



# Mitteilungen

aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem

**Aktuelle Beiträge zur Nematodenforschung-**  
Zur Verabschiedung von Dir. und Prof. Dr. Joachim Müller

**Recent Advances in Nematology**  
Dedicated to Dir. und Prof. Dr. Joachim Müller

**Johannes Hallman**  
**Björn Niere**

Berlin 2006

Herausgegeben von der  
Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin und Braunschweig

ISSN 0067-5849  
ISBN 3-930037-25-4

# 404

**Dr. Johannes Hallmann**

Biologische Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde  
Toppheideweg 88  
48161 Münster

**Dr. Björn Niere**

Biologische Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde  
Toppheideweg 88  
48161 Münster

**Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme**

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei  
Der Deutschen Bibliothek erhältlich

ISSN 0067-5849

ISBN 3-930037-25-4

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 2006

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photo-mechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben bei auch nur auszugsweiser Verwertung vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts-gesetzes.

Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin.

## Inhalt - Contents

PELZ, H.-J. <b>Beruflicher Lebensweg von Dr. Joachim Müller</b> Curriculum vitae of Dr. Joachim Müller	3
HALLMANN, J. <b>Die Bedeutung der Nematoden in Geschichte und Wissenschaft</b> Importance of nematodes in history and science	6
STURHAN, D. <b>Zystenbildende Nematoden und verwandte Heteroderiden in Deutschland</b> Cyst-forming nematodes and related Heteroderidae in Germany	18
NIERE, B. <b>Zur Beurteilung der Resistenz von Kartoffelsorten gegen die Kartoffelzysten- nematoden <i>Globodera pallida</i> und <i>Globodera rostochiensis</i></b> On the assessment of resistance of potato varieties to the potato cyst nematodes <i>Globodera pallida</i> and <i>Globodera rostochiensis</i>	31
LAUENSTEIN, G. <b>Beiträge zur Ausprägung von Resistenz und Toleranz ausgewählter Wirtschaftssorten von Kartoffeln (<i>Solanum tuberosum</i> L.) bei Befall mit Kartoffelzystennematoden (<i>Globodera pallida</i> (Stone, 1973) Behrens), Virulenzgruppe Pa2/3</b> Remarks on the expression of resistance and tolerance in starch potato ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) cultivars against potato-cyst-nematodes ( <i>Globodera pallida</i> (Stone, 1973) Behrens), virulence group Pa2/3	40
HEINICKE, D.; WARNECKE, H. <b>Erfolgreiche Produktion von Zuckerrüben trotz Nematoden - ein weiter Weg</b> Successful production of sugar beets despite nematodes – a long way	48
ARNDT, M. <b>Über die Entwicklung von Prognosemodellen zur Populationsdynamik des Rübenzystennematoden <i>Heterodera schachtii</i></b> Development of simulation models for the population dynamics of the beet cyst nematode <i>Heterodera schachtii</i>	55
KNUTH, P. <b>Vermehrung von <i>Ditylenchus dipsaci</i> in nematodenresistenten und -anfälligen Senf- und Ölrrettichsorten</b> Reproduction of <i>Ditylenchus dipsaci</i> on susceptible and resistant mustard and fodder radish cultivars	61
GROBE, E. <b>Untersuchungen zu Getreidezystennematoden in Deutschland</b> Investigations on cereal cyst nematodes in Germany	67

SLAATS, B.E.; PATEL, A.; VORLOP, K.-D.; BEITZEN-HEINEKE, W.; HALLMANN, J.

**Wirksamkeit von verkapseltem *Hirsutella rhossiliensis* gegen  
*Heterodera schachtii* an Zuckerrüben**

75

Efficacy of encapsulated *Hirsutella rhossiliensis* to control the sugar beet cyst  
nematode *Heterodera schachtii*

KIEWNICK, S.; SIKORA, R.A.

**Neue Strategien zur biologischen Bekämpfung des Bananennematoden  
*Radopholus similis* (COBB) THORNE**

88

New strategies for the biological control of the burrowing nematode  
*Radopholus similis* (COBB) THORNE on banana

**PELZ, H.-J.**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Toppheideweg 88, 48161 Münster

## **Beruflicher Lebensweg von Dr. Joachim Müller**

### Curriculum vitae of Dr. Joachim Müller

Am 13. Juni 1941 wurde JOACHIM MÜLLER in Templin geboren. Seine Schulzeit bis zum Abitur verbrachte er in Bremen. Anschließend absolvierte er eine gärtnerische Lehre, im ersten Jahr in der Lehr- und Versuchsanstalt in Aurich Haxtum (inzwischen aufgelöst bzw. verlagert nach Rostrup/Bad Zwischenahn), im zweiten Jahr in der Baumschule Heinrich Bruns in Westerstede. Vor Aufnahme des Gartenbaustudiums an der Technischen Universität Hannover arbeitete J. MÜLLER als Gehilfe in einer Staudengärtnerei und bei einem Landschaftsplaner in Hamburg. Das Studium von 1963 bis 1968 (unterbrochen durch die Ableistung des zivilen Ersatzdienstes im Krankenhaus Peine) führte zu ersten Kontakten mit Nematoden, u. a. unterstützte er als wissenschaftliche Hilfskraft URS WYSS, der zu dieser Zeit gerade mit seiner Doktorarbeit begann. J. MÜLLERS Diplomarbeit, die auch experimentelle Untersuchungen einschloss, behandelte pflanzenparasitäre Nematoden in Baumschulen.



Betreut von Prof. ECKART MEYER folgte zwischen November 1968 bis Mai 1972 die Promotion am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover. Der Titel seiner Dissertation lautete: „Untersuchungen über Wechselwirkungen zwischen *Pratylenchus penetrans* (COBB, 1917) CHITWOOD und OTEIFA, 1952 und *Verticillium albo-atrum* REINKE und BERTHOLD“. An diese Zeit, die durch unkonventionelle Arbeitszeiten und denkwürdige Institutsfeiern geprägt war, erinnert sich J. MÜLLER auch heute noch besonders gerne. „Nebenbei“ wurde geheiratet und es wurden zwei Kinder geboren!

Von 1972 bis 1975 war Dr. MÜLLER wissenschaftlicher Assistent am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. In diese Zeit fiel auch ein einjähriger Forschungsaufenthalt zur Untersuchung der Wechselwirkung von *Meloidogyne* spp. mit verschiedenen Pilzen an der „Station de Recherches sur les Nématodes“ (INRA) in Antibes in Südfrankreich im Rahmen eines Stipendiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Geblieben ist aus dieser Zeit die Verbundenheit mit Land, Leuten, Sprache und Kultur.

Am ersten April 1975 wechselte er an das „Institut für Hackfruchtkrankheiten und Nematodenforschung“ der BBA in Münster. Zunächst wurde er Mitarbeiter von Dr. DIETER STURHAN in einem von der DFG geförderten Projekt, ab 1. Juli 1976 dann als wissenschaftlicher Mitarbeiter fest angestellt. Von Dr. WERNER STEUDEL übernahm er das Arbeitsgebiet und die Begeisterung für die Rübenzystennematodenforschung. Ende der 1970er Jahre war die Züchtung nematodenresistenter Ölrettichsorten soweit entwi-

ckelt worden, dass erste Gefäß- und Feldversuche durchgeführt werden konnten. 1980 wurde die erste Sorte als resistent anerkannt und resistente Zwischenfrüchte bildeten jahrelang den Schwerpunkt der Forschungsarbeiten. Gemeinsam mit Dr. JOSEF SCHLANG, der ab 1982 in die Außenstelle des Instituts in Elsdorf eintrat, gelang es J. MÜLLER in den folgenden Jahren, die Nematodenbekämpfung mit Hilfe resistenter Zwischenfrüchte praxistauglich zu machen. Mit dem neuen Verfahren wurde es möglich, den Verlust chemischer Pflanzenschutzmittel, die nicht mehr zugelassen wurden, vollständig zu kompensieren. Aus der Not geboren war es ein vorweggenommenes „Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz“. Es war besonders dieses Thema, das auch im Ausland auf großes Interesse stieß und Dr. MÜLLER zu Fachvorträgen in fast alle europäischen Länder und in die USA führte. Daraus entwickelte sich eine langfristige Zusammenarbeit mit Kollegen in vielen Ländern, insbesondere in den Niederlanden, in Frankreich, Belgien, Großbritannien und Italien, die zum Teil bis heute fortgeführt wird.

Ein weiterer Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit von Dr. MÜLLER während seiner gut dreißigjährigen Tätigkeit in Münster war die Weiterentwicklung und Verbesserung der Methoden zur Erfassung von Nematoden einschließlich der statistischen Grundlagen zur Absicherung der Ergebnisse. Durch kontinuierliche Vergleichsuntersuchungen mit den Pflanzenschutzdienststellen der Bundesländer gelang es, einen methodischen Standard zu etablieren. Der Austausch mit den Fachkollegen, der zunächst nur unregelmäßig und projektbezogen stattfand, wurde ab 1990 zu einem jährlich stattfindenden Treffen der Fachreferenten für Nematologie im Wechsel in verschiedenen Bundesländern.

Im April 1985 wurde Dr. JOACHIM MÜLLER in Nachfolge von Dr. BERNHARD WEISCHER zum Leiter des Instituts in Münster ernannt. Damit übernahm er nun auch die Aufgabe, das dem Institut seit 1979 angegliederte Fachgebiet Wirbeltierkunde nach innen und außen zu vertreten. Die Arbeiten im Wirbeltierbereich befassten sich u. a. mit Schäden durch Waldmäuse, *Apodemus sylvaticus*, an der Zuckerrübensaat. Über umfangreiche Untersuchungen zur Nahrungsökologie wurde Ende der 1980er Jahre eine unkonventionelle aber sehr effiziente Strategie der Bereitstellung von Ablenkungsfütterung zur Vermeidung der Saatschäden entwickelt. Ein großes Thema war seit dem Anwendungsverbot von Endrin die Abwehr von Wühlmausschäden, die insbesondere im Obstbau erhebliche wirtschaftliche Probleme verursachen. In mehreren Projekten, zuletzt im Rahmen des Bundesprogramms ökologischer Landbau, wurden und werden hier Lösungen erarbeitet. Seit 1990 kam angesichts regional zunehmender Probleme bei der Rattenbekämpfung die Rodentizidresistenzforschung als weiterer Schwerpunkt hinzu, die im Jahre 2004 in Kooperation mit Kollegen vom Institut für Humangenetik der Universität Würzburg zur Identifikation des Basisresistenzgens für Antikoagulantienresistenz bei Menschen und Nagern führte. Im Zusammenhang mit Untersuchungen zu Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtziel-Wirbeltiere (z. B. Igel und Schneckenkorn) erwarb das Institut im Jahre 1995 die Berechtigung zur Durchführung von umwelttoxikologischen Prüfungen nach den Richtlinien der Guten Laborpraxis (GLP), die seither mehrfach bestätigt wurde. In der Nematologie wurden während der 21 Jahre, in denen DR. MÜLLER das Institut leitete, u. a. in der Nematodentaxonomie wesentliche Fortschritte erzielt durch Beschreibung neuer Arten und Ausbau der Deutschen Nematodensammlung (DNST). Die klassische Taxonomie wurde durch die Einführung moderner molekularer Techniken ergänzt und gestärkt. Neue Verfahren zur Sortenprüfung auf Resistenz gegen Zysten- und Wurzelgallennematoden wurden entwickelt und umfangreiche Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von pflanzenparasitären Nematoden durchgeführt.

Neben der Institutsleitung gelang es J. MÜLLER, weiterhin auch selbst forschend tätig zu sein. Im Zusammenhang mit der Forschung über Resistenz in Zuckerrüben gegen Rübenzystennematoden erreichte er Anfang der 1990er Jahre mit dem Nachweis Resistenz brechender Pathotypen, der Differenzierung mehrerer Resistenzgene und der Umsetzung dieser Erkenntnisse in die Anbaupraxis einen weiteren Höhepunkt seiner wissenschaftlichen Forschungstätigkeit. In enger Zusammenarbeit mit dem Bundessortenamt fanden die Ergebnisse der Resistenzforschung Eingang in die Sortenzulassung.

J. MÜLLER ist Mitglied der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft, deren Vorstand er für einige Jahre angehörte. Die Ergebnisse seiner Arbeiten hat er in mehr als 130 Publikationen, Buchbeiträgen und wissenschaftlichen Vorträgen vorgestellt. Viele Forschungsprojekte wurden in Zusammenarbeit mit Fachkollegen an den Universitäten, insbesondere in Bonn, Göttingen, Kiel, Hannover und Gießen durchgeführt, wobei Diplomanden und Doktoranden in Münster betreut wurden. An der Universität Göttingen wirkte er von 1993 bis 2002 bei der Ausbildung der Studenten an der landwirtschaftlichen Fakultät mit, indem er jährlich einen Kurs „Nematologie“ im Hauptstudium abhielt.

J. MÜLLER leitete „sein“ Institut mit großer fachlicher Kompetenz und einem freundlichen und partnerschaftlich-kollegialen Stil. In kritischen Zeiten der Umstrukturierung und den damit verbundenen personellen Engpässen verstand er es mit einem guten Blick für das unabdingbar Notwendige, die Arbeitsfähigkeit des Instituts zu erhalten. Unter seiner Leitung erfreute sich das Institut auch international hoher Anerkennung. Seiner Initiative ist es auch ganz wesentlich zu verdanken, dass das Institut heute über hervorragende Versuchseinrichtungen und eine hochwertige technische Ausstattung verfügt.

Nach wie vor ist J. MÜLLER begeisterter Gärtner und „Energiewirt“ im häuslichen Bereich. Schon zu Beginn der 1980er Jahre fertigte er in Eigenarbeit seine erste thermische Solaranlage zur Warmwassergewinnung und Heizungsunterstützung. Von den Köstlichkeiten aus seinem Gewächshaus und Garten, von seiner Frau Ingrid liebevoll zubereitet und mit französischem Wein serviert, weiß jeder zu berichten, der einmal seine Gastfreundschaft genossen hat. Die Autoren dieses Heftes, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Nematologie und Wirbeltierkunde sowie die Kolleginnen und Kollegen aus der BBA und dem Pflanzenschutzdienst gratulieren herzlich zum 65. Geburtstag, danken DR. JOACHIM MÜLLER für seine erfolgreiche Arbeit und wünschen ihm für den verdienten Ruhestand vor allem gute Gesundheit und Zeit für Familie und Freunde, Reisen sowie für seine vielfältigen Interessen.

HANS-JOACHIM PELZ,

Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der BBA, Münster, im Juni 2006

**HALLMANN, J.**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Toppheideweg 88, 48161 Münster; e-mail: j.hallmann@bba.de

**Die Bedeutung der Nematoden in Geschichte und Wissenschaft**

Importance of nematodes in history and science

**Einleitung**

Der Begriff Nematoden (nema = Faden, oides = ähnlich) wurde erstmals durch RUDOLPHI (1808, 1809) erwähnt, der verschiedene Rundwürmer zur Gruppe „Nematoidea“ zusammenfasste und die einzelnen Tiere „Nematoden“ nannte. Als Bezeichnung für das Arbeitsgebiet der Nematologie wurden der Begriff dann 1932 von Nathan COBB eingeführt. Über 80 Prozent aller mehrzelligen tierischen Organismen auf dieser Welt sind Nematoden. Keine andere Tiergruppe hat eine solch weite Verbreitung wie Nematoden. Knapp 30.000 Arten wurden bisher beschrieben, aber vorsichtige Schätzungen gehen von 100.000 bis 10 Millionen Arten aus. Sie bevölkern die Erde seit über 500 Millionen Jahren und doch weiß man recht wenig über sie. Einzelne Arten zählen zwar zu den am besten untersuchten Lebewesen auf dieser Erde (z. B. *Caenorhabditis elegans*, *C. briggsae*), aber die Masse der Nematoden ist bis heute unentdeckt. Warum nur wissen wir so relativ wenig über Nematoden? NATHAN COBB (1859-1932), einer der ersten großen Nematologen, gibt hierfür eine recht anschauliche Erklärung: „Nematodes do not furnish hides, horns, tallow, or wool. They are not fit for food, nor do they produce anything fit to eat; neither do they sing or amuse us in any way; nor are they ornamental – in fact, when they are displayed in museums the public votes them hideous. Lacking in all these respects, they fail even in furnishing any moral or praiseworthy example; they are not known to be industrious like the ant, or provident like the bee, indomitable like the spider, or frugal, or honest, or anything else that is admirable. What claim, then, one may ask, can such beings lay to our attention“ (COBB, 1914). Ich denke, Nematoden haben sehr wohl in vielen Bereichen Aufmerksamkeit erregt und einige dieser Bereiche möchte ich im folgenden kurz vorstellen.

**Allgemeine Bedeutung der Nematoden**

Die Bedeutung der Nematoden im Allgemeinen wusste NATHAN COBB recht anschaulich auszudrücken: „If all the matter in the universe except the nematodes were swept away, our world would still be dimly recognizable, and if, as disembodied spirits, we could then investigate it, we should find its mountains, hills, vales, rivers, lakes, and oceans represented by a film of nematodes. The location of towns would be decipherable, since for every massing of human beings there would be a corresponding massing of certain nematodes. Trees would still stand in ghostly rows representing our streets and highways. The location of the various plants and animals would still be decipherable, and, had we sufficient knowledge, in many cases even their species could be determined by an examination of their erstwhile nematode parasites (COBB, 1914).

**Nematoden in Sprache, Politik und Philosophie**

„Nematode“ ist ein recht junger Begriff und außerhalb der Wissenschaften kaum gebräuchlich. Der ursprüngliche Begriff „Würmer“ ist dagegen deutlich weiter verbreitet. So begegnet man dem „Wurm“ in der Sprache in vielfältiger Form, indem man z. B. sagt „Das wurmt mich“ oder „Der arme Wurm“. Weitere Beispiele wären „Der frühe Vogel fängt den Wurm“, „Wer Würmer hat, ist nie allein“ oder „Der Wurm ist das Maß der Dinge“. Aber auch in der Politik oder der Philosophie begegnet man dem „Wurm“. Kein geringerer als der deutsche Philosoph Immanuel Kant (1724-1804) sagte einst „Wer sich zum Wurm macht, der soll nicht klagen, wenn er getreten wird“. Hier wird der Wurm als minderwertiges Geschöpf angesehen, dass wie selbstverständlich getreten wird. Ganz anders dagegen der Ausspruch des US-amerikanischen Staatsmannes, Schriftstellers und Wissenschaftlers Benjamin Franklin (1706-1790): „Ein wahrhaft großer Mann wird weder einen Wurm zertreten, noch vor dem Kaiser kriechen“. Der Wurm auf eine Ebene mit dem Kaiser, denn mit gleichermaßen Respekt sollte man allem Leben begegnen. Aber es gibt auch Amüsantes aus der Politik zu berichten, wie z. B. von Winston Churchill (1874-1965), der einst sagte: „Wir sind alle Würmer, nur glaube ich, dass ich ein Glühwürmchen bin“. Als leuchtende Gestalt erhebt sich Winston Churchill über seine Mitmenschen.



## Nematoden in der Literatur

Die Anzahl literarischer Werke, in denen Nematoden auftreten, ist wohl eher als gering zu erachten. Die vermutlich erste schriftliche Erwähnung von Nematoden stammt aus China, ist 4.700 Jahre alt und behandelt den Darmparasiten *Ascaris*. Auf *Ascaris* wie auch den Medinawurm *Dracunculus medinensis* wird im sogenannten Ebers' Papyrus aus Ägypten vor über 3.500 Jahre verwiesen. Eine besonders ergiebige Quelle ist die Bibel. Allein das Alte Testament würde eine eigene Arbeit zu den Begriffen „Wurm“, „Gewürm“ oder „Würmer“ rechtfertigen. So heißt es z. B. im Buch Judith Kapitel 16, Vers 17: „Am Tag des Gerichts strafte sie der allmächtige Herr, er schickt Feuer und Würmer in ihr Gebein“. Feuer als Symbol für eine Entzündung zusammen mit Würmern im Bein kann nur als Hinweis auf den Medinawurm *Dracunculus medinensis* gedeutet werden. Dieser gefürchtete Humanparasit war seinerzeit weit verbreitet in Ägypten und weiteren Teilen Nordafrikas.

Auch der Phytoneematologe kommt nicht zu kurz. Als sich Jona im Buch Jona, Kapitel 4, Vers 7 auf Gottes Mission vor der glühenden Sonne wohl etwas zu lange unter einem Rizinusstrauch ausruhte, geschah folgendes: „Als aber am nächsten Tag die Morgenröte heraufzog, schickte Gott einen Wurm, der den Rizinusstrauch annagte, so dass er verdorrte“. Eine Insektenlarve kann nicht gemeint sein, denn die verursacht primär Fraßschäden. Vielmehr muss es sich um einen Schaderreger handeln, der die Wurzeln schädigt, so dass diese kein Wasser mehr aufnehmen können und die Pflanze welkt. Als Verursache kommt somit eigentlich nur *Rotylenchulus reniformis* in Frage, ein Hauptschaderreger an Rizinus. Somit ist dies einer der frühesten Hinweise auf einen pflanzenparasitären Nematoden überhaupt.

Vereinzelt stößt man auch in der modernen Literatur auf Nematoden, so zum Beispiel in dem Kriminalroman „Fräulein Smilla's Gespür für Schnee“ von PETER HOEG (1994). Der Junge, der sich aus Angst und Verzweiflung vom schneebedeckten Dach des Hauses stürzte, war vermutlich von dem Polarwurm *Dracunculus borealis* infiziert und musste deshalb sterben. Auch wenn der Gattungsname *Dracunculus* wissenschaftlich korrekt ist, so handelt es sich bei der Art *D. borealis* doch um ein Fabelwesen der nordischen Mythologie.

## Ursprung des Äskulapstabes

Ein weiteres Beispiel für die Bedeutung der Nematoden ist in der Erklärung des Äskulapstabs zu sehen. Der Äskulapstab als Symbol der Heilkunst wird von verschiedenen Berufsgruppen genutzt: Ärzte, Veterinärmediziner, Apotheker und Phytomediziner (Abb. 1). Doch was stellt der Äskulapstab eigentlich dar? Es ist das Symbol des Heilgottes Äskulap bzw. griechisch korrekt Asklepios. Im Altthrakischen bedeutet „as“ die Schlange und „klepi“ etwas umwinden, wie zum Beispiel einen Stab. Doch was hat dies mit Heilkunst zu tun? Eine Hypothese besagt, dass dieser Zusammenhang in der Schlange selber zu sehen ist. Sie steht für die Tugenden des Arztes und die Vorzüge der Medizin: für die Verjüngung durch Häutung sowie für Heilkraft, denn aus Schlangenfleisch und –gift wurden zahlreiche Pharmaka hergestellt. Aber erklärt dies wirklich die Symbolik des Äskulapstabs oder zeigt dieser nicht vielmehr eine jahrtausend alte Heilmethode? In einem der vorherigen Kapitel wurde der Medinawurm *Dracunculus medinensis* als ein weit verbreiteter Humanparasit in Ägypten und Nordafrika vorgestellt. Larven dieses humanparasitären Nematoden werden über das Trinkwasser aufgenommen. Die Larven durchdringen die Darmwand und setzen sich in der Lymphe fest. Mit zunehmendem Größenwachstum von bis zu 1 m Länge wandern sie in das Unterhautgewebe der Beine. Bei Abkühlung, wie z. B. bei Kontakt mit Wasser, dringen die Weibchen an die Oberfläche der Haut, es kommt zu einer kreisrunden Entzündung und die Weibchen geben hunderttausende Larven nach außen ab. Das Herausstrecken des Kopfes ist der Zeitpunkt für ihre Bekämpfung. Hierzu nimmt man einen feinen Stab, spaltet ihn ein Stück und klemmt den Kopf des Medinawurms ein. Durch vorsichtiges Drehen des Stabes, der Nematode darf nicht abreißen da es dann zu Entzündungen kommen kann, wird der Medinawurm langsam aufgerollt (Abb. 2). Je nach Länge der Tiere kann dieser Vorgang 3-5 Wochen dauern. Somit ist der um den Holzstab gewickelte Medinawurm der echte Ursprung des Äskulapstabs – zumindest für uns Nematologen.



**Abb. 1** Verwendung des Äskulapstabs von verschiedenen Berufsgruppen



**Abb. 2** Aufrollen des Medinawurms *Dracunculus medinensis* mit einem Stab  
(Quelle: <http://www.medizin.uni-tuebingen.de/tropenmedizin/dracunculus.jpg>).

### Fossile Nematoden

Mit dem Auftreten der Wirbellosen vor ca. 500 Millionen Jahren traten auch die ersten Nematoden auf. Im Vergleich hierzu ist das erdgeschichtliche Alter anderer Tierformen noch recht jung: Wirbeltiere gibt es seit 350 Millionen Jahren, Amphibien und Insekten seit 250 Millionen Jahren, Säugetiere und Vögel seit 150 Millionen Jahren und den Menschen gerade einmal seit 500.000 Jahren. Da Nematoden in den meisten Fällen winzig klein sind und als Wirbellose weder über ein Außen-, noch ein Innenskelett verfügen, gibt es in der Regel keine Fossilien, die auf prähistorische Lebensformen hinweisen könnten. Eine Ausnahme sind in Bernstein (= Baumharz) konservierte Nematoden. Bereits 1860 berichtet Von Heyden über einen so konservierten Mermithiden. Die ältesten Funde von Nematoden in Bernstein reichen ca. 40 Millionen Jahre zurück, wie z. B. einen entomopathogenen Nematoden, der gemeinsam mit seinem Wirtsinsekt in Bernstein erhalten ist (POINAR, 1977). Der älteste Nachweis eines pflanzenparasitären Nematoden in Bernstein ist 26 Millionen Jahre alt: eine *Aphelenchoides*-Art, die vermutlich an Pflanzen und Pilzen parasitierte (POINAR, 1983) (Abb. 3).

Eine weitere Quelle für frühgeschichtliche Nematodenfunde sind mumifizierte Menschen, wie z. B. die Pharaonen in Ägypten oder die Trockenmumien, sogenannte „Mummies“, der Atacama-Wüste in Südamerika. Aber auch in Kältemumien können Nematoden überdauern. So erlangte Anfang der 1990er Jahre der Fund von „Ötzi“, einer ca. 5.200 Jahre alten mumifizierten Leiche, gefunden im Similaun-Gletscher nahe der österreichisch-italienischen Grenze, besondere Aufmerksamkeit (Abb. 4). Was diesen Fund für den Nematologen so interessant machte, war der Nachweis des Peitschenwurms *Trichuris trichiura*. Dieser Fund ist der erste bzw. älteste Nachweis des Peitschenwurms in Europa.

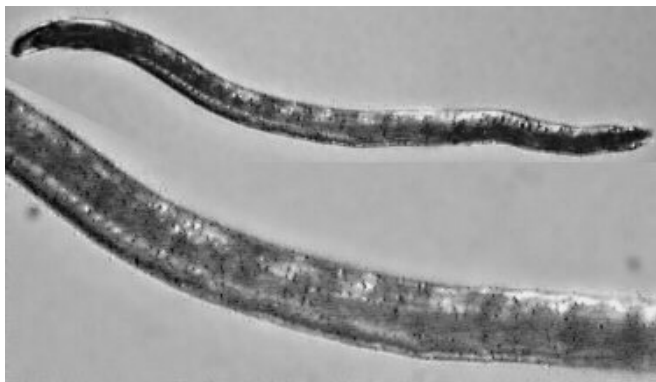


Abb. 3 Nematode in Bernstein (Quelle: Internet)



Abb. 4 Gletschermumie „Ötzi“ (Quelle: Internet)

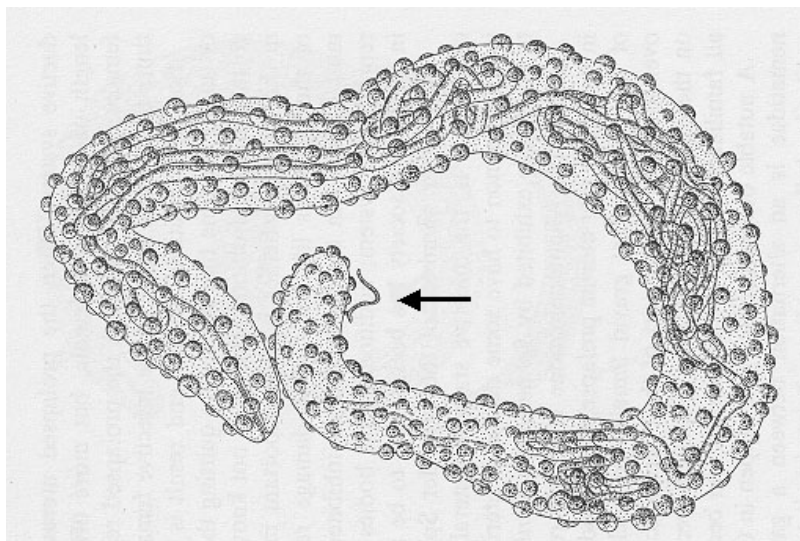
### Nematoden in der Naturwissenschaft

Noch Anfang des 20. Jahrhunderts hatten Nematoden wie auch Würmer in der Wissenschaft einen schweren Stand. Zu Würmern heißt es in BREHMS TIERLEBEN, 4. Auflage 1928: „Kein Tierstamm hat eine so bewegte Geschichte hinter sich wie der der Würmer. Früher stellte man alles, was nirgends sonstwo untergebracht werden konnte, einfach zu den Würmern, so daß dieser Tierkreis mit Recht als die „Rumpelkammer des zoologischen Systems“ bezeichnet wurde“. Warum war dies so? Eine Ursache mag sicherlich die ungenaue Auslegung des Begriffes „Würmer“ sein. „Würmer“ im zoologischen Sinne ist als Oberbegriff für wirbellose Tiere von wurmförmiger Gestalt und bilateral symmetrischem Aufbau zu sehen. Dahinter verbergen sich zahlreiche Tierstämme (z. B. Nematoden), so dass „Würmer“ eine der heterogensten Gruppen im zoologischen System darstellen.

Die frühen Nachweise von Nematoden beziehen sich ausschließlich auf Human- und Tierparasiten, die aufgrund ihrer Größe von wenigen Zentimetern (z. B. *Wucheria bancrofti*, *Trichinella spiralis*) bis zu 80 cm (*Dracunculus medinensis*) leicht zu erkennen waren. Die Mehrzahl der Nematoden sind aber kleiner als 1 mm und entzogen sich aufgrund ihrer mikroskopischen Größe lange Zeit ihrer Entdeckung. Erst mit der Entwicklung des Mikroskops durch LEEUWENHOEK im Jahr 1650 war es möglich, diese Nematoden nachzuweisen. Bereits 1656 entdeckte PETRUS BORELLUS den Essignematoden *Turbatrix aceti* (MÜLLER, 1783) PETERS, 1927 und 1667 folgte der Nachweis des bakteriophagen Nematoden *Panagrellus redivivus* (Linne, 1767) GOODEY, 1945 durch ROBERT HOOKE. Erst über 100 Jahre später erfolgte dann die erste Beschreibung eines pflanzenparasitären Nematoden (siehe unten).

### Rekorde in der Nematologie

Die insgesamt kleinsten Nematoden aus der Gattung *Micronema* messen gerade einmal 80 µm, die kleinsten pflanzenparasitären Nematoden aus der Gattung *Sphaeronema* ca. 150 µm. Der größte Nematode mit bis zu 8 m Länge ist *Placentonema gigantissimum*, der in der Placenta von Walen vorkommt (GUBANOV, 1951). Einen in der Natur einzigartigen Vermehrungstypus entwickelte der insektenpathogene Nematode *Sphaerularia bombi*. Die geschlechtsreifen Weibchen dieser Art stülpen ihren Uterus nach außen und dieser vergrößert sich dann auf das 20.000fache Volumen des Weibchens, um durch eine hohe Nachkommenschaft das Überleben der Art zu sichern (Abb. 5). Bei einigen Humanparasiten aus der Gattung *Ascaris* legt ein einzelnes Weibchen bis zu 25 Millionen Eier insgesamt und 100.000 Eier pro Tag. Demgegenüber erscheint die Fruchtbarkeit pflanzenparasitärer Nematoden mit 300-500 Eiern pro Weibchen recht gering. Nematoden können extreme Belastungen aushalten. Untersuchungen an *Caenorhabditis elegans* zeigten, dass dieser Nematoden Zentrifugalkräfte von 100 g, also der 100fachen Erdbeschleunigung, über 4 Tage ohne Probleme überlebt. Selbst Kräfte bis zu 100.000 g können Nematoden natürlicherweise überstehen. Demgegenüber kann der Mensch ohne entsprechenden Schutzanzug gerade einmal bis zu 3 g aushalten und dies auch nur kurzfristig. Ab 10 g tritt der Tod ein, da die Blutversorgung des Gehirns nicht mehr gewährleistet ist.



**Abb. 5** Weibchen von *Sphaelularia bombi* (Pfeil) mit stark vergrößertem Uterus (Maggenti, 1981).

### Nematoden im Weltall

Am 1. Februar 2003 explodierte die Raumfähre Columbia 60 km über Texas (Abb. 6). An Bord sieben Astronautinnen und Astronauten, die auf tragische Weise ums Leben kamen. Der US-Präsident Georg Walker Bush sagte damals „Columbia’s lost. There are no survivors“. Doch Georg Walker Bush hatte sich mal wieder geirrt (wen wundert’s, er ist ja kein Nematologe). An Bord der Raumfähre, in der Raumkapsel bei den Astronauten, befanden sich 5 schwarze Kisten. Als man diese Kisten nach dem Absturz fand, stellte man sie zur Seite, da man sich von ihrem Inhalt nichts wichtiges versprach. Als man nach vier Wochen die Kisten öffnete, war die Überraschung groß. In den Kisten befanden sich Petrischalen mit lebenden Nematoden der Art *Caenorhabditis elegans* MAUPAS, 1900. Die Nematoden hatten sich vermehrt und zeigten ein normales Verhalten. Sie dienten an Bord der Raumfähre für wissenschaftliche Experimente zur Genexpression unter Schwerelosigkeit. Aus den Ergebnisse erhoffte man sich mögliche Auswirkungen auf den Menschen bei langfristigen Aufenthalten in Schwerelosigkeit (z. B. Raumstation). Für den Phytoneematologen stellt sich abschließend noch die Frage, wie bekämpfe ich einen Nematoden, der sogar den Absturz einer Raumfähre überlebt?



**Abb. 6** Explosion der Columbia-Raumfähre über Texas (Quelle: [http://i.cnn.net/cnn/2004 / TECH/space/01/29/sprj.colu.anniversary/ story.flash.amateur.jpg](http://i.cnn.net/cnn/2004/TECH/space/01/29/sprj.colu.anniversary/story.flash.amateur.jpg)).

## Pflanzenparasitäre Nematoden

Zu den bedeutenderen Nematoden zählen sicherlich die pflanzenparasitären Nematoden, da sie unsere Kulturpflanzen in beträchtlichem Maße schädigen können und hohe wirtschaftliche Verluste verursachen, wie es in BREHMS TIERLEBEN (1928) so anschaulich beschrieben ist: „Andere wiederum sind bösartige und außerordentlich schwer zu bekämpfende Feinde unserer Feldfrüchte, ..., die in feuchten Jahren namentlich, wenn die dörrende Sonne nicht große Massen der Wurmb Brut vernichtet, bedeutenden Schaden anrichten. Außerordentlich groß ist die Fruchtbarkeit dieser Tiere, die an Zahlen aus der Inflationszeit grenzt“.

Zu den bekannteren Schadbildern zählen unter anderem nesterartige Fehlstellen wie sie zum Beispiel durch den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* oder den Stock- und Stängelnematoden *Ditylenchus dipsaci* in Zuckerrüben verursacht werden. Beide Arten wurden erstmals im Rheinland beschrieben: *Ditylenchus dipsaci* im Jahre 1857 von JULIUS KÜHN (1825-1910), der diesen Nematoden während seines Studiums an der Poppelsdorfer Akademie für Landwirtschaft im Botanischen Garten an der Weberkarder *Dipsacus fullonum* L. beobachtete und *Heterodera schachtii* von dem Archidiakon SCHMIDT, der ihn nach dem Bonner Botaniker Hermann Schacht benannte, der diesen Nematoden erstmals 1859 untersuchte. Dies waren erst die vierte und fünfte Beschreibung eines pflanzenparasitären Nematoden überhaupt.

Erste pflanzenparasitäre Nematoden: Der erste mikroskopische Nachweis pflanzenparasitärer Nematoden erfolgte durch John Turbevill Needham aus England. Bei den von NEEDHAM im Jahr 1743 beobachteten Nematoden in Weizenkörnern handelte es sich um den Weizengallennematode *Anguina tritici* (STEINBUCH, 1799) FILIPJEV, 1936. In immer kürzeren Abständen folgten die Beschreibungen weiterer Arten, zuerst an oberirdischen, ab 1871 dann auch an unterirdischen Pflanzenorganen:

- *Anguina agrostis* (STEINBUCH, 1799) FILIPJEV 1936
- *Anguina graminis* (HARDY, 1850) FILIPJEV 1936
- *Ditylenchus dipsaci* (KÜHN, 1857) FILIPJEV 1936
- *Heterodera schachtii* SCHMIDT, 1871
- *Subanguina radicola* (GREEFF, 1872) PARAMONOV 1967.

Wurzelgallennematoden wurden erstmals 1855 an Gurke durch BERKELEY beschrieben. Die ursprünglich als *Anguillula marioni* CORNU, 1879 und später als *Meloidogyne marioni* (CORNU, 1879) CHITWOOD und OTEIFA, 1952 bezeichnete Art gilt jedoch als *species inquirenda*. Damit ist *Meloidogyne javanica* (TREUB, 1885) CHITWOOD, 1949 die älteste Art in der Gattung *Meloidogyne*.

Pflanzenparasitäre Nematoden als Infektionskrankheit am Menschen? Eine besonders interessante Geschichte hat der weltweit bedeutendste pflanzenparasitäre Nematode *Meloidogyne incognita*. Diese Art wurde ursprünglich am Menschen beschrieben (KOFOID und WHITE, 1919). Bei Einstellungsuntersuchungen von 140.000 U.S.-Soldaten in Texas und einigen benachbarten Staaten wurden in 429 Fällen Eier eines bisher unbekanntes Nematoden im Stuhl gefunden. Der Befall der Soldaten war in den meisten Fällen gering. Aufgrund der morphologischen Ähnlichkeit der Eier mit tierparasitischen Nematoden erfolgte eine Zuordnung in die Gattung *Oxyuris*. Da adulte Stadien bisher nicht bekannt waren, wurde die Art vorläufig *Oxyuris incognita* sp. nov. genannt. Erstaunlich war, dass nur Soldaten bestimmter Regionen, die durch sandige Böden charakterisiert waren, und diese auch nur in den ersten Wochen nach Ankunft in der Kaserne infiziert waren. Weiße US-Amerikaner waren fast doppelt so häufig infiziert wie farbige US-Amerikaner. Über 90% der Befunde traten im August auf, also etwa 2 Monate nachdem Salat und Radieschen einen Hauptbestandteil an der Nahrung in der damaligen Zeit ausmachten. Die Möglichkeit, dass es sich um Eier pflanzenparasitärer Nematoden handeln könnte, wurde aber aus verschiedenen Gründen ausgeschlossen. Einig war man sich jedoch, dass es sich um einen kleinen Nematoden handeln müsste, der möglicherweise im Enddarm oder in der Leber sitzt. Einige Patienten wurden medizinisch behandelt. Nach Einnahme von 30 ml einer gesättigten Magnesiumsulfatlösung wurden keine Eier mehr festgestellt. Weitere Behandlungen umfassten die Einnahme bzw. den Einlauf geringer Mengen von Benzin, Rhizinöl, *Chenopodium*, Seifenlösung oder Thymol bzw. einer Kombination dieser Behandlungen. In keinem Falle wurden nach abgeschlossener Behandlung noch Eier gefunden. Selbst im Mageninhalt, der einigen Patienten ausgespült wurde, fanden sich keine Eier mehr. In allen Fällen waren die Blutwerte normal, und in keinem Fall gab es Anzeichen einer Infektion durch einen Darmparasiten. Vier

Jahre später war es SANDGROUND, der den Irrtum aufklärte. Er wies am Menschen nach, dass Eier der damals als *Heterodera radicicola* benannten Art die Darmpassage unversehrt durchlaufen und danach exakt so aussahen wie die von KOFOID und WHITE beschriebenen Eier (SANDGROUND, 1923). Da der Artnamen *radicicola* bereits für *Subanguina radicicola* vergeben war, wurde die Art erst als *Heterodera incognita* bezeichnet und später dann als *Meloidogyne incognita* (CHITWOOD, 1949).

Wirtschaftliche Schäden durch pflanzenparasitäre Nematoden: Die wirtschaftlichen Schäden durch pflanzenparasitäre Nematoden können verheerend sein. So kam es Mitte des 19. Jahrhunderts in der Magdeburger Börde infolge des stark gestiegenen Anbaus von Zuckerrüben zu einer derart massiven Vermehrung des Rübenzystennematoden, dass der Zuckerrübenanbau vollständig zusammenbrach und ein ganzer Industriezweig nahezu lahm gelegt wurde. Weltweit sind Wurzelgallennematoden der Gattung *Meloidogyne* die wirtschaftlich bedeutendsten pflanzenparasitären Nematoden. Sie befallen über 2000 Pflanzenarten und sind vor allem in den Tropen/Subtropen mit verantwortlich für die in vielen Ländern auftretende Mangelernährung der Menschen. Von *Meloidogyne* befallene Pflanzen bilden zwar noch Früchte, doch reifen diese in der Regel nicht mehr aus, so dass sie arm an Vitaminen und sekundären Inhaltsstoffen sind. Weltweit werden die durch pflanzenparasitäre Nematoden verursachten Schäden auf über 100 Mrd. EUR geschätzt. Pflanzenparasitäre Nematoden sind aber nicht nur als Schaderreger von Kulturpflanzen bedeutsam, sondern auch für die Grundlagenforschung ein spannendes Arbeitsgebiet, wie z. B. den Horizontalen Gentransfer oder die Resistenzzüchtung.

Nematoden und Horizontaler Gentransfer: Die Infektionsjuvenilen von Zystennematoden wandern intrazellulär in die Nähe der Leitgefäße, wo sie die Bildung eines spezifischen Nährgewebes (= Syncytium) induzieren. Diese Wanderung der Infektionsjuvenilen quer durch die Zellen erfolgt mechanisch mit Hilfe des kräftigen Mundstachels. Seit längerem schon wird vermutet, dass zusätzlich enzymatische Prozesse beteiligt sind, die die Zellwand auflösen und dem Nematoden die Wanderung erleichtern. Im Jahre 1998 gelang es, die Bildung zellwandabbauender Enzyme, sogenannter Cellulasen, in den subventralen Drüsen von Zystennematoden nachzuweisen (MEUTTER et al., 1998, SMANT et al., 1998). Diese Cellulasen werden mit der Pumpbewegung des Mundstachels in die Pflanze abgegeben. Der Nachweis von Cellulasen in einem tierischen Organismus war eine Sensation, denn Cellulasen werden im allgemeinen nur von Bakterien und Pilzen gebildet. Wiederkäuer, die ja bekanntlich Cellulose verwerten, können dies nur mit Hilfe assoziierter Bakterien, die die Cellulose im Magen spalten und damit für die Tiere verfügbar macht. Gleiches gilt übrigens auch für Termiten, die sich ebenfalls von Cellulose ernähren. Im vorliegenden Fall werden die Cellulasen aber von dem Nematoden direkt gebildet. Wie ist das möglich? Die Sequenzierung des Cellulasegens von *H. schachtii* zeigte eine derart hohe Homologie mit dem Cellulasegen bestimmter Bakterien, dass man heute von einem horizontalen Gentransfer ausgeht (SCHOLL et al., 2003). Bedeutsam ist, dass dieser horizontale Gentransfer nicht zwischen Arten innerhalb einer Gattung oder Familie, sondern zwischen einem prokaryotischen Organismus (Bakterium), das noch nicht einmal einen Zellkern besitzt und einem eukaryotischen tierischen Organismus stattfand. Auch wenn horizontaler Gentransfer in Verbindung mit dem Anbau transgener Pflanzen heutzutage recht kontrovers diskutiert, so stellt der doch einen natürlichen Vorgang dar, der in diesem Falle die Fitness bestimmter pflanzenparasitärer Nematoden erhöhte.

Nematoden und Resistenzzüchtung: Der Anbau resistenter Sorten ist in der Regel sowohl ökologisch als auch ökonomisch das optimalste Bekämpfungsverfahren für pflanzenparasitäre Nematoden. Doch nur für wenige Kulturpflanzen gibt es Resistenzgene innerhalb der Art, die über konventionelle Züchtung in neue Sorten eingekreuzt werden könnten. So gibt es auch im Zuckerrübengenom kein einziges Resistenzgen gegen *H. schachtii*. Diverse Resistenzgene sind jedoch aus verschiedenen Wildrüben bekannt, und so begann man ab ca. 1970 mit der Einkreuzung des Resistenzgens aus der Wildrübe in die Zuckerrübe (SAVITSKY, 1978). Mitte der 1990er Jahre, nach 25 Jahren intensivster Züchtungsarbeit, kamen die ersten resistenten Zuckerrüben auf den Markt. Dieser Prozess könnte möglicherweise durch Klonierung und Expression von Resistenzgenen über Artgrenzen hinweg deutlich verkürzt werden. Im Falle von Zuckerrüben gelang es, das Resistenzgen Hs1<sup>pro1</sup> zu klonieren und in anfälligen Zuckerrüben zu exprimieren, so dass diese gegen *H. schachtii* resistent waren (CAI et al., 1997). Dies war das erste Mal, dass ein pflanzliches Resistenzgen gegen einen tierischen Organismus kloniert wurde. Die hier entwickelten Techniken bereiteten rasch den Weg für die Klonierung weiterer Resistenzgene gegen verschiedenste tierische Organismen. Also auch hier war der Nematode Wegbereiter für die Erschließung neuer Techniken und wissenschaftlicher Arbeitsgebiete.

## Nematoden in der Biologischen Bekämpfung

Nematoden sind in der Landwirtschaft aber nicht nur als Schaderreger unserer Kulturpflanzen von Bedeutung, einige Arten sind von großem Nutzen bei der Bekämpfung von tierischen Schaderregern (GREWAL, EHLERS und SHAPIRO-ILAN, 2005). So zum Beispiel entomopathogene Nematoden der Gattung *Steinernema* und *Heterorhabditis* zur Bekämpfung von Arthropoden oder Arten der Gattung *Phasmarhabditis* zur Bekämpfung von Schnecken. Entomopathogene Nematoden sind in der Regel hoch spezifisch und parasitieren oft nur ganz bestimmte Insektenarten. Entsprechend sind nur geringe bis gar keine Nebenwirkungen auf nützliche Insekten zu erwarten. Aufgrund mutualistischer Wechselwirkungen mit assoziierten Bakterien der Gattungen *Photorhabdus* (für *Heterorhabditis*) und *Xenorhabdus* (für *Steinernema*) werden die Wirtsarthropoden getötet und verdaut. Schon vor über 50 Jahren wurden entomopathogene Nematoden z. B. in den U.S.A. zur Bekämpfung von Moskitolarven in Gewässern eingesetzt. Heute werden entomopathogene Nematoden insbesondere zur Bekämpfung von Bodeninsekten eingesetzt. An neuen Anwendungsgebieten, wie z. B. der oberirdischen Bekämpfung von Insekten, wird gearbeitet.

## Die wissenschaftliche Karriere des bakteriophagen Nematoden *Caenorhabditis elegans*

Die Geschichte begann in den 1950er Jahren mit der Ankunft des Südafrikaner's Sydney Brenner zum Studium in Cambridge, England (BROWN, 2003). Er arbeitete im Umfeld von Watson und Crick, die gerade die Doppelhelixstruktur der DNA beschrieben hatten. Gene waren schon seit langem bekannt, nun kannte man auch die Struktur der DNA, dem Baustein der Gene. Doch was konnte man mit dem Wissen tun? Sydney Brenner war von dem Gedanken besessen, Entwicklung zu erforschen. Wenn sich eine Zygote in zwei Tochterzellen teilt, so fragte er sich, woher weiß dann eine jede Tochterzelle, welche Funktion sie im späteren Organismus zu übernehmen hat? Woher weiß eine Muskelzelle, dass sie eine Muskelzelle wird, eine Nervenzelle, dass sie eine Nervenzelle wird? Wann entscheidet sich dies, wann beginnt ihre Funktion usw. usf.? Für seine Untersuchungen zur Entwicklung brauchte er einen passenden Organismus. Dieser sollte nicht zu viele Zellen haben, so dass man jede einzelne Zellen beschreiben konnte. Er sollte klein genug sein, um unter Elektronenmikroskop zu passen, durchsichtig, um die Zellkerne zu erkennen. Er musste sich weiterhin leicht im Labor vermehren lassen und sollte eine kurze Generationszeit haben, so dass man möglichst viele Generation in kurzer Zeit beobachten konnte. All dies fand er bei *Caenorhabditis elegans* MAUPAS, 1900, einem Nematoden, der weltweit in Böden vorkommt und sich von Bakterien ernährt.

Das Worm Project: Mit *C. elegans* begann das "Worm Project", eines der ehrgeizigsten und zukunftsweisendsten Projekte in der wissenschaftlichen Neuzeit (BROWN, 2003). Im ersten Schritt galt es, alle Zellen des Nematoden zu erfassen. Hierzu wurde der ca. 1 mm lange Nematode in 20.000 Ultradünnschnitte zerlegt. Diese Schnitte wurden dann dreidimensional übereinandergelegt, so dass man jede Zelle verfolgen konnte, von ihrem Anfang bis zu ihrem Ende. Um die enorme Datenflut bewältigen zu können, wurde eigens eine Software entwickelt. Doch die Rechnerkapazität reichte nicht aus, all die Daten zu verrechnen. Man war der Zeit zu weit voraus. Mitte der 1980er Jahre war die vollständige Beschreibung aller Zellen für die meisten Stadien von *C. elegans* abgeschlossen. Man wusste, das jedes ausgewachsene Tier, egal in welchem Labor es gehalten wurde, aus exakt 959 Zellen bestand.

Stammbaum aller Zellen: Bis heute ist *C. elegans* der einzige tierische Organismus, für den der Stammbaum aller Zellen vollständig beschrieben ist (Abb. 7). Anfangend mit der Zygote besitzt jede einzelne Zelle eine Codierung, die Herkunft und Funktion verrät. Einhundert Minuten nach der ersten Zellteilung besteht der Nematode aus 28 Zellen, nach 200 Minuten aus 65 Zellen und zum Zeitpunkt des Larvenschlupfes aus 558 Zellen. Im Laufe der Entwicklung zum erwachsenen Tier erkannte man, wie Zellen zum Ort ihrer späteren Funktion wandern, wie sie auseinanderdriften und an anderer Stelle akkumulieren. Aber die 959 Zellen eines erwachsenen Tieres sind nicht das Maximum an Zellen, denn während seiner Entwicklung bringt es *C. elegans* zwischenzeitlich auf 1090 Zellen. Dies bedeutet, Zellen werden gebildet und sterben wieder ab. Einige schon nach wenigen Minuten, andere nach einigen Stunden, nachdem sie eine bestimmte Funktion erfüllt haben.



**Abb. 7** Entwicklungsstadien von *Caenorhabditis elegans* (Quelle: Internet)

**Programmierter Zelltod:** Die Bedeutung dieses „programmierten“ Zelltods für die Entwicklung von *C. elegans* wurde von John Sulston erkannt und genauestens untersucht. Parallel dazu machte sich Robert Horvitz im US-amerikanischen Cambridge, Massachusetts, auf die Suche nach den Genen für die Steuerung des programmierten Zelltods. Inzwischen sind 15 Gene bekannt, die den Zelltod auslösen bzw. umgekehrt hemmen. Die Bedeutung dieser Entdeckung wird einem erst bewusst, wenn man sich vor Augen führt, dass von den ca. 19.800 Genen von *C. elegans* die Hälfte auch im Menschen vorkommt. Auch am programmierten Zelltod beteiligte Gene wurden inzwischen beim Menschen nachgewiesen. Ist der programmierte Zelltod gehemmt, reichern sich Zellen an und dies führt zu Krankheitsbildern wie Krebs und Rheuma. Erfolgt dagegen der Zelltod zu rasch, sterben Zellen ab, die noch gebraucht würden, und es ergeben sich Krankheitsbilder wie AIDS, Herzinfarkt oder Alzheimer.

