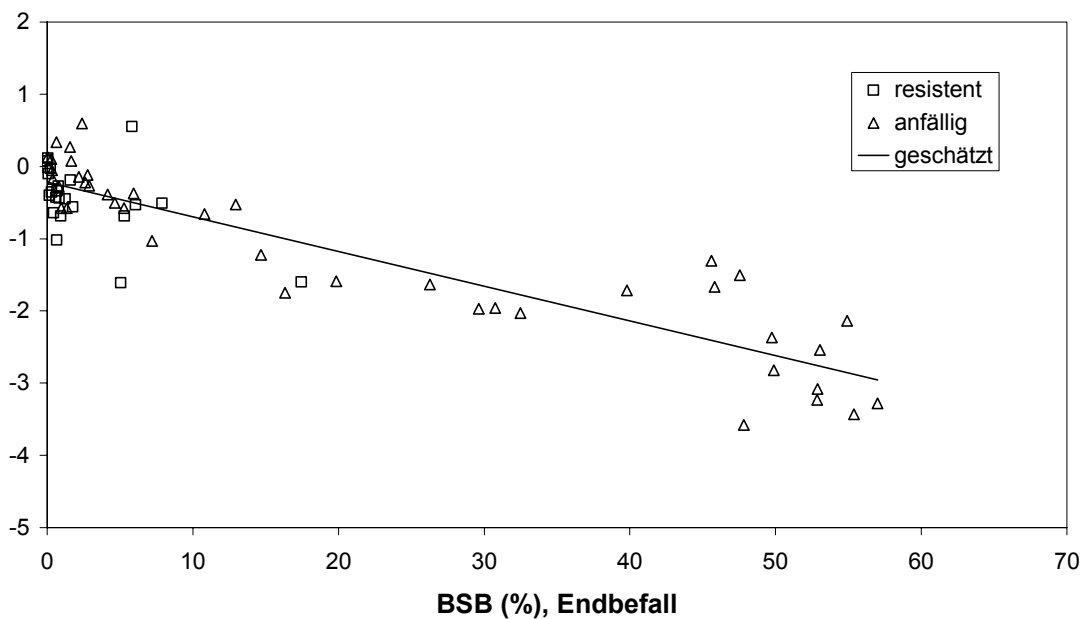


Abb. 5: Veränderung des "Ausbeutbaren Zuckers" (Delta-Ausbeute) in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 5: Variation of recoverable sugar (Delta-Ausbeute), depending on severity of disease (BSB = % leaf area showing symptoms)

Die Rübenenertrag (dt/ha) ist ebenfalls negativ linear mit dem Befall korreliert (Abb. 6). Der Regressionsgleichung nach würde eine Blattnekrotisierung von 10 % etwa 20 dt/ha Verlust an Rübenenertrag entsprechen. Allerdings ist eine 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 ist auch ein Verlust von bis zu 200 dt/ha an Rübenmasse realistisch.

Verlust Rübenenertrag (dt/ha)

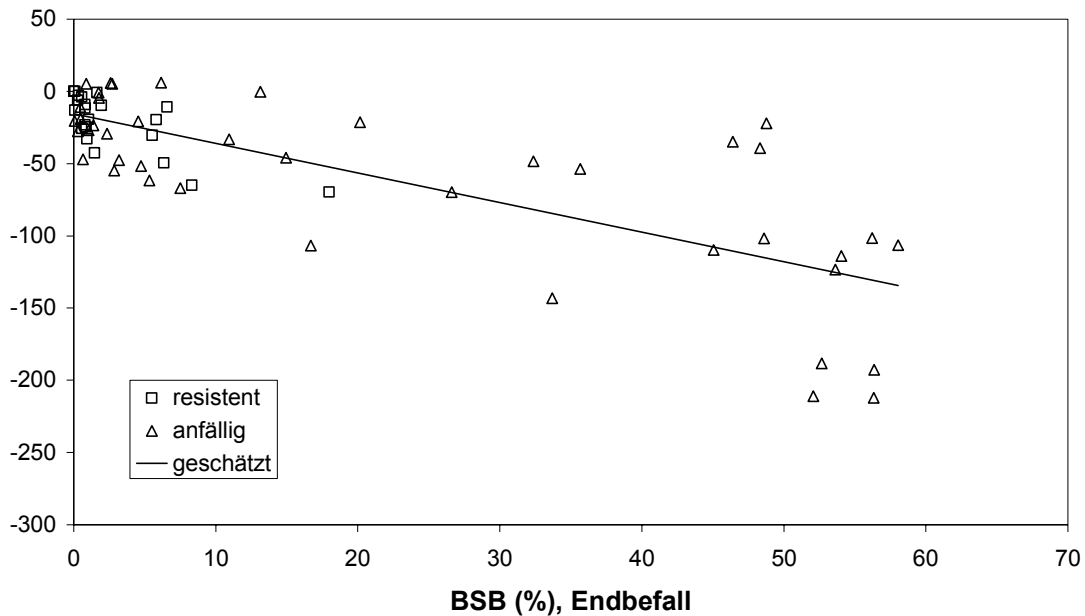


Abb. 6: Ertragsverlust in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 6: Loss of sugar beet yield, depending on severity of disease (BSB = % leaf area showing symptoms)

