

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising

## Probleme bei Anlage und Auswertung von „Nematodenversuchen“ – ein Fazit aus langjähriger Versuchstätigkeit

Problems with design and analysis of nematode-trials – a conclusion from long-term field experiments

Michael Arndt

### Zusammenfassung

Sortenunterschiede in der Anfälligkeit von Kulturpflanzen gegen frei lebende Nematodenarten sind sicher vorhanden und könnten ähnlich genutzt werden, wie dies bei Kartoffel- und Rübenzystemnematoden der Fall ist. Die Kenntnisse darüber sind allerdings noch spärlich, obwohl sich regional zunehmend Probleme z. B. mit Stängelälchen oder *Pratylenchus* spp. abzeichnen. Ursachen für dieses Defizit sind nicht nur knappe Ressourcen in der angewandten Nematologie, sondern auch erhebliche methodische Probleme in der Versuchsanstellung. Während u. a. zur Prüfung der biologischen Wirksamkeit von Nematiziden entsprechende Richtlinien vorliegen, fehlen vergleichbare Standards für Versuche mit frei lebenden Nematoden.

Am Beispiel zweier Nematizidprüfungen und eines mehrjährigen Versuchs mit *Pratylenchus* spp. an Mais werden einige Schwierigkeiten bei Anlage und Auswertung von „Nematodenversuchen“ vorgestellt. Wegen einiger Vorbehalte, die sich daraus speziell gegenüber Feldversuchen mit frei lebenden Nematoden zeigen, sollten bevorzugt weniger aufwändige und besser standardisierbare Screening-Methoden entwickelt werden, wie sie sich bei Kartoffel- oder Rübenzystemnematoden bewährt haben.

**Stichwörter:** Feldversuche, Nematoden, Sortenanfälligkeit, *Pratylenchus* spp.

### Abstract

Different susceptibility of varieties of arable crops against free-living nematodes are to presume and could be useful likely against cyst-forming nematodes. The knowledge about this quality however is rare in regard to some problems, which occur regionally with *Ditylenchus dipsaci* or *Pratylenchus* spp. Small resources in applied nematology and methodical difficulties with field trials are responsible for this lack. Comparable guidelines, as known for testing nematicides, are not present.

Some problems with evaluation and facility of tests with nematodes will be shown by several examples. Because of the reservation to field trials better screening-methods should be to develop, like the established pot-tests to investigate resistance against *Globodera* spp. or *Heterodera schachtii*.

**Key words:** Field trials, nematodes, susceptibility of varieties, *Pratylenchus* spp.

### Einleitung

Versuche zur chemischen Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden konzentrierten sich in Deutschland bis Ende der 80er Jahre hauptsächlich auf die zystenbildenden Nematoden im Kartoffel- und Zuckerrübenanbau (*Globodera* spp. und *Heterodera schachtii*). In Zusammenarbeit von Biologischer Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde Münster, verschiedenen Pflanzenschutzdiensten der Länder und Vertretern der Pflanzenschutzindustrie wurden dazu entsprechende Richtlinien für die Wirksamkeitsprüfung von Nematiziden erarbeitet. Auch an der damaligen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) wurden ab Anfang der 70er Jahre mehrere Wirkstoffe verschiedener Firmen (Deutsche Shell Chemie, Bayer AG, Hoechst AG, Schering AG, BASF AG, Cyanamid GmbH, Union Carbide Deutschland, DuPont Deutschland GmbH) im Rahmen von Zulassungsverfahren gegenüber Kartoffel- und Rübenzystemnematoden geprüft. Im Zuge dieser rasanten Entwicklung, die auch weitere Anwendungsbereiche umfasste, standen laut amtlichem Pflanzenschutzmittelverzeichnis 1986/87 für den Acker-, Gemüse- und Zierpflanzenbau insgesamt 11 verschiedene Wirkstoffe zur Nematodenbekämpfung zur Verfügung (Aldicarb, Carbofuran, Dazomet, Dichlorpropen, Ethoprophos, Metam-Natrium, Methylbromid, Methylisothiocyanat, Oxamyl, Parathion, Triazophos).

Nach zwanzig Jahren ist heute in Deutschland keines dieser Mittel mehr zugelassen, und lediglich zur Bekämpfung von Kartoffelnematoden gibt es mit Nemathorin (Fosthiazate) seit 2003 ein neues Nematizid. Die Gründe für diese Entwicklung sollen und können hier nicht näher behandelt werden. Entscheidend ist, dass zur Nematodenkontrolle zunehmend nicht chemische Bekämpfungsalternativen zu prüfen sind und bei der Durchführung entsprechender Versuche – insbesondere mit frei lebenden Nematodenarten – erheblich größere methodische Schwierigkeiten auftreten, als dies von Nematizidprüfungen gegen Zysten-nematoden bekannt ist.

Im folgenden Beitrag soll an einigen Beispielen gezeigt werden, dass die üblichen Voraussetzungen für Exaktversuche zur Nematodenbekämpfung im Freiland (u. a. möglichst gleichmäßiger Befall, randomisierte Versuchsanlage) u. a. aus technischen Gründen nur schwer zu erfüllen sind und die Ergebnisse wissenschaftlichen Ansprüchen deshalb oft nur bedingt genügen.

PM1	K	VM	PM2	K	VM	PM3	K
PM2	K	VM	PM3	K	VM	PM1	K
PM3	K	VM	PM1	K	VM	PM2	K
PM1	K	VM	PM2	K	VM	PM3	K

Abb. 1. Versuch A Streifenanlage, PM = Prüfmittel mit drei Aufwandmengen, VM = Vergleichsmittel, K = unbehandelte Kontrolle.

K	K	PM	VM	K	K	PM	VM
PM	VM	K	K	PM	VM	K	K

Abb. 2. Versuch B als randomisierte Blockanlage mit drei Versuchsgliedern (n = 4).

## 1 Versuche zur Prüfung pflanzenverträglicher Mittel gegen *Globodera* spp.

Wiederholt wurde die von der BBA herausgegebene Prüfungsrichtlinie neueren Erkenntnissen angepasst und zuletzt unter Berücksichtigung der EPPO-Richtlinie PP 1/25(3) im Oktober 2001 veröffentlicht (www.bba.de). Als wesentliche Änderung gegenüber früheren Versionen wird die Prüfung jetzt mit nematodenanfälligen Kartoffelsorten durchgeführt. Damit ist – im Vergleich zu einer resistenten Sorte – eine bessere Wirksamkeitsbewertung möglich, obwohl nach der derzeit gültigen Rechtslage im Kartoffelanbau diese Nematizide nur in Kombination mit resistenten Sorten eingesetzt werden dürfen. Die Wirksamkeitsprüfung kann nach wie vor als „Anbauvergleich“ in Form einer Streifenanlage durchgeführt werden, wobei jedes behandelte Versuchsglied an einen unbehandelten Streifen stößt. Gegenüber einer randomisierten Blockanlage ist die technische Durchführung (u. a. durch geringes Verschleppungsrisiko von Präparat bzw. Zysten nach Ausbringung und Einarbeitung der Mittel) wesentlich einfacher und kostengünstiger, dafür ergeben sich bei der statistischen Auswertung bzw. Absicherung der Ergebnisse unter Umständen größere Schwierigkeiten. Mit zwei Beispielen soll auf diese Problematik näher eingegangen werden.

