

Zum Einfluß des Bestandesklimas auf die Prädisposition der Zuckerrübe gegenüber Infektionen von *Cercospora beticola* (Sacc.)

Influence of sugar beet leaf mass development on predisposition of the crop to *Cercospora beticola* (Sacc.)

P.F.J. WOLF, M. HEINDL, J.-A. VERREET

Institut f. Phytopathologie, Christian-Albrechts-Universität, D-24118 Kiel

Eingereicht am 21. März 2001; angenommen am 15. Juli 2001

Zusammenfassung

Für die Prognose des *Cercospora*-Befalls in Zuckerrüben sind u.a. Kenntnisse der Erregerbiologie sowie über den Einfluß der Bestandesentwicklung auf das Mikroklima von Bedeutung. Für die pilzliche Entwicklung stellen im allgemeinen Temperaturen im Bereich von 25-30 °C das Optimum dar. Eine Keimung von Konidien ist, wenngleich überproportional verzögert, bis in die Nähe des Gefrierpunktes möglich, die Inkubationszeit jedoch geht bereits bei Temperaturen unter 10 °C gegen unendlich. Ein quantitativer Einfluß der relativen Luftfeuchte ist nur im optimalen Bereich von 95-100 % gegeben, diese ist somit weitgehend als qualitativer Einflußfaktor zu charakterisieren. Unter optimalen Voraussetzungen benötigt der Pilz von der Inokulation bis zum Erscheinen von Symptomen eine Inkubationszeit von 6-7 Tagen. Aus den Labordaten abgeleitete Funktionen beschreiben den Charakter der meteorologischen Einflußparameter und können zur Kalkulation von witterungsbedingten Infektionswahrscheinlichkeiten dienen.

Mit der sukzessiven Entwicklung von Blattmasse geht eine deutliche Veränderung des Mikroklimas einher, welche insbesondere ab dem Zeitpunkt des Reihenschlusses wirksam wird. Die Temperaturen im Bestand sind geringfügig gesenkt, die relative Luftfeuchte jedoch liegt erhöht vor, ebenso wie die Blattnässedauer verlängert wird. Die biologischen Ansprüche von *Cercospora beticola* sind daher nach dem Reihenschluß in höherem Maße erfüllt.

Die Tagesperiodik der Luftfeuchte weist nach dem Reihenschluß insbesondere tagsüber eine durchschnittliche Steigerung der Luftfeuchte um bis zu 10 % auf, die Häufigkeit von Blattnässe ist um bis zu 35 % erhöht, verglichen mit der Situation vor Reihenschluß. Als Konsequenz der meteorologischen Untersuchungen im Freiland ist für Termin-Prognosen der Verwendung von stündlichen Werten der Vorzug einzuräumen. Als flexibler Ausgangspunkt von Prognosekalkulationen wird der Zeitpunkt des Reihenschlusses vorgeschlagen, bzw. fixiert nach Kalendarium der Anfang Juni, als erfahrungsgemäßer Zeitpunkt des Eintretens.

Stichwörter: Zuckerrübe, *Cercospora beticola*, Biologie, Befallsprognose, Bestandesentwicklung, Mikroklima

Summary

Important points for the prognosis of *Cercospora* leaf spot infection in sugar beet include knowledge of the causal agent biology as well as the influence of the crop canopy development on the microclimate. Representing the optimum conditions for fungus development are

generally temperatures in the range of 25-30 °C. Germination of conidia is possible, even though over-proportionately reduced in intensity, at just above freezing point. The incubation period, however, proceeds to infinite even below 10 °C. The influence of moisture is only quantitative in the optimum range of 95-100 % relative air humidity and therefore it can be characterised as a more qualitative influence parameter. Under optimum conditions the fungus requires an incubation period of from 6 to 7 days from inoculation until occurrence of first symptoms. Functions derived from laboratory data describe the character of meteorological influence parameters and can help in the calculation of weather-influenced infection forecasting.

The successive development of leaf mass is accompanied by a distinct alteration of the microclimate, especially effective from row closure onwards. The temperatures within the crop canopy are then slightly reduced. Relative air moisture content is increased, however, and the duration of leaf wetness is lengthened. The biological requirements of *Cercospora beticola* are thus fulfilled to a large extent after row closure.

The daily periodicity of the relative air humidity as recorded in closed crops, in particular during daytime, indicates an average increase of up to 10 %, the frequency of leaf wetness is increased by up to 35 % compared with before row closure. The influence of crop canopy development is reduced during nighttime. As a consequence of the meteorological investigations in-field, the use of hourly data proved advantageous for treatment date prognosis. As flexible starting point for forecast calculations, the time of row closure is advised, or the beginning of June when a fixed calendar date is preferred, as experience has shown that this is when canopy closure commences.

Keywords: Sugar beet, *Cercospora beticola*, biology, infection prognosis, crop development, microclimate

1 Einleitung

Die epidemische Entwicklung und davon abhängig das Schadverhalten von *Cercospora beticola* in Zuckerrüben unterliegt in erheblichem Maße dem Einfluß der Witterung (POOL, 1916; SCHMIDT, 1928; FRANSEN 1956a,b; MISCHKE, 1959, 1960; CANOVA, 1959; KHRISTOVA, 1967; BLEIHOLDER und WELTZIEN, 1971 u. 1972). Die meteorologischen Faktoren - im wesentlichen geht es um die Auswirkungen von Licht, Temperatur und Feuchte - sind dabei grundsätzlich dem jahreszeitlichen Rhythmus des Makroklimas unterworfen. Auf die Prädisposition bzw. die umweltbedingte Reaktionslage (HOFFMANN et al., 1994) wirkt darüber hinaus das Mikroklima ein, welches wiederum von der kulturbedingten, phänologischen Entwicklung des oberirdischen Sprosses abhängig ist.

Bei der Analyse der meteorologischen Einflußfaktoren steht das Bemühen einen Zusammenhang zur epidemischen Progression des Erregers herzustellen im Vordergrund. Voraussetzung hierfür sind Kenntnisse über dessen biologische Ansprüche an Temperatur und Feuchtigkeit. Übergeordnetes Ziel ist die Vorhersage des Befalls- bzw. Epidemiebeginns auf Basis der Witterung. Die Intention liegt darin, von den Prognosen konkrete Entscheidungen des Pflanzenschutzes abzuleiten, um den Aufwand an Bestandesbeobachtungen im Zusammenhang mit Diagnose und Quantifizierung des Befalls zu reduzieren.

Die praktische Umsetzung einer Prognose auf Basis der Witterung benötigt zunächst eine empirische Analyse, welche für eine sinnvolle Gewichtung und Einordnung der zu wählenden Parameter unabdingbar ist. Es gilt bedeutende Einflußfaktoren von relativ unbedeutenden zu differenzieren, um den Prognosefehler möglichst zu reduzieren. Die hier vorgestellten Ergebnisse stellen insbesondere die Bestandesdynamik der Zuckerrübe in einen Zusammenhang mit

mikroklimatischen Veränderungen des Bestandesklimas, welche wiederum in Bezug zu stellen sind zu den biologischen Präferenzen des Erregers. Sie stellen die Grundlage dar für die Kalkulation von witterungsbedingten Infektionswahrscheinlichkeiten.

2 Material und Methoden

2.1 Isolation, Kultur und Inokulation

Die Isolation des Erregers erfolgte von befallenen Rübenblättern, welche zunächst einer zweitägigen Inkubation (20 °C, 100 % rLf, Dauer-NUV) zur Induktion der Sporogenese bedurften; frisch gebildete Konidien wurden anschließend mit einer sterilen Impfnadel auf V-8-Agar (2 % Agar-Agar, 15 % V-8-Saft, 3 g CaCO₃/l) überführt und unter Standardbedingungen (20 °C, Dauer-NUV) bebrütet.