### Nobelpreis für *Caenorhabditis elegans*

Im Jahr 1998 war das komplette Genom von *C. elegans* als erstem tierischen Organismus überhaupt entschlüsselt. Ohne diese Vorarbeiten wäre die Entschlüsselung des menschlichen Genoms mit seinen 40.000 bis 50.000 Genen nicht möglich gewesen bzw. noch lange nicht vollendet. Und so ist es nicht verwunderlich, dass John Sulston nicht nur eine führende Rolle bei der Entschlüsselung des Genoms von *C. elegans* spielte, sondern auch bei der Entschlüsselung des menschlichen Genoms. Für ihre grundlegenden Arbeiten an *C. elegans* wurden Sydney BRENNER, John SULSTON und Robert HORVITZ im Jahr 2002 der Nobelpreis für Medizin verliehen (Abb. 8). Sydney BRENNER erhielt ihn als Vater des Worm Projects, als treibende Kraft bei der wissenschaftlichen Aufklärung von Entwicklung. John SULSTON erhielt ihn für seine Arbeiten zur Beschreibung des Stammbaums aller Zellen von *C. elegans* sowie der Entdeckung des programmierten Zelltods. Robert HORVITZ schließlich, der 30 Jahre seines Lebens an 22 Gonadenzellen arbeitete, für die genetische Steuerung des programmierten Zelltods. Im Mittelpunkt aber stand ein Nematode, *C. elegans*, ohne den es diesen Nobelpreis nie gegeben hätte.



**Abb. 8** SYDNEY BRENNER, JOHN SULSTON und ROBERT HORVITZ erhielten 2002 den Nobelpreis für Medizin



### ***Caenorhabditis elegans* und *Caenorhabditis briggsae***

Nach *Caenorhabditis elegans* wurde im Jahr 2003 auch das Erbgut der nahe verwandten Art *Caenorhabditis briggsae* (DOUGHERTY und NIGON, 1949) DOUGHERTY, 1953 entschlüsselt. Beide Arten besiedeln ähnliche Nischen im Boden und sind morphologisch kaum voneinander zu differenzieren. Als eigenständige Arten haben sie sich von gemeinsamen Vorfahren vor über 100 Millionen Jahren abgespalten und stehen damit in der Evolution ähnlich weit auseinander wie Mensch und Maus, die seit 75 Millionen Jahren getrennte Wege gehen. *C. elegans* und *C. briggsae* verfügen über etwa 19.800 Gene, von denen knapp 19.000 Gene in beiden Arten vorkommen. Für ca. 800 Gene von *C. briggsae* gibt es jedoch keine Entsprechung bei *C. elegans*. Durch Vergleich der phänotypisch und ökologisch nahezu identischen, genetisch aber unterschiedlichen Arten erhofft man sich ein besseres Verständnis über die evolutionären Kräfte bei der Entstehung und Entwicklung neuer Arten.

### **Die Bedeutung von *Caenorhabditis elegans* für die Humanmedizin**

Die Bedeutung der Arbeiten von *C. elegans* reichen aber noch viel weiter. Auch wenn das menschliche Genom weitgehend entschlüsselt ist, so wissen wir doch recht wenig über die Funktion der verschiedenen Gene. Denn um die Wirkung eines Gens mit allen Konsequenzen verstehen zu können, müssen wir es ausschalten können, um dann zu beobachten, was sich im Einzelnen verändert. Im Gegensatz zum Menschen ist dies bei *C. elegans* möglich. Von den 19.800 Genen gibt es 17.000 Mutanten, die in exakt einem Gen defekt sind. Das heißt, für 17.000 Gene wissen wir genauestens, welche Funktion sie ausüben. Da die Hälfte dieser Gene auch im Menschen vorkommt, können wir Rückschlüsse auf mögliche Auswirkungen im Menschen vornehmen und genetische Fehlfunktionen sehr viel genauer analysieren. Die Schlagzeilen in den Zeitungen weisen die Richtung, wenn es dort zum Beispiel heißt „Ein Wurm mit Muskelschwäche“ (FAZ, 17.01.2001), „Würmer, wollt ihr ewig leben“ (Der Spiegel, 24.10.2003), „Leben am Fadenwurm“ (DIE ZEIT, 10.10.2002), „Forscher finden das Schwippsgen“ (Der Spiegel, 12.12.2003), oder „Radioaktivität fördert Würmer-Sex“ (Der Spiegel, 12.04.2002).

### **Die Bedeutung von *Caenorhabditis elegans* für die Phytomedizin**

*C. elegans* ist nicht nur für die Humanmedizin von Bedeutung, sondern auch für die Landwirtschaft. Hier nur einige Beispiele. Das Genom von *C. elegans*, bzw. auch das von pflanzenparasitären Nematoden, bietet neue „Targets“ für spezifische Pflanzenschutzmittel. Verschiedene Firmen, wie z. B. Athenix (<http://www.athenixcorp.com>) oder Divergence (<http://divergence.com>) haben auf diesem Wege bereits recht erfolversprechende Ergebnisse erzielt. Darüber hinaus kann *C. elegans* als spezifischer und sensibler Bioindikator für den Nachweis von Pflanzenschutzmitteln im Boden eingesetzt werden. Letzteres ergibt sich aus der Tatsache, das *C. elegans* über Gene verfügt, die bei Auftreten bestimmter chemischer Stoffgruppen im Darm hochreguliert werden und möglicherweise an einer Detoxifikation dieser Stoffe beteiligt sind. Wird unmittelbar hinter einem solchen Gen das Gen für die Bildung eines grün fluoreszierenden Proteins eingebaut, so würde dieses bei Aufnahme der chemischen Stoffgruppe durch den Nematoden ebenfalls hochreguliert und den Darm des Nematoden kräftig grün erleuchten (Menzel et al., 2002).

### **Zusammenfassung**

Nematoden sind die mit Abstand größte Gruppe mehrzelliger tierischer Organismen auf der Erde. Sie zählen zu den ältesten wirbellosen Tieren und besiedeln die unterschiedlichsten Regionen und Habitate, von der Tiefsee bis ins Hochgebirge, von Pflanzen bis zum Menschen. Beachtung fanden Nematoden in der Vergangenheit vor allem als Tier- und Humanparasiten, oder aber als Schaderreger unserer Kulturpflanzen. Sie sind aber auch von großem Nutzen, z. B. bei der Bekämpfung von Schadarthropoden und Schadschnecken oder aber als Modellorganismus in der Humanmedizin, für dessen Arbeiten 2002 immerhin der Nobelpreis für Medizin verliehen wurde. Darüber hinaus weiß man aber recht wenig über Nematoden. Dabei gibt es durchaus beachtliches über sie zu berichten. Ein kleiner Ausschnitt davon wurde in diesem Beitrag zusammengestellt. Es werden Rekorde von Nematoden genannt und deren Bedeutung in Geschichte und Wissenschaft aufgezeigt. Die Herkunft des Äskulapstabes wird erläutert und es wird der Frage nachgegangen, was Nematoden im Weltall zu suchen haben und weshalb „Ötzi“ für den Nematologen so interessant ist.

## Summary

Nematodes are by far the largest group of multicellular animals on earth. They belong to the first invertebrates on earth and they are omnipresent, from the deep sea to the alpine regions of mountains, from plants to humans. In the past, nematodes were primarily recognized as parasites of humans, animals and plants. Nowadays, their beneficial role becomes more and more evident, as significant part of the soil food web, as biological control agents of plant pests such as arthropods and slugs and as model organisms in human science. For the latter, its fundamental research was awarded with the Nobel price for medicine in 2002. However, beyond that, very little is known about nematodes. But there is a lot to report. A small part of it will be presented in this review. Examples for nematode records are given and their importance in history and science is highlighted. The origin of the staff of Asclepius is explained and questions are addressed such as what nematodes do in space and what makes “Ötzi” so interesting for a nematologist.

## Anmerkung

Die vorliegende Arbeit basiert auf der Antrittsvorlesung des Autors, gehalten am 30. Januar 2004 an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms Universität in Bonn.

## Literatur

- BERKELEY, J.M. (1855): Vibrio forming cysts on the root of cucumber. Gardener's Chronicle and Agricultural Gazette **14**, 222.
- BREHMS TIERLEBEN (1928). 4. Auflage bearbeitet von G. Grimpe. Bibliographisches Institut, Leipzig.
- BROWN, A. (2003): In the beginning was the worm – Finding the secrets of life in a tiny hermaphrodite. Simon & Schuster, London, U.K., 256 S.
- CAI, D., M. KLEINE, S. KIFLE, H.J. HARLOFF, N.N. SANDAL, K.A. MARCKER, R.M. KLEIN-LANKHORST, E. SALENTIJN, W. LANGE, W.J. STIEKEMA, U. WYSS, F.M.W. GRUNDLER, C. JUNG (1997). Positional cloning of a gene for nematode resistance in sugar beet. Science **275**, 832-834.
- CHITWOOD, B.G. (1949): Root-knot nematodes – Part I. A revision of the genus *Meloidogyne* Goeldi, 1887. Proc. Helminth. Soc. Wash **16**, 90-104.
- CHITWOOD, B.G., M.B. CHITWOOD (1950): Introduction to Nematology. University Park Press, Baltimore. 334 S.
- COBB, N.A. (1914): Nematodes and their relationships. Yearbook of the Department of Agriculture: 457-490.
- COBB, N.A. (1932): The English word “nema”. J. Amer. Med. Assoc. **98**, 75.
- CORNU, M. (1879): Etudes sur le *Phylloxera vastatrix*. Mém. Acad. Sci., Paris **26**, 162-175, 328, 339-341.
- GREEFF, R. (1872): Über Nematoden in Wurzelanschwellungen (Gallen) verschiedener Pflanzen. Sitzungsber. Ges. Beförd. Ges. Naturw. Marburg **11**, 169-174.
- GREWAL, P.S., R.-U. EHLERS, D.I. SHAPIRO-ILAN (2005): Nematodes as Biocontrol Agents. CABI Publishing, Wallingford, U.K., 505 S.
- GUBANOV, N.M. (1951): Giant nematoda from the placenta of Cetacea; *Placentonema gigantissima* nov. gen., nov. sp. Doklady Akademia Nauk. SSSR **77**, 1123-1125.
- HARDY, J. (1850): On the effects produced by some insects, etc., upon plants. Ann. Mag. Nt.- Hist. 2nd Series **6**, 182-188.
- HØEG, P. (1994): Fräulein Smillas Gespür für Schnee. Carl Hanser Verlag, München.
- KOFOID, C.A., A.W. WHITE (1919): A new nematode infection of man. J. of the American Medical Association **72**, p. 567-569.
- KÜHN, J. (1857): Über das Vorkommen von Anguillulen in erkrankten Blütenköpfen von *Dipsacus fullonum* L. Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie **9**, 129-137.
- MAGGENTI, A.R. (1981): General Nematology. Springer-Verlag, New York. 372 S.
- MENZEL, R., K. REICHERT, R.K. ACHAZI (2002): Wurm-Gene als Schadstoff-Detektive. Umwelt Magazin **9**, 74-75.
- MEUTTER, J. DE, T. TYTGAT, E. SCHUEREN VAN DER, G. SMANT, A. SCHOTS, A. COOMANS, M. MONTAGU VAN, G. GHEYSEN (1998): Cloning of two endoglucanase genes from *Heterodera schachtii*. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent **63**, 619-623.
- POINAR, G.O. (1977): Fossil nematodes from Mexican amber. Nematologica **23**, 232-238.

- POINAR, G.O. (1983): The natural history of nematodes. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 323 S.
- RUDOLPHI, C.A. (1808): Entozoorum sive vermium Intestinalium Historia Naturalis 1. Amsterdam, 525 S.
- RUDOLPHI, C.A. (1809): Entozoorum sive vermium Intestinalium Historia Naturalis 2. Amsterdam, 457 S.
- SANDGROUND, J.H. (1923): *Oxyuris incognita* oder *Heterodera radiculicola*? J. Parasit. **10**, 92-94.
- SAVITSKY, H. (1978): Nematode (*Heterodera schachtii*) resistance and meiosis in diploid plants from interspecific *Beta vulgaris* x *B. procumbens* hybrids. Can. J. Genet. Cytol. **20**, 177-186.
- SCHMIDT, A. (1871): Über den Rüben-Nematoden (*Heterodera schachtii* A.S.). Zeitschrift des Vereins Rübenzuckerindustrie Zollverein **21**, 1-19.
- SCHNEIDER, A. (1866): Monographie der Nematoden. Druck und Verlag von Georg Reimer, Berlin, 325 S.
- SCHOLL, E.H., J.L. THORNE, J.P. MCCARTER, D.M. BIRD (2003): Horizontally transferred genes in plant-parasitic nematodes: a high-throughput genomic approach. Genome Biol **4**, R39.
- SMANT, G., J.P.W.G. STOKKERMANS, Y. YITANG, J.M. DE BOER, T.J. BAUM, W. XIAOHONG, R.S. HUSSEY, F.J. GOMMERS, B. HENRISSAT, E.L. DAVIS, J. HELDER, A. SCHOTS, J. BAKKER (1998): Endogenous cellulases in animals: isolation of beta-1,4-endoglucanase genes from the species of plant-parasitic cyst nematodes. Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A. **95**, 4906-4911.
- STEINBUCH, J.G. (1799): Das Grasälchen, *Vibrio agrostis*. Naturforscher **28**, 233-259.
- WEISCHER, B., D.J.F. BROWN (2000): An introduction to nematodes – General Nematology. Pensoft Publishers, Sofia, Ungarn, 187 S.
- VIGLIERCHIO, D.R. (1991): The world of nematodes. AgAccess, Davis, CA, U.S.A. 266 S.
- VON HEYDEN, C. (1860): *Mermis antique*, ein fossiler Eingeweidewurm. Entomol. Zeit. Stettin **21**, 38.

**STURHAN, D.**

Arnethstr. 13D, 48159 Münster, e-mail: SturhanDH@web.de

## Zystenbildende Nematoden und verwandte Heteroderiden in Deutschland

Cyst-forming nematodes and related Heteroderidae in Germany

### Einleitung

Vor fast 150 Jahren berichtete SCHACHT (1859) erstmals über zystenbildende Nematoden. Die an den Wurzeln von Zuckerrüben in der Magdeburger Börde gefundenen Nematoden wurden dann von SCHMIDT (1871) als *Heterodera schachtii* beschrieben. Die Gattung *Heterodera* gehört damit zu den „ältesten“ Gattungen pflanzenparasitärer Nematoden, nach nur zwei zuvor bereits benannten Gattungen: *Anguina* SCOPOLI, 1777 und *Tylenchus* BASTIAN, 1865. Als zweite Art der Gattung *Heterodera* wurde im 19. Jahrhundert *H. goettingiana* LIEBSCHER, 1892 beschrieben, wesentlich später folgten *Globodera rostochiensis* (WOLLENWEBER, 1923) Behrens, 1975 und *H. avenae* WOLLENWEBER, 1924, alle drei Arten ebenfalls aus Deutschland beschrieben. GOFFART (1951) gibt für Deutschland sechs nachgewiesene Arten zystenbildender Nematoden als Parasiten von Kulturpflanzen an, zu denen als siebte bekannte und von ihm selbst beschriebene Art *H. galeopsidis* zu zählen ist, die an Ackerhohlzahn parasitiert. STELTER (1973) nennt dann für Deutschland 13 Arten, STURHAN (1976a) 18 Arten und STURHAN (1984a) 21 beschriebene und sechs unbeschriebene und noch nicht identifizierte Heteroderiden-Arten.

Weltweit ist die Zahl bekannter Arten in der Familie Heteroderidae auf heute 151 gestiegen. Die meisten der Arten zeichnen sich durch hohe Wirtsspezifität aus und parasitieren nur wenige, zumeist nah verwandte Pflanzen. Nur einzelne Arten sind polyphag, mit Wirten in verschiedenen Pflanzenfamilien und Pflanzenordnungen, darunter der Rübenzystennematode *H. schachtii* mit dem vermutlich weitesten Wirtsspektrum unter allen Heteroderiden. Weltweit gehören einige Arten zystenbildender Nematoden zu den wirtschaftlich bedeutendsten Phytoparasiten. Die meisten Arten gelten aber als „indifferent“, und über eine Schädigung ihrer Wirte ist nichts bekannt. Eine verlässliche Identifizierung der wirtschaftlich wichtigen Arten ist für eine effektive Fruchtfolgegestaltung und gegebenenfalls den Einsatz resistenter Kulturpflanzensorten von Bedeutung. Auch Quarantänebestimmungen verlangen eine sichere Differenzierung „wichtiger“ von „harmlosen“ Arten.

Der aktuelle Kenntnisstand über Vorkommen und Verbreitung von Zystennematoden und verwandten, nicht-zystenbildende Arten der Familie Heteroderidae in Deutschland soll in dieser Arbeit kurz zusammengefasst werden, unter Berücksichtigung publizierter Daten und Einbeziehung bisher nicht veröffentlichter eigener Feststellungen. Von allen für Deutschland genannten Arten ist Belegmaterial in der Deutschen Nematodensammlung (DNST) am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Münster vorhanden.

### Systematik der Heteroderidae

Zystennematoden und verwandte, nicht-zystenbildende Formen innerhalb der Ordnung Tylenchida wurden von verschiedenen Autoren bis in jüngste Zeit als Heteroderinae zusammen mit den Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne*) und weiteren Nematodengattungen zur Familie Heteroderidae gestellt. Insbesondere neuere molekularbiologische Befunde haben gezeigt bzw. bestätigt, dass keine nahen verwandtschaftlichen Beziehungen zu z. B. der Gattung *Meloidogyne* bestehen. Während Zystennematoden und ähnliche Formen der Familie Hoplolaimidae nahe stehen, weisen Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne*) nähere Beziehungen zu den Pratylenchidae auf.

Innerhalb der Familie Heteroderidae werden zurzeit die folgenden 20 Gattungen unterschieden (in Klammern jeweils die Anzahl bekannter bzw. derzeit anerkannter Arten):

- *Afenestrata* BALDWIN & BELL, 1985 (6)
- *Atalodera* WOUTS & SHER, 1971 (9)
- *Bellodera* WOUTS, 1985 (1)
- *Betulodera* STURHAN, 2004 (1)
- *Bursadera* Ivanova & Krall, 1985 (1)

- *Bilobodera* SHARMA & SIDDIQI, 1992 (2)
- *Cactodera* KRALL & KRALL, 1978 (11)
- *Camelodera* Krall, Shagalina & Ivanova, 1988 (1)
- *Cryphodera* COLBRAN, 1966 (6)
- *Dolichodera* MULVEY & EBSARY, 1980 (1)
- *Ekphymatodera* BERNARD & MUNDO-OCAMPO, 1989 (1)
- *Globodera* SKARBILOVICH, 1959 (11)
- *Heterodera* SCHMIDT, 1871 (75)
- *Hylonema* LUC, TAYLOR & CADET, 1978 (1)
- *Meloidodera* Chitwood, Hannon & Esser, 1956 (11)
- *Meloinema* Choi & Geraert, 1974 (5)
- *Punctodera* MULVEY & STONE, 1976 (4)
- *Rhizonema* Cid del Prado, Lownsbery & Maggenti, 1983 (1)
- *Sarisodera* WOUTS & SHER, 1971 (1)
- *Verutus* ESSER, 1981 (2)

Von diesen Gattungen sind *Afenestrata*, *Betulodera*, *Cactodera*, *Dolichodera*, *Globodera*, *Heterodera* und *Punctodera* zystenbildend. Bei den übrigen Gattungen kommt es zu keiner Zystenbildung, allerdings gelegentlich nach Absterben der Weibchen zu einer Verfärbung der Cuticula. Die Gattung *Verutus* wird von den meisten Autoren als „primitivster“ Vertreter der Heteroderiden angesehen, von SIDDIQI (2000) dagegen zusammen mit der Gattung *Bilobodera* zur Familie Rotylenchulidae gestellt. Die Gattungen *Bursadere* und *Meloinema* werden bisher zumeist in der Unterfamilie Nacobboderinae der Familie Meloidogynidae zugeordnet.

Heteroderiden sind weltweit verbreitet. Aus Europa sind lediglich Arten der Gattungen *Cactodera*, *Globodera*, *Heterodera*, *Meloidodera*, *Punctodera* und *Verutus* bekannt. Von wirtschaftlicher Bedeutung sind hier vor allem die Kartoffelzystennematoden (*G. rostochiensis*, *G. pallida*) und der Rübenzystennematode (*H. schachtii*).

## Arten in Deutschland

In Deutschland kommen vier Gattungen zystenbildender Nematoden und zwei Gattungen nicht-zystenbildender Heteroderiden vor. Die nachgewiesenen Arten werden nachfolgend kurz besprochen, wobei Synonyme nur für wenige Arten erwähnt sind. Die meisten Arten der Gattungen *Cactodera*, *Globodera* und *Punctodera* waren bei ihrer Beschreibung zunächst zur Gattung *Heterodera* gestellt worden. Die „ältesten“ Arten wurden ursprünglich zumeist als Rassen oder Varietäten des Rübenzystennematoden angesehen (z. B. *Heterodera schachtii* var. *rostochiensis*, *H. schachtii* var. *trifolii*, *H. schachtii* var. *avenae*).

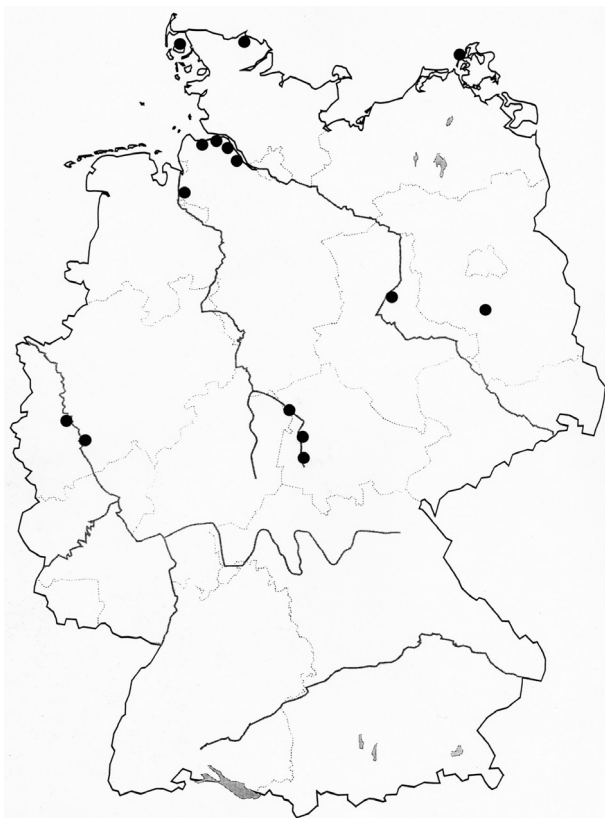
### *Cactodera*

*Cactodera cacti* (FILIPJEV & SCHUURMANS STEKHOVEN, 1941) KRALL & KRALL, 1978: Der für Deutschland von GOFFART (1960) erstmals erwähnte Kakteenzystennematode ist nach DECKER (1969) an Kakteen wahrscheinlich stärker verbreitet als gemeinhin angenommen wird. Die vermutlich aus Mittelamerika stammende Art wurde als Parasit von Kakteen unter anderem auch aus vielen anderen europäischen Ländern gemeldet.

### *Globodera*

*Globodera artemisiae* (EROSHENKO & KAZACHENKO, 1972) BEHRENS, 1975: Eine am Gemeinen Beifuß (*Artemisia vulgaris*) am Elbufer in Lühe bei Stade gefundene *Globodera*-Population wurde von STURHAN (1988) als *G. artemisiae* identifiziert. Die aus dem Fernen Osten Russlands beschriebene und später auch in Kasachstan und Armenien gefundene Art wurde inzwischen auch aus Polen und Schweden gemeldet. Weitere als *G. artemisiae* angesehene Populationen wurden an *A. vulgaris*-Standorten an der Unterelbe (Bassenfleth, Altwörden, Freiburg), an der Unterweser (Dedesdorf), am Rhein (Zündorf bei

Köln), an der Werra (Wanfried, Wasungen, Einhausen) und in Vitte auf Hiddensee gesammelt (STURHAN & KRALL, 1991; neuere Feststellungen; Abb. 1). Die Population von Lühe wurde in vergleichende Untersuchungen an *G. artemisiae*-Populationen aus Schweden und China einbezogen (MANDURIC & ANDERSSON, 2004).



**Abb. 1** Nachweise von an Compositen parasitierenden *Globodera*-Arten (*G. artemisiae*, *G. millefolii*) in Deutschland

*Globodera millefolii* (KIRJANOVA & KRALL, 1965) BEHRENS, 1975: Erstmals für Deutschland und Mitteleuropa war von STURHAN (1980) über den Fund einer *Globodera*-Zyste auf der Insel Föhr berichtet worden, bei der es sich offensichtlich um Schafgarbenzysten nematoden der aus Estland beschriebenen Art *G. millefolii* handelte. Wenige Jahre später erfolgte dann ein als gesichert geltender Nachweis für Weideland bei Flensburg (STURHAN, 1984b). Inzwischen liegen einzelne weitere Funde von Zysten nematoden aus dem Wurzelbereich von Schafgarbe vor, bei denen eine sichere Differenzierung von der morphologisch ähnlichen Art *G. artemisiae* allerdings bislang nicht möglich war, z. B. vom Rheinufer in Rheinkassel bei Köln, vom Elbufer nördlich Magdeburg und von einer grasigen Fläche bei Luckenwalde/Brandenburg (Abb. 1). *Globodera millefolii* wird von den meisten Autoren als *species inquirenda* angesehen. Eine detaillierte Artbeschreibung fehlt bisher. Zu klären ist auch noch, ob *G. millefolii* eventuell artidentisch ist mit der aus dem ehemaligen Jugoslawien beschriebenen und auch aus anderen europäischen Ländern gemeldeten Art *G. achilleae* (GOLDEN & KLINDIĆ, 1973) BEHRENS, 1975. Beide Arten haben Schafgarbe (*Achillea millefolium*) und einige verwandte Compositen als Wirte.

*Globodera pallida* (STONE, 1973) BEHRENS, 1975: Vom Gelben Kartoffelzysten nematoden *G. rostochiensis* abweichende Populationen, die später *G. pallida* zugeordnet wurden, waren bereits durch STELTER et al. (1969) für Deutschland gemeldet worden. Der „Weiße“ Kartoffelzysten nematode ist zurzeit aus einzelnen Regionen Deutschlands bekannt. Für die östlichen Bundesländer liegen bisher nur wenige Nachweise vor. In anderen europäischen Ländern ist der Nematode ebenfalls vertreten.

*Globodera rostochiensis* (WOLLENWEBER, 1923) SKARBILOVICH, 1959: Die wie die nah-verwandte Art *G. pallida* ursprünglich aus der Andenregion Südamerikas stammende Art wurde aus der Umgebung von Rostock beschrieben (WOLLENWEBER 1923, 1924), wo sie zuvor schon von ZIMMERMANN (1914) an Kartoffeln beobachtet worden war. Erstmals berichtete bereits KÜHN (1881) aus Deutschland über Vorkommen von Zystenematoden an Kartoffelwurzeln (ohne Ortsangabe). Heute kommt der „Gelbe“ Kartoffelzystenematode auf Kartoffelanbauflächen in Deutschland und im übrigen Europa verbreitet vor.

### ***Heterodera***

*Heterodera arenaria* COOPER, 1955: Der zunächst sehr ungenügend charakterisierte Zystenematode wurde von ROBINSON et al. (1996) basierend auf Sammlungsmaterial von Strandhafer aus dem Küstenbereich der Britischen Inseln wieder beschrieben. Inzwischen wurde die Art auch aus den Niederlanden und Frankreich gemeldet. Aus Deutschland gibt es mehrere gesicherte Nachweise aus dem Dünenbereich von Nord- und Ostsee und von der Unterweser (Langeoog, Baltrum, Dangast, Dedesdorf bei Bremen, Hallig Hooge, Rodenäs bei Niebüll, Westerfeld bei Flensburg (SUBBOTIN et al., 2003; neue Feststellungen). Der einzig bekannte Wirt dieses zur *H. avenae*-Gruppe gehörenden Zystenematoden ist Strandhafer (*Ammophila arenaria*).

*Heterodera avenae* WOLLENWEBER, 1924: Der Haferzystenematode kommt auf Ackerflächen in ganz Deutschland verbreitet vor. Beschrieben wurde dieser Nematode von Hafer aus Aschersleben (WOLLENWEBER, 1924). KÜHN (1874) erwähnte für die Umgebung von Halle bereits ein Vorkommen von Zystenematoden an Getreide. Nachdem weitere Arten der *H. avenae*-Gruppe (*H. arenaria*, *H. mani*, *H. pratensis*, *H. ustinovi*) in Deutschland nachgewiesen wurden und die ähnliche Art *H. filipjevi* nach neuen Befunden auf Ackerflächen nicht selten vorkommt, ist zu vermuten, dass es sich bei älteren Veröffentlichungen über „Haferzystenematoden“ nicht immer um die Art *H. avenae* gehandelt hat.

*Heterodera betae* WOUTS, RUMPENHORST & STURHAN, 2001: Der zunächst als „*forma specialis beta*“ oder „Rasse“ von *H. trifolii* angesehene „Gelbe Rübenzystenematode“ war von SCHLANG (1990) erstmals für Deutschland im Niederrheingebiet nachgewiesen worden. Die in Karken, Kreis Heinsberg, gefundene Population wurde dann als Typenpopulation für die Beschreibung der Art *H. betae* gewählt (WOUTS et al., 2001). Weitere Nachweise liegen für Goch und Niederkrüchten am Niederrhein vor sowie von einer Ackerfläche bei Gütersloh. DOWE und DECKER (1984) hatten bereits ein Vorkommen des „gelben Rübenzystenälchens“ in der ehemaligen DDR vermutet. MÜLLER (1983) fand bei der Untersuchung von 93 Populationen des „Rübenzystenematoden“ aus vielen Teilen Deutschlands keinen Hinweis auf Vorkommen des Gelben Rübenzystenematoden. Aus den Niederlanden, Frankreich, der Schweiz, Italien, Schweden und Marokko ist *H. betae* ebenfalls bekannt.

*Heterodera bifenestra* COOPER, 1955; (= *H. longicaudata* SEIDEL, 1972): Die aus mehreren europäischen Ländern bekannte Art wurde von SEIDEL (1972) als *H. longicaudata* aus der ehemaligen DDR beschrieben und später von STURHAN (1976a) auch für Westdeutschland gemeldet. Die auf Gramineen spezialisierte Art kommt insbesondere im nördlichen Deutschland verbreitet vor, vor allem in Dauergrünland und an feuchten Standorten sowie im Küstenbereich; sie findet sich nur selten in Ackerböden (SEIDEL, 1977; STURHAN, 1982, 1996). *Heterodera bifenestra* wurde zuvor zur *H. avenae*-Gruppe gestellt. Sie zählt jedoch zu einer auf Gramineen und Cyperaceen spezialisierten *Heterodera*-Artengruppe, bei der die Infektionsjuvenilen durch drei Linien im Seitenfeld charakterisiert sind. Verwandte Arten sind im mittleren und nördlichen Europa nicht vertreten.

*Heterodera carotae* JONES, 1950: Der auf Möhren und wenige nah verwandte Umbelliferen spezialisierte Möhrenzystenematode wurde für Deutschland erstmals aus der Umgebung von Nürnberg gemeldet (STURHAN, 1960b) und seither nur vereinzelt auf Möhrenanbauflächen gefunden, vor allem im süddeutschen Raum, selten auch in Grasland mit wilden Möhren (*Daucus carota*). Die auch aus anderen europäischen Ländern bekannte Art gehört ebenfalls zur *H. goettingiana*-Gruppe.

*Heterodera circaeae* SUBBOTIN & STURHAN, 2004: Die zur *H. goettingiana*-Gruppe gehörende Art wurde aus einem Laubwald bei Münster beschrieben und auch in einem Wald bei Bramsche nahe Osnabrück gefunden (SUBBOTIN & STURHAN, 2004). Als einzige Wirtspflanze ist das Hexenkraut *Circaea lutetiana* (Onagraceae) bekannt.

*Heterodera cruciferae* FRANKLIN, 1945: Der Kohlzystennematode wurde erstmals für Deutschland aus Kohlanbaugebieten in Oberbayern gemeldet (STURHAN, 1960a). Seither ist die Art nur vereinzelt in Deutschland gefunden worden, zumeist auf Feldern mit Kohlanbau. Zwei Nachweise gibt es für grasige Standorte. In Europa kommt der Nematode verbreitet vor. Neben Kohl und anderen Cruciferen sollen auch einzelne Labiaten Wirte dieses ebenfalls zur *H. goettingiana*-Gruppe zählenden Zystennematoden gehören.

*Heterodera daverti* WOUTS & STURHAN, 1978: Eine vom parthenogenetischen Kleezystennematoden *H. trifolii* morphologisch differenzierbare, bisexualle Population von Weißklee (*Trifolium repens*) von einer Weide aus der Nähe von Münster wurde als eigene Art beschrieben (WOUTS & STURHAN, 1978). Von dem inzwischen unter anderem auch aus den Niederlanden und Italien bekannten Nematoden gibt es aus Deutschland nur wenige weitere gesicherte Nachweise von Grünlandböden mit *Trifolium* spp.

*Heterodera fici* KIRJANOVA, 1954: Der zur *H. humuli*-Gruppe gehörende Ficuszystennematode wurde aus Russland beschrieben und für Deutschland erstmals von GOFFART (1961) erwähnt. Verschiedene *Ficus*-Arten zählen zu den Wirten des auch aus vielen anderen europäischen Ländern gemeldeten Nematoden.

*Heterodera filipjevi* (MADZHIDOV, 1981) STELTER 1984: *Heterodera*-Populationen, die sich in einigen morphologischen Merkmalen und vor allem in ihrem Verhalten gegenüber bestimmten Getreidesorten vom „typischen“ Haferzystennematoden *H. avenae* unterschieden, waren als „pathotype 3“, „Pathotyp B“, „Rasse 3“ und „Gotland strain“ von *H. avenae* oder als „*H. mani*-Typ“ lange Zeit aus verschiedenen europäischen Ländern bekannt, auch aus Deutschland (STURHAN, 1976a, 1976b, 1982; RUMPENHORST, 1985). Durch vergleichende biochemische, molekulare und morphologische Untersuchungen an *H. avenae* und zahlreichen *H. avenae*-ähnlichen Populationen unterschiedlicher geographischer Herkunft, unter Einbeziehung der aus Tadschikistan beschriebenen Art *H. filipjevi*, konnten zahlreiche Populationen aus Deutschland und mehreren anderen Ländern als *H. filipjevi* identifiziert werden (STURHAN & RUMPENHORST, 1996; SUBBOTIN et al., 1996). Nach dem aktuellen Kenntnisstand kommt *H. filipjevi* auf Getreideanbauflächen verbreitet vor; in Deutschland handelt es sich vermutlich bei etwa 20% aller Funde von „Getreidezystennematoden“ auf Ackerflächen um *H. filipjevi*, in Brandenburg sogar bei einem Drittel aller Nachweise (GROBE, pers. Mitt.; GROBE & KOHLMÜLLER, 2004). Durch *H. filipjevi* werden auch Getreidesorten befallen, die gegenüber *H. avenae* resistent sind (GROBE, 2004).

*Heterodera galeopsidis* GOFFART, 1936: Die im Jahr 1932 an Ackerhohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) im Thüringer Wald gefundene und 1936 von GOFFART als *H. schachtii* var. *galeopsidis* nur sehr unvollkommen beschriebene Art wurde von MAAS et al. (1982) mit dem Kleezystennematoden *H. trifolii* synonymisiert. Es liegen zahlreiche weitere Funde dieses Zystennematoden von Ackerhohlzahn vor. So berichtete STELTER (1960) über einen Nachweis im Vogtland sowie über zahlreiche Feststellungen in vielen Bezirken der ehemaligen DDR (STELTER, 1979). Etliche weitere neuere Nachweise gibt es vor allem aus Bayern. Auch aus mehreren benachbarten europäischen Ländern ist der Nematode gemeldet worden. Insbesondere durch molekulare Untersuchungen bleibt noch zu klären, ob die Synonymisierung von *H. galeopsidis* mit *H. trifolii* berechtigt ist. Bei einer eigenen umfangreichen Entnahme von Bodenproben aus dem Wurzelbereich von Ackerhohlzahn im Thüringer Wald in der Umgebung von Lauscha, dem vermuteten Typenfundort von *H. galeopsidis*, konnten keine *Heterodera*-Zysten gefunden werden.

*Heterodera goettingiana* LIEBSCHER, 1892: Der an Erbsen und anderen Leguminosen parasitierende Nematode wurde als zweite Art zystenbildender Nematoden beschrieben, und zwar von Versuchsflächen des Landwirtschaftlichen Instituts der Universität Göttingen, von wo durch Liebscher (1890) schon zuvor über ein Schadauftreten des Nematoden an Erbsen berichtet worden war. Der Erbsenzystennematode ist seither nur vereinzelt auf Erbsenfeldern in Deutschland gefunden worden und scheint nur lokal von Bedeutung zu sein (siehe auch STELTER, 1979); wenige, zum Teil nicht gesicherte Nachweise, liegen auch für grasige Standorte vor. Aus verschiedenen Ländern Europas wird über Schadauftreten bei Erbsen berichtet.



*Heterodera hordecalis* ANDERSSON, 1975: Von dem zur *H. avenae*-Gruppe gehörenden Gerstenzystennematoden liegen aus Deutschland inzwischen mehr als 100 Nachweise vor (STURHAN, 1976a, 1996, neue Feststellungen). Die meisten Funde stammen aus Norddeutschland und dem Küstenbereich, viele Funde auch aus dem Uferbereich von Flüssen, einige aus Wäldern und von Heideflächen; nur vereinzelt wurde die Art auch auf Ackerflächen in Norddeutschland festgestellt. Das Auftreten des Nematoden ist auf sandige Böden beschränkt, wobei naturnahe Biotope bevorzugt werden. In anderen europäischen Ländern kommt *H. hordecalis* ebenfalls vor, in Schweden z. B. auch als Schädling an Getreide.

*Heterodera humuli* FILIPJEV, 1934: VOIGT (1894) berichtete erstmals aus Deutschland über das Auftreten von Zystennematoden an Hopfenwurzeln; SIMON (1957) meldet den Nematoden als *H. humuli* für Bayern. In den Hopfenanbaugebieten im südlichen Deutschland scheint der Hopfenzystennematode heute verbreitet vorzukommen. Neben Hopfen sind unter anderem Brennessel (*Urtica dioica*) und Hanf (*Cannabis sativa*) bekannt. Ob *H. humuli* an Brennesseln und auch an wildem Hopfen in Deutschland verbreiteter vorkommt, bleibt noch zu klären. In Hopfenanlagen anderer europäischer Länder ist der Nematode ebenfalls vertreten.

*Heterodera mani* MATHEWS, 1971: Der zur *H. avenae*-Gruppe gehörende Gräserzystennematode wurde von STURHAN (1976a) erstmals für Deutschland gemeldet. Vor allem in grasigen Biotopen im norddeutschen Raum scheint der aus Irland beschriebene und aus weiteren europäischen Ländern bekannte Nematode nicht selten vorzukommen.

*Heterodera pratensis* GÄBLER, STURHAN, SUBBOTIN & RUMPENHORST, 2000: Bei biochemischen Untersuchungen zum *H. avenae*-Komplex wurden in Deutschland, Estland und Russland Zystennematodenpopulationen gefunden, die sich von *H. avenae sensu stricto* und verwandten Arten differenzieren ließen (RUMPENHORST, 1995; STURHAN & RUMPENHORST, 1996; SUBBOTIN et al., 1996). Die auf Gräser als Wirte spezialisierte, morphologisch *H. avenae* sehr ähnliche Art *H. pratensis* wurde dann von Dauergrünland und anderen grasigen Standorten in Norddeutschland beschrieben (GÄBLER et al., 2000). Der Zystennematode wurde vor allem im Küstenbereich gefunden, kommt aber in Deutschland vermutlich verbreiteter vor. Nachweise liegen auch aus den Niederlanden vor.

*Heterodera ripae* SUBBOTIN, STURHAN, RUMPENHORST & MOENS, 2003 - (= *H. riparia* SUBBOTIN, STURHAN, WAEYENBERGE & MOENS, 1997): Der Zystennematode wurde als *H. riparia* anhand von Populationen aus Russland, Deutschland und Belgien beschrieben (SUBBOTIN et al., 2003), musste dann umbenannt werden, nachdem die an Gräsern parasitierende Art *Bidera riparia* KAZACHENKO, 1993 aus dem Fernen Osten Russlands in die Gattung *Heterodera* überführt worden war (SUBBOTIN et al., 2003). Über Funde dieses von *H. humuli* morphologisch kaum differenzierbaren Nematoden in Deutschland war bereits zuvor berichtet worden (STURHAN, 1976a). Bis heute liegen mehr als 50 Nachweise aus ganz Deutschland vor; die meisten Funde stammen von Standorten mit Brennesseln (*Urtica dioica*) im Uferbereich von Gewässern. Nachgewiesen wurde die Nematodenart auch in den Niederlanden, Polen und der Slowakei.

*Heterodera salixophila* KIRJANOVA, 1969: Der von der Küste der Kurischen Nehrung beschriebene und auch aus Estland, der Ukraine, der Slowakei und Belgien gemeldete Zystennematode kommt nach eigenen Untersuchungen in Deutschland vermutlich verbreitet vor. Gefunden wurde der Nematode bisher im Wurzelbereich von Weiden (*Salix* spp.) im Dünengebiet von Amrum, auf Harrier Sand in der Unterweser, an der Unterelbe bei Stade, im Bereich der Mittelelbe unweit Magdeburg, am Werra-Ufer bei Creuzburg, am Lisse-Ufer in Dorlar im Sauerland und am Rheinufer nördlich von Kleve.

*Heterodera schachtii* SCHMIDT, 1871: Der in fast ganz Europa vorkommende (Weiße) Rübenzystennematode, seit 1859 aus Deutschland bekannt (SCHACHT, 1859), ist heute in Rübenanbaugebieten in ganz Deutschland verbreitet und spielt vor allem für den Zuckerrüben-Anbau eine wirtschaftlich wichtige Rolle. Viele Funde gibt es auch von Ackerland mit Anbau von Kohl und anderen Cruciferen. Trotz des weiten Wirtspflanzenkreises dieses Zystennematoden gibt es nur wenige gesicherte Nachweise aus anderen Biotopen.

*Heterodera scutellariae* SUBBOTIN & STURHAN, 2004: Beschrieben wurde die Art, die ebenfalls zur *H. goettingiana*-Gruppe gehört, aus einem Erlen-Eichenwald in der Nähe von Bremen (SUBBOTIN & STURHAN, 2004). Einziger bekannter Wirt ist das Helmkraut *Scutellaria galericulata* (Lamiaceae).

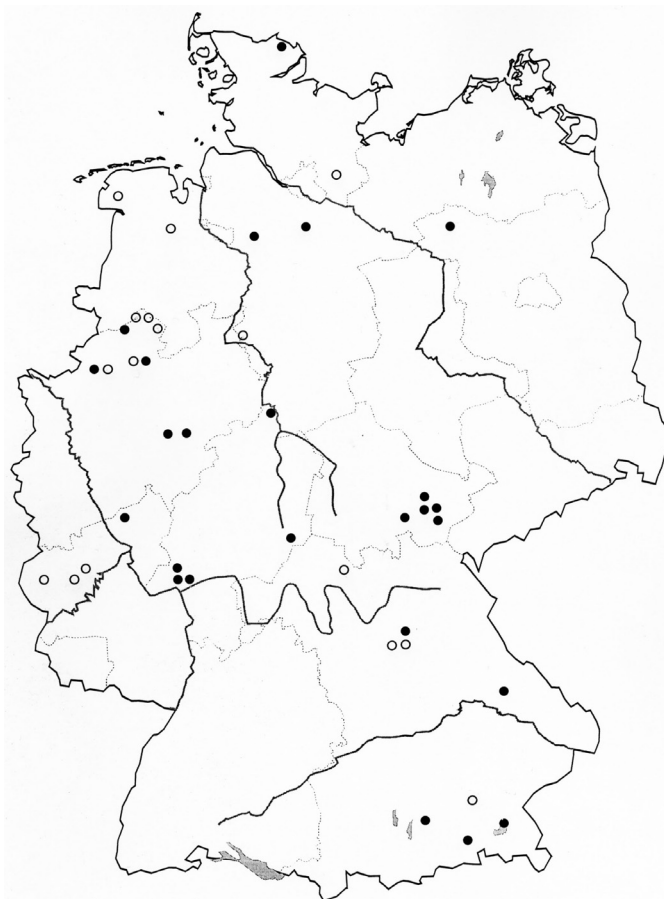
*Heterodera trifolii* GOFFART, 1932: Die Beschreibung des Kleezystennematoden basiert auf Sammlungsmaterial aus Schleswig-Holstein, vermutlich aus der Umgebung von Rendsburg (GOFFART, 1932, 1944). Für die Wiederbeschreibung der parthenogenetischen Art wurde eine Population von Tetenhusen bei Rendsburg verwendet (WOUTS & STURHAN, 1978). In Deutschland wie in den meisten benachbarten Ländern kommt *H. trifolii* verbreitet vor, vor allem auf Weideland mit Klee (*Trifolium* spp.); häufig wird die Art auch in Ackerböden gefunden.

*Heterodera urticae* COOPER, 1955: Der zunächst nur unzureichend charakterisierte und dann durch MATHEWS (1971) aus Nordirland detailliert beschriebene Brennnesselzystennematode ist bisher aus nur wenigen europäischen Ländern bekannt. STURHAN (1976a) berichtete erstmals über ein Auftreten der Nematodenart in Westdeutschland. Die Art kommt in Deutschland verbreitet vor; die meisten der bisher mehr als 50 Nachweise stammen von Standorten mit *Urtica dioica* an Gewässerrändern.

*Heterodera ustynovi* KIRJANOVA, 1969 - (= *H. iri* MATHEWS, 1971): Die Art wurde als *H. iri* von STURHAN (1976a) erstmals für Deutschland gemeldet. Die offensichtlich auf Gräser der Gattung *Agrostis* spezialisierte Nematodenart wurde kürzlich mit *H. ustynovi* synonymisiert (STURHAN & KRALL, 2002). Aus Deutschland liegen bisher wenige Nachweise vor. Bekannt ist die Art unter anderem auch aus Irland, England, Belgien, den Niederlanden, Polen, der Slowakei und der Ukraine.

### *Meloidodera*

*Meloidodera alni* TURKINA & CHIZHOV, 1986: STURHAN (1977, 1984a) meldete aus Westdeutschland erstmals das Vorkommen einer noch unbeschriebenen, an Erlenwurzeln parasitierenden *Meloidodera*-Art, die dann wenige Jahre später aus der Umgebung von Moskau als *M. alni* beschrieben wurde. Aus ganz Deutschland liegen bisher 26 Funde von feuchten Standorten mit Erlen (meist *Alnus glutinosa*) vor, aus Erlenbrüchen, Wäldern und von Gewässerrändern (Abb. 2). *Meloidodera alni* ist auch aus Belgien gemeldet worden.



**Abb. 2.** Nachweise von *Meloidodera alni* (●) und *Verutus* spec. (○) in Deutschland

## ***Punctodera***

*Punctodera punctata* (THORNE, 1928) MULVEY & STONE, 1976: GOFFART (1951) erwähnt erstmals *Heterodera punctata* für Deutschland und berichtet später (1953) ausführlicher über Vorkommen und Morphologie des Nematoden, der auch aus vielen anderen europäischen Ländern gemeldet worden ist. Die meisten Nachweise aus Deutschland stammen von Grünlandböden, viele aber z. B. auch von Ackerland, aus Wäldern, von Gewässerrändern und anderen Feuchtstandorten, wobei das Spektrum der Bodenarten von schweren Ton- bis zu Sandböden reicht (SEIDEL, 1973; STURHAN, 1982; neuere eigene Feststellungen). Wirte scheinen ausschließlich verschiedene Gräser zu sein (DOWE & DECKER, 1985). OOSTENBRINK (1960) wies bereits darauf hin, dass europäische Populationen morphologisch nicht mit der aus Kanada beschriebenen Typenpopulation übereinstimmen. WOUTS et al. (1987) konnten dann bei vergleichenden morphologischen Untersuchungen an Juvenilen von Populationen aus Deutschland, den Niederlanden und England zwei Formen differenzieren. Ob es sich bei einer dieser Formen um die ursprünglich aus Kanada beschriebene Art *P. punctata* (s. str.) handelt, bedarf noch einer Klärung.

*Punctodera stonei* BRZESKI, 1998: Die vor allem anhand morphologischer Merkmale der Infektionsjuvenilen von den zuvor beschriebenen *Punctodera*-Arten (*P. chalcoensis*, *P. matadorensis*, *P. punctata*) differenzierte Art wurde aus Polen beschrieben. BRZESKI (1998) ordnete ihr auch die von WOUTS et al. (1987) untersuchte Population von Münster-Toppheide zu sowie Populationen aus England und Spanien. Auch aus der Slowakei ist *P. stonei* gemeldet worden. Es ist zu erwarten, dass es sich bei vielen der zuvor aus Deutschland gemeldeten *P. punctata*-Populationen um Vertreter dieser Art gehandelt hat.

## ***Verutus***

*Verutus spec.*: STURHAN (1984a) erwähnt für Deutschland und ganz Europa erstmals ein Vorkommen der erst 1981 beschriebenen Gattung *Verutus*, nachdem bereits einige Jahre zuvor der „Fund einer neuen, vermutlich die Familien Heteroderidae und Nacobbiidae verbindenden Gattung“ gemeldet worden war (STURHAN, 1977). Aus Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Bayern liegen inzwischen 16 Funde aus Feuchtbiotopen vor, von nassem Weideland, Gewässerrändern und Erlenbrüchen (Abb. 2). Ein Vorkommen in anderen europäischen Ländern ist bisher nicht gemeldet worden. Wirt der noch immer unbeschriebenen, von den zwei aus den USA bekannten Arten der Gattung morphologisch gut differenzierbaren Art aus Deutschland ist die Wald-Simse (*Scirpus sylvaticus*). Männchen und Infektionsjuvenile dieser Gattung ähneln denen anderer Heteroderiden, während die Weibchen unregelmäßig nieren- bis sackförmig angeschwollen sind.

## **Diskussion**

Aus Deutschland sind bis heute 32 Arten von insgesamt sechs Heteroderiden-Gattungen bekannt, wobei der Artstatus von *H. galeopsidis* noch einer Überprüfung bedarf. Zwei dieser Arten kommen nur an Warmhauspflanzen vor (*C. cacti*, *H. fici*), zwei Arten sind nicht-zystenbildend (*M. alni*, *Verutus spec.*). Von den im Freiland vertretenen 28 zystenbildenden Arten zählen mit Sicherheit die beiden Kartoffelzystennematoden *G. rostochiensis* und *G. pallida* nicht zum ursprünglichen Bestandteil der heimischen Nematodenfauna. Auch bei einzelnen weiteren Arten, die ausschließlich (und zum Teil verbreitet) in Ackerböden gefunden worden sind, kann vermutet werden, dass eine Einschleppung durch den Menschen erfolgt ist.

Etliche der in Deutschland nachgewiesenen und teilweise sogar häufig vorkommenden Arten sind erst in jüngster Zeit sicher identifiziert und von morphologisch ähnlichen Arten differenziert worden, vor allem durch biochemische und molekulare Untersuchungen. Dies gilt vor allem für *G. pallida*, *H. betae*, *H. ripae*, *H. filipjevi* und *H. pratensis*, die erst spät als getrennte Arten von *G. rostochiensis*, *H. trifolii*, *H. humuli* bzw. *H. avenae* und anderen Arten der *H. avenae*-Gruppe unterschieden wurden. Bei vielen „älteren“ Publikationen über Zystennematoden muss somit offen bleiben, um welche Art es sich tatsächlich gehandelt hat.

