

## 1. Einleitung

*Cercospora beticola* Sacc. ist weltweit der am weitesten verbreitete (BLEIHOLDER und WELTZIEN 1972b, HOLTSCULTE 2000) und gleichzeitig die größten Einbußen an Ertrag und Qualität verursachende pilzliche Blattkrankheitserreger der Zuckerrübe (ROSSI et al. 2000b). Bereits im 19. Jahrhundert wurden das Auftreten und die schädigenden Auswirkungen von *Cercospora beticola* für den Zuckerrübenanbau beschrieben (KOLBE 1985). Während nach früheren Untersuchungen der Pilz vorwiegend in Süd- und im südlichen Mitteleuropa stärker schädigend auftrat (BYFORD 1996), begann vor etwa 20 Jahren die Ausbreitung des Erregers zunächst in Süd- und Westdeutschland mit Ertragseinbußen bis 30 % (MAIER et al. 2000). Seit den 1990er Jahren wurde zunehmend das Auftreten von Blattkrankheiten mit einem Höhepunkt in 2003 im gesamten Bundesgebiet beobachtet (LADEWIG et al. 2006).

Der Grund für das verstärkte Auftreten von *Cercospora beticola* ist vor allem darin zu sehen, dass die für den Pilz optimalen Witterungsbedingungen in den vergangenen Jahren verstärkt auch im mittel- und norddeutschen Raum gegeben waren. Die optimalen Bedingungen für die Infektion von Zuckerrüben mit dem Pilz sowie dessen Etablierung im pflanzlichen Gewebe und die Bildung von Konidien sind bei Temperaturen zwischen 27 und 30° C und einer relativen Luftfeuchte von 98 bis 100 % gegeben (VON PLOTTHO 1951, WOLF et al. 2001b). Dabei reicht die morgendliche Taubildung in den heißen Sommermonaten meist aus, um eine Infektion zu gewährleisten (MISCHKE 1960). Der epidemiologische Krankheitsverlauf gliedert sich in drei Phasen. Zunächst breitet sich die Krankheit von Pflanze zu Pflanze im Bestand aus, was nach WOLF und VERREET (1997) auch als horizontale Verbreitung bezeichnet wird. Anschließend folgt die Phase der vertikalen Verbreitung, bei der sich die Krankheit innerhalb einer Pflanze von Blatt zu Blatt ausbreitet. Erst wenn mehr als die Hälfte der Blätter einer Pflanze befallen sind, setzt eine verstärkte Nekrotisierung der Blattfläche als dritte Phase ein. Durch die Verringerung der photosynthetisch aktiven Blattfläche wird die Assimilatbildung und -einlagerung der Pflanze reduziert, woraus letztlich Ertrags- und Qualitätsverluste resultieren (ROSSI et al. 2000b).

Die Regulierung von *Cercospora beticola* wird vorwiegend durch die Applikation von Fungiziden gewährleistet. Mit zunehmender Ausbreitung der Krankheit in Deutschland stieg auch der Anteil der mit Fungiziden behandelten Rübenfläche an, wobei mit Ausnahme von Jahren mit sehr starkem Befall zumeist nur einmal appliziert wurde (LADEWIG et al. 2006). Neben dem Risiko der Ausbildung fungizidresistenter *Cercospora*-Stämme machten es auch die Vorgaben des integrierten Pflanzenschutzes nach einer Reduktion des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel auf das unbedingt notwendige Maß (PFLSCHG 1998) erforderlich, Strategien zur Reduktion des Fungizideinsatzes zu nutzen und weiter zu entwickeln.

Eine solche Strategie besteht darin, Fungizide nicht mehr prophylaktisch, sondern gezielt einzusetzen und den Behandlungszeitpunkt an Bekämpfungsschwellensystemen auszu-