Wegen des geringen radialen Wachstums mußte zunächst die Herstellung einer primären Sporensuspension vorausgehen, die Sporendichte und der Mycelanteil sind hier unerheblich. Die Beschickung von V-8-Agarplatten mit 1-2 ml der primären Suspension (Bebrütung unter Standardbedingungen) induziert innerhalb von 4-6 Tagen üppige Sporulation auf der gesamten Fläche der Platte mit einheitlichem Sporenalter. Zur Gewinnung von Inokulum wurde der sporenhaltige Mycelbelag mittels Spatel nach Überhäufen der Kulturen mit Tween-20-haltigem Wasser (1-2 Tropfen/L) abgelöst und suspendiert. Die anschließende Filtration durch ein doppellagiges Mullvlies führte zu einer Klärung und Abscheidung störender Mycel- und Agaranteile. Die Suspension wurde über Verdünnungsreihen, je nach Anforderung, auf 10.000-60.000 Infektionseinheiten, bestehend aus Mycelfragmenten und Konidien, eingestellt. Die Inokulation von Rübenpflanzen erfolgte mit Hilfe eines Chromatographiesprayers und Pressluft (0,6 bar). Das Besprühen der Rübenblätter wurde dabei solange fortgesetzt, bis sich feine Tropfen bildeten.

2.2 Durchführung der Keimversuche

Als Unterlage für die Keimversuche dienten mit Wasseragar (2 % Agar-Agar) beschichtete Plastikpetrischalen. Konidien wurden hierfür von 10-12 Tage alten Kulturen auf die Wasser-Agarplatten abgeschüttelt, wobei diese schon auf die gewünschte Temperatur (0, 7, 11, 16, 20, 23, 25, 27, 36 °C) voreingestellt waren. Auf diese Art kommen ausschließlich Konidien auf die Agarplatten, störende Mycelfragmente bleiben zurück, im Gegensatz zur Methode des Abkratzens von Mycelbelag und anschließender Suspension in Wasser. Die Bestimmung der Keimrate erfolgte im stündlichen Rhythmus unter dem Mikroskop bei 100facher Vergrößerung. Eine Konidie wurde als gekeimt gewertet, sofern zumindest die Anlage eines Keimschlauches vorlag. Die Darstellung erfolgt als Zeitdauer bis zu einer Keimrate von 75 % in Abhängigkeit von der Temperatur; gegenüber der Keimrate zu einem bestimmten Zeitpunkt kann der quantitative Einfluß der Temperatur auf diese Art effektiv beschrieben werden.

2.3 Abhängigkeit der Infektion von Temperatur und relativer Luftfeuchte

Die Inokulationen erfolgten hierbei im 8-10-Blattstadium der Rüben an den Sorten "Meta" (hoch anfällig) und "Ribella" (gering anfällig). Bonituren der Symptombildung wurden im Tagesintervall vorgenommen.

Zur ausschließlichen Bewertung des Temperatureinflusses (5, 10, 15, 20, 25, 30 °C) auf die Inkubationszeit, d.h. des Zeitraumes von Inokulation bis zum Erscheinen von Symptomen, wurde in elektronisch gesteuerten Lichtthermostaten eine gesättigte Atmosphäre (100 % rLf) hergestellt. Die Inokulation erfolgte nach der Standardmethode (siehe Punkt 2.1).

Verschiedene Konzentrationen der Luftfeuchte wurden bei konstanter Temperatur (25 °C) über gesättigten Salzlösungen eingestellt, welche in Wannen eingefüllt wurden. Inokulierte Rübenblätter (60.000 Kon/ml, n=4 Blätter, 5-6tes Laubblatt), welche an der Pflanze verblie-

ben sind, wurden über den verschiedenen Salzlösungen exponiert, und unter Plexiglas luftdicht eingeschlossen. Die Salzlösungen sind wie folgt definiert:

<u>rLf (%)</u>	<u>Salzlösung</u>
100	H ₂ O
98	CaSO ₄ x 2 H ₂ O
95	CaHPO ₄ x 2 H ₂ O
93	NH ₄ H ₂ PO ₄
90	MgSO ₄

Der Einfluß der Luftfeuchte wurde ermessen anhand der Befallsstärke (% befallene Blattfläche) des Einzelblattes und für die graphische Darstellung kalkuliert in Relation zum Optimum.

2.4 Einfluß der Feuchtedauer auf die Intensität der Symptombildung

Zur Untersuchung wurden nach der Standardmethode inokulierte Rübenpflanzen (6-8-Blattstadium, 60.000 Kon/ml) bei konstanter Temperatur (25 ± 2 °C) in Feuchtekabinen aus Polyethylenfolie eingebracht. Eine Reihung unterschiedlicher Inkubationszeiten ergab sich durch gestaffelte Entnahme von Rübenpflanzen (n = 8 Rüben/Variante und Sorte) im Intervall von 12 h. Nach Abtrocknen der Rübenpflanzen und damit Unterbrechung der Inkubation erfolgte deren Aufstellung im Gewächshaus (Temp.: 20 °C \pm 2°C, rLf: 70-80 %), Bonituren (% Befallshäufigkeit der Blätter) zu den Terminen 5, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 18, 21 Tage nach Inokulation; die Darstellung erfolgt wiederum relativ zum Optimum.

2.5 Bestimmung von Reihenschluß und Blattflächenzuwachs

Die Daten zum zeitlichen Eintreten des Reihenschlusses wurden in Praxisschlägen im Rahmen von Versuchen zur Evaluierung von Bekämpfungsschwellen (n = 11, 1993-1995), Anbausystemversuchen (n = 57, 1994-1996) und Monitoringversuchen (n = 21, 1996-1998) in bayerischen Zuckerrübenanbaugebieten erhoben. Als Zeitpunkt des Reihenschlusses, welcher durch das Berühren bzw. Überlappen der Blätter von >90 % der Pflanzen benachbarter Reihen definiert ist, wurde die Kalenderwoche des Eintretens festgelegt.

Der Blattflächenzuwachs wurde anhand von Einzelpflanzen (n = 40/Termin) verfolgt. Von 4 Reihen wurden jeweils der Blattapparat von 10 Pflanzen unter Messung der Standweite aus Praxisbeständen (Bestandesdichte 80.000-90.000 Pflanzen/ha) entnommen. Nach Trennen der Blätter von den Stielen erfolgte zu jedem Termin eine Bestimmung der Gewichte des Gesamt-Blattapparates (G_B); darüber hinaus des Durchschnittes von Flächen-Äquivalenten (G_F ; n = 10 aus verschiedenen Blattsegmenten), welche zufällig mit einem Stechzylinder [Fläche (F), je nach Entwicklungsstadium: 4; 7,1; 19,8; 35,8; 63 cm²] von Blättern verschiedenen Alters entnommen wurden. Die Gesamtblattfläche (BF) einer Pflanze ergibt sich aus der Formel " $BF = G_B / G_F * F$ ".

2.6 Erhebung von Witterungsdaten

Für die Aufzeichnung von meteorologischen Daten standen Wetterstationen nach Weihofen (Fa. Adolf Thies GmbH & Co KG, Göttingen) zur Verfügung. Die Stationen sind u.a. mit Meßwertgebern für Niederschlag, Temperatur (Bestand und 2m), relative Luftfeuchte (Bestand und 2m) und Blattbenetzungsfühlern nach Häckel (2 x) ausgestattet. Messungen an den einzelnen Fühlern erfolgen im 15 Sekunden Intervall, der stündliche Mittelwert basiert somit auf insgesamt 240 Einzelmessungen.