Von den aus Deutschland bekannten *Globodera*-Arten gehören je zwei zu auf Solanaceen bzw. Compositen als Wirte beschränkten Artengruppen. Unter den im Freiland vorkommenden *Heterodera*-Arten zählen fünf zur *H. schachtii*-Gruppe, mit jeweils teilweise weiten Wirtspflanzenspektren (*H. schachtii*, *H. betae*, *H. daverti*, *H. galeopsidis*, *H. trifolii*). Sieben Arten sind der auf Gramineen spezialisierten *H. avenae*-Gruppe zugeordnet (*H. avenae*, *H. arenaria*, *H. filipjevi*, *H. hordecalis*, *H. mani*, *H. pratensis*, *H. ustinovii*). Sechs Arten mit jeweils zumeist engem Wirkkreis gehören zur *H.*

*ustinovi*). Sechs Arten mit jeweils zumeist engem Wirtskreis gehören zur *H. goettingiana*-Gruppe (*H. goettingiana*, *H. carotae*, *H. circeae*, *H. cruciferae*, *H. scutellariae*, *H. urticae*), zwei Arten mit Wirten aus der Ordnung Urticaceae zur *H. humuli*-Gruppe (*H. humuli*, *H. ripae*), und schließlich *H. bifenestra* und *H. salixophila* zu jeweils gesonderten Artengruppen. Auf Gramineen sind insgesamt zehn der 28 Zystenbildenden Freilandarten spezialisiert (*H. avenae*-Artengruppe, *H. bifenestra*, *Punctodera* spp.).

Eine sichere Unterscheidung der beiden Kartoffelzystennematoden von den Schafgarbe, Beifuß, Kamille, Rainfarn und vermutlich weitere Korbblütler parasitierenden *Globodera*-Arten ist aus Quarantänegründen besonders wichtig. Für den Zuckerrübenanbau mit eingeschaltetem Anbau von Cruciferen als Zwischenfrüchte ist vor allem eine sichere Identifizierung von *H. schachtii*, *H. betae* und dem in Ackerböden gelegentlich ebenfalls auftretenden Kohlzystennematoden *H. cruciferae* von Bedeutung, für den Getreideanbau eine Unterscheidung von *H. avenae* und *H. filipjevi* insbesondere bei Einsatz resistenter Sorten.

Bei nicht wenigen in verschiedenen Gegenden Deutschlands und in unterschiedlichen Biotopen gefundenen Heteroderiden war anhand der morphologischen Merkmale von Zysten und/oder Juvenilen oder wegen zu geringen Materials eine sichere Zuordnung zu einer der bisher in Deutschland identifizierten Arten bisher nicht möglich. Es fanden sich darunter z.B. eine der *H. schachtii*-Gruppe zuzuordnende Form aus Salzwiesen, Populationen von *Armeria* und *Limonium*, von Feldsalat sowie aus Wäldern, von grasigen Biotopen und dem Uferbereich von Gewässern. Mit dem Nachweis weiterer, bisher nicht erfasster Arten ist in Deutschland somit zu rechnen. So ist zu erwarten, dass einige der aus Nachbarländern gemeldeten Heteroderiden auch in Deutschland vorkommen, z. B. die aus Estland beschriebene und auch in Schweden und den Niederlanden gefundene, an Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*) parasitierende Art *Cactodera estonica* (KIRJANOVA & KRALL, 1963) und die aus Irland beschriebene Art *H. rosii* DUGGAN & BRENNAN, 1966, die neben *Rumex crispus* unter anderem Klee (*Trifolium* spp.) als Wirte hat. Auch mit einem Auftreten der aus Neuseeland beschriebenen, ebenfalls zur *H. avenae*-Gruppe gehörenden Art *H. aucklandica* Wouts & STURHAN, 1995 ist zu rechnen, die bei vergleichenden morphologischen und molekularbiologischen Untersuchungen überraschenderweise in England und Belgien nachgewiesen wurde (SUBBOTIN et al., 2003). Bisher nur aus dem östlichen Europa ist der Luzernezystenematode *H. medicaginis* KIRJANOVA & KRALL, 1971 bekannt. Die Getreide und Gräser parasitierende, zur *H. avenae*-Gruppe zählende Art *H. latipons* FRANKLIN, 1969 kommt vor allem im südlichen und südöstlichen Europa vor; DOWE und DECKER (1984) vermuteten ein Vorkommen in der ehemaligen DDR. Aus mehreren europäischen Ländern (Frankreich, Italien, Spanien) wurden inzwischen Funde des in Nordamerika heimischen Tabakzystennematoden *G. tabacum* (LOWNSBERY & LOWNSBERY, 1954) gemeldet. Mit einem Auftreten von etlichen aus der ehemaligen Sowjetunion beschriebenen *Heterodera*-Arten, deren Artstatus allerdings zum Teil noch einer Überprüfung bedarf, ist ebenfalls zu rechnen (z. B. *H. plantaginis* NARBAEV & SIDIKOV, 1987, *H. rumicis* POGHOSSIAN, 1961, *H. sonchophila* KIRJANOVA, KRALL & KRALL, 1976). Noch nicht nachgewiesen worden ist in Europa bisher der Sojazystennematode *H. glycines* ICHINOHE, 1952.

Mit wachsender Artenzahl ist eine verlässliche Bestimmung zystenbildender Nematoden zunehmend schwieriger geworden. Zystenmerkmale allein, denen zunächst eine für die Identifizierung ganz entscheidende Bedeutung beigemessen wurde, sind in der Regel längst nicht mehr ausreichend. Morphologische Merkmale der Infektionsjuvenilen (Larven des zweiten Entwicklungsstadiums) haben sich häufig als diagnostisch wichtiger erwiesen, insbesondere seit den grundlegenden Untersuchungen von WOUTS und WEISCHER (1977). Biochemische und molekulare Verfahren haben in jüngerer Zeit zunehmend an Bedeutung gewonnen und sich als sehr zuverlässig erwiesen, sind jedoch noch nicht für alle vorkommenden Arten einsetzbar. Kenntnisse über das in Deutschland vertretene Spektrum an Arten, einschließlich der nur an „Wildpflanzen“ parasitierenden Formen, bilden eine wichtige Voraussetzung für eine verlässliche Identifizierung der einzelnen Arten. Noch ist das „natürliche“ Artenspektrum nicht ganz erfasst, und auch mit dem Nachweis von weiteren Heteroderiden-„Neozoen“ ist zu rechnen! So wurden 2003 bei der Einfuhrkontrolle an zwei Orten in Deutschland an aus Japan importierten Bonsaipflanzen (*Pinus parviflora*, *P. pentaphylla*) Heteroderiden gefunden, die als *Cryphodera brinkmani* KARSSSEN & VAN AELST, 1999 identifiziert wurden. Die nicht-zystenbildende Nematodenart ist von *Pinus thunbergii*-Pflanzen beschrieben worden, die mit Bonsai-Sendungen aus Japan in die Niederlande exportiert worden waren (KARSSSEN & VAN AELST, 1999). Ob durch die Quarantänekontrollen eine Einschleppung nach Deutschland, in die Niederlande und eventuell auch andere europäische Länder verhindert werden konnte, ist nicht bekannt.

## Zusammenfassung

Aus Deutschland sind bisher 32 Arten der sechs Heteroderiden-Gattungen *Cactodera*, *Globodera*, *Heterodera*, *Meloidodera*, *Punctodera* und *Verutus* bekannt, von denen zwei Arten nur an Warmhauspflanzen vorkommen (*C. cacti*, *H. fici*). Zehn der Arten waren erstmals aus Deutschland beschrieben worden, darunter die *Heterodera*-Typusart *H. schachtii*. Funde von vorerst nicht identifizierbaren Populationen deuten darauf hin, dass mit dem Vorkommen weiterer Arten in Deutschland zu rechnen ist. Zwei der 30 Freilandarten sind nicht zystenbildend (*Meloidodera alni*, *Verutus* spec.). Der Artstatus von *H. galeopsidis* bleibt noch zu klären. Von den im Freiland nachgewiesenen *Heterodera*-Arten gehören sieben zur *H. avenae*-Gruppe (*H. avenae*, *H. arenaria*, *H. filipjevi*, *H. hordecalis*, *H. mani*, *H. pratensis*, *H. ustinovi*), sechs zur *H. goettingiana*-Gruppe (*H. goettingiana*, *H. carotae*, *H. circeae*, *H. cruciferae*, *H. scutellariae*, *H. urticae*), fünf zur *H. schachtii*-Gruppe (*H. schachtii*, *H. betae*, *H. daverti*, *H. galeopsidis*, *H. trifolii*), zwei zur *H. humuli*-Gruppe (*H. humuli*, *H. ripae*) und *H. bifenestra* und *H. salixophila* zu jeweils gesonderten Artengruppen. Auf Getreide und andere Gramineen als Wirte sind insgesamt zehn der 28 zystenbildenden Freilandarten spezialisiert (*H. avenae*-Gruppe, *H. bifenestra*, *P. punctata*, *P. stonei*). Für jede der in Deutschland nachgewiesenen Arten werden Daten über Erstnachweise und der aktuelle Kenntnisstand über Vorkommen und Verbreitung kurz zusammengefasst.

## Summary

From Germany, a total of 32 species of the heteroderid genera *Cactodera*, *Globodera*, *Heterodera*, *Meloidodera*, *Punctodera* and *Verutus* are currently known to occur, with *C. cacti* and *H. fici* found only parasitising greenhouse plants. Ten of these species were described for the first time from Germany, among these the *Heterodera* type species *H. schachtii*. Findings of still unidentified populations indicate presence of additional species in Germany. Two of the 30 outdoor species are non-cyst forming (*Meloidodera alni*, *Verutus* spec.). The species status of *H. galeopsidis* needs still to be re-examined. Among the *Heterodera* species found outdoors, seven are members of the *H. avenae* group (*H. avenae*, *H. arenaria*, *H. filipjevi*, *H. hordecalis*, *H. mani*, *H. pratensis*, *H. ustinovi*), six belong to the *H. goettingiana* group (*H. goettingiana*, *H. carotae*, *H. circeae*, *H. cruciferae*, *H. scutellariae*, *H. urticae*), five to the *H. schachtii* group (*H. schachtii*, *H. betae*, *H. daverti*, *H. galeopsidis*, *H. trifolii*), two to the *H. humuli* group (*H. humuli*, *H. ripae*), and *H. bifenestra* and *H. salixophila* are each belonging to other species groups. A total of ten of the 28 cyst forming outdoor species are specialised to cereals and other Gramineae as hosts (*H. avenae* group, *H. bifenestra*, *P. punctata*, *P. stonei*). For each of the species reported from Germany first records and data on present knowledge of occurrence and distribution are given in brief.

## Literatur

- BRZESKI, M.W. (1998): Nematodes of Tylenchina in Poland and temperate Europe. Warszawa, 397 S.
- DECKER, H. (1969): Phytonematologie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 526 S.
- DOWE, A., H. DECKER (1984): Einige neue Erkenntnisse zum Vorkommen und zur Bedeutung pflanzenparasitärer Nematoden in der DDR. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR **38**, 130-132.
- DOWE, A., H. DECKER (1985): Unkräuter als Wirte zystenbildender Nematoden. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR **39**, 139-141.
- GÄBLER, C., D. STURHAN, S.A. SUBBOTIN, H.J. RUMPENHORST (2000): *Heterodera pratensis* sp. n., a new cyst nematode of the *H. avenae* complex (Nematoda: Heteroderidae). Russian Journal of Nematology **8**, 115-126.
- GOFFART, H. (1932): Untersuchungen am Hafernematoden *Heterodera schachtii* Schmidt mit besonderer Berücksichtigung der schleswig-holsteinischen Verhältnisse I. III. Beitrag zu: Rassenstudien an *Heterodera schachtii* Schm. Arbeiten aus der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft **20**, 1-26.
- GOFFART, H. (1936): *Heterodera schachtii* Schmidt an gemeiner Hanfnessel (*Galeopsis tetrahit* L.) und an Kakteen. Zeitschrift für Parasitenkunde **8**, 528-532.
- GOFFART, H. (1944): Beobachtungen über das Auftreten von *Heterodera schachtii* an Klee. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz **54**, 12-18.
- GOFFART, H. (1951): Nematoden der Kulturpflanzen Europas. Paul Parey, Berlin, 144 S.

- GOFFART, H. (1953): Über das Vorkommen von *Heterodera punctata* Thorne, 1945 (Nematodes) in Deutschland und im Ausland. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz **60**, 166-167.
- GOFFART, H. (1960): Die taxonomische Bewertung morphologisch-anatomischer Merkmale bei den Zysten der Gattung *Heterodera* (Nematoda). Mitteilungen aus Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **99**, 24-51.
- GOFFART, H. (1961): Über *Heterodera fici* Kirjanova, 1954. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz **68**, 597-599.
- GROBE, E. (2004): Zur Resistenzsituation bei Getreide gegenüber Getreidezystennematoden. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **396**, 357-358.
- GROBE, E., S. KOHLMÜLLER (2004): Untersuchungen zur Verbreitung von Getreidezystennematoden nach einer neuen Differenzialmethode. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **396**, 563-564.
- KARSSSEN, G., A. VAN AELST (1999): Description of *Cryphodera brinkmani* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae), a parasite of *Pinus thunbergii* Parlatores from Japan, including a key to the species of the genus *Cryphodera* Colbran, 1966. Nematology **1**, 121-130 S.
- KÜHN, J. (1874): Ueber das Vorkommen von Rübenmematoden an den Wurzeln der Halmfrüchte. Landwirtschaftliche Jahrbücher **3**, 47-50.
- KÜHN, J. (1881): Die Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Ursache der Rübenmüdigkeit und zur Erforschung der Natur der Nematoden. Berichte aus dem physiologischen Laboratorium und der Versuchsanstalt des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle **3**, 1-153.
- LIEBSCHER, G. (1890): Ein Nematode als Ursache der Erbsenmüdigkeit des Bodens. Deutsche Landwirtschaftliche Presse **17**, 436-437.
- LIEBSCHER, G. (1892): Beobachtungen über das Auftreten eines Nematoden an Erbsen. Journal für Landwirtschaft **40**, 357-368.
- MAAS, P.W.Th., E. DU BOIS, J. DEDE (1982): Morphological and host range variation in the *Heterodera trifolii* complex. Nematologica **28**, 263-270.
- MANDURIC, S., S. ANDERSSON (2004): The identity of a Swedish *Globodera* (Nematoda: Heteroderidae) population, following comparisons with known populations of *G. artemisiae* (Eroshenko and Kazachenko, 1972) Behrens, 1975. Russian Journal of Nematology **12**, 39-44.
- MATHEWS, H.J.P. (1971): Morphology of the nettle cyst nematode *Heterodera urticae* Cooper, 1955. Nematology **16**, 503-510.
- MÜLLER, J. (1983): Zum Vorkommen des gelben Rübenzystenälchens (*Heterodera trifolii*) in der Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **35**, 158.
- OOSTENBRINK, M. (1960): The genus *Heterodera*. In: Nematology (Eds. J. N. Sasser & W. R. Jenkins). University of Carolina Press, Chapel Hill, 206-211.
- ROBINSON, A.J., A.R. STONE, D.J. HOOPER, J.A. ROWE (1996): A redescription of *Heterodera arenaria* Cooper 1955, a cyst nematode from marram grass. Fundamental and Applied Nematology **19**, 109-117.
- RUMPENHORST, H.J. (1985): Vergleichende elektrophoretische Untersuchungen von Proteinen einiger Zystennematoden von Getreide und Gräsern. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **226**, 64-74.
- SCHACHT, H. (1859): Über einige Feinde der Rübenfelder. Zeitschrift des Vereines für die Rübenzucker-Industrie im Zollverein **9**, 175-179.
- SCHLANG, J. (1990): Erstnachweis des Gelben Rübenzystennematoden (*Heterodera trifolii*) für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **42**, 58-59.
- SCHMIDT, A. (1871): Ueber den Rüben-Nematoden (*Heterodera Schachtii* A.S.). Zeitschrift des Vereines für die Rübenzucker-Industrie im Zollverein **21**, 1-19.
- SEIDEL, M. (1972): *Heterodera longicaudata* n. sp., ein an Gramineen vorkommendes Zystenälchen von Grünlandflächen im Norden der DDR. Nematologica **18**, 31-37.
- SEIDEL, M. (1973): Zur Biologie von *Heterodera longicaudata* Seidel, 1972, und *Heterodera punctata* Thorne, 1928, sowie zu deren Verbreitung und wirtschaftlichen Bedeutung im Bezirk Rostock (DDR). Dissertation, Universität Rostock, 119 S.
- SEIDEL, M. (1977): Zur Verbreitung und zum Wirtspflanzenkreis von *Heterodera longicaudata* Seidel, 1972 an Gramineen. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR **31**, 243-246.

- SIDDIQI, M.R. (2000): Tylenchida parasites of plants and insects. 2nd ed. CABI Publishing, Wallingford, UK, 833 S.
- SIMON, L. (1957): Was sind Nematoden? Hopfenrundschau **81**, 148-150.
- STELTER, H. (1960): Neue Fundorte von *Heterodera galeopsidis* Goffart in Deutschland. Die Naturwissenschaften **47**, 166.
- STELTER, H., E. WESSELY, D. ROTHACKER (1969): Beobachtungen an Folgegenerationen des Kartoffelnematoden nach Mischinfektionen mit den Rassen A und B an A-resistenten und A-anfälligen Wirten. Archiv für Pflanzenschutz **5**, 411-421.
- STELTER, H. (1973): Die Arten der Gattung *Heterodera* (Nematoda: Tylenchidae) und ihre Verbreitung. Pedobiologia **13**, 40-61.
- STELTER, H. (1979): Das Vorkommen von *Heterodera*-Arten in Bezirken der DDR. Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz, Berlin **15**, 429-432.
- STURHAN, D. (1960a): Das Kohlzystenälchen (*Heterodera cruciferae* Franklin) in Bayern. Pflanzenschutz **12**, 142-144.
- STURHAN, D. (1960b): Der Möhrennematode, *Heterodera carotae*, in Deutschland. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz **67**, 543-544.
- STURHAN, D. (1976a): Erstnachweise von fünf *Heterodera*-Arten in der Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **28**, 167-169.
- STURHAN, D. (1976b): Das Getreidezystenälchen - ein Artenkomplex! Gesunde Pflanzen **28**, 236-238.
- STURHAN, D. (1977): Untersuchungen über Vorkommen und Verbreitung pflanzenparasitärer Nematoden in der Bundesrepublik Deutschland. Biologische Bundesanstalt, Jahresbericht 1976, 94.
- STURHAN, D. (1980): Vorkommen von Schafgarbenzystenälchen der Gattung *Globodera* in Deutschland? Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **32**, 38-39.
- STURHAN, D. (1982): Distribution of cereal and grass cyst nematodes in the Federal Republic of Germany. EPPO Bulletin **12**, 321-324.
- STURHAN, D. (1984a): Phytonematoden Deutschlands - Zur Lage der Nematodentaxonomie. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **36**, 1-6.
- STURHAN, D. (1984b): Nachweis des Schafgarbenzystenälchens *Globodera millefolii* (Kirjanova & Krall) für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **36**, 81-82.
- STURHAN, D. (1988): Erstnachweis des Beifußzystenälchens (*Globodera artemisiae*). Gesunde Pflanzen **40**, 205-206.
- STURHAN, D., E. KRALL (1991): Weitere Nachweise von *Globodera artemisiae* in Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) **43**, 86.
- STURHAN, D., H.J. RUMPENHORST (1996): Untersuchungen über den *Heterodera avenae*-Komplex. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **317**, 75-91.
- STURHAN, D. (1996): Die Getreide- und Gräserzystenälchen *Heterodera hordecalis* und *H. bifenestra* in Deutschland. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem **317**, 92-101.
- STURHAN, D., E. KRALL (2002) *Heterodera iri* Mathews, 1971 a junior synonym of *H. ustinovi* Kirjanova, 1969. Russian Journal of Nematology **10**, 55-57.
- SUBBOTIN, S.A., H.J. RUMPENHORST, D. STURHAN (1996): Morphological and electrophoretic studies on populations of the *Heterodera avenae* complex from the former USSR. Russian Journal of Nematology **4**, 29-38.
- SUBBOTIN, S.A., D. STURHAN, L. WAEYENBERGE, M. MOENS (1997): *Heterodera riparia* sp. n. (Tylenchida: Heteroderidae) from common nettle, *Urtica dioica* L., and rDNA-RFLP separation of species from the *H. humuli* group. Russian Journal of Nematology **5**, 143-157.
- SUBBOTIN, S.A., D. STURHAN, H.J. RUMPENHORST, M. MOENS (2003): Molecular and morphological characterisation of the *Heterodera avenae* species complex (Tylenchida: Heteroderidae). Nematology **5**, p. 515-538.
- SUBBOTIN, S.A., D. STURHAN (2004): *Heterodera circeae* sp. n. and *H. scutellariae* sp. n. (Tylenchida: Heteroderidae) from Germany, with notes on the *goettingiana* group. Nematology **6**, p. 343-355.
- VOIGT, W. (1894): Neue Varietät des Rübennematoden (*Heterodera schachtii*). Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preußischen Rheinlande, Westfalens und des Regierungs-Bezirks Osnabrück **51**, 94-97.

- WOLLENWEBER, H.W. (1923): Krankheiten und Beschädigungen der Kartoffel. Arbeiten des Forschungsinstitutes für Kartoffelbau **7**, 52.
- WOLLENWEBER, H.W. (1924): Zur Kenntnis der Kartoffel-Heteroderen. Illustrierte Landwirtschaftliche Zeitung **44**, 100-101.
- WOUTS, W.M., B. WEISCHER (1977): Eine Klassifizierung von fünfzehn in Westeuropa häufigen Arten der Heteroderinae auf Grund von Larvenmerkmalen. Nematologica **23**, 289-310.
- WOUTS, W.M., D. STURHAN, (1978): The identity of *Heterodera trifolii* Goffart, 1932 and the description of *H. daverti* n. sp. (Nematoda: Tylenchida). Nematologica **24**, 121-128.
- WOUTS, W.M., B. WEISCHER, C.M. TRIGGS (1987): On the identity of European populations of *Punctodera punctata* (Nematoda: Heteroderidae). Nematologica **32** (1986), 79-88.
- WOUTS, W.M., H.J. RUMPENHORST, D. STURHAN (2001): *Heterodera betae* sp. n., the yellow beet cyst nematode (Nematoda: Heteroderidae). Russian Journal of Nematology **9**, 33-42.
- ZIMMERMANN, H. (1914): Bericht der Hauptstelle für Pflanzenschutz in Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz für das Jahr 1913. Rostock, 73-75.



**NIERE, B.**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Toppheideweg 88, 48161 Münster; e-mail: b.niere@bba.de

**Zur Beurteilung der Resistenz von Kartoffelsorten gegen die Kartoffelzysten-  
nematoden *Globodera pallida* und *Globodera rostochiensis***

On the assessment of resistance of potato varieties to the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*

**Einleitung**

Die Kartoffelzysten- nematoden *Globodera pallida* und *G. rostochiensis* sind bedeutende Quarantäne- schädlinge der Kartoffel und unterliegen weltweit besonderen pflanzengesundheitlichen Regelungen. In Europa wird die Verhinderung der Ausbreitung und ihre Bekämpfung durch die Bekämpfungsrichtlinie 69/465/EWG geregelt. Um die Verbreitung der Kartoffelzysten- nematoden mit befallenem Pflanzmateri- al, dem Hauptverbreitungsweg, zu unterbinden, müssen Vermehrungsflächen für Kartoffelpflanzgut und Pflanzen oder Pflanzenteile, die zum Verpflanzen bestimmt sind, frei von den Kartoffelzysten- nematoden sein.

Zysten- nematoden sind typische Frucht- folgeschädlinge. Nach Einschleppung kann es aber, je nach Kar- toffelanbauintensität, mehrere Jahre oder Jahrzehnte dauern, bis die Nachweisgrenze für diese Nematoden erreicht wird oder Schäden offensichtlich werden. Auf Flächen, auf denen Kartoffelzysten- nematoden nachgewiesen wurden, dürfen Kartoffeln für Wirtschafts- oder Speise- zwecke entsprechend der Bekämp- fungsrichtlinie nur nach Bodenentseuchung angebaut werden oder wenn eine Kartoffel- sorte angebaut wird, die gegen den auf der Fläche vorkommenden Pathotyp resistent ist. Da in Deutschland nur ein Nematizid zur Verfügung steht, kommt den resistenten Kartoffel- sorten eine besondere Bedeutung zu. Der Einsatz resistenter Kartoffel- sorten ist die nachhaltigste und umweltfreundlichste Möglich- keit der Bekämpfung von Kartoffelzysten- nematoden. Durch den Anbau resistenter Sorten wird in der Regel die Anzahl infektiöser Nematodenlarven im Boden stark reduziert.

Die momentane Befallssituation in der EU und der zunehmende Nachweis von Populationen der Viru- lenzgruppe Pa2/3 auf Kartoffelanbauflächen in Deutschland machen es dringend erforderlich, geeignete Maßnahmen zur Bekämpfung speziell dieser Virulenzgruppe zu erforschen. Probleme bereitet die Tatsa- che, dass es sich bei den Kartoffelzysten- nematoden um hoch spezialisierte Schädlinge handelt, die in mehrere Pathotypen bzw. Virulenzgruppen eingeteilt werden können. Obwohl es sich bei den „europäi- schen“ Populationen der Kartoffelzysten- nematoden wahrscheinlich nur um eine Einschleppung von we- nigen Populationen aus den Ursprungsgebieten Südamerikas handelt (TURNER und EVANS, 1998), berei- tet die Charakterisierung einzelner Nematodenpopulationen nach wie vor große Schwierigkeiten. Insbesondere die Virulenzgruppe Pa2/3 von *G. pallida* ist unzureichend charakterisiert.

Die Züchtung von Sorten mit Resistenz gegen diese Virulenzgruppe ist schwierig, und die Nutzung ge- eigneter resistenter Sorten wird durch die strengen gesetzlichen Vorgaben zur Resistenzdefinition zusätz- lich erschwert. Aus diesem Grund stehen nicht für alle Verwendungszwecke resistente Kartoffel- sorten zur Verfügung oder werden vom Verbraucher nicht akzeptiert. Die Bewertung der Resistenz von Kar- toffel- sorten gegen die Kartoffelzysten- nematoden - nach geltendem Recht entsprechend der EU- Bekämpfungsrichtlinie 69/465/EWG und dem Vorschlag der EU- Kommission für eine neue Bekämp- fungsrichtlinie - soll in diesem Beitrag behandelt werden.

**Resistenz gegen Nematoden**

Allgemein wird unter Resistenz die Eigenschaft einer Pflanzenart oder Pflanzensorte verstanden, die Fortpflanzung einer bestimmten Nematodenart zu vermindern (TRUDGILL, 1991). Bei der Sortenbewer- tung reicht es aber nicht aus, die Vermehrung der Nematoden nur zu vermindern. Nach der Definition von MÜLLER (1989) wird Resistenz im Rahmen der Sortenbewertung als die Eigenschaft einer Pflanzensorte definiert, die die Vermehrungsrate einer Nematodeart unter standardisierten Bedingungen auf ein festgelegtes Niveau begrenzt. Dieses Niveau ist von Kulturart zu Kulturart unterschiedlich und muss individuell festgelegt werden. Es ist sinnvoll, dass für resistente Fruchtarten, insbesondere die resistenten Zwischenfrüchte, die vorwiegend zur Nematodenreduktion angebaut werden, strengere Grenzwerte gel-

ten müssen als für Hauptkulturen. Bei der Prüfung und Bewertung der Resistenz müssen nicht nur die biologischen Grundlagen der Nematodenarten, sondern auch, wie im Fall der Kartoffelzystennematoden, rechtliche Rahmenbedingungen beachtet werden.

### **Prüfung und Bewertung von Kartoffelsorten auf Resistenz gegen *Globodera* spp.**

Die EU-Richtlinie zur Bekämpfung der Kartoffelzystennematoden (69/465/EWG) schreibt vor, dass Kartoffelsorten in einem geeigneten Prüfverfahren auf ihre Resistenz zu prüfen sind. Die Prüfung und Bewertung der Resistenz von Kulturpflanzen gegen Nematoden ist gemäß § 33 Abs. 2 Nr. 7 des Pflanzenschutzgesetzes eine zentrale Aufgabe der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft und wird an zwei Standorten des Instituts für Nematologie und Wirbeltierkunde (in Münster und Kleinmachnow) durchgeführt. Die Einzelheiten der Resistenzprüfung wurden von MÜLLER und RUMPENHORST (2000) zusammengefasst. Da der Pathotyp Pa1 auf dem europäischen Festland noch nicht nachgewiesen wurde, erfolgt die Prüfung der Kartoffelsorten auf Resistenz nur gegen die Pathotypen Pa2 und Pa3 von *G. pallida* und die Pathotypen Ro1-Ro5 von *G. rostochiensis* entsprechend der Pathotypeneinteilung nach KORT et al. (1977). Allerdings ist bekannt, dass als „echte“ Pathotypen im Sinne einer Gen-für-Gen-Beziehung nur die Pathotypen Ro1 und Ro4 (H1-Resistenzgen in Kartoffel) und Pa1 (H2-Resistenzgen) bezeichnet werden können (ANONYM, 1985; TRUDGILL, 1985). Alle anderen genannten Pathotypen müssen als Virulenzgruppen angesehen werden, die sich aus einer variierenden Anzahl von Individuen mit unterschiedlichen Virulenzgenen zusammensetzen. In Ermangelung eines besseren Systems der Pathotypenklassifizierung müssen die Bezeichnungen nach KORT et al. (1977) vorläufig beibehalten werden.

Die Resistenzbewertung einer Kartoffelsorte erfolgt nach den gesetzlichen Vorgaben der EU-Bekämpfungsrichtlinie. Entsprechend der EU-Bekämpfungsrichtlinie kann eine Kartoffelsorte nur dann als resistent gegen die verschiedenen Pathotypen der Kartoffelzystennematoden bezeichnet werden, wenn bei ihrem Anbau die Population des jeweiligen Pathotyps jährlich auf natürliche Weise zurückgeht. Dies bedeutet, dass die ermittelte Vermehrungsrate ( $P_t/P_i$ -Wert) einen Wert kleiner als eins haben muss (eins minus jährlicher natürlicher Rückgang). Der jährliche natürliche Rückgang ist keine konstante Größe und von vielen Faktoren abhängig. Spontaner Schlupf der Larven in Abwesenheit von Wirtspflanzen trägt im wesentlichen zum jährlichen natürlichen Rückgang bei. In Mitteleuropa wird ein natürlicher Rückgang von durchschnittlich 30 bis 35 % der Population erwartet (WHITEHEAD und TURNER, 1998). In Deutschland wird ein Rückgang von 40 % angenommen (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000). Eine Sorte wird dann als resistent bezeichnet, wenn die Vermehrungsrate den Wert 0,6 nach Verrechnung auf ein einheitliches Niveau (standardisierte maximale Vermehrungsrate von 25) unter den Prüfbedingungen nicht überschreitet. Eine resistente Sorte muss in Bezug auf die Nematodenvermehrung also mindestens so gut wie eine Nichtwirtspflanze sein.

Die Höhe des jährlichen natürlichen Rückgangs beeinflusst erheblich den Wert, der als Grenzwert für die Bewertung einer resistenten Sorte gilt. Obwohl der jährliche natürliche Rückgang in Mitteleuropa großen Schwankungen durch die vorherrschenden Bodenverhältnisse, Witterung und Antagonisten unterliegt, stark von der Nematodenpopulation am Standort abhängt und darüber hinaus von Jahr zu Jahr abnimmt, muss mit konstanten Schätzwerten gearbeitet werden, die mehr oder weniger zutreffend die reale Situation abbilden. Bei einem jährlichen natürlichen Rückgang von nur 20 % im ersten Jahr betrüge die Grenzvermehrungsrate 0,8, bei der eine Sorte noch als resistent bezeichnet werden könnte. Bei einem Rückgang von 40 % dürfte die Vermehrung nicht über 0,6 liegen.

Wann eine Sorte die Nematodenpopulation im Boden unter Feldbedingungen reduziert, hängt nicht nur vom jährlichen natürlichen Rückgang ab, sondern wird noch durch verschiedene andere Faktoren beeinflusst. Die maximale Vermehrungsrate der Nematoden unter Feldbedingungen ist dichte- und witterungsabhängig und erheblichen Schwankungen unterliegen: Die Vermehrungsraten können deshalb Werte zwischen 10 und 25 annehmen. Da die Vermehrungsraten an den anfälligen Vergleichssorten unter standardisierten Gewächshausbedingungen in der Regel wesentlich höher als im Freiland liegen und zwischen 30 und 80 schwanken, muss eine Standardisierung vorgenommen werden. In Deutschland wird eine Standardisierung der im Topfversuch ermittelten Vermehrungsraten auf den Wert 25 vorgenommen. Der Korrekturwert, mit dem alle Prüfergebnisse multipliziert werden, hat einen Wert  $<1$ . Werden die Werte auf eine maximale Vermehrung von 20, 15 oder gar 10 standardisiert, ergeben sich daraus andere Werte mit den entsprechenden Konsequenzen für die Resistenzbewertung (Tab. 1). Je höher die Vermeh-

rungsrate unter den Prüfbedingungen ist und je niedriger die maximale Vermehrungsrate unter Feldbedingungen angesetzt wird, desto kleiner wird der Korrekturfaktor.

**Tab. 1** Beispielhafte Umrechnung der im Topfstest ermittelten Vermehrungsraten ( $P_f/P_i$ -Wert) von Kartoffelzystemnematoden an Kartoffelsorten und Standardisierung der Werte auf maximale Vermehrungsraten von 25, 20, 15 und 10

$P_f/P_i$	$P_f/P_i$ korr 25	$P_f/P_i$ korr 20	$P_f/P_i$ korr 15	$P_f/P_i$ korr 10
<b>0,4</b>	0,25	0,2	0,15	0,1
<b>1,2</b>	0,75	0,6	0,45	0,3
<b>2</b>	1,25	1	0,75	0,5
<b>4</b>	2,5	2	1,5	1
<b>6</b>	3,75	3	2,25	1,5
<b>10</b>	6,25	5	3,75	2,5
<b>20</b>	12,5	10	7,5	5
<b>40</b>	25	20	15	10
<b>50</b>	31,25	25	18,75	12,5

Die Vermehrungsrate von Sorten mit vollständiger Resistenz gegen Ro1 und Ro4 liegt in der Regel unter 0,2 und bereitet bei der Beurteilung keine Schwierigkeiten. Eine Unterscheidung von Sorten in „hoch resistente“ oder „resistente“ Sorten (LAUENSTEIN, 2006; ANONYM, 2002) wird durch die EU-Richtlinie nicht ausgeschlossen, sofern der o. a. Wert nicht überschritten wird. Schwieriger ist die Beurteilung von Kartoffelsorten mit quantitativer Resistenz gegen Populationen der Virulenzgruppen Ro2, Ro3, Ro5 und insbesondere Pa2/3. Um dieser Problematik gerecht zu werden, wurde im Rahmen von Arbeitsgruppen der Begriff der Teilresistenz (partial resistance) ausgearbeitet (ANONYM, 1985; MUGNIÉRY et al., 1989). In Deutschland wird Teilresistenz dann ausgesprochen, wenn die standardisierte Vermehrungsrate an der Prüfsorte zwischen 0,6 und 1,2 liegt. In Deutschland sind - obwohl es für die Verwendung teilresistenter Sorten keine rechtliche Grundlage gibt - mehrere Kartoffelsorten mit Teilresistenz gegen die Pathotypen Pa2 und Pa3 zugelassen (ANONYM, 2005). Der Begriff Teilresistenz ist allerdings nicht eindeutig definiert. Als teilresistent können auch Sorten verstanden werden, die nur gegen einen Teil der vorkommenden Pathotypen oder Populationen resistent sind. Da Resistenz im Sinne der Sortenbewertung als quantifizierbare Eigenschaft definiert ist, ist der Begriff Teilresistenz nach MÜLLER (1989) sogar überflüssig. Für die Bewertung der Resistenz von Kartoffeln gegen Kartoffelzystemnematoden ist diese Quantifizierung jedoch nicht möglich, da Resistenz gegen Kartoffelzystemnematoden durch die EU-Richtlinie mit einem Grenzwert definiert ist.

### Vorschlag für ein neues System zur Bewertung der Resistenz von Kartoffeln gegen Kartoffelzystemnematoden

Im Jahr 1984 wurde auf einem Arbeitsgruppentreffen über Zystemnematoden in Münster der Vorschlag für eine Neubewertung der Resistenz bzw. Teilresistenz von Kartoffelsorten gegen Zystemnematoden gemacht (ANONYM, 1985). Später folgte dann eine Empfehlung der European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO), wie die Prüfung von Kartoffeln auf Resistenz gegen Kartoffelzystemnematoden durchgeführt werden sollte (EPPO, 1992). Auf Grund der schon zuvor beschriebenen rechtlichen Probleme einer quantitativen Resistenzbewertung bei Kartoffeln über den gesetzten Grenzwert hinaus, wurde dieser Vorschlag nie umgesetzt. Erst im Rahmen der Überarbeitung der EU-Bekämpfungsrichtlinie für Kartoffelzystemnematoden durch die EU-Kommission, wurde dieser Vorschlag wieder aufgegriffen. Auf einem Arbeitsgruppentreffen in Münster im Jahr 2004 wurde ein Protokoll für die Prüfung von Kartoffeln auf Resistenz gegen Kartoffelzystemnematoden ausgearbeitet. Dieses Testverfahren ist als Anhang im Kommissionsentwurf für die Neufassung der EU-Bekämpfungsrichtlinie aufgenommen<sup>1</sup>. Die Annahme als EPPO-Standard wurde ebenfalls vorgeschlagen.

<sup>1</sup> Entwurf der EU-Richtlinie zur Bekämpfung der Kartoffelzystemnematoden im Internet unter: [http://europa.eu.int/prelex/detail\\_dossier\\_real.cfm?CL=en&DosId=192777](http://europa.eu.int/prelex/detail_dossier_real.cfm?CL=en&DosId=192777)

Bei Verabschiedung des Kommissionsentwurfs in seiner jetzigen Form würde zum ersten Mal ein einheitliches Testverfahren für die Resistenzbewertung von Kartoffeln in der EU gelten. Wesentliche Änderungen zu den momentanen Testbedingungen in Deutschland betreffen die Topfgröße und die Anzahl der auszuwertenden Einzeltöpfe sowie die Erfassung des Endbesatzes. Weitere Spezifikationen betreffen die anfällige Vergleichssorte und die Nematodenpopulationen für die Pathotypen Ro1, Ro5, Pa1 und Pa3. Einzelne Elemente, die das Ergebnis der Resistenzbewertung beeinflussen können, werden im Folgenden diskutiert.

In Artikel 2 des Kommissionsentwurfs wird eine Kartoffelsorte dann als resistent definiert, wenn bei deren Anbau die Entwicklung einer bestimmten Kartoffelnematodenpopulation deutlich gehemmt wird. Dies entspricht der allgemein akzeptierten Definition von Resistenz (MÜLLER, 1989). Um eine Sortenbewertung vornehmen zu können, muss die Resistenz laut Richtlinienentwurf anhand einer Standardbewertungsskala, die in Anhang V des Richtlinienentwurfes festgelegt ist, quantifiziert werden (Tab. 2). Die Quantifizierung der Resistenz basiert auf der Ermittlung der relativen Anfälligkeit (ausgedrückt in Prozent) der Prüfstämme im Vergleich zur voll anfälligen Vergleichssorte. Die Formel lautet entsprechend:

$$P_f \text{ Prüfstamm} / P_f \text{ anfällige Vergleichssorte} \times 100\%$$

**Tab. 2** Standardbewertungsskala zur Ermittlung der Resistenznote (Bewertungszahl) von Kartoffelsorten mit Resistenz gegen *Globodera pallida* und *G. rostochiensis* von Kartoffelsorten basierend auf der relativen Anfälligkeit der Prüfsorte im Vergleich zur voll anfälligen Vergleichssorte 'Desirée'.

Relative Anfälligkeit (%)	Bewertungszahl
< 1	9
1,1 – 3	8
3,1 – 5	7
5,1 – 10	6
10,1 – 15	5
15,1 – 25	4
25,1 – 50	3
50,1 – 100	2
> 100	1

Die voll anfällige Vergleichssorte erhält nach diesem Schema die Note 2; mit der Note 9 wird die höchste Resistenzstufe beschrieben. Entsprechend der üblichen Klassifizierung durch das Bundessortenamt müsste die Bewertungsskala mit aufsteigender statt absteigender Bewertungszahl aufgeführt werden. Die Note 1 würde dann die höchste Resistenzstufe bzw. geringste Anfälligkeit beschreiben.

Der Vergleich der korrigierten Vermehrungsraten mit der relativen Anfälligkeit bzw. den daraus resultierenden Bewertungszahlen zeigt, dass die Noten neun bis sieben (entsprechend <5 % relative Anfälligkeit) etwa die Werte umfassen, die momentan Resistenz bzw. Teilresistenz beschreiben (Tab. 3).

**Tab. 3** Beispielhafte Umrechnung der Vermehrungsraten ( $P_f/P_i$ -Wert) von Kartoffelzystennematoden an Kartoffelsorten und Vergleich der Vermehrungsrate mit der relativen Anfälligkeit bei einem Ausgangsbesatz ( $P_i$ ) von 5 Eiern und Larven/g Boden.

$P_f/P_i$	$P_f/P_i$ korr 25	$P_f/P_i$ korr 20	$P_f/P_i$ korr 15	$P_f/P_i$ korr 10	Rel. Anfälligkeit [%] <sup>1</sup>	Note <sup>2</sup>
0,4	0,25	0,2	0,15	0,1	1	9
1,2	0,75	0,6	0,45	0,3	3	8
2	1,25	1	0,75	0,5	5	7
4	2,5	2	1,5	1	10	6
6	3,75	3	2,25	1,5	15	5
10	6,25	5	3,75	2,5	25	4
20	12,5	10	7,5	5	50	3
40	25	20	15	10	100	2
50	31,25	25	18,75	12,5	125	1

<sup>1</sup> Relative Anfälligkeit =  $P_f$  Prüfstamm /  $P_f$  anfällige Vergleichssorte x 100%; <sup>2</sup> Note entsprechend Kommissionsvorschlag

Die Bewertung der Resistenz nach dem vorgeschlagenen System soll es ermöglichen, auch Sorten nutzbar zu machen, die eine relative Anfälligkeit größer als 5 % haben. Wie weit dieser Bereich sinnvoll ausgedehnt werden kann, muss individuell und entsprechend der jeweiligen Anbausituation entschieden werden. Im Sinne der vorgeschlagenen Bekämpfungsrichtlinie ist ein Grenzwert der Vermehrungsrate, bis zu dem eine Sorte als resistent bezeichnet werden kann, anders als bei der Regelung durch die gültige Richtlinie, nicht notwendig. Bei Annahme des Richtlinienentwurfs wäre die Eigenschaft „resistent gegen *Globodera* spp.“ nur sinnvoll im Zusammenhang mit einer Resistenznote (Bewertungszahl). Dies stellt in gewisser Weise eine Besonderheit der Resistenzbewertung im Rahmen der Sortenbewertung dar (ebenso wie die momentan gültige Resistenzdefinition eine Besonderheit ist). Die abgestufte Bewertung der Resistenz trägt vor allem der komplexen Virulenzsituation innerhalb der Virulenzgruppe Pa2/3 von *G. pallida* Rechnung. Bei der Bewertung der Resistenz von Kartoffelsorten gegen die „echten“ Pathotypen spielt dies keine Rolle, da bei Vorhandensein der entsprechenden Resistenzgene (H1- und H2-Gen) vollständige Resistenz vorliegt und diese Sorten mit den höchsten Resistenznoten (Bewertungszahlen) bewertet werden würden.

### Forschungsbedarf

Das vorgeschlagene Resistenzprüfungsverfahren sieht vor, dass bei Vorliegen wissenschaftlicher Erkenntnisse darüber, dass andere Vergleichssorten oder Nematodenpopulationen besser geeignet oder repräsentativer sind als die im Testverfahren genannten, diese entsprechend geändert oder hinzugefügt werden können. Dies trifft insbesondere auf die Nematodenpopulationen der Virulenzgruppe Pa2/3 zu. Hier wurde als Standard die hochvirulente Nematodenpopulation Chavornay definiert, in der Annahme, dass es sich um die Population mit der derzeit bekannten höchsten Virulenz in Europa handelt. Man kann aber nicht von einem gleitenden Übergang der Virulenzeigenschaften in den Populationen der Virulenzgruppe Pa2/3 ausgehen. Es ist dementsprechend sinnvoll, von einem bestimmten, noch nicht näher differenzierbarem, Virulenzphänotyp, z. B. Chavornay oder Delmsen (beide Pathotyp Pa3), zu sprechen. Die Standardtestpopulation muss deshalb an den in der Region, in der die Kartoffelsorte eingesetzt werden soll, vorherrschendem Virulenzphänotyp angepasst sein. Dies setzt voraus, dass die in einer Region vorhandenen bzw. vorherrschenden Populationen hinreichend genau charakterisiert sind. In keinem Fall kann eine Mischung von Populationen in der Prüfung eingesetzt werden.

Der Nachweis und die eindeutige Charakterisierung der Kartoffelzystennematoden bereitet nach wie vor große Schwierigkeiten. Abgesehen von den Unzulänglichkeiten des Pathotypenschemas nach KORT et al. (1977), bereitet insbesondere die Charakterisierung von Mischpopulationen im Feld große Probleme. Man kann nicht davon ausgehen, dass es sich bei jedem Nachweis von Kartoffelzystennematoden um reine Pathotypen oder auch nur um jeweils eine Art handelt. Sorten, die auf Flächen mit Mischpopulationen angebaut werden sollen, müssten deshalb idealerweise gegen alle auf dieser Fläche vorkommenden Nematodenvirulenzgene resistent sein. Das Problem besteht darin, die genaue Zusammensetzung der jeweiligen Nematodenpopulation zu bestimmen.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass trotz der Schwierigkeiten bei der Charakterisierung der Nematodenpopulationen, eventuelle Veränderungen im Pathotypenspektrum der Nematoden beobachtet und frühzeitig erkannt werden müssen. Dass es durch Anbau resistenter Sorten zu einer Virulenzselektion kommen kann, wurde bereits gezeigt (BENIERS et al., 1995; SCHOUTEN und BENIERS, 1997; TURNER, 1990). Ebenso können anfällige Sorten einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Nematodenpopulation ausüben (KORT und JASPERS, 1973). Ob es durch den Anbau von Sorten mit schwächer ausgeprägter Resistenz gegen *G. pallida* Pa2/3 schneller zu einer Selektion von „neuen“ Pathotypen kommen kann und ob dies unter Praxisbedingungen in relevanten Zeiträumen, d. h. in der wirtschaftlichen Lebensdauer einer Kartoffelsorte, geschieht, muss beobachtet werden. Falls alle Sorten den gleichen genetischen Hintergrund haben, erscheint dies problematisch.

Sowohl die Feststellung von Mischpopulationen als auch das Auffinden von Veränderungen im Virulenzspektrum können momentan nur im relativ zeit- und arbeitsaufwändigem Biotest an einem Differentialsortiment erfolgen. Für die Pathotypendiagnostik müssen deshalb praktikable Routinelösungen erarbeitet werden.

Aus Gründen der Verfügbarkeit von Vergleichssorten, ist eine ständige Anpassung der Prüfbedingungen in diesem Punkt unumgänglich. Die Auswahl der anfälligen Vergleichssorte beeinflusst in erheblichem Maß die Bewertung der Resistenz. Momentan ist die Sorte 'Désirée' als anfällige Vergleichssorte im Richtlinienentwurf vorgeschrieben. Diese Sorte ist nach vorläufigen Ergebnissen zwar tendenziell die anfälligste der geprüften Sorten gegen den Pathotyp Ro1 Hannover (Tab. 4) aber nicht die anfälligste Sorte gegen den Pathotyp Pa3 Delmsen (Tab.5).

**Tab. 4** Vermehrungsraten und relative Anfälligkeit von Kartoffelsorten ohne Resistenz gegen *Globodera rostochiensis* Ro1 (Population Hannover) nach einjähriger Testung entsprechend der von MÜLLER und RUM-PENHORST (2000) beschriebenen Methode; n=5.

Sorte	$P_f/P_i$	$P_f/P_i$ korr <sup>1</sup>	Relative Anfälligkeit [%] <sup>2</sup>	Note <sup>3</sup>
Désirée	72,2	36,8	100	2
Forelle	71,1	36,2	98	2
Sieglinde	68,6	34,9	95	2
Liu	66,5	33,9	92	2
Atica	52,3	26,6	72	2
Erntestolz	49,6	25,3	69	2
Karat	47,3	24,1	65	2
Grata	46,5	23,7	64	2
Linda	46,4	23,6	64	2
Selma	45,9	23,4	64	2
Hansa	43,4	22,1	60	2
Bintje	41,4	21,1	57	2
Hela	31,5	16,0	44	3
Adretta	30,5	15,5	42	3
Arkula	23,2	11,8	32	3

<sup>1</sup> Standardisierung auf eine Vermehrungsrate von 25. <sup>2</sup> Relative Anfälligkeit zur Standardvergleichssorte 'Désirée' (= 100 %).

<sup>3</sup> Note entsprechend Kommissionsvorschlag.

Solange die Sorte 'Désirée' als Vergleichssorte beibehalten wird, ergeben sich durch die unterschiedlichen Anfälligkeiten keine Probleme, da alle Sorten entsprechend dem Standard bewertet werden. Ein Austausch der Sorte 'Désirée' gegen eine andere Vergleichssorte kann nicht ohne Weiteres vorgenommen werden. In jedem Fall sollte sich die relative Anfälligkeit einer neuen Vergleichssorte an der von 'Désirée' orientieren. Bei Verwendung z. B. der Sorte 'Bintje' als Vergleichssorte in der Prüfung auf Resistenz gegen Populationen der Virulenzgruppe Pa2/3 würden die geprüften Sorten u. U. besser bewertet als bei einer Ermittlung der relativen Anfälligkeit an der Sorte 'Désirée' (Tab. 5). Da aber die Sorten unterschiedlich anfällig gegenüber den verschiedenen Nematodenpopulationen sind (Tab. 4 und 5),

schiedlich anfällig gegenüber den verschiedenen Nematodenpopulationen sind (Tab. 4 und 5), müssen weitere Untersuchungen darüber durchgeführt werden, welche Sorten geeignet wären.

**Tab. 5** Vermehrungsraten und relative Anfälligkeit von Kartoffelsorten ohne Resistenz gegen *Globodera pallida* Pa3 (Population Delmsen) nach einjähriger Testung entsprechend der von MÜLLER und RUMPENHORST (2000) beschriebenen Methode; n=5.

Sorte	$P_f/P_i$	$P_f/P_i$ korr <sup>1</sup>	Relative Anfälligkeit [%] <sup>2</sup>	Note <sup>3</sup>
Atica	57,6	39,5	145	1
Bintje	56,1	38,4	141	1
Sieglinde	52,1	35,7	132	1
Erntestolz	44,1	30,2	111	1
Liu	44,1	30,2	111	1
Linda	41,5	28,4	105	1
Selma	40,3	27,6	102	1
Hansa	40,2	27,5	101	1
Désirée	39,6	27,1	100	2
Karat	28,5	19,5	72	2
Arkula	26,6	18,2	67	2
Adretta	22,1	15,2	56	2
Forelle	21,1	14,5	53	2
Hela	19,9	13,6	50	3
Grata	13,7	9,4	35	3

<sup>1</sup> Standardisierung auf eine Vermehrungsrate von 25. <sup>2</sup> Relative Anfälligkeit zur Standardvergleichssorte 'Désirée' (= 100 %).

<sup>3</sup> Note entsprechend Kommissionsvorschlag.

## Ausblick

Durch die Harmonisierung der Resistenzprüfung in der EU wären die Ergebnisse EU-weit vergleichbar und aufwändige Mehrfachprüfungen könnten entfallen. In Deutschland betrifft dies die Kartoffelsorten, die in der EU zugelassen sind und auch in Deutschland vermehrt werden können („§ 55-Sorten“). Momentan werden diese Sorten als anfällig für Kartoffelzystennematoden eingestuft, wenn keine inländische Stelle die Resistenz geprüft hat.