richten. Diese umfassen mehrere Schwellenwerte, die in Abhängigkeit von der entwicklungsbezogenen Schadensrelevanz des Erregers variieren, so dass neben kritischen Befallsintensitäten auch der kalendarische Zeitpunkt einer Applikation berücksichtigt wird. Die Entwicklung von Bekämpfungsschwellensystemen gilt als grundlegende Komponente des integrierten Pflanzenschutzes (HEITEFUß 2000) und setzt umfangreiche Untersuchungen zur Epidemiologie des Erregers und den Auswirkungen auf Ertrag und Qualität in Form von Befalls-Verlust-Relationen voraus. Die Entwicklung von Bekämpfungsschwellensystemen begann für *Cercospora beticola* in Deutschland ab den 1990er Jahren in den Starkbefallsgebieten Bayerns (VERREET et al. 1996, WEIS 1998). Das dabei entwickelte „Integrierte Pflanzenschutzsystem Zuckerrübe“ (IPS-Modell) mit krankheitsspezifischen Bekämpfungsschwellen für *Cercospora beticola* wurde ab 2001 durch eine summarische Betrachtung der Blattkrankheiten bei gleichzeitigem Einschub einer zusätzlichen Schwelle für die erste Augushälfte modifiziert (JÖRG et al. 2001). Dabei wurde das summarische Bekämpfungsschwellensystem 5/15/45 % Befallshäufigkeit (BH) entwickelt und nach umfangreicher Validierung in bundesweiten Feldversuchen (MITTLER et al. 2004a, 2004b) schließlich 2004 in allen deutschen Rübenanbaugebieten eingeführt (LANG 2004).

Daneben wird im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes auch angestrebt, resistente bzw. weniger anfällige Sorten anzubauen. Wichtigste Voraussetzung dafür ist jedoch die Verfügbarkeit von Sorten mit guter Resistenz sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht und gleichzeitig hoher Leistung bei Anbau unter Nichtbefall (HEITEFUß 2000). Dies war für Zuckerrüben lange Zeit jedoch nicht gegeben (MECHELKE 2000, OSSENKOP et al. 2002). Nach intensiver Züchtungsarbeit sind mittlerweile „neue“ weniger anfällige Sorten vorhanden, die diesen Anforderungen gerecht werden (BSA 2005). Bislang wurden epidemiologische Studien an weniger anfälligen Sorten jedoch nur für „alte“ Sorten mit geringerer Leistung bei Anbau unter Nichtbefall und zudem nur unter den Starkbefallsbedingungen Bayerns durchgeführt. Die epidemiologische Entwicklung von *Cercospora beticola* an „neuen“ weniger anfälligen Sorten bei unterschiedlich starkem Befall sowie deren Reaktionen hinsichtlich Ertrag und Qualität auf den Befall war daher unbekannt und sollte im Rahmen dieser Arbeit im Vergleich zu „alten“ weniger anfälligen und anfälligen Sorten untersucht werden. Eine mathematisch-statistische Analyse von *Cercospora*-Epidemien, insbesondere hinsichtlich des Erreichens festgelegter Bekämpfungsschwellen der BH und der, zu ausgewählten Zeitpunkten während der Entwicklung der Befallsstärke (BS), erreichten BS, anhand logistischer Wachstumsfunktionen zur präzisen Beschreibung der Epidemiologie von *Cercospora beticola* fehlte für diese unterschiedlichen Sorten bislang ebenfalls. Zudem wurde bisher noch nicht geklärt, inwieweit das bestehende summarische Bekämpfungsschwellensystem auch für weniger anfällige Sorten zutrifft oder weiterentwickelt werden muss, und sollte daher im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden. Grundlage dafür bildete

eine Analyse der Ertrags- und Qualitätsmerkmale bei unterschiedlich anfälligen Zuckerrübensorten nach Befall mit Blattkrankheiten sowie daraus abgeleitete Befalls-Verlust-Relationen.

Für die eigenen Untersuchungen ergaben sich daher folgende Versuchsfragen:

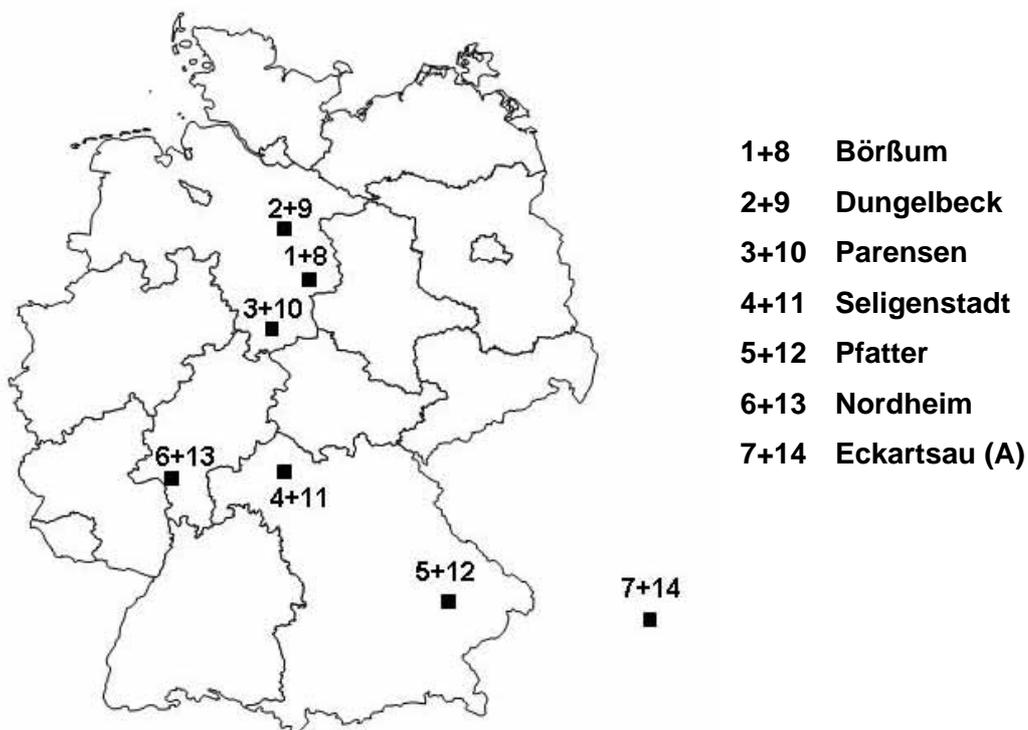
- Wie unterscheidet sich der Epidemieverlauf von *Cercospora beticola* bei Sorten mit unterschiedlicher Anfälligkeit?
- Welche Unterschiede bestehen zwischen Sorten mit unterschiedlicher Anfälligkeit hinsichtlich der Befalls-Verlust-Relation?
- Lassen sich sortenspezifische Bekämpfungsschwellensysteme für den Fungizideinsatz in Zuckerrüben ableiten?

Diese Versuchsfragen sollten auf Grundlage einer umfangreichen, für Deutschland repräsentativen Datenbasis beantwortet werden. Dazu wurden in den Jahren 2004 und 2005 Feldversuche an insgesamt 14 Umwelten (Standort x Jahr) angelegt. Geprüft wurden bei sechs Sorten mit unterschiedlicher Anfälligkeit für *Cercospora beticola* acht Bekämpfungsstrategien. Neben einer unbehandelten Kontrolle und einer Gesundvariante mit mehrmaliger statischer Fungizidbehandlung wurden auch sechs Bekämpfungsstrategien mit zeitlich verzögertem Applikationstermin untersucht, die am summarischen Bekämpfungsschwellensystem 5/15/45 % BH orientiert waren. Die Applikationsstrategien waren im Projekt integriert, um zu testen, wie unterschiedlich anfällige Sorten auf „verspätete“ Fungizidbehandlungen reagieren und um gegebenenfalls sortenspezifische Bekämpfungsschwellensysteme abzuleiten. Dazu wurden regelmäßig ab Ende Juni die BH und die BS der pilzlichen Blattkrankheiten *Cercospora beticola*, *Erysiphe betae*, *Ramularia beticola* und *Uromyces betae* erfasst, woraus die area under disease progress curve (AUDPC) berechnet wurde. Nach der Ernte wurden Rübenenertrag, Zuckergehalt und Gehalte an Kalium, Natrium und  $\alpha$ -Aminostickstoff erfasst und daraus der Standardmelasseverlust und der Bereinigte Zuckerertrag errechnet. Die epidemiologischen Daten BS zur Ernte und AUDPC wurden mit dem Bereinigtem Zuckerertrag in Beziehung gesetzt, um Befalls-Verlust-Relationen sortenspezifisch zu berechnen und Bekämpfungsschwellensysteme abzuleiten.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Umwelten, Versuchsanlage, Bestandesführung