Bei den Blattbenetzungsfühlern handelte es sich um sogenannte Harfenfühler, wobei Drähte mit wechselnder Ladung (Erstpotential 0 Volt, Zweitpotential 5 Volt) auf einen Träger aufgelötet sind, um welche wiederum die Rübenblätter zu führen sind. Dabei kommen jeweils 2 Drähte, alternierend auf der Blattober- oder -unterseite zu liegen. Das Meßprinzip beruht auf einem Spannungsabfall bei Kurzschluß von benachbarten Drähten durch Wasser. Je Wetterstation wurden die Meßwerte von 2 Fühlern zu einem Mittelwert zusammengefaßt, wobei jeweils ein Fühler im oberen, sonnenexponierten Blattapparat plazierte war, ein weiterer im unteren, beschatteten Teil der Blattrosette.

2.7 Statistische Auswertung

Die Schätzung von Parametern erfolgte mit Hilfe eines nichtlinearen eindimensionalen Regressionsmodells. Das Signifikanzniveau der Bestimmtheitsmaße (r^2) in Regressionen beträgt $p = 0,05$.

3 Ergebnisse

3.1 Klimatische Ansprüche von *Cercospora beticola*

Voraussetzung für eine Interpretation von meteorologischen Einflußfaktoren ist die Kenntnis der biologischen Ansprüche auf Seiten des Erregers. Dieses Wissen kann schwerlich im Freiland erlangt werden, da nicht alle Einflußfaktoren in hinreichendem Maße bekannt sind, insbesondere was die Menge des Primärinokulums betrifft. Darüber hinaus wirken die einzelnen Faktoren sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf in den unterschiedlichsten Konstellationen zusammen, so daß eine Einzelanalyse im Freiland nicht möglich ist. Die grundsätzlichen Wirkungen der einzelnen Faktoren sind daher zunächst unter "ceteris paribus"-Bedingungen, basierend auf standardisierten Gewächshausversuchen, einzusehen.

3.1.1 Einfluß der Temperatur

Als Maß für die Einwirkung der Temperatur auf das epidemiologische Verhalten von *Cercospora beticola* kann die Keimintensität und die Inkubationszeit dienen. Die Keimintensität ist aufgetragen als die Zeitspanne, welche in Abhängigkeit von der Temperatur eine Keimschlauchbildung an $\geq 75\%$ der Konidien induziert (Abb. 1). Die Keimung der Konidien wird innerhalb von einer Stunde eingeleitet, sofern Temperaturen im optimalen Bereich von 25-27 °C vorliegen. Nur geringfügig verlängert ist der Zeitbedarf bis hin zu 20 °C, bei weiter abnehmendem Temperaturniveau nimmt die Keimintensität überproportional ab. Jedoch selbst eine Temperatur von 5 °C stimuliert noch die Konidienkeimung, wenngleich mit fast 20fach geringerer Intensität. Ebenso ist die Aktivierung bei hohen Temperaturen von >30 °C gemindert.

Die Inkubationszeit determiniert die Zeitspanne von Inokulation bis zum Erscheinen von ersten Krankheitssymptomen, schließt also den Zeitbedarf von Konidienkeimung, Infektionsvorgang bis hin zur Expression des Symptoms ein. Im Falle von *Cercospora beticola* entspricht die Inkubationszeit weitgehend der Latenzzeit, da parallel mit der Symptomentwicklung auch die Sporogenese eingeleitet wird. Die quantitative Charakteristik des Temperatureinflusses findet ebenso in der Inkubationszeit ihren Niederschlag, zumindest bei Betrachtung des relevanten Temperaturbereichs von 10-30°C (Abb. 2). Die kürzeste Inkubationszeit von 6-7 Tagen ist im Temperaturbereich von 25-30°C zu verzeichnen. Somit ist dieser Bereich erneut als optimal für die Entwicklung des Parasiten herauszustellen, wohingegen bei sukzessive niedrigeren Temperaturen die Inkubationszeit überproportional ausgedehnt wird; bei Temperaturen

unter 10°C geht diese gegen unendlich wie anhand der ausgebliebenen Symptombildung bei 5 °C gefolgert werden kann.

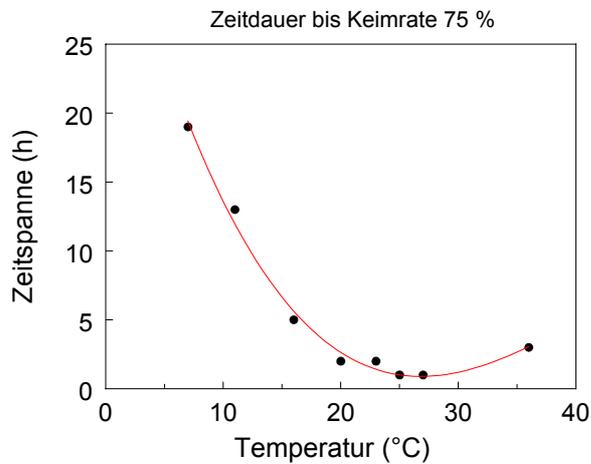


Abb. 1: Einfluß der Temperatur (T) auf die Intensität der Sporenkeimung

Fig. 1: Influence of temperature (T) on the intensity of spore germinating

$$h = 0,00074 \cdot T^3 + 0,092 \cdot T^2 - 3,344 \cdot T + 38,558; r^2 = 0,99$$

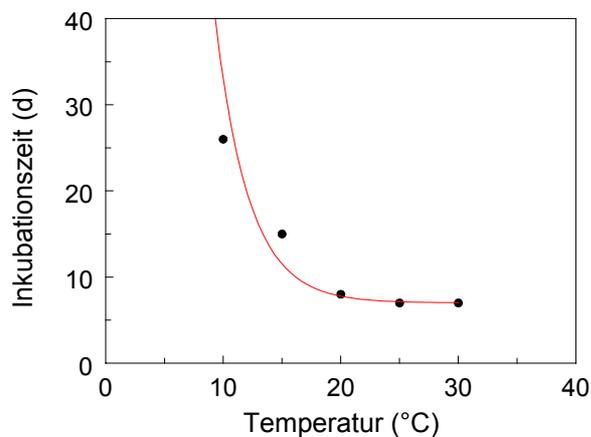


Abb. 2. Einfluß der Temperatur (T) auf die Inkubationszeit (IZ)

Fig. 2. Influence of temperature (T) on the incubation period (IZ)

$$IZ = 7 + 26 \cdot e^{(-0,35 \cdot (T-10))}; r^2 = 0,99$$

3.1.2 Einfluß der Feuchte

Der Anspruch an die relative Luftfeuchte ist als weitgehend qualitativ einzustufen (Abb. 3), da eine quantitative Abhängigkeit auf den engen Bereich von 95-100 % beschränkt ist. Unter einer relativen Luftfeuchte von 90 % ist jegliche Infektion ausgeschlossen. Der Infektionserfolg, d.h. die Intensität der Symptombildung nimmt mit steigender Luftfeuchte zu. Optimale Infektionsbedingungen liegen vor bei einer relativen Luftfeuchte von 98 %, d.h. in einem Sättigungsbereich, der zu einem verstärkten Kondensieren des Wasserdampfes und damit

sichtbarer Blattbenetzung führt. Hingegen scheint eine dauernde, übermäßige Befeuchtung (100 % rLf) die Symptomexpression eher zu reduzieren, zumindest im Laborversuch.