### 1.1 Material und Methode

Im Versuch A wurde 1993 im Auftrag einer Firma ein pflanzenverträglicher Wirkstoff gemäß der damaligen BBA-Richtlinie geprüft (Streifenanlage mit unbehandelter Kontrolle und Vergleichsmittel), auf Wunsch des Antragstellers jedoch bereits mit

einer anfälligen Sorte. Im Versuch B wurde 1999 aus eigenem Interesse ein in der Zulassungsprüfung stehendes Präparat getestet und zwar ebenfalls mit anfälliger Sorte, jedoch als randomisierte Blockanlage mit einem Vergleichsmittel und unbehandelter Kontrolle. In beiden Versuchen wurden wie üblich die Besatzdichten der Nematoden (Eier und Larven – EuL – je 100 ml Boden) vor dem Legen der Kartoffeln (Ausgangsbefall pi) und nach der Ernte (Endbefall pf) als auch die Ernteerträge ermittelt. Die Versuchsfläche A wies mit durchschnittlich 4000 EuL einen sehr hohen Ausgangsbefall auf, der Standort B nur knapp 1000 EuL. Es wurde jeweils Ethoprophos (Mocap) als Vergleichsmittel (VM) eingesetzt und der Wirkungsgrad der Behandlungen gemäß der Richtlinie nach HENDERSON & TILTON berechnet.

Die Standorte A (Deiselkühn, Lkr. Schwandorf) und B (Forstwiesen, Lkr. Pfaffenhofen) unterschieden sich von der Bodenart (Is) nicht wesentlich und in beiden Fällen war die Fläche durch *Globodera pallida* verseucht. 1993 kamen 'Jetta' und 1999 'Selma' – beides mittelfrühe Speisesorten – Mitte April zum Anbau. Etwas erschwert ist eine vergleichende Betrachtung der Versuche, weil im Versuch A das Prüfmittel zusätzlich mit drei verschiedenen Aufwandmengen zu testen war (PM1–PM3) und im Versuch B der Ausgangsbefall wesentlich stärker variierte. Die Größe der Mess- und Ernteparzellen betrug 25 bzw. 20 m<sup>2</sup> mit jeweils 4 Kartoffelreihen. Die Versuchspläne sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

### 1.2 Ergebnisse Versuch A – Streifenanlage

Wie Tabelle 1 zeigt, stieg der mittlere Ausgangsbefall in den Streifen der Versuchsglieder (VG) von links nach rechts z. T. deutlich an, insbesondere beim PM und in K. Trotzdem nahm auch der Ertrag wider Erwarten zu, was auf Einflüsse schließen lässt, welche die Schädigung der Nematoden vermutlich überlagerten.

Innerhalb der vier Wiederholungen eines Streifens war dagegen die Beziehung zwischen dem Ausgangsbefall pi und dem Ertrag negativ und relativ gut (Tab. 2).

Zur Beurteilung der Ertragswirkung der geprüften Nematizide, die aus ökonomischer Sicht neben der möglichen Reduzierung des Endbefalls für die Praxis von besonderer Bedeutung ist, wurde mittels t-Test ein Mittelwertvergleich der „Streifen-Erträge“ vorgenommen. Dabei ergab sich beim VM in jedem Fall ein signifikant höherer Ertrag (GD 5 %) gegenüber den benachbarten Kontrollen. Die Ertragsleistung des PM lag dagegen nur einmal signifikant höher und einmal sogar signifikant unter der

Tab. 1. Ausgangsbefall pi in EuL/100 ml Boden und Mittelwert der Erträge je VG

VG	PM	K	VM	PM	K	VM	PM	K	Mittel
Wh1	3 720	335	1 800	1 180	14 975	8 625	5 775	2 845	4 907
Wh2	295	225	1 105	2 250	8 800	10 925	6 600	2 075	4 034
Wh3	0	570	1 375	10 500	7 200	4 725	6 245	6 180	4 599
Wh4	455	0	450	1 360	5 045	6 400	4 560	2 875	2 643
Mittel	1 118	283	1 183	3 823	9 005	7 669	5 795	3 494	4 046
dt/ha	216,8	304,1	379,8	392,8	212,7	317,3	333,7	356,0	314,2

Tab. 2. Parzellenerträge dt/ha und Korrelation zwischen pi und Ertrag innerhalb der Streifen

VG	PM	K	VM	PM	K	VM	PM	K	Mittel
Wh1	160,7	302,0	360,3	411,5	188,9	292,4	305,9	429,0	306
Wh2	227,8	276,2	384,9	378,9	209,1	284,5	299,2	373,0	304
Wh3	232,1	300,4	356,3	384,9	214,3	325,0	340,5	285,0	305
Wh4	246,8	338,1	417,8	396,0	238,5	367,4	389,3	337,0	341
Mittel	216,9	304,2	379,8	392,8	212,7	317,3	333,7	356,0	314
pi-Ertr,	-0,96	-0,51	-0,93	-0,46	-0,94	-0,71	-0,84	-0,75	

Kontrolle, bedingt durch die großen Abweichungen in den Befallsdichten der Nematoden. Da zwischen den drei geprüften Aufwandmengen kein signifikanter Unterschied nachzuweisen war, schnitt das PM insgesamt zum VM schlechter ab.

Nachdem zur Bewertung der Mittel neben der Ertragswirkung hauptsächlich Effekte auf die Nematodenvermehrung berücksichtigt werden, ist eine Berechnung des Wirkungsgrades nach HENDERSON & TILTON durchzuführen. Gegenüber den angrenzenden Kontrollen lag der Wirkungsgrad der Behandlungen nur in drei Fällen knapp über 30 % und in den übrigen Fällen schnitten PM und VM sogar schlechter ab, d. h. der Befall nahm stärker zu als in den unbehandelten Parzellen. Solche Ergebnisse sind auch von anderen Wirksamkeitsprüfungen bekannt und entsprechen den Erwartungen, weil die Populationsentwicklung bei Zystennematoden während der Vegetationsperiode sehr stark von der Populationsdichte zu Versuchsbeginn abhängt. Deshalb wurden diese pflanzenverträglichen Nematizide aus phytosanitärer Sicht nur in Verbindung mit resistenten Sorten zugelassen, da mit anfälligen Sorten eine Befallsreduzierung nicht sicher zu gewährleisten ist.