Die Versuche wurden in den Jahren 2004 und 2005 an jeweils sechs Standorten typischer Zuckerrübenanbaugebiete in Deutschland und zusätzlich an jährlich einem Standort in Österreich, um mit höherer Wahrscheinlichkeit stärkeren Befall zu bekommen, durchgeführt (Abb. 1). Nach WRICKE (1965) wurden die beiden Faktoren Standort und Jahr zu dem Faktor Umwelt zusammengefasst. Für den Infektionsdruck sind die Witterungsbedingungen am Standort (Anh. 1), insbesondere Temperatur und Luftfeuchte von entscheidender Bedeutung (BLEIHOLDER und WELTZIEN 1971, 1972a, WALLIN und LOONAN 1971, 1972). Die Standortauswahl war auf Standorte mit erwartet sicherem Infektionsdruck für *Cercospora beticola*, aber auch mit starkem Vorjahresbefall ausgerichtet, um eine Variation unterschiedlicher Befallssituationen zu erzeugen, welche für Untersuchungen der Epidemiologie sowie der Auswirkungen eines Befalls auf Ertrag und Qualität erforderlich sind (KELBER 1977b). Die Versuche waren zweifaktoriell als vollständig randomisierte Blockanlage mit den Faktoren Sorte und Bekämpfungsstrategie in drei Wiederholungen angelegt. Aussaat, Pflege und Ernte erfolgte durch die regionalen Arbeitsgemeinschaften Nord/Wierthe und Worms, die Züchtungsunternehmen KWS SAAT AG, Strube-Dieckmann und Syngenta Seeds GmbH, die Zuckerrübenforschung Tulln in Österreich und das Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ). Die Aussaat erfolgte standortspezifisch optimal von Ende März bis Anfang April. Die Parzellen waren sechsreihig mit einem Reihenabstand von 45 oder 50 cm angelegt. Durch Einstellen einer



**Abb. 1:** Geographische Lage der Umwelten (1-14) in Deutschland und Österreich, 2004 und 2005

einheitlichen Bestandesdichte von 75 000 bis 100 000 Pflanzen ha<sup>-1</sup> für jede Parzelle einer Umwelt mittels Handvereinzelnung wurde der Versuchsfehler gering gehalten, so dass die Anlage in nur drei Wiederholungen erfolgen konnte (BÜCHSE 1999). Die Bestandesführung erfolgte mit praxisüblicher Grund- und Stickstoffdüngung sowie Unkrautregulierung. Die Versuche in den Umwelten 2, 4, 6, 7, 9, 13 und 14 wurden aufgrund gegebener Umweltvoraussetzungen praxisüblich beregnet (Anh. 2). Dadurch sollte der Epidemieverlauf beschleunigt werden (PUNDIR und MUKHOPADHYAY 1987, SKARACIS et al. 1996), da die Keimung der Konidien von *Cercospora beticola* durch eine hohe Luftfeuchte (BLEIHOLDER und WELTZIEN 1972a, FRANSEN 1956a) und deren Verbreitung durch Wasserspritzer (FRANSEN 1956b) begünstigt wird. Die Ernte erfolgte von Mitte Oktober bis Anfang November. Die Reihen 2-4 bzw. 3-5 (Erntefläche etwa 10 m<sup>2</sup>) jeder Parzelle wurden mit ein- oder dreireihigen Parzellenrodern beerntet um Nachbarschaftseffekte zu vermeiden (BÜCHSE 1999). Die Anzahl Rüben je Parzelle, die zur Ertrags- und Qualitätsbestimmung weiterverwendet wurde, entsprach somit dem nach BEIß und VON MÜLLER (1974) notwendigen Stichprobenumfang von etwa 80 bis 100 Rüben.

## 2.2 Sorten

Es wurden sechs Sorten (A bis F) mit unterschiedlicher Anfälligkeit für *Cercospora beticola* untersucht (Tab. 1). Die Sorten A und B waren als mittel, die Sorte C als mittel bis stark und die Sorten D, E und F als gering anfällig eingestuft. Eine geringere Anfälligkeit ist gleichbedeutend mit höherer Resistenz. Die Sorte F hatte einen mittleren, die Sorten A und C einen mittleren bis hohen und die Sorten B, D und E einen hohen Bereinigten Zuckerertrag. Auch in den Merkmalen Rübenertrag, Zuckergehalt und den Gehalten der qualitätsmindernden Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und  $\alpha$ -Amino-Stickstoff hatten alle Sorten eine ähnliche Einstu-

