

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



**Institut für
Nematologie und Wirbeltierkunde:**

50 Jahre Forschung am Standort Münster

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

Heft 317

Berlin 1996

*Herausgegeben
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem*

Parey Buchverlag Berlin
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3121-4

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde: <Münster, Westfalen >:

Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde: 50 Jahre Forschung am Standort Münster / Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde. Hrsg. von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem.– Berlin; Parey Buchverlag Berlin [in Komm.], 1996.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 317)

ISBN 3-8263-3121-4

NE: HST; Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft <Berlin; Braunschweig>:

Mitteilungen aus der...

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

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 photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei 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 Urheberrechtsgesetzes.

1996 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin

| Inhalt | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | 7 |
| Geschichte | |
| Müller, J. | 10 |
| Vom Hackfruchtbau zu Nematologie und Wirbeltierkunde: 50 Jahre Institutsgeschichte | |
| Biologie und Ökologie | |
| Pelz, H.-J. & Sturhan, D. | 22 |
| Aussichten einer biologischen Bekämpfung von Nagetieren mit Nematoden | |
| Sturhan, D. | 35 |
| Jahreszeitliches Vorkommen, Horizontal- und Vertikalverteilung entomopathogener Nematoden auf einer Ackerfläche | |
| Winkelheide, R. & Sturhan, D. | 46 |
| Untersuchungen zur Wirtsspezifität eines <i>Pasteuria</i> -Isolates von <i>Heterodera goettingiana</i> | |
| Weischer, B. | 54 |
| Nematoden als Parasiten von Pflanzen und Tieren - evolutionsgeschichtliche Betrachtungen | |
| Taxonomie und Diagnose | |
| Sturhan, D. | 66 |
| Über die Rolle traditioneller Taxonomie und die Bedeutung der „Deutschen Nematodensammlung“ | |
| Sturhan, D. & Rumpfenhorst, H.J. | 75 |
| Untersuchungen über den <i>Heterodera avenae</i> -Komplex | |
| Sturhan, D. | 92 |
| Die Getreide- und Gräserzystennematoden <i>Heterodera hordecalis</i> und <i>H. bifenestra</i> in Deutschland | |

Resistenz

| | | |
|--------------------------|---|-----|
| Müller, J. & Klinke, A. | Selektion virulenter Populationen von <i>Heterodera schachtii</i> und ihre Nutzung zur Charakterisierung von Resistenzgenen in <i>Beta</i> -Rüben | 102 |
| Eschert, H. | Molekularbiologische Untersuchungen zur Pathotypendifferenzierung bei <i>Heterodera schachtii</i> | 117 |
| Schlang, J. & Müller, J. | Zuckerrüben mit Resistenz gegen <i>Heterodera schachtii</i> : Abundanzdynamik des Nematoden und Ertragsleistung im Feldversuch | 129 |
| Schlang, J. | Zur Eignung verschiedener Buchweizenarten und -sorten als resistente Zwischenfrucht zur biologischen Bekämpfung von <i>Heterodera schachtii</i> | 141 |
| Müller, J. | Untersuchungen zur Resistenz von <i>Heterodera schachtii</i> gegen Aldicarb | 152 |
| Müller, J. & Pelz, H.-J. | Resistenz bei Nematoden und Wirbeltieren gegen chemische Bekämpfungsmittel - ein Vergleich der biologischen Grundlagen | 160 |

Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt

| | | |
|---|---|-----|
| Gemmeke, H. | Untersuchungen zur Gefährdung von Eulen bei der Nagetierbekämpfung mit Rattenködern (Rodentizide) | 175 |
| Gemmeke, H. | Untersuchungen zur Gefährdung von Igeln durch vergiftete Ackerschnecken | 185 |
| Niemann, R., Arens, M., Koczwar, K. & Sturhan, D. | Untersuchungen über die Eignung von Nematoden zur Gütebewertung von Fließgewässern | 195 |

Pflanzenschutzrecht und Verordnungen

| | | |
|-------------|--|-----|
| Große, E. | Gesetzliche Regelungen und Praxis der Bekämpfung der Kartoffelnematoden (<i>Globodera rostochiensis</i> und <i>G. pallida</i>) in der ehemaligen DDR | 209 |
| Pelz, H.-J. | Zur Geschichte der Bisambekämpfung in Deutschland | 219 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Zeittafel | | 235 |
|------------------|--|-----|

Institute for Nematology and Vertebrate Research: 50 Years of Research in Münster

| | | page |
|----------------------------------|---|------|
| Contents | | |
| Preface | | 7 |
| History | | |
| Müller, J. | From root crop problems to nematodes and vertebrates: 50 years Institute for Nematology and Vertebrate Research | 10 |
| Biology and ecology | | |
| Pelz, H.-J. & Sturhan, D. | Prospects for biological control of rodents using nematodes | 22 |
| Sturhan, D. | Seasonal occurrence, horizontal and vertical dispersal of entomopathogenic nematodes in a field | 35 |
| Winkelheide, R. & Sturhan, D. | Studies on host specificity of a <i>Pasteuria</i> isolate from <i>Heterodera goettingiana</i> | 46 |
| Weischer, B. | Nematodes as parasites of plants and animals - evolutionary reflections | 54 |
| Taxonomy and diagnosis | | |
| Sturhan, D. | On the significance of traditional taxonomy and the importance of the "German Nematode Collection" | 66 |
| Sturhan, D. & Rumpfenhorst, H.J. | Studies on the <i>Heterodera avenae</i> complex | 75 |
| Sturhan, D. | The cereal and grass cyst nematodes <i>Heterodera hordecalis</i> and <i>H. bifenestra</i> | 92 |

Resistance

| | | |
|--------------------------|--|-----|
| Müller, J. & Klinke, A. | Selection of virulent <i>Heterodera schachtii</i> populations and their use in characterizing resistance genes in the genus <i>Beta</i> | 102 |
| Eschert, H. | An investigation to differentiate pathotypes of <i>Heterodera schachtii</i> by molecular methods | 117 |
| Schlang, J. & Müller, J. | Resistance in sugar beet to <i>Heterodera schachtii</i> : Nematode population dynamics and sugar beet yield under field conditions | 129 |
| Schlang, J. | On the suitability of different buckwheat species and varieties as resistant catch crops for biological control of <i>Heterodera schachtii</i> | 141 |
| Müller, J. | Investigations on aldicarb resistance in <i>Heterodera schachtii</i> | 152 |
| Müller, J. & Pelz, H.-J. | Resistance of nematodes and rodents to chemical agents - a comparison of the biological principles | 160 |

Plant protection products and environment

| | | |
|--|--|-----|
| Gemmeke, H. | Investigations on the hazard of rodenticides to owls | 175 |
| Gemmeke, H. | Investigations on the hazard of poisoned slugs to hedgehogs | 185 |
| Niemann, R., Arens, M., Koczwara, K. & Sturhan, D. | Studies on the potential of nematodes for evaluating the quality of flowing waters | 195 |

Plant protection legislation and orders

| | | |
|-------------|--|-----|
| Große, E. | Legal regulations and practical conditions for the control of potato cyst nematodes (<i>Globodera rostochiensis</i> and <i>G. pallida</i>) in the former DDR | 209 |
| Pelz, H.-J. | On the history of muskrat control in Germany | 219 |

Chronological table

235

Vorwort

Während der Sitzung des Deutschen Pflanzenschutzdienstes im September 1946 in Bad Iburg wurde der Beschluß gefaßt, innerhalb der damaligen Biologischen Zentralanstalt eine "Dienststelle Westfalen" mit Sitz in Münster zu gründen. Dies war die Geburtsstunde des heutigen Instituts für Nematologie und Wirbeltierkunde. Seine Aufgaben und Arbeitsschwerpunkte haben sich in der nun fünfzigjährigen Geschichte deutlich gewandelt: Aus einer breit angelegten, auf den Hackfruchtbau bezogenen Arbeit sind zwei Fachgebiete mit Spezialisierung auf verschiedene Gruppen tierischer Schaderreger hervorgegangen.

Die Nematologie hat sich seit 1950 aus bescheidenen Anfängen schon bald zu einem anerkannten fachlichen Zentrum in Deutschland entwickelt. Dagegen war die Wirbeltierkunde innerhalb der BBA zunächst an verschiedenen Orten und mit wenig Personal angesiedelt, ja sie wurde zeitweise ganz aufgegeben. Erst aus der Erfahrung heraus, daß die vielfältigen Probleme so nicht zu lösen waren, kam es zur Neugründung des Fachgebietes am Standort Münster. Inzwischen ist auch dieser zweite Schwerpunkt zu einer eigenständigen Einheit im Institut herangewachsen. Nematologie und Wirbeltierkunde befassen sich zwar mit sehr unterschiedlichen Tiergruppen, es gibt aber dennoch viele Verbindungen zwischen beiden Fachgebieten. Einige Artikel dieses Heftes behandeln solche fachübergreifenden Themen. Sie sind Ausdruck dafür, daß ein ständiger Gedankenaustausch über grundlegende zoologische Fragen die Kolleginnen und Kollegen zusammengeführt hat.

Die heutigen Arbeitsbereiche sind durchweg Aufgaben, die sich aus dem Pflanzenschutzgesetz ableiten. Nur ein Team aus Spezialisten, die ihre Kenntnisse durch intensive begleitende Forschung erwerben, kann diese Aufgaben erfüllen. Besonders in den Bereichen Resistenzforschung, Ökologie und Systematik sowie Umweltschutz und Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf den Naturhaushalt stellt das Institut in Münster spezifisches Fachwissen bereit, das für eine nachhaltige Landbewirtschaftung sowie für Natur- und Verbraucherschutz auch in Zukunft unverzichtbar sein wird. In Deutschland gibt es keine andere Institution, in der diese Thematik in den Fachgebieten Nematologie und Wirbeltierkunde langfristig bearbeitet wird. Um so wichtiger ist es, das vorhandene Fachwissen zu erhalten und weiterzuentwickeln.

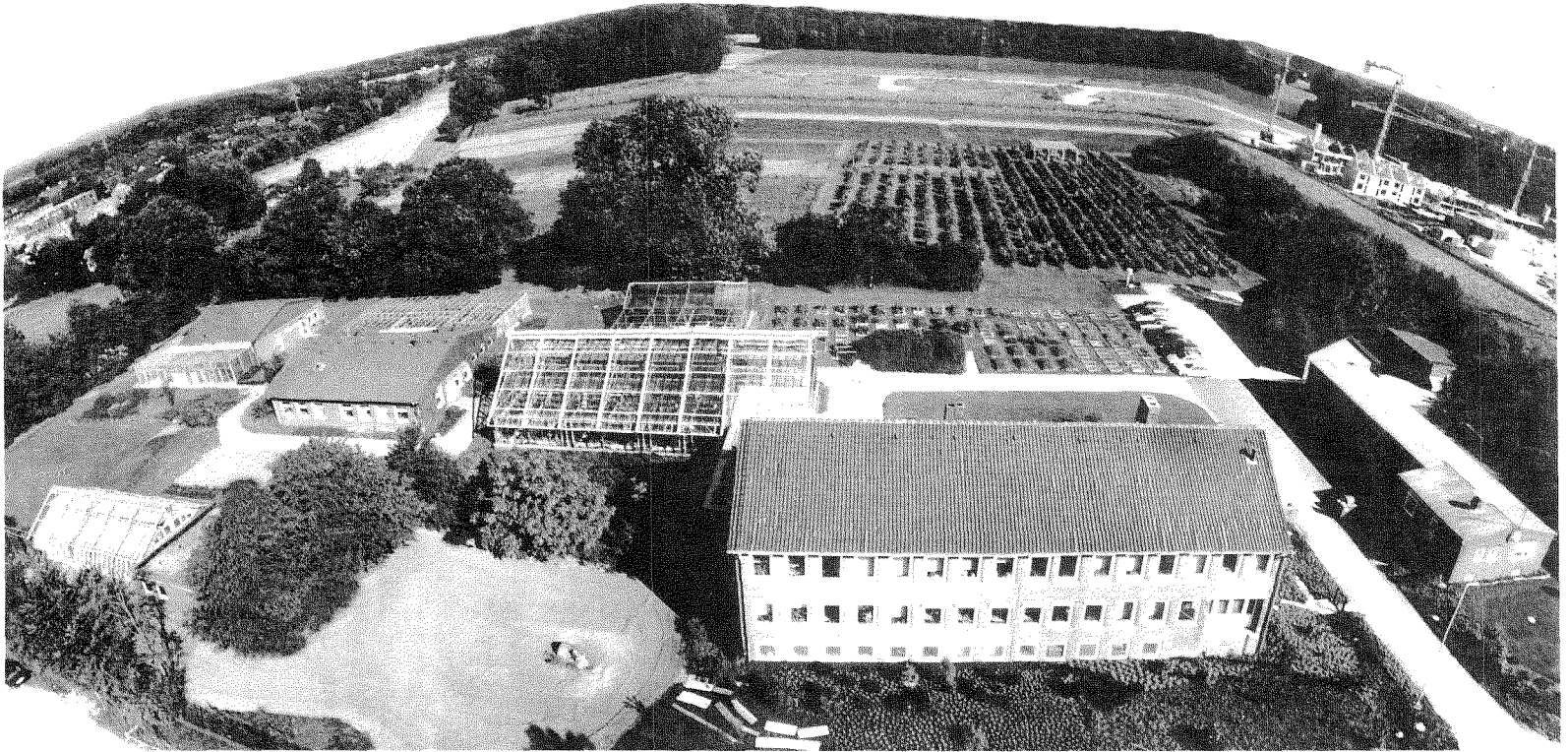
Die Beiträge in diesem Heft zeigen einen Ausschnitt aus dem Gesamtgebiet der Institutsarbeit. Voraussetzung für diese Arbeit und wichtige Basis für die Zukunft ist eine Gruppe qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Diese haben mit viel persönlichem Einsatz dazu beigetragen, daß sich Nematologie und Wirbeltierkunde in der Biologischen Bundesanstalt zum heutigen Stand entwickeln konnten.



Prof. Dr. Fred Klingauf
Präsident und Professor
der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft



Direktor und Prof. Dr. Joachim Müller
Leiter des Instituts für Nematologie
und Wirbeltierkunde



Das Institut mit seinen Gebäuden und Versuchsflächen.....

.....und seinen Mitarbeitern im Jahre 1996



Vom Hackfruchtbau zu Nematologie und Wirbeltierkunde: 50 Jahre Institutsgeschichte

From root crop problems to nematodes and vertebrates:
50 years Institute for Nematology and Vertebrate Research

JOACHIM MÜLLER

Abstract

The Institute for Nematology and Vertebrate Research was founded one year after World War II as "Institut für Hackfruchtbau" of the Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. In 1996 it celebrates its 50th anniversary.

The institute was first located at Peckeloh near Versmold. Since 1949 several rooms of a villa in Münster-Kinderhaus were used, until today's main building was inaugurated in Münster-Gievenbeck in 1960. The substation in Elsdorf/Rheinland was founded as early as 1947. Its research was focussed on practical trials on virus yellowing of sugar beet, whereas in Münster other diseases and pests of root crops were investigated. In the nineteenfifties the emphasis of research changed to nematology, which then became the central field of work for two decades. With some delay the institute's name changed accordingly to "Institut für Hackfruchtkrankheiten und Nematodenforschung" in 1958 and to "Institut für Nematologie" in 1977.

Vertebrate research became part of the responsibility of the institute in 1979. Its work is focussed on the prevention of damage by rodents, but also on the impact of side-effects of plant protection agents on vertebrates. Two new buildings with special laboratory equipment and outdoor enclosures offer excellent conditions for these studies. The enlarged research basis of the institute required another change of its name to "Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde" in 1986.

To support the increasing task of official resistance testing of cultivars against nematodes, at Kleinmachnow (near Berlin) a second substation was affiliated to the institute in 1991.

Keywords: nematology, vertebrate research, plant protection, history

Die Abwehr von Schäden durch Tiere war für die Menschen sicherlich seit Beginn des Ackerbaus eine Herausforderung. Zoologische Forschungsthemen haben auch in der Biologischen Reichsanstalt seit ihrer Gründung eine wichtige Rolle gespielt. Die „Denkschrift, betreffend die Errichtung einer biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft beim kaiserlichen Gesundheitsamt“ von 1897 zeigt mit ihrer Auflistung tierischer

Schädlinge, daß es vor 100 Jahren viele ungeklärte Probleme gab. Bedeutende Wissenschaftler haben seit Beginn der Anstaltsgeschichte über Wirbeltiere gearbeitet, meist als Einzelkämpfer, die an verschiedenen Instituten tätig waren. Zur Gründung eines eigenständigen Fachgebietes „Wirbeltierkunde“ kam es erst in der jüngeren Geschichte der Biologischen Bundesanstalt.

Auch die Nematologie war bei

Gründung der Biologischen Reichsanstalt zunächst kein selbständiges Fachgebiet. Seit der Entdeckung des Rüben nematoden im Jahre 1859 - und den verheerenden Schäden im Zuckerrübenbau in dieser Zeit - hatte die Nematodenforschung zwar eine herausragende Bedeutung, zur Gründung eines Fachinstitutes kam es in der Reichsanstalt aber noch nicht.

Dauerhaft konnte sich die Arbeit über pflanzenparasitäre Nematoden erst mit H. GOFFART etablieren, der 1925 in die Biologische Reichsanstalt eintrat und sich dort bereits in Berlin-Dahlem im „Laboratorium für allgemeinen Pflanzenschutz“ für das Spezialgebiet interessierte, welches ihn dann zeitlebens gefesselt hat. Wegen der ungünstigen Voraussetzungen des Standortes Berlin für Feldversuche wechselte er 1930 in die Zweigstelle Kitzberg bei Kiel über, für die noch der letzte Geschäftsverteilungsplan der Biologischen Reichsanstalt als eines der drei Aufgabengebiete die „Erforschung und Bekämpfung der Nematodenkrankheiten“ ausweist.

Aus der Zeit der Institutsgründung

Die erste selbständige Einheit im Rang eines Institutes, der lange Zeit ausschließlich die Nematologie als Aufgabengebiet übertragen war, entwickelte sich am Standort Münster. Bald nach Kriegsende hatten sich H. WARTENBERG, A. HEILING und W. STEUDEL, drei ehemalige Mitarbeiter der Biologischen Reichsanstalt, bei der Provinzialregierung in der britischen Zone um eine Wiedereinstellung bemüht. Sie erhielten den Auftrag,

eine Dienststelle Westfalen aufzubauen, ohne daß allerdings ein Dienstsitz vorhanden war, und auch das Aufgabengebiet war noch nicht definiert worden. WARTENBERG verließ Münster bald wieder, um die Leitung einer Zweigstelle der Biologischen Zentralanstalt in Naumburg zu übernehmen. HEILING und STEUDEL nahmen schließlich im September 1946 an einer Tagung der Pflanzenschutzdienststellen in Bad Iburg teil, bei der die für das spätere Institut wesentlichen Entscheidungen getroffen wurden. Die Dienststelle Westfalen sollte ihren Sitz zunächst in Peckeloh bei Versmold erhalten, wo in einer Fleischwarenfabrik ein Laborraum zur Verfügung stand.

Fachlich sollte sich die Arbeit auf Hackfruchtkrankheiten konzentrieren, und der Name der neuen Dienststelle sollte „Institut für Hackfruchtbau“ sein. Mit dieser Entscheidung war die Geburtsstunde des Instituts festgelegt.

STEUDEL hatte kaum Gelegenheit, am Standort Versmold mit der Arbeit zu beginnen, denn er wurde schon bald im Rheinland gebraucht. HEILING dagegen bezog im Herbst 1946 das Labor in der Fabrik bei Versmold, wo er zunächst der einzige Wissenschaftler war. Im Winter 1946/47 wur-



A. HEILING



F. BURCKHARDT

de dann Frau F. BURCKHARDT eingestellt, allerdings vorerst als technische Assistentin. Zunächst wurden phytopathologische Probleme im Hackfruchtbau bearbeitet, die mit Nematoden noch nichts zu tun hatten.

Die „Außenstelle Elsdorf“ entsteht

Bei der Tagung in Bad Iburg wurde über große Probleme mit der Vergilbungskrankheit im rheinischen Zuckerrübenbau berichtet. Da Zuckerrübenkrankheiten in den Aufgabenbereich des Institutes für Hackfruchtbau fielen, wurde die Erforschung der virösen Vergilbung einschließlich der Entwicklung von Abwehrmaßnahmen auf STEUDEL übertragen. Er erhielt einen Raum in der Zuckerfabrik Elsdorf, den er am 1. Februar 1947 bezog.



W. STEUDEL

Dieser Tag ist also der Geburtstag der Außenstelle. Die ersten Arbeiten mußten unter harten Bedingungen im Rübenlabor der Zuckerfabrik durchgeführt werden, wobei für die Betreuung der Außenversuche nur ein Fahrrad zur Verfügung stand. Seit 1948 unterstützte die Zuckerindustrie STEUDEL'S Forschungen durch einen Arbeiter und eine technische Assistentin, und seit 1950 stellt der Rheinische Rübenbauer-Verband der Außenstelle einen PKW zur Verfügung. Im Jahr 1960 siedelte die Außenstelle in das neubaute Bürohaus der Zuckerfabrik über und konnte dann 1968 die jetzigen großzügigen Räume beziehen.

Umzug in die „Villa Zimmermann“

Auch in der Fabrik bei Versmold war die räumliche Situation äußerst bescheiden. Die Arbeitsbedingungen verbesserten sich deutlich, als die Dienststelle am 1. Juni 1949 nach Münster in ein Nebengebäude der „Villa Zimmermann“ an der Grevener Straße verlegt wurde. Hier standen 11 Räume und ein Versuchsfeld zur Verfügung, was unter den damaligen Verhältnissen ein großer Fortschritt war. H. GOFFART, der nach dem Krieg seine Arbeit an der Zweigstelle in Kitz-



H. GOFFART

berg wieder aufgenommen hatte, wurde Leiter des Institutes in Münster.

Dies bedeutete gleichzeitig die Aufnahme nematologischer Forschung in das Arbeitsprogramm. Der Name „Institut für Hackfruchtbau“ blieb aber noch bestehen, denn erst 1958 erfolgte die Umbenennung in „Institut für Hackfruchtkrankheiten und Nematodenforschung“. Auf lange Sicht war die räumliche Situation aber auch an diesem ersten Standort in Münster noch äußerst unbefriedigend. So war es dann wirklich ein Markstein in der Institutsgeschichte, als nach langen Verhandlungen ein geeignetes Gelände für ein neues Institutsgebäude auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz am Toppheideweg gefunden wurde.

Der endgültige Standort in Münster-Gievenbeck

Das Gelände am Toppheideweg lag damals weit vor den Toren der Stadt. An einem Standort „auf der grünen Wiese“, fern der nächsten Wohnbebauung, konnten Planung und Bauausführung ganz auf die spezifischen Bedürfnisse eines Forschungsinstituts ausgerichtet werden. Am 28. Juni 1960 wurde das neue Haus eingeweiht, ergänzt durch drei Gewächshäuser sowie ein Versuchsfeld auf dem insgesamt etwa drei Hektar großen Gelände. Am 1. Januar 1960 waren am Institutsstandort Münster vier Wissenschaftler, vier technische Kräfte, eine Verwaltungsangestellte und drei Lohnempfänger beschäftigt. Gemessen an diesem Personalbestand waren die Laborräume großzügig ausgelegt. Nach vierzehnjähriger Arbeit unter schwierigen Bedingungen war

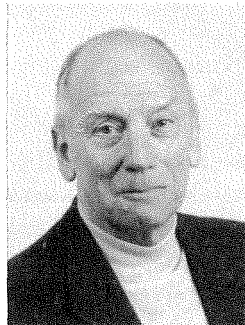
endlich ein modernes Institut und damit die Basis für eine effiziente Forschung geschaffen worden.

GOFFART war noch 1954, nach dem Eintritt von Frau R. THIELEMANN in die Außenstelle Elsdorf, von insgesamt fünf Wissenschaftlern auf Planstellen der einzige Nematologe, der das gesamte Fachgebiet betreuen mußte.



R. THIELEMANN

Erst mit der Übernahme von B. WEISCHER (1955) und D. STURHAN (1964) auf Planstellen war eine Spezialisierung möglich.



B. WEISCHER

GOFFART vertiefte seine Arbeit über Kartoffelnematoden, damals noch *Heterodera rostochiensis*. Es war die erste Phase der Datensammlung über Vorkommen, Ausbreitung und Schadensabwehr. Züchtern war es gelungen, ein Resistenzgen aus *Solanum*

tuberosum ssp. *andigena* in Kultursorten zu übertragen, was umfassende Feldversuche nach sich zog. Optimismus breitete sich aus angesichts anfänglich beachtlicher Erfolge; doch das Dilemma mit den resistenzbrechenden Pathotypen begann schon unter GOFFART, und es beschäftigt noch heute die Nachfolger.



D. STURHAN

Die Nematologie wird Forschungsschwerpunkt

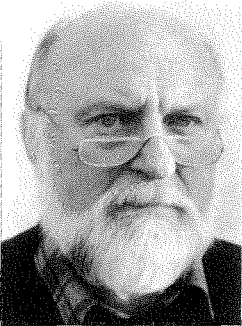
Das neue Institutsgebäude brachte nicht nur bessere Arbeitsbedingungen, es konnten hier erstmals auch Versammlungen und Kurse organisiert werden. Zahlreiche Gäste aus dem In- und Ausland kamen, um Forschungsergebnisse auszutauschen und zu diskutieren. Es fanden Schulungskurse alternierend für Wissenschaftler und Techniker der Pflanzenschutzämter, der Universitäten und der Industrie statt, und die erste „Arbeitstagung Nematologie“ wurde vom 4.-6. Dezember 1962 im neuen Institutsgebäude abgehalten. In Münster entstand nun wirklich ein Zentrum nematologischer Forschung. Weitere Tagungen folgten 1965 und 1969 auf Initiative des Instituts hin, bis diese Veranstaltungen ab 1972 als Arbeitskreis der Deutschen

Phytomedizinischen Gesellschaft durchgeführt wurden. Auch in diesem Rahmen traf sich der Kreis deutscher Nematologen nun schon viermal in Münster. Die Stellung des Instituts als nematologisches Zentrum geht nicht zuletzt auch auf die Tatsache zurück, daß nahezu jeder deutsche und auch zahlreiche ausländische Nematologen hier die ersten Grundlagen in ihrem Fachgebiet erworben haben, teils als Einzelbesucher, teils als Teilnehmer an den immer noch sehr gefragten Bestimmungskursen.

Zu Beginn dieser Epoche waren aber außer GOFFART nur zwei weitere Wissenschaftler nematologisch tätig. WEISCHER bearbeitete schwerpunktmäßig die Probleme mit wandernden Wurzelnematoden, einer Gruppe, deren Bedeutung für viele Kulturpflanzenarten damals gerade erst erkannt wurde. Eine aufregende Zeit begann, als nachgewiesen wurde, daß einige Arten dieser Gruppe Viren übertragen können. Grundlegende Untersuchungen zu diesem Problemkreis folgten nun: Die Verbreitung der Vektoren in Rebanlagen wurde untersucht, neue Arten wurden gefunden und beschrieben. STURHAN bewies von Beginn an, daß es keine Nematodenart gibt, die ihn nicht interessiert. Schwerpunkte waren Untersuchungen zur Verbreitung und zur Systematik zahlreicher Arten, besonders aber das Rassenproblem bei *Ditylenchus dipsaci*.

Nach dem Tode GOFFARTs im Januar 1965 und dem Wechsel der Institutsleitung an STEUDEL konzentrierte sich das Aufgabengebiet ausschließlich auf die Nematologie, deren Bedeutung für Landwirtschaft und Gartenbau jetzt deutlich erkannt worden war. Die fachliche Spezialisierung er-

forderte auch eine entsprechende personelle Besetzung. Mit der Einstellung von H.J. RUMPENHORST (1969) hatte das Institut schließlich sechs Wissenschaftler, die ihre Arbeit der nematologischen Forschung widmeten. STEUDEL führte zusammen mit THIELEMANN langfristige Fruchtfolgeversuche über *Heterodera schachtii* in Zuckerrüben durch. Noch heute sind die daraus gewonnenen Erkenntnisse zur Schadensschwelle sowie zur Abundanzdynamik des Nematoden eine wertvolle Hilfe bei der Entwicklung integrierter Bekämpfungskonzepte. BURCKHARDT übernahm Untersuchungen über *Aphelenchoides* spp., und RUMPENHORST befaßte sich mit dem komplexen Problem der Auftrennung des Kartoffelnematoden in Arten und Pathotypen. In Zusammenarbeit mit Spezialisten anderer europäischer Länder wurde ein Pathotypen-Schema entwickelt, welches die wissenschaftliche Grundlage war für die „Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelnematoden“ von 1972.



H.J. RUMPENHORST

Die Weichen werden neu gestellt

Als STEUDEL 1976 ausschied, übernahm WEISCHER die Institutsleitung, und in die frei gewordene Stelle wurde

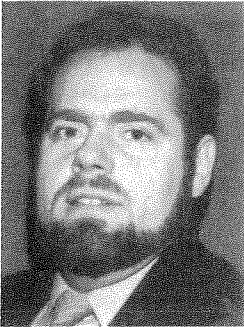
J. MÜLLER übernommen. STEUDEL war mit der Nematologie inzwischen so verwachsen, daß er dem Institut als „freier Mitarbeiter“ erhalten blieb. Mit großer Begeisterung widmete er sich der Aufarbeitung all der Versuchsda-



J. MÜLLER

ten, die sich in den Jahren zuvor angesammelt hatten. In diese Zeit (1977) fällt auch eine erneute Änderung des Namens in „Institut für Nematologie“, die von den übertragenen Aufgaben her schon zwölf Jahre früher hätte kommen können. Unter WEISCHERS Leitung konnte die Funktion des Instituts als nematologisches Zentrum in Deutschland auch international dokumentiert werden, indem 1978 das Symposium der "European Society of Nematologists" (ESN) und 1984 der "EPPO Workshop on Cyst Nematodes" organisiert wurden.