Um Behandlungseffekte verschiedener Mittel besser beurteilen zu können, müsste die Versuchsfläche einen möglichst homogenen Nematodenbefall aufweisen. Diese Voraussetzung ist in der Praxis jedoch kaum vorzufinden. Es stellt sich deshalb die Frage, ob durch eine aufwändigere, randomisierte Versuchsanlage Vorteile für die Auswertung zu erwarten sind. Dies soll durch Gegenüberstellung und Diskussion der Ergebnisse aus Versuch B gezeigt werden.

1.3 Ergebnisse Versuch B – randomisierte Blockanlage

Die Parzellenanordnung wurde so gewählt, dass zur Berechnung des Wirkungsgrades PM und VM wieder jeweils an eine unbehandelte Kontrolle angrenzten (Abb. 2). Da die Nematizidprüfung am Rand eines größeren Versuchs zur Feststellung von Resistenz und Toleranz von Kartoffelsorten lag, war der Ausgangsbefall in einigen Parzellen leider nur sehr niedrig (Tab. 3). Dafür war es möglich, die Populationsveränderung von *G. pallida* durch den Anbau resistenter Sorten dem Wirkungsgrad einer chemischen Nematodenbekämpfung bei Anbau einer anfälligen Sorte gegenüberzustellen.

Durch die große Spannweite im Ausgangsbefall ergab sich über alle Parzellen (n = 16) ein Korrelationskoeffizient von r = -0,85 zwischen pi und dem Ertrag (Abb. 3), der im Versuch A (n = 32) mit r = -0,30 deutlich schwächer war.

Der Wirkungsgrad lag sowohl für das PM als auch das VM mit über 80 % vergleichsweise hoch, bedingt durch das relativ niedrige Befallsniveau auf dem Standort B. Noch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Populationsminderung erzielten allerdings resistente Sorten. Ohne zusätzliche Mehrkosten zu verursachen, betrug der Wirkungsgrad z. B. der resistenten ‘Karakter’ gegenüber der anfälligen ‘Selma’ 92 %. Die Mehrerträge, die mit einer chemischen Bekämpfung bei anfälligen Sorten erzielbar sind, reichen jedoch meist aus, um die Behandlungskosten abzudecken. Im vorliegenden Beispiel lag das PM mit 10 % und das VM mit 19 % über unbehandelt, allerdings bei einem deutlich höheren Ausgangsbefall in der Kontrolle. Mit einer üblichen Varianzanalyse (t-Test) waren diese Mehrerträge statistisch nicht abzuschern. Insofern ergab die randomisierte Blockanlage im Versuch B gegenüber der Streifenanlage im Versuch A keine höhere Aus-

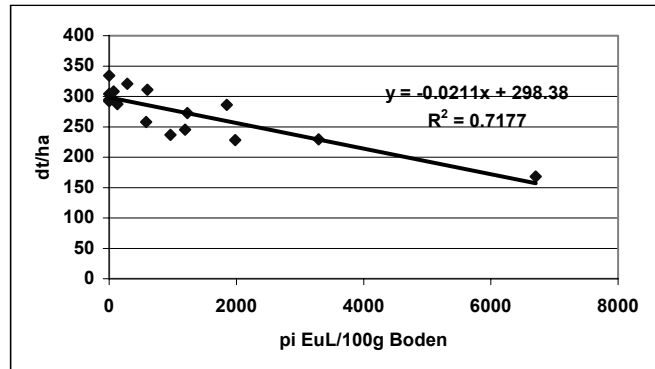


Abb. 3. Beziehung zwischen dem Ausgangsbefall pi und dem Ertrag über alle Parzellen.

sagesicherheit in der Ergebnisbewertung. Rein theoretisch müsste deshalb der Vorbefall der einzelnen Parzellen bereits bekannt sein, bevor der Versuch angelegt wird, um die Wiederholungen der Prüfglieder möglichst „gerecht“ auf die unterschiedlichen Besatzdichten der Nematoden zu verteilen. Versuchstechnisch ist diese Forderung allerdings unrealistisch.

Zu bedenken ist weiterhin, dass die zur Bekämpfung von Kartoffelnematoden geprüften Mittel auch gegen weitere pflanzenparasitäre Nematoden wirksam sind, z. B. *Pratylenchus* spp., die für Kartoffeln ebenfalls ertragsbeeinflussend sind (KIMPINSKI et al., 1997). Bei der Auswahl von Versuchsflächen blieb dieser Aspekt bisher unberücksichtigt, obwohl *Pratylenchus* spp. häufiger in höheren Abundanzen vorkommt und die Ergebnisse dadurch beeinflusst werden können.

2 Untersuchungen zur Wirtspflanzenqualität verschiedener Maissorten gegenüber *Pratylenchus* spp.

2.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Schadorganismen, wie sie in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes (BSA) ausgewiesen werden, sind neben den Ertrags- und Qualitätseigenschaften wichtige Entscheidungskriterien bei der Sortenwahl. Von besonderem Interesse sind z. B. Pilzkrankheiten, die u.a. bei Getreide maßgeblich den Fungizid-aufwand beeinflussen. Für Nematoden gibt es entsprechende Hinweise bei den Senf- und Ölrettichsorten bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber *H. schachtii*. Mithilfe standardisierter Gefäßversuche, die im Rahmen der amtlichen Resistenzprüfung im Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der BBA in Münster durchgeführt werden, werden neun Anfälligkeitsstufen unterschieden, wobei die Klassen 1–3 als resistent bezeichnet werden (HALLMANN und MÜLLER, 2004). Inwieweit diese graduellen Unterschiede beim Zwischenfruchtanbau in der Praxis zu unterschiedlichen Befallsminderungen führen, wurde in mehreren Sortenversuchen überprüft (THOMAS, 1997; SCHLANG, 1989). Dabei deckten sich die Ergebnisse zum großen Teil mit den Erwartungen, wobei durch Ölrettich im Vergleich zu Senf insgesamt bessere Bekämpfungseffekte zu erzielen waren.

Inzwischen liegen Ergebnisse vor, nach denen Senfsorten – mit Ausnahme von Sareptasenf – gegenüber Stängelälchen (*Ditylenchus dipsaci*) eine bessere Wirtspflanzenqualität aufweisen als die geprüften Ölrettiche, die offensichtlich keine Nematodenvermehrung zuließen (HEINRICHS und KNUTH, 2004; KNUTH, 2006). Vorhandenes Wissen über Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Zystennematoden bedarf zunehmend einer Ergänzung bezüglich gallenbildender und frei lebender Nematoden. Welche Kultur- und Nematodenarten besonderes Interesse

Tab. 3. Ausgangsbefall pi in EuL/100 ml Boden in den Parzellen der VG nach Abbildung 2.

3293	6705	1850	1230	963	1980	583	1195
600	283	130	0	70	0	0	0

verdienen, hängt von den sich abzeichnenden oder bereits vorhandenen Problemen ab. Wegen eines regional verstärkten Auftretens von Rübenkopffälchen (LEIPERTZ und VALDER, 2005) sind die erwähnten Versuche mit den Kruziferen deshalb genauso wichtig wie Untersuchungen zu Toleranzunterschieden von Zuckerrübensorten gegenüber *D. dipsaci* (HEINRICHS, 2005).

Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich z. B. in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern oder Brandenburg durch vermehrte Schadensfälle infolge von *Pratylenchus*-Befall in Getreide (HESSELBARTH, 2004; KRUSE, 2006; SCHÖNFELD, 2000). Auch an Mais sind Schäden durch *Pratylenchus* spp. nicht neu (HIRLING, 1974; MAASSEN, 1976), weshalb sogar Nematizide zur Ertragssicherung geprüft wurden (KÜTHE und RÖSSNER, 1978), die aber u. a. aus ökonomischen Gründen keinen Eingang in die Praxis fanden.

Im Rahmen eines größeren Projekts, das sich von 2000 bis 2003 mit Auswirkungen von gentechnisch verändertem Bt-Mais auf Nichtziellorganismen befasste, wurde untersucht, inwieweit Bt-Mais-Sorten im Vergleich zu ihren isogenen Linien gegenüber *Pratylenchus* spp. unterschiedlich anfällig sind (ARNDT und ABDEL KADER, 2002; ARNDT, 2006). Dadurch sollte auf mögliche nematizide Effekte des auch in Maiswurzeln exprimierten Bt-Toxins geschlossen werden. Anhand ausgewählter Ergebnisse werden einige besondere Probleme aufgezeigt, die bei Versuchen mit frei lebenden Nematoden zu berücksichtigen sind.

### 2.2 Material und Methode

Für die nematologischen Untersuchungen von Bodenproben und Wurzeln standen Großparzellen eines nicht randomisierten Vergleichsanbaus zur Verfügung, der auf fünf Standorten (Tab. 4) angelegt war. Auf diesen Parzellen wurden über vier Jahre jeweils zwei Bt-Mais-Sorten neben den konventionellen Sorten angebaut, unterteilt in Block A ohne chemische Maiszünslerbekämpfung und Block B mit einer Insektizidbehandlung (Abb. 4). Die Probenahme je Sorte und Block erfolgte auf zwei kleinen, durch Magnete fixierten Messparzellen (4 mal 5 = 20 m<sup>2</sup>) und zwar jährlich im Frühjahr zur Maissaat und im Herbst nach der Beerntung. Mit jeweils 20 Einstichen bis 20 cm Bodentiefe wurden dazu mit einem Probenstecher etwa 4 l Erde als Mischprobe entnommen und bis zur Laboruntersuchung bei 5 °C in Plastiktüten gelagert. Zur Feststellung des Wurzelbesatzes durch *Pratylenchus* spp. beschränkte sich die Probenahme auf zwei Standorte, von denen zu verschiedenen Terminen die Wurzeln von 20 Pflanzen je Parzelle entnommen wurden. Die Isolierung der Nematoden aus den Bodenproben erfolgte nach dem Baermann-Trichter-Verfahren aus jeweils 2-mal 100 ml Erde je Mischprobe. Für die Extraktion aus den Maiswurzeln stand eine Sprühnebelanlage zur Verfügung, in der bis maximal 20 g Wurzelfrischgewicht je Pflanze bearbeitet wurden.

Wegen des großen Probenumfangs und einer Extraktionsdauer von 4 bzw. 12 Tagen bei den Boden- bzw. Pflanzenproben war eine zeitgleiche Untersuchung aller Proben nicht möglich. Auch eine durchgehende Beprobung der 5 Versuchsstandorte zu allen geplanten Terminen konnte nicht eingehalten werden. Insbesondere im sehr nassen Herbst 2002 waren diese Arbeiten nicht ord-

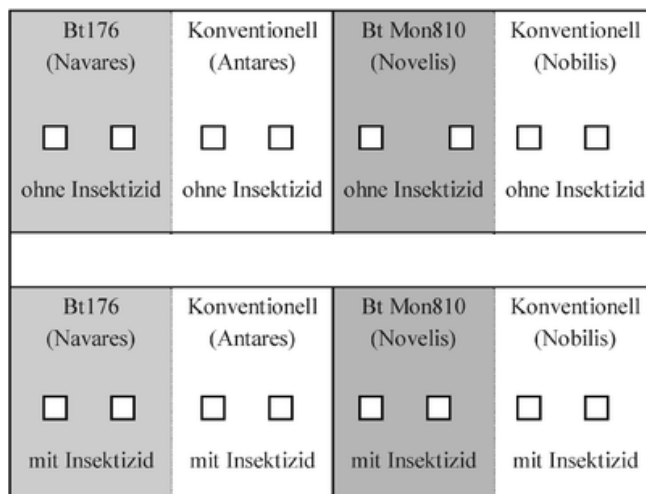


Abb. 4. Versuchsplan für den stationären Dauermaisbau (Parzellengröße 30 x 50 m) mit 16 Messparzellen (4 mal 5 m) in den Blöcken A und B.

nungsgemäß durchführbar. Obwohl auf einigen Standorten neben *P. penetrans* auch *P. neglectus* und *P. crenatus* vorkamen, musste auf eine quantitative Erfassung der einzelnen Arten verzichtet werden.

Für die statistische Datenanalyse wurden die Werte für den Ausgangs- und Endbefall von *Pratylenchus* spp. jeder Sorte getrennt nach Standorten ermittelt. Je Maisvariante standen für die pi- und pf-Werte 8 Wiederholungen (4 Mischproben mit jeweils 2 Extraktionen) zur Verfügung. Der Mittelwertvergleich erfolgte varianzanalytisch mittels T-Test und SNK-Test. Eine Mittelwertbildung über die Blöcke A und B erschien möglich, da ein Einfluss des Insektizids (Baythroid) auf die Nematoden als relativ unwahrscheinlich angenommen wurde. Da an einem Standort im Block B dennoch wiederholt niedrigere Abundanzen von *Pratylenchus* spp. festzustellen waren, wurden Bodenunterschiede als möglicher Einflussfaktor vermutet und von den Bodenproben der Parzellen zusätzlich Texturanalysen gemacht, die über Ton-, Schluff- und Sandanteile Aufschluss gaben.

### 2.3 Ergebnisse

Die Populationsdichten von *Pratylenchus* spp. stiegen im Verlauf des viermaligen Maisanbaus auf allen Standorten im Mittel aller Sorten erwartungsgemäß mehr oder weniger deutlich an (Abb. 5), da Mais eine gute Wirtspflanze ist. Das unterschiedliche Ausgangsniveau und die Populationsdynamik der Nematoden auf den 5 Standorten sind auf verschiedene Vorfrüchte zu Versuchsbeginn und auf das bevorzugte Auftreten von *Pratylenchus* spp. auf leichteren Böden zurückzuführen.

Das zeigen auch die engen Beziehungen zwischen den Bodentexturunterschieden und den Abundanzwerten für *Pratylenchus* spp. innerhalb zweier Standorte (Abb. 6–9). Bei der Auswertung nach Blöcken konnten die durchwegs niedrigeren Populationsdichten im Block B am Standort Baumannshof eindeutig auf Bo-

Tab. 4. Übersicht zu den Versuchsstandorten „Bt-Mais-Monitoring“.