Der "Bereinigte Zuckerertrag" berücksichtigt Ertrag und Qualität (Abb. 7). Bei entsprechender Zusammenfassung der Ertragsfaktoren verändert sich die Regression, verglichen mit der Beziehung des Befalls zum Rübenenertrag, kaum. Im Mittel ergibt sich ein Verlust des Bereinigten Zuckerertrags von ca. 5 dt/ha pro 10 % Befallsstärke. Im Höchstfall gehen 50 dt/ha an Zucker verloren; das Verlustpotential ist als sehr hoch einzustufen bei Relation zum Ertragspotential der Zuckerrübe von derzeit 80-150 dt Zucker pro Hektar. Von größerer Bedeutung ist jedoch die Befallstoleranz der Rübe, welche bis zu 5 % Blattnekrotisierung im hohen Maße gegeben ist, darüber hinaus aber nimmt das Risiko von Verlusten sukzessive zu. Diese Charakteristik des Toleranzverhaltens hatte sich bereits bei den Parametern der Qualität angedeutet; sie bleibt somit auch bei Einbeziehung des Rübenertrages erhalten.

3.2 Einfluß des Epidemiebeginns auf Befall und Ertrag der Zuckerrübe

Als Epidemiebeginn wurde jener Zeitpunkt, zu dem der Erreger im Feldbestand eine Verbreitung auf 50 % der Rüben überschreitet, definiert. Bei befallenen Rüben sind zu diesem Stadium etwa 1-2 Blätter mit ca. 1-5 Symptomen befallen. Die Befallsstärke beträgt zu diesem Zeitpunkt < 0,01 %. Die Auswirkung des Epidemiebeginns ist vor dem Hintergrund der Befallstoleranz der Rübe, wie sie unter Punkt 3.1 beschrieben wurde, zu analysieren. Die Reg-

ressionsanalyse mit den jeweiligen Funktionen und Bestimmtheitsmaßen ist in Tabelle 3 verzeichnet.

Verlust "Bereinigter Zuckerertrag" (dt/ha)

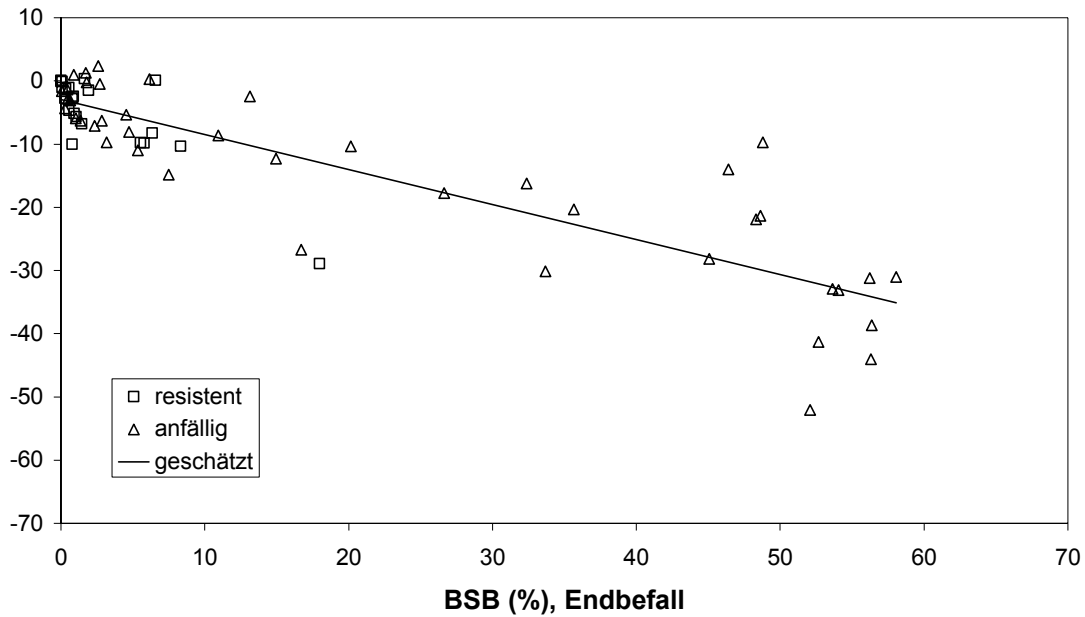


Abb. 7: Verlust an "Bereinigtem Zuckerertrag" (BZE) in Abhängigkeit von der Befallsstärke (% BSB).