Die Nematologie stand weiterhin im Mittelpunkt, aber erste Anzeichen einer Veränderung zu neuen Strukturen hin waren unverkennbar. In Elsdorf hatte THIELEMANN die Außenstelle seit 1965 als einzige Wissenschaftlerin vertreten; diese Stelle konnte bei ihrem Ausscheiden 1982 mit J. SCHLANG neu besetzt werden. In Münster mußten im Zuge der Konsolidierung des Bundeshaushalts aber Stellen eingespart werden, darunter



J. SCHLANG

1978 mit dem Ausscheiden von BURCKHARDT auch eine Wissenschaftlerstelle.

Umstrukturierungen bahnten sich innerhalb der Biologischen Bundesanstalt insgesamt an. Unter anderem war es immer dringlicher geworden, das vakante Fachgebiet Wirbeltierkunde neu zu beleben. Da es eine allgemein zoologisch ausgerichtete Einheit in der BBA damals nicht mehr gab, mußte der eine zunächst dafür vorgesehene Wissenschaftler irgendeinem Institut zugeordnet werden. Die Entscheidung für Münster hat die weitere Entwicklung dieses Institutes wesentlich geprägt.

Wirbeltierforschung in der BBA vor 1979

Nach dem zweiten Weltkrieg war es F. FRANCK, der sich am Institut für Grünlandforschung der Biologischen Bundesanstalt in Oldenburg schwerpunktmäßig mit den biologischen und ökologischen Grundlagen der Bekämpfung freilebender Nagetiere, insbesondere Feldmaus und Erdmaus, befaßte. Mit der Auflösung des Instituts im Jahre 1968 fanden diese Ansätze einer Wirbeltierforschung in der BBA je-

doch zunächst ein Ende. Da die Probleme mit Wirbeltieren in der praktischen Landwirtschaft aber keineswegs an Bedeutung verloren hatten, forderte der Deutsche Pflanzenschutzdienst immer wieder, die Forschung auf diesem Gebiet nicht zu vernachlässigen. Schließlich kam es zur Gründung einer Arbeitsgruppe, die in ihrer „Erhebung über die von Säugetieren und Vögeln in der Bundesrepublik Deutschland an Kulturpflanzen verursachten Schäden“ (1978) Ursprung und Zielsetzung ihrer Arbeit wie folgt beschreibt:

„Die Diskussion über die Notwendigkeit einer intensiveren Behandlung des Wirbeltierproblems aus der Sicht des Pflanzenschutzes trat in eine neue Phase, als auf der Pflanzenschutztagung 1975 in Oldenburg angeregt wurde, eine Arbeitsgruppe unter Federführung der BBA zu bilden. Diese sollte eine Bestandsaufnahme vornehmen und Empfehlungen für die künftige Bearbeitung dieser Problematik ausarbeiten. Die BBA griff diese Anregung auf, so daß diese Arbeitsgruppe bereits einen Monat später zu ihrer ersten Besprechung zusammentreten konnte. Ihr gehörten Sachverständige aus BBA, Pflanzenschutzdienst der Länder, Forstschutz-Instituten, Wildforschungs-Instituten, Vogelschutzwarten und der Pflanzenschutzmittel herstellenden Industrie an.

Ziel der Arbeitsgruppe war es zunächst, für jede potentiell schädliche Wirbeltierart die wirtschaftliche Bedeutung möglichst genau zu ermitteln und das zur Abwendung der von ihr hervorgerufenen Schäden Bekannte zusammenzutragen..... Schließlich sollte eine fundierte Aussage über die wirtschaftliche Bedeutung der durch Säugetiere und Vögel verursachten Schäden gemacht werden sowie auch darüber, ob es zweckmäßig sei, den gesamten Fragenkomplex in einem eigens da-

für einzurichtenden Institut zu bearbeiten.“

Der Bericht schließt mit Anregungen zur Verbesserung von Forschung und Beratung, worin es u. a. heißt:

„In der Bundesrepublik Deutschland wird ein materiell und personell hinreichend ausgestattetes Institut benötigt, das im wesentlichen folgende Aufgaben hat:

- Grundlagenforschung zum Problembereich „Schäden durch Vögel und Säugetiere an Kulturpflanzen“.
- Entwicklung von Methoden zur Prognose, zur Schadensdiagnose, zur Schadenserfassung und zur Schadensbeurteilung.
- Durchführung langfristiger praxisorientierter Untersuchungen einschließlich der Entwicklung integrierter Abwehrsysteme.
- Beratung anderer Institutionen, besonders der Pflanzenschutzdienststellen, auf diesem Spezialgebiet des Pflanzenschutzes.
- Zusammenarbeit mit entsprechenden Forschungseinrichtungen des Staates und der Wirtschaft.

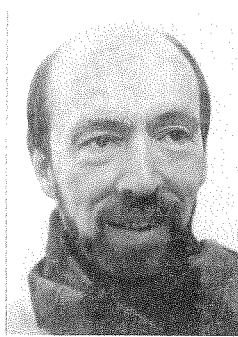
Es liegt nahe, ein solches Institut bei der BBA anzusiedeln....

.....Abschließend warnen wir eindringlich vor der Auffassung, daß das Problem der Schäden durch Wirbeltiere an Kulturpflanzen ohne bedeutende Intensivierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf diesem Spezialgebiet des Pflanzenschutzes gelöst werden könnte“.

Das „Mäusehaus“ wird errichtet

Mit dieser eindeutigen, oben auszugsweise zitierten Stellungnahme

waren die Weichen gestellt, und überraschend schnell wurde mit der Umsetzung der Empfehlungen begonnen. Zur Gründung eines ganzen Institutes mit einem Team unterschiedlich spezialisierter Wissenschaftler, wie es die Arbeitsgruppe empfohlen hatte, reichte es aber nicht. Zu Beginn stand nur eine Wissenschaftlerstelle zur Verfügung, zu wenig für ein eigenständiges Institut. Es kam zur Angliederung an das Institut für Nematologie, in dem man ja immerhin auch mit Tieren arbeitete. Im Jahr 1979 wurde H.-J. PELZ bei der Biologischen Bundesanstalt eingestellt und begann mit seiner Arbeit in Münster in einem nematologischen Labor.

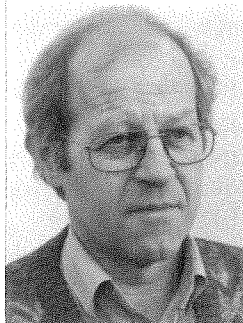


H.-J. PELZ

Es zeigte sich bald, daß die Arbeitsbedingungen alles andere als günstig waren. Fehlende Freigehege und ungeeignete Laborräume erschwerten die Arbeit - abgesehen von der geringen Zuneigung der meisten weiblichen Angestellten in der Nematologie den Ratten und Mäusen gegenüber. Da im Institutsgebäude selbst Abhilfe nicht möglich war, wurde schon bald mit der Planung eines neuen Gebäudes begonnen. Im Jahr 1983 konnte schließlich das „Mäusehaus“ bezogen werden. Mit seinen Innen- und Außenangelegen, Tierhaltungs- und Labor-

räumen bietet es gute Voraussetzungen für experimentelle Forschungsarbeiten. PELZ konzentrierte seine Forschungen auf Probleme mit Schadnagern, wobei Waldmaus, Feldmaus, Schermaus, Bisam und Wanderratte im Vordergrund standen. Über Konzepte zur Bisambekämpfung, über die Aussichten der biologischen Bekämpfung von Nagetieren sowie über einige Aspekte der Mittelresistenz bei Wanderratten wird in diesem Heft berichtet.

Anfang der achtziger Jahre wurde erneut offenbar, daß es in Deutschland bei der Abwehr von Schäden durch Wirbeltiere erhebliche Forschungslücken gibt. Nach der Ausbringung von Endrin-Präparaten zur Schermausbekämpfung war es zu Sekundärvergiftungen bei Greifvögeln gekommen. Als Endrin deshalb 1981 nicht mehr zur Verfügung stand, gab es keine befriedigenden Bekämpfungsalternativen und infolgedessen erhebliche Schäden, besonders im Obstbau. Unter diesem Druck war die Erforschung neuer Methoden der Schadensabwehr gefordert, eine zunächst sehr anwendungsorientierte Aufgabe. Zu ihrer Lösung wurde 1983 H. GEMMEKE eingestellt, der zur Unterstützung von PELZ vorerst in das neue Wirbeltierhaus einzog.



H. GEMMEKE

„Ökologisches Denken“ setzt neue Akzente

Im Jahr 1985 schied WEISCHER aus dem Dienst aus, und MÜLLER übernahm die Institutsleitung. Als neue Wissenschaftlerin wurde Frau M. SCHAUER-BLUME gewonnen (ab 1990 beurlaubt und vertreten durch Frau H. ESCHERT). Herausragendes Ereignis in dieser Zeit - mit Auswirkungen auf die gesamte BBA - war die seit 1986 gültige Novellierung des Pflanzenschutzgesetzes. Besonders die in



M. SCHAUER-BLUME

H. ESCHERT

§ 6 formulierte Forderung, daß Pflanzenschutzmittel nicht „sonstige erhebliche schädliche Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt“ haben dürfen, hat die Forschungsschwerpunkte im Institut deutlich beeinflußt. Chemische Mittel zur Nematodenbekämpfung verloren (teilweise auch aus Gründen des Trinkwasserschutzes) ihre Zulassung, und zeitweise war überhaupt kein Nematizid mehr verfügbar. Da diese Entwicklung schon Jahre vorher abzusehen war, konnte die Institutsarbeit rechtzeitig auf alternative Lösungsansätze ausgerichtet werden. Schwerpunkt wurde die Resistenzforschung

über Zystennematoden an Zuckerrüben, Kartoffeln, Ölerrettich und Weißem Senf. Die Bekämpfung von *Heterodera schachtii* mit Hilfe resistenter Zwischenfrüchte war herausragendes Thema der achtziger Jahre. MÜLLER und STEUDEL in Münster sowie SCHLANG in Elsdorf erarbeiteten gemeinsam wesentliche Grundlagen für ein neues, integriertes Bekämpfungsverfahren, das in Fruchtfolgen mit Zuckerrüben inzwischen zum Standard geworden ist.

Wegen der gewachsenen Bedeutung des Umweltschutzes eröffneten sich ganz neue Aufgaben, denn Nematoden sind nicht nur wichtige Schaderreger an Kulturpflanzen, sondern als individuenreichste Tiergruppe der Mesofauna auch ein bedeutendes Glied im Naturhaushalt. Die Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nematoden sind unter diesem Aspekt auch in Zukunft noch ein wichtiges Forschungsfeld. STURHAN konnte darüber hinaus zeigen, daß Nematoden als Bioindikatoren nutzbar sind, z. B. um Schwermetallbelastungen zu erkennen oder um die Gewässerqualität zu bewerten.

Ein „Vogelhaus“ für erweiterte Aufgaben

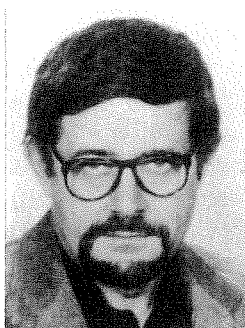
Neue Forschungsfelder eröffneten sich nicht nur für die Nematologie. Schon beim Endrin war deutlich geworden, daß die BBA mehr Erkenntnisse über unerwünschte Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Wirbeltiere benötigte. Da Vögel besonders im Blickpunkt stehen, mußte diese bisher nicht bearbeitete Tiergruppe in die Forschungsarbeit mit

einbezogen werden. GEMMEKE sollte nun Versuche mit Vögeln durchführen, es fehlten aber wiederum die notwendigen Tierzuchträume und Gehege. Sie konnten schließlich durch Errichtung eines weiteren Gebäudes geschaffen werden, das auf die spezifischen Anforderungen der Vogelhaltung zugeschnitten ist. 1990 wurde das „Vogelhaus“ bezogen. Seither wurden besonders Probleme der Saatgutinkrustierung und deren direkte Auswirkung auf Vögel untersucht. Über zwei weitere Themen, die Gefährdung von Eulen und Greifvögeln durch Rodentizide bzw. von Igeln durch Molluskizide, wird in diesem Heft berichtet.

Das neue Fachgebiet hatte nun, auch äußerlich deutlich sichtbar, im Institut seinen eigenständigen Platz eingenommen. Dokumentiert wird dies durch eine erneute Namensänderung in „Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde“ (1986). Während die räumlichen Bedingungen für viele Aufgaben gute Voraussetzungen bieten, ist die personelle Situation allerdings noch weit entfernt von einem „Team unterschiedlich spezialisierter Wissenschaftler“, wie es die Arbeitsgruppe 1978 empfohlen hatte.

Die „Außenstelle Kleinmachnow“ kommt hinzu

Als nach der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 ein Teil der Biologischen Zentralanstalt in Kleinmachnow in die Biologische Bundesanstalt eingegliedert wurde, änderte sich auch die Personalsituation des Instituts in Münster. 1991 wurde E. GROBE mit einer technischen



E. GROBE

Assistentin als „Außenstelle Kleinmachnow“ in das Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde übernommen. In die gleiche Zeit fiel auch eine erhebliche Ausweitung der hoheitlichen Aufgaben des Instituts. Alle Sortenprüfungen auf Resistenz gegen pflanzenparasitäre Nematoden werden allein vom Institut übernommen und in Amtshilfe für das Bundessortenamt durchgeführt, wobei die Schwerpunkte zur Zeit bei den Zystennematoden an Kartoffeln, Zuckerrüben, Ölrettich, Weißem Senf, Hafer, Weizen und Gerste liegen. Beide Außenstellen sind in diese Arbeiten voll integriert worden, wobei die amtlichen Prüfungen mit Kartoffel- und Getreidezystennematoden in Kleinmachnow, mit Rübenzystennematoden in Elsdorf durchgeführt werden.

Die baulichen Voraussetzungen zur Durchführung der erweiterten Aufgaben konnten am Standort Münster in den vergangenen zehn Jahren deutlich verbessert werden. 1985 wurde ein großes, modernes Gewächshaus errichtet, und 1988 eine Vegetationshalle mit teilweiser Überdachung. Die alte Kleinparzellen-Anlage wurde erneuert und erheblich erweitert (1992); und schließlich konnte 1994 eine Gerätehalle für Versuchsfeldmaschinen

fertiggestellt werden. Ergänzend dazu wuchs die für Versuche zur Verfügung stehende Fläche. Bereits 1970 wurde das damals ausschließlich nematologisch genutzte Versuchsfeld um gut einen Hektar erweitert. Als die Stadt Münster 1993 das angrenzende Bundesgelände erwarb, um hier eine Wohnsiedlung errichten zu lassen, erschienen besonders die Untersuchungen über Vögel stark gefährdet. Durch rechtzeitige Verhandlungen konnte das Institutsgelände um weitere zwei Hektar vergrößert werden, so daß die Gesamtfläche jetzt etwa sechseinhalb Hektar groß ist.

Sehr bedenklich hat sich die personelle Situation entwickelt, da die Belastung durch die amtliche Resistenzprüfung unerwartet stark anwuchs und die meisten Arbeitskräfte bindet. Der geringe verbliebene Freiraum muß für begleitende Forschungsarbeiten genutzt werden, um die amtlichen Prüfungen in Fragen der Methodik sowie der Rassen und Pathotypen abzusichern. STURHAN übernimmt weiterhin die unverzichtbaren taxonomischen Arbeiten sowie die Betreuung der langjährig aufgebauten Deutschen Nematodensammlung. Alle weiteren Themen, besonders im Bereich Ökologie, Umweltschutz, Bioindikation und biologische Bekämpfung, müssen durch Diplomanden und Doktoranden sowie durch aus Drittmitteln befristet finanziertes Personal bearbeitet werden.

Zusammenfassung

Das heutige Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde wurde ein Jahr nach Kriegsende als „Dienst-

stelle Westfalen“ der Biologischen Zentralanstalt für Land- und Forstwirtschaft mit dem Namen „Institut für Hackfruchtbau“ gegründet. Es begeht 1996 sein fünfzigjähriges Jubiläum.

Der erste Standort war in Peckeloh bei Versmold. Ab 1949 wurden mehrere Räume einer Villa in Münster-Kinderhaus genutzt, bis 1960 das jetzige Hauptgebäude in Münster-Gievenbeck eingeweiht werden konnte. Bereits 1947 wurde die Außenstelle in Elsdorf/Rheinland gegründet. Dort lag der Arbeitsschwerpunkt bei praxisnahen Versuchen zur virösen Vergilbung der Zuckerrübe, während in Münster andere Hackfruchtkrankheiten untersucht wurden. In den fünfziger Jahren verschob sich der Schwerpunkt in Richtung Nematodenforschung, die dann für zwei Jahrzehnte das alleinige Aufgabengebiet war. Mit zeitlicher Verzögerung änderte sich auch der Name in „Institut für Hackfruchtkrankheiten und Nematodenforschung“ (1958) und dann in „Institut für Nematologie“ (1977).

Das Fachgebiet Wirbeltierkunde wurde 1979 an das Institut angegliedert. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen auf der Erforschung von Möglichkeiten der Schadensabwehr sowie bei den Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Wirbeltiere. Gute Arbeitsbedingungen bieten zwei Neubauten mit spezieller Laborausstattung sowie Freigehegen. Die breitere Basis des Instituts wird durch die Änderung des Namens in „Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde“ (1986) dokumentiert.

Im Jahre 1991 erhielt das Institut eine Außenstelle in Kleinmachnow, um die gewachsenen hoheitlichen Aufgaben der amtlichen Resistenzprüfung gegen Nematoden sachgerecht erfüllen zu können.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Joachim Müller,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topheideweg 88, 48161 Münster

Aussichten einer biologischen Bekämpfung von Nagetieren mit Nematoden

Prospects for biological control of rodents using nematodes

HANS-JOACHIM PELZ und DIETER STURHAN

Abstract

Compared to other taxa biological control of rodents doing damage to agricultural crops, stored products and materials, is still poorly developed. The paper gives an overview of important rodent parasitic nematode species and illuminates their potential as natural antagonists of rodents. Though rodents bear a broad spectrum of nematode species from different taxonomic categories, only very few of these nematodes meet the criteria that would make them suitable candidates for biological control. It is assumed that considering high ethics and safety standards in Europe, corresponding research projects will be promoted primarily by and in third world countries.

Keywords: rodents, biological control, pathogens, parasites, nematodes, *Capillaria hepatica*

Nematoden sind nicht nur als Schädlinge von Kulturpflanzen und als Parasiten der Nutztiere und des Menschen von großer Bedeutung. Sie gewinnen auch zunehmend als „Nützlinge“ an Interesse, und Möglichkeiten eines Einsatzes als Antagonisten zur biologischen Bekämpfung von Schadorganismen werden verstärkt erforscht.

Räuberische Nematoden können die Massenvermehrung pflanzenparasitärer Nematoden beeinflussen, mykophage Arten die Entwicklung von Pilzkrankheiten bei Pflanzen unterdrücken, und hochspezialisierte Phytonematoden lassen sich eventuell sogar zur biologischen Bekämpfung von bestimmten Unkräutern nutzen. Da Nematoden bei nahezu allen höheren Tieren als Parasiten vorkommen, ist es verständlich, daß den Fadenwürmern als potentiell nutzbaren Ant-

agonisten von „Schadtieren“ schon früh besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden ist. Insbesondere gilt dies für den Einsatz von parasitären Nematoden zur biologischen Bekämpfung von Insekten. So lassen sich der Tylenchide *Deladenus siricidicola* mit gutem Erfolg zur Bekämpfung von Holzwespen (*Sirex* spp.) und der parasitäre Mermithide *Romanomermis culicivorax* gegen Mückenlarven in Gewässern einsetzen (BEDDING & AKHURST, 1974; PETERSEN, 1984). Insbesondere die Nutzung von entomopathogenen Rhabditiden der Gattungen *Steinernema* und *Heterorhabditis* findet heute weltweit große Beachtung (GAUGLER & KAYA, 1990; KAYA & GAUGLER, 1993). Diese zur Bekämpfung zahlreicher schädlicher Insekten bereits in der Praxis verwendeten Nematoden sind Vektoren von spezifischen Bakterien, die sich in

befallenen Wirtsinsekten schnell vermehren und diese innerhalb weniger Tage abtöten. Eine Wirkung von *Steinernema feltiae* wurde auch für Asseln und Tausendfüßler nachgewiesen (POINAR & PAFF, 1985; JAWORSKA, 1994). Zur Bekämpfung des nach Australien eingeschleppten Tausendfüßlers *Ommatoziulus moreleti* ist der Nematode *Rhabditis necromena* mit Erfolg eingesetzt worden (MCKILLUP *et al.*, 1988). Versuche zur Bekämpfung des auf den Kapverden wichtigen Diplopoden *Spinotarsus caboverdus* mit diesem Nematoden schlugen dagegen fehl (MCKILLUP *et al.*, 1991). In jüngster Zeit verdienen Forschungen zur Nutzung des Nematoden *Phasmarhabditis hermaphrodita* zur biologischen Bekämpfung von Schnecken besondere Beachtung (WILSON *et al.*, 1993, 1994).

Forschungen über den gezielten Einsatz parasitärer Nematoden gibt es auch bei Säugetieren. In Australien sind bereits erste Feldversuche zur Beeinflussung von Massenvermehrungen der Hausmaus durch die Ausbringung des Nematoden *Capillaria hepatica* durchgeführt worden. Vor diesem Hintergrund soll das Potential dieses Tierstammes im Hinblick auf die Nutzung von Nematodenarten zur biologischen Bekämpfung von schadenverursachenden Nagetieren beleuchtet werden.

Pathogene und Parasiten bei Nagetieren

Fast alle Säugetierpopulationen verfügen über ein breites Spektrum an Krankheitserregern und Parasiten. Ektoparasiten, die auf der Haut oder

im Fell leben und meist Blut saugen, und Endoparasiten im Körperinneren. In der Regel ist es schwierig, den Einfluß von Parasiten oder Krankheitserregern auf den jeweiligen Wirt bzw. auf Wirtspopulationen genau zu bestimmen. Während der Einfluß von Ektoparasiten auf ihre Wirte allgemein als gering angesehen wird, werden Endoparasiten in den letzten Jahren zunehmend als potentielle Antagonisten zur Regulation von Nagetierpopulationen diskutiert (WOOD, 1985; DOBSON, 1988; SPRATT, 1990; BURGSTALLER *et al.*, 1991; SINGLETON & READHEAD, 1991). Nach den Befunden verschiedener Untersuchungen ist allerdings nicht davon auszugehen, daß die natürliche Parasitenfauna einen regulatorischen Einfluß auf Nagetierpopulationen ausübt (SINGLETON, 1987; HAUKISALMI *et al.*, 1995; HENTTONEN *et al.*, 1995). Mehr Erfolg scheint zu versprechen, die Wirkung bestimmter Parasiten durch gezielte Ausbringung zu verstärken oder bis dahin nicht in der Nagerpopulation vertretene Arten einzuschleusen. Neben Microparasiten bzw. Pathogenen (Sporozoen, Bakterien, Viren) kommen unter den Macroparasiten vor allem Helminthen in Frage. Sowohl Bandwürmer (Cestoden) und Saugwürmer (Trematoden) als auch Nematoden sind als Parasiten bei Säugetieren weit verbreitet (ANDERSON, 1992; FRANK, 1976; MEHLHORN *et al.*, 1993; STAMMER, 1955).

Unter den Nematoden finden sich die wichtigsten nagetierparasitären Arten in der Klasse Secernentea (Ordnungen Rhabditida, Strongylida, Ascaridida und Spirurida) sowie in der Ordnung Trichocephalida der Klasse Adenophorea. Sie besiedeln die Mus-

keln, die Brusthöhle, das Blut oder die inneren Organe wie Leber, Harnblase und bestimmte Darmabschnitte ihrer Wirte.

Voraussetzungen für eine Nutzung von Parasiten zur biologischen Bekämpfung von Nagetieren

Zur biologischen Bekämpfung sind nur solche Antagonisten geeignet, die eine deutliche „negative“ Wirkung auf ihre Wirtspopulationen ausüben, indem sie die Populationsentwicklung oder zumindest die Reproduktion einschränken. Außerdem sollten Parasiten oder Krankheitserreger, die zur biologischen Bekämpfung genutzt werden sollen, im Idealfall die folgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Hohe Wirtsspezifität: Der Wirtskreis sollte so eng sein, daß eine Gefährdung von Nicht-Zielorganismen und auch des Menschen auszuschließen ist.
- Direkter Lebenszyklus: Die Entwicklung des Parasiten sollte kein Zwischenstadium in einem anderen Wirt erfordern.
- Schnelle Ausbreitung durch die Luft oder über einen sehr mobilen Vektor sollte gegeben sein.
- Dichteabhängige Pathogenität: Wenn Pathogene eine fortdauernde Wirkung auf die Zielpopulation ausüben sollen, sollte ihre Pathogenität im mittleren Bereich liegen (ANDERSON, 1982). Bei zu hoher Pathogenität wäre ihre Weitergabe bei geringer Populationsdichte nicht mehr gewährleistet. Zu geringe Pathogenität würde dagegen zu star-

ken Dichteschwankungen (Oszillationen) in der Wirtspopulation führen.

- Keine oder nur geringe physiologische Resistenz oder Immunreaktionen in den Wirtspopulationen sollten vorliegen oder zu erwarten sein.
- Kostengünstige Haltung und Vermehrung im Labor sollte möglich sein.
- Bei nicht-heimischen Arten sollte eine Freisetzung keinerlei Restriktionen unterliegen.
- Die Wirkung auf den Wirt muß mit den Anforderungen des Tierschutzes vereinbar sein.

Kaum ein Parasit oder Krankheitserreger wird alle diese Voraussetzungen erfüllen. Deshalb muß jeweils im Einzelfall geprüft werden, ob die vorhandenen Eigenschaften eine Anwendung zur biologischen Bekämpfung aussichtsreich erscheinen lassen und ob der zu erwartende Erfolg das Risiko des Einsatzes des Parasiten oder Krankheitserregers rechtfertigt.

Bisherige Ansätze und Erfahrungen

Die klassische Methode bei der Nutzung von Feinden, Parasiten und Krankheitserregern zur biologischen Bekämpfung ist die Einbürgerung von Antagonisten, wobei arteigene Pathogene oder Parasiten in neue Siedlungsgebiete einer Schädlingsart nachgeführt oder Antagonisten anderer Wirtsarten in Populationen eines Schädlings eingebracht werden. Das bisher einzige erfolgreiche Beispiel bei Säugetieren war die Einführung des Myxomatosevirus zur Bekämpfung

der Kaninchenplage aus Amerika nach Australien im Jahre 1950. Die Wirkung war bekanntlich dramatisch und führte zu einer Reduktion der Population auf 10 % und teilweise bis auf weniger als 1 % der Ausgangsdichte (DAVIS *et al.*, 1976). In der Folgezeit führten Resistenzbildung in den Kaninchenpopulationen und die Entwicklung verschiedener Viruslinien mit unterschiedlicher Virulenz zu einer allmählichen Wiederbesiedlung des größten Teils des früheren Territoriums. Die Gesamtzahl der in Australien lebenden Kaninchen wird heute wieder auf rund 300 Millionen geschätzt.

Eine vergleichbar durchschlagende Wirkung scheint derzeit das RHD-Virus (RHD = Rabbit Haemorrhagic Disease) oder Calcivirus nach seiner Freisetzung auf Wardang Island, einer fünf Kilometer vor dem südaustralischen Festland gelegenen Insel, zu entfalten. Im Oktober 1995 hat es (unbeabsichtigt) mit Hilfe der australischen Buschfliege als Vektor das Festland erreicht und breitet sich seitdem mit einer Geschwindigkeit von etwa 8 km pro Tag nach Norden aus (ANDERSON, 1995). Wie bereits beim Myxomatosevirus scheinen die australischen Kaninchen besonders anfällig gegenüber dem Virus zu sein; die Mortalität in Südaustralien liegt bei 90 % gegenüber rund 50 % in spanischen Kaninchenpopulationen (CALVETE *et al.*, 1995).

In Europa wurden zu Anfang des Jahrhunderts große Hoffnungen in die Anwendung von bakteriellen Krankheitserregern zur biologischen Bekämpfung schädlicher Nagetiere gesetzt (STEINIGER, 1951). Mit Salmonellenpräparaten wurden zum Teil

großräumige Versuche in den Feldmausplagegebieten durchgeführt. Dabei kamen *Salmonella enteritidis* („Ratin“) und *S. typhimurium* zur Anwendung. Die ausgebrachten Präparate hatten jedoch Auswirkungen auf Haustiere, Wild und auch auf den Menschen, die zum Teil erheblich waren und in Einzelfällen zum Tode führten (LEETSCH, 1948). Auch über Mißerfolge mit diesem Verfahren bei der Feldmausbekämpfung wurde berichtet (BAHR, 1909), so daß die Anwendung bakterieller Mittel zur Wirbeltierbekämpfung in Deutschland (Verordnung vom 16. 3. 1936, RGBI. I, S. 178) und auch in den meisten westeuropäischen Ländern (LUND, 1967) verboten wurde. Dessen ungeachtet und trotz gegenteiliger Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 1967) wird *Salmonella typhimurium* bis in die Gegenwart hinein in Rußland zur Nagetierbekämpfung angewendet (KORTCHMAR, 1987, BYKOWSKI & KANDYBIN, 1988).

Ein aussichtsreiches Verfahren zur biologischen Bekämpfung verschiedener Rattenarten eröffnet möglicherweise die Anwendung von Coccidien der Gattung *Sarcocystis* (WOOD, 1985; BURGSTALLER *et al.*, 1991; JÄKEL *et al.*, 1996). In Asien sind Ratten der Gattungen *Rattus* und *Bandicota* Zwischenwirte für die Coccidien, deren Hauptwirte bestimmte Riesenschlangen aus der Gattung *Python* sind. In Labor- und Feldversuchen mit *Rattus norvegicus* und *R. rattus* ergab sich eine hohe Wirksamkeit der Infektion (bis 73 % Mortalität im Feldversuch), bei sehr hoher Wirtsspezifität; andere Wirbeltierarten und selbst andere Nagetiergattungen (z. B. *Mus musculus*) sind nicht als Wirte geeignet. Bisher

ist allerdings nicht geklärt, ob der anfängliche Bekämpfungserfolg nicht durch eine schnelle Immunreaktion nach Aufnahme subletaler Dosen dieser Pathogene zunichte gemacht werden könnte.