Staatsgut	Lkr.	Höhe über NN	Bodentyp	Ackerzahl Bodenart	Textur T/U/S	Temp. Jahresmittel °C	Niedersch. mm langj. Mittel
Baumannshof	PAF	365	Braunerde	25 hS	4/15/81	7,8	636
Puch	FFB	550	Rendzina	66 IS	18/70/12	8,0	920
Grub	EBE	525	Parabraunerde	43 sL		7,4	967
Neuhof	DON	516	Pseudogley	58 uL	21/61/18	7,6	764
Schwarzenau	KT	200	Pararendzina	74 uL	21/62/17	8,5	620

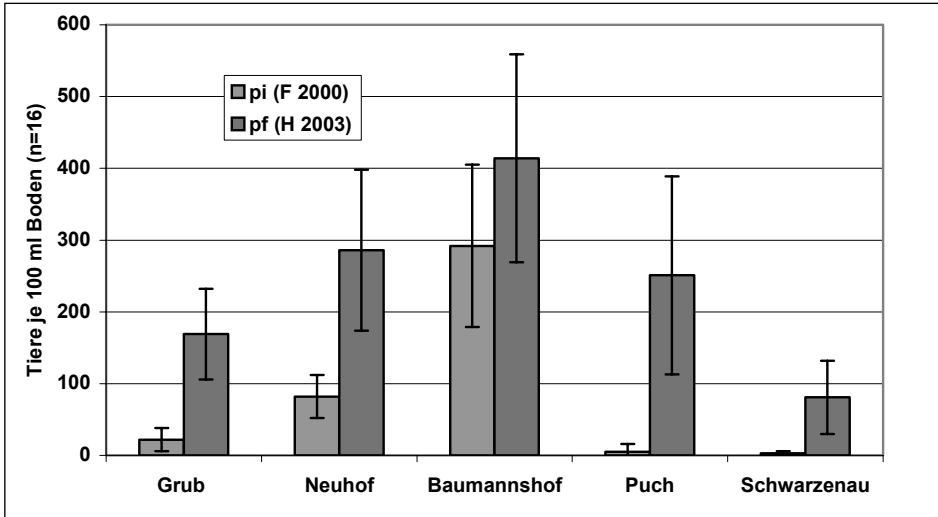


Abb. 5. Ausgangsbefall (pi) und Endbefall (pf) von *Pratylenchus* spp. nach viermaligem Maisanbau (Mittelwerte und Standardabweichung).

denunterschiede und nicht auf die Insektizidbehandlung zurückgeführt werden. Diese Bodentextureinflüsse spielen natürlich auch bei einer sortenbezogenen Auswertung eine Rolle. Sand-, Schluff- und Tongehalte sind von Versuchspartellen in der Regel allerdings nicht bekannt, weshalb randomisierte Versuchsanlagen sicher vorteilhaft wären.

Hinsichtlich der Wirtspflanzenqualität für *Pratylenchus* spp. zeigte nur der Standort Baumannshof bei Nobilis/Novelis-Bt im

Vergleich zu Antares/Navares-Bt in zwei Jahren (2003 und 2003) eine signifikant geringere Nematodenvermehrung (Abb. 10), die auch mit niedrigeren Werten des Wurzelbesatzes korrespondierte (Abb. 11). Unterschiede zwischen den Bt-Mais-Varianten und den jeweils konventionellen Sorten waren in keinem Fall nachweisbar. Inwieweit die unterschiedliche Populationsdynamik bei den Sortengruppen auf ihrer unterschiedlichen Reifezeit beruht (Nobilis/Novelis-Bt S 270; Antares/Navares-Bt S 190), kann nur

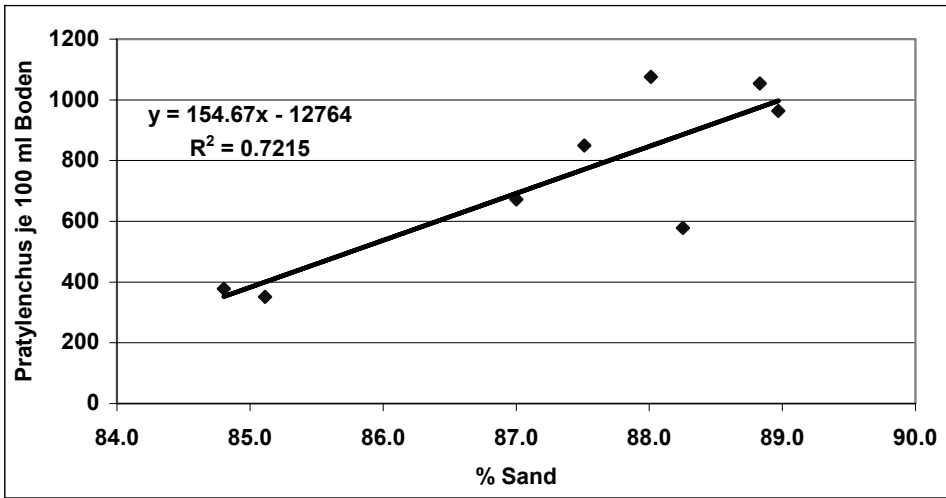


Abb. 6 und 7. Beziehung zwischen Sand- bzw. Tongehalten der Partellen und den mittleren Abundanz von *Pratylenchus* spp. am Baumannshof.

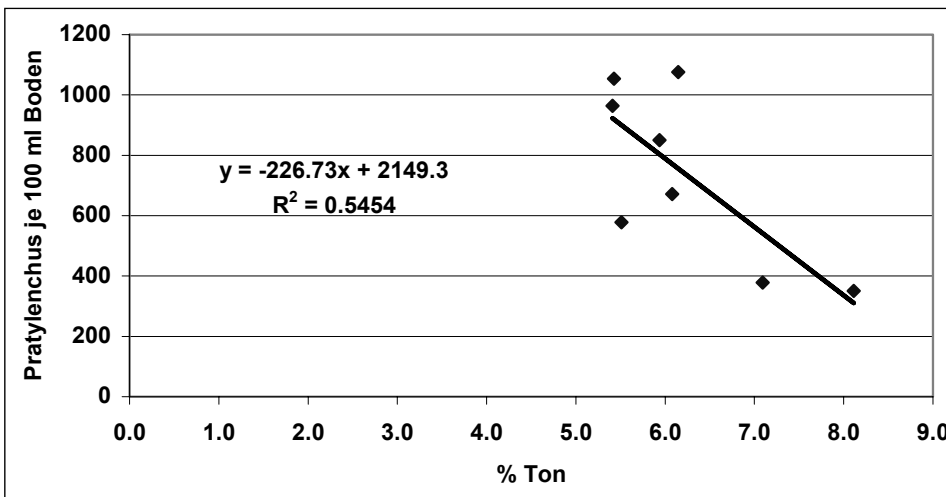


Abb. 8 und 9. Beziehung zwischen Sand- bzw. Tongehalten der Parzellen und den mittleren Abundanz von *Pratylenchus* spp. in Schwarzenau.