Wie schon zuvor erwähnt, bereitet die Züchtung von Kartoffelsorten mit Resistenz gegen *G. pallida* große Probleme. Dies wird durch die aktuelle Zulassungssituation verdeutlicht. Während etwa 90 % aller in Deutschland zugelassenen Kartoffelsorten resistent gegen den am weitest verbreiteten Pathotyp Ro1 sind, sind weniger als 5 % der Kartoffelsorten gegen die Pathotypen Pa2 und Pa3 (Virulenzgruppe Pa2/3) resistent (ANONYM, 2005). Man muss davon ausgehen, dass sich durch die vorgeschlagene differenziertere Resistenzbewertung das Sortiment von Sorten mit Resistenz gegen die Virulenzgruppe Pa2/3 vergrößern würde. Besonders Regionen mit intensivem Kartoffelanbau sind zunehmend von einer großflächigen Belastung mit Populationen der Virulenzgruppe Pa2/3 betroffen (LAUENSTEIN, dieser Band). Hier können auch Sorten mit schwächer ausgeprägter Resistenz in Verbindung mit anderen pflanzenbaulichen Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Besatzdichten leisten. Wünschenswert wäre es außerdem, wenn diese Sorten zusätzlich die Eigenschaft Toleranz gegen Kartoffelzystennematoden aufwiesen. Toleranz wird momentan nicht bei der Sortenbewertung berücksichtigt.

Durch das vorgeschlagene System der Resistenzbewertung würde ein Anreiz für die Züchter geschaffen, die Züchtung auf Resistenz gegen *G. pallida* zu intensivieren. Es wäre wünschenswert, wenn durch eine differenziertere Sortenbewertung die Kartoffelzüchtung neue Impulse erfährt und verschiedene Resistenzquellen, auch solche, die eine schwächer ausgebildete Resistenz vermitteln, verstärkt in der Neuzüchtung Verwendung finden. Dies könnte bedeuten, dass auch Kreuzungsprodukte, die unterschiedliche Kombinationen von Haupt- und Nebenresistenzgenen besitzen, zugelassen oder neue Resistenzquellen erschlossen werden, die keine vollständige Resistenz vermitteln. Der Anbau von

erschlossen werden, die keine vollständige Resistenz vermitteln. Der Anbau von Sorten, deren Resistenz nicht nur auf die Einkreuzung von Resistenzgenen aus *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* oder *S. vernei* zurückgeht, könnte dazu beitragen, den Druck zur Selektion virulenter Nematodenpopulationen zu reduzieren.

Der Stellenwert resistenter Kartoffelsorten bei der Bekämpfung der Kartoffelzylstennematoden wird durch den vorliegenden Richtlinienentwurf stärker als andere Maßnahmen betont. Die Verwendung resistenter Sorten mit den jeweils höchsten verfügbaren Bewertungszahlen muss in ein Bekämpfungsprogramm eingebettet sein mit dem Ziel der Reduktion der Besatzdichte (Artikel 9 (2) des Richtlinienentwurfs). Das Ziel der vorgeschlagenen Richtlinie, die Bekämpfung der Kartoffelzylstennematoden, kann durch den Einsatz von Sorten mit abgestufter Resistenz in Kombination mit anderen Maßnahmen innerhalb einer Rotation erreicht werden.

## Zusammenfassung

Der Anbau resistenter Kartoffelsorten ist von großer Bedeutung für die nachhaltige Bekämpfung der Kartoffelzylstennematoden und in der EU auf Befallsflächen gesetzlich vorgeschrieben. Durch die Bekämpfungsrichtlinie 69/465/EWG ist definiert, wann eine Kartoffelsorte als resistent bezeichnet werden kann. Für die von der EU-Kommission vorgeschlagene Neufassung der Bekämpfungsrichtlinie wurde ein neues System der Resistenzbewertung ausgearbeitet. Dieses sieht eine auf der relativen Anfälligkeit der Testsorte zu einer Vergleichssorte basierende abgestufte Resistenzbewertung vor. Die unterschiedlichen Bewertungssysteme werden vorgestellt und Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen können, werden diskutiert. Eine abgestufte Resistenzbewertung bringt große Vorteile für die Produzenten von Kartoffeln, die mit Kartoffelzylstennematoden, insbesondere mit *G. pallida*-Populationen der Virulenzgruppe Pa2/3, belastete Flächen bewirtschaften müssen. Neue Impulse für die Züchtung von Kartoffelsorten mit Resistenz gegen *Globodera* spp. werden erwartet.

## Summary

Growing potato cultivars with resistance to potato cyst nematodes is an important measure for the sustainable control of these nematodes and mandatory on infested fields in the EU. The control directive 69/464/EEC defines resistance of potato to potato cyst nematodes. In the process of revising the control directive, a new system for testing and scoring for resistance of potato was developed. The system proposes to use a scoring notation based on the relative susceptibility of the test clone to a standard susceptible control variety. The different systems are presented and factors, that could influence test results, are discussed. A scoring system that can differentiate potato varieties with different levels of resistance is seen as being of great value to producers particularly those facing problems with populations of *G. pallida* virulence group Pa2/3. A stimulus for breeding potatoes with resistance to *Globodera* spp. is expected.

## Literatur

- ANONYM (1985): Conclusions of the EPPO workshop on cyst nematodes Münster (FRG), 26-28 June, 1984. EPPO Bulletin **15**, 121-122.
- ANONYM (2002): Protocol voor het cultuur- en gebruikswaarde onderzoek van aardappelen. Bijlage 1: Bepaling van de resistentie tegen aardappelcysteaaltjes. Commissie voor de Samenstelling van de Rassenlijst voor Landbouwgewassen. Centre for Genetic Resources, Wageningen, The Netherlands. 57 S.
- ANONYM (2005): Bundessortenamt - Beschreibende Sortenliste Kartoffeln. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover. 128 S.
- BENIERS, A., A. MULDER, H.J. SCHOUTEN (1995): Selection for virulence of *Globodera pallida* by potato cultivars. Fundamental and Applied Nematology **18**, 497-500.
- EPPO (1992): Recommendation of the EPPO Council (1990): Evaluation of resistance to potato cyst nematodes. EPPO Technical Documents No. 1013. EPPO Secretariat, Paris, Frankreich. 63-64.
- KORT, J., C.P. JASPERS (1973): Shift of pathotypes of *Heterodera rostochiensis* under susceptible potato cultivars. Nematologica **19**, 538-545.
- KORT, J., H. ROSS, H.J. RUMPENHORST, A.R. STONE (1977): An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. Nematologica **23**, 333-339.



- LAUENSTEIN, G. (2006): Beiträge zur Ausprägung von Resistenz und Toleranz ausgewählter Wirtschaftssorten von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) bei Befall mit Kartoffelzystennematoden (*Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens), Virulenzgruppe Pa2/3. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem, **404**, 96 S.
- MUGNIÉRY, D., M.S. PHILLIPS, H.J. RUMPENHORST, A.R. STONE, A. TREUR, D.L. TRUDGILL (1989): Assessment of partial resistance to, and pathotype and virulence differences in, potato cyst nematodes. EPPO Bulletin **19**, 7-25.
- MÜLLER, J. (1989): Zur Definition von Resistenz und anderer Fachbegriffe in der Nematologie. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **41**, 137-139.
- MÜLLER, J., H.J. RUMPENHORST (2000): Die Prüfung von Pflanzen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Schadorganismen in der Biologischen Bundesanstalt - Teil 1: Die Prüfung von Kulturpflanzen auf Resistenz gegen pflanzenparasitäre Nematoden. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **372**. 38 S.
- SCHOUTEN, H. J., J.E. BENIERS (1997): Durability of resistance to *Globodera pallida* 1. Changes in pathogenicity, virulence, and aggressiveness during reproduction on partially resistant potato cultivars. Phytopathology **87**, 862-867.
- TRUDGILL, D.L. (1985): Potato cyst nematodes: a critical review of the current pathotyping scheme. EPPO Bulletin **15**, 273-279.
- TRUDGILL, D.L. (1991): Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants. Ann. Rev. Phytopathology **29**, 167-192.
- TURNER, S. (1990): The identification and fitness of virulent potato cyst nematode populations (*Globodera pallida*) selected on resistant *Solanum vernei* hybrids for up to eleven generations. Annals of Applied Biology **117**, 385-397.
- TURNER, S.J., K. EVANS (1998): The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone). In: MARKS, R.J., B.B. BRODIE (Eds.) Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control. CABI Publishing, Wallingford, 7-26.
- WHITEHEAD, A.G., S.J. TURNER (1998): Management and regulatory control strategies for potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*). In: MARKS, R.J., B.B. BRODIE (Eds.) Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution and Control. CABI Publishing, Wallingford, 135-152.

**LAUENSTEIN, G.**

Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Sedanstraße 4, 26121 Oldenburg und Institut für Phytopathologie der Justus-Liebig-Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Gießen; e-mail: gerhard.lauenstein@lwk-niedersachsen.de

## **Beiträge zur Ausprägung von Resistenz und Toleranz ausgewählter Wirtschaftssorten von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) bei Befall mit Kartoffelzystennematoden (*Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens), Virulenzgruppe Pa2/3**

Remarks on the expression of resistance and tolerance in starch potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars against potato-cyst-nematodes (*Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens), virulence group Pa2/3

**Einleitung**

Die derzeitigen internationalen und nationalen Rechtsvorschriften zur Bekämpfung der Kartoffelzystennematoden (Potato cyst nematodes = PCN) dienen dem Zweck, den Import von PCN in bisher befallsfreie Regionen zu verhindern und in Befallsregionen die weitere Ausbreitung der Schädlinge herabzusetzen oder ganz zu verhindern. Trotz der kontroversen Diskussionen um die Neufassung der EU-Richtlinie zur Bekämpfung der Kartoffelzystennematoden, die derzeit noch im Entwurf vorliegt, bestand weitgehend Einigkeit, dass der Resistenz von Sorten als Instrument der Kontrolle eine hohe Bedeutung beizumessen ist. Die „Toleranz“ wird dabei offenbar als phytopathologisch nicht relevante ökonomische Größe angesehen. Wenn auch die Nutzung der Resistenz auf befallenen Flächen rechtlich vorgeschrieben ist, so hat eine solche Maßnahme in der Praxis doch nur Aussicht auf einen umfassenden und überzeugenden Einsatz, wenn die resistente Sorte ein hohes Ertragspotential hat und auf Befall mit möglichst geringen Ertragsausfällen reagiert.

Die Termini „Resistenz“ und „Toleranz“ werden oft überlappend definiert. Im folgenden werden die Definitionen verwendet, wie sie sich in der nematologischen Terminologie der neueren Zeit durchgesetzt haben. Danach ist Resistenz „die Eigenschaft einer Pflanzenart oder -sorte, die Fortpflanzung einer bestimmten Nematodenart zu begrenzen“ (MÜLLER, 1989; EVANS und HAYDOCK, 1990). An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass der Entwurf der EU-Richtlinie „Resistenz“ als die Eigenschaft einer Sorte definiert, bei deren Anbau die Entwicklung einer bestimmten Kartoffelzystennematodenpopulation deutlich gehemmt wird. Toleranz wird definiert als „die Eigenschaft einer Pflanzenart oder -sorte, auf Nematodenbefall nicht oder weniger empfindlich mit Krankheitssymptomen und/oder Ertragsminderung zu reagieren“ (MÜLLER, 1989; EVANS und HAYDOCK, 1990; TRUDGILL und COTES, 1983a,b).

In Versuchen, die 1981 aufgenommen wurden, sollte untersucht werden, wie sich die Merkmale „Resistenz“ und „Toleranz“ im Freiland bei ausgewählten Wirtschaftssorten in Bezug auf unterschiedliche Befalldichten von PCN (Pa2/3) ausprägen.

**Material und Methode**

Getestet wurden bisher 69 Wirtschaftskartoffelsorten in Feldern, die mit *G. pallida* verseucht waren. Erste Übersichten über Resultate wurden von LAUENSTEIN (1991, 1997) gegeben. Alle Versuche wurden auf Praxisflächen im Landkreis Emsland angelegt. Die Böden (mittels Sandmischkultur nutzbar gemachte Hochmoorflächen bzw. tiefgepflügte Podsolböden) wiesen Bodenzahlen von 20-40 auf. Die Flächen wurden mit Praxisgeräten bepflanzt und praxisüblich gedüngt, die standortüblichen Pflanzenschutzmaßnahmen richteten sich gegen *Rhizoctonia solani*, Unkräuter sowie gegen *Phytophthora infestans*.

Für die Versuchsanlage wurde das Schema des „kontrollierten Anbauvergleichs“ gewählt; dies ist eine Streifenanlage (je Sorte ein Streifen von ca. 6-9 m Breite und 50-100 m Länge), wobei vorab je Streifen 4 Mess- und Ernteparzellen von ca. 25 m<sup>2</sup> Fläche eingemessen wurden, in denen sämtliche Kriterien erhoben wurden. Geeignete Flächen wurden mit Hilfe der Methoden nach GOFFART (1958), SCHUILLING (in CLAYDEN et al. 1985) und BIJLOO (1954) auf Befall mit PCN untersucht. Die endgültige Auswahl erfolgte nach dem durchschnittlichen Befallswert, um bei den mehrjährig konzipierten Versuchen eine breite Palette unterschiedlicher Ausgangsbefallswerte einbeziehen zu können.

In den Mess- und Ernteparzellen wurde mit Hilfe eines Probenstechers nach GOFFART (1958) bei 40 Einstichen bis zu einer Tiefe von 10 cm je eine Mischprobe von 3-4 l gewonnen. Die Mischprobe wurde im Trockenschrank bei 35°C getrocknet, dann wurde nach erneuter Durchmischung mittels Rhönradmischer eine Teilmenge von 100 ml gezogen und nach den Methoden SCHUILING bzw. BIJLOO (s. o.) auf PCN untersucht. Abundanzen wurden als Anzahl lebensfähiger Eier und Larven in 100 ml Boden angegeben.

Die Befallsermittlung erfolgte in jeder Mess- und Ernteparzelle jährlich zwei Mal: a) vor dem Pflanzen (Ermittlung des Ausgangsbesatzes,  $P_i$ ) und b) nach der Ernte (Ermittlung des Endbesatzes,  $P_f$ ). Das Verhältnis  $P_f:P_i$  gibt die Abundanzveränderung, den Vermehrungsfaktor wieder. Die Ernte der einzelnen Mess- und Ernteparzellen erfolgte mit einem einreihigen Kartoffelroder mit Absackstand. Jede Sorte wurde über mehrere Jahre bei verschiedenen Befallswerten und unter verschiedenen Standortbedingungen getestet. Wegen der typischen ungleichmäßigen Verteilung der PCN auf den Flächen in Form der Negativen Binomialverteilung (TROMMER und STELTER, 1978) wurden die Resultate eines Jahres zu einer Sorte nicht gemittelt, sondern als Einzelwerte bearbeitet.

Diese Einzelwerte wurden für die weitere Verrechnung und Darstellung insgesamt 21  $P_i$ -Wert-Klassen zugeordnet. Jede Klasse umfasst einen 500er-Schritt im Bereich von <500 bis >10.000 Eiern und Larven je 100 ml Boden. Aus den Ergebnissen der einzelnen Sorte aus allen Jahren, die in eine Klasse fielen, wurde ein Mittelwert gebildet. Diese Mittelwerte wurden anschließend einer Regressionsanalyse unterworfen und als Regressionskurve je Sorte und Kriterium abgebildet. Je Sorte fielen unterschiedliche Zahlen belegter Klassen an; der Vergleich der Regressionsdaten homogenisiert die Stichprobenzahl, weil für jede Befallsklasse Werte bereitgestellt werden.

Nach der obigen Definition von Resistenz kann diese durch die Beziehung  $P_f:P_i$  charakterisiert werden. Zur Ableitung der diversen Größen wurden die Regressionsdaten herangezogen. Grundlage dieser Einstufungen für die Toleranz sind die bei den verschiedenen  $P_i$ -Werten erzielten Ertragsleistungen der einzelnen Sorten. Die Erträge unterlagen über die Jahre verschiedenen Einflüssen, wie Wetterverläufe und weiterer Standortfaktoren; auch war das Pflanzgut nicht immer von gleich bleibender Qualität. Dieselben Sorten konnten deshalb im Vergleich der Jahre unter vergleichbaren Befallsbedingungen unterschiedliche Erträge erbringen. Um diese Variation abzuschwächen, wurde eine Korrektur durchgeführt: jährlich wurden die durchschnittlichen Ertragswerte für die jeweilige Reifegruppe aus den Bodennutzungserhebungen der damaligen Landwirtschaftskammer Weser-Ems gezogen und mit denen des ersten Versuchsjahres (1981 = 100%) in Relation gestellt. Aus diesem Verhältnis wurde jährlich ein Korrekturfaktor abgeleitet, mit dem die einzelnen Ertragswerte multipliziert wurden.

Aus den Resultaten wurde eine Reihe von sortentypischen Daten abgeleitet (LAUENSTEIN 1991, 1997). Besondere Bedeutung verdient dabei die Wirtsspezifische Verseuchungsdichte (WSVD nach ENGEL und STELTER, 1976). Sie beschreibt „die Verseuchungsdichte, die sich als Ergebnis der Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasit nach mehrmaligem, aufeinander folgendem Anbau desselben Wirtes unter gleichen Umweltbedingungen einstellt. Im Bereich der WSVD geht die Vermehrungsrate gegen 1.“ Die WSVD einer Sorte gibt auch den  $P_i$ -Wert an, bei dessen Überschreiten eine Befallsminderung durch die Sorte beginnt.

In Anlehnung an SHEPHERD (1959) wurden für die Resistenzeinstufung jeweils vier Anfälligkeitsklassen definiert (Tab. 1).

**Tab. 1** Bewertung der Resistenz nach Freilandergebnissen auf der Grundlage der Regressionsdaten der Feldversuche.

<b>Resistenzgrad</b>	<b>Bemessungsgrenze</b>
Anfällig	Durchschnittlicher Vermehrungsfaktor ( $P_f:P_i$ ) größer als 2, Befallsabnahme ab Dichten von mehr als 7.000 E+L/100 ml Boden
Schwach resistent	Durchschnittlicher Vermehrungsfaktor ( $P_f:P_i$ ) größer als 1 und kleiner als 2, Befallsabnahme ab Dichten von 4.000- 7.000 E+L/100 ml Boden
Resistent	Durchschnittlicher Vermehrungsfaktor ( $P_f:P_i$ ) kleiner als 1, Befallsabnahme ab Dichten von 2.000- 4.000 E+L/100 ml Boden
Hoch resistent	Durchschnittlicher Vermehrungsfaktor ( $P_f:P_i$ ) kleiner als 1, Befallsabnahme ab Dichten von weniger als 2.000 E+L/100 ml Boden

Auch für Toleranzeinstufung der Sorten wurden vier Empfindlichkeitsklassen definiert (Tab. 2).

**Tab. 2** Bewertung der Toleranz nach Freilandergebnissen auf der Grundlage der Regressionsdaten.

<b>Toleranzgrad</b>	<b>Bemessungsgrenze</b>
Empfindlich	Der Differenzwert 1 liegt über 30% Der Differenzwert 2 liegt über 40%
Schwach tolerant	Der Differenzwert 1 liegt zwischen 20% und 30% Der Differenzwert 2 liegt zwischen 30% und 40%
Tolerant	Der Differenzwert 1 liegt zwischen 10% und 20% Der Differenzwert 2 liegt zwischen 20% und 30%
Hoch tolerant	Der Differenzwert 1 liegt unter 10% Der Differenzwert 2 liegt unter 20%

Erläuterungen: Basis: Ertrag der Sorte bei <500 E+L/100 ml Boden;

Differenzwert 1: Basis - Ertrag der Sorte bei 3.000-3.500; Eier+Larven/100 ml Boden;

Differenzwert 2: Basis - Ertrag der Sorte bei 9.500-10.000; Eier+Larven/100 ml Boden;

## Ergebnisse

Bei der Ausprägung der Merkmale Resistenz und Toleranz von Kartoffelsorten besteht eine gesicherte Abhängigkeit in Bezug auf den PCN-Ausgangsbesatz ( $P_i$ ). Abundanz- und Ertragsdynamik sind dichteabhängig und Funktionen des  $P_i$ -Wertes. Resistenz und Toleranz sind als voneinander getrennte Qualitäten anzusehen. Anhand der oben genannten Kriterien ließen sich aus den geprüften Sorten Gruppen bilden, deren Mitglieder sich untereinander hinsichtlich des Verlaufs der Regressionskurven nicht statistisch unterscheiden, wohl aber im Vergleich der jeweiligen Extremeinstufungen anfällig/hoch resistent bzw. empfindlich/hoch tolerant. Zwischen den Gruppen schwach resistent/resistent/hoch resistent bzw. schwach tolerant/tolerant/hoch tolerant waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Diese Unterscheidung ist darum willkürlich und eine Hilfskonstruktion, um als unter praktischen Gesichtspunkten notwendig angesehene Mindestvoraussetzungen für die differenzierende Einstufung zu beschreiben. Charakteristische Kurvenverläufe sind bei LAUENSTEIN (1997) wiedergegeben.

Bezüglich der Resistenz haben die Kurven zwar einen ähnlichen, aber keinen parallelen Verlauf, was die Gruppierung rechtfertigt. In den Bereichen mit niedrigem  $P_i$  ist oft nachzuweisen, dass selbst als resistent anerkannte Sorten noch eine Vermehrung zulassen.

Auch für die Gruppierung der Sorten nach ihrer Toleranz gelten ähnliche Regeln. Die Kurvenverläufe sind auch hier nicht parallel. Die Neigungen der Kurven sind unterschiedlich. Die Ertragsverluste, die die Sorten innerhalb der einzelnen Gruppierungen bei Befall mit PCN hinzunehmen haben, unterscheiden sich deutlich und in nutzbarem Maße.

Die Anerkennung des Qualitätsmerkmals „Resistenz“ nach Amtlicher Prüfung kann Probleme für die Praxis mit sich bringen, wenn die scheinbare Resistenz durch einen Zusammenbruch befallener Pflanzen und damit den Wegfall der Nahrungsquelle für den Nematoden ausgelöst wurde. Die als hoch resistent eingestuften Sorten 'Activa' und 'Dorett' z. B. brachen in den Versuchen schon bei sehr geringem  $P_i$  weit vor der physiologischen Reife vollständig zusammen und fielen für die wirtschaftliche Nutzung aus.

Ertragsbezogene Ergebnisse von Wertprüfungen oder Landessortenversuchen, die in Deutschland sämtlich auf nicht von Nematoden befallenen Flächen gewonnen werden, können nicht auf die Ertragsleistung der Sorten auf befallenen Flächen übertragen werden. In dem Moment, in dem Kartoffelzysten-nematoden ins Spiel kommen, verändern sich die Ertragswerte grundlegend. Diese Wissenslücke wird von den vorgelegten Resultaten ausgefüllt.

Mit Hilfe der ermittelten Resultate lassen sich Sorten eingrenzen, die über hohe Resistenz und Toleranz im gesamten geprüften Befallsspektrum sowie eine hohe Ertragsleistung trotz Befalls verfügen und darüber hinaus auch schon bei geringen Befallswerten abundanzmindernd wirken. Solche Sorten können bei hoher Akzeptanzerwartung unter Einhaltung der rechtlichen Vorgaben und Berücksichtigung des Prinzips der Legaldefinition des Integrierten Pflanzenschutzes bei phytomedizinischen und ökonomischen Vorteilen angebaut werden. Sie helfen damit, das Problem „Anbausperr“ bei wirtschaftlicher Pflanzenproduktion zu lösen.

Als hoch resistent und gleichzeitig hoch tolerant erwiesen sich folgende Wirtschaftssorten: 'Aderes', 'Amado', 'Avarna', 'Avenance', 'Aventra', 'Averia', 'Festien', 'Florijn', 'Kardent', 'Kartel', 'Mantra', 'Melanie', 'Menco', 'Mercator', 'Nomade'. Die Kombination hoch tolerant/resistent ließ sich feststellen bei den Sorten: 'Feska' und 'Karnico', die Kombination hoch resistent/tolerant bei 'Montana', 'Realist', 'Seresta', 'Sjamer' und 'Valiant'.

## Diskussion

Der Schaden, der durch PCN verursacht wird, kann durch allgemeine ackerbauliche Maßnahmen nicht kompensiert werden. Alle Maßnahmen, die das Wachstum der Pflanzen fördern, begünstigen auch die Reproduktion der PCN (z.B. STELTER und SAGER, 1986; TRUDGILL et al. 1975a,b). Für die spezialisierten Anbauer bedeutet dies, dass ein System des Integrierten Pflanzenschutzes eingehalten werden muss, das es erlaubt, unter Berücksichtigung der rechtlichen Vorschriften und Ausnutzung die Abundanz steuernder Maßnahmen den wirtschaftlichen Anbau fortzusetzen. Hierfür stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung:

- a) Fruchtfolge mit „Anbaupausen“ (= Zeitspannen, während derer keine Kartoffeln angebaut werden). Der natürliche Rückgang über mehrere Jahre nimmt von Jahr zu Jahr ab. Anbaupausen haben nematologisch gesehen nur einen beschränkten Nutzen (LAUENSTEIN, 1991).
- b) Anwendung von Nematiziden. Diese Bekämpfungsmaßnahme ist in der Regel als sehr kostenaufwendiger Weg zur kurzfristigen Ertragssicherung zu sehen, nicht aber zur nachhaltigen Befallsminde rung (LAUENSTEIN, 1991). Aus ökonomischen und ökologischen Gründen kommt der Nematizidanwendung eine Rolle als „Notmaßnahme“ zu.
- c) die Ausnutzung der Sorteneigenschaften Resistenz und Toleranz.

Zu den Wirkungsmechanismen der Wirtspflanzen, die als Resistenz bzw. Toleranz zusammengefasst werden, liegen eine Vielzahl von Einzelresultaten vor, die aber separat betrachtet bisher keine befriedigende Erklärung für die in der Praxis beobachteten Phänomene liefern; es ist zu vermuten, dass es sich jeweils um Kombinationen mehrerer, möglicherweise synergistisch wirkender, Vorgänge und Eigenschaften handelt.

Es ist auch nicht möglich, „Resistenz“ in verschiedenen Sorten immer demselben Reaktionsmechanismus zuzuschreiben (RICE et al., 1984). Vielmehr kommen die verschiedenen Mechanismen bei den Kartoffelsorten und -arten in wechselnden Kombinationen vor. Auch im Bereich des Wirt-Parasit-Verhältnisses Kartoffel/PCN sind in Anlehnung an ROBINSON (1971, 1973) vertikale und horizontale Resistenz zu trennen. Weil die Resistenzeigenschaften die Reproduktion der Parasiten mit steuern, üben sie einen Selektionsdruck auf die PCN-Populationen aus. Wie sich eine mögliche Selektion auswirkt, wird von den vorkommenden Genotypen der PCN bestimmt. Es kann selbst bei den in Europa vorkommenden PCN-Populationen, die genetisch im Vergleich zum Gen-Pool der im südamerikanischen Ursprungsgebiet vorkommenden PCN vergleichsweise verarmt sind (BLOK et al., 1996; TRUDGILL, 1985), notwendig sein, züchterisch ständig den veränderten Virulenzen neu zu begegnen. Nach neueren Publikationen (BENDEZU et al., 1998; PHILLIPS und TRUDGILL, 1998; MANDURIC und ANDERSSON, 2003) muss allerdings davon ausgegangen werden, dass die Virulenz der verschiedenen europäischen Populationen trotz gemeinsamer Herkunft sehr variabel ist. Das kann dazu führen, dass diese Populationen bei Anbau resistenter Sorten unterschiedlich reagieren (SCHOUTEN, 1993) und in besonders gelagerten Fällen (untersucht wurden weitgehend *S. vernei*-Abkömmlinge) auch zu einer Selektion auf höhere Virulenz führen (WHITEHEAD, 1991; TURNER, 1990). Deshalb bedarf die Situation bei wiederholtem Anbau von Sorten mit ähnlicher Resistenz auch einer ständigen Kontrolle der im Feld auftretenden Virulenzen. Auf der anderen Seite übt Toleranz als die Biomasseproduktion regulierende Eigenschaft offenbar keine Selektion aus (EVANS und HAYDOCK, 1990).

Zur Genetik der Resistenz sind Erkenntnisse erarbeitet worden, denen zufolge (s. Übersichten bei TRUDGILL, 1985; STONE, 1985) die Vererbung der verschiedenen Resistenzeigenschaften über dominante Einzelgene (H1-Gen vermittelt Resistenz gegen Pathotyp Ro1) bis hin zu polygen bedingter Resistenz (diverse Haupt- und Nebene Gene vermitteln Resistenz gegen Nematodenpopulationen der Virulenzgruppe Pa2/3) erfolgt. Die phänotypische Ausprägung als qualitative oder quantitative Resistenz wird u. a. bestimmt durch die polygene und darum abgestufte Vererbung während der Züchtungsgänge. Das Potential der Gendonatoren ist derzeit bei weitem noch nicht ausgeschöpft (DELLAERT und HOEKSTRA, 1987).

Dem steht der unbefriedigende Kenntnisstand in Bezug auf Toleranz gegenüber: solange die Ursachen des Phänomens nicht hinreichend beschrieben werden, können zur genetischen Verankerung von Toleranz keine Aussagen gemacht werden. Somit ist Toleranz gegenüber Befall mit PCN bisher eher ein züchterisches Nebenprodukt. Hier besteht erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Es kann aber festgehalten werden, dass der Vermehrungsfähigkeit des Kartoffelzystennematoden durch die Resistenz der Wirtspflanzen Grenzen gesetzt werden, die genetisch verankert sind. Anfälligkeit (susceptibility) oder das Gegenteil Resistenz (resistance) beziehen sich auf das Vorkommen und die Ausprägung derselben Eigenschaft. Am einen Ende der Reaktionsskala steht die vollständige Anfälligkeit des Wirtes, dem die Information im Genom bzw. die phänotypische Ausprägung fehlt, am anderen Ende die vollständige Resistenz (PHILLIPS und MCNICOL, 1986; ROBERTS und STONE, 1981). Die Unterschiede liegen in der Stärke der Ausprägung der Resistenz, nicht in deren Art (PHILLIPS und MCNICOL, 1986; TARTI, 1979). Die vorgelegten Ergebnisse legen die Annahme nahe, dass Toleranz nach dem gleichen Prinzip zu beschreiben ist. Die jeweiligen Ausprägungen werden als „Empfindlichkeit“ (sensitivity) bzw. „Toleranz“ (tolerance) bezeichnet.

Die Ergebnisse belegen auch, dass zwischen dem Ausgangsbefall und dem Endbefall ein umgekehrt proportionales Verhältnis besteht (PHILLIPS, 1984; SEINHORST, 1984). Es gibt ein nutzbares wirtspflanzen-spezifisches Gleichgewichtsniveau der Abundanz, unterhalb dessen der Befall zunimmt, oberhalb dessen er dagegen abnimmt (ENGEL und STELTER, 1976; TRUDGILL, 1986a,b). Diese „Wirtsspezifische Verseuchungsdichte“ verdient verstärkte Beachtung, weil sie für die Beurteilung der befallsmindernden Wirkung von Kartoffelsorten ein entscheidendes Kriterium ist.

Durch den Anbau von Kartoffeln mit unterschiedlicher Wirtseignung, wie z. B. unterschiedlich resistenten Sorten, verschiebt sich das Gleichgewichtsniveau der Kartoffelzystennematoden ständig. Wird die Nematodendichte darüber hinaus durch anthropogene Maßnahmen wie Anbaupausen oder Anwendung von Nematiziden gesenkt, so stellt die Population bei erneutem Anbau von Wirtspflanzen durch Vermehrungsleistungen direkt proportional zur erfolgten Abundanzminderung das spezifische Gleichgewichtsniveau wieder her (LAUENSTEIN, 1991).

Die befallsmindernde Wirkung des vorgeschriebenen Anbaus entsprechend resistenter Sorten im Freiland ist eine Funktion des Ausgangsbefalls und der Standortfaktoren. Die als Grundlage der Anerkennung resistenter Sorten obligate Gewächshausprüfung gegen die von KORT et al. (1977) beschriebenen Pathotypen bei einer bestimmten Befallsdichte gibt daher nur Hinweise zur Nutzbarkeit der Qualität „Resistenz“. Um resistente Sorten gezielt und bei begründeter Vorabschätzung der zu erwartenden Wirkung einsetzen zu können, bedarf es Versuchsreihen ähnlich der hier beschriebenen Freilandprüfungen, die es erlauben, für jede Sorte die für Freilandverhältnisse typische Regressionslinie zu erstellen.

Das Ausmaß des Nematodenschadens wird durch die sortenspezifische Fähigkeit zur Kompensation sowie die Befallsabläufe bestimmt: je früher die Larven in die Pflanze einwandern und je höher die Befallsdichte ist, desto höher sind die Schäden (RAO und PEACHEY, 1965; STELTER und SAGER, 1986).

Ein regelmäßiges gemeinsames Vorkommen der Merkmale „Resistenz“ und „Toleranz“ in einer Sorte war nicht zu erkennen. In einer größeren Zahl von Fällen wurde Toleranz in anfälligen Sorten nachgewiesen. Diese Resultate bestätigen die Auffassung, dass es sich um zwei separate Eigenschaften handelt. Es liegen unterstützende Befunde vor, denen zufolge Resistenz und Toleranz vererbte Merkmale sind, die aber meist genetisch unterschiedlich lokalisiert und darum getrennt zu betrachten sind (DE SCURRAH und FRANCO, 1985; EVANS und FRANCO, 1979; EVANS und HAYDOCK, 1990; FOX und SPASOFF, 1976). Sonderfälle sind solche, in denen die Resistenzreaktionen selbst (wie z.B. Hypersensitivität) das Schadausmaß und damit die Toleranz beeinflussen (HESLING und ELLIS, 1972; HOOPES et al., 1978). In der Konsequenz bedeutet dies, dass eine hohe Resistenz zwar den Befall mindert, aber in der Regel keine Aussage zur Toleranz zulässt.

Parallel zu den beschriebenen Versuchen wurde versucht, miniaturisierte Verfahren der Prüfung auf Toleranz zu entwickeln, die geeignet sind, den erheblichen Arbeitsaufwand einer Feldprüfung herabzusetzen. Mit keinem der geprüften Verfahren (Topfversuch, Mikroplot im Erdgewächshaus, Wurzelanfärbung) ließen sich bisher Resultate erzielen, die den Freilandergebnissen in befriedigender Weise entsprachen. Möglicherweise ist das in Töpfen limitierte Wurzelwachstum der Grund für die mangelnde Übereinstimmung. ARNTZEN und WOUTERS (1994) fanden dagegen bei anderer Methodik und Bewertung der

Biomasse in Topfversuchen eine hohe Korrelation mit Freilandergebnissen. DALE und BROWN (1989) berichten von einer positiven Korrelation zwischen der oberirdischen Pflanzenmasse und Ausprägung der Toleranz. Die in diesem Artikel beschriebene Methodik erlaubt allerdings im Vergleich zu den Arbeiten der oben genannten Autoren weitergehende Angaben zu einer Vielzahl von Pflanzencharakteristika, die für die Bewertung der Resistenz bzw. Toleranz und letztendlich für die Beratung wichtig sind.

Im vorliegenden Fall der Untersuchung von Wirtschaftskartoffeln auf Resistenz und Toleranz lag ein vergleichsweise umfangreiches Angebot von Sorten mit dem notwendigen genetischen Potential vor. Demgegenüber ist für den Bereich der Produktion von Speisekartoffeln derzeit nur eine Sorte mit Resistenz gegen *G. pallida* anerkannt. Die entwickelten Lösungsansätze sind abhängig von einem ausreichenden Angebot als resistent eingestufte Sorten und können deshalb vorerst nicht oder nur sehr eingeschränkt für den Produktionsbereich „Speisekartoffeln“ angewandt werden.

### Zusammenfassung

Bisher 69 ausgewählte Wirtschaftssorten von Kartoffeln wurden in Freilandversuchen hinsichtlich ihrer Resistenz und Toleranz gegen die Virulenzgruppe Pa2/3 von *Globodera pallida* geprüft und bewertet. Die verwendete Methodik und die Bewertungskriterien werden ausführlich beschrieben. Die Resultate zu den Sorten ließen die Bildung von Gruppen zu, die nach den Anforderungen der Praxis bei den Merkmalen selbst und der Kombination der Merkmale abgestufte Klassifizierungen erlaubten. Die Ergebnisse werden diskutiert.

### Abstract

69 cultivars of starch-potatoes were tested in the field and grouped according to their level of resistance and tolerance to *Globodera pallida* virulence group Pa2/3. The method used for testing as well as the criteria applied in classifying are described. The results allowed the grouping of the cultivars tested on the basis of the expression of resistance or tolerance alone and in combination. The results are discussed.

### Literatur

- ARNTZEN, F.K., T.C.A.E. WOUTERS (1994): Assessing the tolerance to *Globodera pallida* of resistant potato genotypes by means of field and pot tests. *Potato Research* **37**, 51-63.
- BENDEZU, I.F., M.D. RUSSELL, K. EVANS (1998): Virulence of populations of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) from Europe and Bolivia towards differential potato clones frequently used for pathotype classification. *Nematologica* **44**, 667-681.
- BIJLOO, J.D. (1954): A new method for estimating the cyst contents of the potato-root eelworm *Heterodera rostochiensis*. *J. Helminth.* **28**, 123-126.
- BLOK, V.C., B.E. HARROWER, M.S. PHILLIPS (1996): A view of genetic diversity in potato cyst nematode in Britain and beyond. - Scottish Crop Research Institute, Dundee, Annual Report 1995, 151-154.
- CLAYDEN, J.J., S.J. TURNER, R.J. MARKS (1985): Comparison of the Fenwick can and Schuiling centrifuge methods for the extraction of potato cyst nematodes from soil. *EPP0 Bulletin* **15**, 285-287.
- DALE, M.F.B., J. BROWN (1989): The use of foliage assessment to improve the identification of tolerance to damage by nematodes (*Globodera pallida*) in potatoes. *Ann. Appl. Biol.* **115**, 313-319.
- DELLAERT, L.M.W., R. HOEKSTRA (1987): Resistance to potato cyst nematodes, *Globodera* spp., in wild and primitive *Solanum* species. *Potato Research* **30**, 579-587.
- DE SCURRAH, M., J. FRANCO (1985): Breeding for resistance to *Globodera pallida* at CIP. *EPP0 Bulletin* **15**, 167-173.
- ENGEL, K.H., H. STELTER (1976): Ein Modell zur Erfassung der Populationsdynamik des Kartoffelnematoden *Heterodera rostochiensis* Woll. Rasse A. *Arch. Phytopathol. Pflanzensch.* **12**, 329-343.
- EVANS, K., J. FRANCO (1979): Tolerance to cyst-nematode attack in commercial potato cultivars and some possible mechanisms for its operation. *Nematologica* **23**, 153-162.
- EVANS, K., P.P.J. HAYDOCK (1990): A review of tolerance by potato plants of cyst nematode attack, with consideration of what factors may confer tolerance and methods of assaying and improving it in crops. *Ann. Appl. Biol.* **117**, 703-740.

- FOX, J.A., L. SPASOFF (1976): Resistance and tolerance of tobacco to *Heterodera solanacearum*. J. Nematol. **8**, 284-285.
- GOFFART, H. (1958): Methoden zur Bodenuntersuchung auf zystenbildende Nematoden. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **10**, 49-53.
- HESLING, J.J., P.R. ELLIS (1972): The pathogenicity and increase of *Heterodera rostochiensis* on tomato cultivars, self-rooted or grafted on to rootstocks. Ann. Appl. Biol. **71**, 251-261.
- HOOPES, R.W., R.E. ANDERSSON, R.E. MAI (1978): Internal response of resistant and susceptible potato clones to invasion by potato cyst nematode *Heterodera rostochiensis*. Nematropica **8**, 13-20.
- KORT, J., H. ROSS, J. RUMPENHORST, A.R. STONE (1977): An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. Nematologica **23**, 333-339.
- LAUENSTEIN, G. (1991): Zur Entwicklung eines Systems der Integrierten Bekämpfung der zystenbildenden Kartoffelnematoden *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) und *G. pallida* (Stone, 1973) am Beispiel des Anbaugesbietes für Stärkekartoffeln in Weser-Ems. Habilitationsschrift des Fachbereichs Agrarwissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen, 380 S.
- 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 Pa 2/3. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz **104**, 312-335.
- MANDURIC, S., S. ANDERSSON (2003): Potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*) from Swedish potato cultivation - an AFLP study of their genetic diversity and relationships to other European populations. Nematology **5**, 851-858.
- MÜLLER, J. (1989): Zur Definition von Resistenz und anderer Fachbegriffe in der Nematologie. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **41**, 137-139.
- PHILLIPS, M.S. (1984): The effect of initial population density on the reproduction of *Globodera pallida* on partially resistant potato clones derived from *Solanum vernei*. Nematologica **30**, 57-65.
- PHILLIPS, M.S., J.W. MCNICOL (1986): The use of biplots as an aid to interpreting interactions between potato clones and populations of potato cyst nematodes. Plant Pathology **35**, 185-195.
- PHILLIPS, M.S., D.L. TRUDGILL (1998): Variation of virulence in terms of quantitative reproduction of *Globodera pallida* populations from Europe and South America in relation to resistance from *Solanum vernei* an *S. tuberosum* ssp. *andigena* CPC 2802. Nematologica **44**, 409-423.
- ROBERTS, P.A., A.R. STONE (1981): Host ranges of *Globodera* species within *Solanum* subgenus *leptostemonum*. Nematologica **27**, 172-189.
- RAO, G.N., J.E. PEACHEY (1965): The effects of adding larvae of potato cyst nematode to potatoes grown in pots. Plant Pathology **14**, 15-18.
- RICE S.L., A.R. STONE, B.S.C. LEADBEATER (1984): Resistant responses to potato cyst nematodes. Rep. Rothamst. Exp. Stn. 1983, 116 S.
- ROBINSON, R.A. (1971): Vertical resistance. Rev. Plant Path. **50**, 233-239.
- ROBINSON, R.A. (1973): Horizontal resistance. Rev. Plant Path. **52**, 483-501.
- SCHOUTEN, H.J. (1993): Models of incomplete selection for virulence of potato cyst nematodes caused by sex determination that depends on host resistance. Neth. J. Plant Path. **99**, 191-200.
- SEINHORST, J.W. (1984): Relation between population density of potato cyst nematodes and measured degrees of susceptibility (resistance) of resistant potato cultivars and between this density and cyst content in the new generation. Nematologica **30**, 66-76.
- SHEPHERD, A.M. (1959): The invasion and development of some species of *Heterodera* in plants of different host status. Nematologica **4**, 253-267.
- STELTER, H., I. SAGER (1986): Die Auswirkungen des Befalls von *Globodera rostochiensis* Wollenweber, 1923, an Kartoffelsämlingen und von *Heterodera schachtii* Schmidt, 1871 an Zuckerrübensämlingen. Arch. Phytopathol. Pflanzensch. **22**, 57-64.
- STONE, A.R. (1985): Co-evolution of potato cyst nematode and their host: implication for pathotypes and resistance. Bulletin OEPP **15**, 131-137.
- TARTI, R. (1979): Identification of resistance and tolerance to potato cyst-nematodes and their practical implications. Nematropica **9**, 188-200.



- TROMMER, R, H. STELTER (1978): Untersuchungen zur Rationalisierung der Entnahme von Bodenproben zum Nachweis von *Globodera rostochiensis* Woll., 1923, auf Ackerflächen. Arch. Phytopathol. Pflanzensch. **14**, 123-136.
- TRUDGILL, D.L., K. EVANS, D.M. PARROTT (1975a): Effects of potato cyst-nematodes on potato plants. I. Effects in a trial with irrigation and fumigation on the growth and nitrogen and potassium contents of a resistant and a susceptible variety. Nematologica **21**, 169-182.
- TRUDGILL, D.L., D.M. PARROTT, K. EVANS, F.V. WIDDOWSEN (1975b): Effects of potato cyst-nematodes on potato plants. IV. Effects of fertilisers and *Heterodera rostochiensis* on the yield of two susceptible varieties. Nematologica **21**, 281-286.
- TRUDGILL, D.L., L.M. COTES (1983a): Tolerance of potato to potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*) in relation to the growth and efficiency of the root system. Ann. Appl. Biol. **102**, 385-397.
- TRUDGILL, D.L., L.M. COTES (1983b): Differences in the tolerance of potato cultivars to potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*) in field trials with and without nematicides. Ann. Appl. Biol. **102**, 373-384.
- TRUDGILL, D.L. (1985): Potato cyst nematodes: a critical review of the current pathotyping scheme. EPPO Bulletin **15**, 273-279.
- TRUDGILL, D.L. (1986a): Yield losses caused by potato cyst nematodes: a review of the current position in Britain and prospects for improvements. Ann. Appl. Biol. **108**, 181-198.
- TRUDGILL, D.L. (1986b): The effects of reciprocal grafting on the tolerance of two potato cyst nematode (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*). Nematologica **32**, 185-193.
- TURNER, S. (1990): The identification and fitness of virulent potato cyst nematode populations (*Globodera pallida*) selected on resistant *Solanum vernei* hybrids for up to eleven generations. Ann. Appl. Biol. **117**, 385-397.
- WHITEHEAD, A.G. (1991): Selection for virulence in the potato cyst nematode, *Globodera pallida*. Ann. Appl. Biol. **118**, 395-402.

**HEINICKE, D.; WARNECKE, H.**

Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Wunstorfer Landstraße 9, 30453 Hannover;  
e-mail: dieter.heinicke@lwk-niedersachsen.de

## **Erfolgreiche Produktion von Zuckerrüben trotz Nematoden - ein weiter Weg**

Successful production of sugar beets despite nematodes – a long way

### **Einleitung**

Durch eine sprunghaft gestiegene Nachfrage von Zucker vor 150 Jahren und den dadurch bedingten häufigen Anbau von Zuckerrüben auf fabriknahen Standorten konnte sich der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii* derart stark vermehren, dass die Zuckerproduktion teilweise zusammenbrach. Etliche Zuckerfabriken gingen in der Folge in Konkurs. Als einzige Lösung erwies sich die Produktion der Zuckerrüben in weniger rationellen, weit gestellten Fruchtfolgen. Nur so war es möglich, die Vermehrung der Rübenzystennematoden und damit den Schaden zu begrenzen. In unserer hochtechnisierten Welt ist es kaum vorstellbar, dass aufgrund des erhöhten Auftretens von pflanzenparasitären Nematoden ein Industriezweig erheblichen Schaden erleidet. Eher tritt in der Überflussgesellschaft eine kurzfristige Kaufenthaltung ein, wie bei Nematoden in Speisefischen oder bei realen wie vermeintlichen Gesundheitsrisiken (BSE oder Vogelgrippe). Wesentliche Veränderungen finden aber auch langsam, quasi in Nischen statt und bleiben damit der Öffentlichkeit weitgehend verborgen. Aufgrund der geringen Einflussmöglichkeiten werden diese Veränderungen häufig von mittelständischen Unternehmen vertreten, die natürlich auch das nicht unerhebliche Risiko zu tragen haben. An Hand der Bekämpfung der Rübenzystennematoden soll diese Veränderung beispielhaft aufgeführt werden.

### **Die Ära der Nematizide**

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts kamen die ersten Nematizide zur Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden auf den Markt. Mit ihrer Hilfe war es möglich, die Zuckerrüben in kürzeren Zeitabständen anzubauen und auch höhere Erträge zu erwirtschaften. Am Anfang wurde 1,3-Dichloropropen (DD oder Telone) eingesetzt, die in hohen Aufwandmengen (250 bzw. 125 l/ha!) mit Spezialmaschinen (Abb. 1) ausgebracht werden mussten. Später wurde das toxische Granulat Aldicarb begedrillt oder das nicht minder toxische Oxamyl auf die Rübenkeimlinge gespritzt. Es war bald ersichtlich, dass der Einsatz von Nematiziden auf Grund ihrer breiten Wirkung (mehr biozide als nematizide Wirkung) und ihrer hohen Toxizität für Umwelt und Mensch politisch in Deutschland nicht länger zu vertreten war. Hinzu kam, dass weitergehende Forschungen zu der Erkenntnis führten, dass bestimmte Nematizide, wie z. B. Aldicarb, einige Nematoden nur kurzfristig (4-6 Wochen) lähmten, nicht aber abtöteten. Auch schneller mikrobieller Abbau von 1,3-Dichloropropen im Boden führte zu einem bedeutenden Wirkungsverlust. Gegen Ende der Vegetationsperiode war der Nematodenbesatz vergleichbar hoch oder sogar höher als ohne Bekämpfung. Trotz der sich im Laufe des Einsatzes herausstellenden Einschränkungen in der Bekämpfung wurden die Nematizide weiterhin eingesetzt, da sie nicht nur zur Ertragssicherheit beitrugen, sondern auch zu nicht unerheblichen Mehrerträgen führten und Nebenwirkungen gegen Unkräuter und andere Schaderreger aufwiesen. Im Gegensatz zu anderen Ländern der EU kamen in Deutschland Nematizide nur in einem relativ kurzen Zeitraum zum Einsatz. Während in den Niederlanden 1986 etwa jede dritte Fläche mit Nematiziden behandelt wurde, waren es in Großbritannien um 2002 immerhin noch knapp siebenunddreißigtausend Hektar! Diese Entwicklung blieb Deutschland erspart. Für die Hauptkulturen wurden schon früh Alternativen entwickelt und mit einer restriktiven Anwendung der Nematizide, wie auch durch die Weiterentwicklung und Förderung von Alternativen, eine andere Entwicklung beispielhaft vorgebracht.



**Abb. 1** Seit vielen Jahren Vergangenheit im deutschen Zuckerrübenanbau und heute entbehrlich: Spezialgerät zur Ausbringung von flüssigen Nematiziden zur Bodenentseuchung.

### Alternative mit Zwischenfrüchten

Anfang der 1970er Jahre wurde in der Fachpresse diskutiert, ob Ölrettich zur Bodenverbesserung oder zur Futtermutzung in Rübenfruchtfolgen geeignet wäre, da er abhängig von Witterung und Standzeit den Rübenzystennematoden fördere. Basierend auf den Arbeiten von TALATSCHIAN (1974), BAUKLOH (1976) und auch THIELEMANN (1978) machte sich das mittelständische Unternehmen P.H. Petersen Saatzucht an die riskante Aufgabe, ein „pflanzliches Nematizid“ zu züchten. Innerhalb weniger Jahre war man erfolgreich! Mit der Züchtung resistenter Ölrettich- und Senfsorten wurde ein hoch wirksames und umweltfreundliches Bekämpfungsverfahren entwickelt und in der Praxis etabliert. Andere Züchter folgten, so dass seit 1980 den Landwirten eine stetig wachsende Zahl an Sorten mit einer immer stärkeren Resistenz zur Verfügung steht. Im Herbst, mit der Förderung der Grünbrache auch im Sommer, wurden vor und nach der Getreideernte die tristen Ackerbauregionen wieder grün und bunt. Selbst Imker fanden sich ein, um diese Veränderung für ihre Zwecke als Bienenweide zu nutzen. Diese umweltfreundliche Trendwende eines vollständigen Verzichtes auf Nematizide durch Einsatz resistenter Zwischenfrüchte, vollzog sich weitgehend unbemerkt von der Öffentlichkeit. Mit einem zielgerichteten Anbau von resistentem Ölrettich als Zwischenfrucht kann die Population der Rübenzystennematoden um 40%, im Hauptfruchtanbau sogar um 65%, gesenkt werden. Unter Schwarzbrache geht die Population im Vergleich dazu gerade einmal um 20% bzw. knapp 40% zurück. Der Anbau von resistentem Senf erbringt in der Regel geringere Werte, kann aber aus ackerbaulichen Gründen Vorteile bieten und ist damit ebenfalls ein erfolgreiches Bekämpfungsverfahren für *H. schachtii*. Entsprechende Feldversuche wurden anfangs deutschlandweit, mit den einsetzenden Erfolgen europa- und weltweit durchgeführt. In den verschiedenen Anbauregionen werden etwa vergleichbare Ergebnisse erzielt, die allerdings eine starke Streuung im Bezug auf die Fläche und die Jahreswitterung zeigen. Niedersachsen weist hier einige Vorteile auf, da aufgrund der etwas kühleren Witterung nur gelegentlich eine 3. Generation von Rübenzystennematoden an Rüben gebildet wird. Hierdurch steigt die Population nicht so stark an wie in wärmeren Regionen, etwa in der Magdeburger Börde oder in der Köln-Aachener Bucht. Die feucht-kühle Witterung in Winter und Frühjahr bedingt zudem eine stärkere Abnahme der Population unter Nichtwirten, was ebenfalls für die Absenkung der Population genutzt werden kann. Bei der intensiven Verwendung resistenter Sorten der Zwischenfrüchte besteht immer die Gefahr, dass der Schaderreger sich früher oder später auf die neue Situation einstellt und die Resistenz überwindet. In den über 25 Jahren, in denen resistente Zwischenfrüchte inzwischen angebaut werden, wurden bisher jedoch keine virulenten Pathotypen beobachtet.