Parasitäre Nematoden aus Nagetieren

Aus Säugetieren waren bis zum Jahr 1973 bereits 2180 Arten endoparasitisch lebender Nematoden bekannt (HARTWICH, 1975), davon ein beträchtlicher Teil aus Nagetieren. Viele Wirte beherbergen ein breites Spektrum an Arten aus unterschiedlichen taxonomischen Kategorien. So sind z. B. in der Hausmaus und in der Wanderratte jeweils weit mehr als 20 Nematodenarten nachgewiesen worden, die meisten davon auch in Mitteleuropa (SPREHN, 1961). Im folgenden sollen nur einige wichtig erscheinende Arten kurz charakterisiert werden.

Rhabditida

Strongyloides ratti

Der bis zu 3,5 mm lange Nematode lebt in den Krypten des oberen Dünndarmviertels von mäuseartigen Nagetieren; er ist bei diesen hauptsächlich in Europa, Asien und Nordamerika verbreitet. Infektiöse Drittlarven dringen durch die Haut in ein Wirtstier ein und gelangen über die Blutbahn, Lunge, Luftröhre und Speiseröhre in den Darm. Eine pränatale Infektion ist möglich. Bei Massenbefall kommt es zu Diarrhöen, Abmagerung, Entkräftung und Anämie. Die Wirte erwerben durch den Befall eine Resi-

stenz gegen spätere Infektionen.

Strongylida

Angiostrongylus cantonensis

Der Rattenlungenwurm kommt im subtropischen bis tropischen Klima Südostasiens und in einigen pazifischen Inselgebieten vor. Hauptwirte sind verschiedene Rattenarten, darunter *Rattus norvegicus*, *R. rattus*, *R. exulans*. Befallshäufigkeiten bei Ratten bis zu 88 % sind gefunden worden. Der Nematode lebt in der Arteria pulmonalis oder auch in der rechten Herzvorkammer und ernährt sich von Blut. Die Eier werden in die Blutbahn abgegeben; daraus entwickeln sich in den Lungenkapillaren Larven, die über Lunge und Darm freigesetzt werden. Zwischenwirte sind verschiedene Nackt- und Gehäuseschnecken. Ratten infizieren sich durch Fraß infizierter Schnecken oder durch verunreinigte Nahrung. Die Larven durchbrechen den Darm der Ratten und häuten sich zweimal in den Hirnkapillaren, bevor sie als Geschlechtstiere in die Pulmonalarterie wandern. Die Larven des Nematoden können auch von verschiedenen ungeeigneten Wirten (darunter der Mensch) aufgenommen werden und durch die beginnende Entwicklung Krankheitserscheinungen hervorrufen.

Nippostrongylus brasiliensis

Der bis zu 6 mm lange Fadenwurm *N. brasiliensis* (syn. *N. muris*) ist weltweit verbreitet; Wirte sind Ratten und andere Nager. Die Entwicklung erfolgt direkt, ohne Zwischenwirte. Die Generationenfolge ist sehr kurz, die Präpatenzzeit beträgt nur eine Woche. Die geschlechtsreifen Nematoden le-

ben im Dünndarm und geben ihre Eier mit dem Kot ab. Die Invasionslarven (3. Larven) werden oral aufgenommen, die Häutung zur 4. Larve erfolgt in der Lunge, die Larven wandern dann über die Mundhöhle in den Darm, wo sie geschlechtsreif werden. Es erfolgt jedoch eine rasche Immunisierung, so daß die Geschlechtstiere bereits nach zwei Wochen abgestoßen werden. Die Möglichkeit von Reinvationen wird von Mal zu Mal geringer, bis schließlich bereits die eindringenden Drittlarven in der Haut oder in der Lunge abgekapselt werden. Nur bei sehr massiven Infektionen kommt es zu Todesfällen.

Heligmosomum, Heligmosomoides

Mehrere Arten der weitgehend auf Nagetiere spezialisierten Gattungen kommen als Darmparasiten verbreitet vor. Etliche Arten der verwandten Gattung *Trichostrongylus*, deren Wirtskreis neben verschiedenen Säugetiergruppen auch Vögel umfaßt, leben im Dünndarm und auch im Magen. Die Infektion erfolgt bei Vertretern aller Gattungen durch orale Aufnahme von freien Drittlarven mit dem Futter. Bei starkem Befall treten Diarrhöen und andere Krankheitsercheinungen auf.

Ascaridida

Syphacia obvelata, S. muris

Die nur wenige Millimeter langen Darmparasiten der Gattung *Syphacia* sind in zahlreichen hoch spezialisierten Arten weit verbreitet. Die Entwicklung ist direkt; die im Anusbereich abgelegten Eier sind bereits nach wenigen Stunden wieder infektiönsfähig. Eine offensichtliche Schädigung

des Wirtes ist nur bei Massenbefall zu beobachten. *Syphacia obvelata* ist nach neueren Untersuchungen in ihrem Vorkommen auf Hausmäuse beschränkt; sie lebt in Blind- und Dickdarm. *S. muris* (syn. *S. baylisi*), ein ausgesprochener Parasit von Ratten, besiedelt hauptsächlich den Dickdarm. Weitere *Syphacia*-Arten sind auf andere Nagetiere spezialisiert.

Aspiculuris tetraptera

Von der ebenfalls in mehreren Arten in Nagetieren parasitierenden Gattung *Aspiculuris* findet sich vor allem *A. tetraptera* verbreitet bei der Hausmaus. Die Art kommt u. a. auch bei Ratten und anderen Muriden sowie bei Wühlmäusen als Parasit im Dickdarm und Blinddarm vor. Die mit dem Kot ausgeschiedenen Eier führen bei Aufnahme durch neue Wirte zu Neuinfektionen ohne Zwischenwirte. Starker Befall kann Diarrhöen, Futterverweigerung und Abmagerung zur Folge haben.

Heterakis spumosa

Der weltweit verbreitete Parasit lebt im Blinddarm und seltener im Dickdarm von mäuseartigen Nagetieren; gelegentlich wird Befall auch bei Igel festgelegt. Die Entwicklung verläuft direkt, ohne Zwischenwirte. In den mit dem Wirtskot nach außen gelangten Eiern erfolgt je nach Temperatur innerhalb von wenigen Tagen bis zu zwei Monaten die Entwicklung zu den invasionsreifen Zweitlarven. Krankheitserscheinungen treten bei Massenbefall auf. Bei Ratten entwickelt sich mit fortschreitendem Alter eine Resistenz gegen den Befall durch diese Nematodenart.

Spirurida

Litomosoides carinii

Der Nematode parasitiert in der Brusthöhle und gelegentlich in der Bauchhöhle von Baumwollratten (*Sigmodon hispidus*), kommt aber auch bei anderen nord- und südamerikanischen Arten vor und läßt sich experimentell leicht auf verschiedene Nager übertragen. Bei stärkerem Befall kommt es zu Todesfällen.

Die Nematodenmännchen sind 2,5 cm, die Weibchen 5-13 cm lang und haardünn. Die von den Weibchen gebildeten, nur 70-90 µm langen Mikrofilarien gelangen über die Lunge in den Blutkreislauf. Zwischenwirt ist die tropische Rattenmilbe *Bdellonyssus bacoti*, die die Mikrofilarien mit der Blutmahlzeit aufnimmt. Die Larven durchbohren das Darmepithel der Milbe und entwickeln sich bis zur infektiösen 3. Larve, die etwa zwei Wochen nach der Aufnahme der Mikrofilarien infektionstüchtig und bei einer erneuten Blutaufnahme auf die Ratte übertragen wird. Eine Infektion kann auch über orale Aufnahme der larvenhaltigen Milben erfolgen.

Trichocephalida

Trichinella spiralis

In omnivoren Nagern wie Mäusen und Ratten kommen Trichinen weltweit häufig vor. Die Geschlechtstiere des Nematoden leben nach Aufnahme von trichinösem Fleisch durch den Wirt nur kurz in dessen Darm. Die dort von den Weibchen (vivipar) abgesetzten Larven wandern in die Muskulatur ein und bilden dort bis zur Aufnahme in einen neuen Wirt die bekannten Muskeltrichinen. Fast alle

Säugetiere einschließlich des Menschen sind als Endwirt geeignet. Ratten wie auch Schweine zeigen auch bei starkem Befall nur geringe krankhafte Symptome.

Trichosomoides crassicauda

Diese ebenfalls weltweit vorkommende Nematodenart weist eine hohe Wirtsspezifität auf. Die Nematoden besiedeln die Harnblase und das Nierenbecken von Ratten. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß die 1 bis 3,5 mm großen Männchen im Uterus der 10 bis 19 mm langen Weibchen leben. Die mit dem Urin abgesetzten Eier enthalten bereits eine Larve. Nach oraler Aufnahme durch einen Wirt können die Erstlarven im Magen sofort schlüpfen. Sie durchbrechen Magen- oder Darmwand und gelangen über den Blutkreislauf in die Niere bzw. Harnblase.

Trichuris muris

Unter den bei verschiedenen Säugetieren parasitierenden Peitschenwürmern der Gattung *Trichuris* ist vor allem *T. muris* bei Nagetieren weit verbreitet. Die in der Darmwand verankerten Nematoden sind Blutsauger; starker Befall hat Diarrhöe und Abmagerung zur Folge. Die Eier werden mit dem Kot ausgeschieden; eine Infektion erfolgt durch orale Aufnahme von Eiern, in denen sich im Freien eine Larve entwickelt hat.

Capillaria hepatica

Die extrem dünnen Haarwürmer der Gattung *Capillaria* sind in Europa mit zahlreichen Arten vertreten. Neben Nagern zählen andere Wirbeltiere zu den Wirten; es können sehr verschiedene Körperteile und Organe pa-

rasitiert werden, z. B. Bronchien, Leber, Milz, Harnblase, Niere und Darm.

Die weltweit vorkommende Art *C. hepatica* (syn. *Hepaticola hepatica*, *Calodium hepaticum*) findet sich häufig bei Nagetieren, selten bei Kaninchen, Opossum, Hund, Katze und Mensch. Die 15-100 mm langen Geschlechtstiere des Nematoden besiedeln die Gallengänge der Leber, wo Eier massenhaft abgelegt werden. Eine Entzündung der Gallengangsepithelien führt schließlich zur Leberzirrhose. Die Eier werden frei, wenn der Wirt stirbt und verwest oder wenn der Wirt von einem anderen Tier gefressen wird, das dann die Eier mit dem Kot ausscheidet. Die Eier müssen außerhalb des Wirts zunächst ihre Embryonalentwicklung durchmachen, bevor sie infektiös werden. In einem neuen Wirt durchbrechen die Erstlarven das Darmepithel und gelangen über die Pfortader in die Leber.

In welchem Umfang parasitäre Nematoden bei Nagetieren vorkommen, belegen folgende Beispiele aus europäischen Ländern: In Belgien waren 49,3 % aller untersuchten *Rattus norvegicus* und 26,5 % aller Bisame (*Ondatra zibethicus*) durch darmparasitäre Nematoden befallen (COTTELEER *et al.*, 1982). In Großbritannien wiesen 67 % der Individuen von *R. norvegicus* Befall durch *Syphacia muris* auf, 23 % waren durch *Nippostrongylus brasiliensis* und ebenfalls 23 % durch *Capillaria* spp. parasitiert (WEBSTER & MACDONALD, 1995). PUNDRICH *et al.* (1982) fanden im Gebiet um Magdeburg bei 31 % der untersuchten *Rattus rattus* *Syphacia obvelata* und bei 21,4 % *Aspicularis tetraptera*. In Portugal kam *S. obvelata*

bei 46,6 % aller Tiere von *Mus spretus* vor (BEHNKE *et al.*, 1993). Bei eigenen Erhebungen in Münster war bei einem großen Teil der untersuchten Individuen von *R. norvegicus* und *Arvicola terrestris* *Syphacia*-Befall nachweisbar. In Rußland waren bis zu 43,4 % aller Rötelmäuse (*Clethrionomys glareolus*) von *Capillaria hepatica* befallen (ROMASHOV, 1977).

Potentielle Einsatzbereiche nagetierparasitärer Nematoden

Nagetiere gehören weltweit zu den wirtschaftlich bedeutenden Schaderregern. Durch ihren Fraß an Kulturpflanzen und Vorräten sowie durch ihre Nagetätigkeit an Gebäudeinstallationen, Isolierungen, Fahrzeugen usw. verursachen sie jährlich Schäden in Millionenhöhe und bedrohen damit die Existenzgrundlage insbesondere der Bevölkerung im ländlichen Raum. In Ländern wie Ägypten oder Thailand fällt ihnen oft bis zu einem Drittel der Getreideernte zum Opfer. Die weltweiten Verluste an gelagerten Getreidevorräten wurden auf 33 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt (WHO, 1979). Als Reserviertiere und Vektoren für Zoonosen kommt besonders den kommensalen Nagetieren (Ratten, Hausmäuse) eine hohe seuchenhygienische Bedeutung zu.

Die Nagetierbekämpfung wird heute überwiegend mit verzögert wirkenden blutgerinnungshemmenden Präparaten (Antikoagulantien) oder mit Phosphinpräparaten als Akutgiften durchgeführt. Durch konsequente Anwendung von Antikoagulantien in Verbindung mit einer großräumigen Bekämpfungsstrategie kann der Na-

getierbesatz im häuslichen Bereich heute erfolgreich reguliert werden (BECKER & SCHULZE, 1981). Allerdings könnten diese Erfolge zukünftig durch die zunehmende Resistenzbildung gegenüber dieser Wirkstoffgruppe beeinträchtigt werden (PELZ, 1990; MYLLYMÄKI, 1995).

Erhebliche Probleme bereitet nach wie vor die Kontrolle von Massenvermehrungen von Feldnagern. Diese durch wechselnde Witterungs- und Nahrungsbedingungen gesteuerten unregelmäßigen Oszillationen lassen sich durch chemische Bekämpfungsmaßnahmen nur unzureichend beeinflussen, da sie bislang nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit prognostiziert werden können. Hat sich eine Massenvermehrung aber erst einmal aufgebaut, so können kleinräumige Bekämpfungsmaßnahmen wegen der schnellen Zuwanderung von außen kaum wirksam werden. Die großräumige Bekämpfung mit chemischen Mitteln ist sehr aufwendig und teuer, und sie birgt, sofern sie überhaupt zu koordinieren ist, ein hohes Risiko von Primär- oder Sekundärvergiftungen für Nichtzielorganismen. Insbesondere für diesen Problembereich wäre eine wirksame biologische Bekämpfung mit hochspezifischen Parasiten eine willkommene Alternative.

Forschungsarbeiten zur Anwendung von *Capillaria hepatica* gegen Hausmäuse in Australien

Feldpopulationen der Hausmaus (*Mus domesticus*) kommen im Bereich des australischen „Weizengürtels“, der von South Queensland durch New South Wales bis nach South Australia

verläuft, in unregelmäßigen zeitlichen Abständen (durchschnittlich einmal in vier Jahren) zu Massenvermehrungen. Dabei entstehen hohe Verluste an Feldfrüchten (Weizen, Gerste, Reis, Leguminosen) sowie im Siedlungsbereich durch die von den Feldern zuwandernden Individuen. Im Jahre 1993 wurden die Schäden in Südastralien, das in diesem Jahr hauptsächlich von einer solchen Massenvermehrung betroffen war, auf mehr als 20 Millionen australische Dollar geschätzt. Auf dem Höhepunkt der Massenvermehrung wurden rund 15000 ha Ackerfläche mit Strychninpräparaten behandelt.

Ziel australischer Forschungsarbeiten ist es, eine biologische Bekämpfungsmethode zu entwickeln, die taktisch im Vorfeld einer Massenvermehrung eingesetzt werden kann, um deren verheerende ökonomische Auswirkungen zu verhindern oder zumindest zu mildern. Dadurch soll der Einsatz teurer und umwelttoxikologisch bedenklicher Bekämpfungsmittel vermieden werden (SINGLETON, 1987). Der Nematode *C. hepatica* parasitiert Ratten und Hausmäuse in den großen Stadtregionen der Küstengebiete Australiens. Die südostaustralischen Getreidegebiete gehören dagegen nicht zum natürlichen Verbreitungsgebiet des Parasiten (SINGLETON *et al.*, 1991). Laborversuche haben gezeigt, daß der parasitäre Nematode die Produktivität weiblicher Hausmäuse stark negativ beeinflusst. Aus Modellrechnungen läßt sich ableiten, daß damit die Populationsdichte unter das für den Aufbau einer Massenvermehrung erforderliche Niveau abgesenkt werden könnte. Erste Feldversuche mit dem Einsatz des Parasiten in

Hausmauspopulationen des Getreideanbaugesbietes haben zunächst keine schlüssigen Ergebnisse geliefert (BARKER *et al.*, 1991; SINGLETON *et al.*, 1995). Insbesondere war der erhoffte dämpfende Einfluß auf Wurfzahl und Wurfgröße nicht feststellbar. COOPER (1995) schätzt die Aussichten einer Nutzung von *Capillaria hepatica* zur biologischen Bekämpfung der Hausmaus deshalb als gering ein.

Nematoden gegen Nagetiere in Deutschland?

Neben den kommensalen Arten (Ratten, Hausmäuse) verursachen in Deutschland vor allem einige Wühlmausarten wirtschaftlich bedeutende Schäden (Tab. 1). Gerade bei diesen

Tab. 1: Nagetierarten, die in Deutschland wirtschaftlich bedeutende Schäden verursachen

| Art | Problembereich |
|---|--|
| Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>) Nutria (<i>Myocastor coypus</i>) | Landwirtschaft, Wasserwirtschaft |
| Bisam (<i>Ondatra zibethicus</i>) | Wasserwirtschaft |
| Erdmaus (<i>Microtus agrestis</i>) | Forstwirtschaft |
| Schermaus (<i>Arvicola terrestris</i>) | Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Siedlungsbereich |
| Wanderratte (<i>Rattus norvegicus</i>) Hausratte (<i>Rattus rattus</i>) Hausmaus (<i>Mus musculus</i> , <i>Mus domesticus</i>) | Vorratshaltung, Hygienebereich |

Arten, die bei uns zu mehr oder weniger ausgeprägten zyklischen Massenvermehrungen kommen, fehlt es an effizienten Bekämpfungsmöglichkeiten. Es wäre wünschenswert, für diesen Bereich über einen natürlichen Antagonisten zu verfügen, der die Abundanzoszillationen dämpfen und dadurch den Aufbau von Massenvermehrungen unterbinden könnte. Allerdings kommen die meisten der im Überblick vorgestellten Nematodenparasiten für eine derartige Anwendung kaum in Frage. Bei vielen Arten ist die Toleranz ihrer Nagetierwirte zu hoch (*Nippostrongylus brasiliensis*, *Syphacia obvelata*, *S. muris*, *Aspiculuris tetraptera*, *Heterakis spumosa*), bei einigen ist die Wirtsspezifität zu gering (*Angiostrongylus cantonensis*, *Trichinella spiralis*). Bei etlichen Arten ist jedoch möglicherweise ein für die Nagetierbekämpfung nutzbares Potential vorhanden. Neben *Capillaria hepatica* könnten Arten wie *Trichosoma crassicauda* oder *Litomosoides carinii* in Betracht gezogen und auf ihre Eignung als Antagonisten eingehender untersucht werden.

In Anbetracht der hohen Sicherheits- und Ethikstandards in Europa wäre eine Entwicklung von Bekämpfungsverfahren mit parasitären Nematoden für diesen Markt mit hohen Kosten und Unwägbarkeiten hinsichtlich zu erwartender Beschränkungen im Anwendungsbereich eines solchen Bekämpfungsmittels verbunden. Es ist daher eher damit zu rechnen, daß die Entwicklung von Verfahren zur Nutzung geeigneter Nagetierantagonisten mit Blick auf Probleme in der Dritten Welt und teilweise auch in den betroffenen Ländern selbst vorangetrieben wird. Erst wenn sich

dort Erfolge abzeichnen sollten, wird vermutlich eine Übertragung auf die europäischen Verhältnisse versucht werden.

Zusammenfassung

Im Vergleich zu anderen Tierstämmen ist die biologische Bekämpfung von Nagetieren, die erhebliche Schäden an Kulturpflanzen, Vorräten und Materialien verursachen, bisher kaum entwickelt. Der Beitrag gibt einen Überblick über wichtige Nematodenarten, die in Nagetieren parasitieren, und beleuchtet das Potential der Nematodenparasiten als natürliche Antagonisten von Nagetieren. Obwohl Nagetiere ein breites Spektrum an Nematodenarten aus unterschiedlichen taxonomischen Kategorien beherbergen, erfüllen nur wenige dieser Nematoden die Voraussetzungen, die sie für eine Anwendung zur biologische Bekämpfung als besonders geeignet erscheinen lassen. Es wird vermutet, daß entsprechende Forschungsansätze, nicht zuletzt auf Grund der hohen Ethik- und Sicherheitsstandards in Europa, vorrangig in der Dritten Welt vorangetrieben werden.

Literatur

- ANDERSON, I. (1995): Runaway rabbit virus kills millions. *New Sci.* 9 Dec. 1995, 3-4.
- ANDERSON, R.C. (1992): Nematode parasites of vertebrates. Their development and transmission. Wallingford, C.A.B. International.
- ANDERSON, R.M. (1982): Theoretical basis for the use of pathogens as biological control agents of pest species. *Parasitol.* **84**, 3-33.
- BAHR, L. (1909): Die Resultate der Versuche zur rationellen Rattenvertilgung. *Zentralbl. Bakteriol. Parasitenk. Infektionskrankh.* **52**, 441-455.
- BARKER, S.C., SINGLETON, G.R. & SPRATT, D.M. (1991): Can the nematode *Capillaria hepatica* regulate abundance in wild house mice? Results of enclosure experiments in southeastern Australia. *Parasitol.* **103**, 439-449.
- BECKER, K. & SCHULZE, G. (1981): Rattenbekämpfung als öffentliche Aufgabe. Friedrichsdorf, Pentagon Publ.
- BEDDING, R.A. & AKHURST, R.J. (1974): Use of the nematode *Deladenus siricidicola* in the biological control of *Sirex noctilio* in Australia. *J. Aust. Ent. Soc.* **13**, 129-137.
- BEHNKE, J. M., BARNARD, C. HURST, J. L., MCGREGOR, P. K., GILBERT, F. & LEWIS, J. W. (1993): The prevalence and intensity of infection with helminth parasites in *Mus spretus* from the Setubal Peninsula of Portugal. *J. Helminth.* **67**, 115-122.
- BURGSTALLER, H., ZEESE, W., ALI HASSAN, M.M. & KHALEK, A. (1991): Biological control of field rats in Egypt - with special consideration of native predators. *J. Plant Prot. Trop.* **8**, 1-17.
- BYKOWSKI, V.A. & KANDYBIN, N.V. (1988): Biological principles, development, and perspectives of the use of bacteria and viruses. In: PRAKASH, I. [Ed.]: *Rodent pest management*. Boca Raton, 377-389.
- CALVETE, C., VILLAFUERTE, R., ESTRADA, R., LUCIENTES, J. & OSÁCAR, J.J. (1995): Epidemiological aspects of rabbit haemorrhagic disease in Aragon, N.E. Spain. In: GURNELL, J. [Ed.]: *2nd European Congress of Mammalogy, abstracts of posters and papers*. Southampton, 145.
- COOPER, W.R. (1995): Why *Capillaria hepatica* (Nematoda) is unable to control mouse outbreaks in Australia. *Nematologica* **27**, 496.
- COTTELEER, C., FAMEREE, L. & ABBEELE, O. VAN DEN (1982): Les parasites de l'appareil digestif du surmulot (*Rattus norvegicus*) et du rat musqué (*Ondatra zibethica*) en Belgique. Incidence sanitaire pour l'homme et les animaux domestiques. *Schweizer Arch. Tierheilk.* **124**, 447-455.
- DAVIS, D.E., MYERS, K. & HOY, J.B. (1976): Biological control among vertebrates. In: HUFFACKER, C.B. & MESSENGER, P.S.

- [Eds.]: Theory and practice of biological control. New York, Academic Press, 501-519.
- DOBSON, A.P. (1988): Restoring island ecosystems: The potential of parasites to control introduced mammals. *Conservation Biology* **2**, 31-39.
- FRANK, W. (1976): Parasitologie. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- GAUGLER, R. & KAYA, H.K. (1990): Entomopathogenic nematodes in biological control. Boca Raton, CRC Press.
- HARTWICH, G. (1975): Parasitische Rundwürmer von Wirbeltieren. I. Rhabditida und Ascaridida. In: DAHL, F. [Ed.]: Die Tierwelt Deutschlands. 62. Teil, Jena, VEB Gustav Fischer.
- HAUKISALMI, V., HENTTONEN, H. & VIKMAN, P. (1995): The potential of an intestinal nematode to control its cyclic host population. In: GURNELL, J. [Ed.]: 2nd European Congress of Mammalogy, abstracts of posters and papers. Southampton, 148.
- HENTTONEN, H., SOVERI, T., HAUKISALMI, V. & LAAKKONEN, J. (1995): Do diseases affect microtine cycles in northern Fennoscandia? In: GURNELL, J. [Ed.]: 2nd European Congress of Mammalogy, abstracts of posters and papers. Southampton, 149.
- JAKEL, T., BURGSTALLER, H. & FRANK, W. (1996): *Sarcocystis singaporensis*: Studies on host specificity, pathogenicity, and potential use as a biocontrol agent of rats. *Parasitol.* **82** (im Druck).
- JAWORSKA, M. (1994): Entomopathogenic nematodes for the biological control of crustaceans (*Porcellio scaber* Latr.) and millipedes (*Blaniulus guttulatus* Bosc.) in greenhouse. *Anz. Schädlingsk. Pflanzensch. Umweltsch.* **67**, 107-109.
- KAYA, H.K. & GAUGLER, R. (1993): Entomopathogenic nematodes. *Ann. Rev. Entomol.* **38**, 181-206.
- KORTCHMAR, N.D. (1987): La lutte microbiologique contre les murides dans les conditions de l'agriculture intensive. EPPO/FAO Conference on Rodents, Rome (unpubl.).
- LEETSCH, S.D.A. (1948): Bakterienpräparate gegen Mäuse und Ratten. *Der deutsche Apotheker* **2**.
- LUND, M. (1967): Resistance of rodents to rodenticides. *World Rev. Pest Control* **6**, 131-138.
- MCKILLUP, S.C., ALLEN, P.G. & SKEWES, M.A. (1988): The natural decline of an introduced species following its initial increase in abundance; an explanation for *Ommatoius moreletii* in Australia. *Oecologia* **77**, 339-342.
- MCKILLUP, S.C., VAN HARTEN, A. & NEVES, A.M. (1991): Assessment of a rhabditid nematode, *Rhabditis necromena* Sudhaus and Schulte, as a biological control agent against the millipede *Spinotarsus caboverdus* Pierrard in the Cap Verde Islands, West Africa. *J. Appl. Ent.* **111**, 506-513.
- MEHLHORN, H., DÜWEL, D. & RAETHER, W. (1993): Diagnose und Therapie der Parasitosen von Haus-, Nutz- und Heimtieren. 2. Aufl. Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fischer.
- MYLLYMAKI, A. (1995): Anticoagulant resistance in Europe: Appraisal of the data from 1992 EPPO questionnaire. *Pestic. Sci.* **43**, 69-72.
- PELZ, H.-J. (1990): Resistenzprobleme bei der Bekämpfung von Ratten und Hausmäusen mit Antikoagulantien. *Gesunde Pflanzen* **42**, 435-439.
- PETERSEN, J.J. (1984): Nematode parasites of mosquitoes. In: NICKLE, W.R. [Ed.]: Plant and insect nematodes. New York & Basel, Marcel Dekker, 797-820.
- POINAR, G.O. & PAFF, M. (1985): Laboratory infection of terrestrial isopods (Crustacea: Isopoda) with neoplectanid and heterorhabditid nematodes (Rhabditida: Nematoda). *J. Invert. Pathol.* **45**, 24-27.
- PUNDRICH, U., NICKEL, S. & SCHUSTER, W. (1982): Beiträge zur Parasitenfauna der DDR. 6. Mitteilung. Untersuchungen zum Helminthenvorkommen bei der Hausratte (*Rattus rattus*). *Angew. Parasitol.* **23**, 125-129.
- ROMASHOV, B.V. (1977): [*Hepaticola hepatica* infections of Micromammalia in the Voronezh State Reserve (USSR).] *Ekologiya Gel'mintov, Yaroslavl', USSR* **1**, 75-78.
- SINGLETON, G.R. (1987): Introduction. In: SINGLETON, G.R. [Ed.]: *Capillaria hepatica* (Nematoda) as a potential control agent of house mice. CSIRO, Techn. Memor. **28**, 4-5.
- SINGLETON, G.R. (1987): Parasites of mice in the Victorian Mallee Wheatlands. In:

- SINGLETON, G.R. [Ed.]: *Capillaria hepatica* (Nematoda) as a potential control agent of house mice. CSIRO, Techn. Memor. **28** 12-14.
- SINGLETON, G.R., CHAMBERS, L.K. & SPRATT, D.M. (1995): An experimental field study to examine whether *Capillaria hepatica* (Nematoda) can limit house mouse populations in eastern Australia. Wildl. Res. **22**, 31-53.
- SINGLETON, G.R. & READHEAD, T. D. (1991): Future prospects for biological control of rodents using micro- and macro-parasites. CSIRO Division of Wildlife & Ecology, 75-82.
- SINGLETON, G.R., SPRATT, D.M., BARKER, S.C. & HODGSON, P.F. (1991): The geographic distribution and host range of *Capillaria hepatica* (Bancroft) (Nematoda) in Australia. Int. J. Parasit. **21**, 945-957.
- SPRATT, D.M. (1990): The role of helminths in the biological control of mammals. Int. J. Parasit. **20**, 543-550.
- SPREHN, C. (1961): Parasitische Nematoden. In: BROHMER, P., EHRMANN, P. & ULMER, G. [Hrsg.]: Die Tierwelt Mitteleuropas. 1. Band, Lief. 5b. Leipzig, Verlag Quelle & Meyer.
- STAMMER, H.-J. (1955): Die Parasiten deutscher Kleinsäuger. Verh. Dtsch. zool. Ges. Erlangen 1955. Leipzig, 362-390.
- STEINIGER, F. (1951): Neue Beobachtungen zur Frage der bakteriellen Nagetierbekämpfung. Mitt. Biol. Zentralanst. Berlin-Dahlem **70**, 133-135.
- WEBSTER, J.P. & MACDONALD, D.W. (1995): Parasites of wild brown rats (*Rattus norvegicus*) on UK farms. Parasitology **111**, 247-255.
- WILSON, M.J., GLEN, D.M. & GEORGE, S.K. (1993): The rhabditid nematode *Phasmarhobditis hermaphrodita* as a potential biological control agent for slugs. Biocontrol Sci. Techn. **3**, 503-511.
- WILSON, M.J., GLEN, D.M., GEORGE, S.K., PEARCE, J.D. & WILTSHIRE, C.W. (1994): Biological control of slugs in winter wheat using the rhabditid nematode *Phasmarhobditis hermaphrodita*. Ann. appl. Biol. **125**, 377-390.
- WHO (1967): Joint FAO/WHO expert committee on zoonoses. Third Report. WHO Tech. Rep. Ser. **378**, 127 p.
- WHO (1979): WHO.VBC.79.726.
- WOOD, B.J. (1985): Biological control of vertebrates - a review, and an assessment of prospects for Malaysia. J. Plant Prot. Trop. **2**, 67-79.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Hans-Joachim Pelz und
 Dr. Dieter Sturhan,
 Biologische Bundesanstalt für
 Land- und Forstwirtschaft,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Toppeideweg 88, 48161 Münster

Jahreszeitliches Vorkommen, Horizontal- und Vertikalverteilung entomopathogener Nematoden auf einer Ackerfläche

Seasonal occurrence, horizontal and vertical dispersal of entomopathogenic nematodes in a field

DIETER STURHAN

Abstract

On an experimental field at Ahlum near Braunschweig with sugar-beet, winter wheat and winter barley in rotation and with different intensity of application of pesticides and fertilizers, the occurrence of entomopathogenic nematodes of the genus *Steinernema* was established on 13 dates between April 1987 and October 1989. Infective juveniles were recovered by extraction from soil samples using the centrifugal-flotation method. A total of 1248 samples taken 0-15 cm and 15-30 cm deep were examined, 20 additional samples were taken deeper to study vertical dispersal.