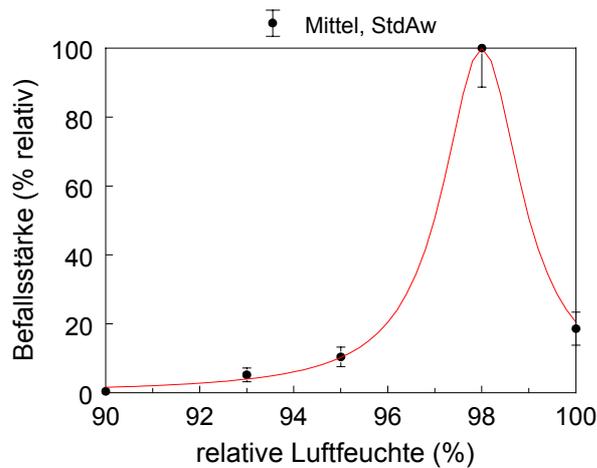


Abb. 3. Einfluß der relativen Luftfeuchte auf die Befallsstärke (% relativ), Bonitur 24 dpi

Fig. 3. Influence of relative air humidity on the severity of infection (% relative), record 24 dpi

$$y = 100/(1+((rLf-98)/1,014)^2); r^2=0,99$$

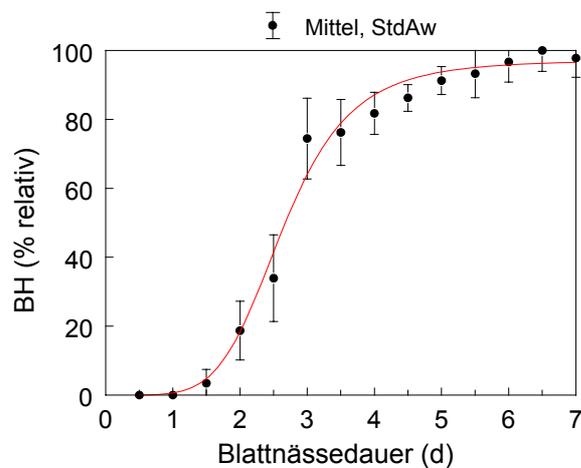


Abb. 4. Einfluß der Blattnässedauer auf die Befallshäufigkeit (% befallene Blätter, relativ), Bonitur 18 dpi

Fig. 4. Influence of leaf wetness duration on disease incidence (% infected leaves, relative); record 18 dpi

$$y = 97/(1+(d/2,64)^{-5,22}); r^2=0,98$$

Über die qualitativen Ansprüche an die Feuchtebedingungen hinaus ist jedoch die Intensität der Infektion auch von der Dauer der Inkubation (98-100 % rLf) abhängig. Der Versuch wurde parallel an der anfälligen Sorte "Meta" und der geringanfälligen Sorte "Ribella" durchgeführt. Da sich die Ergebnisse im Grundsatz entsprechen, kann die Darstellung für die Sorte "Meta" genügen (Abb. 4). Für eine erfolgreiche Infektion (Symptombildung) kann schon eine Feuchtedauer von 1,5-2 Tagen genügen, jedoch ist deren relativer Erfolg bei 3,5 % gegenüber

dem Optimum nur gering ausgeprägt. Die Intensität folgt in Abhängigkeit von der Feuchtedauer einer Kurve sigmoiden Verlaufs, wobei die exponentielle Phase, also ein überproportionales Ansteigen des Infektionserfolges, dargestellt als relative Blatt-Befallshäufigkeit, im Bereich von 1-3 Tagen gegeben ist. Der lineare Bereich ist eingeschränkt auf eine Feuchtedauer von 3-4 Tagen, die Phase der Sättigung, d.h. eine Annäherung an das Optimum der Befechtungsdauer, setzt ab 5 Tagen ein (Abb. 4).

3.2 Entwicklung des Bestandesklimas

Als Faktum der Untersuchungen im Freiland (1993-1999) ist herauszustellen, daß in keinem einzigen Fall ein Epidemiebeginn von *Cercospora beticola* während der Jugendentwicklung, d.h. vor dem Schließen der Rübenreihen eingetreten war (WOLF et al., 1997). Es ist daher zu fragen, ob mit dem Reihenschluß ursächliche Veränderungen des Mikroklimas einhergehen, welche die Primärinfektion in höherem Maße beeinflussen.

3.2.1 Phänologische Entwicklung der Zuckerrübe

Veränderungen des Mikroklimas gehen letztendlich von der Dynamik der Sproß- und Blattentwicklung aus; der Interpretation mikroklimatischer Effekte muß daher ein Einblick in die phänologische Entwicklung der Zuckerrübe vorausgehen.

Die Rübe bildet kontinuierlich Blätter. Der Entwicklungsverlauf hinsichtlich der Zahl der Blätter verhält sich weitgehend linear; die Expositionsrate beträgt bei einer gesunden Entwicklung durchschnittlich ca. 2,5 pro Woche, die durch natürliche Seneszenz bedingte Absterberate 0,5 Blätter. Jedoch wird der Blattapparat, was die Leistungsfähigkeit in bezug auf die Assimilation anbelangt, innerhalb von ca. 6 Wochen, zwischen der 24ten und 30ten Kalenderwoche angelegt (Abb. 5). Während dieser Phase eines starken Blattzuwachses durchläuft die Rübe das Stadium des Reihenschlusses. In der Folgephase stagniert die Entwicklung des Blattindex, die Durchschnittswerte aus der Untersuchungsperiode von 1994-1997 vermitteln dabei eine eher rückläufige Tendenz zur ausgehenden Vegetationsperiode hin.

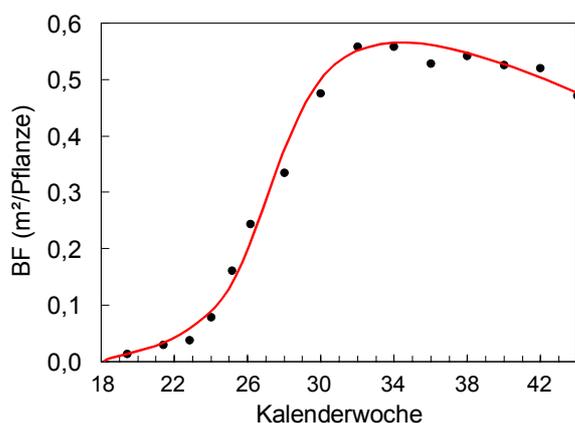


Abb. 5. Entwicklung der Blattfläche/Pflanze (BF) in Abhängigkeit vom Kalendarium

Fig. 5. Development of the leaf area per plant (BF) in relation to the calendar

Der Reihenschluß ist bei Betrachtung der Häufigkeit des Eintretens weitgehend normalverteilt (Abb. 6). Frühestens ist mit einem Schließen der Rübenreihen - der Reihenschluß ist definiert mit einem Berühren der Blätter von 90 % der Rüben benachbarter Reihen - in der zweiten

Juniwoche (24. KW) zu rechnen. In etwa 70 % der Fälle erfolgt der Reihenschluß in der 25-26ten Kalenderwoche, d.h. im wesentlichen in der zweiten Hälfte des Monats Juni.