## Das Bessere ist der Feind des Guten – oder doch nicht?

Die Resistenz von Wildrüben gegen den Befall mit den Rübenzystennematoden ist seit etwa 80 Jahre bekannt. Die Resistenzzüchtung gestaltete sich aber außerordentlich schwierig (SAVITSKY, 1975), so dass der eingeschlagene Umweg über resistente Kreuzblütler erfolgreich verlaufen konnte. Erst 1998 kam mit den Sorte 'Nematop' die erste resistente Sorte auf den Markt. Inzwischen gibt es eine weitere resistente Sorten: 'Paulina'. Wie bei allen neuen Sorten, welche den langen Weg über die Resistenzzüchtung nehmen müssen, kommen sie unter Nichtbefall bei der Ertragshöhe und der Qualität nicht an die Leistung der Standardsorten heran. Auf stark mit Rübenzystennematoden befallenen Flächen sind sie jedoch im Ertrag den Spitzensorten deutlich überlegen. Die Resistenz gegen Zystennematoden stellt innerhalb der Phytomedizin einen Sonderfall dar. Egal ob es sich um Getreide, Kartoffeln oder Zuckerrüben handelt, die resistenten Pflanzen werden ebenso wie anfällige Pflanzen von den Nematoden befallen und zumindest anfangs auch geschädigt, denn der Resistenzmechanismus wird erst nach Eindringung der Nematoden in die Pflanze aktiviert. Die Resistenz der Zuckerrübe beruht auf einer Hypersensitivitätsreaktion der für die Ernährung der Nematoden verantwortlichen pflanzlichen Zellen. Die Pflanzenzellen werden in ihrer Funktion gestört und können nicht mehr ausreichend Nährstoffe für die Entwicklung der Larven zum Weibchen bereitstellen. Dies hat zur Folge, dass keine Weibchen gebildet werden. Die Nährstoffe reichen teilweise aber für eine Entwicklung zum Männchen, so dass Männchen zur Ausbildung kommen. Entgegen der Norm ist bei diesen Nematoden das Geschlecht nicht genetisch fixiert, sondern es wird entsprechend dem Nahrungsaufkommen festgelegt.

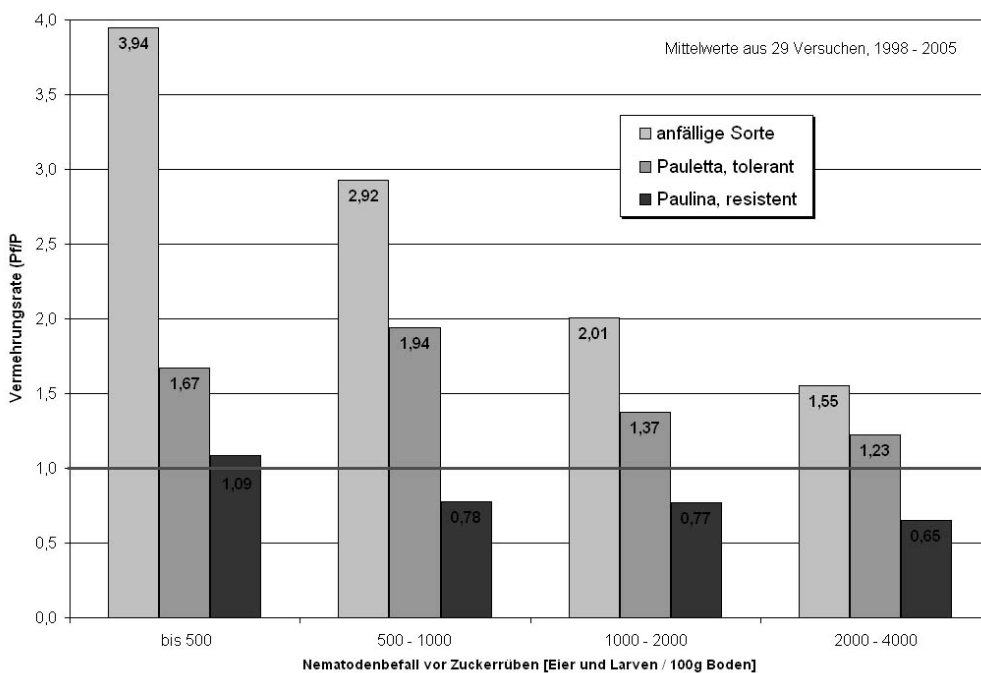
Der Anbau resistenter Zuckerrübensorten verhindert eine Vermehrung der Rübenzystennematoden, die Abnahme der Population ist in der Regel jedoch wesentlich geringer als bei dem Anbau von resistentem Ölrettich. Dies ist in der Praxis jedoch von untergeordneter Bedeutung, denn innerhalb der Fruchtfolge folgen auf Zuckerrüben meist Getreide oder anderen Nichtwirtspflanzen, so dass die Population natürlicherweise weiter um durchschnittlich 30% (je nach Jahreswitterung 10-80%) jährlich abnimmt. Der Anbau resistenter Sorten ist damit grundsätzlich zur Besatzreduzierung auf Befallsflächen geeignet, ohne dass der Anbau von Zuckerrüben eingeschränkt werden müsste. Der im Vergleich zum Anbau auf befallsfreien Flächen geringere Zuckerertrag und die schlechtere Qualität dürfen allerdings nicht unberücksichtigt bleiben. Wer allerdings glaubt, dass dieser Nachteil mit einem engen Anbau resistenter Zuckerrüben auszugleichen wäre, wird vermutlich schnell eines Besseren belehrt werden, denn wie entsprechende Untersuchungen zeigten, treten in zahlreichen Populationen bereits natürlicherweise virulente Nematoden auf, die die Resistenz brechen können (MÜLLER, 1998). Resistente Sorten dürfen deshalb auf keinen Fall, auch nicht in weiten Fruchtfolgen, hintereinander angebaut werden, um eine Selektion auf virulente Nematoden möglichst zu vermeiden bzw. zu verzögern. Möglicherweise besitzen die virulenten Nematoden eine geringere Fitness, so dass bei nachfolgendem Anbau von anfälligen Sorten der Anteil virulenter Nematoden in der Population wieder sinkt. Entsprechende Erfahrungen aus der Praxis stehen aber noch aus.

### Tolerante Zuckerrübensorten

Bei allen Vorteilen, die eine resistente Zuckerrübensorte besitzt, die beschriebenen Nachteile führten dazu, dass eine weitere Alternative erfolgreich erschien. In Befallsnestern fanden sich einzelne Rüben, die weniger unter Befall litten als andere, ohne das sie resistent waren. Zuckerrüben, die trotz Nematodenbefalls ein weitgehend normales Wachstum und Ertragsleistung zeigen, werden als tolerant bezeichnet. Seit 2005 ist die erste tolerante Zuckerrübensorte 'Pauletta', sowie vermutlich ab 2006 auch die Sorte 'Annalisa' zugelassen. In Feldversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Abb. 2) zeigte die tolerante 'Pauletta' eine geringere Vermehrungsrate des Rübenzystennematoden als die anfällige Vergleichssorte, jedoch eine erwartungsgemäß wesentlich höhere als die resistente 'Paulina' (Abb. 3).



**Abb. 2** Sortenversuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen mit 'Pauletta' (tolerant), 'Alabama' (anfällig) und 'Paulina' (resistent).



**Abb. 3** Nematodenvermehrung unter einer anfälligen, toleranten und resistenten Zuckerrübensorten bei steigenden Befallsbedingungen. Dargestellt als Quotient aus Besatzdichte nach der Ernte ( $P_f$ ) zu Besatzdichte vor dem Bestellen ( $P_i$ ).

An der anfälligen Sorte vermehrte sich *H. schachtii* um das 2-4fache, an 'Pauletta' um das 1,5-2fache und an 'Paulina' nahm die Besatzdichte erwartungsgemäß um 20-30% ab. Mit zunehmendem Ausgangsbesatz nahm die Vermehrungsrate aller Varianten erwartungsgemäß ab. Aber Vorsicht, eine verhältnismäßig „geringe“ Vermehrungsrate von 1,55 bei einem Ausgangsbesatz von 2000-4000 bedeutet nach der Ernte immerhin 3000-6000 Eier und Larven/100 ml Boden und damit eine zu hohe Belastung für die zukünftigen Rüben. Deutlich erkennbar sind die geringere Vermehrungsrate der toleranten und die erwartete Ab-

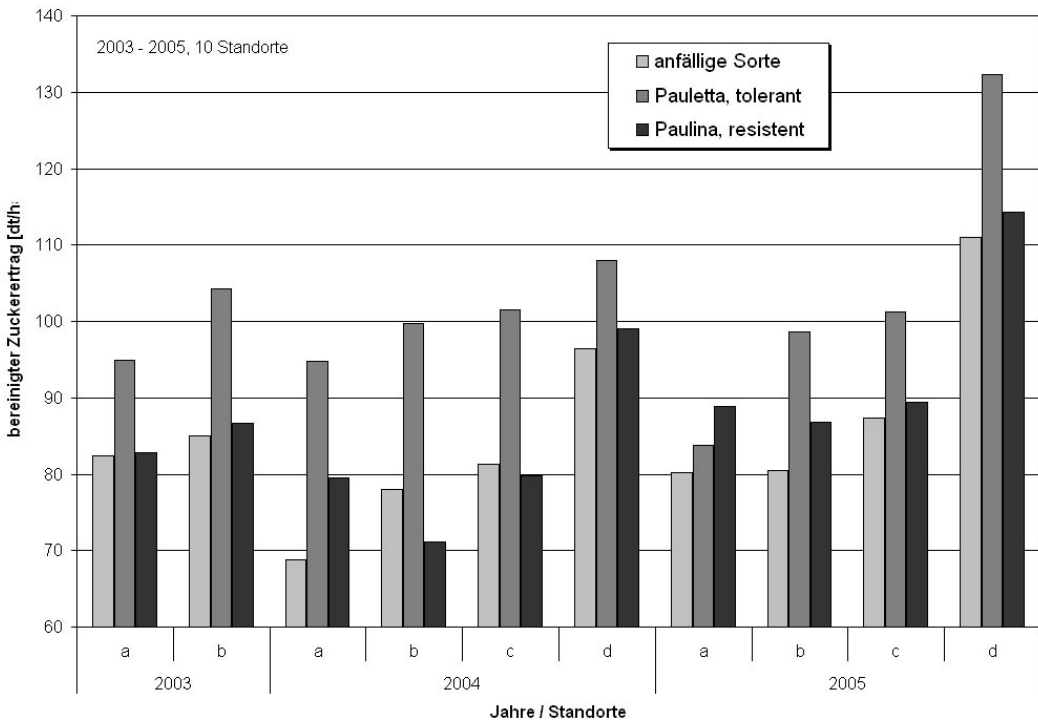
nahme bei der resistenten Sorte. Der Vermehrung des Rübenzystemnematoden an der toleranten Sorte ist mit anderen Maßnahmen wie z. B. dem Anbau resistenter Zuckerrüben oder resistenter Zwischenfrüchte, leicht gegenzusteuern. Hinzu kommt der natürliche Rückgang bei Anbau von Nichtwirtspflanzen wie Getreide mit einem natürlichen Rückgang der Population im Jahr von durchschnittlich 30%. Innerhalb einer dreijährigen Fruchtfolge sollte es deshalb zumindest unter den Anbaubedingungen Niedersachsens möglich sein, die Population des Rübenzystemnematoden unter die Schadschwelle von 500 Eier und Larven/100 ml Boden zu drücken. Würde das nicht zum Erfolg führen, wäre die Fruchtfolge um Getreide oder eine andere Nichtwirtspflanze zu erweitern.

**Sollte man sich auf tolerante Sorten allein verlassen?**

Tolerante Sorten müssen, entsprechend der Definition, unter Befall einen deutlich höheren Ertrag bringen als nicht tolerante. Verglichen mit anfälligen Vergleichssorten brachte die tolerante Sorte ‚Pauletta‘ in Niedersachsen im Schnitt der letzten 3 Jahre an 10 Standorten einen 20% höheren bereinigten Zuckerertrag (Abb. 4). Die Schwankungen in Abhängigkeit vom Vorbefall der Nematoden und den Standortfaktoren können aber erheblich sein. Auf befallsfreien Flächen reichen die derzeit zugelassenen toleranten Sorten aber nicht an die Ertragsleistung der Standardsorten heran. Die in den Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Jahr 2005 verwendete Vergleichssorte ‚Alabama‘ brachte im Mittel der Standorte im Sortenleistungsvergleich auf befallsfreier Fläche einen bereinigten Zuckerertrag von relativ 104,3; die tolerante Sorte ‚Pauletta‘ dagegen nur von 95,9 (Tab. 1).

**Tab. 1** Sortenleistung unter Nematodenbefall (Relativwerte)

Sorte	Rübenenertrag	Zuckergehalt	Amino-N	Standardmelasseverlust	ber. Zuckerertrag
anfällige Sorte	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pauletta, tolerant	122,8	99,5	191,4	120,7	120,2
Paulina, resistent	103,8	101,2	150,8	121,7	103,4



**Abb. 4** Bereinigter Zuckergehalt in dt/ha unter Nematodenbefall an einer resistenten, toleranten und anfälligen Zuckerrübensorte. Ergebnisse von Exaktversuchen aus Niedersachsen über die geprüften Jahre und Standorte als Demonstration der bestehenden Unterschiede. Diese beruhen auf dem sehr unterschiedlichen Befallsdruck und auf dem Ertragspotential der verschiedenen Flächen.

Auf stärker befallenen Flächen wird somit – auch bei Verwendung einer toleranten Sorte – auf 8,5 Relativpunkte beim Ertrag verzichtet! Aus wirtschaftlichen Gründen führt also kein Weg daran vorbei, die Nematoden auf ein niedriges Niveau zu bringen oder dort zu halten. Voraussetzung hierfür ist, dass man den aktuellen Besatz und dessen Verteilung in der Fläche kennt. Entsprechende Untersuchungen des Bodens auf Rübenzystennematoden werden vom amtlichen Pflanzenschutzdienst angeboten. Den relativen Mehrertrag belasteten noch zwei weitere Punkte. Zum einen die ungleichmäßige Verteilung der Nematoden in der Fläche und die nicht ausreichende Qualität. Der relative Mehrertrag kann natürlich nur in dem Bereich der Fläche entstehen, der einen ausreichend hohen Nematodenbefall aufweist. Über die schlechten Amino-N Werte und dem hohen Standardmelasseverlust sollte man ebenfalls nicht hinwegsehen. Ob sich diese Werte mit einer verhaltenen Düngung verbessern lassen, wäre in Versuchen abzuklären, exakte Daten hierzu liegen noch nicht vor. In den Versuchen zeigte 'Pauletta' bei einer sehr guten Unterdrückung des Unkrautes eine höhere Anfälligkeit gegenüber Befall mit *Cercospora* und Mehltau. Ein höherer Aufwand, mindestens an Kontrollgängen, wenn nicht an Anwendungen, wäre bei Anbau dieser Sorte möglich. Da zukünftig tolerante Sorten mit verbesserten Eigenschaften in der Qualität und hoffentlich auch einer noch geringeren Wirtseignung für den Rübenzystennematoden zu erwarten sind, lässt den Anbau toleranter Sorten innerhalb eines integrierten Bekämpfungsansatzes langfristig interessant erscheinen.

### Wie sind die Sorten einzusetzen?

Überall dort, wo bei hohem Nematodenbesatz (>1000 Eier und Larven/100 ml Boden) mit hohen Ertragsverlusten zu rechnen ist und weitere begleitende Maßnahmen wie Anbau von Zwischenfrüchten oder eine Erweiterung der Fruchtfolge nicht durchführbar sind, empfiehlt sich ein Anbau der resistenten Sorte 'Paulina'. Das trifft auch auf geringer befallenen, leichten Standorten zu oder solchen mit einer ausgeprägten Frühsommertrockenheit. Erfahrungsgemäß sind auf solchen Standorten die Ertragsverluste und die Vermehrungsraten der Nematoden überproportional hoch.

Soweit bekannt, erstreckt sich die Toleranz von 'Pauletta' über einen großen Bereich unterschiedlicher Besatzdichten der Rübenzystennematoden. Da die Sorte aber die Nematodenpopulation auf das Andert-halbfache bis Doppelte vermehren kann, sollte man 'Pauletta' nicht bei Besatzdichten über 2.500 bis 3.000 Eier und Larven/100 ml Boden einsetzen, es sei denn, man plant nach Zuckerrüben eine Grünbrache mit resistentem Ölrettich, Gerste mit anschließender resistenter Zwischenfrucht oder mehr als zwei Getreidefrüchten. Hierdurch lässt sich die Population wie erwähnt auf das erforderliche Niveau absenken. Sollte dies nicht möglich sein, ist es besser eine resistente Sorte wie 'Paulina' im Rahmen der Fruchtfolge einzusetzen. Ansonsten ist 'Pauletta' ab der Schadschwelle von 500 Eiern und Larven/100 ml Boden und in Abhängigkeit von der Größe der Befallsherde auf der Fläche zu verwenden. Die Verteilung der Nematoden auf der Fläche spielt eine Rolle, da die positiven Ertragserwartungen natürlich nur auf befallenen Teilflächen zu erwarten sind, wohingegen auf den befallsfreien Teilflächen mit Mindererträgen zu rechnen ist. Es ist weiterhin darauf zu achten, dass mit der schlechteren Qualität dieser Sorte nicht die Qualität der Lieferung anderer Sorten verwässert wird. Wie bei anderen Pflanzenschutzmaßnahmen auch, hat der Einsatz von resistenten wie toleranten Sorten gezielt zu erfolgen. Da über den Mechanismus der Beeinflussung der Nematoden und dessen Vererbung keine Kenntnisse bestehen, ist auch aus dieser Sicht ein verhaltener Einsatz resistenter und toleranter Sorten innerhalb der Fruchtfolge angebracht.

### Noch ein Wort zu Raps in Rübenfruchtfolgen

Der Raps stellt neuerdings eine ökonomische Alternative und eine Bereicherung unserer Fruchtfolgen dar. Die Bekämpfung des Auflaufapses in Zuckerrüben ist teuer, aber chemisch gelöst. Nicht zu vergessen ist, dass Raps für Rübenzystennematoden eine gute Wirtspflanze darstellt. Nach neueren Ergebnissen lässt sich die Vermehrungsrate von *H. schachtii* drastisch senken, wenn man den Ausfallraps nach der Ernte rechtzeitig vernichtet. Ganz entscheidend ist die rechtzeitige Bekämpfung des Nematoden bevor sich die nächste Generation vermehrt hat. Oft erfolgt der Auflauf schon vor der Ernte in der stehenden Kultur. Ein weiteres mögliches Problem bei einem vermehrten Anbau von Raps in Zuckerrübenfruchtfolgen ist das Auftreten von Kohlhernie. Diese Pilzkrankheit könnte sich z. B. in der Vergangenheit während des Anbaus von Ölrettich und Senf unerkannt und dort bedeutungslos aufgebaut verursachen. Gerade in Regionen, in denen Rübenzystennematoden tatsächlich oder traditionell ein Problem darstellen,

sind getrennte Fruchtfolgen anzuraten. Eine Integration von Raps in Zuckerrübenfruchtfolgen wird zwar durch den Einsatz von resistenten Zuckerrüben und möglicherweise zukünftig auch resistentem Raps bezüglich des Rübenzystennematoden erleichtert, vorsichtshalber sollte man trotzdem weitere Erfahrungen abwarten.

### Zusammenfassung

Der landwirtschaftliche Pflanzenschutz ist aufgrund wirtschaftlicher Zwänge wie öffentlicher Einwirkungen großen Veränderungen unterworfen. Am Beispiel der Bekämpfung des Rübenzystennematoden wird diese Entwicklung – teilweise vergleichend mit anderen Ländern der EU - aufgezeigt. Von Maßnahmen der alleinigen Fruchtfolgegestaltung über den intensiven Einsatz der chemischen Bekämpfung ging die Entwicklung zu biologischen Verfahren wie den Anbau resistenten Ölrettichs und Senfes weiter zu resistenten und toleranten Zuckerrüben. Basierend auf Erfahrungen aus Feldversuchen wird diskutiert, wie die verschiedenen Verfahren zu kombinieren und einzusetzen sind, um die Population des Rübenzystennematoden unter die Schadschwelle zu drücken bei Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel. Aufgrund des Druckes aus der Öffentlichkeit sowie der Weitsicht der Landwirte und Züchter war diese beispielhafte und umfassende Entwicklung in Deutschland ohne behördlichen Zwang möglich.

### Summary

Modern plant protection has undergone detrimental changes due to economic pressure and public interests. This is exemplary shown for measures used to control the sugar beet cyst nematode *Heterodera schachtii*. Where applicable, comparisons were made between strategies applied in Germany and other EU countries. In the beginning, crop rotation was the only measure to control *H. schachtii* which was then followed by chemical control. More recently, resistant fodder radish and mustard cultivars as well as resistant and/or tolerant sugar beet cultivars followed. Based on long-term field experiments, the advantages and disadvantages of the different measures are given and strategies are discussed how these different measures can be combined for best control of the nematode population below the economic threshold level without using chemicals. In summary, public pressure as well as farmers and breeders cooperation made it possible that control of *H. schachtii* in Germany has completely changed from chemical application to the use of resistant and tolerant crop species without official interference.

### Literatur

- BAUKLOH, H. (1976): Untersuchung zur Wirtspflanzeignung der Kruziferen gegenüber dem Rübenematoden, *Heterodera schachtii* (Schmidt), unter besonderer Berücksichtigung der Resistenzzüchtung. Dissertation Universität Göttingen, 72 S.
- MÜLLER, J. (1998): New pathotypes of the beet cyst nematode (*Heterodera schachtii* Schm.) differentiated on alien genes for resistance in beet (*Beta vulgaris*). *Fund. Appl. Nematol.* **21**, 519-526.
- SAVITSKY, H. (1975): Hybridization between *Beta vulgaris* and *B. procumbens* and transmission of nematode (*Heterodera schachtii*) resistance to sugar beet. *Can. J. Genetics and Cytology* **17**, 197-209.
- TALATSCHIAN, P. (1974): Development of populations of phytoparasitic nematodes on catch crops with special consideration of oil radish. *Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **81**, 538-549.
- THIELEMANN, R. (1978): Zystenentwicklung des Rübenematoden *Heterodera schachtii* Schmidt an Cruciferen-Stoppelfrüchten. *Z. Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **85**, 657-665.



**ARNDT, M.**

Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354e Freising; e-mail: michael.arndt@lfl.bayern.de

## **Über die Entwicklung von Prognosemodellen zur Populationsdynamik des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii***

Development of simulation models for the population dynamics of the beet cyst nematode *Heterodera Schachtii*

### **Einleitung**

Noch ist nicht abzusehen, wie sich die Reform der Zuckermarktordnung auf den Anbau von Zuckerrüben in den EG-Ländern auswirken wird. Durch die Preisabsenkung für Zucker um insgesamt 36 % bis 2010 dürfte die Wettbewerbsfähigkeit des Rübenanbaus im Vergleich zu anderen Verkaufsfrüchten jedenfalls zurückgehen. Neben einer allgemeinen Flächenreduzierung könnte aus Kostengründen die Anbauintensität von Zuckerrüben im engeren Einzugsbereich von Verarbeitungsfabriken allerdings sogar ansteigen. Dadurch würden regional Probleme mit Rübenzystennematoden eher noch zunehmen, insbesondere dann, wenn aus ökonomischen Gründen Raps als weitere Wirtspflanze von *Heterodera schachtii* in Zuckerrübenfruchtfolgen mit aufgenommen wird.

Vorbeugende Bekämpfungsmaßnahmen, wie der Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte oder resistenter Zuckerrübensorten, werden zukünftig zur Ertragssicherung deshalb noch wichtiger werden. Allerdings sollen diese wirksamen Instrumente zur Nematodenkontrolle nicht rein prophylaktisch eingesetzt werden, sondern sich an der jeweiligen Befallsituation orientieren. Neben Bodenuntersuchungen, die den Betrieben als Entscheidungshilfe dienen, wäre für die Praxis und Beratung ein Prognosemodell zur Populationsdynamik von *H. schachtii* eine wertvolle Ergänzung für ein integriertes Bekämpfungskonzept. Während es in England - basierend auf 15-jährigen Versuchsdaten - seit kurzem einen Modellansatz für Kartoffelzystennematoden gibt und auch in den Niederlanden mit NemaDecide ein entsprechendes Computerprogramm zur Verfügung steht, fehlt es an einem entsprechenden, praxisgerechten Prognoseprogramm für Rübenzystennematoden, obwohl zahlreiche Ergebnisse populationsdynamischer Untersuchungen vorhanden sind (STEUDEL und THIELEMANN, 1981; FICHTNER et al., 1982; DUDA, 1983; HEYLAND und HAMBÜCHEN, 1991; ARNDT, 2002).

Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die bislang gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Entwicklung von Simulationsmodellen zur Prognose der Abundanzdynamik von *H. schachtii*.

### **Grundlagen zur Simulation von *H. schachtii***

In den letzten 10-15 Jahren wurden zahlreiche computergestützte Modelle zur Prognose verschiedenster Schaderreger entwickelt, die seit 1997 von der Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP) geprüft und in die Praxis eingeführt werden. So existieren für Schadinsekten im Gartenbau, z. B. für die Kohl- und Möhrenfliege, oder den Kartoffelkäfer wetterbasierte Prognosemodelle (DELRAD, PSIROS, SIMLEP), die u. a. durch einfache Temperatursummen den Zeitpunkt des Auftretens bestimmter Stadien vorhersagen. Auch zur Befallsabschätzung von Pilzkrankheiten werden Prognosemodelle angeboten, u. a. für *Cercospora*-Blattflecken an Zuckerrüben (CERC BET). Damit können Beobachtungen im Feld reduziert bzw. gezielter durchgeführt und Bekämpfungsmaßnahmen besser terminiert werden.

Auch zur Vorhersage des Auftretens von Rübenzystennematoden wurden bereits 1985 in der DDR Untersuchungen zur Ableitung einer Temperatursummenmethode für die Überwachung von *H. schachtii* in Zuckerrübenfruchtfolgen durchgeführt (FICHTNER et al., 1982; FICHTNER, 1984, 1985). Ziel war es, den Umfang der mittels Biotest durchgeführten Bestimmung des Nematodenbesatzes vor Anbau von Zuckerrüben zu reduzieren und zwar in Abhängigkeit des Populationsanstieges während des zurückliegenden Zuckerrübenanbaus. Mit einem einfachen Temperatursummenmodell wurden Jahre mit geringer, mittlerer und hoher Vermehrungsrate differenziert, entsprechend der Anzahl möglicher Generationen, die bei *H. schachtii* je nach Bodentemperatursumme zwischen eins und drei liegen kann. Allerdings ist neben der Temperatur auch eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit für die Aktivität der Larven von Bedeutung (MÜLLER, 1979), weshalb die in langjährigen Untersuchungen zur Populationsdynamik des Rüben-

zystennematoden in der Köln-Aachener Bucht (STEUDEL und THIELEMANN, 1981) festgestellten Beziehungen zwischen Vermehrungsindices und Temperatur nicht in jedem Jahr nachvollziehbar waren. In trockenen Jahren kann es nämlich trotz hoher Bodentemperatursummen ( $dd_{10}$  (daydegree  $>10^{\circ}\text{C}$ ) in 20 cm Tiefe  $>1200^{\circ}\text{C}$ ), die für eine dritte Generationen in jedem Fall ausreichend wären, u. U. sogar zu einem Befallsrückgang kommen, wie z. B. in den Jahren 1976 oder 2003. Darüber hinaus wird wegen der bekannten Dichteabhängigkeit der Vermehrungsrate der Befallsanstieg bei hohen Ausgangswerten eingeschränkt, wie zahlreiche Versuchsdaten belegen (ARNDT, 1992; SCHLANG, 2002). Neben den in der Regel hoch signifikanten negativen Korrelationen zwischen Vermehrungsrate und Ausgangsbesatz spielen nicht zuletzt auch Interaktionen von antagonistischen Pilzen mit Zystennematoden eine Rolle (THOMAS, 1982; KNUTH, 1986), die vermutlich stark von den Umweltbedingungen abhängen (NICOLAY, 1989).

Schon die wenigen hier genannten Faktoren machen deutlich, wie eingeschränkt Aussagen zur Prognose von *H. schachtii* sein müssen, wenn sie lediglich auf dem Temperaturfaktor für die Generationsfolge beruhen. Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, weitere Parameter, z. B. einen Ausgangsbefallswert in ein Simulationsmodell zu integrieren und den Befallsrückgang bei Anbau von Nichtwirtspflanzen bzw. resistenten Zwischenfrüchten als Bekämpfungsmaßnahme zu berücksichtigen.

### **Entwicklung von NEMAPLOT als populationsdynamisches Modell für *Heterodera schachtii***

Im Rahmen einer Dissertation am Institut für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geoökologie der Universität Braunschweig verschiedene „zeitdiskrete Modelle zur Vorhersage der Populationsdynamik des Rübenzystennematoden *H. schachtii* in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und des Temperaturmusters“ entwickelt (SCHMIDT, 1992; SCHMIDT et al., 1993). Ziel der Arbeiten war, nicht nur ein komplexes biologisches System am Beispiel der Wirt-Parasit-Interaktion von *H. schachtii* und Zuckerrübe auf eine mathematisch begründbare Ebene zu abstrahieren, sondern auch anhand dieser theoretischen Ableitung ein realistisches Prognosemodell zu erstellen. Darüber hinaus wurden in das Programm empirische Erkenntnisse der Praxis bezüglich der biologischen Nematodenbekämpfung mit verschiedenen Zwischenfruchtverfahren aufgenommen, um den Betrieben Entscheidungshilfen zur Kontrolle des Schädlings anzubieten. Eine ökonomische Bewertung dieser Verfahren war allerdings nicht möglich, da Befalls-Verlust-Relationen nicht berücksichtigt wurden.

Im Vordergrund stand zunächst die Frage nach dem geeignetsten Modellansatz, mit dem simulierte Befallswerte im Vergleich zu Messergebnissen aus Versuchs- bzw. Praxisflächen eine möglichst gute Übereinstimmung ergaben. Dazu standen im Rahmen der Dissertation zahlreiche Datensätze verschiedenster Institutionen und Pflanzenschutzdienste aus ganz Deutschland zur Verfügung, u. a. von einem Fruchtfolgeversuch in Oberspiesheim, Landkreis Schweinfurt, aus den Jahren 1976 bis 1989. Ein Problem bei der Evaluierung war, dass sich agrarmeteorologische Messnetze damals erst im Aufbau befanden und zur Simulation hilfsweise Temperaturdaten des amtlichen Wetterdienstes verwendet wurden, die für den jeweiligen Standort nicht immer zutrafen. Auch durch die Verwendung von Lufttemperaturen anstelle von Bodenwerten können sich je nach Bodenart größere Abweichungen vom tatsächlichen Temperaturverlauf ergeben. Insgesamt zeigte sich unter Berücksichtigung der bekannten Varianzen bei der Befallsdichtebestimmung von Bodenproben (Analysen- und Probenahmefehler) eine mehr oder weniger gute Übereinstimmung der Simulation mit den Datensätzen aus verschiedenen Regionen. Dies war wohl auch der Anlass, den gewählten Modellansatz in ein benutzerfreundliches PC-Programm zu übertragen, welches unter dem Namen NEMAPLOT - zunächst noch unter dem Betriebssystem MS-DOS - in einem dreijährigen Modellvorhaben weiter angepasst und in die Praxis eingeführt werden sollte.

### **NEMAPLOT ein Flop?**

Nachdem ein Vorantrag durch die Universität Bonn beim Bundesministerium für Landwirtschaft (BML) positiv bewertet wurde, sollte als Hauptantragsteller für die Projektförderung die damalige Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) fungieren, da es um die beispielhafte Einführung und Überprüfung eines praxisgerechten Prognoseprogramms in die Landwirtschaft ging (Modellvorhaben). Je ein Wissenschaftler an der Universität Bonn bzw. Universität Braunschweig sollte die Koordination und Datenauswertung übernehmen und gegebenenfalls Programmanpassungen vornehmen. Die Pflanzenschutzdienste aus Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Bayern sollten die Probenahme, Befallsdichtebestimmungen und Modelleinführung übernehmen. Außerdem war eine Ko-

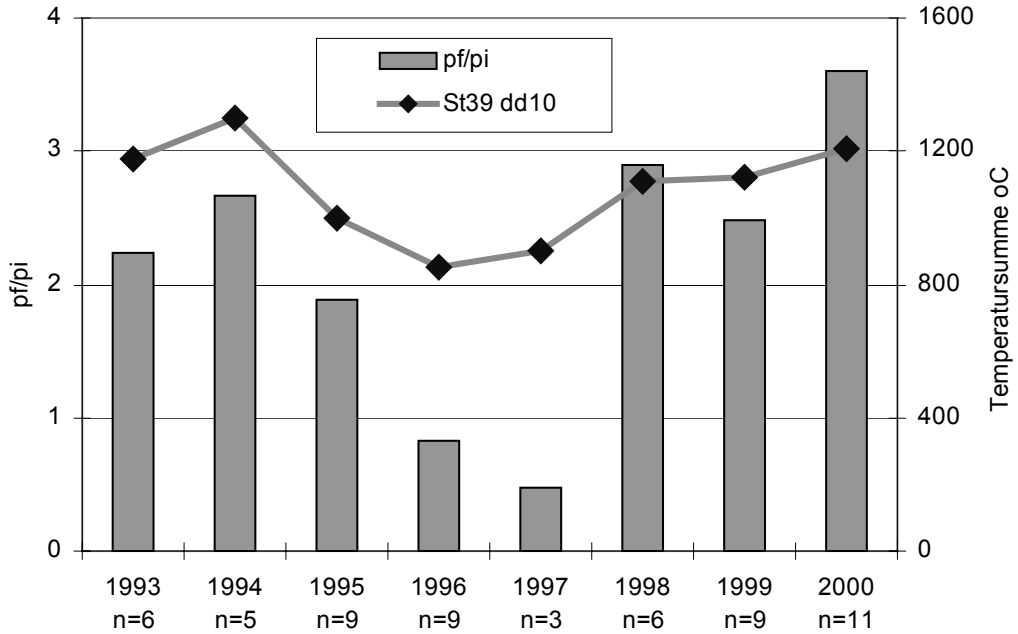
operation mit dem Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF-Müncheberg) und der Universität Halle vorgesehen, in dem langjährige Versuche der Forschungsstationen Andisleben und Etzdorf mit integriert werden sollten. Somit war eine bundesweite Erprobung des Modells unter verschiedensten Boden- und Klimabedingungen gesichert. Je Region sollten dazu jährlich auf 3-5 Praxisschlägen aus zuvor festgelegten Referenzflächen mit nur 25 m<sup>2</sup> nach einheitlichen versuchstechnischen Vorgaben des Instituts für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt Münster Bodenproben entnommen werden, um den Besatz an Eiern und Larven von *H. schachtii* regelmäßig im Frühjahr und Herbst unabhängig von der jeweils angebauten Kultur quantitativ zu erfassen. Damit konnten zusätzliche Daten über den Befallsrückgang unter Nichtwirtspflanzen gewonnen werden, da im bisherigen Modellansatz dafür nur eine konstante Größe implementiert war. Da bei den Pflanzenschutzdiensten die Skepsis wuchs, innerhalb der Laufzeit des Modellvorhabens der Praxis ein fertiges und validiertes Simulationsprogramm anbieten zu können, wurde der Antrag auf Förderung schließlich zurückgezogen. So bedauerlich die Entscheidung war, bestätigen sich aus heutiger Sicht die damaligen Bedenken. Viele der seinerzeit noch ungeklärten Fragen, z. B. über die Einflüsse von Antagonisten auf die Abundanz der Nematoden, lassen sich z. T. bis heute nicht abschließend beantworten und sind nur mit zusätzlichen Forschungsprojekten zu bearbeiten. Ausschlaggebend für den vorzeitigen Ausstieg aus dem Prognosemodell war nicht zuletzt die Voraussetzung, einen einmaligen „Startwert“ für den Nematodenbefall in das Programm eingeben zu müssen. Um nämlich für den jeweiligen Schlag eine repräsentative Besatzdichte von *H. schachtii* zu ermitteln, ist ein hoher Aufwand notwendig, der im Rahmen von Routineuntersuchungen nicht zu leisten ist. Trotzdem kann NEMAPLOT nicht als Flop bezeichnet werden, und es wird offensichtlich weiter daran gearbeitet, wie ein laufendes Projekt der Universität Bonn zeigt: „Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Dichte von Rübenzystemnematoden und dem Ertragsverlust im Zuckerrübenanbau durch Einsatz von Fernerkundung sowie die Optimierung des Computerprogramms Nemaplot zur gezielten Durchführung integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Nematoden“ ([www.precision-plant-protect.uni-bonn.de/project04/project04\\_e.htm](http://www.precision-plant-protect.uni-bonn.de/project04/project04_e.htm)).

Unabhängig davon, ob und wann ein geeignetes Programm für *H. schachtii* (SIMNEM) möglicherweise über ZEPP den Weg in die Praxis finden wird, sollten die bei verschiedenen Pflanzenschutzdiensten eingerichteten Beobachtungsflächen (HEINICKE, 1987; ARNDT, 1996) zu einem einheitlichen, bundesweiten Monitoring für Rübenzystemnematoden ausgebaut werden. Wenn mehr Daten aus den verschiedenen Regionen vorliegen, lässt sich darauf u. U. auch ein Warndienst aufbauen, der zumindest unter bestimmten Standortbedingungen und nach besonderen Witterungsverläufen auf eine abnorme Befallsentwicklung von *H. schachtii* hinweisen könnte.

### **Monitoring anstelle Simulation ?**

Es gibt Hinweise vom Landwirtschaftlichen Informationsdienst Zuckerrübe (LIZ), dass 2006 im rheinischen Zuckerrübenanbau auf 6 % der Rübenanbaufläche Zuckerrübensorten mit Resistenz oder Toleranz gegen *H. schachtii* ('Paulina' bzw. 'Pauletta') zum Anbau kommen werden. Daraus lässt sich eine relativ hohe Verbreitung von Rübenzystemnematoden in diesem Gebiet ableiten. Umfangreiche Bodenuntersuchungen bestätigen einen Befall oftmals über der Schadensschwelle von 500 Eiern und Larven pro 100 ml Boden. Im bayerischen Zuckerrübenanbau ist hauptsächlich die klimatisch wärmere Region Unterfrankens vom Rübenzystemnematoden betroffen, u. a. weil durch eine ausgeprägte Trockenheit im Spätsommer die Wirkung resistenter Zwischenfrüchte oftmals unbefriedigend ist.

Zur Beobachtung der Populationsentwicklung des Rübenzystemnematoden hat die Arbeitsgruppe Nematologie an der Landesanstalt für Landwirtschaft in Bayern (LfL) mit Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft Fränkischer Zuckerrübenanbauer (ARGE-Franken) 1993 mit dem Aufbau eines Monitorings begonnen. Auf Dauerbeobachtungsflächen in Praxisschlägen werden zur Bestimmung der Vermehrungsraten die Besatzdichten jeweils vor und nach dem Zuckerrübenanbau erfasst. Leider konnte aus personellen Gründen die Anzahl der Standorte bislang nicht im gewünschten und für repräsentative Aussagen erforderlichen Umfang erweitert werden. Die Ergebnisse von 1993 bis 2000 sind in Abb. 1 und Tab. 1 dargestellt.



**Abb. 1** Bodentemperatursummen (dd10) der Wetterstation 39 (Schwarzenau, Lkr. Kitzingen) in 20 cm Tiefe und mittlere Vermehrungsraten ( $P_f/P_i$ ) auf den Beobachtungsflächen (n = Anzahl Standorte mit Zuckerrüben,  $P_i$ =Eier u. Larven/100 g Boden vor Zuckerrüben,  $P_f$ =Eier u. Larven/100 g Boden nach Zuckerrüben)

**Tab. 1** Besatz von Monitoringparzellen mit *Heterodera schachtii* in den Jahren 1993-2000

Jahr	Monitoringflächen mit Z-Rüben	Befall vor Zuckerrüben					
		$P_i$ =Eier und Larven/100 g Boden und Endbefall $P_f$ *			Mittel $P_i$	Mittel $P_f$	$P_f / P_i$
		<500	500-1500	>1500			
1993	6	3	3	0	503	1226	2.4
1994	5	2	1	2	1604	4273	2.7
1995	9	5	1	3	953	1790	1.9
1996	9	2	3	4	1477	1216	0.8
1997	3	1	0	2	1657	790	0.5
1998	6	5	0	1	1173	3390	2.9
1999	9	4	4	1	677	1685	2.5
2000	11	6	4	1	650	2344	3.6
Summe/Mittel	58	28	16	15	1087	2089	1.9
	rel. =100	48.3	27.6	24.1			

\*  $P_f$ -Werte im Frühjahr nach Zuckerrüben

Auffallend ist, dass in den Jahren 1996 und 1997 bei Bodentemperatursummen knapp über 800°C im Mittel der Beobachtungspartellen die Populationsdichte zurück ging. Lässt man 1997 wegen der geringen Anzahl auswertbarer Standorte außer Acht, bleibt als Erklärung für den Befallsrückgang in 1996 neben den relativ hohen  $P_i$ -Werten zunächst nur die besonders geringe Niederschlagsmenge. Diese unterschied sich jedoch weder mengenmäßig noch in der Verteilung wesentlich z. B. von der im Jahr 2000 (Tab. 2), einem Jahr mit relativ hoher Vermehrung.

**Tab. 2** Niederschläge an der Wetterstation 39 in mm

Monat	1996	1999	2000
April	18.3	27.3	2.7
Mai	26.7	74.5	24.5
Juni	32.8	32.7	17.2
Juli	90.5	28.0	97.8
August	50.5	16.0	30.3
September	17.9	10.9	52.3
Summe	236.7	189.4	224.8

Vermutlich hat der Temperaturverlauf in den einzelnen Jahren doch einen erheblichen Einfluss auf die Dynamik der Nematodenentwicklung, wobei 800 Gradtage für die Entwicklung einer zweiten Generation u. U. sehr knapp sind.

Entsprechende Informationen über besonders niedrige oder hohe Vermehrungsraten wären - sofern sie für eine bestimmte Region repräsentativ sind - für Entscheidungen über zusätzliche Bekämpfungsmaßnahmen jedenfalls sehr hilfreich. Darüber hinaus sind die Daten zur Verifizierung zukünftiger Modellansätze besonders wertvoll.

### Zusammenfassung

Die Einführung EDV-gestützter Prognosemodelle bringt für den Pflanzenschutz in der Landwirtschaft erhebliche Vorteile, wie u. a. das Prognosemodell CERCBET zeigt. Mit diesem Prognosemodell haben die Beratung und der Landwirt ein wichtiges Werkzeug zur gezielten Bekämpfung der für Zuckerrüben wirtschaftlich bedeutsamen Pilzkrankheit *Cercospora beticola* in der Hand, um damit Kosten zu sparen und die Umwelt zu schonen. Für den im Zuckerrübenanbau nach wie vor ertragsrelevanten Schädling *H. schachtii* gibt es zurzeit keine chemische Bekämpfungsmöglichkeit. Trotzdem wäre auch für diesen Nematoden eine Vorhersage über die Befallsstärke wünschenswert, um die Entscheidung für den Anbau resistenter Zwischenfrüchte oder einer resistenten Zuckerrübensorte bzw. für eine Fruchtfolgeerweiterung zu erleichtern. Dies ist für den Landwirt in der Regel mit zusätzlich Kosten oder geringeren Einnahmen verbunden. Auch für den gezielten und nachhaltigen Einsatz resistenter Sorten ist die Kenntnis der Befallssituation wichtig. Anders als bei Kartoffelzystennematoden, die jährlich nur einen Generationszyklus durchlaufen, gestaltet sich die Entwicklung von Simulationsmodellen für *H. schachtii* vergleichsweise schwieriger, da je nach Umweltbedingungen ein bis drei Generationen pro Jahr möglich sind. Die bisherigen Ansätze zur Prognose der Abundanz führten u. a. deshalb noch zu keinem befriedigenden Ergebnis. Mit NEMAPLOT wurde vor gut 10 Jahren eine gute Grundlage geschaffen. In Verbindung mit einem bundesweit anzustrebenden Monitoring für Rübenzystennematoden könnten sich daraus gute Erfolgsaussichten für eine Praxiseinführung ergeben.

### Summary

Computer-aided prediction models, such as CERCBET, are seen as important plant protection tools. CERCBET allows advisers and growers to effectively and economically control *Cercospora beticola*, an important fungal disease in sugar beets. This reduces costs for the growers and protects the environment through minimised pesticide usage. Currently, there is no chemical control for the highly damaging nematode pest *Heterodera schachtii* in German sugar beet production. Changes in cultivation practices, e.g. growing of resistant green manure crops or resistant sugar beet varieties, or longer crop rotations, are commonly associated with higher costs or reduced revenue. In order to allow growers to effectively and sustainably use resistant varieties, detailed information on nematode population densities, distribution and composition of the nematode population are required. In contrast to potato cyst nematodes, that can complete only one generation per year, the development of prediction models for *H. schachtii* is much more complex. This is largely due to the fact that up to three generations per year may be completed. Current approaches cannot predict population fluctuations adequately. Modification of the prediction model NEMAPLOT, in conjunction with a country-wide monitoring for sugar beet cyst nematodes, could result in a successful introduction to practical agriculture.

## Danksagung

Bei Ralf-Peter Schuster und Kai Schmidt vom Institut für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn möchte ich mich für die langjährige und gute Zusammenarbeit bedanken.

## Literatur

- ARNDT, M. (1992): Entscheidungshilfen für pflanzenbauliche Maßnahmen bei Befall mit Rübenzystenälchen (*Heterodera schachtii*). Gesunde Pflanzen **44**, 392-395.
- ARNDT, M. (1996): Nematoden-Monitoring zur Kontrolle von *Heterodera schachtii* in Bayern. Phytomedizin **26**, 21.
- ARNDT, M. (2002): Einfluss von Fruchtfolge, chemischen und biologischen Bekämpfungsmaßnahmen auf die Befallsentwicklung von Rüben nematoden (*Heterodera schachtii*) und den Zuckerrüben ertrag. Gesunde Pflanzen **54**, 74-79.
- DUDA, A. (1983): Untersuchungen zum Auftreten und zur Populationsdynamik von *Heterodera schachtii* Schmidt, 1871 sowie zur Ertragsbeeinflussung bei Zuckerrüben in Feldversuchen. Dissertation Universität Halle.
- FICHTNER, E., D. GRABERT, W. FISCHER (1982): Untersuchungen zur Populationsdynamik des Rübenzystenälchens (*Heterodera schachtii* SCHMIDT). Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz **18**, 119-128.
- FICHTNER, E. (1984): Temperatursummen-Methode zur Bestandsüberwachung von *Heterodera schachtii*. Nachrichtenbl. für den Pflanzenschutz in der DDR **38**, 30-31.
- FICHTNER, E. (1985): Untersuchungen zur Ableitung einer Temperatursummenmethode für die Überwachung von *Heterodera schachtii* Schmidt, 1871, in Zuckerrübenfruchtfolgen. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz **21**, 31-40.
- HEINICKE, D. (1987): Nematodenuntersuchungen und Populationsveränderungen am Beispiel von Vergleichsflächen. Die Zuckerrübe **36**, 227-230.
- HEYLAND, K.-U., A. HAMBÜCHEN (1991): Die langfristige Abundanzdynamik von *Heterodera schachtii* (Schmidt) unter dem Einfluß produktionstechnischer Maßnahmen. Die Bodenkultur **42**, 157-175.
- KNUTH, P. (1986): Untersuchung von Verbreitung und populationsdynamischer Bedeutung pilzlicher Antagonisten von *Heterodera avenae* Wollenw. in Baden-Württemberg. Dissertation Universität Hohenheim.
- MÜLLER, J. (1979): Über die Generationenzahl von *Heterodera schachtii* unter Feldbedingungen an Zuckerrüben. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **31**, 92-95.
- NICOLAY, R. (1989): Einfluß von organischer Düngung und Umweltfaktoren auf die Parasitierung von Eiern des Rübenzysten nematoden *Heterodera schachtii* (Schmidt) durch Pilze. Dissertation Universität Bonn.
- SCHLANG, J. (2002): Integrierte Bekämpfung des Rübenzysten nematoden. Die Zuckerrübe **51**, 203-205.
- SCHMIDT, K. (1992): Zeitdiskrete Modelle zur Vorhersage der Populationsdynamik des Rüben nematoden *Heterodera schachtii* in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und des Temperaturmusters. Dissertation Uni Bonn.
- SCHMIDT, K., R.A. SIKORA, O. RICHTER (1993): Modelling the population dynamics of the sugar beet cyst nematode *Heterodera schachtii*. Crop Protection **12**, 490-496.
- STEUDEL, W., R. THIELEMANN (1981): Untersuchungen zur Populationsdynamik des Rübenzystenälchens (*Heterodera schachtii* SCHMIDT) in der Köln-Aachener Bucht. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **199**, 3-66.
- THOMAS, E. (1982): Über das Vorkommen parasitärer Pilze sowie anderer Pathogene und deren Einfluß auf die Populationsentwicklung des Rüben nematoden (*Heterodera schachtii*) im Landesteil Nordrhein. Gesunde Pflanzen **34**, 162-168.

**KNUTH, P.**

Landesanstalt für Pflanzenschutz, Reinsburgstraße 107, 70197 Stuttgart; e-mail: peter.knuth@lfp.bwl.de

## **Vermehrung von *Ditylenchus dipsaci* in nematodenresistenten und -anfälligen Senf- und Ölrettichsorten**

Reproduction of *Ditylenchus dipsaci* on susceptible and resistant mustard and fodder radish cultivars

### **Einleitung**

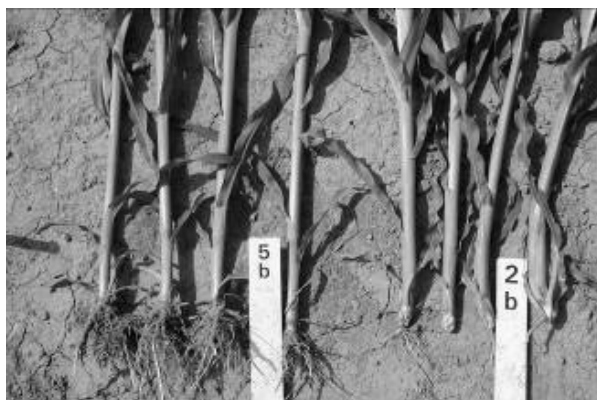
Der Stock- und Stängelnematode *Ditylenchus dipsaci* ist ein polyphager Schädling, der bei vielen landwirtschaftlichen Kulturen (Zuckerrüben, Roggen, Hafer, Mais, Leguminosen und Zwiebeln) erheblichen Schaden anrichten kann (EVANS, TRUDGILL & WEBSTER, 1993). Im Gegensatz zu anderen pflanzenparasitären Nematoden ist das Vorkommen von *D. dipsaci* in Baden-Württemberg auf bestimmte, seit langem bekannte Anbaugelände beschränkt. Betroffen sind insbesondere die Landkreise Main-Tauber, Heilbronn, Ludwigsburg und der Enzkreis. In den letzten Jahren wurden wieder verstärkt Schäden an Zuckerrüben gemeldet. Auffallend und neu dabei ist, dass immer wieder auch Flächen betroffen sind, auf denen *D. dipsaci* bislang als Schaderreger unbekannt war. Der Zwischenfruchtanbau zur biologischen Bekämpfung des Rübenzystennematoden (*Heterodera schachtii*) mit nematodenresistenten Senf- und Ölrettichsorten unmittelbar vor Zuckerrüben ist in vielen Betrieben eine Standardmaßnahme. Da Ackersenf als Wirtspflanze und Ölrettich als schlechte Wirtspflanze bzw. Nichtwirtspflanze von *Ditylenchus dipsaci* beschrieben werden (KNUTH, 1995), sollte im Jahr 2004 in Streifenversuchen an zwei Standorten (Kleinglattbach bei Vaihingen-Enz und Hohenstadt im Main-Tauber-Kreis) geklärt werden, ob der Zwischenfruchtanbau mit Senf und Ölrettich in der Praxis zur Vermehrung von *D. dipsaci* beitragen kann und sich die Sorten in ihrer Wirtseignung unterscheiden.