Steinernema was present in 94 % of the samples; about 97 % of all specimens proved to be *S. affinis* and 3 % *S. feltiae*. The average population density in the 0-30 cm soil was about 66 infective juveniles per 250 g of soil or 103 000 infective juveniles per m². An average 56,6 % of the *Steinernema* specimens recovered from the tilled soil (0-30 cm) were present in the upper 0-15 cm. The percentage of the population present in the 30-150 cm layer was only 2,8 %. The populations showed considerable variation in horizontal and vertical distribution and varied greatly between sampling dates. Correlations with the individual crops and agricultural practice, the intensity of the application of pesticides and fertilizers or the seasons could not be demonstrated. The highest average numbers of infective juveniles were often observed in June and August.

Keywords: entomopathogenic nematodes, *Steinernema affinis*, *Steinernema feltiae*, distribution, spatial pattern, vertical dispersal, seasonal occurrence, field soil

In jüngster Zeit werden verstärkt Untersuchungen über natürliches Vorkommen entomopathogener Nematoden der Gattungen *Steinernema* und *Heterorhabditis* in verschiedenen Ländern und unterschiedlichen Biotopen durchgeführt (BLACKSHAW, 1988; BOAG *et al.*, 1992; GRIFFIN *et al.*, 1991; HOMINICK & BRISCOE, 1990; HOMINICK *et al.*, 1995; STURHAN, im Druck). Noch wenig bekannt ist über die Populationsdynamik bei natürlichem Vorkommen im Freiland; Lang-

zeitstudien zur Populationsdynamik fehlen weitgehend. Bei fast allen Untersuchungen wurde bisher mit der Ködermethode gearbeitet, bei der Larven der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella*) in den Boden eingebracht werden und aus der Anzahl befallener *Galleria*-Larven auf Vorkommen und gegebenenfalls Häufigkeit von Infektionsjuvenilen im Boden geschlossen wird. Zum Verständnis der Populationsdynamik ist eine Quantifizierung der vorkommenden Nematoden erfor-

derlich, die mit der Ködermethode nicht oder nur sehr begrenzt erreichbar ist.

Im Rahmen eines Großversuchs über Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzenschutzintensitäten auf Bodenorganismen (BMFT-Projekt Ahlum der Biologischen Bundesanstalt) wurden neben anderen bodenbewohnenden Nematoden auch die Infektionsjuvenilen von *Steinernema* erfaßt. Bei diesen Untersuchungen wurden die entomopathogenen Nematoden aus Bodenproben isoliert und direkt quantitativ erfaßt. Die Erhebungen erstreckten sich über fast drei Jahre; dabei wurden unterschiedliche Bodenhorizonte gesondert untersucht.

Zielsetzung, Durchführung und Resultate des Gesamtprojektes sind an anderer Stelle detailliert dargestellt worden (BARTELS & KAMPMANN, 1994). Auch über die nematologischen Befunde wurde zusammenfassend berichtet (LELIVELDT & STURHAN, 1994). Im folgenden sollen die Teilergebnisse für die Gattung *Steinernema* dargestellt werden. Dabei werden die Befunde für die vier unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen am Versuchsstandort zusammengefaßt, da nach LELIVELDT und STURHAN (1994) das Auftreten der Zooparasiten keinen Zusammenhang zur Bewirtschaftungsintensität erkennen läßt.

Material und Methoden

Die nematologischen Untersuchungen wurden auf der langjährig ackerbaulich genutzten 36 ha großen Versuchsfläche der Biologischen Bundesanstalt in Ahlum bei Braunschweig durchgeführt. Bei dem Boden der Ak-

kerkrume (bis 30 cm) handelt es sich überwiegend um schwach humosen, tonigen Schluff, mit einem mittleren pH-Wert von 6,85 und einem Gesamtporenvolumen um 50 %. Das Versuchsfeld war in drei Schläge (I – III) von je 12 ha unterteilt, mit der Fruchtfolge Zuckerrüben – Winterweizen – Wintergerste. Von jedem Schlag wurden Teilflächen in vier Intensitätsstufen (I_0 – I_3) bewirtschaftet, die sich im wesentlichen in Höhe und Intensität des Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes unterschieden (vgl. BARTELS *et al.*, 1994).

Bodenproben wurden von April 1987 bis Oktober 1989 an 13 Terminen auf allen drei Schlägen in den jeweils vier Intensitätsstufen entnommen. Pro Intensität wurden auf vier Parzellen Bodenmischproben durch fünf Einstiche mit einem Erdbohrer gewonnen und nach Tiefenstufen von 0-15 cm und 15-30 cm unterteilt. Für jeden Probenahmetermin ergaben sich somit 96 Bodenproben, für den gesamten Untersuchungszeitraum 1248 Proben. Im November 1987 wurden außerdem an vier Stellen des Versuchsfeldes Bodenproben aus verschiedenen Bodenhorizonten bis zu einer Tiefe von 150 cm entnommen. Bis zur weiteren Bearbeitung, die zumeist innerhalb weniger Tage nach Probenahme erfolgte, wurden die Bodenproben im Kühlraum bei 4 °C gelagert.

Aus 250 g Erde jeder Mischprobe wurden die Nematoden mittels $MgSO_4$ -Zentrifugationsmethode extrahiert und anschließend mit TAF fixiert. Die mikroskopische Analyse der Nematodensuspensionen erfolgte unter Verwendung eines „umgekehrten“ Durchlichtmikroskopes; dabei wurden neben den übrigen Bodennematoden

auch *Steinernema*-Infektionslarven quantitativ erfaßt.

Ergebnisse

Auf dem Versuchsfeld wurden insgesamt 83 Nematodenarten nachgewiesen; 61 Taxa waren im Rahmen der Untersuchungen differenzierbar, darunter als Zooparasiten *Deladenus* sp., *Pelodera strongyloides* und die Gattung *Steinernema*. Je Probe wurden durchschnittlich 35 Nematodentaxa festgestellt (LELIVELDT & STURHAN, 1994).

Im Verlauf des Untersuchungszeitraums wurden Steinernemen in sämtlichen 48 untersuchten Parzellen des Versuchsfeldes nachgewiesen. Lediglich in 74 (= 6 %) der insgesamt 1248 auf Nematoden analysierten 250 g-Erdproben fanden sich keine entomopathogenen Nematoden. Es kam fast ausschließlich die Art *Steinernema affinis* (Bovien, 1937) vor; schwach vertreten war *S. feltiae* (Filipjev, 1934) mit etwa 3 % aller *Steinernema*-Individuen.

Die durchschnittliche Nematodendichte je 250 g-Probe für 0-30 cm Bodentiefe betrug 8254 Individuen, darunter 66 Steinernemen (= < 1 % aller Nematoden). Dies entspricht einer Individuendichte von 103 000 *Steinernema*/m² im 0-30 cm-Bodenhorizont (mittlere Lagerungsdichte des Bodens 1,3 g/cm³). Als Höchstwerte wurden in einer Probe aus dem 15-30 cm-Horizont 1790 Steinernemen ermittelt, in der zugehörigen Probe aus 0-15 cm Bodentiefe 1010 Steinernemen. Die mittleren Abundanzwerte für die verschiedenen Schläge und Intensitätsstufen für die 250 g-Proben aus

der Ackerkrume (0-30 cm Tiefe) sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Zu fast allen Untersuchungsterminen waren in der oberen Bodenschicht mehr *Steinernema*-Infektionslarven nachweisbar als in 15-30 cm Bodentiefe (Abb. 1). Im Durchschnitt fanden sich 56,6 % aller Tiere aus der Ackerkrume im oberen Bodenhorizont. Die Ergebnisse der Untersuchung über die Vertikalverteilung auch in größeren Bodentiefen sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Nach diesen Befunden kamen 97,2 % aller Steinernemen in der Ackerkrume vor. Bei den in größeren Bodentiefen gefundenen Steinernemen handelte es sich überwiegend um *S. feltiae*.

Tab. 1: Mittlere Individuendichte von *Steinernema*/250 g Boden in 0-30 cm Bodentiefe (je Schlag und Intensitätsstufe n = 104)

| Intensitätsstufe | I ₀ | I ₁ | I ₂ | I ₃ |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Schlag I | 98 | 97 | 69 | 50 |
| Schlag II | 103 | 46 | 51 | 75 |
| Schlag III | 40 | 91 | 43 | 59 |

Die in Abbildung 2 zusammengefaßten Ergebnisse zur Populationsdynamik zeigen teilweise große Abundanzschwankungen zwischen den Untersuchungsterminen. Eine Korrelation zwischen Jahreszeit und Individuendichte wird nicht deutlich. Höchste Werte fanden sich allerdings häufig im Juni und August; die relativ niedrigen Dichten im August 1989 sind möglicherweise durch die vorangegangene Trockenperiode erklärbar (daher

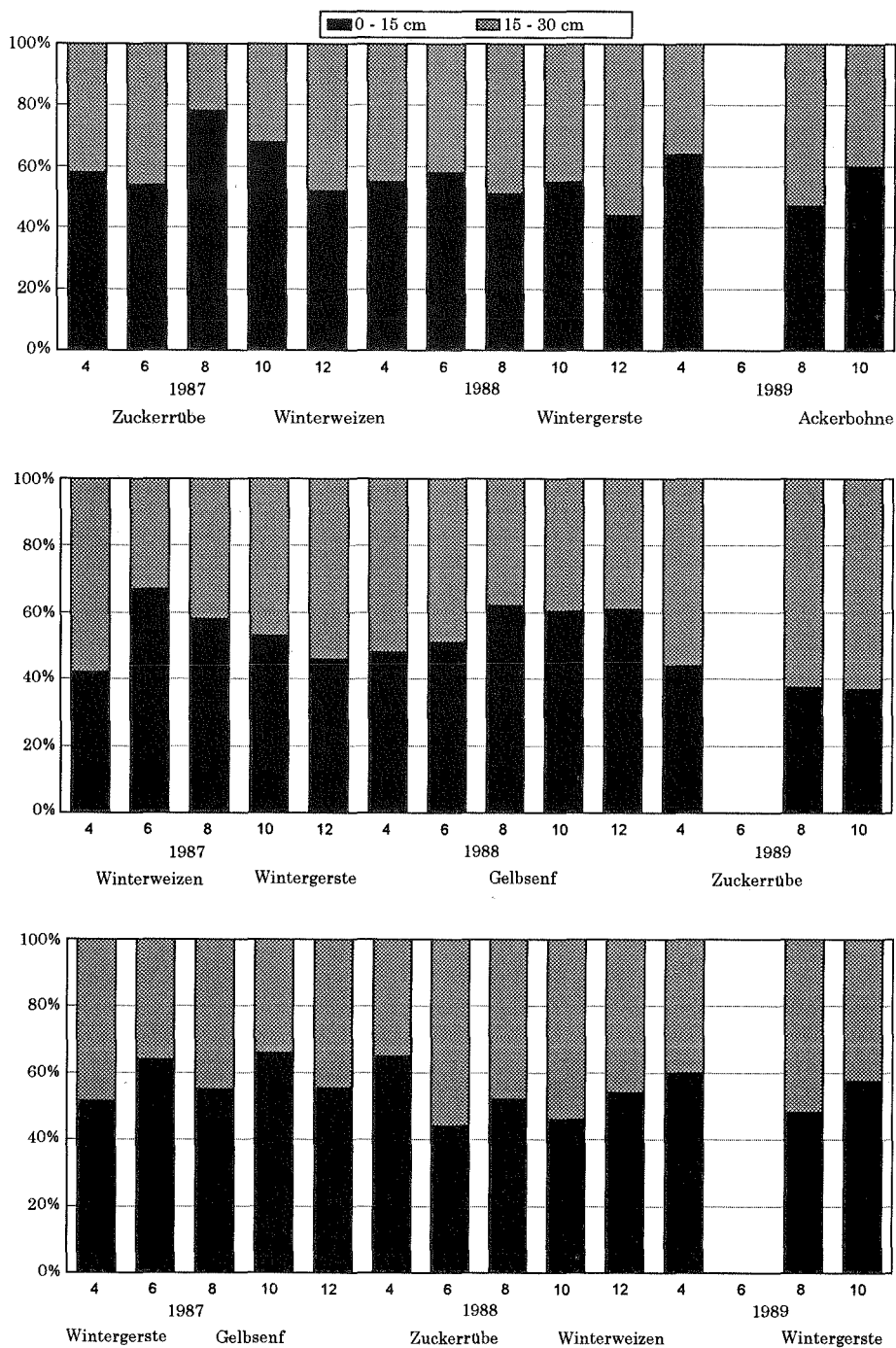


Abb. 1: Vertikalverteilung von *Steinernema*-Infektionslarven auf den drei Schlägen des Versuchsfeldes Ahlum von April 1987 bis Oktober 1989

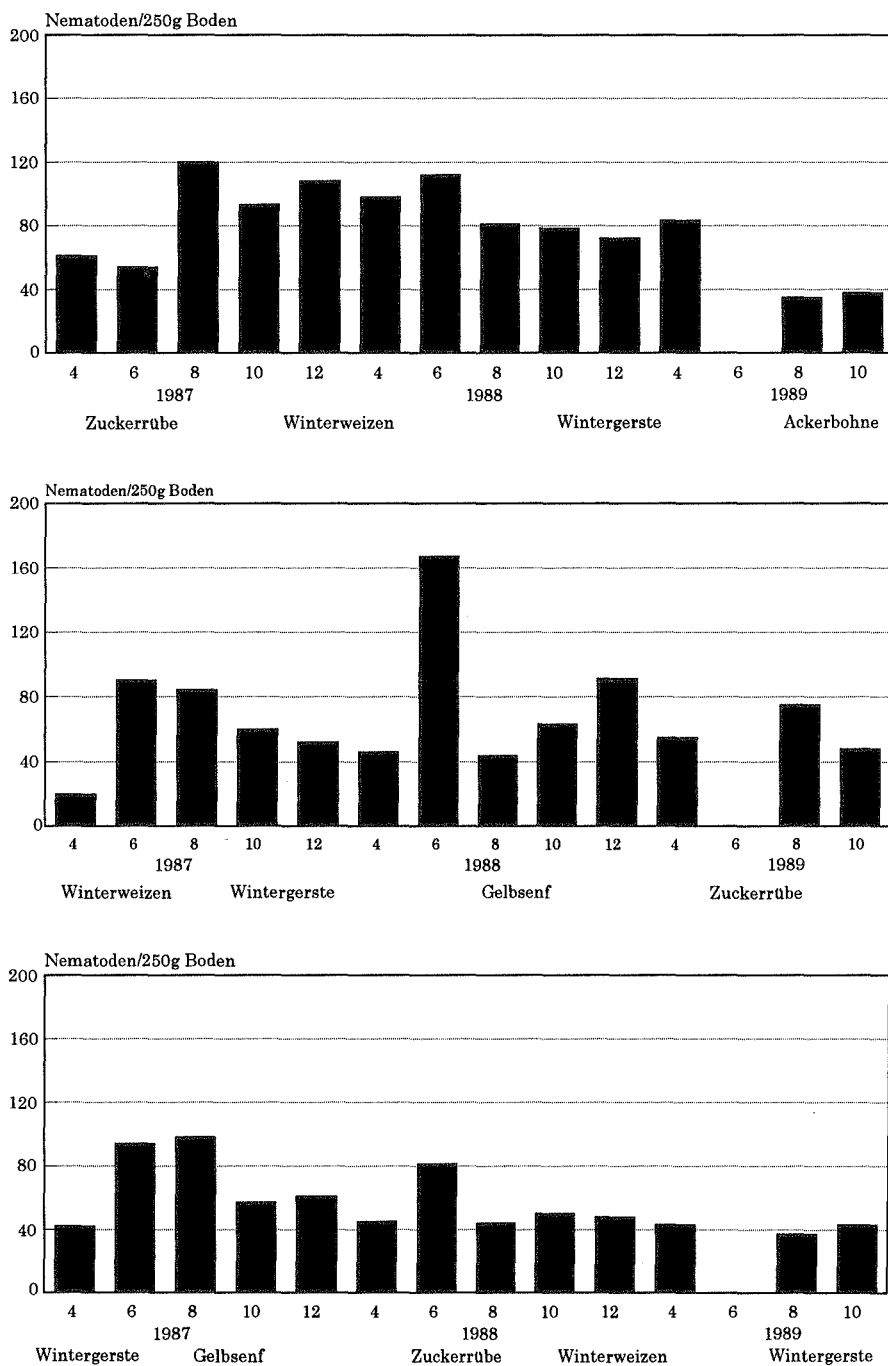


Abb. 2: Mittlere Individuendichte von *Steinernema*-Infektionslarven auf den drei Schlägen des Versuchsfeldes Ahlum von April 1987 bis Oktober 1989

Tab. 2: Tiefenverteilung von *Steinernema* (je Tiefenstufe 5 · 250 g-Proben von 5 Probenahmestellen ausgewertet)

| Bodentiefe (cm) | <i>Steinernema</i> | |
|--------------------|--------------------|------|
| | Anzahl | % |
| 0 - 15 | 750 | 56,5 |
| 15 - 30 | 540 | 40,7 |
| 30 - 45 | 30 | 2,2 |
| 45 - 150 | 8 | 0,6 |

wurde auch keine Untersuchung im Juni 1989 durchgeführt).

Beziehungen zur Nutzungsweise und den jeweiligen Kulturen sind ebenfalls nicht erkennbar. Obwohl die für die Schläge I – III zusammengefaßten Befunde für die Intensitätsstufe $I_0 = 80$ Ind./250 g, für $I_1 = 78$ Ind./250 g, für $I_2 = 54$ Ind./250 g und für $I_3 = 61$ Ind./250 g ergaben, werden aus den in Tabelle 1 wiedergegebenen Daten keine Beziehungen zur Intensität des Einsatzes von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln deutlich.

Diskussion

Das Köderverfahren mit Einsatz von Larven der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella*) hat sich als Standardmethode zum Nachweis entomopathogener Nematoden im Boden eingebürgert. Eine quantitative Erfassung durch Ermittlung des Anteils infizierter Ködertiere ist nur begrenzt möglich, auch wenn sich die Effektivität durch Verlängerung der Hälterungszeiten wesentlich steigern läßt (FAN & HOMINICK, 1991; POLLITT, 1993). Bei einem Vergleich von Ködermethode, Baermanntrichter-Ver-

fahren und Extraktion der Nematoden mittels Zentrifugationsmethode wurden die besten Ergebnisse mit dem letzten Verfahren erzielt (CURRAN & HENG, 1992; POLLITT, 1993). Allerdings erlaubt dieses Verfahren keine Aussagen über Vitalität und Infektiosität der extrahierten Steinernemen.

Für die Untersuchungen in Ahlum wurde die für die Extraktion von Bodennematoden verbreitet eingesetzte Zentrifugationsmethode erstmals in großem Umfang für den quantitativen Nachweis entomopathogener Nematoden genutzt. Die sichere Differenzierung der Steinernemen von Tausenden anderer Nematoden in den mit diesem Verfahren gewonnenen Nematodensuspensionen setzt dabei eine gute Formenkenntnis und leistungsfähige mikroskopische Ausrüstung voraus.

Angaben über Abundanzen bei natürlich vorkommenden entomopathogenen Nematoden finden sich in der Literatur bisher nur vereinzelt. So geben BEDNAREK und MRAČEK (1986) für Waldböden in Südpolen bis zu 1600 juvenile entomopathogene Nematoden je Quadratmeter an, BEDNAREK und NOWICKI (1991) für Wiesenböden 82 bis 650 Individuen/m² und 1220 bis 11 980 für Ackerböden. POLLITT (1993) wies mittels Ausschwemm- und Ködermethode (mit langer Hälterungsperiode) bis zu maximal 968 entomopathogene Nematoden in 500 ml Boden nach, was einer Nematodendichte von bis zu fast 600 000 Tieren/m² und 30 cm Bodentiefe entsprechen würde. Dies dürfte angesichts der ungleichmäßigen Verteilung natürlich vorkommender Infektionsjuvenilen jedoch nicht die tatsächlichen Verhältnisse wiedergeben.

Der für die Ackerfläche in Ahlum ermittelte, aus 1248 Einzeldaten errechnete Mittelwert von über 100 000 Steinernemen pro Quadratmeter bis 30 cm Bodentiefe liefert erstmals einen gesicherten Befund über die durchschnittliche Populationsdichte entomopathogener Nematoden auf einer repräsentativen Fläche. Angesichts der bei Bekämpfungsmaßnahmen im Gießverfahren ausgebrachten Nematodenmengen (500 000 Individuen/m²) ist der für Ahlum ermittelte Durchschnittswert bemerkenswert hoch und widerlegt die Annahme von HOMINICK und REID (1990), daß die Anzahl von Infektionsjuvenilen in natürlichen Populationen "minute" ist im Vergleich zu den Individuenmengen, die bei Bekämpfungsprogrammen eingesetzt werden. In welchem Umfang die natürlich vorkommenden Steinernemen als Regulationsfaktor bei Insekten auf der Ackerfläche von Bedeutung sind, ist nicht abzuschätzen. Zu berücksichtigen ist, daß offensichtlich nicht alle Individuen unter den Infektionsjuvenilen entomopathogener Nematoden infektiös sind (STURHAN & KREIMEIER, 1992; FAN & HOMINICK, 1991; HOMINICK in BURNELL & REID, 1995).

Das für die Versuchsfläche Ahlum ermittelte Maximum von 1790 Individuen in einer 250 g-Bodenprobe ist ebenfalls bemerkenswert hoch. FAN (nach AMARASINGHE *et al.*, 1994) fand bis zu 2814 Infektionsjuvenile in 800 ml Boden.

Untersuchungen über die kleinräumige Verteilung natürlich vorkommender Populationen entomopathogener Nematoden im Boden haben gezeigt, daß die Infektionsjuvenilen in der Regel ungleichmäßig und punk-

tuell konzentriert vorzukommen scheinen (BOAG *et al.*, 1992; HOMINICK & REID, 1990; CABANILLAS & RAULSTON, 1994; STUART & GAUGLER, 1994). Die Entwicklung Tausender Infektionsjuvenilen in einem einzigen parasitierten Wirtsinsekt und die geringe aktive Migrationsfähigkeit im Boden erklären dieses Phänomen. SPIRIDONOV und VORONOV (1995) konnten in fast allen kleinräumig entnommenen Bodenproben *Steinernema feltiae* nachweisen, allerdings ebenfalls in sehr unterschiedlicher Anzahl.

Die Befunde für Ahlum zeigen, daß Steinernemen auf dem Versuchsfeld offensichtlich überall vorkommen. Obwohl die Individuenzahlen für die einzelnen Bodenproben beträchtlich variieren, weisen die mittleren Abundanzwerte für die einzelnen Großparzellen bemerkenswert geringe Abweichungen auf (Tab. 1). Das Auftreten von Steinernemen auf der gesamten Ackerfläche läßt vermuten, daß geeignete Vermehrungswirte überall vorhanden sind. Die weitgehend gleichmäßige Verteilung (punktuelle Konzentrationen konnten nur begrenzt nachgewiesen werden und ließen sich nicht genau erfassen, da Bodenmischproben untersucht wurden) deutet darauf hin, daß die Infektionsjuvenilen bereits längere Zeit nach Verlassen der Wirtskadaver freilebend im Boden vorhanden waren und Verteilung und Ausbreitung aktiv durch Wandern und passiv durch Bodenbearbeitung, Transport mit Bodenwasser usw. erfolgt sein mögen.

Über die Dispersionsaktivität entomopathogener Nematoden liegen widersprüchliche Literaturangaben vor. Es waren sowohl nur geringe horizon-

tale Bewegungen von wenigen cm pro Tag oder Woche nachweisbar (MOYLE & KAYA, 1981; POINAR & HOM, 1986; ROVESTI *et al.*, 1991) als auch horizontale Wanderungen bis zu einem Meter innerhalb eines Zeitraums von einem Monat, wobei sich verschiedene Arten entomopathogener Nematoden unterschiedlich verhielten (SCHROEDER & BEAVERS, 1987; RETHMEYER, 1990).

Auch bei der vertikalen Wanderung im Boden gibt es artliche Unterschiede im Wanderverhalten, z. B. wanderte im Versuch *S. carpocapsae* kaum, *S. glaseri* dagegen bis zu 90 cm (SCHROEDER & BEAVERS, 1987). Bei natürlich vorkommenden Populationen scheinen die meisten Infektionsjuvenilen in den obersten Bodenschichten vorzukommen; so fanden CABANILLAS und RAULSTON (1994) für *S. riobravis* in den obersten 20 cm die höchsten, in 25-30 cm Tiefe die geringsten Dichten. BURMAN *et al.* (1986) wiesen *Steinernema* im allgemeinen ebenfalls in den oberen Bodenschichten bis zu 15-35 cm Tiefe nach, gelegentlich aber auch in Bodentiefen bis 80 cm.

Die Untersuchungen in Ahlum ergaben zwar auch für die Bodenschicht von 0-15 cm Tiefe die höchsten Abundanzwerte, doch weist der Bodenhorizont von 15-30 cm nur geringfügig geringere Werte auf (Abb. 1). Vermutlich dürften Bearbeitungsmaßnahmen (Pflügen) die ziemlich gleichmäßige Verteilung in der Ackerkrume gefördert haben. Der Anteil an Infektionsjuvenilen unterhalb der Ackerkrume ist mit < 3 % äußerst gering (Tab. 2). Es bedarf einer Überprüfung, ob *S. feltiae* eventuell eher in größeren Bodentiefen anzutreffen ist als *S. affinis*.

Über jahreszeitliche Schwankungen im Vorkommen entomopathogener Nematoden ist verschiedentlich berichtet worden. BLACKSHAW (1988) und GRIFFIN *et al.* (1991) stellten in Irland eine Abnahme der Häufigkeit im Frühjahr fest. MRÁČEK (1980, 1982) beobachtete in der Tschechoslowakei einerseits *Maxima* im Frühjahr und Herbst, gab aber für *Steinernema kraussei* Höchstwerte für Juli und November an. HOMINICK und BRISCOE (1990) konnten bei Untersuchungen in England, die sich auf 15 Standorte und über 28 Monate erstreckten, keine jahreszeitlichen Trends im Auftreten nachweisen. POLLITT (1993) kam in Schleswig-Holstein zu ähnlichen Ergebnissen.

Die Befunde für Ahlum zeigen für den Untersuchungszeitraum teilweise beträchtliche Unterschiede in der Populationsdichte (Abb. 2). Obgleich die höchsten Abundanzwerte meist in den Sommermonaten ermittelt wurden, niedrige öfter zu den Frühjahrs- und Winterterminen, sind Beziehungen zur Jahreszeit nicht eindeutig erkennbar. Dies gilt auch für die Verteilung der Steinernemen in den untersuchten Bodenhorizonten (Abb. 1).

Das jahreszeitliche Auftreten von Wirten und die Wirtsdichte sind vermutlich die entscheidenden, die Populationsdichte entomopathogener Nematoden bestimmenden Faktoren, wie dies von MRÁČEK (1982) für *S. kraussei* und die Fichtenblattwespe (*Cephalcia abietis*) nachgewiesen wurde. Die Austrocknung des Bodens wird sich einerseits direkt auf die Abundanz auswirken, andererseits durch Verringerung der Möglichkeit, Wirte aufzusuchen. Niedrige Temperaturen im Winterhalbjahr werden - wie bei anderen bodenlebenden Nematoden

auch - vor allem durch Reduktion der Entwicklungsgeschwindigkeit bis hin zur Unterbindung der Vermehrung zu einer Populationsminderung führen, wenn gleichzeitig Antagonisten wirksam bleiben. Da sich die Arten entomopathogener Nematoden hinsichtlich Wirtsspektren und ökologischen Ansprüchen vermutlich stärker unterscheiden dürften, als zumeist angenommen wird, sind Unterschiede für die jeweils untersuchten Arten und Standorte zu erwarten. Die für *S. affinis* (mit geringen Beimischungen von *S. feltiae*) auf der Ackerfläche in Ahlum erzielten Befunde sollten somit nicht generalisiert werden.