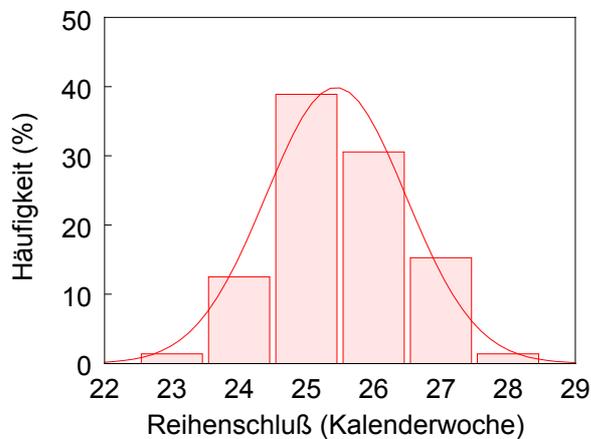


Abb. 6. Eintreten des Reihenschlusses der Zuckerrübenbestände in Abhängigkeit vom Kalendarium

Fig. 6. Occurrence of sugar beet canopy closure in relation to the calendar

$$y = 39,9 * e^{(-0,5 * ((x-25,4)/1,04)^2)}; r^2=0,99$$

3.2.2 Vegetationsverlauf und Bestandesklima

Einen Einblick in den Zusammenhang von Blattentwicklung der Rübe und die Dynamik des Bestandesklimas vermittelt ein Vergleich von Bestandeswerten mit Meßpunkten in 2m Höhe, bei Berechnung und Darstellung der jeweiligen Differenzen (Δ -Werte = Bestand-2m). Die meteorologischen Parameter sind als Mittelwert der Kalenderwoche angegeben, wodurch Abweichungen, bedingt durch die unterschiedlichen Konstellationen von Niederschlag, Temperatur und relativer Luftfeuchte geglättet werden; im Mittelpunkt steht hier die grundsätzliche Auswirkung der Bestandesentwicklung während des Verlaufs einer Vegetation, so daß diese Vereinfachung zu akzeptieren ist. Insgesamt sind die Witterungsdaten von 10 Fallstudien (1994-1998) des südbayerischen Klimaraumes zusammengeführt. Die Stationen waren in den Sorten "Hilma", "Ribella", "Meta", "Corinna" und "Tatjana" plaziert.

Diesbezüglich ist die Temperatur im Bestand während der Jugendentwicklung erhöht, zu Beginn um ca. 1 °C mit abnehmender Tendenz zum Reihenschluß hin (Abb. 7); als Ursache ist die Wärmeabsorption des Bodens und die davon ausgehende Rückstrahlung bei geringem Deckungsgrad der Rübe anzunehmen. Mit Eintreten des Reihenschlusses wird dieser Effekt aufgehoben und kehrt sich nach der 28ten Kalenderwoche um. Die Temperaturen sind nun durchschnittlich im Bestand um bis zu 1 °C gemindert; der Trend setzt sich im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode fort.

Die Unterschiede der relativen Luftfeuchte wiederum stehen sowohl in Zusammenhang mit dem Reihenschluß als auch mit der davon abhängigen Entwicklung der Temperatur im Bestand (Abb. 8). Solange der Deckungsgrad der Rüben gering ist, bewirkt die Bodenerwärmung und die davon ausgehenden höheren Temperaturen eine geringere Luftfeuchte in Bestandeshöhe bzw. Bodennähe, da die wärmere Luft in der Lage ist mehr Wasser aufzunehmen. Wie bei der Temperatur kehrt sich dieser Effekt nach dem Schließen der Rübenbestände um; die relative Luftfeuchte liegt in Bestandeshöhe ab der 26ten Kalenderwoche erhöht vor, am Höhepunkt der Bestandesentwicklung gegen Ende des Monats Juli um bis zu 5 %. Aller-

dings ist ab Mitte September eine erneut umgekehrte Tendenz hin zu geringerer Luftfeuchte im Bestand gegeben. Möglicherweise rührt diese Umkehrung von der zunehmenden Nebelbildung her, wobei das Dach oberer Blätter einen Schutz für die Deposition von Feuchtigkeit - die Meßfühler befanden sich jeweils unterhalb des Blätterdaches - innerhalb des Bestandes darstellt. Des weiteren steht die rückläufige Tendenz des Blattindexes mit dieser Entwicklung im Einklang.

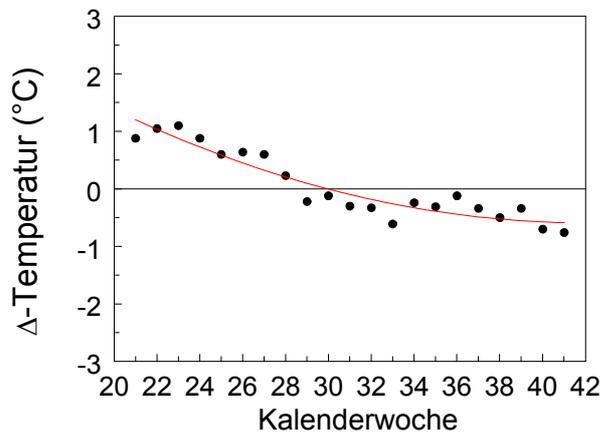


Abb. 7. Temperatur-Differenz der Meßpunkte "Bestand" und "2m" ($\Delta\text{-}^\circ\text{C} = \text{ }^\circ\text{C}_{\text{Bestand}} - \text{ }^\circ\text{C}_{2\text{m}}$) in Abhängigkeit vom Kalendarium

Fig. 7. Temperature difference of datarecord "canopy" and "2m" ($\Delta\text{-}^\circ\text{C} = \text{ }^\circ\text{C}_{\text{canopy}} - \text{ }^\circ\text{C}_{2\text{m}}$) in relation to the calendar

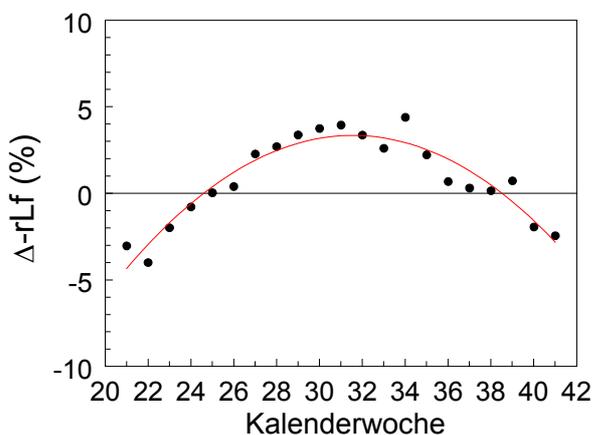


Abb. 8. Differenz der relativen Luftfeuchte von Bestand und 2m ($\Delta\text{-rLf} = \text{rLf}_{\text{Bestand}} - \text{rLf}_{2\text{m}}$) in Abhängigkeit vom Kalendarium

Fig. 8. Relativ air humidity difference of datarecord "canopy" and "2m" ($\Delta\text{-rLf} = \text{rLf}_{\text{canopy}} - \text{rLf}_{2\text{m}}$) in relation to the calendar

Die Blattbenetzung verhält sich nicht streng kongruent zur entsprechenden Differenz der Luftfeuchte zwischen Bestand und Meßpunkt 2 m (Abb. 9). Die Blattnässedauer zeigt sich zunächst labil, wobei Erhöhungen in der Frühphase zum Teil durch Häufung von Niederschlagsperioden ausgelöst sind. Die Blattbenetzungsdauer erhält jedoch nach dem Rei-

henschluß eine eindeutige Tendenz einer Verlängerung, welche sich, im Gegensatz zur relativen Luftfeuchte, im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode überproportional ausprägt. Für die festgestellten Zusammenhänge ist mit dem Reihenschluß eine zunehmende Eigenbeschattung und damit vermindertes Abtrocknen der Blätter nach nächtlicher Taubildung als Ursache anzunehmen, das überproportionale Verhalten gegen Ende der Vegetationsperiode dürfte vor allem auf die verminderte Sonneneinstrahlung zurückzuführen sein. Die Benetzungsdauer ist dabei nach dem Reihenschluß um bis zu 25 % verlängert.