**Tab. 1:** Zuckerrübensorten und deren Einstufung nach der Beschreibenden Sortenliste für Standorte mit Rizomania-Befall (BSA 2005); Ausprägungsstufen: 1 fehlend oder sehr gering/sehr niedrig, 5 mittel, 9 sehr stark/sehr hoch; RE Rübenertrag, BZE Bereinigter Zuckerertrag, ZG Zuckergehalt, K+Na Gehalt an Kalium und Natrium, AmN Gehalt an  $\alpha$ -Amino-Stickstoff

Sorte	BSA-Kenn- Nummer	Anfälligkeit für <i>Cercospora beticola</i>	RE	BZE	ZG	K+Na	AmN
A	ZR 1302	5	6	6	5	2	7
B	ZR 1409	5	7	7	5	3	6
C	ZR 1464	6	6	6	6	3	7
D	ZR 1491	3	7	7	6	3	6
E	ZR 1374	3	7	7	6	4	7
F	ZR 1341	3	5	5	6	3	6

fung. Die Auswahl der weniger anfälligen Sorten erfolgte für die Einzelmerkmale so, dass der von OSSENKOP et al. (2002) beschriebene Widerspruch zwischen geringer Anfälligkeit und hoher Leistung unter Nichtbefall bei „neueren“ Sorten (Ausnahme Sorte F, „alte“ Sorte) nicht mehr bestand.

### 2.3 Bekämpfungsstrategien

Zur Regulierung von Blattkrankheiten wurde das summarische Bekämpfungsschwellensystem 5/15/45 % Befallshäufigkeit (BH) angewandt (LANG 2004). Hierbei wurden die drei Blattkrankheiten *Cercospora beticola*, *Erysiphe betae* und *Ramularia beticola* zusammen erfasst und die Behandlungsentscheidung anhand der Befallshäufigkeit kranker Blätter gefällt. Bis zum 31. Juli mussten demnach 5 % der Blätter einen Befall mit zumindest einer dieser drei Krankheiten aufweisen, bis 15. August galt ein erhöhter Schwellenwert von 15 % BH und anschließend von 45 % BH. Für eine Zweitbehandlung war ebenfalls der Schwellenwert von 45 % BH gültig.

Als Standardvarianten wurden eine unbehandelte Kontrolle und eine Gesundvariante mit drei- bis vierwöchiger statischer Fungizidbehandlung geprüft (Anh. 3). Weiterhin wurden sechs schwellenorientierte Bekämpfungsstrategien mit unterschiedlichem Behandlungszeitpunkt getestet. In drei Bekämpfungsstrategien erfolgte nur eine einmalige Fungizidapplikation, welche termingenau beim Überschreiten des summarischen Bekämpfungsschwellensystems (A1T0) oder 14 (A1T14) bzw. 28 Tage (A1T28) nach Überschreiten durchgeführt wurde. In drei weiteren Bekämpfungsstrategien erfolgten zwei Fungizidapplikationen, wobei die erste Applikation einheitlich termingenau beim Überschreiten des summarischen Bekämpfungsschwellensystems durchgeführt wurde. Die Zweitbehandlung wurde wiederum termingenau (A2T0) bzw. 14 (A2T14) und 28 Tage (A2T28) nach Überschreiten appliziert.

Die Fungizidbehandlungen wurden einheitlich mit dem Fungizid SPYRALE® mit einer Aufwandmenge je Applikation von 1 l ha<sup>-1</sup> (100 g ha<sup>-1</sup> Difenconazol und 375 g ha<sup>-1</sup> Fenpropidin) durchgeführt (BVL 2005). Da dieses Mittel nur für eine zweimalige Applikation zugelassen ist, wurde in der Gesundvariante ab der dritten Behandlung je Applikation 1 l ha<sup>-1</sup> Opus® (125 g ha<sup>-1</sup> Epoxiconazol) verwendet (BVL 2005). Beide Mittel sind systemische Fungizide mit kurativer und protektiver Wirkung (SYNGENTA AGRO 2004, BASF 2005).