Auf die Notwendigkeit einer exakten Erfassung der Nematodenpopulationen durch Quantifizierung der Infektionsjuvenilen im Boden, die mit bisher gebräuchlichen Methoden nicht befriedigend zu erreichen ist, wurde mehrfach hingewiesen (HOMINICK & REID, 1990; HOMINICK in BURNELL & REID, 1995). Mit den umfangreichen Untersuchungen in Ahlum wurde dazu ein Beitrag geliefert; Aussagen über die Infektiosität erlauben die Befunde nicht.

(Für die Aufarbeitung der Bodenproben und die sorgfältige mikroskopische Analyse der Nematodensuspensionen sei Frau Ulrike Baranski und Frau Dr. Beatrix Leliveldt vielmals gedankt.)

Zusammenfassung

Auf einer landwirtschaftlichen Versuchsfläche in Ahlum bei Braunschweig mit der Fruchtfolge Zuckerrübe - Winterweizen - Wintergerste und unterschiedlich intensivem Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln wurden zu 13 Terminen von April 1987 bis Oktober 1989 Untersuchungen über Vorkommen von entomopathogenen Nematoden der Gattung *Steinernema* durchgeführt. Dabei wurden die Infektionslarven durch Extraktion aus Bodenproben mittels Zentrifugationsmethode erfaßt. Untersucht wurden 1248 Proben aus 0-15 cm und 15-30 cm Bodentiefe sowie 20 weitere Proben zur Ermittlung der Vertikalverteilung.

Steinernema war in 94 % aller Proben vertreten; bei etwa 97 % aller Individuen handelte es sich um die Art *S. affinis*, bei 3 % um *S. feltiae*. Die durchschnittliche Individuendichte in 0-30 cm Bodentiefe betrug 66 Infektionslarven/250 g Erde; dies entspricht 103 000 Infektionslarven/m². Im oberen Bodenhorizont von 0-15 cm Tiefe fanden sich durchschnittlich 56,6 % der in der Ackerkrume (0-30 cm) nachgewiesenen Steinernemen; in 30-150 cm Bodentiefe sank der Anteil auf 2,8 %. Die Abundanzwerte zeigten für Horizontal- und Vertikalverteilung sowie die verschiedenen Untersuchungstermine große Schwankungen. Beziehungen zur Nutzungsweise und den jeweiligen Kulturen sowie zur Intensität des Einsatzes von Pflanzenschutz- und Düngemitteln oder auch zur Jahreszeit waren nicht erkennbar; höchste mittlere Individuendichten fanden sich jedoch häufig im Juni und August.

Literatur

- AMARASINGHE, L.D., HOMINICK, W.M., BRISCOE, B.R. & REID, A.P. (1994): Occurrence and distribution of entomopathogenic nematodes in Sri Lanka. *J. Helminth.* **68**, 277-286.
- BARTELS, G. & KAMPMANN, TH. [Hrsg.] (1994): Auswirkungen eines langjährigen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln bei unterschiedlichen Intensitätsstufen und Entwicklung von Bewertungskriterien. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **295**, 405 S.
- BARTELS, G., NORDMEYER, H. & KAMPMANN, TH. (1994): Versuchsstandort "Ahlum". *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **295**, 9-43.
- BEDNAREK, A. & MRÁČEK, Z. (1986): The incidence of nematodes of the family Steinernematidae in *Cephalcia falleni* Dalm. (Hymenoptera: Pamphilidae) habitat after an outbreak of the pest. *J. appl. Ent.* **102**, 527-530.
- BEDNAREK, A. & NOWICKI, T. (1991): New estimation method for the density of entomogenous nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) in the soil. *Rev. Nématol.* **14**, 638-639.
- BLACKSHAW, R.P. (1988): A survey of insect parasitic nematodes in Northern Ireland. *Ann. appl. Biol.* **113**, 561-565.
- BOAG, B., NEILSON, R. & GORDON, S.C. (1992): Distribution and prevalence of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* in Scotland. *Ann. appl. Biol.* **121**, 355-360.
- BURMAN, M., ABRAHAMSSON, K., ASCARD, J., SJÖBERG, A. & ERIKSSON, B. (1986): Distribution of insect parasitic nematodes in Sweden. In: SAMSON, R.A., VLAK, J.M. & PETERS, D. [Eds.]: *Fundamental and applied aspects of invertebrate pathology*. Wageningen, 312.
- BURNELL, A. & REID, A. (1995): Entomopathogenic nematodes. *Nematologica* **41**, 360-361.
- CABANILLAS, H.E. & RAULSTON, J.R. (1994): Evaluation of the spatial pattern of *Steinernema riobravense* in corn plots. *J. Nematol.* **26**, 25-31.
- CURRAN, J. & HENG, J. (1992): Comparison of three methods for estimating the number of entomopathogenic nematodes present in soil samples. *J. Nematol.* **24**, 170-176.
- FAN, X. & HOMINICK, W.M. (1991): Efficiency of the *Galleria* (wax moth) baiting technique for recovering infective stages of entomopathogenic rhabditids (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from sand and soil. *Rev. Nématol.* **14**, 381-387.
- GRIFFIN, C.T., MOORE, J.F. & DOWNES, M.J. (1991): Occurrence of insect-parasitic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae) in the Republic of Ireland. *Nematologica* **37**, 92-100.
- HOMINICK, W.M. & BRISCOE, B.R. (1990): Survey of 15 sites over 28 months for entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae). *Parasitology* **100**, 289-294.
- HOMINICK, W.M. & REID, A.P. (1990): Perspectives on entomopathogenic nematology. In: GAUGLER, R. & KAYA, H.K. [Eds.]: *Entomopathogenic nematodes in biological control*. Boca Raton, CRC Press, 327-345.
- HOMINICK, W.M., REID, A.P. & BRISCOE, B.R. (1995): Prevalence and habitat specificity of steinernematid and heterorhabditid nematodes isolated during soil surveys of the UK and the Netherlands. *J. Helminth.* **69**, 27-32.
- LELIVELDT, B. & STURHAN, D. (1994): Untersuchungen über Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität auf die Nematodenzönose eines Ackerbodens. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **295**, 318-352.
- MOYLE, P.L. & KAYA, H.K. (1981): Dispersal and infectivity of the entomogenous nematode, *Neoaplectana carpocapsae* Weiser (Rhabditida: Steinernematidae), in sand. *J. Nematol.* **13**, 295-300.
- MRÁČEK, Z. (1980): The use of "*Galleria* traps" for obtaining nematode parasites of insects in Czechoslovakia (Lepidoptera: Nematoda, Steinernematidae). *Acta entomol. bohemoslov.* **77**, 378-382.
- MRÁČEK, Z. (1982): Horizontal distribution in soil, and seasonal dynamics of the nematode *Steinernema kraussei*, a parasite of *Cephalcia abietis*. *Z. ang. Ent.* **94**, 110-112.
- NGUYEN, K.B. & SMART, G.C. (1990): Vertical dispersal of *Steinernema scapterisci*. *J.*

- Nematol. **22**, 574-578.
- POINAR, G.O. & HOM, A. (1986): Survival and horizontal movement of infective stage *Neoplectana carpocapsae* in the field. J. Nematol. **18**, 34-36.
- POLLITT, S. (1993): Vorkommen entomopathogener Nematoden in Böden Schleswig-Holsteins. Diplomarbeit, Math.-nat. Fakultät, Univ. Kiel, 71 S.
- RETHMEYER, U. (1990): Mobility and persistence of infective-stage entomogenous nematodes under various field conditions. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent **55**, 685-690.
- ROVESTI, L., HEINZPETER, E.W. & DESEÖ, K.V. (1991): Distribution and persistence of *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis* spp. (Nematodes) under different field conditions. Anz. Schädlingskunde, Pflanzensch., Umweltsch. **64**, 18-22.
- SCHROEDER, W.J. & BEAVERS, J.B. (1987): Movement of the entomogenous nematodes of the families Heterorhabditidae and Steinernematidae in soil. J. Nematol. **19**, 257-259.
- SPIRIDONOV, S.E. & VORONOV, D.A. (1995): Small scale distribution of *Steinernema feltiae* juveniles in cultivated soil. In: GRIFFIN, C.T., GWYNN, R.L. & MASSON, J.P. [Eds.]: Ecology and transmission strategies of entomopathogenic nematodes. COST 819. Brussels & Luxembourg, p. 36-41.
- STUART, R.J. & GAUGLER, R. (1994): Patchiness in populations of entomopathogenic nematodes. J. Invertebr. Path. **64**, 39-45.
- STURHAN, D. & KREIMEIER, B. (1992): Vergleichende Untersuchungen über die Präsenz symbiotischer Bakterien in Infektionslarven von *Steinernema*-Arten aus Freilandpopulationen und Laborkulturen. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **283**, 301.
- STURHAN, D. (im Druck): Prevalence and habitat specificity of entomopathogenic nematodes in Germany. Proc. COST 819 Workshop, Todi, Italy, May 16-20, 1995. European Commission, Brussels.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Dieter Sturhan,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Toppheideweg 88, 48161 Münster

Untersuchungen zur Wirtsspezifität eines *Pasteuria*-Isolates von *Heterodera goettingiana*

Studies on host specificity of a *Pasteuria* isolate from *Heterodera goettingiana*

RITA WINKELHEIDE und DIETER STURHAN

Abstract

In a *Pasteuria* isolate parasitic on the pea cyst nematode (*Heterodera goettingiana*) at Münster, Germany, infection and development take place in the second-stage juvenile of the nematode. In field studies up to 93 % of all free juveniles in soil were attacked by the parasite; in 26 other nematode taxa neither internal infection nor spore attachment to the cuticle were seen. *Pasteurias* observed in *Tylenchorhynchus dubius* proved to be different from the isolate ex *H. goettingiana*. In pot experiments and in *in vitro* tests there was a high affinity of the spores to second-stage juveniles of *Heterodera cruciferae*, *H. carotae* and *Cactodera cacti*. Less spore attachment was observed in seven other *Heterodera* species, several *Globodera* species and *Meloidodera alni*. No spores attached to the cuticle in eight additional heteroderid species, second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. hapla* and in females and juveniles of *Pratylenchus brachyurus*. An internal infection and the development of the parasite was so far only observed in *H. goettingiana*.

Keywords: *Pasteuria*, bacteria, parasite, cyst nematodes, *Heterodera goettingiana*, hosts

Die drei bisher beschriebenen nematodenparasitären *Pasteuria*-Arten unterscheiden sich nicht nur in Morphologie und Ultrastruktur, sondern auch durch ihr Wirtsspektrum und in der Eigenschaft, bestimmte Entwicklungsstadien ihrer Wirtsnematoden zu parasitieren. Bei *Pasteuria penetrans* (Thorne, 1940) Sayre & Starr, 1985 und *P. nishizawae* Sayre, Wergin, Schmidt & Starr, 1991 erfolgt die Sporenanheftung bei den im Boden frei beweglichen Infektionsjuvenilen von *Meloidogyne* bzw. *Heterodera*. Der Penetrationsschlauch dringt erst ein nach dem Einwandern der Nematoden in die Wirtswurzel, und die volle Ausbildung der Bakterien geschieht in dem sich entwickelnden Nematodenweibchen. Bei *P. thornei* Starr & Say-

re, 1988 können Sporenanheftung und Parasitierung bei allen beweglichen Entwicklungsstadien der Wirtsnematoden erfolgen.

Pasteuria penetrans wurde als Parasit des Wurzelgallennematoden *Meloidogyne incognita* beschrieben und hat auch andere *Meloidogyne*-Arten als Wirte. *P. nishizawae* kann neben *Heterodera elachista* und *H. glycines* vermutlich weitere Arten zystenbildender Nematoden parasitieren. Für *P. thornei* scheint bisher lediglich *Pratylenchus brachyurus* als Wirt bekannt zu sein.

Bei einem *Pasteuria*-Isolat, das im Jahr 1983 in Münster beim Erbsenzytstennematoden *Heterodera goettingiana* Liebscher, 1892 gefunden worden war, wurden in Morphologie und

Feinstruktur Unterschiede zu den bisher bekannten *Pasteuria*-Arten festgestellt. Parasitierung und Entwicklung erfolgen abweichend zu den drei beschriebenen nematodenparasitären *Pasteuria*-Arten nur in den Infektionsjuvenilen des Wirtsnematoden (WINKELHEIDE & STURHAN, 1993; STURHAN *et al.*, 1994). Über Untersuchungen zum Wirtsspektrum des *Pasteuria*-Isolats von *H. goettingiana* (HGP) soll im folgenden berichtet werden.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an dem HGP-Isolat durchgeführt, das bei *H. goettingiana* in einer Kleinparzelle auf dem Versuchsgelände der Biologischen Bundesanstalt in Münster gefunden worden war; die ursprünglich aus Göttingen stammenden Erbsenzystennematoden waren seit 1960 auf dieser 1 m² großen Betonrahmen-Parzelle kultiviert worden (WINKELHEIDE & STURHAN, 1993).

Felduntersuchungen

Aus der Freilandparzelle wurden mehrfach zu verschiedenen Jahreszeiten und in mehreren aufeinanderfolgenden Jahren Bodenproben entnommen und die Nematoden daraus mittels MgSO₄-Zentrifugiermethode isoliert. Die verschiedenen Nematodentaxa in den so gewonnenen Nematodensuspensionen wurden unter einem inversen Mikroskop (Leitz-Diavert) bei mittleren Vergrößerungen auf Vorkommen von *Pasteuria*-Sporen auf der Cuticula und Parasitierung im Körper hin untersucht.

Gefäßversuche mit Erde

Mit HGP kontaminierter Boden aus dem Freiland wurde in Versuchsgefäße gefüllt. Nematoden der Arten *Heterodera goettingiana*, *H. schachtii*, *H. cruciferae*, *H. carotae*, *H. trifolii*, *H. avenae*, *Globodera pallida*, *Meloidogyne incognita* und *M. hapla* wurden getrennt zugegeben, für jede Nematodenart geeignete Wirtspflanzen eingesetzt und die Versuchsgefäße im Gewächshaus gehalten. Nach 4 ½ Monaten wurden die Nematoden mittels MgSO₄-Verfahren aus der Versuchserde isoliert.

in vitro-Untersuchungen

Mit reifen *Pasteuria*-Sporen gefüllte *H. goettingiana*-Juvenile wurden aus mittels Zentrifugierverfahren gewonnenen Nematodensuspensionen herausgesucht, auf einen Hohlschliffobjektträger überführt und mit Hilfe eines Skalpells und einer Präpariernadel zerkleinert und zerdrückt, um die *Pasteuria*-Sporen freizusetzen. Anschließend wurden mobile Individuen der zu testenden Nematodenart zugeetzt, der Hohlschliffobjektträger in eine feuchte, mit Parafilm verschlossene Kammer gegeben und 48 h bei Raumtemperatur inkubiert. Die Untersuchung auf Sporenanheftung an der Cuticula erfolgte bei stärkeren mikroskopischen Vergrößerungen. Berücksichtigt wurden dabei nur solche Nematoden, die zum Auswertungszeitpunkt aktiv beweglich waren. Zur Kontrolle der Anheftungsfähigkeit des verwendeten *Pasteuria*-Sporenmaterials wurden anschließend in der Regel frisch geschlüpfte *H. goettingiana*-Juvenile aus nicht-parasitierten Popula-

tionen auf den Hohlschliffobjektträger gesetzt; nach ebenfalls 48 h erfolgte eine lichtmikroskopische Untersuchung dieser zugesetzten Nematoden auf Sporenanheftung.

In die Untersuchungen einbezogen wurden 15 *Heterodera*-Arten, 4 *Globodera*-Arten, je eine *Cactodera*-, *Punctodera*-, *Meloidodera*- und *Verutus*-Art, 3 *Meloidogyne*-Arten und *Pratylenchus brachyurus*. Die berücksichtigten Arten und Populationen sowie deren Herkunft sind in Tabelle 1 aufgelistet. Bei den Vertretern der Heteroderiden und bei den Wurzelgallen-nematoden wurden für den Versuch Juvenile des zweiten Entwicklungsstadiums verwendet, bei *Pratylenchus brachyurus* Weibchen und Juvenile. Bei *H. goettingiana* (Population Münster), *H. cruciferae* und *Meloidodera alni* wurden auch einige Männchen in die Untersuchungen einbezogen.

Ergebnisse

Bei den Felduntersuchungen, durchgeführt an dem natürlich mit *Pasteuria* verseuchten Boden, wurde bei bis zu 93 % aller freien *H. goettingiana*-Juvenilen Sporenbesatz auf der Cuticula festgestellt. Der Anteil tatsächlich parasitierter Nematoden mit voll entwickelten *Pasteuria*-Sporangien oder anderen Entwicklungsstadien im Körperinneren betrug zumeist 10 bis 35 % aller Juvenilen; er lag bei einem Untersuchungstermin sogar bei 80 %. Bis zu etwa 7 % aller Individuen waren befallsfrei (ohne Sporenanheftung oder Infektion). Bei nur zu bestimmten Terminen aufgefundenen *H. goettingiana*-Männchen wurden gelegentlich einzelne Sporen auf der Cuticula

beobachtet. *Pasteuria*-Befall bei Zysten oder jungen Weibchen wurde nie festgestellt (> 250 kontrolliert).

Bei folgenden, aus denselben Bodenproben isolierten Nematoden, die teilweise in hoher Individuenzahl auftraten, konnten weder Sporen auf der Cuticula noch *Pasteuria*-Parasitierung im Körper nachgewiesen werden:

Filenchus, *Ditylenchus*, *Trophurus imperialis*, *Geocenamus brevidens*, *Helicotylenchus pseudorobustus*, *Rotylenchus fallorobustus*, *Paratylenchus*, *Aphelenchus avenae*, *Aphelenchoides*, *Seinura*, *Rhabditis*, *Cephalobus*, *Eucephalobus*, *Acrobeloides*, *Drilocephalobus*, *Eumonhystera*, *Cylindrolaimus*, *Plectus*, *Wilsonema*, *Alaimus*, *Amphidelus*, *Mesodorylaimus*, *Anatonchus tridentatus*, *Clarkus*, *Trichodorus similis*, *Diphtherophora*.

Lediglich bei Weibchen, Männchen und Juvenilen von *Tylenchorhynchus dubius* wurden in den Freilandproben mehrfach Pasteurien im Körper und auf der Cuticula beobachtet. Bei einem Test, ähnlich durchgeführt wie die übrigen *in vitro*-Untersuchungen mit HGP-Sporen, kam es zu keiner Anheftung der Sporen bei *T. dubius*. Morphologisch-anatomisch wiesen Sporangien und Sporen aus *T. dubius* Unterschiede zu denen von HGP auf. Diese Befunde deuten darauf hin, daß die Pasteurien von *T. dubius* nicht identisch sind mit HGP.

Bei den Gewächshausversuchen mit HGP-kontaminierter Erde waren nach 4 ½ Monaten 72 % der isolierten *H. goettingiana*-Juvenilen mit reifen *Pasteuria*-Sporen gefüllt, bei weiteren 20 % zeigte sich eine Anheftung von HGP-Sporen auf der Cuticula, und nur etwa 8 % waren befallsfrei. Bei *H. cruciferae* und *H. schachtii* wiesen

Tab. 1: Anheftung von *Pasteuria*-Sporen aus *Heterodera goettingiana* bei Juvenilen von Heteroderiden- und *Meloidogyne*-Arten sowie Weibchen und Jugendstadien von *Pratylenchus brachyurus*

| Nematodenart | Herkunft | Nematoden insgesamt | Nematoden mit Sporen (%) |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| <i>Heterodera goettingiana</i> | Münster | 500 | 98 |
| <i>Heterodera goettingiana</i> | Bari, Italien | 40 | 100 |
| <i>Heterodera cruciferae</i> | Ismaning | 246 | 88 |
| <i>Heterodera carotae</i> | Waltrop | 42 | 95 |
| <i>Heterodera urticae</i> | Rheinkassel | 20 | 35 |
| <i>Heterodera humuli</i> | Bayern | 55 | 8 |
| <i>Heterodera spec. nov.</i> | Münster | 24 | 4 |
| <i>Heterodera fici</i> | Münster | 100 | 0 |
| <i>Heterodera schachtii</i> | Münster | 80 | 20 |
| <i>Heterodera glycines</i> | Raleigh, USA (Rasse 1) | 110 | 45 |
| <i>Heterodera trifolii</i> | Münster | 30 | 60 |
| <i>Heterodera salixophila</i> | Stade | 122 | 0 |
| <i>Heterodera avenae</i> | Taaken | 75 | 0 |
| <i>Heterodera avenae</i> | Wassertrüdingen | 40 | 0 |
| <i>Heterodera filipjevi</i> | Puschkin, Rußland | 19 | 26 |
| <i>Heterodera mani</i> | Hamminkeln | 40 | 0 |
| <i>Heterodera bifenestra</i> | Münster | 30 | 0 |
| <i>Cactodera cacti</i> | Münster | 20 | 100 |
| <i>Globodera rostochiensis</i> | Harmerz (Ro5) | 240 | 6 |
| <i>Globodera pallida</i> | Kalle (Pa2) | 320 | 11 |
| <i>Globodera achilleae</i> | England | 45 | 0 |
| <i>Globodera artemisiae</i> | Stade | 47 | 6 |
| <i>Punctodera punctata</i> | Münster | 15 | 0 |
| <i>Meloidodera alni</i> | Everinghausen | 25 | 60 |
| <i>Verutus spec.</i> | Westerkappeln | 100 | 0 |
| <i>Meloidogyne incognita</i> | Münster | 340 | 0 |
| <i>Meloidogyne javanica</i> | Ägypten | 50 | 0 |
| <i>Meloidogyne hapla</i> | Münster | 200 | 0 |
| <i>Pratylenchus brachyurus</i> | Brasilien | 80 | 0 |

12,5 % bzw. 5,6 % der extrahierten und mikroskopisch untersuchten Juvenilen ($n = 400$ bzw. $n = 300$) Sporenbesatz auf der Cuticula auf; eine erfolgte Infektion und Entwicklung der Pasteurien im Körperinneren der Nematoden war in keinem Fall nachzuweisen. Sporenbesatz auf der Cuticula wurde auch bei den Juvenilen von *H. trifolii* und *H. carotae* sowie vereinzelt bei *G. pallida* festgestellt. Bei *H. avenae*, *M. incognita* und *M. hapla* wurden keine Sporen auf der Cuticula beobachtet.

Die Ergebnisse der *in vitro*-Untersuchungen zur Sporenanheftung sind in Tabelle 1 zusammengefaßt worden. Der Anteil der Juvenilen mit Sporenanheftung war bei *H. carotae*, *H. cruciferae* und *C. cacti* ähnlich hoch wie bei *H. goettingiana*. In geringerem Umfang kam es zum Anheften von Sporen bei *M. alni*, *Globodera*- und weiteren *Heterodera*-Arten. Bei den übrigen neun Heteroderiden sowie den drei *Meloidogyne*-Arten und *P. brachyurus* wurden Sporen auf der Cuticula nicht festgestellt. Sporenbesatz wurde bei 3 von 14 *H. goettingiana*- und 9 von 10 *H. cruciferae*-Männchen beobachtet; die zwei getesteten *Meloidodera*-Männchen zeigten keine Sporenanheftung.

Diskussion

Nach den vorliegenden Untersuchungsbefunden zeichnet sich das *Pasteuria*-Isolat von *H. goettingiana* durch hohe Wirtsspezifität aus. Als einziger Wirt, bei dem eine Infektion nachweisbar war und in dem der gesamte Entwicklungszyklus durchlaufen wird, ist bisher der Erbsenzysten-

nematode bekannt. Die weiteren Nematodenarten, bei denen Sporenanheftung an der Cuticula beobachtet wurde, können vorerst nicht als Wirte gelten.

Die hohe Affinität der Sporen zu *H. carotae* und *H. cruciferae*, die zur *H. goettingiana*-Artengruppe gehören, sowie zu *C. cacti* mag auf eine potentielle Wirtseignung hinweisen. Weitere *Heterodera*-Arten, die zumeist zur selben Artengruppe gestellt werden (*H. urticae*, *H. humuli*, *H. spec. nov.*, *H. fici*), sowie Arten der *H. schachtii*-Gruppe (*H. schachtii*, *H. glycines*, *H. trifolii*, *H. salixophila*) und *Globodera*-Arten zeigten geringere bis keine Affinität. Unter den Arten der *H. avenae*-Gruppe wurden nur bei *H. filipjevi* Sporen auf der Cuticula beobachtet. Bei den übrigen getesteten Nematodenarten, darunter die Typus-Wirte von *Pasteuria penetrans* und *P. thornei*, war eine Sporenanheftung nicht festzustellen. Bei *H. goettingiana*, *H. cruciferae*, *H. carotae* und *M. alni* wurden durchschnittlich mehr als drei Sporen auf der Cuticula beobachtet, bei allen anderen getesteten Nematodenarten mit Affinität zu HGP zumeist einzelne, oft auch nur lose anheftende Sporen.

Die bisher beschriebenen drei nematodenparasitären *Pasteuria*-Arten zeichnen sich ebenfalls durch hohe Wirtsspezifität aus. *P. penetrans* ist auf *Meloidogyne*-Arten spezialisiert; unterschiedliche *P. penetrans*-Isolate können jedoch Unterschiede in der Bevorzugung bestimmter Wirte aufweisen und Populationen derselben *Meloidogyne*-Art sich in ihrer Wirtseignung unterscheiden (STIRLING, 1986; SELL & HANSEN, 1987; DAVIES *et al.*, 1988b; OOSTENDORP *et al.*, 1990;

AHMED & GOWEN, 1991; CHANNER & GOWEN, 1992). Über Sporenanheftung von *P. penetrans*-Isolaten aus *Meloidogyne* bei anderen Nematoden ist nur vereinzelt berichtet worden, z. B. von MANKAU und PRASAD (1977) für *Pratylenchus scribneri*, von DAVIES *et al.* (1988a) für *Heterodera avenae* und von HEWLETT und DICKSON (1994) für *Tylenchus* sp., *Aphelenchoides* sp. und *Criconemella ornata*. Für *P. nishizawae* sind nur *Heterodera glycines* und *H. elastica* als eigentliche Wirte bekannt; Sporenanheftung wurde auch bei *H. trifolii* und *Globodera rostochiensis* festgestellt (SAYRE *et al.*, 1991). *Pratylenchus brachyurus* scheint bisher der einzige bekannte Wirt von *P. thornei* zu sein; es erfolgte u. a. bei *Meloidogyne*-Arten und *Pratylenchus scribneri* keine Sporenanheftung (DUTKY & SAYRE, 1978). Ob es sich bei den Pasteurien, die bei zahlreichen weiteren *Pratylenchus*-Arten beobachtet worden sind (vgl. Auflistung bei SAYRE & STARR, 1988) um *P. thornei* handelt, bleibt noch zu klären.

Für ein *Pasteuria*-Isolat von *P. scribneri* wurde Sporenanheftung auch bei *P. brachyurus* und mehreren *Meloidogyne*-Arten nachgewiesen (OOSTENDORP *et al.*, 1990). Sporen eines nicht-benannten *Pasteuria*-Isolats aus *Heterodera avenae* hafteten auch an Juvenilen von *H. glycines*, *H. schachtii*, *Globodera rostochiensis*, *G. pallida* und *Meloidogyne javanica* (DAVIES *et al.*, 1990). Ein Isolat von *Heterodera cajani* zeigte Sporenanheftung auch bei *H. avenae*-Infektionsjuvenilen (SINGH & DHAWAN, 1993). *Pasteuria*-Isolate von *Trophonema okamotoi* und *Tylenchulus semipenetrans* zeichnen sich ebenfalls durch

hohe Wirtsspezifität aus; Sporenanheftung erfolgte nicht bei drei *Meloidogyne*-Arten, *Tylenchulus semipenetrans*, *Pratylenchus brachyurus* und *Helicotylenchus pseudorobustus* bzw. nicht bei je zwei getesteten *Meloidogyne*- und *Radopholus*-Arten (INSERRA *et al.*, 1992; KAPLAN, 1994).

Das *Pasteuria*-Isolat von *H. goettingiana* weicht im Wirtsspektrum von allen bisher untersuchten *Pasteuria*-Isolaten ab. Von *P. penetrans*, *P. nishizawae* und einem in Indien untersuchten Isolat aus *Heterodera*-Arten (BHATTACHARYA & SWARUP, 1989) unterscheidet sich HGP auch dadurch, daß die Entwicklung in den Juvenilen des zweiten Entwicklungsstadiums durchlaufen wird. In dieser Eigenschaft entspricht HGP dem in England gefundenen *Pasteuria*-Isolat aus *Heterodera avenae* (DAVIES *et al.*, 1990). Wie Untersuchungen zur Morphologie und Feinstruktur gezeigt haben, bestehen auch in diesen Merkmalen Unterschiede zu den bisher beschriebenen *Pasteuria*-Arten (WINKELHEIDE & STURHAN, 1993; STURHAN *et al.*, 1994).

Zusammenfassung

Bei einem *Pasteuria*-Isolat aus Münster, das Erbsenzystennematoden (*Heterodera goettingiana*) parasitiert, erfolgen Infektion und Entwicklung in den Juvenilen des zweiten Entwicklungsstadiums des Nematoden. Bei Felduntersuchungen wiesen bis zu 93 % aller freien Juvenilen im Boden Befall auf; bei 26 anderen Nematodentaxa konnten weder Infektion noch Sporenanheftung an der Cuticula beobachtet werden. Pasteurien von *Ty-*

lenchorhynchus dubius erwiesen sich als verschieden von denen aus *H. goettingiana*. Bei Gefäß- und *in vitro*-Versuchen wurde eine hohe Affinität der Sporen zu Juvenilen von *Heterodera cruciferae*, *H. carotae* und *Cactodera cacti* festgestellt, ein geringer Sporenbesatz bei sieben weiteren *Heterodera*-Arten, mehreren *Globodera*-Arten und *Meloidodera alni*. Keine Sporenanheftung erfolgte bei acht getesteten Heteroderiden-Arten, bei den Infektionsjuvenilen von *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* und *M. hapla* sowie bei Weibchen und Juvenilen von *Pratylenchus brachyurus*. Eine Infektion und die Entwicklung des Parasiten wurde bisher nur bei *H. goettingiana* beobachtet.