Fig. 7: Loss of recoverable sugar yield (BZE), depending on severity of disease (BSB = % leaf area showing symptoms)

Tabelle 3: Einfluß des Epidemiebeginns auf Befalls- und Ertragsparameter, Gleichungen und Bestimmtheitsmaße (r^2)

Table 3: Influence of the beginning of the epidemic phase on disease severity and yield parameters; equations and coefficients of determination (r^2)

<i>Unabhängige Variable (t = Kalendertag) Independent variable</i>	<i>Abhängige Variable (y) Dependent variable</i>	<i>Regressionsgleichung Regression Equation</i>	r^2
Epidemiebeginn = 50 % Befallshäufigkeit (BHB)	Blattverlust, Sorte anfällig	$y = -32,4 * e^{(-0,079*t)}$ ($t_0 = 194$)	0,86
	Blattverlust, Sorte resistent	$y = -4,1 * e^{(-0,096*t)}$ ($t_0 = 209$)	0,29
	Blattneubildung	$y = 11,3 * e^{(-0,043*t)}$ ($t_0 = 194$)	0,45
	End-Befallsstärke (BSB), Sorte anfällig	$y = 55,0 * (1 - 1/1 + 63 * e^{(-0,181*t)})$ ($t_0 = 194$)	0,82
	End-Befallsstärke (BSB), Sorte resistent	$y = 17,6 * e^{(-0,079*t)}$ ($t_0 = 209$)	0,77
	Ertragsverlust (dt/ha)	$y = -y_{max} * e^{(-0,053*t)}$ ($t_0 = 194$)	0,66
	Zucker Verlust (BZE)	$y = -y_{max} * e^{(-0,052*t)}$ ($t_0 = 194$)	0,75

Der Blattapparat der Zuckerrübe entwickelt sich über den gesamten Zeitraum der Vegetationsperiode fort. Die Dynamik der Blattbildung, d.h. der Verlust und die Neubildung wird dabei maßgeblich beeinflusst vom Ausmaß der Epidemie. Besonders hoch ist der durch *Cercospora beticola* bedingte Blattverlust bei frühem Epidemiebeginn (Abb. 8). Bei anfälligen Varietäten gehen über den durch natürliche Seneszenz bedingten Verlust hinaus bis zu 30 Blätter zusätzlich verloren. Die Rübe bildet bis zum Ende der Vegetationsperiode ca. 50-60 Blätter; setzt man diese Blattzahl dem Assimilationspotential gleich, so liegt eine Einschränkung um mehr als die Hälfte vor. Mit verzögertem Epidemiebeginn geht der Blattverlust einer Wachstumsfunktion folgend zurück und erreicht bei Epidemiebeginn Mitte August den Sättigungspunkt von 0. Die Feldresistenz der Zuckerrübe findet ihren Niederschlag, indem eine höhere Resistenz eine quantitative Minderung des Blattverlustes bewirkt.

Blattverlust (Anzahl Blätter)