### **Zur Biologie des Schädlings**

Der Wirtspflanzenkreis von *D. dipsaci* umfasst nicht nur wichtige Ackerbaukulturen, sondern auch viele Zierpflanzen, Staudengewächse, Gemüsekulturen und Unkräuter. Die Nematoden überwintern vor allem als Larven im Boden oder auch in Pflanzenresten. Das letzte Larvenstadium (L IV) kann im Boden über ein Jahr ohne Wirtspflanzen überdauern. Selbst völlige Trockenheit schadet den Tieren nichts, da sie dann in eine schützende Trockenstarre (Anabiose) fallen. In Leguminosensaatgut – vor allem in Ackerbohnen – können trockenstarre Stängelnematoden viele Jahre überdauern.

Entsprechend der Vielfalt an Wirtspflanzen sind auch die Ausprägungen der Schadsymptome ganz unterschiedlich. So wird zum Beispiel beim **Mais** nur die Halmbasis befallen. Wenige eingedrungene Tiere reichen aus, um die Wurzelausbildung so zu verändern, dass im Extremfall nur ein paar kümmerliche Wurzeln - Standwurzeln fehlen völlig - den Mais noch am Leben erhalten. Vermutlich führen hier Speichelinhaltsstoffe des Nematoden zu einer physiologischen Veränderung der Wurzelbildung. Am Ende verliert der Mais seine Standfestigkeit (Abb. 1), ein starker Windstoß bzw. ein Unwetter reicht aus, und die geschädigten Pflanzen fallen einfach um („Umfallkrankheit des Maises“). Untersuchungen der Landesanstalt für Pflanzenschutz haben gezeigt, dass die Reaktion der Maispflanzen auf Stängelnematodenbefall stark sortenabhängig ist (Abb. 1).

Völlig anders sind die Symptome bei **Zuckerrüben**. Die Tiere dringen im Bereich der Bodenoberfläche in den Rübenkörper ein. In den Rüben wird zunächst nur der Rübenkopf befallen, weshalb dieser Nematode auch Rübenkopffälchen genannt wird. Es kommt zu einer enormen Vermehrung, die Zellen werden zerstört und sekundär besiedeln Fäulnispilze den Rübenkörper, so dass die Rübe zu faulen beginnt („Rübenkopffäule“). Bei starkem Befall dehnt sich der Befall auch in den unterirdischen Bereich der Rübe aus. Im Extremfall kann die Rübe bis zur Ernte hin komplett verfault sein (Abb. 2).



**Abb. 1** Befall von Mais mit *Ditylenchus dipsaci* führt zur „Umfallkrankheit“ (links); Reduzierte Wurzelbildung bei der Sorte Nilson (2b), normales Wachstum bei der unempfindlichen Sorte Oldham (5b) (rechts).



**Abb. 2** Befall von Zuckerrüben mit *Ditylenchus dipsaci*. Der Befall beginnt meistens seitlich im Bereich der Bodenoberfläche (links) und weitet sich im Inneren der Rübe aus (Kernfäule) (rechts). Bei starkem Befall kann bis zur Ernte die gesamte Rübe verfault sein.

## Ergebnisse

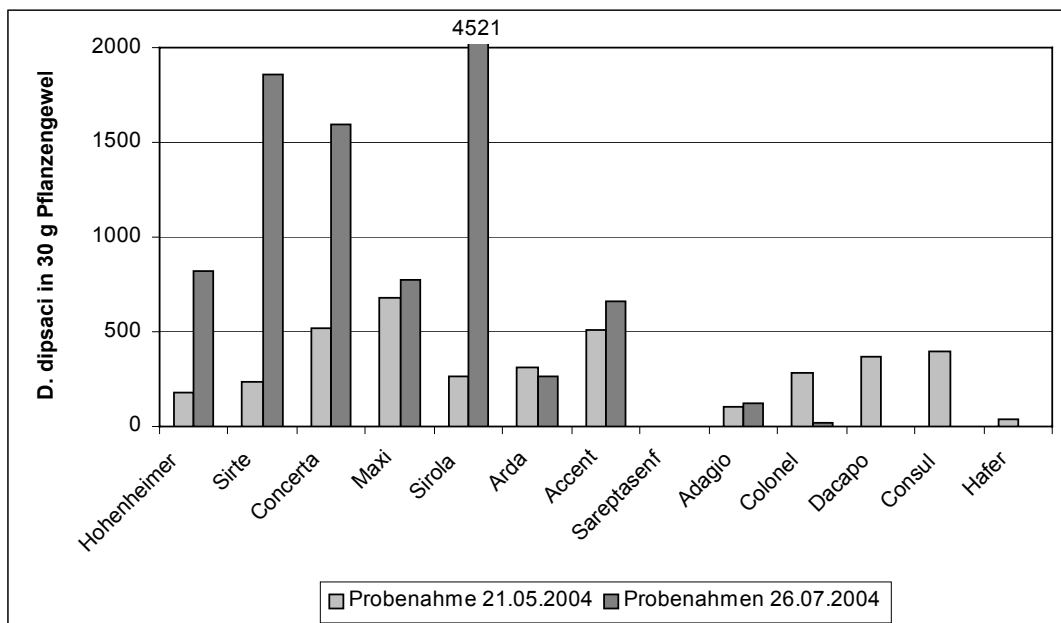
Pflanzenuntersuchungen: Bis zum ersten Pflanzenuntersuchungstermin (Mitte Mai) hatten die Senf- und Ölrrettichpflanzen eine Wuchshöhe von 20 - 30 cm erreicht. Auf beiden Standorten waren zu diesem relativ frühen Termin bereits sehr viele Tiere in die Pflanzen eingewandert (Abb. 3 u. 4). Obwohl die Menge der eingedrungenen Tiere von Sorte zu Sorte unterschiedlich war, erwiesen sich alle Senf- und Ölrrettichsorten mit Ausnahme von Sareptasenf für die Nematoden als attraktiv.

Die eingedrungenen Nematoden hatten sich bis zum ersten Probenahmetermin bereits zum Großteil zu adulten Tieren entwickelt; junge Larven der nächsten Generation traten zu diesem Zeitpunkt noch nicht auf. Beim zweiten Probenahmetermin Mitte Juli wurden dagegen in den betroffenen Sorten nur noch neu gebildete Larven (vor allem. 4. Larvenstadium) nachgewiesen. Es muss demnach eine Fortpflanzung stattgefunden haben.

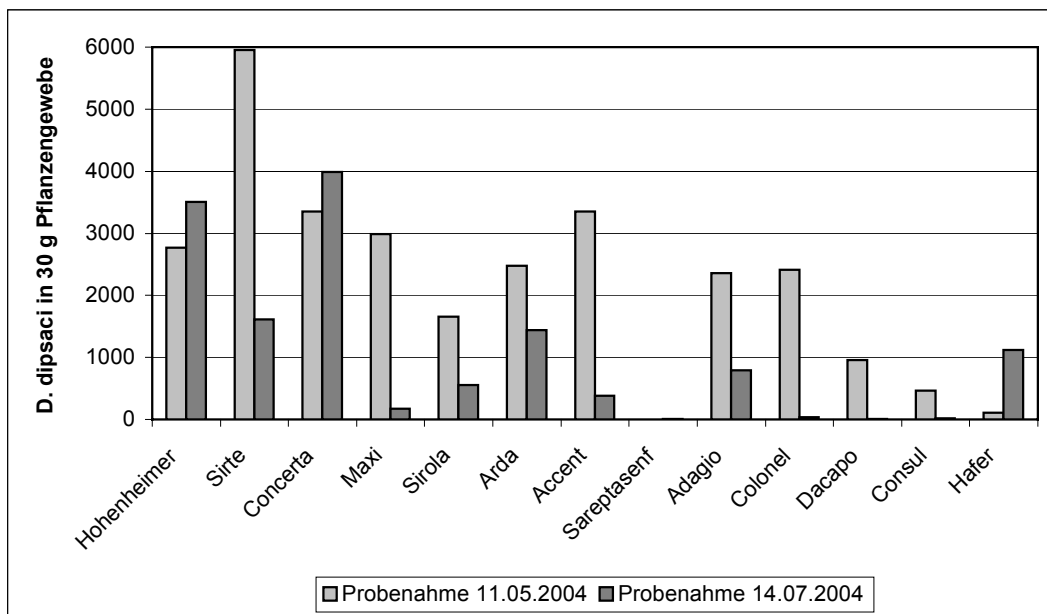
*Ditylenchus dipsaci* konnte sich auf dem Standort **Kleinglattbach** in allen Senfsorten und in der Ölrrettichsorte 'Adagio' fortpflanzen. Insbesondere in den Sorten 'Hohenheimer', 'Sirte', 'Concerta' und 'Sirola' fand zudem eine deutliche Vermehrung statt. Bei den Ölrrettichsorten wurden zum zweiten Termin nur eine geringe Anzahl ('Colonel') bzw. gar keine ('Dacapo', 'Consul') Tiere nachgewiesen.

Hafer war überraschender Weise nicht attraktiv für *D. dipsaci*. Es wanderten kaum Tiere ein und entsprechend kam es auch zu keiner Vermehrung (Abb. 3). Von *D. dipsaci* sind ca. 20 unterschiedliche Wirtsrassen bekannt, wobei von der Rübenrasse bekannt ist, dass sie auch den Hafer befällt. In Kleinglattbach muss es sich also um eine Wirtsrasse handeln, die zwar Rüben befällt und schädigt, Hafer aber meidet. Eine Zuordnung zu einer bekannten Rasse kann aufgrund dieser Untersuchungen nicht getroffen werden.





**Abb. 3** Besatzdichte von *Ditylenchus dipsaci* im Stängelgewebe von Senf- und Örettichsorten am Standort Kleinglattbach.



**Abb. 4** Besatzdichte von *Ditylenchus dipsaci* im Stängelgewebe von Senf- und Örettichsorten am Standort Hohenstadt.

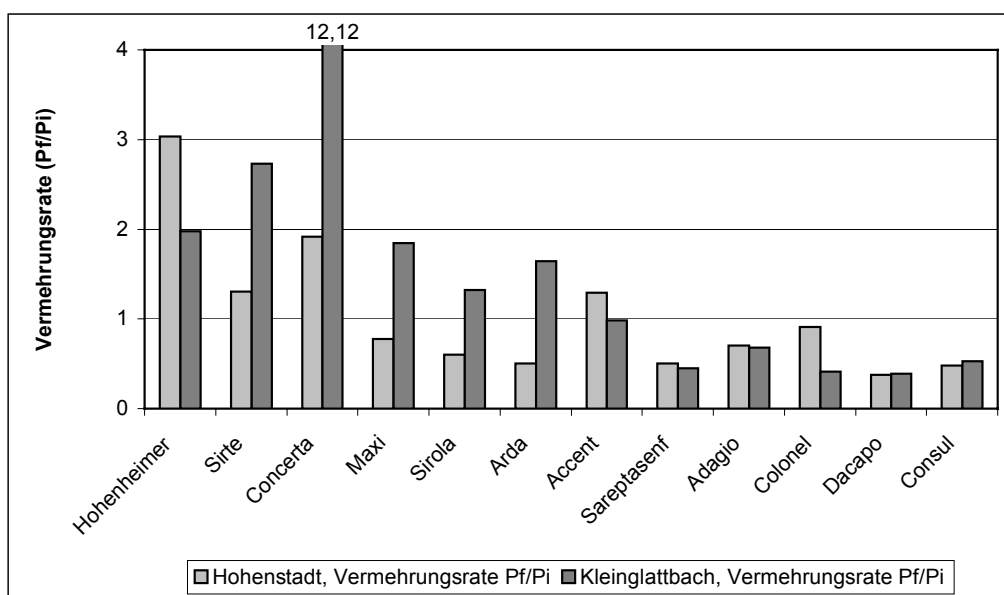
In **Hohenstadt** dagegen verhielt sich *D. dipsaci* entsprechend der Rübenrasse - der Hafer wurde befallen und die Tiere konnten sich auch gut vermehren. Auch an diesem Standort konnte sich *D. dipsaci* in allen Senfsorten sowie in der Örettichsorte Adagio fortpflanzen. Aber im Gegensatz zu Kleinglattbach kam es nur in den beiden Senfsorten 'Hohenheimer' und 'Concerta' auch zu einer Vermehrung von *D. dipsaci*. Auf einem Standort mit Problemen hervorgerufen durch *D. dipsaci* weiß man natürlich nicht, welche Wirtsrasse dieses Nematoden tatsächlich auf dem Feld vorkommt. Die Versuche zeigen, dass die beiden Senfsorten 'Hohenheimer' und 'Concerta' unabhängig von der jeweils im Feld vorkommenden Rasse eine gute Vermehrung von *D. dipsaci* ermöglichen. Das Risiko einer Vermehrung von *D. dipsaci* scheint bei allen Senfsorten gegeben zu sein, während wohl die meisten Örettichsorten keine Vermehrung der Nematoden zulassen.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die beiden Versuche in der Hauptvegetationszeit durchgeführt wurden. Bei einer spät gesäten Zwischenfrucht (Ende August/Anfang September) sehen die Befallszahlen sicherlich anders aus. Andererseits soll bei einem Zwischenfruchtanbau zur biologischen Bekämpfung des Rübenzystenälchens *Heterodera schachtii* die Kultur möglichst früh gesät werden, um einen guten Bekämpfungserfolg zu erzielen.

Bei den derzeit als „nematodenresistent“ zugelassenen Zwischenfrüchten handelt es sich um eine Resistenz gegen den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*. Die Versuche haben klar gezeigt, dass sich nematodenresistente und anfällige Sorten der Zwischenfrüchte in ihrer Wirtseignung gegenüber *D. dipsaci* nicht unterscheiden.

**Bodenuntersuchungen:** Für betroffene Landwirte ist wichtig zu wissen, ob durch bestimmte Zwischenfrüchte oder andere Wirtspflanzen der Nematodenbesatz im Boden so stark gefördert wird, dass im darauf folgenden Frühjahr die Schadensschwelle überschritten wird. *D. dipsaci* kann sich in Zuckerrüben besonders stark vermehren. Bereits ein Besatz von 10 Nematoden pro 250 cm<sup>3</sup> Boden bei Aussaat reicht aus, um unter für die Nematoden günstigen Wetterbedingungen die Rüben zu schädigen. Diese niedrige Schadensschwelle wird auf einem verseuchten Feld durch eine ungünstige Fruchtfolge schnell überschritten.

Auf beiden Versuchsstandorten haben wir die Ausgangspopulationsdichte ( $P_i$ -Wert) im April und anschließend nach Abschluss der Versuche die Endpopulation ( $P_f$ -Wert) im August ermittelt. Die Ausgangsdichte war auf beiden Standorten annähernd auf gleichem Niveau (Durchschnittswerte: Kleinglattbach 76 Nematoden und Hohenstadt 69 Nematoden pro 250 cm<sup>3</sup> Boden). Die Populationsentwicklung im Boden entsprach im wesentlichen den Entwicklungsmöglichkeiten der Nematoden in den unterschiedlichen Sorten. Unter den Senfsorten 'Hohenheimer' und 'Concerta' ist unabhängig von der *D. dipsaci*-Rasse auch im Boden mit einem Anstieg der Population zu rechnen. Die Vermehrungsraten im Boden lagen beim Versuch in Kleinglattbach bei allen Senfen über 1,0, das heißt, eine Vermehrung fand statt. Bei allen Ölrettichsorten dagegen lag der  $P_f/P_i$ -Wert im Bereich von 0,5, was einer deutlichen Reduktion der Nematodendichte entsprach (Abb. 5). In Hohenstadt war diese klare Trennung zwischen Senfsorten und Ölrettichsorten nicht so ausgeprägt. Auf diesem Standort - beim Vorkommen der wohl „typischen“ Rübenrasse von *D. dipsaci* - konnte auch bei den Senfsorten 'Maxi', 'Sirola' und 'Arda' eine Reduktion der Nematodendichte festgestellt werden.



**Abb. 5** Vermehrungsraten von *Ditylenchus dipsaci* im Boden auf den beiden Versuchsflächen in Hohenstadt und Kleinglattbach in Abhängigkeit der angebauten Sorten ( $P_i$  = Anfangspopulation,  $P_f$  = Endpopulation).

Da in der Regel die auf einem Feld vorkommende Rasse nicht bekannt ist, bleibt abzuwägen, ob auf einem mit *D. dipsaci* verseuchten Standort der Ölrettich bei früh gesäten Zwischenfrüchten nicht generell dem Senf vorzuziehen wäre. Hier konnte bei keiner Sorte auf den beiden Standorten eine Vermehrung der Tiere durch Bodenuntersuchung nachgewiesen werden.

Besondere Betrachtung muss dem Sareptasenf eingeräumt werden. Sareptasenf war nicht attraktiv für *D. dipsaci*, es wanderten keine Tiere in die Pflanzen ein. Die Besatzdichte von *D. dipsaci* im Boden ging leicht zurück und es konnte auch eine Reduktion der Bodenpopulation beobachtet werden. Die Vermehrungsraten ( $P_f/P_i$ ) von Sareptasenf sowie den Ölrettichsorten 'Dacapo' und 'Consul', lagen auf beiden Standorten bei ca. 0,5 (Abb. 5). Dies bedeutet, dass unabhängig vom Standort bzw. der vorkommenden Rasse, unter diesen Kulturen eine Reduktion der Nematodendichte im Boden erreicht wurde.

Um den natürlichen Rückgang der Bodenpopulation im Versuchszeitraum erfassen zu können, wäre eine Parzelle mit Schwarzbrache sinnvoll gewesen. Da *D. dipsaci* monatelang im Boden ohne Nahrungsaufnahme überdauern kann, ist unter Schwarzbrache ein vergleichbarer Rückgang innerhalb der wenigen Versuchsmonate unter Brache eher nicht zu erwarten.

#### Fazit für die Praxis:

- Senf- und Ölrettichsorten waren für *Ditylenchus dipsaci* grundsätzlich attraktiv, es wanderten viele Tiere in die Pflanzen ein. Eine Weiterentwicklung bis zum adulten Tier fand statt.
- In drei von vier Ölrettichsorten konnten sich die Nematoden nicht fortpflanzen, nur in der Sorte 'Adagio' konnte eine Weiterentwicklung festgestellt werden.
- Aufgrund der Rassenproblematik von *D. dipsaci* kann man bei den Senfsorten keine einheitliche Aussage über deren Vermehrungspotential treffen, eine Fortpflanzung fand aber in allen getesteten Sorten statt.
- Nach Anbau der Senfsorten 'Hohenheimer', 'Sirte' und 'Concerta' konnte ein Anstieg der Bodenpopulation beobachtet werden.
- Sareptasenf scheint eine Sonderstellung einzunehmen; er war auf beiden Standorten für *D. dipsaci* nicht attraktiv.
- Unter allen Ölrettichsorten und Sareptasenf nahm die Bodenverseuchung ab.
- Die Sorteneigenschaft „nematodenresistent“ hat in Bezug auf *D. dipsaci* keine Bedeutung. Die Nematodenresistenz bezieht sich ausschließlich auf den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*.

Schlussbetrachtung: Zwischenfrüchte werden in der Praxis über eine relativ lange Zeitspanne (Juli - September) und zu ganz unterschiedlichen Zwecken angebaut. Sollen nematodenresistente Zwischenfrüchte gezielt zur Bekämpfung von Rübenzystennematoden eingesetzt werden, so ist dies nur nach frühräumenden Kulturen wie Wintergerste oder Gemüse mit Aussaat noch im Juli oder spätestens Anfang August sinnvoll. Gründe hierfür liegen vor allem in der Biologie des Zystennematoden, je später die Saat, umso weniger Larven schlüpfen aus den Zysten und dringen in die Zwischenfrüchte ein. Dies gilt grundsätzlich auch für *D. dipsaci* und schränkt damit das Vermehrungspotential dieses Nematoden an Zwischenfrüchten - auch an Senfsorten - ein. Spät gesäte Zwischenfrüchte, z. B. nach Weizen Ende August/Anfang September, ermöglichen zwar oftmals noch eine gute Bestandsentwicklung, die Gefahr einer Vermehrung von *D. dipsaci* ist dann aber bereits aufgrund der geringen Temperatur und der kurzen Vegetationszeit sicherlich deutlich reduziert.

#### **Zusammenfassung**

*Ditylenchus dipsaci* hat in den Rübenanbaugebieten Baden-Württembergs in den vergangenen Jahren an Bedeutung zugenommen und insbesondere im kühlen und feuchten Jahr 2002 an Zuckerrüben große Schäden verursacht. Bei der Suche nach den Ursachen der Befallsausweitung stellt sich die Frage, ob sich nicht der Zwischenfruchtanbau zur biologischen Bekämpfung von *Heterodera schachtii* fördernd auf *D. dipsaci* auswirkt. Ackersenf (*Sinapis arvensis*) ist als Wirtspflanze von *D. dipsaci* beschrieben. In zwei Streifenversuchen auf hochverseuchten Feldern (Schäden an Zuckerrüben im Jahr 2002) mit nematodenresistenten und -anfälligen Senf- und Ölrettichsorten (*Sinapis alba*, *Brassica juncea*, *Raphanus*

*sativus*) wurde deutlich, dass auch Weißer Senf generell eine gute Wirtspflanze für *D. dipsaci* ist. Alle getesteten Senfsorten waren für die Nematoden attraktiv, die Tiere wanderten in das Stängelgewebe ein und konnten sich auch weiterentwickeln, wobei es aber deutliche Sortenunterschiede in den Vermehrungsraten gab. Hohe Vermehrungsraten bei beiden Versuchen wurden in den Stängeln der Sorten 'Concerta' und 'Hohenheimer' beobachtet. Unterschiede zwischen nematodenresistenten und -anfälligen Senfsorten wurden nicht festgestellt. Ölrettich war zwar zunächst für die Nematoden ebenfalls attraktiv, eine Einwanderung und Weiterentwicklung bis zum adulten Tier fand statt, eine Vermehrung konnte aber mit Ausnahme der Sorte 'Adagio' nicht beobachtet werden. Sareptasenf (*Brassica juncea*) wurde nicht befallen und scheint für die an Zuckerrüben vorkommenden Rassen von *D. dipsaci* keine Wirtspflanze zu sein.

## Summary

The stem nematode *Ditylenchus dipsaci* is an increasing threat on sugar beets in the main sugar beet growing areas of Baden-Württemberg, especially in cool and wet years such as in 2002. The reason for this raising problem is still unclear but the question needs to be answered, if nematodes resistant catch crops, planted for the biological control of the beet cyst nematode *Heterodera schachtii*, will promote stem nematode infestation. Wild mustard (*Sinapis arvensis*) is known as a good host for *D. dipsaci*, however information on the host status of white mustard (*Sinapis alba*) and fodder radish (*Raphanus sativus*) are still lacking. Two trials were conducted on heavily infested fields (damage on sugar beets in 2002 caused by *D. dipsaci*) with susceptible and resistant cultivars of white mustard, Indian or brown mustard (*Brassica juncea*) and fodder radish. Results indicated that white mustard is generally a good host for *D. dipsaci*. All tested white mustard cultivars were attractive for the nematodes. Several juveniles penetrated the roots and developed to mature females. However, the cultivars showed differences in the multiplication rates of *D. dipsaci*. In both field trials the highest multiplication rates were found in the two white mustard cultivars 'Concerta' and 'Hohenheimer'. There were no differences in *D. dipsaci* reproduction between cultivars being susceptible or resistant against *H. schachtii*. Fodder radish was attractive for *D. dipsaci* as juveniles penetrated the roots and developed to adult nematodes, however, with the exception of 'Adagio' no reproduction occurred. *B. juncea*, was not infested and apparently seemed to be a non host for the races of *D. dipsaci* infecting sugar beets.

## Literatur

- KNUTH, P. (1995): Einfluss der Zwischenfruchtart auf die Vermehrung von Stengelälchen (*Ditylenchus dipsaci*) und den daraus resultierenden Befall der Folgekultur. *Gesunde Pflanzen* **47**, 50-53.
- EVANS, K., D.L. TRUDGILL, J.M. WEBSTER (1993): *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*. CAB International, Wallingford, UK. 648 S.

**GROBE, E.**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Außenstelle Kleinmachnow, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow; e-mail: e.grosse@bba.de

## **Untersuchungen zu Getreidezystennematoden in Deutschland**

Investigations on cereal cyst nematodes in Germany

### **Zur Verbreitung der Getreidezystennematoden *Heterodera avenae* und *H. filipjevi***

Seit langem ist bekannt, dass in Deutschland ein beträchtlicher Teil der Ackerfläche mit dem Getreidezystennematoden *Heterodera avenae* mehr oder weniger stark verseucht ist. Es wurde von vier Rassen ausgegangen, die sich in ihrer Virulenz gegenüber den Getreidesorten unterscheiden (DECKER, 1969). Bei Biotestuntersuchungen mit verschiedenen Herkünften von Getreidezystennematoden aus Brandenburg stellten wir an der gegenüber *H. avenae* hoch resistenten Sommerweizensorte (SW) 'Troll' viele neugebildete Zysten fest. Aus diesem Grund untersuchten wir etwa 200 Populationen von Getreidezystennematoden aus verschiedenen Gebieten Brandenburgs. Etwa ein Drittel der Populationen konnte sich an der gegenüber *H. avenae* resistenten SW-Sorte 'Troll' vermehren. Von einem Teil der befallenen Pflanzen wurden Zysten für molekulare und morphologische Untersuchungen entnommen. Alle von der SW-Sorte 'Troll' entnommenen Zysten konnten der Art *Heterodera filipjevi* zugeordnet werden (RUMPENHORST und STURHAN, persönliche Mitteilung). Bereits einige Jahre zuvor konnte nachgewiesen werden, dass der britische Pathotyp 3 und der schwedische Gotland-Typ von *H. avenae* der Art *H. filipjevi* zuzuordnen sind (STURHAN und RUMPENHORST, 1996).

Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) ein Differentialtest zum artspezifischen Nachweis von *H. avenae* und *H. filipjevi* entwickelt. Zunächst wurden nur die als hoch anfällig für die beiden Nematodenarten erkannte Sommerhafersorte (SH) 'Lorenz' und die gegen *H. avenae* hoch resistente und für *H. filipjevi* hoch anfällige SW-Sorte 'Troll' in den Biotest einbezogen. Später wurde die SH-Sorte 'Nordstern', die sich als hoch anfällig für *H. avenae* und hoch resistent gegen *H. filipjevi* erwiesen hatte, in den Test einbezogen. Eine wichtige Voraussetzung für diesen Test ist, dass die gegebenenfalls in den Bodenproben enthaltenen Nematoden schlupfbereit sind. Während von Februar bis April entnommene Bodenproben sofort untersucht werden können, bedürfen Herbstproben einer etwa viermonatigen Kühlung bei ca. 4 °C. Luftgetrocknete Bodenproben, so wie sie als Rückstellproben von der Bodennährstoffuntersuchung zur Verfügung stehen, sind zur Brechung der Diapause der Nematoden vor dem Versuchsansatz zu befeuchten und ebenfalls mindestens vier Monate bei 4 °C zu lagern.

Zur Beurteilung der Verbreitung von *H. avenae* und *H. filipjevi* in Brandenburg wurden in Kooperation zwischen dem Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der BBA und dem Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVL) des Landes Brandenburg entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Von den über das ganze Land Brandenburg verteilten Dauertestflächen des LVL Brandenburg wurden 203 Bodenproben untersucht. Bei den untersuchten Proben handelte es sich um die Reste von erdfeuchten  $N_{min}$ -Frühjahrsproben von jeweils 400-500 g Boden. Insgesamt wurde bei 40 Proben (19,7 %) die Neubildung von Zysten im Biotest festgestellt. Davon waren 13 Proben (33 %) mit *H. filipjevi* verseucht. Auf Grund dieser Untersuchungsbefunde ist davon auszugehen, dass in Brandenburg auf etwa zwei Drittel aller mit Getreidezystennematoden verseuchten Flächen *H. avenae* und auf einem Drittel *H. filipjevi* vorkommt.

Zusätzlich wurden von 1878 nach dem Zufallsprinzip entnommenen luftgetrockneten Rückstellproben (jeweils 100–200 g Boden) von der P, K, Mg und pH-Wert-Untersuchung untersucht. Von diesen Proben waren insgesamt 117 Proben (6,2 %) mit Getreidezystennematoden verseucht. Bei 77 der verseuchten Proben handelte es sich um *H. avenae* und bei den restlichen 40 Proben (34 %) um *H. filipjevi*. Die Ursache für den relativ geringen Anteil verseuchter Bodenproben von ca. 6 % wird in der geringen verfügbaren Bodenmenge von 100–200 g je Probe gesehen, die pro Probe zur Verfügung stand. Dennoch sind diese Ergebnisse wichtig für die Beurteilung der anteiligen Verseuchung von *H. avenae* und *H. filipjevi*. Untersuchungen von Bodenproben anderer Bundesländer belegen, dass auch dort neben *H. avenae* häufig *H. filipjevi* auf Ackerflächen vorkommt (Tab. 1).

**Tab. 1** Untersuchungen zur Verbreitung von *Heterodera avenae* und *H. filipjevi* in Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt

Bundesland	untersuchte Bodenproben	davon verseucht mit		
		<i>H. avenae</i>	<i>H. filipjevi</i>	<i>H. filipjevi</i> in %
Sachsen-Anhalt	241	50	10	17
Bayern	200*	9	3	25
Hessen	126	11	3	21
Rheinland-Pfalz	84	19	4	17

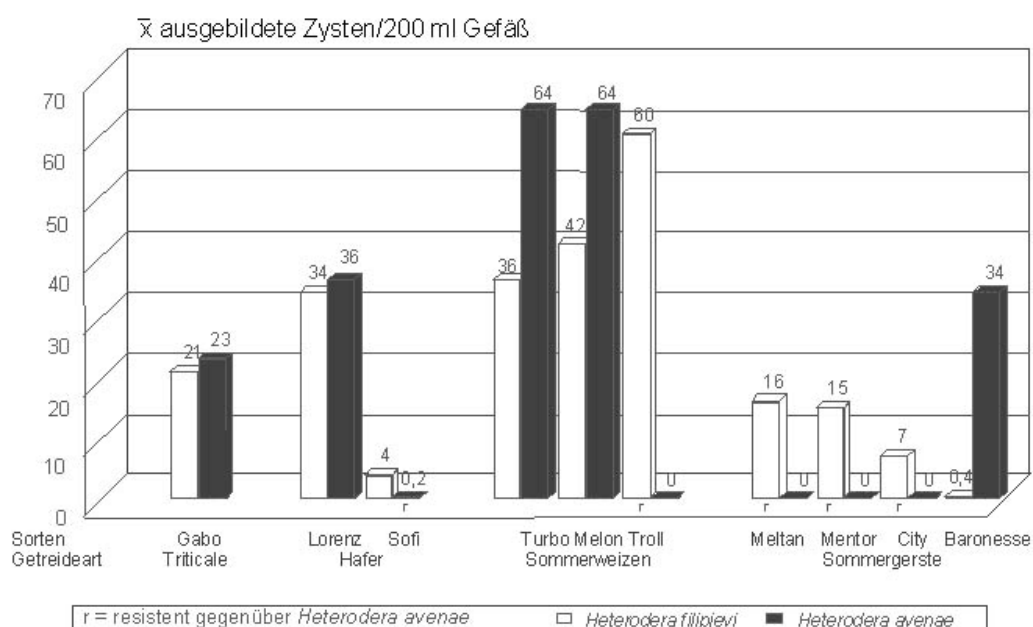
\* Ein Teil der Proben war zwischenzeitlich eingefroren; der Anteil eingefrorener Proben konnte nicht bestimmt werden.

### Zur Resistenzsituation der in Deutschland zugelassenen Getreidesorten

In Deutschland gab es bis zu diesem Zeitpunkt keine Informationen über die Resistenz von Getreidesorten gegen *H. filipjevi*. Nach Angaben von ANDERSEN und ANDERSEN (1982), COOK (1975) und IREHOLM (1990) kann *H. filipjevi* verschiedene Getreidesorten, die gegen *H. avenae* resistent sind, befallen. Insbesondere auf Weizen- und Gerstensorten soll dies zutreffen. Auf Grund unserer neuen Erkenntnisse zur Verbreitung von *H. filipjevi* in Deutschland führten wir Untersuchungen von in Deutschland zugelassenen Getreidesorten auf Resistenz gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* durch. Zudem begannen einige Saatzuchtfirmen mit der Züchtung auf Resistenz gegen *H. filipjevi* und das Bundessortenamt nahm die Prüfung von Zuchtstämmen mit Resistenz gegen *H. filipjevi* auf.

### Anfälligkeit von Sommergetreide für Getreidezystennematoden

Erste Untersuchungen zur Beurteilung der Anfälligkeit für *H. avenae* und *H. filipjevi* wurden an Sommergetreidesorten durchgeführt. Neben einigen für *H. avenae* anfälligen Sorten wurden vorerst drei gegen *H. avenae* resistente Sommergerstensorten (SG), eine resistente SH- und eine SW-Sorte mit mehreren Populationen von *H. filipjevi* und einer Population von *H. avenae* geprüft. Als resistent gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* gilt eine Sorte, wenn weniger als 15 % Zysten an den Wurzelballen im Vergleich zur anfälligen Kontrollsorte ausgebildet werden (MÜLLER und RUMPENHORST, 2000). Die Ergebnisse belegen, dass die gegenüber *H. avenae* resistenten SG-Sorten 'Meltan', 'Mentor' und 'Minna' sowie die SH-Sorte 'Sofi' von *H. filipjevi* befallen werden (Abb. 1).

**Abb. 1** Zusammenfassende Darstellung von 5 Biotestversuchen zur Anfälligkeit von Getreidesorten für *Heterodera filipjevi* und *H. avenae*

Als besonders stark anfällig für *H. filipjevi* erwies sich die gegen *H. avenae* resistente SW-Sorte 'Troll', weshalb wir diese Sorte auch als Differentialwirt verwenden. Die gegenüber *H. avenae* anfälligen Sorten 'Gabo' (Sommertriticale), 'Lorenz' (SH), 'Turbo' und 'Melon' (jeweils SW) wurden sowohl von *H. avenae* als auch von *H. filipjevi* stark befallen. Die im Falle von *H. avenae* anfällige SG-Sorte 'Baronesse' war in allen Versuchen gegenüber *H. filipjevi* resistent. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit unseren ersten Befunden von einem Feldversuch, den wir gemeinsam mit dem LVL des Landes Brandenburg angelegt hatten. Bereits nach einmaligem Anbau der SG-Sorte 'Baronesse' fiel die Nematodenpopulationsdichte auf der Versuchsfläche stark ab. Im Ergebnis weiterer Versuche konnten wir nachweisen, dass neben der SG-Sorte 'Baronesse' auch die SG-Sorten 'Apex', 'Bella', 'Otis' und 'Steffi' sowie die SH-Sorte 'Nordstern' resistent gegen *H. filipjevi* sind (Tab. 2). Diese Sorten erwiesen sich jedoch als stark anfällig gegenüber *H. avenae*.

**Tab. 2** Untersuchungen zur Anfälligkeit von Getreidesorten für *H. filipjevi* (Herkunft Güterfelde)

	Sorten	$\bar{x}$ Zysten/200 ml Trinkbecher		
		04.05.2000 10 Wiederholungen	25.05.2000 8 Wiederholungen	$\bar{x}$ insgesamt
SG	Alexis	18	44	31
	<b>Apex</b>	0	1,3	0,7
	Barke	30	26	28
	<b>Baronesse</b>	0,6	0,3	0,5
	<b>Bella</b>	0	3,4	1,7
	Brenda	75	56	65
	Chariot	46	61	53
	Caminat	30	43	37
	Derkato	26	34	30
	Fergy	59	79	69
	Halla	84	31	58
	Hanka	93	69	81
	Henni	37	41	39
	Krana	29	60	45
	Madonna	34	51	43
	Madras	40	-	44
	Maresi	20	72	46
	Meltan - r	6,2	12,1	9,2
	Minna - r	12	31,3	23
	Orthege	46	73,3	60
	<b>Otis</b>	2,3	1,9	2,3
	Polygena	32	55	29
	Scarlett	39	-	39
	Sigrid	28	20	24
Sissy	52	64	58	
<b>Steffi</b>	0	1,3	0,7	
Taiga	42	78	60	
Thuringia	38	43	40	
WG	Igri	-	15	15
ST	Gabo	-	70	70
SW	Troll - r	73	93	83
WW	Kanzler	-	14	14
SH	Lorenz	117	64	90
	<b>Nordstern</b>	1,2	0,6	0,9
	Sofi - r	-	11	11

**Fettschrift** resistent gegenüber Heterodera filipjevi  
**r** resistent gegen Heterodera avenae

Nach Untersuchungen aus dem Jahre 2004 können weitere SG-Sorten als resistent gegen *H. avenae* beurteilt werden. Die SG-Sorten 'Denise' und 'Odessa' erwiesen sich als resistent gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* (Tab. 3). Derzeit sind in Deutschland die SG-Sorten 'Havanna', 'Marnie' und 'Simba' als resistent gegen *H. avenae* und die SG-Sorte 'Isotta' als resistent gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* zugelassen. Bemerkenswert ist, dass von den hier geprüften acht Hafersorten lediglich die SH-Sorte 'Lorenz' anfällig gegenüber *H. filipjevi* ist. Es ist darüber hinaus keine weitere in Deutschland zugelassene Hafersorte bekannt, die anfällig für *H. filipjevi* ist.

**Tab. 3** Untersuchungen zur Anfälligkeit von Sommergetreidesorten für *Heterodera avenae* und *H. filipjevi*  
Versuchsjahr 2004

Sorten		$\bar{x}$ Zysten/Wurzelballen			
		Heterodera avenae		Heterodera filipjevi	
		Herkünfte			
		Grafenreuth	Neuhardenberg	Düben	Rädel
SG	Baronesse	51	19	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>
	Marnie	<b>0</b>	<b>0,5</b>	28	25
	Meltan	<b>0</b>	<b>1</b>	20	13
	<b>Denise</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>
	Hanka	69	44	20	49
	Class	<b>0</b>	<b>0,2</b>	16	6,8
	Braemar	<b>0</b>	<b>3,1</b>	14	8,6
	<b>Odessa</b>	<b>0</b>	-	-	<b>0</b>
SH	Nordstern	66	62	<b>0</b>	<b>0</b>
	Lorenz	32	59	18	36
	<b>Sofi</b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>
	<b>Gunhild</b>	-	<b>2,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0</b>
	Flämingslord	42	-	-	<b>0</b>
	Flämingsprofi	20	34	<b>0,1</b>	<b>0</b>
	Aragon	27	16	<b>0,1</b>	<b>0</b>
	Ivory	27	29	<b>0</b>	<b>0</b>
SW	Troll	<b>0,1</b>	<b>0</b>	29	65
SR	Ovid	3,6	-	-	3,1
ST	Abaco	10	-	-	8,5
	Lago	19	-	-	13

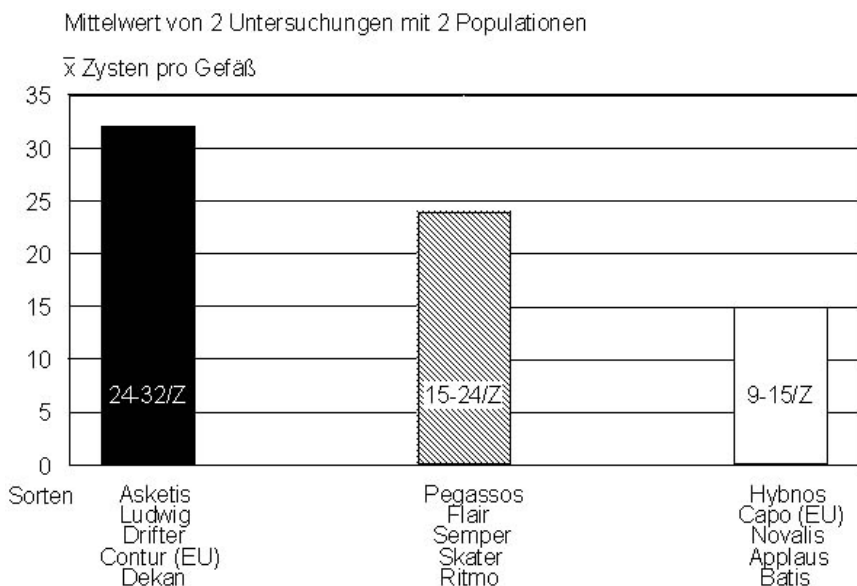
Fettschrift = resistent

### Anfälligkeit von Wintergetreide für Getreidezystennematoden

Da Wintergetreidearten bei optimaler Saatzeit weit weniger als Sommergetreide durch Zystennematoden geschädigt werden, ist kaum etwas über ihre Wirtseignung bekannt. Da in Brandenburg sowohl *H. avenae* als auch *H. filipjevi* weit verbreitet sind, wurden alle 31 Wintergersten- (WG)-, 15 Winterweizen- (WW) und 14 Winterroggensorten (WR) der Brandenburger Landessortenversuche auf Anfälligkeit für Getreidezystennematoden nach dem Biotestverfahren geprüft. Als Testböden wurden ein mit *H. filipjevi* und zwei mit *H. avenae* verseuchte Böden aus Brandenburg verwendet. Für Kontrollzwecke diente, wie bereits bei den Versuchen mit Sommergetreide, die SH-Sorte 'Nordstern' und die SW-Sorte 'Troll'. Bis zur Bonitur auf neugebildete Zysten an den Wurzeln standen die Versuche unter klimatisierten Bedingungen. Im Gegensatz zu den üblichen Testungen von Sommergetreide konnte die Bonitur nicht nach zwei, sondern erst nach dreieinhalb Monaten vorgenommen werden. Der Grund dafür ist die niedrige Anzuchttemperatur von 3-5 °C während der ersten sechs bis sieben Wochen.

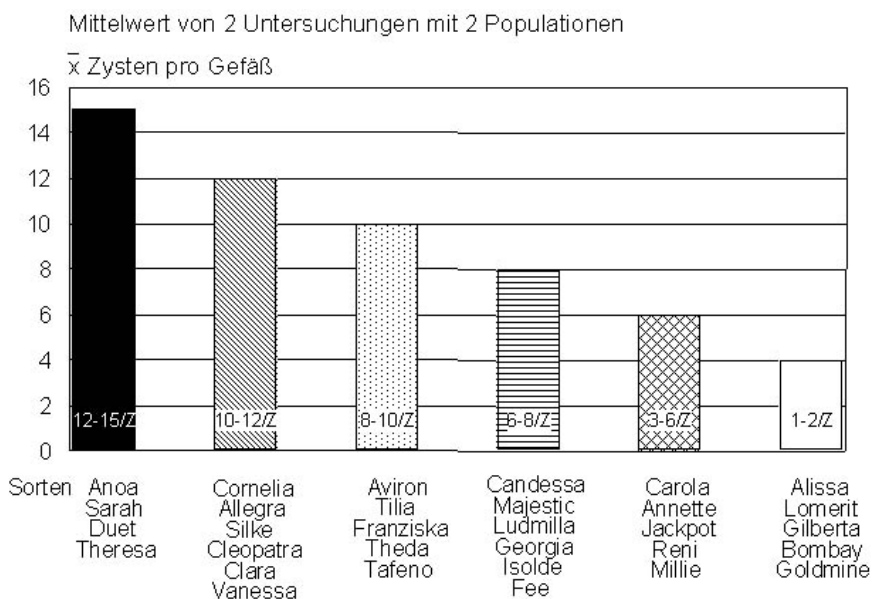


Alle getesteten WW-Sorten waren anfällig für *H. avenae*. Besonders anfällig für *H. avenae* erwiesen sich die WW-Sorten 'Asketis', 'Ludwig', 'Drifter', 'Contur' und 'Dekan' (Abb. 2).



**Abb. 2** Zysten Neubildung von *Heterodera avenae* an 15 Winterweizensorten im Biotest

Bei den WG-Sorten waren 'Cornelia', 'Duet', 'Anoa' und 'Sarah' besonders anfällig, die WG-Sorten 'Goldmine', 'Bombay', 'Gilberta', 'Lomerit', 'Alissa' erwiesen sich dagegen als gering anfällig für *H. avenae* (Abb. 3).



**Abb. 3** Zysten Neubildung von *Heterodera avenae* an 31 Wintergerstensorten im Biotest

Unter den Versuchsbedingungen konnte sich *H. avenae* stärker an den besonders anfälligen WW-Sorten (24-32 Zysten je Faltschachtel) als an den anfälligen WG-Sorten (12-15 Zysten je Faltschachtel) vermehren. Die anfälligen WR-Sorten 'Picasso' und 'Amilo' ließen dagegen mit 6-8 Zysten je Faltschachtel nur eine geringe Vermehrung von *H. avenae* zu (Abb. 4).

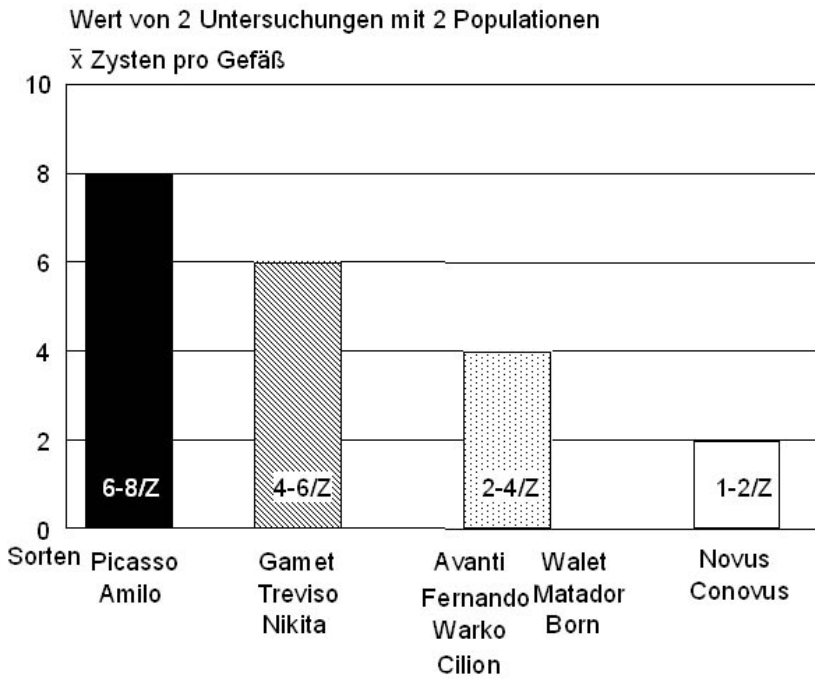


Abb. 4 Zysten Neubildung von *Heterodera avenae* an 14 Winterroggensorten im Biotest

Bei den Sorten der gleichen Getreideart sind bei *H. filipjevi*, ebenso wie im Falle der Anfälligkeit für *H. avenae*, deutliche Anfälligkeitsunterschiede der Sorten für *H. filipjevi* erkennbar. Allerdings ließen sich in unseren Untersuchungen zwischen den jeweils anfälligsten Sorten von WW, WG und WR keine Unterschiede feststellen. Im Mittel lag die Zysten Neubildung bei den jeweils anfälligsten Sorten zwischen 13-16 Zysten je Faltschachtel (Abb. 5, 6, 7). Während nur zwei der untersuchten WW-Sorten, 'Capo' und 'Dekan', sehr anfällig waren, erwiesen sich die meisten WW-Sorten als gering anfällig für *H. filipjevi* (Abb. 5).

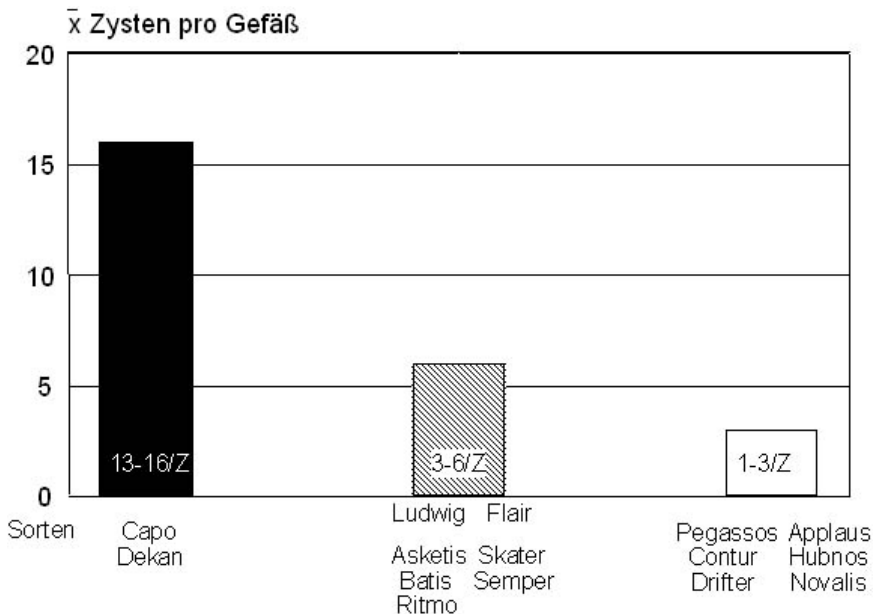


Abb. 5 Zysten Neubildung von *Heterodera filipjevi* an 15 Winterweizensorten im Biotest

Bei den untersuchten WG-Sorten konnten deutliche Unterschiede in der Anfälligkeit für *H. filipjevi* festgestellt werden. Während die WG-Sorten 'Tilia', 'Silke' und 'Allegra' sehr anfällig waren, erwiesen sich die WG-Sorten 'Sarah', 'Clara' und 'Reni' als sehr gering anfällig (Abb. 6).

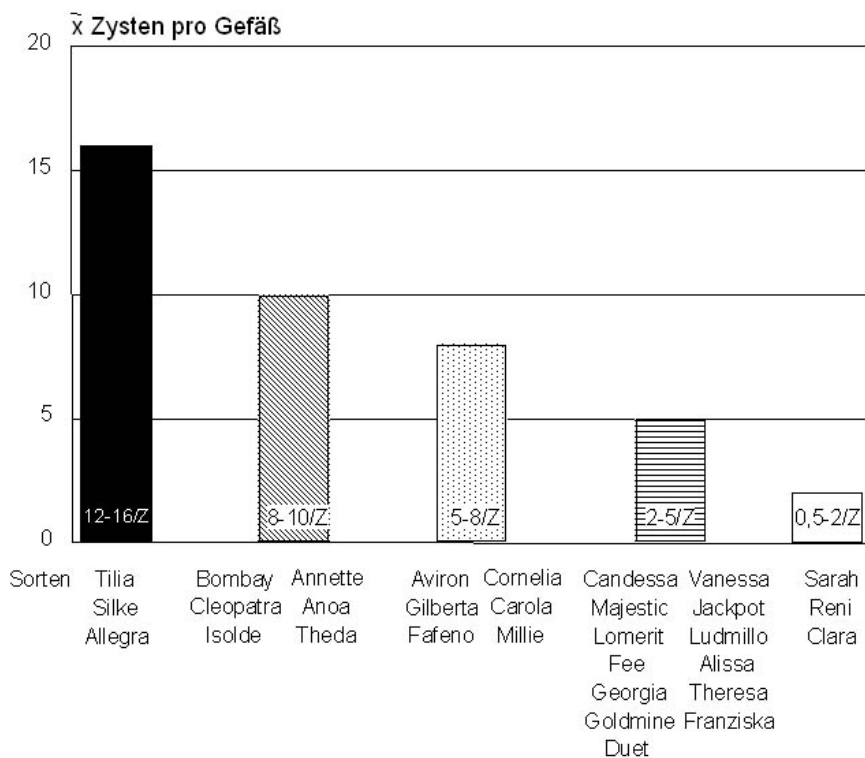


Abb. 6 Zysten Neubildung von *Heterodera filipjevi* an 31 Wintergerstensorten im Biotest

Dagegen konnte bei den untersuchten WR-Sorten keine Sorte mit sehr geringer Anfälligkeit für *H. filipjevi* festgestellt werden. Die geringste Zysten Neubildung wurde an den WR-Sorten 'Novus' und 'Walet' festgestellt (Abb. 7). An diesen WR-Sorten konnten sich aber im Mittel noch 3-5 Zysten je Faltschachtel entwickeln. An den sehr gering anfälligen WG-Sorten entwickelten sich aber unter den Testbedingungen nur höchstens zwei Zysten im Mittel je Faltschachtel.