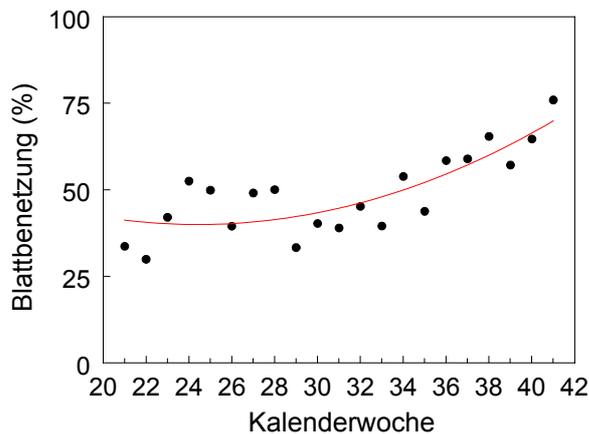


Abb. 9. Blattbenetzung in Abhängigkeit vom Kalendarium

Fig. 9. Leaf wetness in relation to the calendar

3.2.3 Tagesperiodik und Bestandesklima

Die tatsächlichen Differenzen des Bestandesklimas sind durch die auf Tagesmittelwerten basierende Zusammenfassung in der Darstellung von Jahresverläufen eingeebnet. Diese treten jedoch hervor bei Betrachtung der Tagesperiodik, wodurch die Vermischung von Tages- und Nachteffekten aufgehoben wird. In den Zeitraum "Vor Reihenschluß" sind jeweils die Kalenderwochen 22-26 in die Berechnung einbezogen, in den Zeitraum "Nach Reihenschluß" die Kalenderwochen 27-38.

Die erhöhten Bestandeswerte der Temperatur vor dem Reihenschluß gehen fast ausschließlich auf die Differenzen während des Tages zurück (Abb. 10). Mit steigender Sonneneinstrahlung nehmen diese im Lauf des Vormittags zu; gegen Mittag liegen die Temperaturen in Bodennähe um 2-3 °C höher. Die Differenzen heben sich auf mit Einbruch der Dunkelheit.

Nach dem Reihenschluß ist der Effekt einer zügigeren Erwärmung der Luft in Bestandeshöhe nur noch in geringem Umfang gegeben (Abb. 11). Wenngleich in Bodennähe die Temperatur zu den Morgenstunden geringfügig erhöht vorliegt, so führt die Beschattung nach dem Höhepunkt der Sonneneinstrahlung zu einer Senkung der Temperatur um 1-2 °C, so daß die insgesamt verringerten Mittel der Tagestemperaturen nach dem Reihenschluß Plausibilität erhalten. Während der Nacht wiederum treten die Differenzen zurück.

Die relative Luftfeuchte folgt bezüglich des Tagesverlaufs einer umgekehrten Periodik wie die Temperatur (Abb. 12). Steigende Temperaturen während des Tages bedingen eine Minderung der Luftfeuchte, wohingegen sinkende Temperaturen in der Nacht die Luftfeuchte erhöhen. Bezüglich der Differenzen in Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung folgt die Periodik einer einheitlichen Tendenz, nämlich in der Weise, daß die Luftfeuchte über dem Bestand (2m) nachts generell höher vorliegt. Die Verhältnisse kehren sich während des Tages um, so daß hier die Luftfeuchte im Bestand höhere Werte aufweist. Die Höhe der Differenzen wird dagegen deutlich von der Bestandesentwicklung beeinflusst, d.h. nach Reihenschluß lie-

gen in der Nacht die Werte im Bestand nur noch geringfügig zurück, die Differenzen während des Tages verstärken sich und sind über einen weit längeren Abschnitt präsent (Abb. 13).

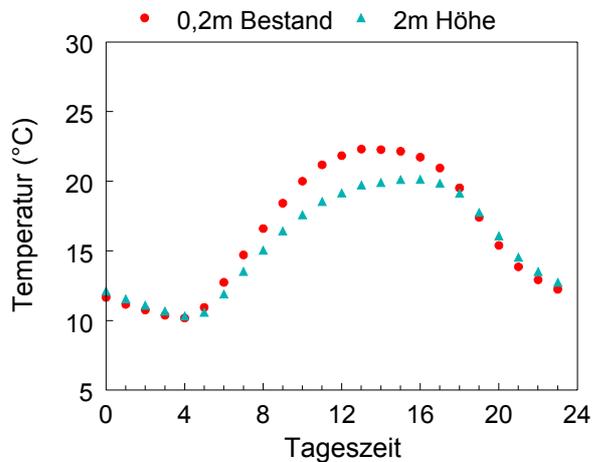


Abb. 10. Tagesperiodik der Temperatur im Bestand und in 2 m Höhe, vor Reihenschluß

Fig. 10. Daily periodicity of temperature in the canopy and in 2 m height, before canopy closure

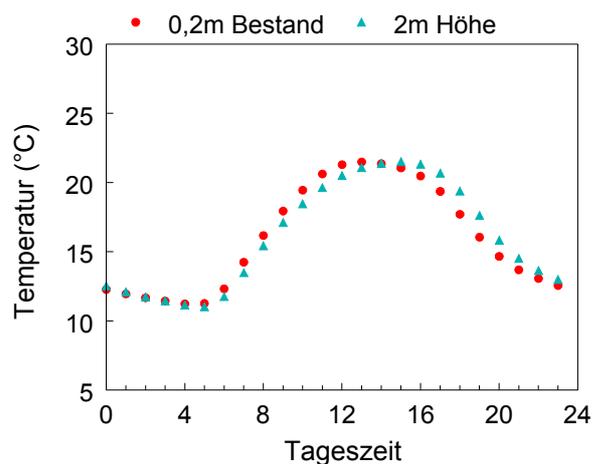


Abb. 11. Tagesperiodik der Temperatur im Bestand und in 2 m Höhe, nach Reihenschluß

Fig. 11. Daily periodicity of temperature in the canopy and in 2 m height, after canopy closure

Die Tagesperiodik der Blattbenetzungsdauer folgt in der Tendenz jener der relativen Luftfeuchte (Abb. 14). Eine Erhöhung derselben im Zusammenhang mit fallenden Temperaturen während der Dunkelperiode ist dabei als Voraussetzung für Taubildung und damit Blattnässe zu erachten. Als Konsequenz erhalten auch die Werte der Blattbenetzung nach dem Reihenschluß - die relative Luftfeuchte liegt nun erhöht vor - eine deutliche Zunahme. Demnach ist die Dauer der Blattnässe nach Erreichen dieses Kriteriums um bis zu 20-30 % verlängert. Diese Unterschiede treten zügig mit Tagesbeginn ein und gehen erst in der Nacht allmählich zurück.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß der Reihenschluß eine Veränderung des Mikroklimas im Bestand verursacht. Diese findet vor allem in den Parametern der Feuchte ihren Niederschlag, indem diese nach Reihenschluß erhöht vorliegen. Im Hinblick auf die epidemiologi-

sehen Voraussetzungen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Pilzkrankheiten ist insbesondere eine Förderung der fakultativen Erreger (*Cercospora beticola*, *Ramularia beticola*) abzuleiten.