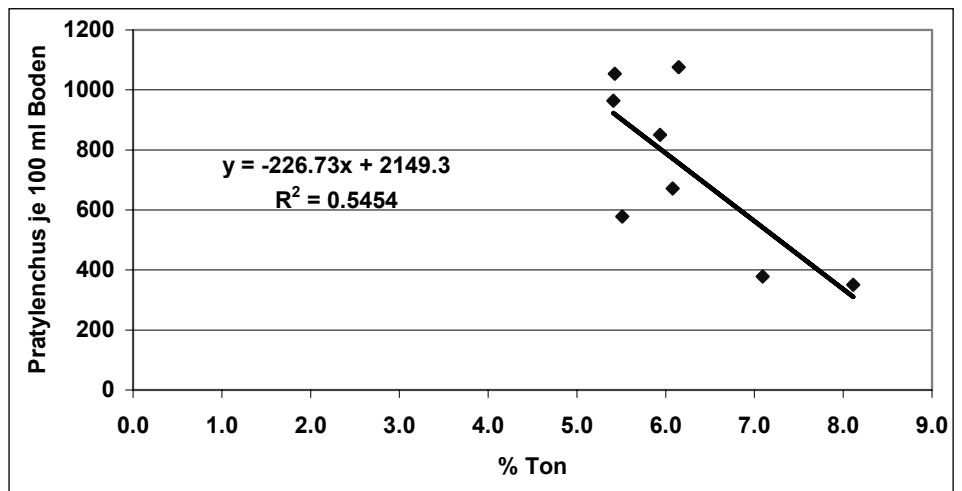
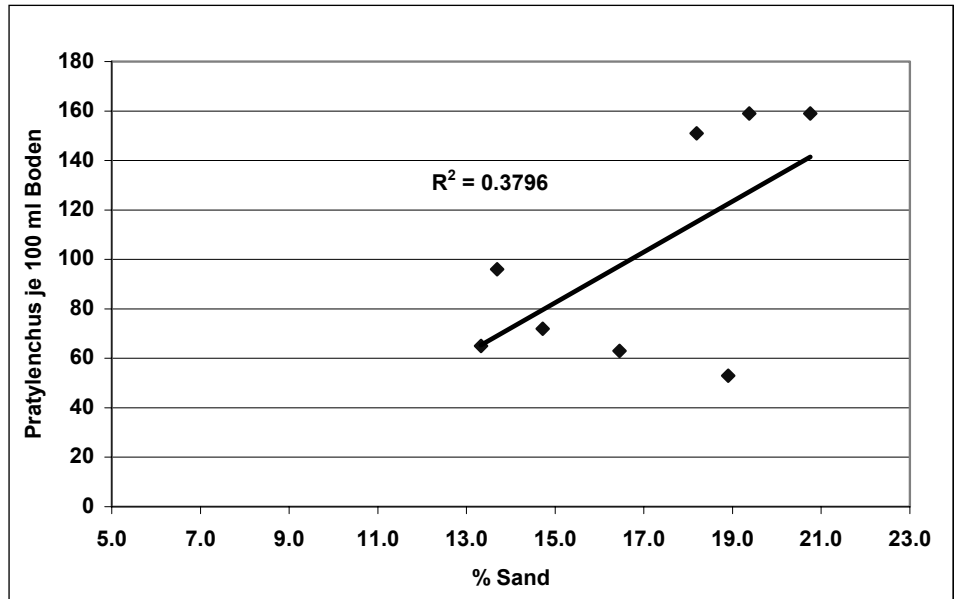
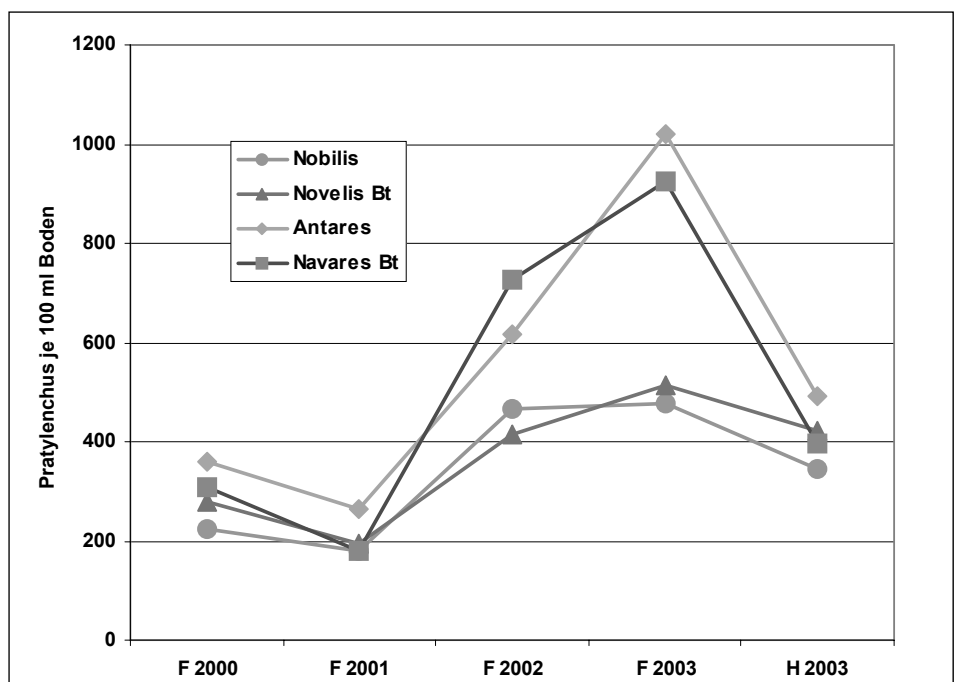


Abb. 10. Populationsdynamik von *Pratylenchus* spp. am Standort Bauermannshof; F = Frühjahrsbeprobung, H = Herbstbeprobung.