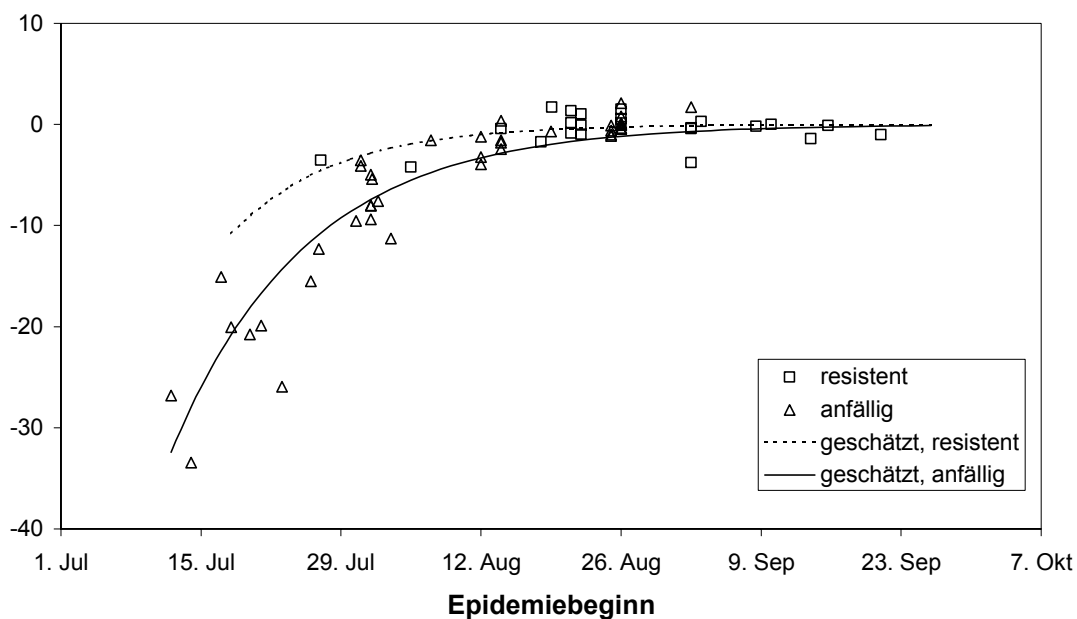


Abb. 8: Blattverlust in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn

Fig. 8: Loss of beet leaves, depending on the beginning of epidemic phase

Der Verlust von Blättern veranlaßt die Rübe neue Blätter anzulegen (Abb. 9). Die zusätzliche Bildung von Blättern ist wie nicht anders zu erwarten bei frühem Epidemiebeginn und entsprechend hohen Blattverlusten deutlich angeregt. Hohe Blattverluste können bei einer zusätzlichen Bildung von 10-15 Blättern jedoch nur teilweise ausgeglichen werden.

In der Auswirkung des Epidemiebeginns auf die Befallsstärke ist der dynamische Prozeß des Blattflächenverlustes zusammengefaßt, da die befallene Blattfläche auf die Anzahl der gebildeten Blätter bezogen ist (Abb. 10). Die Befallsstärke als resultierender Parameter fällt dabei jeweils geringer aus als der in der Realität zu erwartende, da unterschiedlich große Blätter gleichgewichtet in die Berechnung eingehen. Somit verringern kleine und befallsfreie, in der Mitte der Blattrosette angeordnete Blätter die Befallsstärke in der Tendenz, wodurch jedoch die Aussagekraft nicht beeinträchtigt wird. Bei entsprechender Darstellung wird deutlich, daß im Maximum bis zu 60 % der Blattfläche durch *Cercospora*-Befall verlorengelht. Dies ist mit hoher Häufigkeit der Fall bei anfälligen Sorten und Epidemiebeginn im Juli. Der Befall stagniert auf dieser Höhe in allen Fällen, weil dieses Befallsstadium einer fast vollständigen Zerstörung des Blattapparates gleichkommt. Das konstante Befallsniveau erklärt sich durch junge, gesunde Blätter in der Mitte der Blattrosette, die relative Stagnation verbleibt auch zu spä-

teren Stadien, da die Rübe kontinuierlich neue Blätter bildet. Das Zusammenwirken von Epidemiebeginn und Endbefall kann mit einer negativ sigmoiden Funktion angenähert werden. Einer ersten Phase relativen Gleichbleibens des Befallsniveaus folgt eine Phase starken Rückgangs der Befallsstärke bei Epidemiebeginn von Ende Juli bis Ende August. Die Funktion unterläuft die 5 % BSB-Grenze gegen Mitte August. Tritt der Epidemiebeginn zu Ende August oder später ein, so geht die resultierende Befallsstärke gegen Null. Wenngleich die quantitative Resistenz geringanfälliger Rübensorten das Ausmaß des Endbefalls deutlich einschränkt, so kann die generelle Charakteristik des Schadverhaltens auch für dieses Sortenspektrum gelten.

Blattneubildung (Anzahl Blätter)