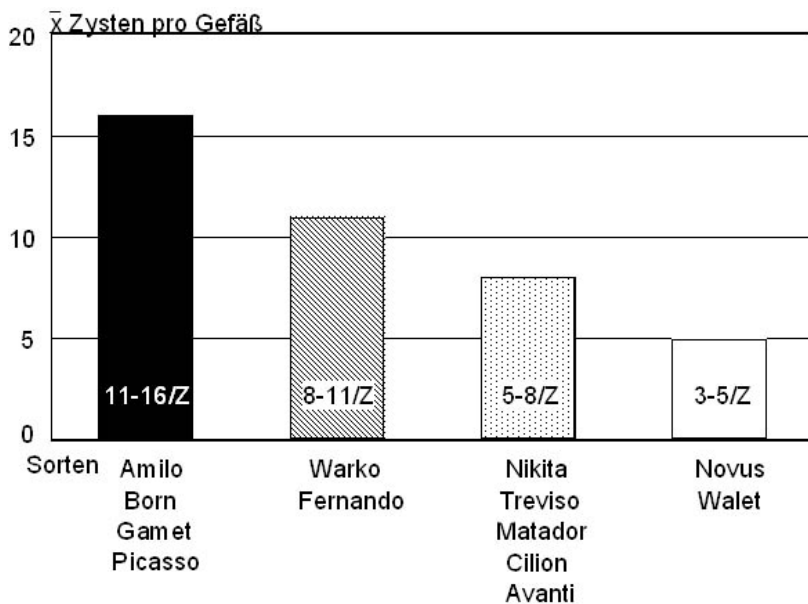


Abb. 7 Zysten Neubildung von *Heterodera filipjevi* an 13 Winterroggensorten im Biotest

### Diskussion

Auf Grund der neueren Erkenntnisse zur Verbreitung von *H. filipjevi* auf Ackerflächen in Deutschland war es wichtig, Untersuchungen zur Anfälligkeit von Getreidesorten für *H. filipjevi* durchzuführen. Im Ergebnis dieser Untersuchungen konnte bei einigen SG-Sorten eine Resistenz gegen *H. filipjevi* festge-

stellt werden. Die getesteten Hafersorten (derzeit fast das gesamte aktuelle deutsche Sortiment) erwiesen sich generell als resistent. Da es in der Praxis schwierig und zeitlich oft nicht mehr möglich ist, die Nematodenpopulation auf Artzugehörigkeit zu prüfen, sind jedoch Getreidesorten besonders zweckmäßig, die sowohl gegen *H. avenae* als auch gegen *H. filipjevi* resistent sind. Mit dieser Zielsetzung arbeitet die Bundesanstalt für Züchtungsforschung in Kooperation mit der Biologischen Bundesanstalt an der Auffindung von Resistenzquellen für die Züchtung entsprechend resistenter Getreidesorten. Eine Getreidesorte mit Resistenz gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* steht seit 2005 mit der SG-Sorte 'Isotta' zur Verfügung. Vom Züchter dieser Sorte wird nun unter Verwendung des bei ihm bereits vorhandenen Genmaterials versucht, auch entsprechend resistente WG-Sorten zu züchten. Auf Grund des großen Anbauumfangs könnten WG-Sorten mit der gewünschten Doppelresistenz einen großen Beitrag zur Sanierung nematodenverseuchter Ackerflächen leisten.

### Zusammenfassung

Eine Differentialmethode zur Unterscheidung der beiden Arten *Heterodera avenae* und *H. filipjevi* wurde entwickelt. In einem Biotest können mit der Sommerweizensorte 'Troll' (hoch resistent gegen *Heterodera avenae*, hoch anfällig für *H. filipjevi*) und der Sommerhafersorte 'Nordstern' (hoch anfällig für *H. avenae*, hoch resistent gegen *H. filipjevi*) die beiden Nematodenarten differenziert werden. Untersuchungen von Bodenproben aus den Bundesländern Brandenburg, Bayern, Sachsen-Anhalt, Hessen und Rheinland-Pfalz belegen, dass *H. filipjevi* auf 20-30 % der mit Getreidezystennematoden verseuchten Ackerflächen vorkommt. Früher zugelassene Sorten, die nur auf Resistenz gegen *H. avenae* geprüft wurden, erwiesen sich sämtlich als anfällig für *H. filipjevi*. Im Sommergerstensortiment konnten wir einige Sorten mit Resistenz gegen *H. filipjevi* finden. Mit der Sommergerstensorte 'Isotta' steht derzeit eine aus nematologischer Sicht vorteilhafte Getreidesorte mit Doppelresistenz gegen *H. avenae* und *H. filipjevi* zur Verfügung. Von der bereits nicht mehr zugelassenen Sommerhafersorte 'Lorenz' abgesehen, erwiesen sich auch alle bisher geprüften Hafersorten als resistent gegen *H. filipjevi*. Bei den Wintergetreidearten waren in unseren Untersuchungen Weizensorten stärker von *H. avenae* befallen als die Gersten- und Roggensorten. Gegenüber *H. filipjevi* waren dagegen nur wenige Winterweizensorten deutlich anfällig, während die meisten untersuchten Roggensorten stärker anfällig waren.

### Summary

A differential test system was developed for the distinction of *Heterodera avenae* and *H. filipjevi*. The spring wheat cultivar 'Troll' (highly resistant to *Heterodera avenae*, highly susceptible to *Heterodera filipjevi*) and the oat cultivar 'Nordstern' (highly susceptible to *H. avenae*, highly resistant to *H. filipjevi*) may be used as differential hosts to identify *H. avenae* and *H. filipjevi* in biotests. Soil tests carried out in the Bundesländer of Brandenburg, Bavaria, Saxony-Anhalt, Hesse and Rhineland-Palatinate demonstrate the occurrence of *H. filipjevi* on 20-30 % of the cereal cyst nematode infested area. Cultivars previously registered and tested for resistance to *H. avenae* only, proved to be susceptible to *H. filipjevi*. However, there are several spring barley cultivars resistant to *H. filipjevi*. The spring barley cultivar 'Isotta' is resistant to both species of cereal cyst nematodes. All oat cultivars tested so far have proven to be resistant to *H. filipjevi* with the exception of 'Lorenz', which has been deregistered meanwhile. Winter wheat cultivars appeared to be more susceptible to *H. avenae* than winter barley or rye cultivars in our tests. Only few winter wheat cultivars were clearly susceptible to *H. filipjevi*, while most of the rye cultivars tested appeared to be susceptible.

### Literatur

- ANDERSEN, S., K. ANDERSEN (1982): Suggestions for determination and terminology of pathotypes and genes for resistance in cyst-forming nematodes, especially *Heterodera avenae*. EPPO Bull. **12**, 379-386.
- COOK, R. (1975): Observations on the relationship between morphological variation and host range in populations of cereal cyst-nematode. Ann. appl. Biol. **81**, 199-205.
- DECKER, H. (1969): Phytonematologie. Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag. 246 S.
- IREHOLM, A. (1990): Patotyper av stråsådes-cystnematoder, *Heterodera* spp., i Sverige. Resultat från patotyptester utförda 1981-1988. Växtskyddsrapporter, Jordbruk **58**, 70 S.
- STURHAN, D., H.J. RUMPENHORST (1996): Untersuchungen über den *Heterodera avenae*-Komplex. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **317**, 75-91.

SLAATS, B.E. <sup>1)</sup>; PATEL, A. <sup>2)</sup>; VORLOP, K.-D. <sup>2)</sup>; BEITZEN-HEINEKE, W. <sup>3)</sup>; HALLMANN, J. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde, Topphaideweg 88, 48161 Münster; <sup>2)</sup> Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; <sup>3)</sup> BIO CARE GmbH, Dorfstr. 4, 37574 Einbeck; e-mail: b.slaats@bba.de

## Wirksamkeit von verkapseltem *Hirsutella rhossiliensis* gegen *Heterodera schachtii* an Zuckerrüben

Efficacy of encapsulated *Hirsutella rhossiliensis* to control the sugar beet cyst nematode *Heterodera schachtii*

### Einleitung

Der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii* SCHMIDT 1871 ist ein bedeutender Schaderreger der Zuckerrübe. Die jährlichen Ertragsverluste werden auf 90 Millionen Euro allein in Europa geschätzt (MÜLLER, 1999). Der Einsatz von Nematiziden zur Bekämpfung des Rübenzystennematoden ist in Deutschland nicht zugelassen. Durch weite Fruchtfolgen, den Anbau resistenter Sorten und resistenter Zwischenfrüchte ist eine Reduzierung der Populationsdichte von *H. schachtii* unter die wirtschaftliche Schadschwelle möglich. Eine weite Fruchtfolge wird allerdings von Landwirten aus ökonomischen Aspekten nicht immer durchgeführt. Beim Anbau resistenter Zwischenfrüchte, wie Ölrettich oder Senf, muss die Aussaat für eine gute Wirkung gegen *H. schachtii* vor Mitte August erfolgt sein. Gerade bei spät räumenden Getreidekulturen (z. B. Winterweizen) ist dies nicht in jedem Jahr gewährleistet. Beim Anbau resistenter Sorten ist zu beachten, dass sie zu einer Selektion resistenzbrechender Pathotypen von *H. schachtii* führen können. Untersuchungen von MÜLLER (1992) haben gezeigt, dass virulente Nematoden in geringer Anzahl natürlicherweise im Feld auftreten und diese sich innerhalb von drei Zuckerrübenkulturen derart stark vermehren können, dass Schäden an resistenten Sorten auftreten können (MÜLLER, pers. Mitteilung). Um eine Brechung der Resistenz zu verhindern bzw. zu verzögern, sollte der Anbau resistenter Zuckerrübensorten nur im Wechsel mit nicht resistenten Sorten erfolgen. Eine weitere Möglichkeit für die Bekämpfung von *H. schachtii* könnte der Einsatz von natürlichen Gegenspielern (= Antagonisten) des Nematoden sein. Natürlicherweise im Boden auftretende Antagonisten können beachtliche Bedeutung erlangen. Untersuchungen an *H. schachtii* haben gezeigt, dass ein natürliches Auftreten des nematophagen Pilzes *Hirsutella rhossiliensis* z. B. den Nematodenbefall in Kohl bis zu 77% reduziert (JAFEE und MULDOON, 1989). Biologische Pflanzenschutzmittel basierend auf antagonistischen Pilzen werden bereits in einigen Ländern zur Bekämpfung bestimmter pflanzenparasitärer Nematoden eingesetzt (z. B. Bioact® gegen *Meloidogyne spp.* an Tomate). Für die Bekämpfung des Rübenzystennematoden an Zuckerrüben gibt es bisher kein biologisches Pflanzenschutzmittel. Ein möglicher Kandidat für ein solches Bekämpfungsverfahren könnte der nematophage Pilz *Hirsutella rhossiliensis* sein.

*H. rhossiliensis* MINTER und BRADY, 1980 kommt natürlicherweise in landwirtschaftlichen Böden vor. Er parasitiert verschiedene Arten pflanzenparasitärer Nematoden (STURHAN und SCHNEIDER, 1980; JAFFEE und MULDOON 1989; JAFFEE et al., 1989; JAFFEE et al., 1991). Die klebrigen Konidien von *H. rhossiliensis* haften an der Kutikula des Nematoden. Innerhalb von zwölf Stunden wird ein Keimschlauch gebildet, der die Kutikula des Nematoden durchdringt. Im Wirtskörper entsteht ein Infektionsbulbus, aus dem Assimilationshyphen wachsen und den Nematodenkörper durchziehen. Mit fortschreitendem Myzelwachstum stirbt der Nematode ab. Neu gebildete Hyphen wachsen aus dem Nematodenkörper und bilden ein Luftmyzel mit Phialiden, an denen erneut Sporen gebildet werden (STURHAN und SCHNEIDER, 1980; JAFFEE, 1992). Sowohl im Gewächshaus als auch im Freiland kann *H. rhossiliensis* zu hohen Mortalitätsraten bei pflanzenparasitären Nematoden führen (JAFEE et al., 1989; JAFFEE und MULDOON, 1989). Grundsätzlich fördert eine hohe Besatzdichte von Nematoden das Auftreten des Pilzes im Boden (CHEN und REESE, 1999; VIANNE und ABAWI, 2000; JAFFEE et al., 1989). In der Praxis steigt die Parasitierungsrate allerdings mit zunehmender Nematodendichte nur langsam an und bleibt in der Regel hinter der Nematodenvermehrung zurück (JAFEE et al., 1992; UNDERWOOD et al., 1994). Gerade im empfindlichen Jugendstadium der Kulturpflanzen ist die Sporendichte von *H. rhossiliensis* im Boden häufig zu gering für einen ausreichenden Schutz der Keimlinge vor Nematodenbefall (GRIFFIN, 1981). Eine Erhöhung der Sporendichte im Boden wäre durch künstliche Applikation des Pilzes möglich. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Formulierung, die eine gute Etablierung von *H. rhossiliensis* im Boden ermöglicht und eine sichere Handhabung des Produktes gewährleistet. Da vom pilzlichen Myzel abge-

trennte Sporen nicht mehr infektiös sind, wurde im vorliegenden Forschungsvorhaben pilzliches Myzel formuliert. Um das Pilzwachstum zu fördern und den Pilz gegenüber anderen Mikroorganismen konkurrenzfähiger zu machen, wurden zusätzlich Nährstoffe der Formulierung beigefügt (PATEL, 1998, PATEL et al., 2002). Die Formulierung selbst sollte möglichst aus Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe bestehen. Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Wirksamkeit verschiedener feuchter und getrockneter Formulierungen von *H. rhossiliensis* gegen *H. schachtii* an Zuckerrüben zu untersuchen. Anhand der Ergebnisse sollte geprüft werden, inwieweit dieses Verfahren als Grundlage für ein biologisches Pflanzenschutzmittel geeignet ist.

## Material und Methoden

**Vermehrung und Verkapselung von *Hirsutella rhossiliensis*:** Die Untersuchungen wurden mit dem BBA-Isolat des Pilzes *Hirsutella rhossiliensis* durchgeführt, das ursprünglich 1985 am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Münster aus Larven von *H. schachtii* isoliert wurde. Die Nematoden stammten aus Mikroplots, in denen Zuckerrüben angebaut wurden. Die Stammkultur des Pilzes wurde auf Kartoffel-Glucose-Agar (Merck, Darmstadt) im Inkubator bei 23°C für 14 Tage angezogen. Die Anzucht und Bereitstellung ausreichender Mengen pilzlicher Biomasse und die Kapselherstellung erfolgte durch die Firma BIOCARE. Für die Herstellung von Pilzkapseln wurden, soweit nicht anders angegeben, 50 g Biofeuchtmasse in 5 kg Verkapselungslösung (= 1% Pilzgehalt), bestehend aus verschiedenen hydrogelbildenden Biopolymeren (Guargum MF, Guargum MG, Pektin PA5, Alginat) und jeweils 3% autoklavierter Bäckerhefe als Nährstoffzusatz, gemischt. Die Suspension wurde in eine 2%ige CaCl<sub>2</sub>-Lösung getropft. Durch ionotrope Gelbildung bildeten die Tropfen innerhalb von 20 Minuten feste Kugeln (PATEL et al., 2004). Nach der Formulierung wurden die Kapseln auf mögliche Kontaminationen untersucht (Vitalitätstest). Hierzu wurden jeweils 30 Pilzkapseln auf feuchtem, autoklaviertem Filterpapier, auf Kartoffel-Glucose-Agar und auf Wasseragar ausgelegt.

**Larveninokulum:** Die Vermehrung des Rübenzystennematoden *H. schachtii* erfolgte an Ölrettich 'Siletina' im Gewächshaus bei 18-23°C. Als Anzuchtsubstrat für Ölrettich diente Löß. Nach acht Wochen war ein Generationszyklus von *H. schachtii* abgeschlossen und die neu gebildeten Zysten wurden extrahiert. Der Spross des Ölrettichs wurde entfernt und das Anzuchtsubstrat mit den Zysten über ein Sieb mit einer Maschenweite von 8 mm gegeben. Die auf dem Sieb verbliebenen Wurzelreste wurden verworfen und das gesiebte Substrat mit den Zysten als Vermehrungserde in Plastiktüten gefüllt und bei 4°C bis zur weiteren Verwendung gelagert. Für die Gewinnung von Larveninokulum wurde die Vermehrungserde mittels Leitungswasser durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 250 µm gespült. Der Löß wurde aufgrund seiner Körnungsgröße < 200 µm durch das Sieb gespült, die Zysten verblieben auf dem Sieb. Zur Gewinnung frisch geschlüpfter Larven wurden die extrahierten Zysten auf einen Baermann-Trichter gegeben und die Trichter bei Zimmertemperatur aufgestellt. Die geschlüpften Larven wurden abgezapft und bei 4°C bis zu einer Woche aufbewahrt.

**Versuchssubstrat:** Als Versuchssubstrat für alle Versuche diente eine sandige Felderde vom Versuchsfeld des Instituts für Nematologie und Wirbeltierkunde in Münster. Die Felderde hatte einen pH-Wert von 6,2 und einem Humusgehalt von 1,1%. Die Erde war frei von *H. schachtii*. Vor Versuchsbeginn wurde die Felderde auf 7 mm abgesiebt. Bei Verwendung gedämpfter Erde wurde diese einen Tag vor Versuchsbeginn für vier Stunden bei 180°C in einem Trockenschrank erhitzt.

**Statistik:** Die statistische Auswertung wurde mit SPSS 11.01 (Superior Performing Software Systems) für Windows durchgeführt. Die Daten wurden mittels Varianzanalyse mit anschließendem Mittelwertvergleich mit dem Tukey-Test (p<0,05) ausgewertet.

### 1) Faltschachtelversuche

Es wurden verschiedene Biopolymere ausgewählt und als Kapselmaterial für die Formulierung des Pilzes *H. rhossiliensis* untersucht: Guargum MG, Guargum MF und Alginat. Alginat wurde als Standardkapselmaterial gewählt, da hierzu bereits Kenntnisse vorlagen (LACKEY et al., 1993; PATEL, 1998). Die Herstellung der Kapselformulierungen aus den Biopolymeren erfolgte durch die Firma BIOCARE GmbH. Folgende Varianten wurden untersucht:

1. Unbehandelte Kontrolle (KON)
2. Autoklavierte Bäckerhefe (BH)
3. Biofeuchtmasse (BFM)
4. Pilzfreie Alginatkapseln (ALG)
5. Pilzfreie Guar gum MG-Kapseln (MG)
6. Pilzfreie Guar gum MF-Kapseln (MF)
7. Pilzfreie Alginatkapseln mit Bäckerhefe (ALG+BH)
8. Pilzfreie Guar gum MG-Kapseln mit Bäckerhefe (MG+BH)
9. Pilzfreie Guar gum MF-Kapseln mit Bäckerhefe (MF+BH)
10. Pilzhaltige Alginatkapseln mit Bäckerhefe (ALG+BH+H.r.)
11. Pilzhaltige Guar gum MG-Kapseln mit Bäckerhefe (MG+BH+H.r.)
12. Pilzhaltige Guar gum MF-Kapseln mit Bäckerhefe (MF+BH+H.r.)

In zwei Faltschachtelversuchen mit gedämpfter bzw. ungedämpfter Erde wurde die Wirkung feuchter Kapseln gegen *H. schachtii* an Zuckerrüben 'Penta' untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an GUTBERLET (2000). Jedes Versuchsglied bestand aus zehn Wiederholungen. Als Versuchsgefäße wurden transparente PVC-Faltschachteln (40 x 20 x 120 mm, Kelder Plastibox b. v., 's-Heerenberg, Niederlande) mit einem Volumen von ca. 100 ml verwendet. Pilzkapseln bzw. pilzfreie Kapseln wurden zu Versuchsbeginn dem Versuchssubstrat beigemischt (4 g/100 ml Erde). Bei der kapsellosen Variante "Biofeuchtmasse" wurde in Wasser suspendierte pilzliche Biofeuchtmasse (0,04 g Biofeuchtmasse in 4 ml Wasser pro 100 ml Erde) zugegeben. Die Pilzmenge entsprach dem Pilzgehalt der Kapseln. Vergleichbares galt für die Variante autoklavierte Bäckerhefe (0,28 g in 4 ml Wasser pro 100 ml Erde). Die Faltschachteln wurden im Gewächshaus bei einer durchschnittlichen Tages- und Nachttemperatur von 20°C ± 3°C aufgestellt und nach Bedarf gegossen. Sieben Tage nach Versuchsbeginn erfolgte die Aussaat der Zuckerrüben. Nach weiteren sieben Tagen wurden 1000 Infektionsjuvenile von *H. schachtii* in 2 ml Wasser an die Zuckerrübenkeimlinge inokuliert. Hierzu wurden rechts und links neben der Pflanze mit einem Holzstäbchen ein 1 cm tiefes Loch in das Substrat gestochen und die Larvensuspension darauf verteilt. Nach einer weiteren Woche wurde der Versuch ausgewertet und die Pflanzen aus den Faltschachteln entfernt. Der Spross der Keimlinge wurde abgetrennt und verworfen, die Wurzeln unter Leitungswasser gewaschen. Anschließend erfolgte die Anfärbung der Larven in der Wurzel mit einer 0,01%igen Säurefuchsinlösung (BYRD et al., 1983) und die Auszählung der in die Wurzeln eingedrungenen Larven.

## 2) Gefäßversuche

In zwei Gefäßversuchen wurde die Wirksamkeit von getrockneten Pilzkapseln gegen *H. schachtii* untersucht. Im ersten Versuch wurden Kapseln aus den Biopolymeren Guar gum MF + Pektin PA5 eingesetzt, im zweiten Versuch Kapseln aus dem Biopolymer Guar gum MG. Den Guar gum MF-Kapseln wurde das Biopolymer Pektin PA5 zugegeben, um die Form zu stabilisieren und ein Verkleben der Kapseln bei der Trocknung zu vermeiden. Da sich in vorausgegangenen Laboruntersuchungen zeigte, dass ein Teil des Pilzes während des Trocknungsprozesses abstirbt, wurde in einem Teil der Kapseln der Pilzgehalt von 1% auf 10% erhöht.

Die Kapseln wurden unter der Sicherheitswerkbank über Nacht getrocknet. Die Restfeuchte der Kapseln betrug 7,5%. Die Kapselformulierungen mit einem Pilzgehalt von 1% und 10% wurden in 300 ml Töpfen auf ihre Wirksamkeit gegen *H. schachtii* an der Zuckerrübe 'Penta' untersucht. Die Pilzkapseln aus den Biopolymeren Guar gum MF+Pektin PA5 und Guar gum MG wurden in jeweils getrennten Versuchen untersucht. Jeder der beiden Versuche bestand aus folgenden Varianten:

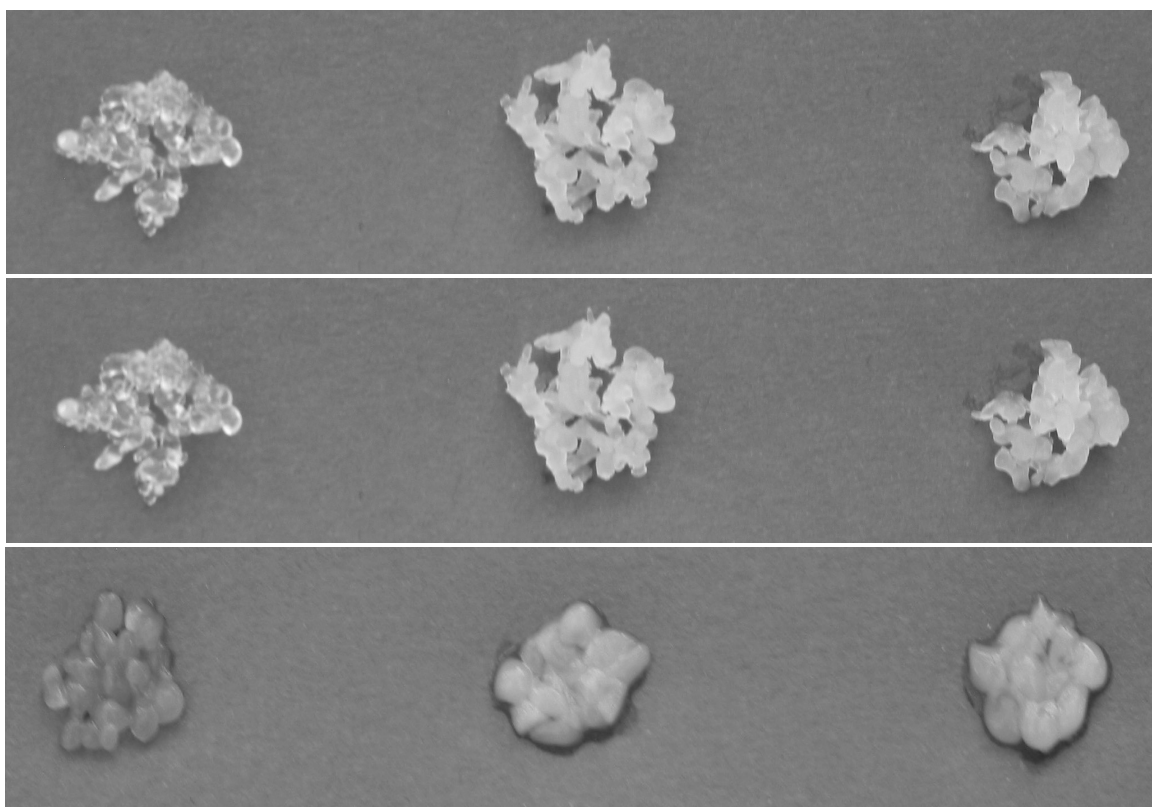
1. unbehandelte Kontrolle (KON)
2. Biofeuchtmasse (BFM)
3. 1%ige Pilzkapseln (MF+PA5 bzw. MG)
4. 10%ige Pilzkapseln (MF+PA5 bzw. MG)

Jedes Versuchsglied bestand aus zehn Wiederholungen. Zu Versuchsbeginn wurden die pilzliche Biofeuchtmasse (0,04 g Biomasse in 4 ml Wasser pro 100 ml Erde) bzw. die getrockneten Pilzkapseln (0,3 g/100 ml Erde) in das Versuchssubstrat eingemischt. Sieben Tage später erfolgte die Pflanzung drei Tage alter Zuckerrübenkeimlinge und die Inokulation mit 3.000 Infektionsjuvenilen von *H. schachtii* in 3,6 ml Wasser. Die Töpfe wurden im Gewächshaus aufgestellt und bei einer durchschnittlichen Tages- und Nachttemperatur von  $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  gehalten. Die Versuchsanlage war ein randomisierter Block. Die Pflanzen wurden nach Bedarf gegossen. Während der Versuchsdauer wurden die Pflanzen zweimal mit dem Flüssigdünger Wuxal Super® gedüngt. Nach Abschluss einer Nematodengeneration (8 Wochen) wurde der Versuch ausgewertet. Das Sprossfrischgewicht wurde ermittelt und die neu gebildeten Zysten mittels Zentrifugationsmethode nach CAVENESS und JENSEN (1955) aus der Erde extrahiert. Die Anzahl Zysten und der Zysteninhalt (Anzahl Eier und Larven pro 100 ml Erde) wurde ermittelt.

## Ergebnisse

### 1) Faltschachtelversuche

Kapselformulierung: Die Kapseln hatten je nach verwendetem Biopolymer einen Durchmesser von 1,16-2,36 mm. Bei Verwendung des Biopolymers Guargum MF war der Kapseldurchmesser allgemein höher, da die Kapseln linsenförmig flach waren (Abb. 1).

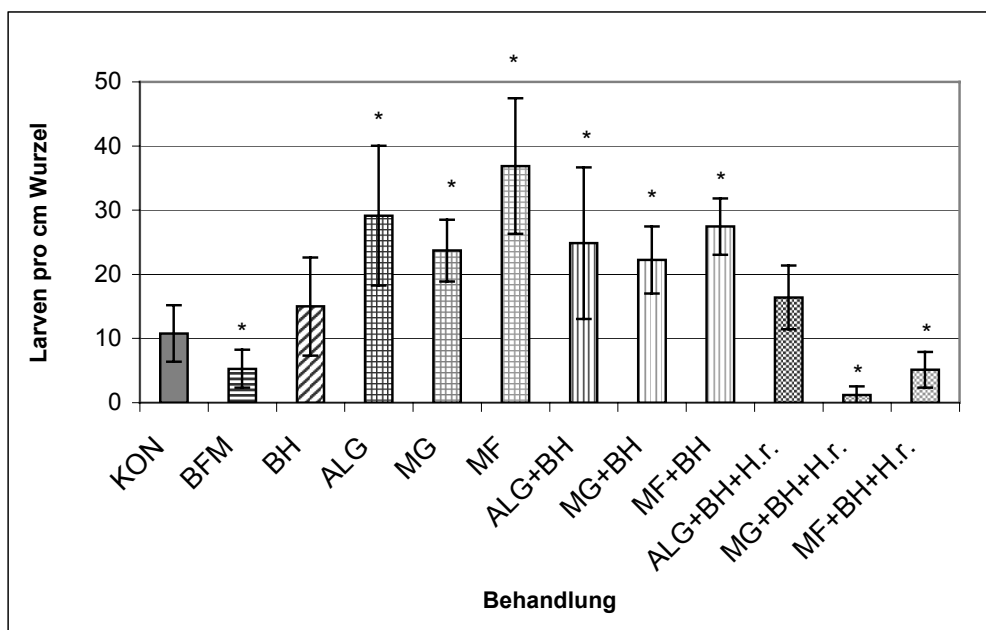


**Abb. 1** Feuchte Kapseln nach der Formulierung; von oben nach unten: Alginatkapseln, Guargum MG-Kapseln, Guargum MF-Kapseln; von links nach rechts: pilzfreie Kapseln, pilzfreie Kapseln mit 3% Bäckerhefe und pilzhaltige Kapseln mit 3% Bäckerhefe und 1% *Hirsutella rhossiliensis*

Vitalitätstest: Im Vitalitätstest wurde keine Kontamination der Pilzkapseln mit anderen Mikroorganismen festgestellt. *H. rhossiliensis* wuchs aus allen Pilzkapseltypen aus. Auswachsende Hyphen des Pilzes waren auf den Alginatpilzkapseln und den Guargum MG-Pilzkapseln nach zwei Tagen, auf den linsenförmigen Guargum MF-Pilzkapseln nach 4 Tagen sichtbar.

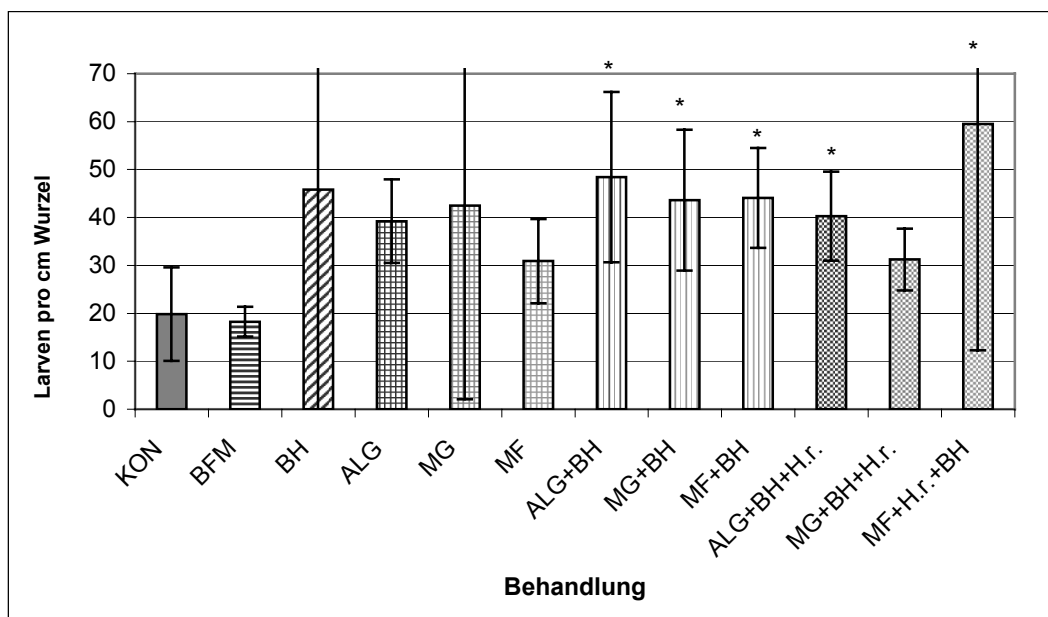


**Nematodenbefall:** Bei Einsatz feuchter Pilzkapseln in gedämpfter Erde war der Nematodenbefall bei Guargum MG-Pilzkapseln (MG+BH+H.r.) und Guargum MF-Pilzkapseln (MF+BH+H.r.) signifikant reduziert gegenüber der unbehandelten Kontrolle (KON) (Abb. 2). Die Befallsreduktion betrug 91% für Guargum MG-Pilzkapseln und 55% für Guargum MF-Pilzkapseln. Bei Applikation von *H. rhossiliensis* als Biofeuchtmasse (BFM) lag die Befallsreduktion mit 55% auf einem vergleichbaren Niveau wie für Guargum MF-Pilzkapseln. Demgegenüber zeigten Alginat-Pilzkapseln (ALG+BH+H.r.) keine Wirkung. Die Applikation pilzfreier Kapseltypen führte zu einer signifikanten Steigerung des Larvenbefalls in die Wurzel im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (KON). Während der Versuchsdauer zeigte sich kein Einfluss der Kapseltypen auf die Keimung der Zuckerrüben und das Pflanzenwachstum.



**Abb. 2** Einfluss einer Bodenapplikation mit feuchten Kapseltypen in **gedämpfter Erde** auf die Anzahl eingedrungener Larven von *Heterodera schachtii* in Zuckerrübenwurzeln. KON = unbehandelte Kontrolle, BFM = Biofeuchtmasse: freier Pilz (*Hirsutella rhossiliensis*), BH = Bäckerhefe, ALG = Alginatkapseln, MG = Guargum MG-Kapseln, MF = Guargum MF-Kapseln, ALG+BH = Alginatkapseln mit Bäckerhefe, MG+BH = Guargum MG-Kapseln mit Bäckerhefe, MF+BH = Guargum MF-Kapseln mit Bäckerhefe, ALG+BH+H.r. = Alginatkapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*, MG+BH+H.r. = Guargum MG-Kapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*, MF+BH+H.r. = Guargum MF-Kapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*; Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, n = 10, \* = signifikant verschieden von KON nach dem Tukey HSD-Test bei  $p < 0,05$

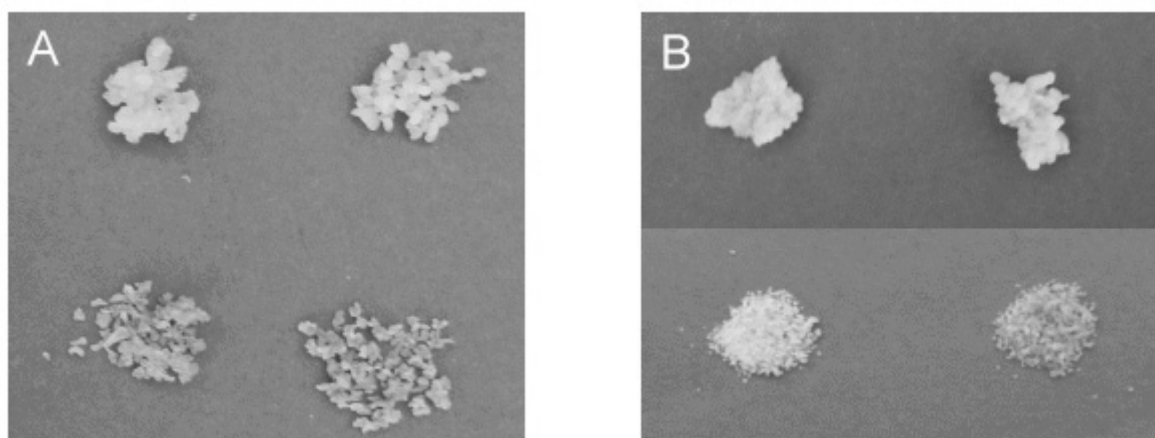
Wurden die feuchten Kapseln dagegen in ungedämpfter Erde eingesetzt, so bewirkte keine der Kapseltypen eine Reduktion von *H. schachtii* in den Zuckerrübenwurzeln. Vielmehr führte die Applikation von pilzfreien als auch pilzhaltigen Kapseltypen mit Ausnahme der Variante MG+BH+H.r. zu einer signifikanten Erhöhung des Nematodenbesatzes in der Wurzel (Abb. 3). Weder Keimung der Zuckerrüben noch das Pflanzenwachstum wurden durch die Applikation der feuchten Kapseln in ungedämpfter Erde gestört.



**Abb. 3** Einfluss einer Bodenapplikation mit feuchten Kapseltypen in **ungedämpfter Erde** auf die Anzahl eingedrungener Larven von *Heterodera schachtii* in Zuckerrübenwurzeln. KON = unbehandelte Kontrolle, BFM = Biofeuchtmasse: freier Pilz (*Hirsutella rhossiliensis*), BH = Bäckerhefe, ALG = Alginatkapseln, MG = Guar gum MG-Kapseln, MF = Guar gum MF-Kapseln, ALG+BH = Alginatkapseln mit Bäckerhefe, MG+BH = Guar gum MG-Kapseln mit Bäckerhefe, MF+BH = Guar gum MF-Kapseln mit Bäckerhefe, ALG+BH+H.r. = Alginatkapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*, MG+BH+H.r. = Guar gum MG-Kapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*, MF+BH+H.r. = Guar gum MF-Kapseln mit Bäckerhefe und *H. rhossiliensis*; Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, n = 10, \* = signifikant verschieden von KON nach dem Tukey HSD-Test bei  $p < 0,05$

## 2) Gefäßversuche

Kapselformulierung: Eine Trocknung der Guar gum MF+PA5-Pilzkapseln war problemlos möglich. Der Durchmesser getrockneter Guar gum MF+PA5-Pilzkapseln betrug durchschnittlich 1,05 mm für Kapseln mit 1% *H. rhossiliensis* und 1,17 mm für Kapseln mit 10% *H. rhossiliensis* (Abb. 4). Die Trocknung von Guar gum MG-Pilzkapseln war schwieriger, da die Kapseln miteinander verklebten und nach der Trocknung in einem Porzellanmörser zerstoßen werden mussten. Der Durchmesser der Guar gum MG-Pilzkapseln mit 1% und 10% *H. rhossiliensis* betrug durchschnittlich 0,66 mm bzw. 0,77 mm.



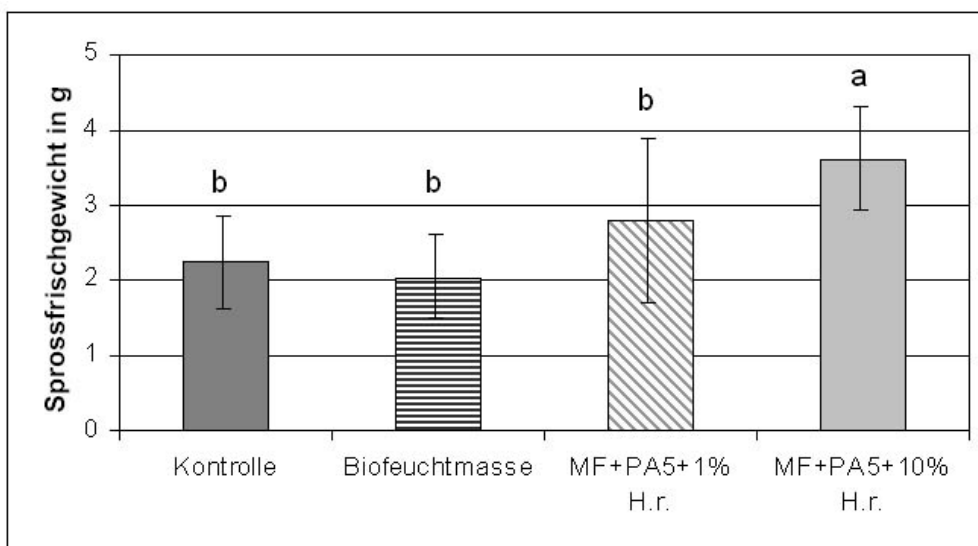
**Abb. 4** A) Guar gum MF+PA5-Pilzkapseln, von links nach rechts Kapseln mit 1% und 10% *Hirsutella rhossiliensis*; oben feucht, unten getrocknet; B) Guar gum MG-Pilzkapseln, von links nach rechts Kapseln mit 1% und 10% *H. rhossiliensis*; oben feucht, unten getrocknet

**Vitalitätstest:** Im Vitalitätstest wurde keine Kontamination der Pilzkapseln mit anderen Mikroorganismen festgestellt. Die Rückquellung der Kapseln war gewährleistet. Nach Auslegen auf feuchtem Filterpapier erreichten die Kapseln innerhalb von 24 Stunden bis zu zwei Drittel ihrer ursprünglichen Größe. Nach drei Tage war ein erstes Auswachsen von *H. rhossiliensis* mikroskopisch sichtbar. Bei Guargum MG-Pilzkapseln mit 1% *H. rhossiliensis* war das Auswachsen des Pilzes stark eingeschränkt und nach drei Tagen war *H. rhossiliensis* nur aus zwei von zehn Kapseln ausgewachsen.

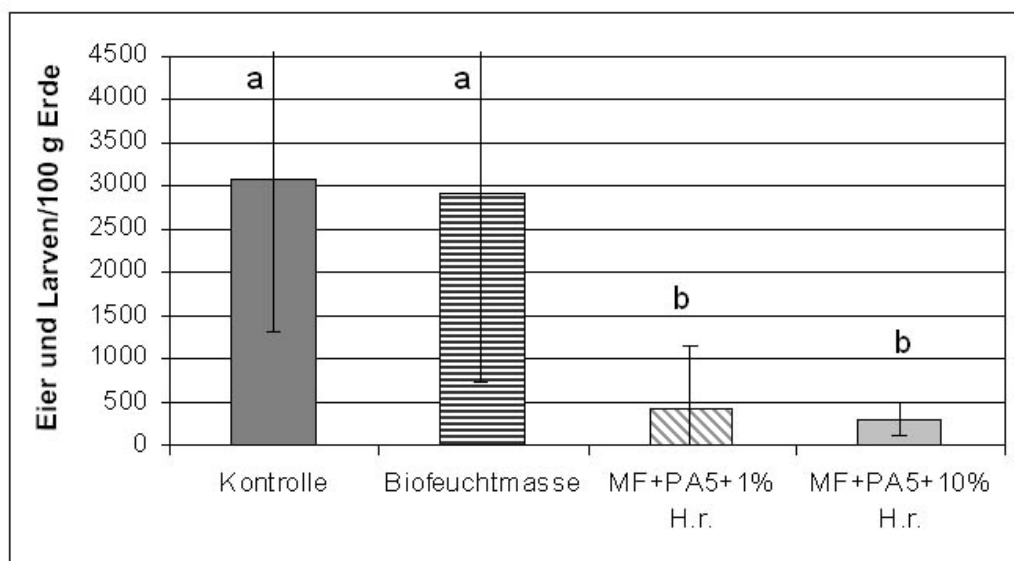
**Gefäßversuch A:** Einsatz getrockneter Guargum MF+PA5-Pilzkapseln mit 1% und 10% *H. rhossiliensis* in gedämpfter Erde

**Sprossfrischgewicht:** Die Applikation von getrockneten Guargum MF+PA5-Pilzkapseln mit 10% *H. rhossiliensis* bewirkte eine signifikante Steigerung des Sprossfrischgewichtes auf 3,63 g gegenüber der unbehandelten Kontrolle mit 2,25 g (Abb. 5). Guargum MF+PA5-Pilzkapseln mit 1% *H. rhossiliensis* erhöhten tendenziell das Sprossfrischgewicht um durchschnittlich 24%. Die Biofeuchtmasse von *H. rhossiliensis* hatte keinen Einfluss auf das Sprossfrischgewicht der Zuckerrüben gegenüber der Kontrolle.

**Nematodenvermehrung:** Die Applikation von Guargum MF+PA5-Pilzkapseln führte zu einer signifikanten Reduktion der Anzahl Eier und Larven von *H. schachtii* (Abb. 6). Die Befallsreduktion betrug 86% für Guargum MF+PA5-Pilzkapseln mit 1% *H. rhossiliensis* und 90% für Guargum MF+PA5-Pilzkapseln mit 10% *H. rhossiliensis*. Demgegenüber hatte die Applikation von *H. rhossiliensis* als Biofeuchtmasse keinen Einfluss auf die Nematodenvermehrung.



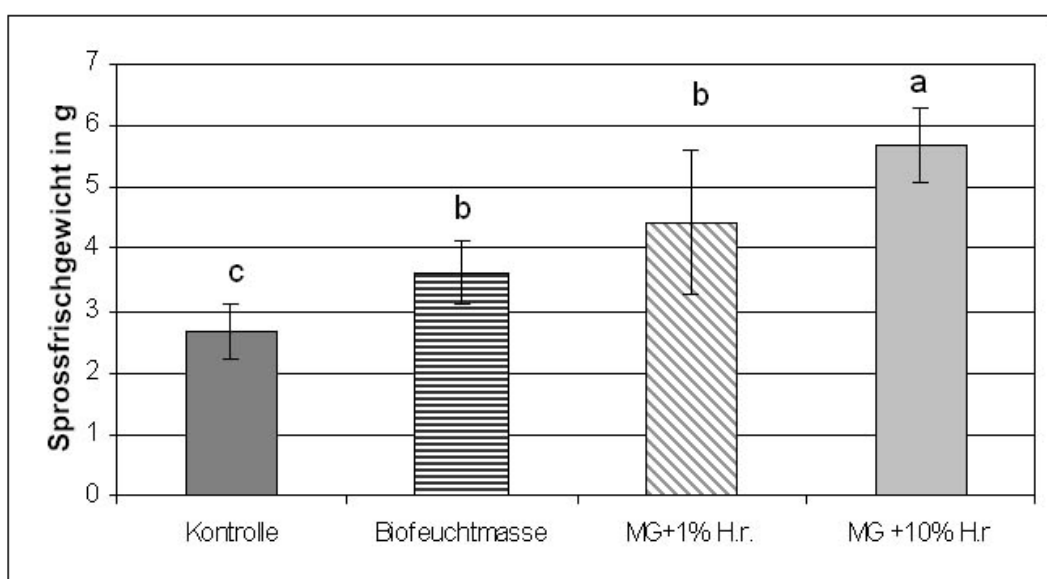
**Abb. 5** Durchschnittliches Sprossfrischgewicht von Zuckerrüben der Sorte 'Penta' acht Wochen nach Einarbeitung getrockneter MF+PA5-Pilzkapseln in gedämpfter Erde. H.r. = *Hirsutella rhossiliensis*; MF+PA5 = Guargum MF+PA5-Pilzkapseln, Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, n = 10, Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach dem Tukey



**Abb. 6** Anzahl Eier und Larven pro 100 g Erde von *Heterodera schachtii* nach Einarbeitung getrockneter MF+PA5-Pilzkapseln in gedämpfter Erde. H.r. = *Hirsutella rhossiliensis*; MF+PA5 = Guargum MF+PA5-Pilzkapseln; Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 10$ , Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach dem Tukey HSD-Test bei  $p < 0,05$

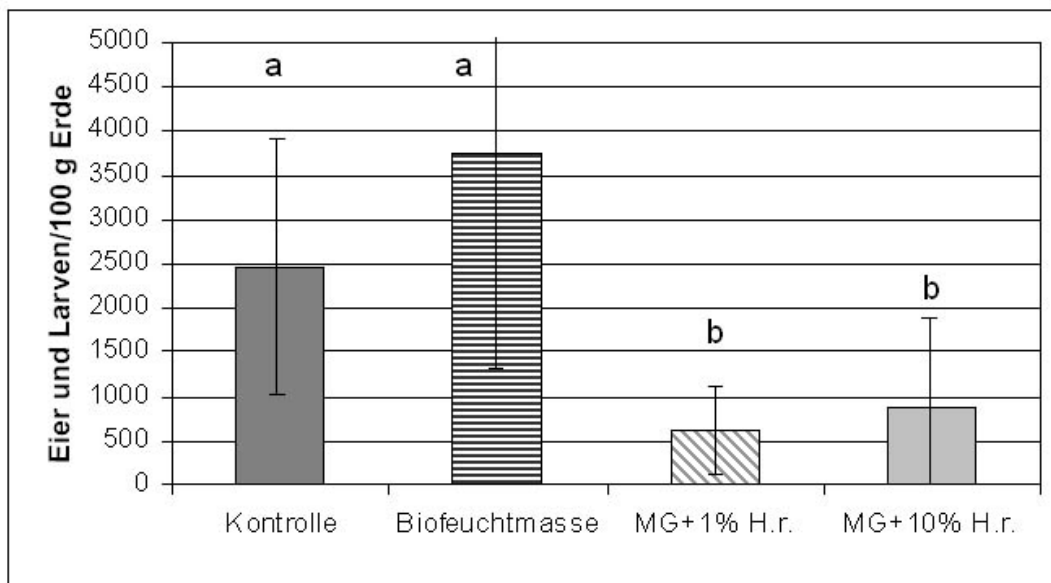
Gefäßversuch B: Einsatz getrockneter Guargum MG-Pilzkapseln mit 1% und 10% *H. rhossiliensis* in gedämpfter Erde.

Sprossfrischgewicht: Sowohl die Applikation von Guargum MG-Pilzkapseln mit 1% und 10% *H. rhossiliensis* als auch von Biofeuchtmasse führte zu einer signifikanten Steigerung des Sprossfrischgewichtes im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Abb. 7). Das höchste Sprossfrischgewicht mit 5,7 g wurde nach Applikation von Guargum MG-Pilzkapseln mit 10% *H. rhossiliensis* beobachtet, gefolgt von Guargum MG-Pilzkapseln mit 1% *H. rhossiliensis* (4,4 g) und der pilzlichen Biofeuchtmasse (3,6 g).



**Abb. 7** Durchschnittliches Sprossfrischgewicht von Zuckerrüben der Sorte 'Penta' acht Wochen nach Einarbeitung getrockneter MG-Pilzkapseln in gedämpfter Erde. H.r. = *Hirsutella rhossiliensis*; MG = Guargum MG-Kapseln; Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung,  $n = 10$ , Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach dem Tukey HSD-Test bei  $p < 0,05$

**Nematodenvermehrung:** Eine Behandlung der gedämpften Erde mit getrockneten Guargum MG-Pilzkapseln mit 1% *H. rhossiliensis* sowie mit 10% *H. rhossiliensis* bewirkten eine signifikante Reduktion der Nematodenvermehrung von 75% bzw. 64% (Abb. 8). Die Applikation von *H. rhossiliensis* als Biofeuchtmasse hatte keine Wirkung gegen *H. schachtii* und führte tendenziell sogar zu einer Steigerung der Nematodenvermehrung (3736 E+L/100 ml Boden) gegenüber der Kontrolle (2460 E+L/100 ml Boden).