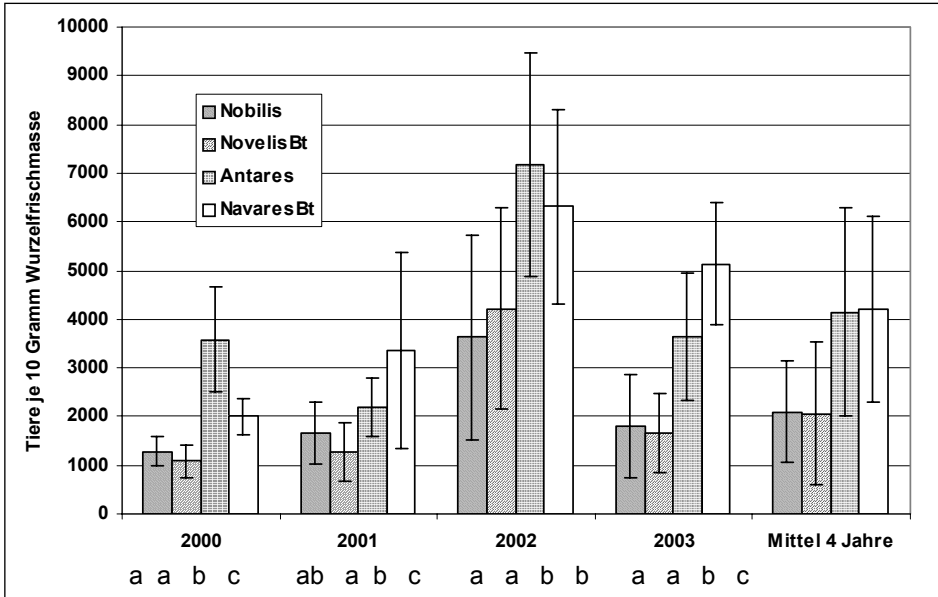


Abb. 11. Besatz der Maiswurzeln durch *Pratylenchus* spp. am Standort Baummannshof (Mittelwerte und Standardabweichung n = 20); Sorten mit unterschiedlichen Buchstaben in einem Jahr unterscheiden sich signifikant (SNK-Test p < 0,05).

vermutet werden, da diese Tendenz auch auf zwei anderen Standorten erkennbar war. Möglicherweise sind aber verschiedene Anteile von *P. penetrans*, *P. neglectus* und *P. crenatus* auf den Standorten eine weitere Ursache. Damit offenbart sich wohl die größte Schwierigkeit, die mit Feldversuchen und frei lebenden Nematoden verbunden ist.

Während in Gefäßversuchen in der Regel mit Pflanzen in neutralem Substrat gearbeitet wird und Nematoden nur einer bestimmten Art bzw. Herkunft inokuliert werden, sind diese Bedingungen auf Freilandflächen praktisch niemals vorhanden. Außerdem sind die Wirt-Parasit-Beziehungen bzw. der Populationsanstieg stark von Boden- und Witterungsbedingungen so-

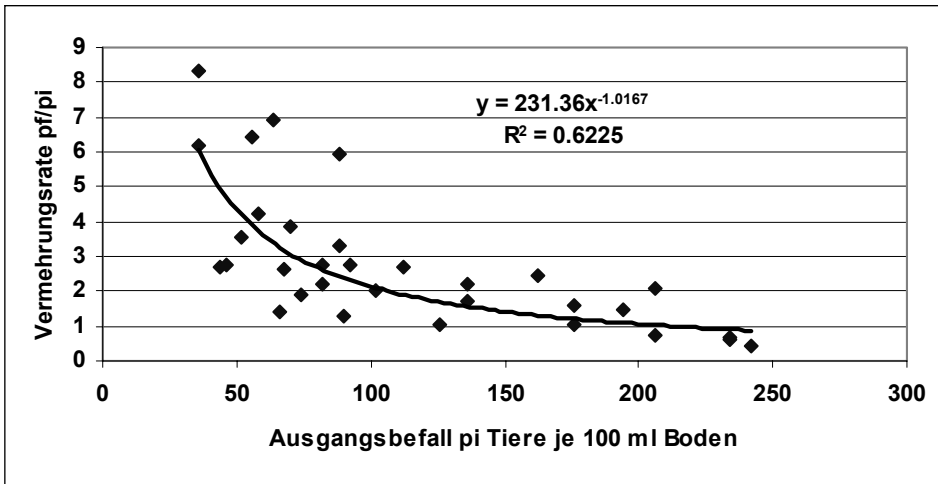
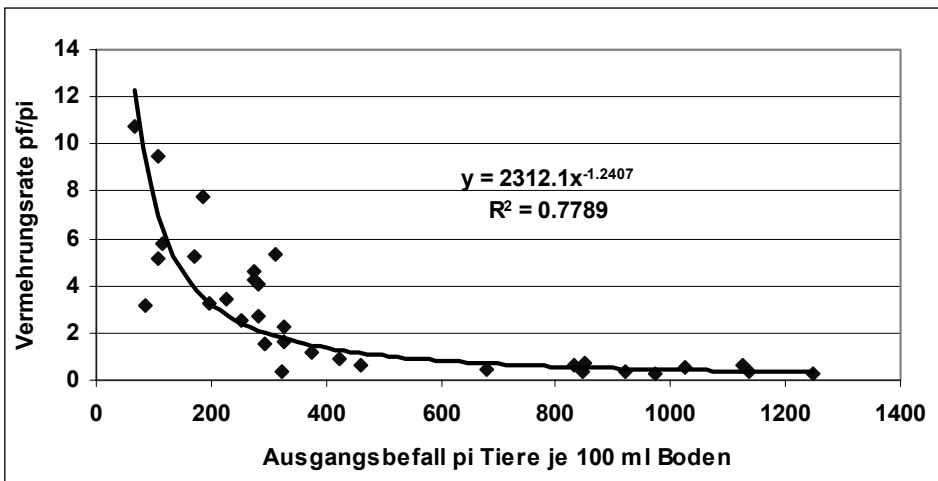


Abb. 12 und 13. Abhängigkeit der Vermehrungsrate von *Pratylenchus* spp. vom Ausgangsbefall an den Standorten Neuhof und Baummannshof in 2001 und 2003.



wie vom Ausgangsbefall abhängig (Abb. 12, 13). Ergebnisse von Feldversuchen mit Pratylenchen oder mit Stängelälchen (KNUTH, 2001), bei denen zusätzlich das Rassenproblem besteht, sind aus diesen Gründen schwer zu analysieren und müssen besonders vorsichtig interpretiert werden. Auch mangelt es, im Gegensatz zu zystenbildenden Nematoden, an standardisierten Untersuchungsmethoden, weshalb Ergebnisse verschiedener Versuchsansteller oft nur bedingt vergleichbar sind.

## Diskussion

Bei der Durchführung von Nematizidprüfungen sind Kompromisse erforderlich, die sowohl der technischen Durchführbarkeit als auch den biometrischen Voraussetzungen für einen Exaktversuch Rechnung tragen. Die erfahrungsgemäß großen Streuungen der Befallsdichten von Zysten nematoden auf einer Versuchsfläche stehen einer üblichen varianzanalytischen Versuchsauswertung entgegen. Mit einer Gegenüberstellung zweier Versuche und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen sollte beispielhaft gezeigt werden, dass eine Streifenanlage bei Versuchen mit Zysten nematoden trotz ihrer Schwächen bezüglich der statistischen Auswertung vertretbar ist. Der hier vorgestellte Vergleich erhebt jedoch keinen Anspruch einer statistischen Beweisführung, sondern beschreibt eine langjährige praktische Erfahrung. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, zur Beurteilung des Wirkungsgrades die Prüfung mit einer anfälligen Sorte durchzuführen. Bei sehr hohem Ausgangsbefall ist zu berücksichtigen, dass die Populationsdichte in den Kontrollen sogar abnehmen kann, während sie in den Behandlungen ansteigt.