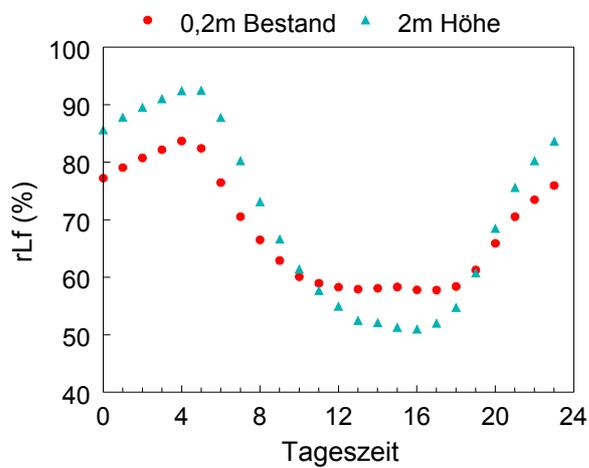


Abb. 12. Tagesperiodik der relativen Luftfeuchte im Bestand und in 2 m Höhe, vor Reihenschluß

Fig. 12. Daily periodicity of relative air humidity in the canopy and in 2 m height, before canopy closure

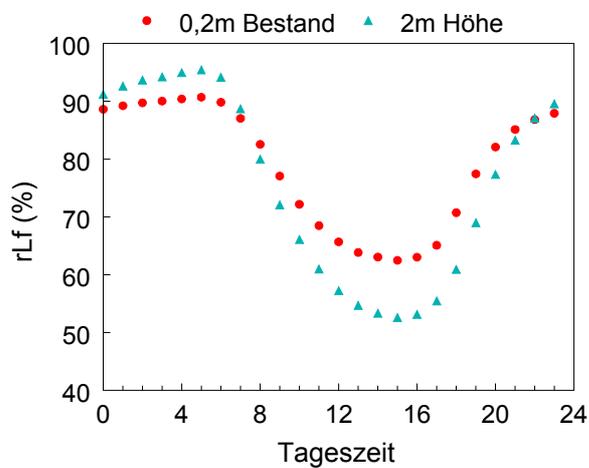


Abb. 13. Tagesperiodik der relativen Luftfeuchte im Bestand und in 2 m Höhe, nach Reihenschluß

Fig. 13. Daily periodicity of relative air humidity in the canopy and in 2 m height, after canopy closure

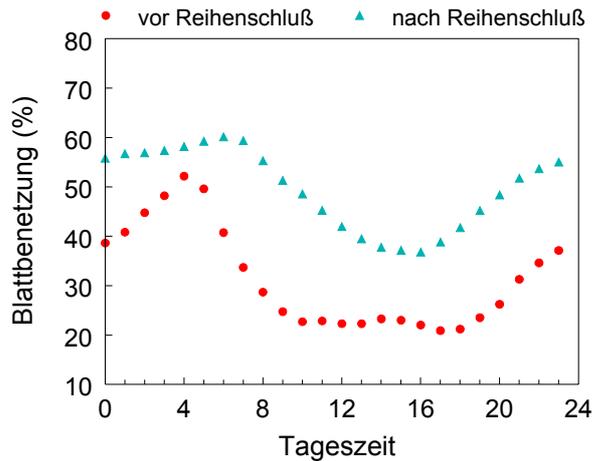


Abb. 14. Vergleich der Tagesperiodik der Blattbenetzung, vor und nach Reihenschluß

Fig. 14. Comparison of daily periodicity of leaf wetness, before and after canopy closure

4 Diskussion

Die meteorologischen Präferenzen von *Cercospora beticola* sind bereits von vielen Autoren untersucht worden. MISCHKE (1959, 1960), der sich ebenfalls derartigen Untersuchungen widmete, merkte bereits an, daß die niedergelegten Ergebnisse bisweilen deutlich variieren, jeweils abhängig von den gewählten Voraussetzungen der experimentellen Versuchsanstellung. Zusammenfassend kann das Optimum für das Pilzwachstum auf den Temperaturbereich von 20-30 °C eingengt werden (POOL und MC KAY, 1916; SCHMIDT, 1928; FRANSEN, 1956a,b, CANOVA, 1959a,b,c,d,e). Die Angaben für die relative Luftfeuchtigkeit schwanken erheblich, je nachdem, ob die Untersuchungen im Freiland oder in künstlich gesteuerten Laboreinrichtungen vorgenommen wurden; für die Konidienkeimung und für die Epidemieentwicklung kann jedoch ein Sättigungsgrad der relativen Luftfeuchte von 90-100 % als günstig für die Pathogenentwicklung herausgestellt werden (SCHMIDT, 1928; VESTAL, 1933; FRANSEN, 1956a,b; MISCHKE, 1959). Dem Licht wird keine Bedeutung beigemessen. Diese allgemeinen Angaben über die klimatische Anpassung des Erregers alleine, meist mit kardinalen Charakter, sind noch wenig hilfreich, um eine Basis für Prognosen oder Entscheidungen des Pflanzenschutzes herzugeben.

Den eigenen Untersuchungen über den Einfluß von Temperatur und Feuchte liegen Versuche in Klimakammern zugrunde. Bisweilen werden Zweifel geäußert hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das Freiland, sie ermöglichen jedoch die Parameter einer separaten Betrachtungsweise zu unterziehen, um Funktionen über den im allgemeinen nichtlinearen Charakter ihrer Wirkung anzulegen, welche in Prognosen Anwendung finden können. Insofern sind kardinale Einstufungen der Temperatur, beispielsweise unter Reduktion auf Minima und Maxima, in Prognosevorschlägen nur bedingt als brauchbare Annäherungen zu werten. Der Einfluß der relativen Luftfeuchte ist im Gegensatz zur Temperatur als weitgehend qualitativ einzustufen. Die Keimung und Infektion wird erst bei einem Sättigungsgrad der Luft von $\geq 90\%$ induziert, also in einem Bereich der beginnenden Kondensation von Wasser und damit Ausbildung von Blattnäse. Im Laborversuch hat sich der Optimalbereich als sehr eng herausgestellt, nachdem in gesättigter Atmosphäre (100 %) bereits wieder eine Minderung des Infektionserfolges eingetreten war. Dieser Effekt dürfte allerdings für die Bedingungen des Freilandes zu vernachlässigen sein.

Bei der Interpretation ist der Einfluß der Sortenresistenz auf der Wirts- sowie der Virulenz auf der Erregerseite zu beachten. Diesbezüglich ergaben zusätzliche Infektionsversuche im Gewächshaus mit verschiedenen Erregerherkünften (Deutschland, Österreich, Tschechien, Türkei) an Sortenmaterial von unterschiedlicher Anfälligkeit zwar quantitative Unterschiede bezüglich der Intensität der Infektion, die Zeitdauer bis zum ersten Erscheinen von Symptomen wurde jedoch unter der Bedingung der künstlichen Inokulation nicht wesentlich beeinflusst. Der Einfluß der Sorte überwiegt bei weitem, die unterschiedlichen Herkünfte zeigten nur geringfügige, meist nicht signifikante Virulenzunterschiede; d.h. die Resultate können auch für ein breiteres Sortenspektrum unter Variation der Anbauregion gelten.