**Abb. 8** Anzahl Eier und Larven pro 100 g Erde von *Heterodera schachtii* nach Einarbeitung getrockneter MG-Pilzkapseln in gedämpfter Erde. H.r. = *Hirsutella rhossiliensis*; MG = Guargum MG-Kapseln; Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, n = 10, Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach dem Tukey HSD-Test bei  $p < 0,05$

## Diskussion

Der nematophage Pilz *Hirsutella rhossiliensis* ist ein weit verbreiteter Parasit pflanzenparasitärer Nematoden (JAFEE und MULDOON, 1989; JAFEE et al., 1989; STURHAN und SCHNEIDER, 1980). Seit seiner Entdeckung im Jahr 1980 (MINTER und BRADY, 1980) arbeiteten verschiedene Arbeitsgruppen daran, diesen Pilz zu einem biologischen Pflanzenschutzmittel zu entwickeln (JAFEE et al., 1996; VIAENE und ABAWI, 2000; LIU und CHEN, 2005). Eine Applikation des Pilzes als wässrige Myzelsuspension kann teilweise zu guten Bekämpfungserfolgen führen (LACKEY et al., 1992; LIU und CHEN, 2005), ist für die Praxis aber wenig geeignet. Voraussetzung für die Entwicklung eines biologischen Pflanzenschutzmittels ist eine geeignete Formulierung, die eine sichere Handhabung des Produktes gewährleistet und dem konkurrenzschwachen Pilz eine gute Etablierung im Boden sichert, so dass eine möglichst hohe Parasitierungsrate pflanzenparasitärer Nematoden erreicht wird. Die von verschiedenen Arbeitsgruppen favorisierten Alginatformulierungen erwiesen sich im Freiland als wenig wirkungsvoll (JAFEE et al., 1996; LACKEY et al., 1993; JAFEE und MULDOON, 1997). Demgegenüber waren erste Untersuchungen von PATEL (1998), GUTBERLET (2000) und ROSE (2000) mit Pilzkapseln auf Cellulosebasis recht vielversprechend. An diese Ergebnisse knüpften die hier dargestellten Versuche mit Guargum-Derivaten als Material für die Verkapselung von *H. rhossiliensis* an. Aufgrund der Erfahrungen aus der Vergangenheit wurden die neuartigen Formulierungen zuerst in gedämpfter Erde eingesetzt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass eine Applikation von *H. rhossiliensis* in Kapseln aus verschiedenen Guargumderivaten einen Befall von Zuckerrüben mit *H. schachtii* in gedämpfter Erde bis zu 90% reduzieren kann. Im Faltschachtelversuch mit feuchten Kapseln aus Guargum MF und Guargum MG, die 1% *H. rhossiliensis* enthielten, war der Nematodenbefall signifikant gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduziert. Pilzkapseln aus Alginat zeigten in diesem Versuch keine Wirkung gegen *H. schachtii* und bestätigten damit die Ergebnisse von JAFEE et al. (1996) an Kohl. Das Kapselmateriale

allein sowie Kapseln ohne Pilz führten demgegenüber zu einer Förderung der Larveneindringung. Die Ursachen hierfür konnten nicht abschließend geklärt werden, doch ist auch aus anderen Untersuchungen bekannt, dass die Zufuhr von Formulierungshilfsstoffen, wie z. B. Alginat oder Körnerbrutpulver, den Nematodenbefall fördern kann (SCHUSTER und SIKORA, 1992; HALLMANN, 1994). Zu hohe Aufwandmengen der Formulierungshilfsstoffe können das Pflanzenwachstum und die Entwicklung von Nematoden aber auch hemmen (SCHUSTER und SIKORA, 1992). Eine Hemmung des Pflanzenwachstums wurde in den eigenen Untersuchungen jedoch nicht beobachtet, die Keimrate der Zuckerrüben lag in allen Gewächshausversuchen zudem über 80%. Untersuchungen von LACKEY et al. (1993) zeigten, dass niedrige Aufwandmengen pilzfreier Alginatkapseln keine Wirkung auf den Nematodenbefall bzw. das Pflanzenwachstum hatten und Alginatkapseln mit *H. rhossiliensis* das Pflanzenwachstum sogar leicht erhöhten.

Im nächsten Schritt wurden die Pilzkapseln getrocknet. Getrocknete Formulierungen werden aufgrund ihrer besseren Handhabbarkeit, Lagerfähigkeit und Applikation in der Praxis normalerweise bevorzugt. Sowohl getrocknete Guar gum MF+PA5-Pilzkapseln als auch getrocknete Guar gum MG-Pilzkapseln hatten eine positive Wirkung auf das Pflanzenwachstum. Die Förderung des Sprossfrischgewichtes war aber nicht in allen Fällen signifikant. Interessant war die Beobachtung, dass die Erhöhung des Pilzgehaltes in den Kapseln von 1% auf 10% in beiden Versuchen zu einer signifikanten Steigerung des Sprossfrischgewichtes führte, nicht aber zu einer weiteren Reduzierung des Nematodenbefalls. Da alle anderen Faktoren identisch waren, könnte dies möglicherweise ein Hinweis dafür sein, dass die zusätzliche pilzliche Biofeuchtmasse entweder das Pflanzenwachstum direkt stimulierte oder aber indirekt durch Nährstofffreisetzung nach entsprechendem mikrobiellem Abbau des Pilzmyzels. Um diese Frage abschließend zu klären sind weitere Versuche erforderlich, in denen als zusätzliche Varianten zehnpromtente Biofeuchtmasse und pilzfreie Kapseln zu untersuchen sind. Neben der Förderung des Sprossfrischgewichtes führten die getrockneten Guar gum MF+PA5-Pilzkapseln bzw. Guar gum MG-Pilzkapseln auch zu einer signifikanten Reduktion des Nematodenbesatzes nach 8 Wochen von bis zu 90%. Die Reduktion des Nematodenbesatzes lag damit vergleichbar hoch wie bei Einsatz feuchter Kapseln nach 7 Tagen. Ein Mörsern der nach dem Trocknen verklebten MG-Pilzkapseln scheint die Wirkung nicht nachteilig beeinflusst zu haben. Die Kombination von Guar gum MF mit Pektin PA5 führte zu runden Kapseln, die auch nach der Trocknung nicht verklebten. Inwieweit mit der Zugabe von Pektin PA5 möglicherweise auch eine Wirkungssteigerung verbunden ist, bleibt abzuwarten, da entsprechende Versuche noch ausstehen. Auch über die maximale Lagerungsdauer getrockneter Pilzkapseln liegen noch keine abschließende Ergebnisse vor. Aus Untersuchungen mit getrockneten Alginatkapseln ist bekannt, dass *H. rhossiliensis* nach Lagerung über ein Jahr bei 5°C noch auswuchs und *H. schachtii* parasitierte (LACKEY et al., 1993).

Als Kostenfaktor bei der Entwicklung biologischer Pflanzenschutzmittel spielt auch die Wirkstoffkonzentration (= Pilzkonzentration) eine gewisse Rolle. Sie muss in jedem Falle hoch genug sein, um eine gute Parasitierung der Nematoden im Boden zu gewährleisten. Eine zu hohe Pilzkonzentration in der Kapsel könnte nicht nur unnötige Kosten bedeuten, sondern sich unter Umständen auch negativ auf die Wirksamkeit der Formulierung auswirken. In den eigenen Untersuchungen führte die zehnfache Erhöhung des Pilzgehaltes in den getrockneten Pilzkapseln zwar zu einer Steigerung des Sprossfrischgewichtes, nicht aber der Wirksamkeit gegen *H. schachtii*. Möglicherweise reichte die Nährstoffzugabe in Form von 3% Bäckerhefe für die zusätzliche pilzliche Biofeuchtmasse nicht aus und muss entsprechend angepasst werden. Sowohl bei der Nährstoffmenge, als auch der Nährstoffkomponenten besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Zeigten die Formulierungen von *H. rhossiliensis* als feuchte wie auch getrocknete Kapseln eine gute Wirkung in gedämpfter Erde, so unbefriedigend waren die Ergebnisse feuchter Kapseln in ungedämpfter Felderde. Sowohl eine Behandlung mit pilzfreien als auch pilzhaltigen Kapseln führte im Faltschachtelversuch mit ungedämpfter Erde zu einer Steigerung des Larvenbefalls in den Wurzeln von bis zu 300% gegenüber der Kontrolle. Die Applikation von *H. rhossiliensis* als pilzliche Biofeuchtmasse hatte weder eine steigernde noch eine reduzierende Wirkung auf die Larveneindringung. Die Förderung des Nematodenbefalls sowohl durch die Formulierungshilfsstoffe als auch die pilzfreien und pilzhaltigen Kapseln könnte auf ein fehlendes Wachstum von *H. rhossiliensis* im Boden hindeuten oder aber eine Begleitscheinung in Verbindung mit dem Abbau der organischen Substanz im Boden sein. Andere Ursachen, wie z. B. kontaminierte Kapseln, geringe Vitalität des Pilzes oder zu niedrige Aufwandmenge konnten durch entsprechende Untersuchungen ausgeschlossen werden. Auch JAFFEE et al. (1996) berichten für Alginatkapseln mit *H. rhossiliensis* von einer ausbleibenden Wirkung gegen *H. schachtii* in unbehandel-

ter Erde. Sie führen dies darauf zurück, dass *H. rhossiliensis* aufgrund seiner geringen Konkurrenzkraft durch andere Organismen im Wachstum unterdrückt wird. Dies ist nachvollziehbar, wenn man bedenkt, dass sowohl das Kapselmaterial als auch mögliche Nährstoffe in den Kapseln in der Regel eine hervorragende Nahrungsquelle für Bodenmikroorganismen darstellen. Innerhalb kürzester Zeit kommt es vermutlich zu einem drastischen Anstieg der am Abbau des Kapselmaterials beteiligten Bakterien- und Pilzpopulationen im Boden. Aus Untersuchungen mit Bodenapplikationen von 1% Chitin ist bekannt, dass die Bakterienpopulation innerhalb von 24 Stunden um den Faktor 100 und die Pilzpopulation um den Faktor 50 erhöht wird (HALLMANN et al., 1999). Eine vergleichbare Stimulierung der Bodenmikroorganismen wäre auch im vorliegenden Fall bei Zugabe von 4% feuchter Kapseln vorstellbar. Auch die Zufuhr kompostierten Hühner- oder Rindermistes bzw. von Weizenstroh wirkt sich negativ auf die Wirksamkeit von *H. rhossiliensis* aus (JAFFEE et al., 1994). *H. rhossiliensis* muss im Boden nicht nur Phialiden und Konidien bilden, sondern er muss sich auch noch gegen eine stark erhöhte Mikroorganismendichte in unmittelbarer Umgebung der hier verwendeten Biopolymere als Kapselmaterial durchsetzen. Für den langsam wachsenden und konkurrenzschwachen Pilz *H. rhossiliensis* ist diese Hürde vermutlich zu hoch.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die hier für die Verkapselung von *H. rhossiliensis* verwendeten Biopolymere für die Bekämpfung von *H. schachtii* an Zuckerrüben in der Praxis nicht geeignet sind. Grundsätzlich wird die Verkapselung von Mikroorganismen für den biologischen Pflanzenschutz aber weiterhin als ein erfolgversprechendes und vielseitig einzusetzendes Verfahren angesehen. Für den Einsatz von *H. rhossiliensis* in der Praxis ist es erforderlich, weitere Formulierungshilfsmittel und Methoden zu untersuchen.

## Zusammenfassung

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurde die Wirksamkeit verschiedener Verkapselungen des nematophagen Pilzes *Hirsutella rhossiliensis* gegen den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* an Zuckerrübe untersucht. In Faltschachtelversuchen wurden feuchte Kapseln aus den Biopolymeren Guar gum MF und Guar gum MG mit 1% *H. rhossiliensis* in gedämpfter und ungedämpfter Erde eingesetzt und die Anzahl eingedrungener Larven von *H. schachtii* nach 7 Tagen ermittelt. In Gefäßversuchen wurde die Wirksamkeit getrockneter, ein- und zehnprozentiger Pilzkapseln aus den Biopolymeren Guar gum MF + Pektin PA5 bzw. Guar gum MG gegen *H. schachtii* in gedämpfter Erde untersucht. Bei Applikation in gedämpfter Erde führten alle Pilzkapseltypen zu einer signifikanten Reduzierung des Nematodenbefalls bis zu über 90%. Durch Erhöhung des Pilzgehaltes von 1% auf 10% war keine zusätzliche Steigerung der Wirkung feststellbar. Pilzfreie Kapseln bzw. die Kapselmaterialien selbst bewirkten demgegenüber eine Stimulierung des Nematodenbefalls. Wurden die Pilzkapseln jedoch in ungedämpfter Erde eingesetzt, war keine Wirkung mehr feststellbar und der *H. schachtii*-Besatz in Zuckerrübe war teilweise sogar signifikant erhöht. Es ist zu vermuten, dass das ohnehin schon langsame Wachstum des insgesamt recht konkurrenzschwachen Pilzes *H. rhossiliensis* aus den Kapseln durch Bodenmikroorganismen gehemmt wurde. Abschließend bleibt festzuhalten, dass die hier für die Verkapselung von *H. rhossiliensis* verwendeten Biopolymere für die Bekämpfung von *H. schachtii* an Zuckerrüben in der Praxis nicht geeignet sind. Der erfolgreiche Einsatz von *H. rhossiliensis* als biologisches Bekämpfungsverfahren in der Praxis erfordert entweder andere Kapselmaterialien oder aber die Entwicklung eines alternativen Formulierungsverfahrens.

## Summary

In the present study, research was conducted to determine the efficacy of various encapsulations of the nematophagous fungus *Hirsutella rhossiliensis* for control of the sugar beet cyst nematode *Heterodera schachtii* on sugar beet. The potential of moist capsules, made of Guar gum MF and Guar gum MG and containing 1% *H. rhossiliensis*, was evaluated in a bioassay. It was conducted in heat-treated and untreated soil. The number of nematodes in each root system was counted seven days after germination. Dried capsules that were made of the biopolymers Guar gum MF + Pectine PA5 and Guar gum MG, containing 1% and 10% *H. rhossiliensis*, were tested for their effectiveness against *H. schachtii* in two separate pot trials (300 ml) on sugar beet. Both greenhouse trials were conducted in heat-treated soil. All capsule types containing *H. rhossiliensis* led to a significant reduction of nematode invasion up to 90% when applied to heat-treated soil. Increasing the amount of fungus added to a capsule from 1% to 10% did not improve its efficacy. In contrast, capsules without *H. rhossiliensis* or different capsule materials

stimulated root penetration by *H. schachtii*. When applied to untreated soil, capsules containing *H. rhossiliensis* failed to suppress nematode invasion of roots of sugar beet seedlings. In fact, in some cases it even lead to an increase in root penetration. As *H. rhossiliensis* is an inferior competitor and its growth is quite slow, it is assumable, that its growth was inhibited by other soil micro organisms. Perhaps an encapsulation of *H. rhossiliensis* as described in this study is not suitable for the control of *H. schachtii*. A successful application of *H. rhossiliensis* as a method of biological control requires the development of optimised encapsulation materials or perhaps even an alternative composition or formulation.

### Danksagung

Das Forschungsvorhaben war Teil des Verbundprojektes "Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe zur biologischen Bekämpfung von Zuckerrüben nematoden und pilzlichen Wurzelbranderregern für eine ökologische Zuckerrübenproduktion" (FKZ: 22003802). Für die finanzielle Unterstützung danken wir der Fachagentur nachwachsender Rohstoffe e.V. Ein ganz besonderer Dank gebührt Dr. Joachim Müller vom Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Münster, der dieses Forschungsvorhaben mit initiierte und über die Jahre mit Interesse verfolgte.

### Literatur

- BYRD, D.W., JR., T. KIRKPATRICK, K.R. BARKER (1983): An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes. *J. Nematol.* **15**, 142-143.
- CAVENESE, F.E., H.J. JENSEN (1955): Modification of the centrifugal-flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* **22**, 87-89.
- CHEN, S.Y., C.D. REESE (1999): Parasitism of the nematode *Heterodera glycines* by the fungus *Hirsutella rhossiliensis* as influenced by crop sequence. *J. Nematology* **31**, 437-444.
- GRIFFIN, G.D. (1981): The relationship of plant age, soil temperature and population density of *Heterodera schachtii* on the growth of sugar beet. *J. Nematol.* **13**, 184-190.
- GUTBERLET, V. (2000): Untersuchungen zur Eignung der Verkapselung des nematophagen Pilzes *Hirsutella rhossiliensis* für die biologische Bekämpfung von *Heterodera schachtii* und *Meloidogyne incognita* unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe. Dissertation Universität Bonn.
- HALLMANN, J. (1994): Einfluß und Bedeutung endophytischer Pilze für die biologische Bekämpfung des Wurzelgallennematoden *Meloidogyne incognita* an Tomate. Dissertation Universität Bonn.
- HALLMANN, J., R. RODRÍGUEZ-KÁBANA, J.W. KLOPPER (1999): Chitin-mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within roots of cotton in relation to nematode control. *Soil Biol. Biochem.* **31**, 551-560.
- JAFFEE, B. A. (1992): Population biology and biological control of nematodes. *Can. J. Microbiol.* **38**, 359-364.
- JAFFEE, B.A., H. FERRIS, J.J. STAPLETON, M.V.K. NORTON, A.E. MULDOON (1994): Parasitism of nematodes by the fungus *Hirsutella rhossiliensis* as affected by certain organic amendments. *J. Nematol.* **26**, 152-161.
- JAFFEE, B.A., J.T. GASPARD, H. FERRIS (1989): Density-dependent parasitism of the soil-borne nematode *Cricone-mella xenoplax* by *Hirsutella rhossiliensis*. *Microb. Ecology* **17**, 193-200.
- JAFFEE, B.A., A.E. MULDOON (1989): Suppression of cyst nematode by natural infestation of a nematophagous fungus. *J. Nematol.* **21**, 505-510.
- Jaffee, B.A., A.E. MULDOON (1997): Suppression of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by alginate pellets containing the nematophagous fungi *H. rhossiliensis*, *Monacrosporium cionopagum* and *M. ellipso-sporum*. *Biocontr. Science and Techn.* **7** (2), 203-217.
- JAFFEE, B.A., A.E. MULDOON, C.E. ANDERSON, B.B. WESTERDAHL (1991): Detection of the nematophagous fungus *Hirsutella rhossiliensis* in California sugar beet fields. *Biol. Contr.* **1**, 63-67.
- JAFFEE, B.A., A.E. MULDOON, B.B. WESTERDAHL (1996): Failure of a mycelial formulation of the nematophagous fungus *Hirsutella rhossiliensis* to suppress the nematode *Heterodera schachtii*. *Biol. Contr.* **6**, 340-346.
- JAFFEE, B.A., R. PHILLIPS, A.E. MULDOON, M. MANGEL (1992): Host-parasite dynamics in soil microcosms. *Ecology* **73**, 495-506.
- LACKEY, B.A., B.A. JAFFEE, A.E. MULDOON (1992): Sporulation of the nematophagous fungus *Hirsutella rhossiliensis* from hyphae produced in vitro and added to soil. *Phytopathology* **82**, 1326-1330.



- LACKEY, B.A., A.E. MULDOON, B.A. JAFFEE (1993): Alginate pellet formulation of *Hirsutella rhossiliensis* for biological control of plant-parasitic nematodes. *Biol. Contr.* **3**, 155-160.
- LUI, S.F., S.Y. CHEN (2005): The efficacy of the fungi *Hirsutella minnesotensis* and *H. rhossiliensis* from liquid culture for control of the soybean cyst nematode *Heterodera glycines*. *Nematology* **7**, 149-157.
- MINTER, D.W., B.L. BRADY (1980): Mononematous species of *Hirsutella*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **74**, p. 271-282.
- MÜLLER, J. (1985): Aussichten des integrierten Pflanzenschutzes bei der Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden. *Gesunde Pflanzen* **37**, 216–221.
- MÜLLER, J. (1992): Detection of pathotypes by assessing the virulence of *Heterodera schachtii* populations. *Nematologica* **38**, 50-64.
- MÜLLER, J. (1999): The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. *Helminthologia* **36**, 205–213.
- PATEL, A.V., B.E. SLAATS, J. HALLMANN, R. TILCHER, W. BEITZEN-HEINEKE, K.-D. VORLOP (2004): Verkapselung von bakteriellen Antagonisten und eines nematophagen Pilzes. *Gesunde Pflanzen* **57**, 30-33.
- PATEL, A.V. (1998): Verkapselungsverfahren für die biologische Schädlingsbekämpfung und zur Konstruktion von „vegetativem Samen“. *Landbauforschung Völkenrode SH* **188**.
- PATEL, A.V., T. ROSE, K.-D. VORLOP (2002): Encapsulation of *Hirsutella rhossiliensis* in hollow beads based on sufoethylcellulose to control plant-parasitic nematodes. *Landbauforschung Völkenrode SH* **241**, 145-150.
- SCHUSTER, R.P., R.A. SIKORA (1992): Influence of different formulations of fungal egg pathogens in alginate granules on biological control of *Globodera pallida*. *Fundam. Appl. Nematol.* **15**, 257-263.
- STURHAN, D., R. SCHNEIDER (1980): *Hirsutella heteroderae*, ein neuer nematodenparasitärer Pilz. *Phytopathol. Z.* **99**, 105-115.
- UNDERWOOD, T., B.A. JAFFEE, P. VERDEGAAL, M.V.K. NORTON, W.K. ASAI, A.E. MULDOON, M.V. MCKENRY, H. FERRIS (1994): Effect of lime on *Criconemella xenoplax* and bacterial canker in two California orchards. *J. Nematol.* **26**, 606-611.
- VIAENE, N. M., G.S. ABAWI (2000): *Hirsutella rhossiliensis* and *Verticillium chlamydosporium* as Biocontrol Agents of the root-knot nematode *Meloidogyne hapla* on lettuce. *J. Nematol.* **32**, 85-100.

**KIEWNICK, S.; SIKORA, R.A.**

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Universität Bonn, Fachbereich: Phytomedizin, Nematologie in Bodenökosystemen, Nussallee 9, 53115 Bonn; e-mail: skiewnick@uni-bonn.de; rsikora@uni-bonn.de

## **Neue Strategien zur biologischen Bekämpfung des Bananennematoden *Radopholus similis* (COBB) THORNE**

New strategies for the biological control of the burrowing nematode *Radopholus similis* (COBB) THORNE on banana

### **Einleitung**

Bananen (*Musa* spp.) gehören zu den wirtschaftlich bedeutendsten Kulturpflanzen in tropischen und subtropischen Ländern und bilden dort die Nahrungsgrundlage für rund 400 Millionen Menschen. Die Banane steht in Bezug auf ihre weltweite Bedeutung als Nahrungsmittelpflanze an vierter Stelle nach Reis, Weizen und Mais. Die jährliche Produktionsmenge von Bananen wird auf 85 Millionen Tonnen geschätzt, wobei ca. 30 Millionen Tonnen auf die Produktion von Kochbananen entfallen. Die Hauptproduktionsgebiete sind Lateinamerika, Afrika und Asien, wobei der Großteil der weltweiten Bananenproduktion (98%) in den Entwicklungsländern erzeugt und zu 90% auch dort konsumiert wird. Gerade einmal 10% der Gesamtproduktion geht in den Export.

Bananen werden von verschiedenen Pathogenen und Schaderregern befallen, die zum Teil empfindliche Ertragsverluste verursachen können. Pflanzenparasitäre Nematoden gehören zu den wichtigsten Schaderregern, da sie die Primärwurzeln der Bananenpflanze schädigen, wodurch es zum Umfallen der Bananenstaude und damit zu einem Totalverlust kommen kann. Der wandernde Endoparasit *Radopholus similis* ist weltweit der bedeutendste pflanzenparasitäre Nematode an Bananen in den Tropen und Subtropen. Durch seine endoparasitische Lebensweise, die auch sekundäre Infektionen mit bodenbürtigen Schaderregern ermöglicht, wird das Wurzelsystem derart stark beeinträchtigt, dass die Bananenpflanzen umfallen („toppling disease“). Neben *R. similis* sind weitere Nematodenarten, wie *Pratylenchus coffeae*, *P. goodeyi* und *Helicotylenchus multicinctus*, weltweit von Bedeutung im Bananenanbau (GOWEN et al., 2005; SIKORA et al., 2003).

### **Bekämpfungsstrategien**

Die Bekämpfung von Nematoden im Bananenanbau gestaltet sich schwierig, da meist bereits das Pflanzmaterial verseucht ist und somit Nematoden auch in bis dahin befallsfreie Flächen eingeschleppt werden. Resistenzen sind nicht vorhanden; die Züchtung konzentrierte sich bisher auf andere bedeutende Pathogene wie „Black Sigatoka“ (*Mycosphaerella fijiensis*) und die *Fusarium*-Welke (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*). Eine Strategie der Nematodenbekämpfung war es, das Pflanzmaterial durch Heißwasserbehandlung frei von Nematoden zu bekommen. Trotz einiger positiver Ergebnisse in der Vergangenheit wurde diese Methode jedoch durch die Verwendung von *in vitro* Pflanzen ersetzt. Der Einsatz von Nematiziden ist weiterhin gängige Praxis in der kommerziellen Bananenproduktion, da alle Standorte mit Nematoden verseucht sind. Aufgrund zunehmender Probleme, hervorgerufen durch die Toxizität der Nematizide für Mensch und Umwelt, ist die Anzahl der zur Verfügung stehenden Mittel in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Werden Bananen nur für die örtlichen Märkte produziert, stehen diese Mittel auf Grund der hohen Kosten für eine Applikation ohnehin nicht zur Verfügung.

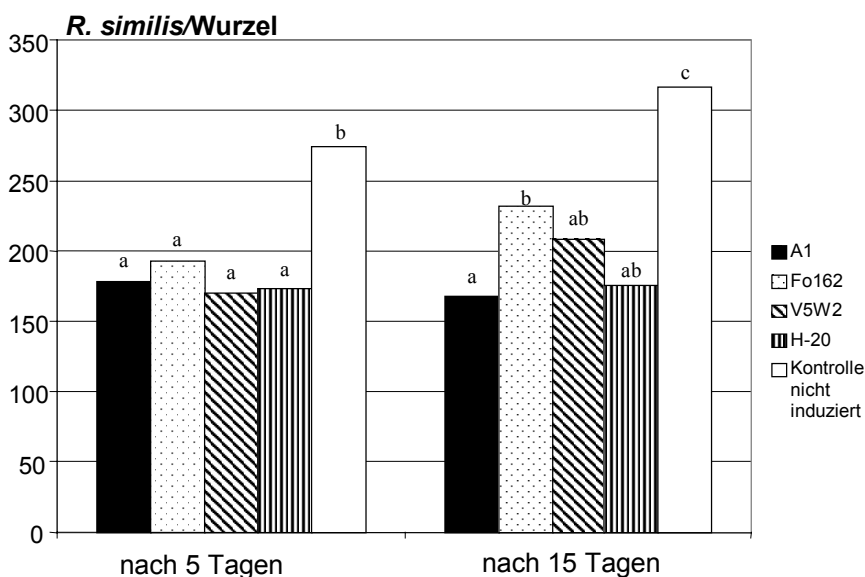
Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Bekämpfung von pflanzenparasitären Nematoden an Bananen sind neue Strategien längst überfällig, die eine nachhaltige Reduktion der Schäden durch *R. similis* und eine Reduktion des Einsatzes chemisch-synthetischer Nematizide ermöglichen.

### **Apathogene pilzliche Endophyten**

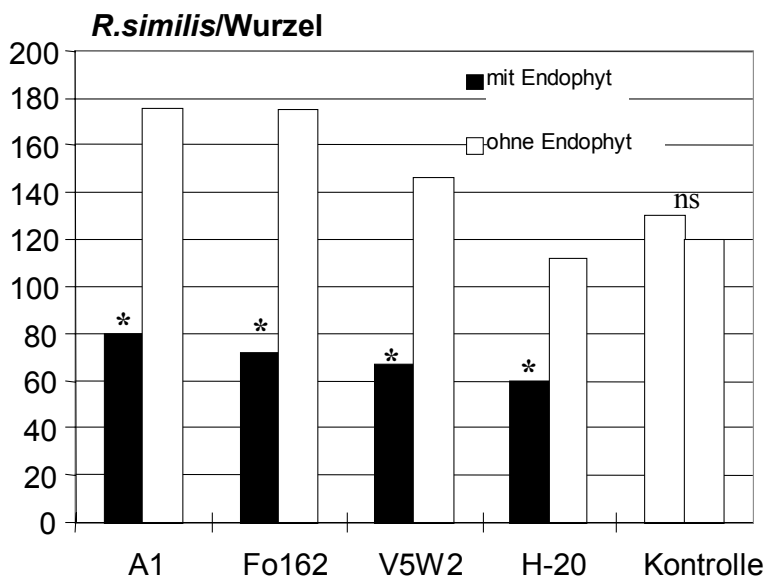
Anfang der 1990er Jahre wurde von SIKORA und Mitarbeitern (SIKORA et al., 2003) erstmals beobachtet, dass apathogene *Fusarium oxysporum* Isolate in einer mutualistischen Symbiose mit Bananenpflanzen und anderen Pflanzenarten, wie z. B. Tomaten, koexistieren und eine Reduktion der durch pflanzenparasitäre Nematoden hervorgerufenen Schäden bewirken können (SPEIJER, 1993; AMIN, 1994; HALLMANN und SIKORA, 1994). Auf der Basis dieser Arbeiten wurden neue Ansätze zur biologischen Bekämpfung

von Nematoden an Bananen in Bonn entwickelt, die auf einer gezielten Selektion von effektiven apathogenen *Fusarium oxysporum* Isolaten beruht. Dabei wurden Endophyten aus Bananenwurzeln in Indonesien, Afrika und Lateinamerika isoliert und in mehrstufigen Verfahren gescreent (SIKORA und SCHUSTER, 1999). Begleitend dazu wurden Untersuchungen zu möglichen Wirkungsmechanismen, zum Wirkungsspektrum sowie erste Freilandversuche durchgeführt (AMIN, 1994; REISSINGER, 1995; GRIESBACH et al., 1996; POCASANGRE et al., 1998; NIERE et al., 1999). Auf der Basis dieser Arbeiten wurde eine Gruppe von Isolaten selektiert, die in wiederholten Versuchen über mehrere Jahre eine gute Bekämpfung von *R. similis* unter Gewächshausbedingungen zeigte. Welche Mechanismen für diese biologische Wirksamkeit verantwortlich sind, war anfangs jedoch noch weitestgehend ungeklärt.

HALLMANN und SIKORA (1994) und AMIN (1994) zeigten, dass pilzliche Metabolite *in vitro* eine deutliche nematostatische und nematizide Wirkung hatten. Inwieweit dies auch unter Feldbedingungen für die Reduktion der Eindringung und Entwicklung von *Meloidogyne incognita* oder *R. similis* galt, war bis dahin noch nicht geklärt. Erst kürzlich konnten die Hauptmechanismen für die inzwischen auch unter Feldbedingungen in Costa Rica eindeutig demonstrierte Wirksamkeit pilzlicher Endophyten gegen Banannematoden (POCASANGRE und SIKORA, unveröffentl.) aufgeklärt werden. VU THI THANH (2005) konnte für vier verschiedene *Fusarium*-Isolate aus Indonesien (AMIN, 1994), Uganda (SCHUSTER et al., 1995), Kenia (HALLMANN und SIKORA, 1994) und Honduras (POCASANGRE, 1999) zeigen, dass eine Kombination von direkten und indirekten Effekten für die Wirkung von endophytischen *Fusarium* spp. verantwortlich ist. Alle getesteten Isolate besiedelten intensiv die Bananenwurzeln und führten in Abwesenheit von *R. similis* zu einer Wachstumsförderung von 15-30%. Eine direkte Wirkung der Pilze gegen den Nematoden im Boden, wie z. B. durch Parasitismus, konnte jedoch nur in geringem Umfang gefunden werden. Daher konzentrierten sich die weiteren Untersuchungen auf die Wirkung über die Pflanze. In „split-root“-Versuchen zeigte VU THI THANH (2005), dass systemisch induzierte Resistenz der Hauptwirkungsmechanismus gegen *R. similis* ist. Die *Fusarium*-Isolate konnten dabei die Eindringung des Nematoden um bis zu 47% reduzieren (Abb. 1). Welche physiologischen Veränderungen in den durch die Endophyten induzierten Pflanzen stattfinden und wie diese die Nematoden beeinflussen, ist dabei jedoch noch nicht bekannt. Eine Möglichkeit ist eine Veränderung in der Zusammensetzung der Wurzelexsudate. Neueste Untersuchungen konnten zeigen, dass die Attraktivität von *R. similis* zur Wurzel und die Eindringung der Nematoden in die Wurzel in den mit Endophyten behandelten Bananenpflanzen signifikant reduziert war (Abb. 2, VU THI THANH, 2005). In diesem „linked Twin Pot“-Testsystem wurden die Nematoden in eine mit Erde gefüllten Brücke zwischen zwei Töpfen inokuliert und hatten so die Wahl zwischen behandelten und unbehandelten Bananenpflanzen.

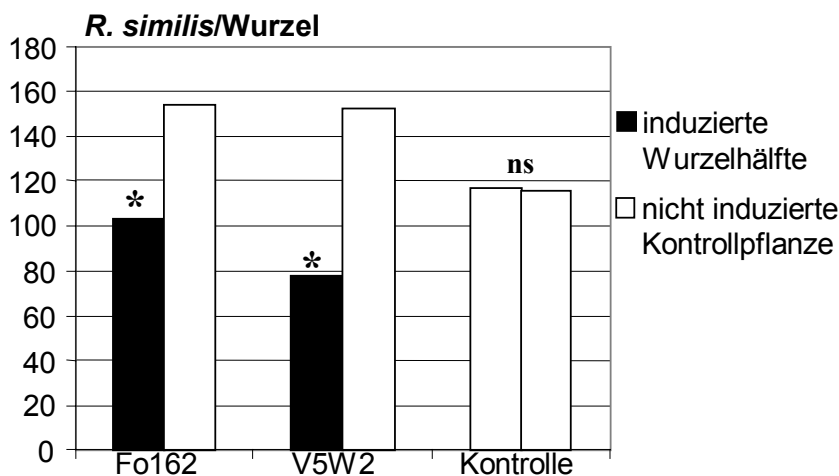


**Abb. 1** Einfluss der induzierten Resistenz durch die *Fusarium oxysporum* Isolate A1, Fo162, V5W2 und *F. cf. diversisporum* Isolat H-20 auf die Eindringung von *Radopholus similis* in Bananenwurzeln 5 und 15 Tage nach Inokulation mit 1000 Nematoden im „split-root“-Testsystem. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach Duncan's Multiple Range Test ( $P \leq 0.05$ ;  $n = 8$ ; nach VU THI THANH, 2005)



**Abb. 2** Einfluss der Behandlung mit den *Fusarium oxysporum* Isolaten A1, Fo162, V5W2 und *F. cf. diversisporum* Isolat H-20 auf die Anlockung und Eindringung von *Radopholus similis* in Bananenwurzeln im „linked Twin Pot“-Testsystem. Mittelwerte mit (\*) sind signifikant verschieden von der nicht induzierten Wurzel nach Student's t-Test ( $P \leq 0.05$ ;  $n = 8$ ; nach VU THI THANH, 2005)

Dass dieser Effekt auch systemisch induziert wurde, zeigten Versuche mit einer Kombination von „split-root“- und „linked Twin Pot“-Attraktivitätstest. Hier konnte VU THI THANH (2005) zum ersten Mal demonstrieren, dass endophytische Pilze systemisch die Attraktivität der Bananenwurzel für *R. similis* verändern und so die Eindringung des Nematoden um bis zu 49% reduzieren können (Abb. 3). Diese Ergebnisse zeigen, dass induzierte systemische Resistenz ein wichtiger Wirkungsmechanismus bei der biologischen Bekämpfung von *R. similis* an Banane ist.



**Abb. 3** Einfluss der induzierten Resistenz durch die *Fusarium oxysporum* Isolate Fo162 und V5W2 auf die Eindringung von *Radopholus similis* in Bananenwurzeln in einem kombinierten „split-root-linked Twin pot“-Testsystem. Mittelwerte mit (\*) sind signifikant verschieden von der nicht induzierten Wurzel nach Student's t-Test ( $P \leq 0.05$ ;  $n = 6$ ; nach VU THI THANH, 2005)

### „In planta“ Suppressivität

Bei der Suche nach neuen, effektiven endophytischen Pilzisolaten, die zur biologischen Bekämpfung von Nematoden im Bananenanbau eingesetzt werden können, wurde in einigen Bananenplantagen in Guatemala eine Suppressivität gegenüber *R. similis*, *Helicotylenchus* spp. und *Meloidogyne* spp. beobachtet (ZUM FELDE et al., 2005). Bei genauerer Untersuchung dieser Standorte drückte sich die Suppressivität in deutlich geringeren Nematodendichten bei gleichzeitig erhöhter Wurzelgesundheit aus (Tab. 1). Die aus Bananenwurzeln dieser Standorte isolierten endophytischen Pilze wurden als *Fusarium oxysporum* und *Trichoderma atroviride* identifiziert und zeigten in Topfversuchen eine hohe Wirksamkeit gegenüber *R. similis* (ZUM FELDE et al., 2006).

**Tabelle 1** Anzahl extrahierter Nematoden und Wurzelgesundheit von Bananenwurzeln aus suppressiven und nicht suppressiven Standorten in Guatemala (verändert nach ZUM FELDE et al., 2005)

Herkunft (Farm)	Anzahl Nematoden/100g Wurzeln			Index Wurzelgesundheit
	<i>R. similis</i>	<i>Helicotylenchus</i> spp.	<i>Meloidogyne</i> spp.	% nekrotisierte Wurzel
El Real	400 a	10.500 a	2.800	3 a
Maya	800 a	3.200 a	600	4 a
Creek	21.800 b	12.600 a	1.000	12 b
Lourdes	51.400 c	22.900 b	500	22 c
			ns	

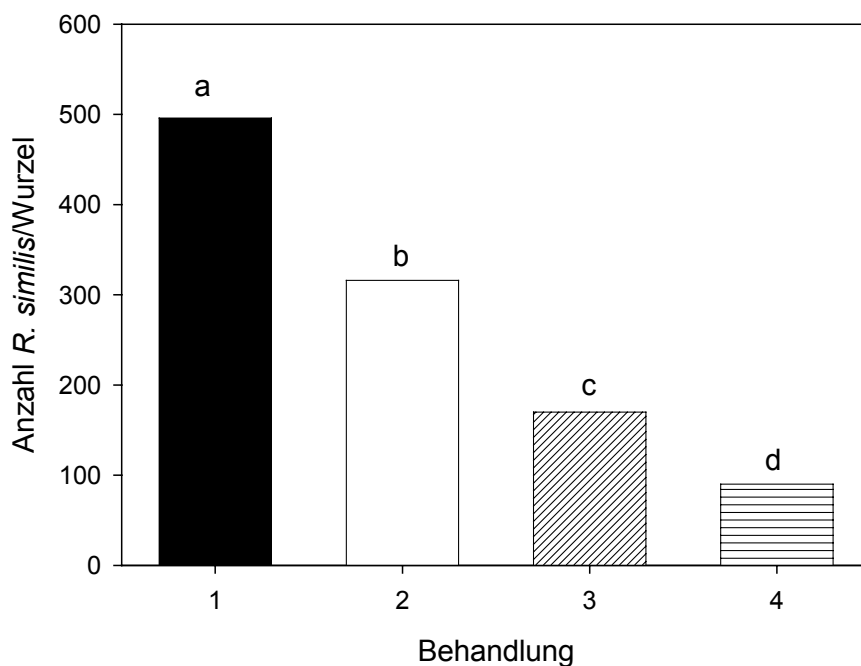
Mittelwerte in einer Spalte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach LSD-Test ( $P \leq 0,05$ ); ns = nicht signifikant

Dass die Suppressivität eines Bodens gegenüber pflanzenparasitären Nematoden auf andere Böden übertragbar ist, wurde bereits in früheren Arbeiten zum antagonistischen Potential von Böden demonstriert (KIEWNICK et al., 1997; PYROWYLAKIS et al., 2002). Ob jedoch eine pflanzenassoziierte Suppressivität ebenfalls übertragbar ist und somit zur biologischen Bekämpfung von Nematoden genutzt werden kann, war bisher noch nicht bekannt. Vorläufige Ergebnisse zeigen recht eindrucksvoll, dass mit endophytischen Pilzen behandelte Bananenpflanzen unter Feldbedingungen gegen Befall mit *R. similis* geschützt sind (POCASANGRE et al., unveröffentlicht). Gleichzeitig konnte erstmals auch gezeigt werden, dass die befallsreduzierende Wirkung der Endophytenapplikation an Tochterpflanzen weitergegeben wurde (ZUM FELDE, 2005 unveröffentlicht). Welche Mechanismen hierbei zu Grunde liegen und ob die endophytischen Pilze sich systemisch in den Pflanzen etabliert haben, muss durch weitere Untersuchungen noch geklärt werden.

### Integrierte Bekämpfung von Nematoden in Bananen

Die Möglichkeit eines Schutzes von Gewebekulturpflanzen mit endophytischen Pilzen vor dem Pflanzen in mit Nematoden verseuchte Flächen bietet eine wirtschaftliche Alternative zum bisherigen Einsatz von chemisch-synthetischen Nematiziden. Jedoch ist diese Bekämpfungsstrategie unter Umständen nicht in allen Situationen ausreichend, um eine Schädigung der Bananen durch Nematoden zu verhindern. Daher ist es nötig, in einem integrierten Ansatz verschiedene Antagonisten mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen zu kombinieren, um eine nachhaltige Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden zu erzielen. Der fakultative, eipathogene Pilz *Paecilomyces lilacinus* Stamm 251 (PL251) ist bereits seit den 1990er Jahren als BIOACT®WG zur Bekämpfung von Nematoden im Bananenanbau in den Philippinen zugelassen (KIEWNICK et al., 2004). Der Stamm 251 hat eine hohe Wirksamkeit gegen die Wurzelgallen nematoden *Meloidogyne incognita* und *M. hapla* (KIEWNICK und SIKORA, 2006a,b). Zur Wirksamkeit gegen *R. similis* lagen jedoch nur wenige Ergebnisse von früheren Versionen kommerzieller Produkte auf der Basis dieses Stammes vor. Neuere Untersuchungen mit einer modifizierten Formulierung dieses Antagonisten zeigten, dass dieser primär als Eipathogen bekannte Pilz auch auf die beweglichen Stadien von *R. similis* eine deutlich reduzierende Wirkung hat. Es zeigte sich, dass eine Bodenbehandlung mit PL251, in Kombination mit einer zweiten Behandlung der Bananenpflanzen vor dem Einpflanzen in mit *R. similis* inokulierter Erde, die Anzahl eingedrungener Nematoden um bis zu 82% reduzierte (Abb. 4). Die Wirksamkeit von PL251 war dabei eindeutig abhängig von der Konidienkonzentration im Boden.

Die genauen Mechanismen, wie PL251 die beweglichen Stadien von *R. similis* beeinträchtigt, sind bisher noch nicht eindeutig geklärt. Fest steht, dass bei einer Bodenbehandlung mit dem Antagonisten bis zu 30% der Nematoden innerhalb von 7 Tagen inaktiviert werden (MENDOZA, 2004). Eine direkte Parasitierung der verschiedenen Nematodenstadien wurde dabei jedoch nicht beobachtet.



**Abb. 4** Wirkung von *Paecilomyces lilacinus* Stamm 251 auf die Eindringung von *Radopholus similis* in Bananenwurzeln. Behandlungen: 1 = unbehandelte, inokulierte Kontrolle; 2 = 0,4 g Produkt/Topf wurden 6 Tage vor dem Einpflanzen der Bananen zusammen mit *R. similis* in den Boden eingearbeitet; 3 = wie Behandlung 2, jedoch wurden zusätzlich 0,4 g Produkt zur Pflanzung in den Boden eingearbeitet; 4 = wie Behandlung 3, jedoch wurden die Bananenpflanzen 24 Stunden vor dem Einpflanzen mit 0,04 g Produkt/Pflanze angegossen. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden nach LSD Test ( $P \leq 0,05$ ,  $n=5$ ; nach KIEWNICK et al., 2004).

## Ausblick

In den vergangenen Jahren konnten vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung antagonistischer Pilze für die biologische Bekämpfung von pflanzenparasitären Nematoden im Bananenanbau aufgezeigt werden. Durch Veränderungen im Anbauverfahren von Bananen, weg von einem mehrjährigen (15-20 Jahre) und hin zu einem einjährigen Anbau, ergeben sich neue Ansätze für einen erfolgreichen, integrierten Bekämpfungsansatz von Nematoden an Bananen. Wie gezeigt wurde, können endophytische Pilze durch eine Reihe von Wirkungsmechanismen die Schädigung der Wurzel durch *R. similis* und anderer Nematodenarten reduzieren. Durch die Umstellung auf jährliche Neupflanzungen von Bananen aus Gewebekultur ist es nun möglich, diese durch den Einsatz von einem oder mehreren Antagonisten zu schützen. Zur weiteren Reduktion der pflanzenparasitären Nematoden kann der Einsatz endophytischer Pilze mit einer Bodenbehandlung mit *P. lilacinus* Stamm 251 kombiniert werden, was die nachhaltige Wirkung der biologischen Bekämpfung deutlich erhöhen würde. Erste Untersuchungen zu diesem Ansatz wurden bereits durchgeführt. Vorstellbar wäre auch der kombinierte Einsatz weiterer Antagonisten mit ergänzenden Wirkungsmechanismen, um langfristig die Verwendung chemisch-synthetischer Nematizide im Bananenanbau deutlich zu verringern.

## Zusammenfassung

Bananen gehören zu den wirtschaftlich bedeutendsten Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen und sind einer Reihe von Schaderregern ausgesetzt, die beträchtliche Ertragsverluste verursachen können. Pflanzenparasitäre Nematoden, wie z. B. *Radopholus similis*, verursachen jedes Jahr große Verluste durch die Schädigung des Primärwurzelsystems, wodurch es zum Totalverlust kommen kann. Das Fehlen von Alternativen zu chemisch-synthetischen Nematiziden, welche zur Zeit trotz ihrer hohen Toxizität für Mensch und Umwelt noch immer regelmäßig zur Bekämpfung von Nematoden eingesetzt werden, ließ es nötig erscheinen, neue Bekämpfungsstrategien für Nematoden im Bananenanbau zu entwickeln. Auf der Suche nach solchen Alternativen konnte gezeigt werden, dass apathogene, endophytisch lebende *Fusarium oxysporum* Isolate in der Lage sind, das Eindringen von Nematoden in die Pflanze und ihre Vermehrung deutlich zu reduzieren. Im Verlauf der letzten 15 Jahre führten intensive Forschungsarbeiten zur Selektion von sehr effektiven endophytischen Pilzen, die auch unter Feldbedingungen in der Lage sind, wirtschaftliche Schäden durch *R. similis* deutlich zu reduzieren bzw. ganz zu verhindern. Die Wirkungsmechanismen beruhen dabei hauptsächlich auf einer systemisch induzierten Resistenz, welche die Anlockung und Eindringung des Nematoden beeinflusst. Neuere Untersuchungen zeigten auch, dass diese Eigenschaft nach einer Inokulation mit Endophyten an Tochterpflanzen weitergegeben werden kann. Auf der Basis dieser Erkenntnisse können nun integrierte Bekämpfungsansätze erarbeitet werden, die eine Kombination von Antagonisten mit verschiedenen Wirkungsmechanismen nutzen, um einen nachhaltigen Schutz der Bananenpflanze zu gewährleisten. Zur Zeit werden Kombinationen von Endophyten mit anderen antagonistischen Pilzen, wie z. B. *Paecilomyces lilacinus* Stamm 251, zur Bekämpfung von *R. similis* eingehender untersucht.

## Summary

Banana is one of the most important crops worldwide in tropical and subtropical countries. The crop is attacked by a range of plant pests that causes severe yield losses every year. Plant parasitic nematodes such as the burrowing nematode *Radopholus similis* can cause significant damage to the primary root system of the banana plant which can result in total loss of the crop due to toppling over. The lack of alternatives to chemical nematicides, which are still widely used regardless their high toxicity to humans and the environment, made it necessary to search for new control measures. It could be demonstrated that endophytic, non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates were able to reduce the penetration and reproduction of plant parasitic nematodes on Banana. Intensive research conducted at Bonn University over the past 15 years resulted in a selection of endophytic fungi with high control potential of *R. similis* on Banana even under field conditions. Induced systemic resistance was identified as the key mode of action responsible for this biological control agent, which mainly affected the attraction and penetration of the nematode. Recent studies indicated that this protection against nematodes is also transferred to a limited extent to daughter plants. Based on this knowledge, new integrated pest management strategies can be developed focusing on the use of antagonists with supplementary modes of action to achieve a longer lasting protection. Currently, studies are underway to investigate the combination of endophytes with other antagonistic fungi such as *Paecilomyces lilacinus* strain 251 for the integrated control of *R. similis* on Banana.

## Literatur

- AMIN, N. (1994): Untersuchungen über die Bedeutung endophytischer Pilze für die biologische Bekämpfung des wandernden Endoparasiten *Radopholus similis* (Cobb) Thorne an Bananen. Dissertation Universität Bonn.
- GOWEN, S.R., P. QUÉNÉHERVÉ, R. FOGAIN (2005): Nematode Parasites of Banana and Plantains. In: Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. M. Luc, R.A. Sikora, J. Bridge (eds). CABI Publishing Wallingford, UK, 611-643.
- GRIESBACH, M., C.S. GOLD, P. SPEIJER, R.A. SIKORA (1996): Fungal endophytes in banana rhizomes and their potential for the control of the banana weevil. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **321**, 607.
- HALLMANN, J., R.A. SIKORA (1994): Occurrence and of plant parasitic nematodes and non-pathogenic species of *Fusarium* in tomato plants in Kenya and their role as mutualistic synergists for biological control of root-knot nematodes. Int. J. Pest Manage. **40**, 321-325.

- KIEWNICK, S., B.J. JACOBSEN, R.A. SIKORA (1997): Structural differences of fungal and bacterial communities in soils with high and low antagonistic potentials. *Phytopathology* **87**(S), 51.
- KIEWNICK, S., A. MENDOZA, R.A. SIKORA (2004): Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* strain 251 for the biological control of the burrowing nematode *Radopholus similis*. *J. Nematology* **36**, 326-327.
- KIEWNICK, S., R.A. SIKORA (2006a): Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* strain 251 for the biological control of the northern root-knot nematode *Meloidogyne hapla* Chitwood. *Nematology* **8**, 69-78.
- KIEWNICK, S., R.A. SIKORA (2006b): Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. *Biol. Control.* im Druck (doi:10.1016/j.biocontrol.2005.12.006).
- MENDOZA, A. (2004): Biological control of the burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne in banana (*Musa* spp.) with *Paecilomyces lilacinus* strain 251. MSc. Thesis Universität Bonn.
- NIERE B.I., P.R. SPEIJER, C.S. GOLD, R.A. SIKORA (1999): Fungal endophytes from bananas for the biocontrol of *Radopholus similis*. In: Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa (E.A. FRISON, C.S. GOLD, E.B. KARAMURA, R.A. SIKORA, eds). INIBAP, Montpellier, France, 313-318.
- POCASANGRE, L., V. VILICH, R.-P. SCHUSTER, R.A. SIKORA (1998): Biological control of the Panama wilt disease of banana (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) with fungal endophytes. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **357**, 348.
- PYROWOLAKIS, A., A. WESTPHAL, R.A. SIKORA, J.O. BECKER (2002): Identification of root-knot nematode suppressive soils. *Appl. Soil Ecology* **19**, 51-56.
- REISSINGER, A. (1995): Investigations on the activity of endophytic fungi of banana on *Radopholus similis*. Diplomarbeit Universität Bonn.
- SCHUSTER, R.-P., R.A. SIKORA, N. AMIN (1995): Potential of endophytic fungi for the biological control of plant parasitic nematodes. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* **60** (3b), 1047-1052.
- SIKORA R.A., R.-P. SCHUSTER (1999): Novel approaches to nematode IPM. In: Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa (E.A. FRISON, C.S. GOLD, E.B. KARAMURA, R.A. SIKORA, eds). INIBAP, Montpellier, France, 127-136.
- SIKORA, R.A., B.I. NIERE, J. KIMENJU (2003): Endophytic microbial biodiversity and plant nematode management in African agriculture. In: Biological control in IPM systems in Africa. (P. NEUENSCHWANDER, C. BORGEMEISTER, J. LANGEWALD, eds). CABI Publishing Wallingford, UK, 179-192.
- SPEIJER, P. (1993): Interrelationship between *Pratylenchus goodeyi* Sher & Allen and strains of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* Schl. emd. Snyder & Hans. in roots of two banana cultivars. Dissertation Universität Bonn.
- VU THI THANH, T. (2005): Modes of action of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes for bio-enhancement of banana toward *Radopholus similis*. Dissertation Universität Bonn.
- ZUM FELDE, A., L. POCASANGRE, R.A. SIKORA (2005): The potential use of microbial communities inside suppressive banana plants for banana root protection. In: Banana Root System: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an international symposium. (D.W. TURNER, F.E. ROSALES, eds). INIBAP, Montpellier, France, 169-177.
- ZUM FELDE, A., L. POCASANGRE, C.A. CARNIZARES MONTEROS, R.A. SIKORA, F.E. ROSALES, S. RIVEROS (2006): Effects of combined inoculations of endophytic fungi on biocontrol of the burrowing nematode (*Radopholus similis*) and banana plant growth. *Info Musa*, im Druck.