### 2.4 Befallserhebung

Ab Ende Juni/Anfang Juli wurden die Versuche in Kooperation mit Vertretern der Offizialberatung, den Züchtungsunternehmen, der Zuckerforschung Tulln und dem IfZ wöchentlich auf den Befall mit den vier Blattkrankheiten *Cercospora beticola*, *Erysiphe betae*, *Ramularia beticola* und *Uromyces betae* mittels simulierter 100-Blatt-Rupfmethode (WOLF und VERREET 2002) bonitiert. Dabei wurde in Anlehnung an JONES und WINDELS (1991) an insgesamt 100

Blättern des mittleren Blattapparates verschiedener Rübenpflanzen die Befallsintensität getrennt nach Schaderregern ermittelt. Die Bonitur erfolgte in zwei Parzellen an 33 und in einer Parzelle an 34 Blättern im Boniturbereich der Parzellen (Reihe 2-5). Die Befallsintensität wurde erfasst durch die Befallshäufigkeit (prozentualer Anteil befallener Blätter) als Ja/Nein-Aussage und die Befallsstärke (prozentualer Anteil der von Läsionen bzw. Symptomen bedeckten Blattfläche), die getrennt nach Schaderregern am Gesamtblatt geschätzt wurde (JAMES 1974, KRANZ 1996). Die mittlere Befallshäufigkeit und die mittlere Befallsstärke des Gesamtversuches und der Einzelparzellen (Wiederholungen) wurden zu jedem Termin nach Gleichung 1 (verändert nach ROSSI und BATTILANI 1989) berechnet.

$$(1) \quad \left[ \sum_{i=1}^n \text{Befallsintensität}_i \right] / n * 100$$

Dabei entspricht  $n$  der Anzahl untersuchter Blätter,  $i$  dem Erhebungszeitpunkt und die Befallsintensität der Befallshäufigkeit bzw. der Befallsstärke (%) einer Krankheit. Die 100-Blatt-Rupfmethode gilt zwar als etwas zeitaufwändiger als die Ganzpflanzenbonitur nach der italienischen Agronomica-Skala (BATTILANI et al. 1990), ist aber im Boniturbereich bis etwa 5 % Befallsstärke genauer und deshalb insbesondere für die Ableitung von Befalls-Verlust-Relationen geeignet (VEREIJSEN et al. 2003). Während die Befallshäufigkeit die Ausbreitung der jeweiligen Krankheit im Bestand beschreibt, drückt die Befallsstärke das Ausmaß der Krankheit im Verlauf der Vegetationszeit aus, woraus in Abhängigkeit von der Dauer des Auftretens der Krankheit Ertrags- und Qualitätsverluste resultieren (MITTLER et al. 2004a, GAURILČIKIENĖ et al. 2006). Im Versuchsjahr 2004 wurde in den Umwelten 2 und 3 erst während der Bonitur zur Ernte bemerkt, dass die noch spät aufgetretene *Ramularia beticola* als *Cercospora beticola* bonitiert wurde, so dass die ermittelten Befallsstärken zur Ernte von *Cercospora beticola* in diesen Umwelten als Mischinfektion beider Krankheiten anzusehen sind. Im Folgejahr 2005 wurden beide Krankheiten getrennt erfasst. *Erysiphe betae* trat in allen Umwelten auf, erreichte zwischenzeitlich Befallsstärken bis etwa 80 %, war gegen Ende der Vegetationsperiode jedoch meist nicht mehr zu finden. Der Grund dafür liegt in den klimatischen Ansprüchen des Pilzes, der vor allem hohe Temperaturen und geringere Luftfeuchten bevorzugt (MAMLUK und WELTZIEN 1973, DRANDAREVSKI 1969). Da infolge des Befalls mit *Erysiphe betae* jedoch keine Ertrags- und Qualitätsverluste nachgewiesen werden konnten, wird im Weiteren nicht näher darauf eingegangen.

## 2.5 Area under disease progress curve (AUDPC)

Die area under disease progress curve (AUDPC) ist ein weiteres Merkmal zur Beschreibung von Epidemien und zur Beurteilung von Resistenz (SHANER und FINNEY 1977, 1980). Sie beschreibt die Fläche unterhalb der Verlaufskurve der Befallsstärke und wurde in Anlehnung an CAMPBELL und MADDEN (1990, verändert nach SHANER und FINNEY 1977) nach Gleichung 2 berechnet.