Die Untersuchungen zu Temperatur und Luftfeuchte ermöglichen die Kalkulation der witterungsbedingten Infektionswahrscheinlichkeit (WOLF et al., 2000). Allerdings sind isolierte Berechnungen noch weit entfernt von der weit anspruchsvolleren Prognose des tatsächlichen Befalls- bzw. Epidemiebeginns. Ein zusätzlich zu berücksichtigender Faktor ist die phänologische Entwicklung der Zuckerrübe. Bei den epidemiologischen Untersuchungen war aufgefallen, daß erste Infektionen von *Cercospora beticola* niemals vor dem Reihenschluß auftraten, sondern frühestens 3 Wochen nach Eintreten dieses Kriteriums, in den meisten Fällen noch deutlich später (WOLF et al., 1997). Eine besondere Jugendresistenz ist nach künstlichen Infektionen zu frühen Stadien der pflanzlichen Entwicklung als mögliche Erklärung auszuschießen. Wenngleich die Zuckerrübe kontinuierlich neue Blätter anlegt, so entwickelt sich der Blattapparat der Zuckerrübe keineswegs linear, sondern wird nach einer Phase der Jugendentwicklung in relativ kurzen Zeitabständen exponiert, um in der Folge konstant zu bleiben, mitunter weisen die Blattindexe zur auslaufenden Saison sogar rückläufige Tendenz auf. Einen besonderen Einschnitt stellt der Reihenschluß dar, welcher in einer Phase besonders intensiven Blattwachstums eintritt. Die klimatologischen Erhebungen bestätigen hierbei, daß der zunehmende Bedeckungsgrad eine Umkehr der von der Bestandesdynamik ausgehenden Wirkungen induziert, indem insbesondere die Luftfeuchte, wie auch schon von MISCHKE (1960) herausgestellt, erhöht und in längerer Dauer vorliegt, hingegen die Temperatur infolge der Beschattung geringfügig reduziert ist. Das krautige Wachstum der Rübe bewirkt Effekte gleich einem "Schwamm", welcher die Feuchtigkeit in Form von Blattnässe (Taubildung) oder relativer Luftfeuchte in höherem Maße zurückhält. Somit wären die Auswirkungen der Bestandesdynamik eine mögliche Erklärung für das völlige Ausbleiben von Infektionen während der Jugendentwicklung. Entscheidend ist dieses Kriterium im Hinblick auf die Gewichtung von Witterungsereignissen, um den Beginn des Kalkulationszeitraumes im Zusammenhang mit Prognosen des Befallsbeginns festzulegen. Die minimale Inkubationszeit des Erregers beträgt 6-7 Tage. Somit ist leicht ersichtlich, daß auf Basis der zeitlichen Empirie des Symptombeginns Witterungsereignisse vor dem Reihenschluß relativ unbedeutend sind. Es wird daher vorgeschlagen, entweder flexibel ab dem Reihenschluß zu kalkulieren bzw. zeitlich fixiert von Anfang Juni an, da dieses Kriterium erfahrungsgemäß in diesem Zeitraum eintritt. Die vorgestellten Grundlagen gelten in erster Linie für die Anbauggebiete Süddeutschlands und sind in zukünftigen Fallstudien zu validieren. Im Gegensatz hierzu basiert das Prognosemodell von ROSSI et al. (1991) auf einer Summenbildung von Tagesdurchschnittswerten der Temperatur bzw. der rel. Luftfeuchte vom Beginn eines Sonnenjahres (1. Januar) an, bezieht also auch die Konstellation der Witterung weit vor dem Auflaufen der Rübe mit ein.

Für Prognoseansätze ist zusätzlich die Tagesperiodik von Bedeutung, wenn es darum geht, auf der Basis von Tagesmittel- oder Stundenwerten zu verfahren. Hier ist eindeutig den Stundenwerten der Vorzug einzuräumen, da die Konstellationen, d.h. die Kombinationen von Temperatur und Luftfeuchte, zu Tages- und Nachtzeiten deutlich unterschiedlich ausgeprägt sind.

Danksagung

Wir danken der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau für die Gestattung der Nutzung von Labor- und Gewächshauseinrichtungen.

Literatur

- BLEIHOLDER, H., WELTZIEN, H. C. (1971): Beiträge zur Epidemiologie von *Cercospora beticola* Sacc. an Zuckerrübe. I. Die Inkubations- und die Fruktifikationszeit. *Phytopathologische Zeitschrift*, **72** (4), 344-353.
- BLEIHOLDER, H., WELTZIEN, H.C. (1972): Beiträge zur Epidemiologie von *Cercospora beticola* Sacc. an Zuckerrübe. II. Die Konidienbildung in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Licht. *Phytopathologische Zeitschrift*, **73** (1), 46-68.
- CANOVA, A. (1959a): Ricerche su la biologia e la epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc I. *Annali della Sperimentazione Agraria*, **13**, 37-82.
- CANOVA, A. (1959b): Ricerche su la biologia e la epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc II. *Annali della Sperimentazione Agraria*, **13**, 157-204.
- CANOVA, A. (1959c): Ricerche su la biologia e la epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc III. *Annali della Sperimentazione Agraria*, **13**, 477-498.
- CANOVA, A. (1959d): Ricerche su la biologia e la epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc IV. *Annali della Sperimentazione Agraria*, **13**, 685-776.
- CANOVA, A. (1959e): Ricerche su la biologia e la epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc V. *Annali della Sperimentazione Agraria*, **13**, 855-897.
- FRANSEN, N.O. (1956a): Untersuchungen über *Cercospora beticola*. IV. Konidienkeimung. *Zucker*, **9**, 3-5.
- FRANSEN, N.O. (1956b): Untersuchungen über *Cercospora beticola*. V. Konidienproduktion. *Zucker*; **9**, 51-53.
- HOFFMANN, G.M., NIENHAUS, F., POEHLING, H.M., SCHÖNBECK, F., WELTZIEN, H.C., WILBERT, H. (1994): Lehrbuch der Phytomedizin. Blackwell- Wiss.-Verlag, Berlin, ISBN 3-8263-3008-0.

- KHRISTOVA, E. (1967): Tserkosporoza po Zakharnoto Tsveklo v Bulgariya. Biologiya na prichinitelya (*Cercospora beticola*) i sredstva za borba [*Cercospora* disease of sugarbeet in Bulgaria. Biology of the causal agent (*Cercospora beticola*) and means for its control].
Rasteniye, Nauki, **4** (9), 71-84.
- MISCHKE, W. (1959): Mikroklimatische Untersuchungen als Voraussetzung für die Einrichtung eines *Cercospora*-Warndienstes im niederbayerischen Zuckerrübenanbaugebiet.
Zucker, **12**, 25-29.
- MISCHKE, W. (1960): Untersuchungen über den Einfluß des Bestandsklimas auf die Entwicklung der Blattfleckenkrankheit *Cercospora beticola* im Hinblick auf die Einrichtung eines Warndienstes.
Bay. Landw. Jahrbuch, **37** (2), 197-227.
- POOL, V., MCKAY, M. (1916): Climatic conditions as related to *Cercospora beticola*.
Journal of Agricultural Research; **6**, 21-60.
- ROSSI, V., BATTILANI, P. (1991): CERCOPRI: a Forecasting model for primary infections of *Cercospora* leaf spot of sugar beet.
Bulletin OEPP EPPO Bulletin, **21**, 527-531.
- SCHMIDT, E. W. (1928): Untersuchungen über die *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit der Zuckerrübe.
Z. Parasitenkunde, **1**, 100-137.
- VESTAL, E.F. (1933): Pathogenicity, host response und control of *Cercospora* leaf-spot of sugar beets.
Iowa Agricultural Research Station Bulletin, **168**, 43-72.
- WOLF, P. F. J., VERREET, J.-A. (1997): Epidemiologische Entwicklung von *Cercospora beticola* (Sacc.) in Zuckerrüben.
Z. PflKrankh. PflSchutz., **104** (6), 545-556.
- WOLF, P.F.J., VERREET, J.A. (2000): Möglichkeiten und Grenzen der Prognose von pilzlichen Blattkrankheiten der Zuckerrübe.
Mitt. Bio.Bund.-Anst.f.Land- und Forstwirtschaft **376**, 203-204