Literatur

- AHMED, R. & GOWEN, S.R. (1991): Studies on the infection of *Meloidogyne* spp. with isolates of *Pasteuria penetrans*. *Nematol. medit.* **19**, 229-233.
- CHANNER, A.G. DE R. & GOWEN, S.R. (1992): Selection for increased host resistance and increased pathogen specificity in the *Meloidogyne-Pasteuria penetrans* interaction. *Fundam. appl. Nematol.* **15**, 331-339.
- BHATTACHARYA, D. & SWARUP, G. (1989): *Pasteuria penetrans* a pathogen of the genus *Heterodera*, its effect on nematode biology and control. *Indian J. Nematol.* **18** (1988), 61-70.
- DAVIES, K.G., FLYNN, C.A. & KERRY, B.R. (1988a): The life-cycle and pathology of the root-knot nematode parasite *Pasteuria penetrans*. In: Proc. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases. Vol. III. Brighton, 1221-1226.
- DAVIES, K.G., KERRY, B.R. & FLYNN, C.A. (1988b): Observations on the pathogenicity of *Pasteuria penetrans*, a parasite of root-knot nematodes. *Ann. appl. Biol.* **112**, 491-501.
- DAVIES, K.G., FLYNN, C.A., LAIRD, V. & KERRY, B.R. (1990): The life-cycle, population dynamics and host specificity of a parasite of *Heterodera avenae*, similar to *Pasteuria penetrans*. *Rev. Nématol.* **13**, 303-309.
- DUTKY, E.M. & SAYRE, R.M. (1978): Some factors affecting infection of nematodes by the bacterial spore parasite *Bacillus penetrans*. *J. Nematol.* **10**, 285.
- HEWLETT, T.E. & DICKSON, D.W. (1994): Endospore attachment specificity of *Pasteuria penetrans* from a peanut field in Florida. *J. Nematol.* **26**, 103-104.
- INSERRA, R.N., OOSTENDORP, M. & DICKSON, D.W. (1992): *Pasteuria* sp. parasitizing *Trophonema okamotoi* in Florida. *J. Nematol.* **24**, 36-39.
- KAPLAN, D.T. (1994): Partial characterization of a *Pasteuria* sp. attacking the citrus nematode, *Tylenchulus semipenetrans*, in Florida. *Fundam. appl. Nematol.* **17**, 509-512.
- MANKAU, R. & PRASAD, N. (1977): Infectivity of *Bacillus penetrans* in plant-parasitic nematodes. *J. Nematol.* **9**, 40-45.
- OOSTENDORP, M., DICKSON, D.W. & MITCHELL, D.J. (1990): Host range and ecology of isolates of *Pasteuria* spp. from the southeastern United States. *J. Nematol.* **22**, 525-531.
- SAYRE, R.M. & STARR, M.P. (1988): Bacterial diseases and antagonisms of nematodes. In: POINAR, G.O. JR. & JANSSON, H.-B. [Eds.]: Diseases of nematodes. Vol. 1. Boca Raton, CRC Press, 69-101.
- SAYRE, R.M., WERGIN, W.P., SCHMIDT, J.M. & STARR, M.P. (1991): *Pasteuria nishizawae* sp. nov., a mycelial and endospore-forming bacterium parasitic on cyst nematodes of genera *Heterodera* and *Globodera*. *Res. Microbiol.* **142**, 551-564.
- SELL, P. & HANSEN, C. (1987): Beziehungen zwischen Wurzelgallen-Nematoden und ihrem natürlichen Gegenspieler *Pasteuria penetrans*. *Mededel. Fac. Landbouwwetensch. Rijksuniv. Gent* **52**, 607-615.
- SINGH, B. & DHAWAN, S.C. (1993): A new bacterial strain of *Pasteuria penetrans*, its host range and effect of temperature on spore attachment to second-stage juveniles of pigeon-pea cyst nematode, *Heterodera cajani*. *Indian J. Nematol.* **20** (1990), 161-166.

- STIRLING, G.R. (1986): Host specificity of *Pasteuria penetrans* within the genus *Meloidogyne*. *Nematologica* **31** (1985), 203-209.
- STURHAN, D., WINKELHEIDE, R., SAYRE, R.M. & WERGIN, W.P. (1994): Light and electron microscopical studies of the life cycle and developmental stages of a *Pasteuria* isolate parasitizing the pea cyst nematode, *Heterodera goettingiana*. *Fundam. appl. Nematol.* **17**, 29-42.
- WINKELHEIDE, R. & STURHAN, D. (1993): Lichtmikroskopische Untersuchungen zur Entwicklung und Morphologie eines *Heterodera goettingiana* parasitierenden Bakteriums der Gattung *Pasteuria*. *Zentralbl. Mikrobiol.* **148**, 109-116.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Biol. Rita Winkelheide,
Coppensrathsweg 59, 48155 Münster,

Dr. Dieter Sturhan,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Toppheideweg 88, 48161 Münster

Nematoden als Parasiten von Pflanzen und Tieren - evolutionsgeschichtliche Betrachtungen

Nematodes as parasites of plants and animals - evolutionary reflections

BERNHARD WEISCHER

Abstract

Nematodes are particularly well suited for studies on the evolution of parasitism because they combine high species formation and great biological diversity with a high degree of morphological uniformity. More than 50 % of the presently known species are parasites of plants, invertebrates or vertebrates. Their occurrence in all higher taxa shows that parasitism evolved several times independently during phylogenesis.

Plant parasitism in Dorylaimida, Tylenchida and Aphelenchida probably developed 300 million years ago in the Devonian period from terrestrial fungus and algae feeding ancestors, whereas in Triplonchida plant parasitism occurred much later in the Cretaceous period 100 million years ago. The host-parasite relations range from occasional feeding to specialized obligate parasitism. All plant parasitic nematodes have a protrusible stylet, secretory oesophageal glands and a muscular pumping organ to inject glandular secretions into plant tissue and to ingest liquid cell contents. Although these structures are identical in function they are of different origin in different taxa, thus being an example for convergence.

With invertebrates host-parasite relations are best known between nematodes and insects. They range from simple transportation (phoresis) to obligate specific parasitism with often lethal damage to the host. This parasitism originated mainly from fungivorous nematodes which became associated with fungivorous insects. In a few species fungivorous and insect-parasitic generations alternate. Further invertebrate hosts of nematodes are other arthropods, molluscs, annelids and nematodes.

Nearly all vertebrates are hosts for one or more parasitic nematode species. This parasitism evolved independently in at least three lines from terrestrial bacterial feeding ancestors. In many vertebrate-parasitic nematodes the juveniles are free-living and feed on bacteria, thus indicating an origin from bacterial feeding ancestors. In other groups the juveniles have to undergo an obligate migration through the host to reach sexual maturity. It is not yet known whether this passage, which can take several weeks, is required for physiological reasons or whether it is just a repetition of the ancestral development.

No primary vertebrate parasites have developed from marine nematode species.

Keywords: nematodes, evolution, parasitism, phoresis

Einleitung

Man kann den Tierstamm der Nematoda in zwei Klassen und 21 Ordnungen gliedern (Tab. 1) mit rund 16 000 beschriebenen Arten. Fundierte Schätzungen gehen davon aus, daß

es insgesamt mindestens 100 000 Nematodenarten gibt. Von den bekannten Arten sind etwa 4000 Pflanzenparasiten, 2000 Parasiten von wirbellosen Tieren und rund 3000 Wirbeltierparasiten. Die restlichen 7000 werden als „freilebend“ bezeichnet. Damit ist

Tab. 1: Ordnungen der Nematoden und ihre Lebensweise

| | | |
|--------------------|-----------------|---|
| STAMM Nematoda | | |
| KLASSE Adenophorea | | |
| ORDNUNG | Enoplida | freilebend, mit vielseitiger Ernährungsweise (Bakterien, Pilze, Kleintiere) |
| | Isolaimida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| | Mononchida | räuberisch (Kleintiere) |
| | Dorylaimida | freilebend, 4 Gattungen Ektoparasiten an Pflanzenwurzeln |
| | Triplonchida | freilebend, 4 Gattungen Ektoparasiten an Pflanzenwurzeln |
| | Trichocephalida | Wirbeltierparasiten mit wirbellosen Zwischenwirten |
| | Mermithida | Parasiten in Wirbellosen, vor allem Insekten aber auch Mollusken und Nematoden |
| | Muspiceida | Wirbeltierparasiten |
| | Araeolaimida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| | Chromadorida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| | Desmoscolecida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| | Desmodorida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| | Monhysterida | freilebend, Nahrung weitgehend unbekannt |
| KLASSE Secernentea | | |
| ORDNUNG | Rhabditida | freilebend, mehrere Gattungen Parasiten in Wirbellosen und Wirbeltieren |
| | Strongylida | als Adulte obligate Wirbeltierparasiten, frühe Entwicklungsstadien freilebend oder als Parasiten in Ringelwürmern und Mollusken |
| | Ascaridida | Wirbeltierparasiten mit komplizierten Wanderungen im Wirtskörper |
| | Spirurida | Parasiten in Wirbeltieren und Ringelwürmern |
| | Camallanida | Wirbeltierparasiten mit Krebsen als obligaten Zwischenwirten |
| | Diplogasterida | freilebend mit vielseitiger Ernährungsweise (Bakterien, Pilze, Kleintiere), z. T. eng mit Insekten vergesellschaftet |
| | Aphelenchida | Parasiten von höheren Pflanzen und Insekten, etliche Arten Pilzfresser |
| | Tylenchida | Parasiten von höheren Pflanzen und Insekten, etliche Arten Pilzfresser |

in erster Linie gemeint, daß sie nicht an höhere Pflanzen oder Tiere gebunden sind, sondern sich frei im Substrat bewegen und von Mikroorganismen wie Bakterien, Algen oder Pilzen leben, soweit überhaupt etwas über ihre Nahrung bekannt ist.

Nematoden sind für Untersuchungen über den Parasitismus besonders geeignet, weil sie eine reiche Artbildung und eine reiche biologische und ökologische Differenzierung mit einer sehr geringen Umbildung der Gesamtorganisation verbinden. Bei aller Spezialisierung findet man kaum tiefgreifende morphologische Unterschiede zwischen freilebenden und parasitären Formen (MAGGENTI, 1981a, b; OSCHKE, 1955, 1966; POINAR, 1983; WALLACE, 1961).

Art und Verbreitung des Parasitismus bei Nematoden

Der Begriff „Parasitismus“ wird im folgenden Text der Einfachheit halber weit gefaßt und auf alle Fälle bezogen, in denen Nematoden einen anderen Organismus zu ihrem Vorteil ausnutzen. Er reicht also von der harmlosen Benutzung eines anderen Lebewesens als reines Transportmittel von einer Nahrungsquelle zur anderen, Phoresis genannt, bis zur engen obligaten Wirt-Parasit-Beziehung mit schweren Nachteilen für den Wirt.

Ein Blick auf das System zeigt, daß eine parasitische Lebensweise im Stamm Nematoda häufig ist (Tab. 1). Das gilt besonders für die Klasse Secernentea, in der Parasiten absolut vorherrschen. Dagegen enthalten nur fünf der 13 Ordnungen der Adenophorea Parasiten. Das Vorkommen von

Parasiten an ganz verschiedenen Stellen im System zeigt, daß Parasitismus mehrfach unabhängig im Laufe der Stammesgeschichte der Nematoden entstanden ist.

Da es keine gut datierbaren fossilen Nematoden aus frühen Perioden der Erdgeschichte gibt, lassen sich über das phylogenetische Alter des Parasitismus bei den einzelnen Nematodengruppen nur indirekte Aussagen machen. Auch der mit etwa 130 Mio. Jahren bisher älteste Fund eines Nematoden (POINAR *et al.*, 1994) ist noch zu jung, da das Gesamtalter der Nematoden nach biochemischen Untersuchungen auf mindestens 700 Mio. Jahre geschätzt wird (GERAERT, 1990). Vor 300 Mio. Jahren waren danach schon viele der heutigen Ordnungen ausgebildet. Hinweise lassen sich durch den Vergleich unterschiedlicher Formen und Abstufungen des Parasitismus in der rezenten Nematodenfauna gewinnen. Auch die Stellung der einzelnen Gruppen im System läßt Schlüsse auf das Alter zu. Weitere Hinweise auf das maximal mögliche Alter ergeben sich aus dem stammesgeschichtlichen Alter einer Wirtsgruppe. So kann z. B. die parasitische Lebensweise der auf Tausendfüßler (Diplopoden) spezialisierten Rhigonematiden sehr alt sein, da ihre Wirte schon vor 430 Mio. Jahren lebten, während Säugetierparasiten erst sehr viel später entstehen konnten, da es diese Wirte erst seit 200 Mio. Jahren gibt.

Entstehung des Parasitismus bei Nematoden

Nach den derzeitigen Erkenntnissen sind saprobionte terrestrische Formen, wie wir sie in den heutigen Ordnungen der Rhabditida und Diplogasterida kennen, Ausgangspunkte einer parasitischen Lebensweise gewesen (MAGGENTI, 1981a, b; OSCHKE, 1966; SIDDIQI, 1983). Durch ein Leben in sich zersetzender organischer Substanz (faulende Pflanzen, Exkremamente, Aas) sind einige an die ungünstigen physikalischen und chemischen Bedingungen dieser Lebensräume wie Sauerstoffmangel, Fermente, höhere Temperaturen und schwankende osmotische Werte angepaßt. Ähnliche Bedingungen herrschen auch im Darm von Tieren.

Da die erwähnten natürlichen Kleinbiotope nur für eine gewisse Zeit existieren und dann den Nematoden keine Lebensmöglichkeiten mehr bieten, haben viele Saprobionten widerstandsfähige „Dauerlarven“ entwickelt, die längere Perioden ungünstiger Bedingungen ohne Nahrungsaufnahme überstehen können. Auch das ist für Parasiten wichtig, die oft längere Zeiträume für den Übergang von einem Wirt zum anderen überdauern müssen. Eine dritte für die Entstehung des Parasitismus günstige Eigenschaft der Saprobionten ist eine Verhaltensweise bestimmter Juvenilstadien. Sie wandern nämlich an die Oberfläche des Substrats und richten sich auf. Dadurch entsteht eine größere Chance, mit einem Transportmittel wie z. B. einem vorbeilaufenden Dungkäfer in Berührung zu kommen und von ihm zu einem neuen Lebensraum gebracht zu werden. Genau dieses Ver-

halten findet sich auch bei etlichen rezenten Wirbeltierparasiten, die auf diese Weise bessere Möglichkeiten haben, mit einem geeigneten Wirt (z. B. einem Weidetier) in Kontakt zu kommen. Derartige Voranpassungen finden sich in erster Linie bei den Secernentea, die zahlreiche Gruppen mit vielseitigen Ausprägungen des Parasitismus aufweisen. Dagegen gibt es innerhalb der Adenophorea deutlich weniger parasitisch lebende Linien. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß die Adenophorea ihren Verbreitungsschwerpunkt im Wasser haben und terrestrische Formen sehr viel seltener sind als bei den Secernentea. Saprobionten mit den oben geschilderten Anpassungen fehlen völlig. Das hat dazu geführt, daß es im Meer so gut wie keine Nematoden als Primärparasiten von Pflanzen und Wirbellosen gibt, während im terrestrischen Bereich vor allem Ringelwürmer, Schnecken und Insekten von einer Vielzahl von parasitären Nematoden befallen werden.

Nematoden als Pflanzenparasiten

Nematoden als Parasiten höherer Pflanzen gibt es in vier Ordnungen, je zwei in den beiden Klassen (Tab. 1). Dabei ist aber die Anzahl der Arten sehr unterschiedlich verteilt: nur einige Hundert bei den Adenophorea und mehrere Tausend bei den Secernentea. Trotz einiger Ähnlichkeiten in Morphologie und Lebensweise haben sich die Pflanzenparasiten der einzelnen Taxa unabhängig voneinander aus ihren jeweiligen Vorstufen entwickelt. Gemeinsame Kennzeichen aller Phytonematoden sind ein be-

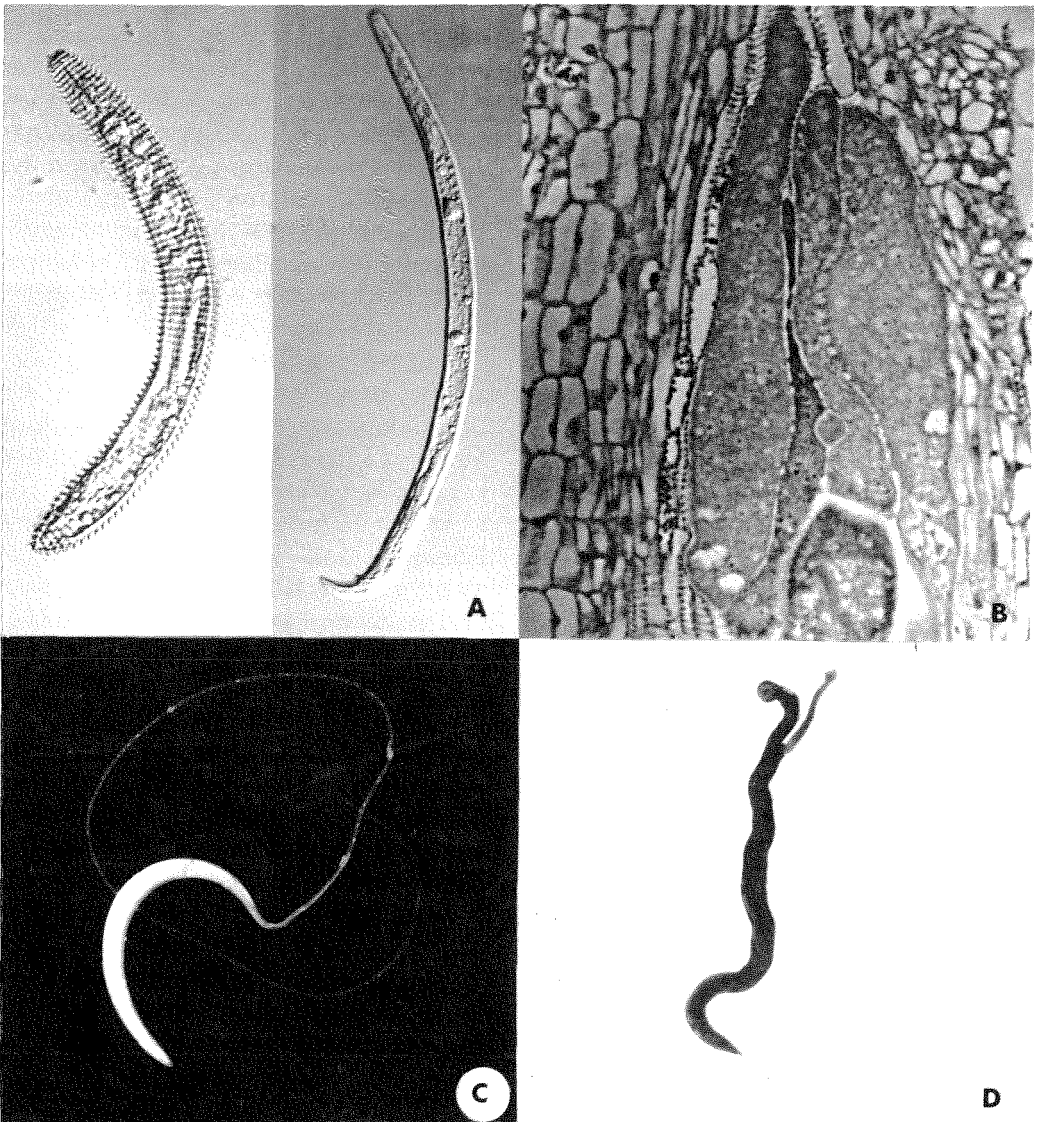
weglicher Mundstachel, mit dem Zellwände durchbohrt werden können, Ösophagusdrüsen, deren Sekrete in das Pflanzengewebe injiziert werden und ein muskulöser Pumpapparat, der sowohl beim Injizieren der Sekrete als auch bei der Nahrungsaufnahme mitwirkt. Trotz der gleichen Funktion sind diese Organe bei den Pflanzenparasiten der einzelnen Ordnungen in Herkunft und Aufbau unterschiedlich. So ist der wie eine Hohnadel gebaute Mundstachel der Tylenchida durch ein Zusammenwachsen von Teilen der Mundhöhlenauskleidung entstanden, während der nicht mit einem Lumen versehene Mundstachel der triplonchiden Phytonematoden ein umgewandelter Zahn ist.

Bei den Dorylaimida hat sich der Pflanzenparasitismus vermutlich im Devon vor etwa 300 Mio. Jahren entwickelt. Ausgangspunkt waren Formen, die schon einen beweglichen Mundstachel besaßen und sich von Bakterien, Algen und Pilzen ernährten (SIDDIQI, 1983). Die heutigen dorylaimiden Phytonematoden leben ausschließlich als Ektoparasiten im Boden und saugen bevorzugt am Meristem von Wurzelspitzen. Bei den Triplonchiden hat sich der Pflanzenparasitismus vermutlich erst vor 100 Mio. Jahren in der Kreidezeit entwickelt (MAGGENTI, 1981a; SIDDIQI, 1983). Alle rezenten Vertreter sind, wie bei den Dorylaimiden, Ektoparasiten. Sie stechen allerdings bevorzugt Wurzelhaare und Rhizodermiszellen an.

Im Vergleich mit diesen einfachen Wirt-Parasit-Beziehungen finden sich bei den Phytonematoden der Secernentea ungleich vielseitigere Verhältnisse. Hier gibt es alle Abstufun-

gen vom gelegentlichen bis zum obligaten hochspezialisierten Pflanzenparasiten. Sogar Lebenszyklen, in denen pflanzenparasitäre und tierparasitäre Generationen abwechseln, kommen vor. Entstanden ist der Pflanzenparasitismus der Secernentea wahrscheinlich ebenfalls im Devon, wobei sich schon bald zwei unterschiedliche Richtungen zeigten, die zu den heutigen Aphelenchida und Tylenchida führten. Die rezenten Aphelenchida könnten aus Formen hervorgegangen sein, die räuberisch und als Pilzfresser lebten (SIDDIQI, 1983). Obligate Pflanzenparasiten wurden sie dann wahrscheinlich im Karbon vor 250 Mio. Jahren, als sie die Wedel der damals die Vegetation beherrschenden Farne besiedelten. Von dort gingen sie dann auch in die oberirdischen Teile der sich später in der Kreidezeit vor 100 Mio. Jahren entwickelnden Samenpflanzen über. Auch heute noch ist der Pflanzenparasitismus der Aphelenchida auf Sproßteile beschränkt, Wurzelbefall gibt es nicht. Über den Pilzparasitismus haben sich in einer anderen Linie der Aphelenchida enge Beziehungen zu holzwohnenden und pilzfressenden Insekten entwickelt.

Die andere Entwicklungslinie des Pflanzenparasitismus bei den Secernentea wird von den Tylenchida repräsentiert. Sie ging wahrscheinlich von Algenfressern aus, die bereits einen kräftigeren Mundstachel besaßen und daher leichter den Übergang zum festen Wurzelgewebe schafften. In dieser Gruppe finden sich die wirtschaftlich wichtigsten und vielseitigsten Formen von Pflanzenparasitismus. Es lassen sich verschiedene evolutionäre Trends beobachten (LUC



- Abb. 1: A. *Mesocriconema crenata*, ein ektoparasitärer Phytonematode mit deutlichem Sexualdimorphismus, links Weibchen, rechts Männchen
- B. *Meloidogyne hapla*. Vorderende (N) eines sedentären Weibchens mit dem von ihm induzierten Nährzellensystem in einer Pflanzenwurzel
- C. *Trichuris ovis*, ein Parasit in Wiederkäuern. Das haarfeine Vorderende der bis 8 cm langen Nematoden ist in der Darmschleimhaut eingebettet
- D. *Syngamus trachea*, ein blutsaugender Parasit in der Luftröhre von Vögeln. Das kleine Männchen ist in Dauerkopula mit dem 2 cm großen Weibchen verbunden

et al., 1987; MAGGENTI, 1981a, b; SIDDIQI, 1986). Ein wichtiger Trend ist z. B. die Entwicklung von der freibeweglichen Wurmform zu angeschwollenen, fortbewegungsunfähigen Weibchen. Die Speicheldrüsensekrete dieser Parasiten rufen im Pflanzengewebe spezifische Veränderungen hervor (Abb. 1B), die für die Ernährung und Vermehrung notwendig sind und eine eigene evolutionäre Entwicklung aufweisen (SUBBOTIN, 1993). Ein anderer Trend führte zu den Anguiniden, Parasiten in Sproßteilen. Im Gegensatz zu den Aphelenchiden sind die Anguiniden im Laufe der Evolution aber über die Wurzeln in die oberirdischen Teile vorgedrungen. *Subanguina radicola* lebt in Gallen an den Wurzeln von Gräsern. Die meisten Anguiniden sind aber hoch spezialisierte Parasiten in Stengeln, Blättern und Blüten. Ein anderer Teil der Tylenchida entwickelte sich, ähnlich wie bei den Aphelenchida, über Pilzfresser zu Insektenparasiten.

Nematoden als Parasiten wirbelloser Tiere

Wie aus dem bisher Gesagten hervorgeht, sind Wirbellosenparasiten bei den Nematoden mehrfach und unabhängig voneinander entstanden. Eine ganz auf das Parasitieren wirbelloser Tiere ausgerichtete Gruppe ist die Ordnung der Mermithida in der Klasse der Adenophorea (Tab. 1). Ihre mit Abstand häufigsten Wirte sind Insekten, doch können für bestimmte Arten auch Mollusken und Nematoden als Wirte dienen. Der Lebenszyklus verläuft bei allen Mermithiden sehr ähnlich, wobei die adulten Tiere ohne

Nahrungsaufnahme im Freien leben und alle Jugendstadien parasitisch in ihren Wirten. Dabei suchen die im Boden oder im Wasser aus Eiern geschlüpften Juvenilen aktiv ihre Wirte auf. Bei den übrigen Tierparasiten der Adenophorea kommen Wirbellose nur als Zwischenwirte für Wirbeltierparasiten vor. Wie bei den Pflanzenparasiten sind auch bei den Parasiten wirbelloser Tiere Anzahl und Vielseitigkeit bei den Secernentea viel größer als bei den Adenophorea. Allein mit Borkenkäfern (Scolytidae) sind Vertreter mehrerer Nematodenfamilien vergesellschaftet (RÜHM, 1956). Die lockerste Bindung zeigen die sog. Kommensalen. Ihre „Dauerlarven“ wandern auf Käfer, lassen sich verschleppen und verlassen sie nach Ankunft an einer neuen Nahrungsquelle, einem von Borkenkäfern befallenen Baum. Sie leben dann für etliche Generationen in den Fraßgängen der Käferlarven von den dort vorkommenden Mikroorganismen. Wenn sich die Lebensbedingungen verschlechtern, wandern „Dauerlarven“ wieder auf Käfer und lassen sich zu einer anderen Stelle bringen.

Bei den Halbparasiten sind die Bindungen zwischen Käfer und Nematode deutlich enger. Hier wandern die „Dauerlarven“ in den Wirt und leben dort als Parasiten. Sie verlassen ihn noch als Juvenile und können sich in den Fraßgängen nach Häutung zu Adulten über mehrere Generationen freilebend entwickeln, bis bei Verschlechterung der Ernährungs- und Lebensbedingungen wieder eine parasitäre Phase ausgelöst wird.

Die Vollparasiten sind fast während ihres ganzen Lebens im Wirt. Begattete Weibchen wandern in die Käfer und

legen in der Leibeshöhle ihre Eier ab. Die daraus schlüpfenden Juvenilen leben als Parasiten in ihrem Wirt. Nach Abschluß ihrer Juvenilentwicklung gelangen sie über den Darm wieder in Fraßgänge und häuten sich ohne Nahrungsaufnahme zu Adulten. Begattete Weibchen dringen dann wieder in Käfer ein.

Zwischen diesen drei Grundtypen, Kommensalen, Halbparasiten und Vollparasiten gibt es zahlreiche Abstufungen, die gute Modelle für die schrittweise Evolution des Parasitismus bei den Nematoden abgeben. Ein aus evolutionsgeschichtlicher Sicht interessantes Beispiel für einen Wechsel zwischen obligat insektenparasitären und obligat pilzparasitären Generationen innerhalb einer Art ist *Deladenus siricidicola*, der eng an holzwohnende Wespen (Siricidae) und ihren symbiotischen Pilz (*Amylostereum areolatum*) gebunden ist (BEDDING, 1972). Juvenile Nematoden entwickeln sich an diesem Pilz schnell zu Adulten. Die Männchen produzieren 10-12 μm große amoeboiden Spermien. Die befruchteten Eier werden am Pilz abgelegt, und der pilzparasitäre Zyklus geht weiter. Wenn das Pilzwachstum nachläßt, entwickeln sich aus den geschlüpfen Juvenilen Weibchen, die um 30 % kleiner sind und einen anderen Organaufbau zeigen als die mykophagen Weibchen (Abb. 2). Die Männchen produzieren dann Spermien von nur 1-2 μm Größe. Begattete Weibchen dieser Generation dringen in Larven der Holzwespen ein und „warten“. Synchron mit der Verpuppung der Holzwespen setzt bei den Nematoden die Eibildung ein, wahrscheinlich von Insektenhormonen ausgelöst. Die schlüpfenden Nematoden dringen

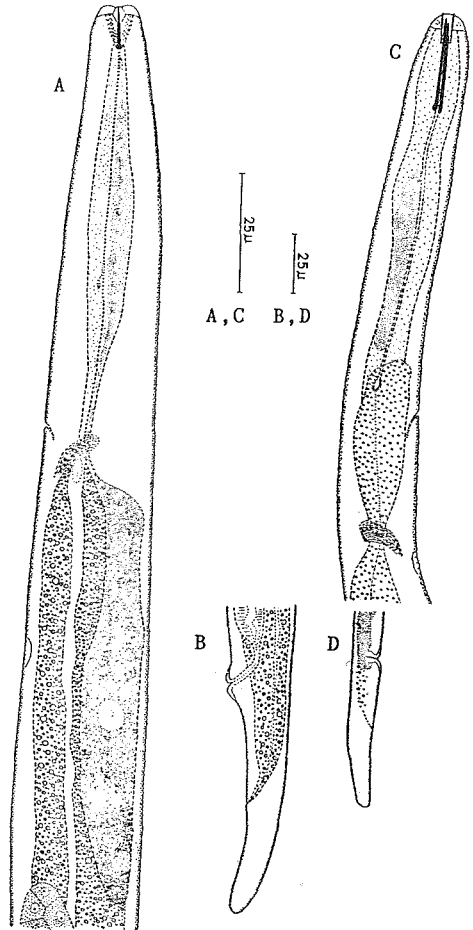


Abb. 2: *Deladenus siricidicola*, ein Parasit in Holzwespen, hat einen ausgeprägten Generationswechsel, wobei die Weibchen der beiden Generationen in Größe und innerer Struktur deutlich unterschieden sind.