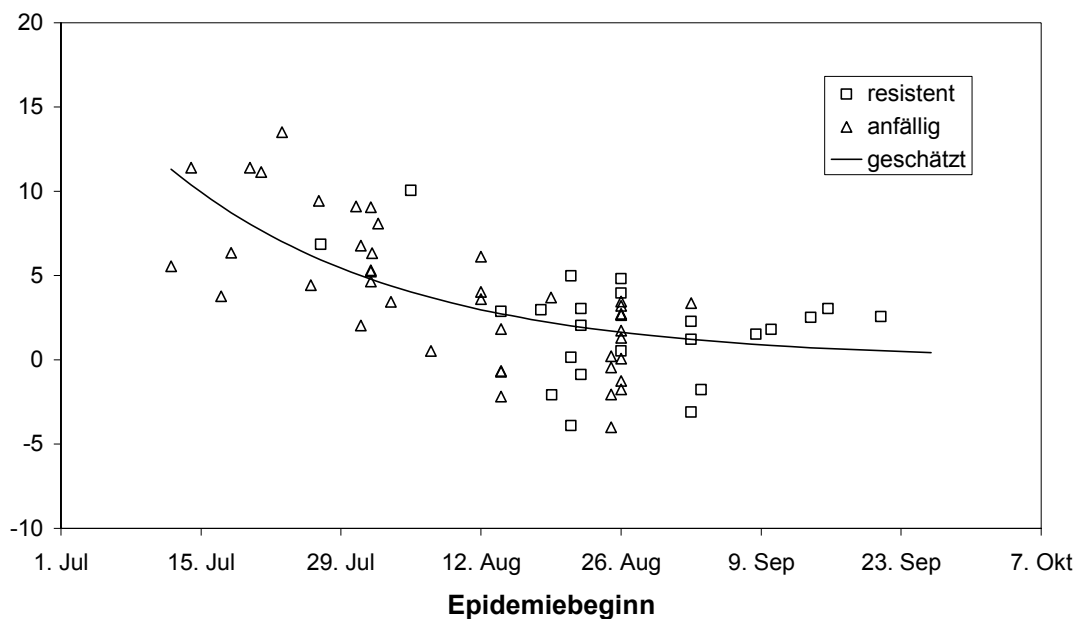


Abb. 9: Krankheitsbedingte Blattneubildung in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn
Fig. 9: Disease induced additional leaf exposition, depending on the beginning of epidemic phase

Wird als Zielvariable der Rübenertrag eingesetzt, so differenziert sich der Verlauf der Funktion in der ersten Phase von der Zielvariablen „Befall“ (Abb. 11). Wenn bei Bezug auf den Befall in der Phase bis Ende Juli ein Befallsplateau von 60 % BSB gegeben ist, so schlägt sich die Dauer der Schädigung in einer weiteren Progression der Ertragsverluste bei früherem Epidemiebeginn nieder. Im Untersuchungszeitraum war das Kriterium des Epidemiebeginns (jede 2te Pflanze weist mindestens einen Blattfleck auf) frühestens zu Mitte Juli eingetreten mit hohen Verlusten im Rübenertrag von bis zu 200 dt/ha. Bei verzögerter Befallsprogression ist das Risiko von Ertragsverlusten entsprechend dem Befall rückläufig und bereits ab Mitte August deutlich eingegrenzt. Der Verlauf folgt einer negativ exponentiellen Funktion mit einer weiteren Annäherung gegen Null zum Ende des Monats.

BSB (%), Endbefall

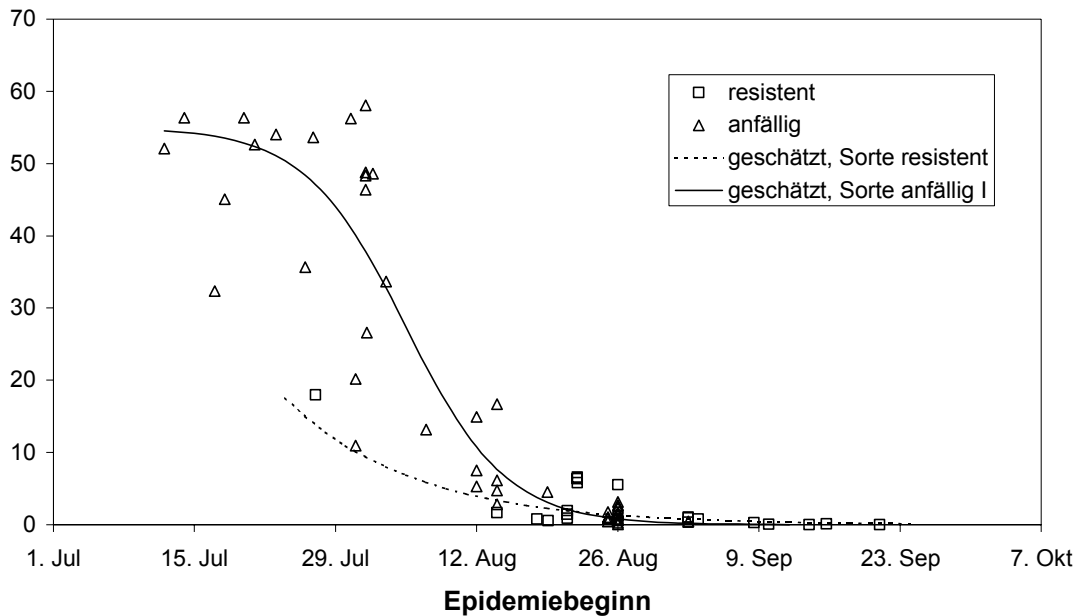


Abb. 10: Endbefall (% BSB) zur ersten Oktoberdekade in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn

Fig. 10: Disease severity (BSB = % leaf area showing symptoms) at the end of the vegetation period (1st decade of October), depending on the beginning of epidemic phase