Um Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber frei lebenden Nematoden nachzuweisen, sind Feldversuche in der Regel schlecht geeignet, da häufig verschiedene Arten einer Gattung vorkommen. In jedem Fall sollten für entsprechende Sortenhinweise mehrjährige Beobachtungen unter verschiedenen Standortverhältnissen vorliegen. Die Ergebnisse eines vierjährigen Projekts, welches sich u. a. mit *Pratylenchus* spp. und Mais befasste, zeigten einen hohen Einfluss der Bodentextur auf die Populationsdynamik von *Pratylenchus* spp., die darüber hinaus – wie bei Zysten nematoden – von der Höhe des Ausgangsbefalls und den Witterungsbedingungen bestimmt wird.

## Ausblick

Da für den europäischen Markt kaum mehr mit Neuzulassungen von Nematiziden zu rechnen ist, befassen sich Versuche in den letzten Jahren zunehmend mit Fragen zur Nematodenresistenz/Toleranz speziell von Kartoffelsorten und neuerdings auch von Zuckerrüben. Sehr umfangreiche und langjährige Ergebnisse von Freilandversuchen liegen dazu von LAUENSTEIN vor, der die entsprechende Testmethodik für Kartoffelzysten nematoden erarbeitet und publiziert hat (LAUENSTEIN, 1997). Im Gegensatz dazu ist bei anderen Fruchtarten über Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber nicht zystenbildenden Arten wenig bekannt. Wegen der vielfältigen Schwierigkeiten bei Feldversuchen mit frei lebenden Nematoden sollten bevorzugt weniger aufwändige, aber besser standardisierbare Screening-Methoden entwickelt werden, wie sie sich bei Kartoffel- oder Rübenzysten nematoden bewährt haben. Erste Ansätze sind dazu vorhanden (KEIL et al., 2005; KÜHNHOLD et al., 2005).

## Literatur

- ARNDT, M., K. ABDEL KADER, 2002: Monitoring zur Nematodenfauna bei Anbau von Bt-Mais. *Phytoprotektion* **32** (2), 50.
- ARNDT, M., 2006: Monitoring der Umweltwirkungen von *Bacillus thuringiensis*-Mais – Untersuchungen zu möglichen Effekten auf Nematoden. *Gesunde Pflanzen* **58** 67–74.
- HALLMANN, J., J. MÜLLER, 2004: Untersuchungen zur Resistenz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen gegen pflanzenparasitäre Nematoden und deren Bewertung im Rahmen der Sortenzulassung. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft* **396**, 294.
- HEINRICH, C., 2005: Prüfung von Zuckerrübensorten auf Toleranzeigenschaften gegenüber Rübenkopffälchen *Ditylenchus dipsaci*. Tagung des Arbeitskreises Nematologie der DPG in Groß Strömkendorf. *Phytoprotektion* **35** (2), 69–70.
- HEINRICH, C., P. KNUTH, 2004: Vermehrung von Rübenkopffälchen (*Ditylenchus dipsaci*) in nematodenresistenten Senf- und Ölrettichsorten. Erste Versuchsergebnisse aus dem Rheinland und Baden-Württemberg. *Phytoprotektion* **34** (4), 26.
- HESELBARTH, C., 2004: Zur Situation freilebender Nematoden in engen Getreide-Raps-Fruchtfolgen in Schleswig-Holstein. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft* **396**, 564–565.
- HIRLING, W., 1974: Schädliche Nematoden an Mais in Baden-Württemberg. *Anz. Schädlingskunde Pflanzenschutz, Umweltschutz* **47**, 65–71.
- KEIL, T., E. LAUBACH, C. JUNG, 2005: Selektion von Gerstenlinien mit Resistenz gegen *Pratylenchus* spp. Tagung des Arbeitskreises Nematologie der DPG in Groß Strömkendorf. *Phytoprotektion* **35** (2), 63–64.
- KIMPINSKI, J., W. J. ARSENAULT, J. B. SANDERSON, 1997: Fosthiazate for suppression of *Pratylenchus penetrans* in potato on Prince Edward Island. *Journal of Nematology* **29** (4S), 685–689.
- KNUTH, P., 2001: Toleranz und Resistenz von Maissorten gegenüber Stängel nematoden (*Ditylenchus dipsaci*). *Phytoprotektion* **31** (2), 95–96.
- KNUTH, P., 2006: Vermehrung von Rübenkopffälchen (*Ditylenchus dipsaci*) in nematodenresistenten Senf- und Ölrettichsorten – Versuchsergebnisse von 2005. Tagung des Arbeitskreises Nematologie der DPG in Braunschweig. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz* (im Druck).
- KRUSE, J., 2006: Populationsentwicklung und Schadwirkung von *Pratylenchus* spp. im Getreideanbau Mecklenburg-Vorpommerns. Tagung des Arbeitskreises Nematologie der DPG in Braunschweig. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz* (im Druck).
- KÜHNHOLD, V., R. A. SIKORA, S. KIEWNICK, 2005: Entwicklung eines Screening-Verfahrens zur Untersuchung von Zuckerrüben auf Resistenz/Toleranz gegenüber dem Rübenkopffälchen *Ditylenchus dipsaci*. Tagung des Arbeitskreises Nematologie der DPG in Groß Strömkendorf. *Phytoprotektion* **35** (2), 68.
- KÜTHE, K., J. RÖSSNER, 1978: Einsatz von Pflanzenschutzpräparaten gegen Phytoneematoden zur Ertragssicherung bei Mais. *Anz. Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* **51**, 102–107.
- LAUENSTEIN, G., 1997: Untersuchungen zur Resistenz und Toleranz ausgewählter Wirtschaftssorten von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) bei Befall mit Kartoffelnematoden (*Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens), Virulenzgruppe Pa2/3. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch.* **104** (4), 321–335.
- LEIPERTZ, H., S. VALDER, 2005: Neuer ernstzunehmender Rübenschädling. *Zuckerrübe* **54**, 260–263.
- MAASSEN, H., 1976: Schäden an Mais durch *Pratylenchus neglectus*. *Gesunde Pflanzen* **28**, 67–79.
- SCHLANG, J., 1989: Zur biologischen Bekämpfung des Weißen Rübenzysten nematoden (*Heterodera schachtii*) durch resistente Zwischenfrüchte. *Zuckerrübe* **38** 224–227.
- SCHÖNFELD, U., H. BRÖTHER, 2000: Zum Auftreten wandernder Wurzel nematoden im Getreidebau in Brandenburg. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft* **376**, 365.
- THOMAS, E., 1997: Resistente Ölrettich- und Senfsorten gegen Nematoden. *Zuckerrübe* **46**, 104–108.

Zur Veröffentlichung angenommen: Juni 2006

*Kontaktanschrift: LD Michael Arndt, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising, E-Mail: michael.arndt@lfl.bayern.de*