A und B: Vorder- und Hinterende der pilzparasitären Weibchen,
C und D: Vorder- und Hinterende der insektenparasitären Weibchen
(verändert nach BEDDING, 1968)

bei den weiblichen Wespen durch die Gonaden in die Eier ein, so daß diese bereits mit Nematoden infiziert abgelegt werden. Die Nematoden verlassen die Eier und treten bei gut wachsenden Pilzen in den pilzparasitären, sonst in den insektenparasitären Kreislauf ein. Diese Lebensweise weist einige erstaunliche Besonderheiten auf, die bisher nur unvollständig oder gar nicht erklärt werden können. So sind die Faktoren, die an den einzelnen Schaltstellen die Entwicklung in die eine oder andere Richtung steuern, noch unbekannt. Ferner sind die Unterschiede in Aussehen und Organstruktur bei den Weibchen der beiden Generationen so groß, daß man sie bei Anwendung normaler taxonomischer Kriterien zu verschiedenen Taxa rechnen müßte (Abb. 2). Interessanterweise besteht offensichtlich kein Zwang zu einem regelmäßigen oder unregelmäßigen Wechsel zwischen den beiden Ernährungsweisen. Sowohl die insektenparasitäre als auch die pilzparasitäre Form konnten unter entsprechenden Bedingungen jahrelang über mehr als 100 Generationen unabhängig voneinander gehalten werden (BEDDING, 1972).

Nematoden als Überträger von Insektenkrankheiten

In der vielseitigen Ordnung der Rhabditida (Tab. 1), in der auch echte Parasiten vorkommen, haben sich im Laufe der Evolution auch Formen entwickelt, die eng und teilweise obligat mit Insekten assoziiert sind, ohne selbst Parasiten zu sein. Infektionsfähige Juvenile dringen in ihr jeweiliges Wirtsinsekt (Larvenstadium) ein,

ohne ihm dabei zu schaden. Sie tragen im Darm einen Vorrat an bestimmten Bakterien, die sie in die Körperhöhle des Wirtes abgeben. Die Bakterien vermehren sich schnell, und das von ihnen gebildete Toxin tötet den Wirt innerhalb von 2-3 Tagen. Erst von diesem Zeitpunkt an entwickeln sich die Nematoden, die sich ausschließlich von den Bakterien ernähren, weiter über mehrere Generationen. Die mit einem Bakterienvorrat versehenen Infektionsstadien können dann wieder in neue Insekten eindringen. In diesem System sind also die Nematoden abhängig von den Bakterien als ausschließlicher Nahrung. Die Bakterien sind ihrerseits abhängig von den Nematoden, die sie in geeignete Insekten bringen. Typische Vertreter sind die Nematodengattungen *Steinernema* und *Heterorhabditis*. Die fast identische Lebensweise von Vertretern dieser Gattungen beruht nach neueren Untersuchungen auf Konvergenz und nicht auf Verwandtschaft (POINAR, 1993).

Nematoden als Wirbeltierparasiten

Wirbeltierparasitismus ist innerhalb der Nematoda mindestens dreimal unabhängig entstanden, einmal bei den Adenophorea und zweimal bei den Secernentea. In allen Fällen ging die Entwicklung von freilebenden terrestrischen Nematoden aus (ANDERSON, 1984; MAGGENTI, 1981b). Dabei könnte die Entwicklung bei den Adenophorea über parasitäre Verbindungen mit Ringelwürmern gelaufen sein. Innerhalb der Secernentea könnte der Wirbeltierparasitismus bei den

Spirurida über Insektenparasitismus entstanden sein, während er sich bei den Ascaridida direkt entwickelt hat. Bei den rezenten wirbeltierparasitisch lebenden Adenophorea lassen sich drei verschiedene Arten von Lebenszyklen unterscheiden, die in der hier verwendeten Reihenfolge wahrscheinlich der evolutionären Entwicklung entsprechen. Die ursprünglichste Form schließt einen wirbellosen Zwischenwirt ein, meist einen Ringelwurm. In der nächsten Stufe ist der wirbellose Zwischenwirt weggefallen, und die Entwicklung verläuft direkt. Hierher gehört der in Abb. 1C abgebildete Peitschenwurm *Trichuris ovis*. Männchen und Weibchen sind in der Darm-schleimhaut verankert, und die produzierten Eier gelangen mit dem Kot ins Freie, wo sie bei entsprechender Feuchte jahrelang lebensfähig bleiben. Werden sie von einem geeigneten Wirt mit der Nahrung aufgenommen, schlüpfen die Juvenilen und der Kreislauf beginnt erneut.

Als Beispiel für den dritten Typ, ein komplizierter direkter Lebenszyklus, kann die bekannte Trichine, *Trichinella spiralis*, dienen, die zahlreiche fleischverzehrende Säugetiere befallen kann, den Menschen eingeschlossen. Die größere Komplexheit liegt darin, daß zwei verschiedene Säugetiere als Wirte beteiligt sind, und daß die Nematoden nie außerhalb des Wirtes leben. Der Mensch infiziert sich durch rohes oder ungenügend behandeltes, mit enzystierten Juvenilen infiziertes Fleisch. Starker Befall ruft schwere Krankheitssymptome hervor und führt nicht selten zum Tode (FRANK, 1976).

Wie bei den Pflanzenparasiten und den Parasiten wirbelloser Tiere sind auch bei den Wirbeltierparasiten An-

zahl und Vielseitigkeit der Wirt-Parasit-Beziehungen bei den Secernentea deutlich größer als bei den Adenophorea. Es lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Die Wirbeltierparasiten der Ordnungen Rhabditida, Strongylida und Ascaridida gehen auf bakterienfressende rhabditide Vorfahren zurück. In der heutigen Fauna läßt sich eine lückenlose Modellreihe für eine solche Evolution aufstellen (MAGGENTI, 1981b). Dagegen sind die Spirurida und Camallanida ziemlich isolierte Gruppen ohne Beziehungen zu anderen Nematoden, aus denen man Schlüsse auf ihre Abstammung ziehen könnte.

Als Beispiel für einen ersten Schritt zum Wirbeltierparasitismus kann *Rhabditis strongyloides* gelten, dessen frühe Entwicklungsstadien sich durch die Haut von Mäusen bohren und dort inaktiv im Unterhautgewebe bleiben. Wenn der Transportwirt stirbt, werden die Nematoden aktiv und leben von den den Kadaver zersetzenden Bakterien.

Ein eindeutiger Parasit ist der Luft-röhrenwurm *Syngamus trachea* (Abb. 1D). Die kurzlebigen Adulten leben in der Luftröhre von Vögeln. Ihre Eier gelangen über die Mundhöhle in den Darm und dann mit dem Kot ins Freie. In ihnen entwickeln sich die juvenilen Nematoden bis zum 3. Stadium, in dem sie lange Zeit verharren können. Werden solche Eier von dungbewohnenden Ringelwürmern oder Schnecken aufgenommen, wandern die schlüpfenden Nematoden in die Leibeshöhle und enzystieren sich dort ohne Nahrungsaufnahme. Die Entwicklung geht erst weiter, wenn die infizierten Würmer oder Schnecken von einem geeigneten Vogel ge-

fressen werden. Der Umweg ist aber nicht obligatorisch, denn bei einer Aufnahme der Eier durch einen Vogel geht die Entwicklung direkt weiter. Die juvenilen Nematoden bohren sich in ihrem Endwirt durch die Darmwand in das Pfortadersystem. In ihm gelangen sie über Leber und Herz in die Lunge, wo sie das Gefäßsystem verlassen und in die Alveolen eindringen. Hier entwickeln sie sich zu noch nicht ganz geschlechtsreifen Adulten und wandern dann aktiv über die Bronchien in die Luftröhre, wo sie die volle Geschlechtsreife erlangen und sich festsetzen. Diese Wanderung, die mehrere Wochen in Anspruch nimmt, ist obligatorisch. Man findet sie in ähnlicher Form bei vielen Wirbeltierparasiten. Es ist nicht klar, ob sie für die Entwicklung physiologisch notwendig ist oder ob sie nur eine Wiederholung der Stammesgeschichte darstellt.

Zusammenfassung

Parasitismus ist im Laufe der Evolution der Nematoden mehrmals unabhängig und zu unterschiedlichen Zeiten entstanden. Diese Entwicklung ging von saprobionten terrestrischen Formen aus, die auf Grund ihres Lebens in sich zersetzender organischer Substanz wichtige Voranpassungen für eine parasitische Lebensweise besaßen. Während in der Klasse der Adenophorea die Mehrzahl der rezenten Arten freilebend ist, überwiegen in der Klasse der Secernentea die Parasiten bei weitem. Der Pflanzenparasitismus trat wahrscheinlich erstmals im Devon auf. Das Parasitieren von wirbellosen Tieren könnte ebenso alt

sein, während der Wirbeltierparasitismus sich erst später entwickelt hat, als die ersten Landwirbeltiere auftraten. Verschiedene Erscheinungsformen und evolutive Schritte des Parasitismus bei Nematoden werden an Beispielen erläutert.

Literatur

- ANDERSON, R.C. (1984): The origins of zooparasitic nematodes. *Can. J. Zool.* **62**, 317-328.
- BEDDING, R.A. (1968): *Deladenus wilsoni* n. sp. and *D. siricidicola* n. sp. (Neotylenchidae), entomophagous-mycetophagous nematodes parasitic in siricid woodwasps. *Nematologica* **14**, 515-525.
- BEDDING, R.A. (1973): Biology of *Deladenus siricidicola* (Neotylenchidae), an entomophagous-mycetophagous nematode parasitic in siricid woodwasps. *Nematologica* **18** (1972), 482-493.
- FRANK, W. (1976): Parasitologie. Stuttgart, Ulmer Verlag, 510 S.
- GERAERT, E. (1990): Evolution in hoplolaims (Nematoda: Tylenchida). *Nematologica* **36**, 199-204.
- LUC, M., MAGGENTI, A., FORTUNER, R., RASKI, D.J. & GERAERT, E. (1987): A reappraisal of Tylenchina (Nematoda) 1. For a new approach to the taxonomy of Tylenchina. *Rev. Nématol.* **10**, 127-134.
- MAGGENTI, A. (1981a): Nematodes: Development as plant parasites. *Ann. Rev. Microbiol.* **35**, 135-154.
- MAGGENTI, A. (1981b): General Nematology. New York, Springer Verlag, 385 p.
- OSCHE, G. (1955): Die Präadaptation freilebender Nematoden an den Parasitismus. *Verhandl. Deut. Zool. Ges.*, 391-397.
- OSCHE, G. (1966): Ursprung, Alter, Form und Verbreitung des Parasitismus bei Nematoden. *Mitt. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **118**, 6-24.
- POINAR, G.O. (1983): The natural history of nematodes. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 323 p.
- POINAR, G.O. (1993): Origins and phylogenetic relationships of the entomophilic

- rhabditids, *Heterorhabditis* and *Steinernema*. Fundam. appl. Nematol. **16**, 333-338.
- POINAR, G.O., ACRA, A. & ACRA, F. (1994): Earliest fossil nematode (Mermithidae) in cretaceous Lebanese amber. Fundam. appl. Nematol. **17**, 475-477.
- RÜHM, W. (1956): Die Nematoden der Ipiden. Jena, VEB Gustav Fischer Verlag, 437 S.
- SIDDIQI, M.R. (1983): Evolution of plant parasitism in nematodes. In: STONE, A.R., PLATT, H.M. & KHALIL, L.F. [Eds.]: Concepts in nematode systematics. London, Academic Press, 113-129.
- SIDDIQI, M.R. (1986): Tylenchida. Parasites of plants and insects. Farnham Royal, Commonw. Agric. Bureaux, 654 S.
- SUBBOTIN, S. (1993): Evolution of modified food cells induced by sedentary nematodes in plant roots. Russ. J. Nematol. **1**, 16-21.
- WALLACE, H.R. (1961): The bionomics of the free-living stages of zoo-parasitic and plant-parasitic nematodes - a critical survey. Helminth. Abstr. **30**, 1-22.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Bernhard Weischer,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Topphaideweg 88, 48161 Münster

Über die Rolle traditioneller Taxonomie und die Bedeutung der „Deutschen Nematodensammlung“

On the significance of traditional taxonomy and the importance of the "German Nematode Collection"

DIETER STURHAN

Abstract

The importance of reliable species identification is gaining significance for plant-parasitic nematodes as well as for other terrestrial, for aquatic and zooparasitic nematodes. However, identification is becoming increasingly difficult for non-specialists due to the ever increasing number of described species. Morphologic-anatomic study has been and is still the prevailing method in taxonomy and diagnosis. This approach has recently been increasingly supported by biochemical and molecular genetic methods, which allow e. g. also distinction and identification of intraspecific categories. In certain fields the traditional method will remain, however, the only applicable method for diagnosis, taxonomy and phylogenetic research. An essential presupposition for morphological studies is the availability of preserved nematode material. The "German Nematode Collection (terrestrial nematodes)" at the Biologische Bundesanstalt in Münster, which comprises at present almost 12.000 permanent microscope slides and much additional preserved nematode material, is considered an important basis for such work in Germany.

Keywords: nematodes, taxonomy, diagnosis, morphology, collection, Germany

Würmer ohne Lobby

Nematoden haben keine Lobby. Pflanzenparasitäre Fadenwürmer sind mit bloßem Auge nicht sichtbar; Schäden an Kulturpflanzen werden oft nicht erkannt - auch wenn die Ertragseinbußen durch Nematoden weltweit auf jährlich nahezu 78 Milliarden Dollar beziffert werden (BARKER *et al.*, 1994). Der Stellenwert der Landwirtschaft in unserem Wirtschaftssystem sinkt, Ertragssteigerung ist nicht mehr primäres Produktionsziel und Forschung in vielen Bereichen scheinbar überflüssig oder zumindest unbedenklich einschränkbar.

Weitere Einsparungen im Bereich

landwirtschaftlicher Forschung und Beratung erfordern eine kritische Analyse der gegenwärtigen Situation, eine Diskussion über die aktuelle Bedeutung der unterschiedlichen Aufgaben- und Forschungsbereiche und ihre Gewichtung sowie über die künftige Ausrichtung von Arbeitsschwerpunkten und die Vertretbarkeit eines Verzichts auf traditionelle Forschungsgebiete und dessen Auswirkung im Rahmen langfristiger Perspektiven. In diesem Zusammenhang geht es auch um den künftigen Stellenwert von Diagnose und taxonomischer Forschung in der Nematologie.

Bedeutung und Probleme praxisorientierter Taxonomie sollen hier unter

Bezug auf die „Deutsche Nematodensammlung“ am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster dargestellt und die gegenwärtige Rolle traditioneller Arbeitsweisen im Vergleich zu „modernen“ Methoden diskutiert werden. Bedeutung und Zukunftsperspektiven von Taxonomie und Systematik sind allgemeiner schon vielfach diskutiert worden, z. B. von SCHMINKE (1990) sowie KRAUS und KUBITZKI (1982), in Bezug auf Nematoden u. a. durch STURHAN (1984) und FERRIS (1994).

Nematologie noch gefragt?

Die Nematologie war schon immer ein stark vernachlässigtes Forschungsgebiet (KRAUS, 1976; STURHAN, 1984). Die mikroskopische Größe der meisten Fadenwürmer, Schwierigkeiten der Bestimmung, spärliche aktuelle relevante Literatur und vieles mehr haben diese Tiere im Unterschied zu anderen Organismengruppen zu wenig attraktiven Forschungsobjekten werden lassen und auch keine Hobbyforscher angezogen (der schweizer Lehrer E. Altherr gehört dabei zu den seltenen Ausnahmen!). In jüngster Zeit finden terrestrische und aquatische Nematoden jedoch bei ökologischen Untersuchungen und als potentielle Bioindikatoren bzw. Bio-monitoren zunehmend Beachtung. Dies wird unter anderem durch in den letzten Jahren abgeschlossene Dissertationen an mehreren deutschen Universitäten dokumentiert.

Mehr als 20 000 Arten an Boden- und Süßwassernematoden, Meeresnematoden und zooparasitären Fa-

denwürmern mögen bisher beschrieben worden sein. Realistische Schätzungen rechnen mit der Existenz von wenigstens 100 000 und sogar 500 000 bis zu einer Million Arten (BALDWIN & LUC, 1995). Zur Zeit kommen allein bei den aquatischen und terrestrischen Nematoden (einschließlich der Phytonematoden) jährlich durchschnittlich etwa 200 beschriebene Arten hinzu. Nach einer neueren Zusammenstellung (ANDRÁSSY, 1992) gibt es schon bei den „freilebenden“ Nematoden (ohne Tierparasiten) mehr als 1380 gültige Gattungen mit über 11 000 derzeit anerkannten Arten. HARTWICH (1975) bezifferte allein die als Wirbeltierparasiten bekannten Nematoden schon vor gut 20 Jahren auf knapp 5000 Arten.

Wie bereits früher geäußert wurde (STURHAN, 1984), ist auch bei uns im relativ gut erforschten Mitteleuropa erst ein Bruchteil der tatsächlich vorkommenden Arten erfaßt und der Anteil noch unbeschriebener Arten hoch. Dies gilt auch für die als Pflanzenparasiten in Betracht kommenden Gruppen. Dazu zwei Beispiele: Dank intensiverer Untersuchungen erhöhte sich die Anzahl in Deutschland erfaßter *Pratylenchoides*-Arten von zuvor drei auf nunmehr zehn (STURHAN & RYSS, unveröff.) und selbst bei den als Pflanzenschädiger wichtigen Wurzelgallennematoden von bisher vier im Freiland nachgewiesenen Arten auf nunmehr elf vermutete *Meloidogyne*-Arten (STURHAN, 1976 und unveröff.).

Wie steht es angesichts hoher Artenzahlen, der Schwierigkeit, mit Nematoden zu arbeiten, und der immensen Kenntnislücken mit der Praxisrelevanz nematologischer Forschungen? Ist eine Intensivierung von Untersu-

chungen an dieser Tiergruppe „lediglich“ von wissenschaftlichem Interesse, oder besteht „Bedarf“ an Weiterführung oder sogar Erweiterung der Forschungsbemühungen aus Sicht der Praxis?

Zu Zeiten als Probleme mit pflanzenparasitären Nematoden in der Regel mit dem Einsatz chemischer Mittel gelöst wurden, waren eine exakte Diagnose und die sichere Identifizierung von Arten zweitrangig. Heute, da Nematizide nicht oder nur sehr begrenzt verwendet werden (dürfen) und mit alternativen, umweltfreundlichen Verfahren versucht wird, Nematoden zu bekämpfen oder ein Schadauftreten zu verhindern, ist eine exakte Diagnose mit Bestimmung der jeweiligen Nematodenarten von entscheidender Bedeutung bei Fragen über das Wo und das Wie von Bekämpfungsmaßnahmen, über den gezielten Einsatz resistenter Sorten, die Gestaltung von Fruchtfolgemaßnahmen usw. Quarantänebestimmungen und Anbauverordnungen (z. B. Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelnematoden, Rebepflanzgutverordnung) fordern eine exakte Bestimmung von Nematodenarten und bei mehreren Arten auch eine sichere Identifizierung von Pathotypen. Außer bei Schadnematoden ist auch bei „nützlichen“ Nematoden eine sichere Artbestimmung gefragt (z. B. bei den entomopathogenen Arten, die sich in ihrer Eignung zur Bekämpfung bestimmter Insekten unterscheiden können) sowie eine verlässliche Identifizierung von trophischen Gruppen, verschiedenen taxonomischen Kategorien und auch Arten bei „indifferenten“ Nematoden. Die letztgenannten finden u. a. bei allgemeinen ökologischen Untersuchungen zu-

nehmend Berücksichtigung, da Fadenwürmer im terrestrischen Bereich und oft auch in aquatischen Lebensräumen die häufigsten Metazoen stellen, die außerdem in hoher Artenzahl und in sehr unterschiedlichen Ernährungsgruppen vertreten sind. In ihrer Eignung als Bioindikatoren oder Biomonitoren können markante Unterschiede auf Artebene vorliegen.

Bestimmung nach Anzahl der Lippenringel?

Die mikroskopische Untersuchung morphologischer Merkmale ist die traditionelle Methode zur Identifizierung von Nematoden. Mit der Erweiterung unserer Kenntnisse über Nematoden und mit steigender Zahl bekannter Arten und Gattungen mußten zur Differenzierung von Arten zunehmend schwierigere Merkmale herangezogen werden. Zur Erkennung von morphologischen Strukturen, die selbst bei höchstmöglichen lichtmikroskopischen Vergrößerungen nicht sichtbar sind, werden seit einiger Zeit mit großem Nutzen rasterelektronenmikroskopische Verfahren genutzt (HIRSCHMANN, 1983). Es hat sich aber gezeigt, daß auch diese Verfahren kaum besser geeignet sind, biologische Arten zu erkennen und zu differenzieren.

Nematoden gelten insgesamt als morphologisch-anatomisch „konservativ“, und morphologische Strukturen dürften bei Selektion und Artbildung auch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zwar werden Merkmale wie Anzahl der Lippenringel oder Vorhandensein oder Fehlen von Cuticularin- geln am Schwanzende häufig zur

Artidiagnose genutzt, doch ist unwahrscheinlich, daß mit einer Änderung dieser Strukturen ein Selektionsvorteil verbunden gewesen ist. Solche Merkmale dürften eher „zufällig“ zu - jeweils sehr sorgfältig zu überprüfenden - Artcharakteristika geworden sein. Entscheidender bei der Speziation waren zweifellos Änderungen in Physiologie, Biologie und Ökologie. Und diese sind mittels mikroskopischer Verfahren nicht erfaßbar. Gerade bei spezialisierten Nematoden wie den Phytoparasiten ist daher mit verbreitetem Vorkommen bisher nicht erkannter, „kryptischer“ Arten zu rechnen, die nicht - oder bisher nicht - morphologisch differenzierbar sind. Auch das Erkennen innerartlicher Kategorien wie physiologische Rassen, Pathotypen und Stämme erlaubt die morphologische Methode nicht. Die Grenzen morphologischer Verfahren werden auch deutlich, wenn es um die Zuordnung morphologisch (leicht) abweichender Formen zu bereits bekannten Arten geht, da über das mögliche Ausmaß morphologischer Variabilität vergleichsweise wenig gesicherte Befunde vorliegen.

Traditionelle Taxonomie überholt?

Biochemische und molekulargenetische Verfahren haben in jüngster Zeit neue Möglichkeiten einer Charakterisierung und Identifizierung von Nematoden eröffnet; serologische Methoden, die Proteinelektrophorese und Enzymnachweise sowie die DNA-Analyse erlauben das Erkennen verwandter Populationen und die Identifizierung von Arten (BRAASCH *et al.*,

1995; BURROWS, 1990; CURRAN, 1992; DAVIES, 1994; ESBENSHADE & TRIANTAPHYLLOU, 1985; HUSSEY, 1979; RUMPENHORST, 1985; SUBBOTIN *et al.*, 1996; VRAIN & MCNAMARA, 1994; WILLIAMSON, 1991; u. a.). Eine mittels morphologischer Methoden nicht erreichbare Differenzierung von physiologischen Rassen, Pathotypen, Stämmen und Populationen sowie selbst die Zuordnung einzelner Tiere wird möglich, verwandtschaftliche Beziehungen lassen sich objektiv darstellen. Noch sind diese Techniken erst in geringem Umfang eingesetzt und die Möglichkeiten einer Nutzung noch begrenzt, doch lassen die weltweit verstärkten Forschungsbemühungen erwarten, daß die Verfahren bald verbreitet in der Nematologie Eingang finden werden.

Wird nun angesichts moderner Verfahren der Diagnostik und Systematik und neuer Methoden phylogenetischer Forschung die traditionelle morphologische Arbeitsweise überflüssig?

Wo die Grenzen morphologisch-anatomischer Untersuchungsverfahren liegen, ist bereits aufgezeigt worden. Für die molekularen Techniken sind sie wesentlich dadurch gesetzt, daß ihre Nutzung in der Regel frisches, „sauberes“ und „vorsortiertes“ Nematodenmaterial in ausreichender Menge voraussetzt. Für fixierte Nematoden, die Identifizierung einzelner Tiere, die Bestimmung und quantitative Erfassung von Taxa z. B. in artenreichen Nematodensuspensionen bei Untersuchungen zur Diagnose von Nematoden als mögliche Schadensursache, der Ermittlung von Schadensschwellen und vielen feldökologischen Untersuchungen (z. B. qualitative wie quantitative Erfassung von trophi-

schen Gruppen oder höheren Taxa) werden sich selbst bei Ausweitung der Kenntnisse nur begrenzt Möglichkeiten eines Einsatzes „moderner“ Methoden und des Ersatzes morphologischer Verfahren eröffnen. Angesichts der großen Artenzahl und der Fülle tatsächlich vorkommender, noch nicht beschriebener Arten werden sich die molekularbiologischen Verfahren vor allem auf „wichtige“ Nematoden konzentrieren (müssen).

Nicht um Ablösung traditioneller Verfahren durch ein Spektrum molekularer Techniken geht es, sondern um optimale Nutzung, Kombination und Integration unterschiedlicher Methoden für Diagnose und Taxonomie. Dabei kommt den biochemischen-molekulargenetischen Verfahren vor allem eine große Bedeutung zur Klärung taxonomischer Probleme und phylogenetischer Fragen, der Identifizierung von Nematodenisolaten und der Erfassung intraspezifischer Kategorien zu. Keiner Methode ist grundsätzlich eine Priorität einzuräumen. Die traditionelle morphologische Untersuchung dürfte zumeist schneller, einfacher und auch billiger sein und in der Regel eine zweifelsfreie Artdiagnose erlauben (auf ein vermutlich verbreitetes Vorkommen kryptischer Arten wurde schon hingewiesen!). Selbst Vertreter „moderner“ Methoden meinen, "morphology has been and will continue to be the mainstay of nematode taxonomy" (CURRAN, 1992).

Nematoden-„Museum“ erforderlich?

Die Identifizierung der Nematoden - wie auch ganz allgemein die der höhe-

ren Organismen - erfolgt zumeist anhand von publizierten Beschreibungen morphologischer Kennzeichen, in der Regel unter Benutzung von auf wenige ausgewählte Kennzeichen beschränkten Bestimmungsschlüsseln. Der Einsatz von Computern macht die Literaturinformation leichter zugänglich, bietet neue Möglichkeiten der Auswertung und Sichtung von Merkmalen, ist vor allem bei artenreichen Gattungen und bei Fehlen aktueller Bestimmungsliteratur von großem Vorteil. Grenzen setzen auch hier fehlende Informationen (z. B. bei bislang ungenügend bekannten und beschriebenen Arten) und die beschränkten Möglichkeiten der verbalen und bildlichen Darstellung von morphologisch-anatomischen Merkmalen. Ein Studium am „Objekt“ selbst, die mikroskopische Beobachtung und ein Vergleich z. B. mit sicher identifiziertem Nematodenmaterial erlauben häufig erst eine verlässliche Artbestimmung, die Klärung taxonomischer Fragen, das Aufspüren zuvor nicht erkannter und genutzter diagnostischer Merkmale.

Um Nematodenmaterial für wissenschaftliche und diagnostische Zwecke zu erhalten und verfügbar zu haben, wurden in vielen Ländern Nematodensammlungen aufgebaut, zumeist an nationalen Forschungseinrichtungen und an Universitätsinstituten (SYSTEMATIC RESOURCES COMMITTEE, 1983, 1992). In Deutschland ist von früher tätigen Nematologen dauerhaft konserviertes Nematodenmaterial leider selten erhalten geblieben, oder über einen möglichen Verbleib ist nichts bekannt; etwas Material findet sich über wenige Museums-, Universitäts- und Privatsammlungen verstreut.

Vor etwa 30 Jahren wurde in Münster begonnen, am einzigen nematologischen Fachinstitut für Deutschland eine zentrale Nematodensammlung aufzubauen: D N S T = Deutsche Nematodensammlung (terrestrische Nematoden). Die Sammlung ist weitgehend beschränkt auf pflanzenparasitäre und andere Bodennematoden; unter den aquatischen Nematoden finden Süßwasserarten Berücksichtigung, während rein marine Arten im wesentlichen der Nematodensammlung (NSIMB) am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven vorbehalten bleiben sollen. Auch zooparasitäre Nematoden sollen nach derzeitigen Vorstellungen nur begrenzt aufgenommen werden, mit Ausnahme bestimmter insektenparasitärer Nematoden und anderer im Boden häufiger anzutreffender Taxa.

D N S T

Mit der „Deutschen Nematodensammlung“ am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster werden folgende Ziele verfolgt:

Erhaltung wichtigen Materials

Neben Typenpräparaten von neu beschriebenen Nematodenarten soll weiteres wichtiges Sammlungsmaterial archiviert werden, auch Belegmaterial von unterschiedlichsten Untersuchungen und Versuchen, das für eventuelle spätere Überprüfungen der Artzugehörigkeit wichtig ist (bei vielen früheren Veröffentlichungen ist die Artidentität angesichts inzwischen

erfolgter taxonomischer Änderungen, Artentrennungen, Neubeschreibungen usw. nicht mehr zu ermitteln!). Die Erfassung und Erhaltung von aus Deutschland bekannten Nematoden steht dabei im Vordergrund, aber auch Nematoden aus anderen Ländern und Regionen werden berücksichtigt.