Verlust Rübenenertrag (dt/ha)

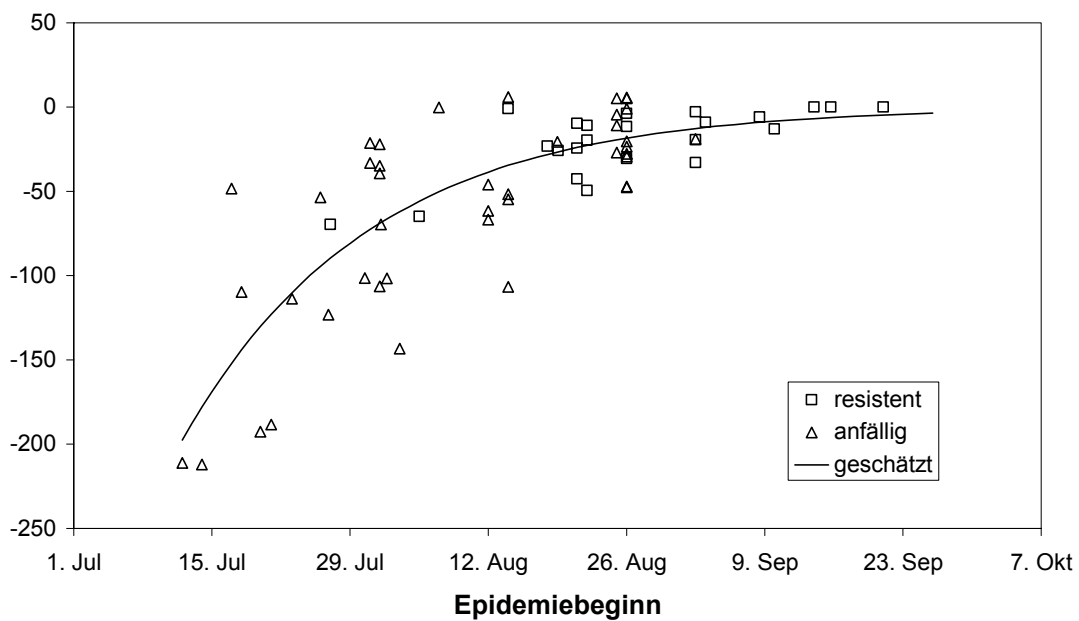


Abb. 11: Verlust an Rübenenertrag in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn

Fig. 11: Loss of sugar beet yield (dt/ha), depending on the beginning of epidemic phase

Kongruentes Verhalten liegt vor bei der Beziehung von Epidemiebeginn und Bereinigtem Zuckerertrag als abhängige Variable (Abb. 12). Bei Zusammenfassung von Ertrag- und Qualität verändert sich die Charakteristik des Schadrisikos nicht wesentlich. Wie bereits festgestellt nehmen die Verluste bei verzögertem Epidemiebeginn bis Mitte August überproportional ab; gegen Ende August nähert sich das Schadpotential von *Cercospora beticola* der Nullgrenze. Insgesamt ist zu konstatieren, daß die Wirkung des Epidemiebeginns auf Befall und Ertrag als Zielvariable gleichgerichtet ist. Von besonderer Bedeutung ist der starke Rückgang des Schadpotentials im August. Bei quantitativer Minderung des Ertragsrisikos gilt dies auch für Rübensorten mit höherer Resistenz.

Verlust "Bereinigter Zuckerertrag" (dt/ha)

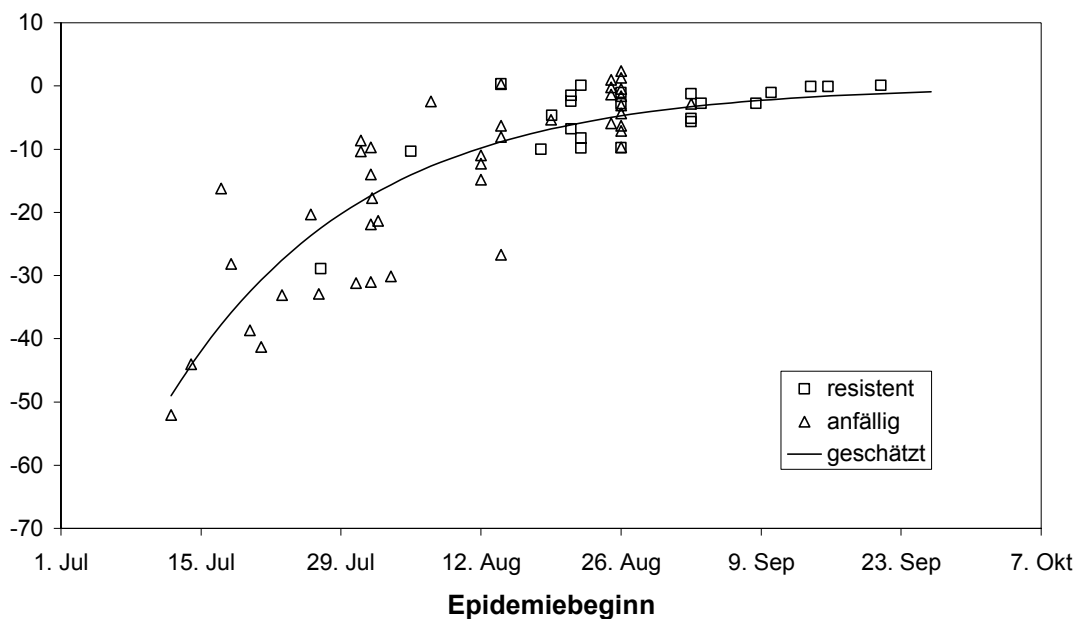


Abb. 12: Verlust an "Bereinigtem Zuckerertrag" in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn
 Fig. 12: Loss of recoverable sugar yield (BZE, dt/ha), depending on the beginning of epidemic phase

Aufgrund der Regressionsgleichungen in Tabelle 3 ergeben sich sowohl für den Rübenenertrag als auch für den Bereinigten Zuckerertrag Halbierungszeiten des Verlustes von ca. 2 Wochen. Als Konsequenz ergibt sich innerhalb von etwa einem Monat, also beispielsweise im Zeitraum von Mitte Juli bis Mitte August, ein Rückgang des Schadrisikos von etwa $\frac{3}{4}$ des Ausgangspotentials.

Diskussion

Über das Schadpotential des *Cercospora*-Befalls an Zuckerrüben gibt es eine hohe Zahl von Berichten. Allen gemeinsam ist die Schlußfolgerung, daß *Cercospora beticola* Schaden verursacht, in südlichen Regionen des mediterranen Klimaraumes mit höherer Regelmäßigkeit als in nördlichen Breiten. Die Höhe des Schadens wird z.T. durch Einteilung in Haupt- und Nebenschadgebiete bemessen (BLEIHOLDER und WELTZIEN 1972) oder sie gehen auf einzelne Erhebungen örtlicher Versuchsstationen und Beratungsinstitutionen z.T. ohne genaue Analyse der Krankheitssituation zurück. Auf die Bedeutung der Witterung im Zusammenhang mit der Intensität der Krankheitsentwicklung wird hingewiesen (MISCHKE 1960).

Diese Erhebungen sind zunächst Erkenntnistheorie, im Hinblick auf eine Beurteilung der Notwendigkeit direkter Bekämpfungsmaßnahmen in der Praxis führen sie keinen Schritt weiter. Sie besagen lediglich, daß im Durchschnitt der Jahre eine Bekämpfung kostendeckend scheint, sind jedoch weit entfernt von der angestrebten Integration chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen zur Verringerung des Inputs und Optimierung ökonomischer Belange. Eine Beurteilung unter dieser Zielsetzung ist weit komplexer und hat mehrere Faktoren zu beachten. Ein wichtiges Kriterium ist die Effizienz von Fungiziden und deren Wechselwirkung mit der Epidemiologie des Erregers. Diesbezüglich belegen Untersuchungen die Vorzüglichkeit des Einsatzes zu frühen epidemiologischen Stadien (VERREET et al. 1996). Das mit 50 % Befallshäufigkeit als Bekämpfungsschwelle definierte Stadium ist dem Epidemiebeginn gleichzusetzen. Zu diesem Stadium verursacht der Erreger keinen Schaden, wenngleich die Fungizideffizienz und damit die Ertragssicherung im Optimum liegt. Somit sind Behandlungen zu entscheiden noch lange bevor die Epidemie die Schadschwelle erreicht, d.h. die Bekämpfungsschwelle muß vor Schadeintritt liegen.

Bezüglich der Befallstoleranz ergibt sich, daß die Rübe während einer Vegetationsperiode kontinuierlich neue Blätter zu bilden vermag. Eine Blattanlage im "Luxus" scheint jedoch nur bedingt gegeben zu sein, da bei 5 % Befallsstärke die Grenze des tolerierbaren Befalls bereits erreicht ist. Eine verstärkte Neubildung von Blättern, welche nur bei starkem Befall eintritt, kann keineswegs Ausgleich schaffen, sondern sie geht zu Lasten der Assimilateinlagerung in den Rübenkörper.

Unter Berücksichtigung aller Daten können etwa 5 % Befallsstärke zum Erntetermin toleriert werden. Zum epidemiologischen Stadium der Schadschwelle jedoch ist die Epidemie soweit fortgeschritten, daß zu dieser Situation eingesetzte Fungizide nur noch geringe Teilwirkung leisten (VERREET et al. 1996). Somit können Bekämpfungs- und Schadschwelle keineswegs gleichgesetzt werden, sondern es ist zu kalkulieren unter welchen epidemiologischen Voraussetzungen die Toleranzgrenze zum Zeitpunkt der Ernte überschritten wird. Die Wahrscheinlichkeit eines Risikos kann anhand des Zeitpunktes des Epidemiebeginns berechnet werden. Eine Schätzung auf Basis meteorologischer Daten scheidet aus, da die Ernte der Rübe zeitlich noch weit entfernt ist, und die Witterung nicht über einen größeren Zeitraum zu kalkulieren ist.

Bei Abschätzung in Abhängigkeit vom Epidemiebeginn sind Fungizidbehandlungen ab Mitte August bedingt, ab Anfang September absolut nicht erforderlich. Die Entbehrlichkeit im September kann auch bei variablem Erntetermin gelten. Sie findet zunächst Erklärung in dem Faktum, daß das Stadium von 5 % Befallsstärke selbst unter günstigen Voraussetzungen mindestens 4-5 Wochen vom Epidemiebeginn entfernt liegt (WOLF und VERREET 1997). Im September und vielmehr noch im Oktober aber sind die biologischen Ansprüche des Erregers nur noch bedingt erfüllt (ROSSI und BATTILANI 1986). Die Progression der Epidemie ist stark gehemmt, auch weil noch wenig Inokulum gebildet wurde. Die gehemmte Epidemie fällt zusammen mit regressivem Ertragszuwachs der Rübe am Ende der Vegetationsperiode infolge einer reduzierten Photosynthese (ROSSI und BATTILANI 1990), so daß das durch eine spät terminierte Rübenernte implizierte Risiko stark überbewertet ist. In den eigenen Untersuchungen konnte in keinem Fall die Signifikanz von Verlusten bei Epidemiebeginn im September belegt werden.

Literatur

- BATTILANI, P., G. BELTRAMI, I. MERIGGINI, A. PONTI, V. ROSSI, F. ROSSO, V. TUGNOLI, A. ZOCCA: Nuovo indirizzi di difesa anticercosporica. *Informatore Agrario* **46** (23), 53–70, 1990

- BLEIHOLDER, H., WELTZIEN, H.: Beiträge zur Epidemiologie von *Cercospora beticola* an der Zuckerrübe. 3. Geopathologische Untersuchungen. *Phytopath. Z.* **73**, 46-86, 1972
- GLATTKOWSKI, H., K. THIELECKE: Neue Formel zur Bewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerrübe*, **1**, 42-44, 1995
- MISCHKE, W.: Untersuchungen über den Einfluß des Bestandesklimas auf die Entwicklung der Rüben-Blattfleckenkrankheit (*Cercospora beticola* Sacc.) im Hinblick auf die Einrichtung eines Warndienstes. *Bayer. Landw. Jb.* **37** (2), 197-227, 1960.
- ROSSI, V., P. BATTILANI: Impiego di variabili climatiche nella provizione delle infezioni primarie di *Cercospora beticola* Sacc. *Informatore Fitopatologico*, **36** (2), 29-38, 1986
- ROSSI, V., P. BATTILANI: Dinamica delle epidemie di *Cercospora beticola* Sacc. Su Barbabietola da zucchero. III. Ruolo della suscettibilità varietale. *Phytopath. mediterr.*, **29** (2), 114-119, 1990
- VERREET, J.A., P.F.J. WOLF, F.J. WEIS: Bekämpfungsschwellen als Grundlage für eine integrierte Bekämpfung von *Cercospora beticola* – Das IPS-Modell Zuckerrübe. *Proc. 59th IIRB Congr.*, 55-69, 1996.
- WINNER, C.: Zuckerrübenanbau. DLG-Verlag Frankfurt/Main, 1982
- WOLF, P.F.J., F.J. WEIS, J.A.VERREET: Grundlagen einer integrierten Bekämpfung von *Cercospora beticola* in Zuckerrüben. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **102** (6), 574-585, 1995a.
- WOLF, P.F.J., F.J. WEIS, J.A.VERREET: Influence of different cropping systems and threshold values on the epidemiological behaviour of *Cercospora beticola* in sugar beet. *Med. Fac. Landboww. Univ. Gent*, 60/2b, 1995b.
- WOLF, P.F.J., J.A.VERREET: Epidemiologische Entwicklung von *Cercospora beticola* (Sacc.) in Zuckerrüben. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **104** (6), 545-556, 1997