Wissenschaftliche Zwecke

Die Klärung taxonomischer Probleme verlangt in der Regel das detaillierte mikroskopische Studium von Nematodenmaterial, zumeist auch von möglichst vielen Populationen unterschiedlicher Herkunft. Mit zunehmender Artenzahl wird es wichtiger, möglichst viele Arten für vergleichende Untersuchungen verfügbar zu haben. Im internationalen Austausch wird zur Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen Sammlungsmaterial zur Verfügung gestellt (aus DNST zur Zeit u. a. in Neuseeland, USA, Belgien, Niederlande, Türkei, Rußland, Estland, Georgien).

Diagnose

Die Durchführung einer verlässlichen Artbestimmung verlangt nicht selten den Vergleich mit identifizierten Nematoden, eventuell auch mit Typenmaterial. Dies gilt insbesondere bei nicht genügend beschriebenen Nematoden oder zur Abschätzung möglicher innerartlicher Variabilität. Es ist z. B. auch für Untersuchungen im Bereich der Quarantäne und für die Diagnose nematologischer Probleme in subtropischen und tropischen Ländern wichtig, nicht nur heimische, sondern auch „exotische“ Nematoden für Ver-

gleichszwecke verfügbar zu haben.

Schulung und Kurse

Für die Einarbeitung in die Nematodenbestimmung, die Durchführung von Bestimmungskursen, Fortbildung im sicheren Erkennen ausgewählter Nematoden usw. ist ein „Studium am Objekt“ unerlässlich. Dafür muß ein breites Spektrum mikroskopischer Dauerpräparate von wichtigen Nematoden verfügbar sein, für Mitarbeiter in Projekten der Entwicklungshilfe und Kooperationspartner aus Drittweltländern z. B. auch von den in den betroffenen Regionen jeweils bedeutenden Gattungen und Arten.

Die „Deutsche Nematodensammlung“ umfaßt zur Zeit etwa 4000 katalogisierte mikroskopische Dauerpräparate mit bis zur Art identifizierten Nematoden, darunter 250 Typenpräparate. Etwa 600 Nematodenarten aus fast 200 Gattungen sind bisher vertreten. Daneben existieren fast 8000 Präparate von Nematoden, die noch nicht bearbeitet werden konnten (darunter auch viele noch unbeschriebene Arten) oder die zur Zeit untersucht werden, die für Kurszwecke zur Verfügung stehen oder als Belegmaterial dienen bzw. als „Arbeitspräparate“ zur Klärung bestimmter Fragestellungen angefertigt wurden.

Unter den bisher registrierten Nematodenpräparaten sind vor allem solche Taxa vertreten, die Arbeitsschwerpunkte am Institut bilden bzw. bildeten, z. B. Zystennematoden mit 57 Arten, Trichodoriden mit 28, die Gattung *Xiphinema* mit 50 und die Gattungen *Longidorus* und *Paralongidorus* mit zusammen 29 Arten oder

entomopathogene Nematoden der Gattungen *Steinernema* und *Heterorhabditis* mit etwa 600 Dauerpräparaten. Viele Gruppen nicht-phytophager terrestrischer Nematoden, die für ökologische Untersuchungen und als potentielle Bioindikatoren zunehmend Beachtung finden, sind dagegen noch schwach repräsentiert. Der weitaus größte Teil des Sammlungsmaterials stammt aus Deutschland; es sind daneben aus etlichen „exotischen“ Ländern größere, zumeist noch nicht bearbeitete Präparatserien vorhanden. Durch internationalen Austausch hat die Sammlung wertvolle Bereicherungen durch Nematodenmaterial aus anderen Ländern und Regionen erfahren.

Neben den mikroskopischen Dauerpräparaten gibt es mehrere Tausend fixierter, dauerhaft konservierter Nematodenproben (überwiegend komplette, aus Bodenproben isolierte Nematodensuspensionen), die zumeist in Glycerin überführt worden sind und die für weitere Untersuchungen genutzt werden können oder als Belegmaterial dienen.

Und die Zukunft?

Nematoden sind in vielen Bereichen zu wichtig, unsere Kenntnisse über die tatsächlich vorhandenen biologischen Arten und Möglichkeiten einer sicheren Identifizierung allgemein noch zu gering, als daß eine Reduktion taxonomischer Forschung vertretbar wäre. Selbst im relativ gut erforschten Mitteleuropa ist erst ein Teil der tatsächlich vorkommenden Arten erfaßt worden, und Kenntnisse darüber sind wichtige Voraussetzungen u. a. für die

Erstellung von leicht handhabbaren, für enge geographische Gebiete verwendbaren Bestimmungsschlüsseln und eine zuverlässige, auch für Nicht-Spezialisten durchführbare Identifizierung von Nematodenarten.

Die traditionelle Methode der Taxonomie und Diagnose unter Berücksichtigung morphologischer Merkmale wird auch in Zukunft nicht durch „moderne“ Verfahren ersetzt, die „klassische Taxonomie“ nicht durch „molekulare Taxonomie“ abgelöst werden. Integration und Kombination unterschiedlicher Methoden für Taxonomie und Diagnose sind gefragt (FERRIS & FERRIS, 1992; BALDWIN & LUC, 1995). Die konventionelle mikroskopische Untersuchung wird auch künftig in vielen Fällen die einzig praktikable „Methode der Wahl“ bleiben, außerdem oft auch die einfachste, schnellste und billigste.

Wichtige Voraussetzung für die optimale Nutzung der morphologischen Methode ist die Verfügbarkeit von nematologischem Sammlungsmaterial, von mikroskopischen Dauerpräparaten. Einer nationalen Sammlung kommt daher große Bedeutung zu.

Solche Sammlungen sind an Forschungsinstitutionen zu etablieren, bei denen eine Kontinuität nematologischer Forschung und die Betreuung durch Spezialisten (Kuratoren) zu erwarten sowie allgemeine Zugänglichkeit und Nutzung für wissenschaftliche Zwecke gewährleistet sind. Mit dem Aufbau der „Deutschen Nematodensammlung“ am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster ist ein wichtiger Schritt getan.

Zusammenfassung

Eine exakte Artbestimmung gewinnt sowohl bei pflanzenparasitären Nematoden als auch bei z. B. anderen terrikolen, den aquatischen und tierparasitären Formen an Bedeutung, wird angesichts steigender Zahlen bekannter Arten und der großen Kenntnislücken für Nichtspezialisten aber zunehmend schwieriger. Die morphologisch-anatomische Untersuchung ist noch immer die vorherrschende Methode für Taxonomie und Diagnose. Sie wird heute verstärkt durch biochemische und molekulargenetische Verfahren ergänzt, die u. a. die Differenzierung und Identifizierung intraspezifischer Kategorien erlauben. In bestimmten Bereichen wird die traditionelle Methode weiterhin das einzig praktikable Verfahren für Diagnose, Taxonomie und Phylogenese-forschung bleiben. Wichtige Voraussetzung für morphologisches Arbeiten ist die Verfügbarkeit von Sammlungsmaterial. Mit Einrichtung der „Deutschen Nematodensammlung (terrestrische Nematoden)“ bei der Biologischen Bundesanstalt in Münster, mit heute fast 12 000 mikroskopischen Dauerpräparaten und sonstigem konservierten Sammlungsmaterial, ist dafür in Deutschland eine notwendige Basis geschaffen worden.

Literatur

- ANDRÁSSY, I. (1992): A short census for free-living nematodes. *Fundam. appl. Nematol.* **15**, 187-188.
- BALDWIN, J.G. & LUC, M. (1995): Current problems in taxonomy. *Nematologica* **41**, 357-358.
- BARKER, K.R., HUSSEY, R.S., KRUSBERG,

- L.R., BIRD, G.W., DUNN, R.A., FERRIS, H., FERRIS, V.R., FRECKMAN, D.W., GABRIEL, C.J., GREWAL, P.S., MACGUIDWIN, A.E., RIDDLE, D.L., ROBERTS, P.A. & SCHMITT, D.P. (1994): Plant and soil nematodes: Social impact and focus for the future. *J. Nematol.* **26**, 127-137.
- BRAASCH, H., BURGERMEISTER, W. & PASTRIK, K.-H. (1995): Differentiation of three *Bursaphelenchus* species by means of RAPD-PCR. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **47**, 310-314.
- BURROWS, P.R. (1990): The use of DNA to identify plant parasitic nematodes. *Helminth. Abstr.* **59**, 1-8.
- CURRAN, J. (1992): Molecular taxonomy of nematodes. In: GOMMERS, F.J. & MAAS, P.W.TH. [Eds.]: *Nematology from molecule to ecosystem*. Proc. Second Int. Nematology Congress, 11-17 August 1990, Veldhoven, The Netherlands. Wildervank, Dekker & Huisman, 83-91.
- DAVIES, K.G. (1994): A nematode case study focusing on the application of serology. In: HAWKSWORTH, D.L. [Ed.]: *The identification and characterization of pest organisms*. Wallingford, CAB International, 395-413.
- ESBENSHADE, P.R. & TRIANTAPHYLLOU, A.C. (1985): Use of enzymes for identification of *Meloidogyne* species. *J. Nematol.* **17**, 6-20.
- FERRIS, V.R. & FERRIS, J.M. (1992): Integration of classical and molecular approaches in nematode systematics. In: GOMMERS, F.J. & MAAS, P.W.TH. [Eds.]: *Nematology from molecule to ecosystem*. Proc. Second Int. Nematology Congress, 11-17 August 1990, Veldhoven, The Netherlands. Wildervank, Dekker & Huisman, 92-100.
- FERRIS, V.R. (1994): The future of nematode systematics. *Fundam. appl. Nematol.* **17**, 97-101.
- HARTWICH, G. (1975): *Rhabditida und Ascaridida*. Jena, Fischer Verlag.
- HIRSCHMANN, H. (1983): Scanning electron microscopy as a tool in nematode taxonomy. In: STONE, A.R., PLATT, H.M. & KHALIL, L.F. [Eds.]: *Concepts in nematode systematics*. London & New York, Academic Press, 95-111.
- HUSSEY, R.S. (1979): Biochemical systematics of nematodes - a review. *Helminth. Abstr.* **48**, 141-148.
- KRAUS, O. (1976): *Zoologische Systematik in Mitteleuropa*. Sonderbd. Naturwiss. Ver. Hamburg **1**, 1-259.
- KRAUS, O. & KUBITZKI, K. (1982): *Biologische Systematik*. Weinheim, Verlag Chemie.
- RUMPENHORST, H.J. (1985): Vergleichende elektrophoretische Untersuchungen von Proteinen einiger Zystennematoden von Getreide und Gräsern. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* **226**, 64-74.
- SCHMINKE, H.K. (1990): Bedeutung und Probleme praxisorientierter Taxonomie. *Verhandl. Ges. Ökologie XIX/II*, 236-244.
- STURHAN, D. (1976): Freilandvorkommen von *Meloidogyne*-Arten in der Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **28**, 113-117.
- STURHAN, D. (1984): Phytonematoden Deutschlands - Zur Lage der Nematodentaxonomie. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **36**, 1-6.
- SUBBOTIN, S.A., RUMPENHORST, H.J. & STURHAN, D. (1996): Morphological and electrophoretic studies on populations of the *Heterodera avenae* complex from the former USSR. *Russ. J. Nematol.* **4**, 29-39.
- SYSTEMATIC RESOURCES COMMITTEE (1983): Nematode collections of the world. *SON Nematology Newsletter* **29**, 5-10.
- SYSTEMATIC RESOURCES COMMITTEE (1992): 1992 Voucher depository survey results. *SON Nematology Newsletter* **38**, 15-19.
- VRAIN, T.C. & MCNAMARA, D.G. (1994): Potential for identification of quarantine nematodes by PCR. *EPPO Bull.* **24**, 453-458.
- WILLIAMSON, V.M. (1991): Molecular techniques for nematode species identification. In: NICKLE, W.R. [Ed.]: *Manual of Agricultural Nematology*. New York, Marcel Dekker, 107-123.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Dieter Sturhan,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topphaideweg 88, 48161 Münster

Untersuchungen über den *Heterodera avenae*-Komplex

Studies on the *Heterodera avenae* complex

DIETER STURHAN und HANS JÜRGEN RUMPENHORST

Abstract

More than one third of the approximately 100 species of cyst-forming nematodes known to date parasitize cereals and grasses, the eleven species of the *Heterodera avenae* group almost exclusively Gramineae. Certain taxonomical problems in the *H. avenae* complex (s. str.) could not be solved so far, in particular, the status of the "British pathotype 3" and the "Gotland strain".

Comparative biochemical and morphological studies of numerous *H. avenae* and *H. avenae* resembling populations of various geographic origin, including *H. filipjevi* from Tadjikistan and other species of the *H. avenae* complex established that populations from Russia, Ukraine, Estonia, Latvia, Bulgaria, Turkey and Iran were *H. filipjevi*. From these results it became further apparent that also "British pathotype 3", the "Gotland strain" from Sweden and *H. "mani"* populations from Germany were *H. filipjevi*. According to these results, the main centre of distribution of *H. filipjevi* seems to be the East European-Oriental region. From northern Germany there are 11 records of this species so far, all from cereal fields.

Furthermore an undescribed species of the *H. avenae* complex widely distributed in grassy habitats in Germany and also present in the St. Petersburg region of Russia could be differentiated. Results of the electrophoretic studies further indicate that additional undescribed species may have been identified as *H. avenae*, e. g. from China. In these studies the protein pattern of populations from Israel and Saudi Arabia closely agreed with that of "typical" *H. avenae*, populations from India and Australia showed certain differences.

Keywords: *Heterodera avenae*, *Heterodera filipjevi*, cereal cyst nematodes, taxonomy, morphology, molecular diagnosis, IEF, random amplified polymorphic DNA, geographical distribution, Germany

Im Jahr 1874 war von KÜHN erstmals über „Rüben nematoden“ an den Wurzeln von Getreide aus der Umgebung von Halle berichtet worden. Erst 50 Jahre später wurde dann der Haferzystennematode *Heterodera avenae* - zunächst als *H. schachtii* var. *avenae* - von Hafer aus Aschersleben beschrieben, als dritte Art der bis dahin benannten Zystennematoden (WOLLENWEBER, 1924). Heute sind weltweit etwa 100 Arten zystenbildender Ne-

matoden bekannt, die zur Zeit sieben Gattungen zugeordnet werden. Etwa 38 dieser Arten sind auf Getreide und andere Gramineen spezialisiert, vier Arten auf Cyperaceen. Die meisten Arten zeichnen sich durch hohe Wirtsspezifität aus, mit Beschränkung des Wirtsspektrums auf nahverwandte Pflanzen. Es ist für keine Art bekannt, daß neben Gramineen auch dikotyle Pflanzen Wirte einer Art sind. Einige Arten vermögen jedoch auch Cy-

peraceen zu parasitieren. *Heterodera oryzae* Luc & Berdon Brizuela, 1961 und *H. oryzicola* Rao & Jayaprakash, 1978 haben neben Reis und anderen Gramineen sowie wenigen Cyperaceen auch Bananen als Wirte (CHARLES & VENKITESAN, 1985; TAYLOR, 1978); die Musaceae zählen jedoch ebenfalls zu den Monocotyledoneae.

Heterodera avenae ist der wirtschaftlich wichtigste Getreidezysten-nematode. Die Art gilt als nahezu weltweit verbreitet (MEAGHER, 1977; RITTER, 1982), doch handelt es sich bei *H. „avenae“* zweifellos um einen Komplex nahverwandter Arten mit zahlreichen Pathotypen und Rassen (COOK, 1982; STONE & HILL, 1982; STURHAN, 1976a; WILLIAMS & SIDDIQI, 1972).

Zystennematoden bei Gramineen

Bei den zystenbildenden Nematoden der Gattung *Heterodera* werden seit langer Zeit Artengruppen unterschieden, die durch bestimmte Zystenmerkmale gekennzeichnet sind, zum Teil zusätzlich durch Strukturen der Lippenregion bei den Juvenilen des zweiten Entwicklungsstadiums. Einige Artengruppen haben inzwischen einen eigenen Gattungsstatus erlangt (*Globodera*, *Punctodera*, *Cactodera*). Die Gattungen *Punctodera* und *Afenestrata* mit bisher drei bzw. vier beschriebenen Arten sowie die Gattungen *Dolichodera* und *Brevicephalodera* mit je einer Art sind ausschließlich von Gramineen bekannt.

Bei den derzeit innerhalb der Gattung *Heterodera* zumeist differenzierten drei Artengruppen beschränkt sich das Wirtsspektrum fast aller Ar-

ten der *H. avenae*-Gruppe auf Getreide und Gräser. Innerhalb der *H. schachtii*-Gruppe ist mehr als ein Drittel aller heute anerkannten 27 Arten auf Gramineen spezialisiert, darunter der wirtschaftlich wichtige Maiszystennematode, *H. zae* Koshy, Swarup & Sethi, 1971. Bei der *H. goettingiana*-Gruppe mit derzeit 28 Arten sind zehn Arten von Gramineen bekannt; vier weitere Arten parasitieren Cyperaceen. Keine dieser Arten scheint als Schädling von Kulturpflanzen eine Rolle zu spielen. Aus Europa sind bisher offensichtlich lediglich Arten der *H. avenae*-Gruppe als Parasiten von Getreide und Gräsern bekannt. Nach jüngsten eigenen Befunden scheint in Italien eine an Gräsern lebende Art aus der *H. goettingiana*-Gruppe vorzukommen.

Die *Heterodera avenae*-Gruppe

In dieser Gruppe sind die *Heterodera*-Arten mit folgenden Zystenmerkmalen vereinigt: Vulvakegel vorstehend, Vulvaregion bifenestral und Vulvaschlitz kürzer als Fensterbreite (< 20 µm). Für diese Artengruppe war eine eigene Gattung - *Bidera* Krall & Krall, 1978 - errichtet worden, für die Arten *H. turcomanica* Kirjanova & Shagalina, 1965 und *H. latipons* Franklin, 1969 wenig später die Gattung *Ephippiodera* Shagalina & Krall, 1981. Beide Gattungen wurden nicht allgemein anerkannt und mit *Heterodera* synonymisiert.

WOUTS und STURHAN (1995) wiesen darauf hin, daß die *H. avenae*-Gruppe, die nach der Wiederbeschreibung von *H. arenaria* Cooper, 1955 durch ROBINSON *et al.* (1996) nunmehr elf

anerkannte Arten umfaßt, sehr heterogen ist. So bestehen für *H. turcomanica*, *H. bifenestra* Cooper, 1955 und *H. spinicauda* Wouts, Schoemaker, Sturhan & Burrows, 1995 vermutlich keine näheren verwandtschaftlichen Beziehungen zu den übrigen Arten der Gruppe. Mit Ausnahme von *H. turcomanica* und eventuell auch *H. spinicauda* parasitieren alle derzeit zur *H. avenae*-Gruppe gestellten Arten Getreide und Gräser.

Der *Heterodera avenae*-Komplex

Innerhalb der *H. avenae*-Gruppe bilden *H. avenae*, *H. mani* Mathews, 1971, *H. iri* Mathews, 1971, *H. filipjevi* (Madzhidov, 1981), *H. arenaria* und *H. aucklandica* Wouts & Sturhan, 1995 eine Gruppe offensichtlich nahverwandter Arten. Kennzeichen sind schmale Vulvabrücke und deutliche Bullae im Vulvakegel bei den Zysten sowie Phasmiden mit linsenartigen Strukturen in der Cuticula, meist unvollständige Ausbildung von vier Seitenlinien und in der Regel angeschwollene Cuticula hinter der Lippenregion bei den Juvenilen. Die Artengruppe *H. latipons/H. hordecalis* Andersson, 1975 ist von diesem engeren *H. avenae*-Komplex durch morphologische Kennzeichen von Zysten und Juvenilen unterschieden (WOUTS & STURHAN, 1995).

Der *H. avenae*-Komplex (s. str.) mit den sechs derzeit beschriebenen bzw. anerkannten Arten und zahlreichen bei *H. avenae* differenzierten Pathotypen gilt seit langem taxonomisch als „Problemgruppe“ (STONE, 1978; STONE & HILL, 1982). Die meisten Arten dieser Gruppe sind morphologisch schwer

zu unterscheiden. Mit dem Vorliegen weiterer noch unbeschriebener Arten, die *H. avenae* ähneln, wird seit langem gerechnet. Die genaue Artzugehörigkeit von *H. „avenae“*-Populationen aus zahlreichen Ländern, über die in der Literatur berichtet worden ist, muß häufig als unsicher angesehen werden.

Eine morphologisch von *H. avenae* abweichende Form, die heute als "Gotland strain" bekannt ist, wurde bereits 1973 durch ANDERSSON in Schweden nachgewiesen, wo heute zwei Pathotypen differenziert werden (IREHOLM, 1994). Ähnliche Besonderheiten in Morphologie und Wirtsspektrum wurden auch für den "British pathotype 3" von *H. avenae* festgestellt (COOK, 1975, 1982) sowie für Populationen in Spanien (ROMERO, 1977; VALDEOLIVAS & ROMERO, 1990). Rasse bzw. Pathotyp 3 wurde unter anderem auch aus Deutschland (STURHAN, 1976a, b, 1982a) und Polen (GLABA, 1986) gemeldet. Diese Populationen wurden schon früh als Repräsentanten einer eigenen Art angesehen, die sich von *H. avenae* unterscheidet (ANDERSSON, 1973, 1976; STONE & HILL, 1982). Biochemische Studien unterstützen diese Ansicht (RUMPENHORST, 1985; FERRIS *et al.*, 1989, 1994). Auf mögliche Beziehungen zu der als *Bidera filipjevi* von Weizenfeldern aus Tadschikistan beschriebenen *Heterodera*-Art wurde mehrfach hingewiesen (IREHOLM, 1994; VALDEOLIVAS & ROMERO, 1990).

Nach Beobachtungen in Britannien (COOK, 1982; STONE & HILL, 1982), Deutschland (STURHAN, 1982b; RUMPENHORST, 1994) und Spanien (VALDEOLIVAS & ROMERO, 1990) kommen in Europa vermutlich weitere

bisher nicht differenzierte Arten vor, die vor allem *H. avenae* und *H. mani* gleichen.

Den Getreide- und Gräserzysten-nematoden der *H. avenae*-Gruppe war 1981 ein "EPPO Colloquium on Cereal Cyst Nematodes" gewidmet (vgl. EPPO Bull. 12, No. 4, 1982). Seither hat sich eine europäische Arbeitsgruppe intensiv mit diesen Zysten-nematoden befaßt und einiges zur Klärung von Problemen beigetragen, unter anderem durch Vereinheitlichung der Pathotypen-Klassifizierung und Bearbeitung taxonomischer Fragen (vergleichend-morphologische Untersuchungen, Neu- bzw. Wiederbeschreibung von Arten).

Über eigene neuere Untersuchungen zur Klärung taxonomischer Probleme beim *H. avenae*-Komplex soll im folgenden berichtet werden. Dabei standen biochemische Arbeiten im Vordergrund; ergänzend wurden morphologische Untersuchungen durchgeführt. Nematodenpopulationen aus verschiedenen Ländern standen zur Verfügung. Insbesondere erwies sich die Einbeziehung von *H. filipjevi* aus Tadschikistan als entscheidend zur Lösung bestimmter taxonomischer Fragen.

Eigene Untersuchungen

Material

Nematodenmaterial folgender Herkunft von *H. avenae* und *H. avenae*-ähnlichen Populationen sowie von weiteren Arten der *H. avenae*-Gruppe war für die biochemischen und/oder morphologischen Untersuchungen verfügbar:

a) *H. avenae*

Aus Deutschland wurden zahlreiche Populationen von Getreidefeldern verwendet, die aufgrund von Wirtspflanzentests und morphologischen Untersuchungen eindeutig als *H. avenae* identifiziert worden waren, unter anderem von Habernis bei Flensburg, Taaken bei Rotenburg/Wümme, Rin kam bei Straubing und Grafenreuth/Oberpfalz. Aus Frankreich wurden untersucht die vier französischen *H. avenae*-Rassen Fr1 (Population Villasavary), Fr2 (Population Vivonne), Fr3 (Population Argentan) und Fr4 (Population Nuisement-sur-Coole), aus Spanien die Populationen Santa Olalla, Teruel und Al Arahal, aus der Slowakei die Population Nitra.

Daneben standen als „*H. avenae*“ bezeichnete Populationen folgender Herkunft zur Verfügung: Estland (Sultsi, Haferfeld), Lettland (4 Populationen), Bulgarien (von einem Weizenfeld), Türkei (Kadinhani, Region Konya, und weitere 24 Populationen von Weizenfeldern aus Mittelanatolien), Iran (Getreidefeld in der Marvast-Region, Provinz Yazd), Israel (Getreidefeld unbekannter Herkunft), Saudi-Arabien (Weizenfeld in Wadi Nissah, Riyadh-Region), Indien (Population Delhi), China (genaue Herkunft unbekannt) und Australien (Sea Lake und Beulah/Victoria sowie eine dritte Population von unbekanntem Fundort).

b) *H. avenae* - „Pathotyp 3“, „Gotland-Typ“

Aus Schweden waren die Population Havor von Gotland und aus England die Population Akenham/Suffolk verfügbar, aus Spanien die Population Torralba de Calatrava, aus Deutschland die Populationen Gimbe und

Gelmer von Getreidefeldern bei Münster sowie etliche weitere Populationen aus dem nördlichen Deutschland, zumeist ebenfalls von Getreidefeldern.

c) *H. filipjevi*

Von einem Weizenfeld nahe Dushanbe, Tadschikistan, stand eine von MADZHIDOV (pers. Mitt.) als *H. filipjevi* identifizierte Population zur Verfügung, daneben wurden mehrere Populationen aus Rußland (Pushkin, Gorodets, Saratov, Vad, Baimak) und zwei Populationen aus der Ukraine (Chernobyl und Chabany, Region Kiew) verwendet, die als artidentisch mit *H. filipjevi* bestimmt worden waren (SUBBOTIN *et al.*, 1996).

d) *Heterodera spec.*

Zahlreiche *H. avenae*-ähnliche Populationen von Ackerland, vorwiegend aber von Wiesen und Weiden sowie anderen ackerbaulich nicht genutzten Flächen aus verschiedenen Gebieten Deutschlands, bei denen in einigen morphologischen Merkmalen Abweichungen vom „typischen“ *H. avenae* festgestellt worden waren, wurden in die Untersuchungen einbezogen, darunter Populationen aus dem Isarbett bei Lengries/Oberbayern, vom Elbufer in Cranz bei Hamburg sowie von Missunde, Lindhöft, Benstaben und Östergaard, sämtlich von Grünland in Schleswig-Holstein. Zusätzlich wurde die Population Putilovo von einem Haferfeld aus der Region von St. Petersburg berücksichtigt, für die in zuvor durchgeführten Untersuchungen Beziehungen zu bestimmten Populationen aus Deutschland nachgewiesen worden waren (SUBBOTIN *et al.*, 1996).

e) Weitere *Heterodera*-Arten

Für Vergleichszwecke wurden mehrere *H. mani*-Populationen aus Deutschland und eine Population von *H. aucklandica* aus Neuseeland (Population von der Typenlokalität One Tree Hill in Auckland) in die Untersuchungen einbezogen. Für die morphologischen Untersuchungen stand auch von den übrigen Arten des engeren *H. avenae*-Komplexes Vergleichsmaterial zur Verfügung (*H. iri* aus Deutschland und Irland, *H. arenaria* vom Typenfundort in England).

Methoden

Biochemische Untersuchung

Für die biochemischen Untersuchungen wurde in der Regel frisches Nematodenmaterial verwendet, das zuvor an geeigneten Wirtspflanzen vermehrt worden war.

a) *Isoelektrische Fokussierung (IEF)*

Proteinextraktion: 4-5 in dest. Wasser eingeweichte Zysten wurden in einem Mikromörser in wenigen µl Extraktionsmedium zerrieben und dann in 15 µl aufgenommen. Als Extraktionsmedium wurde 0,2 mM Essigsäure mit 1 % 3-[(3-Cholamidopropyl)-Dimethylamino]-1-Propansulphonat (CHAPS) verwendet. Die Extrakte wurden unmittelbar nach der Extraktion auf ein Gel aufgetragen.

Elektrophorese: Die Proteinextrakte wurden mittels Isoelektrischer Fokussierung (IEF) in Polyacrylamid-Dünnschichtgelen (125 x 125 mm, Schichtdicke 300 µm) im pH Bereich 3-10 (Servalyt 3-10 ISO Dalt) analy-

siert. Eingesetzt wurde eine Elektrophoreseapparatur von Desaga, bestehend aus Netzgerät Desatronic 2000/300, Integrator, Mediphor Horizontalelektrophoresekammer und die Kühleinheit K 2 R von Lauda. Nach 200 Vh Vorfokussierung wurden 10 µl Extrakt 1,5 cm von der Anode entfernt aufgetragen. Die Temperatur der Kühlplatte betrug 5 °C. Grenzwerte für die Fokussierung waren 2000 V, 7 mA, 8 W. Beendet wurde die Fokussierung bei Erreichen von 2500 Vh. Die anschließende Silberfärbung der Proteine erfolgte nach den Angaben von OHMS und HEINICKE (1983).

Die Auswertung der Gele wurde im Durchlicht bei etwa sechsfacher Vergrößerung vorgenommen. Für die Zuordnung der Populationen zu einer Gruppe/Art war einerseits das Grundmuster entscheidend, zum anderen das Vorhandensein bestimmter Proteinbanden.

b) Polymerasekettenreaktion (PCR)

Die Extraktion der Nematoden-DNA und die RAPD-Analyse erfolgten nach der bei PASTRIK *et al.* (1995) beschriebenen Methode. Es wurden Primer der Serie OPA 1-20 von Operon Technologies verwendet. Die PCR-Reaktion wurde im Perkin Elmer Gene Amp PCR System 2400 durchgeführt. Einer Denaturierung bei 94 °C für 2,5 min folgten 40 Zyklen mit 92 °C für 0,5 min, 37 °C für 1 min und 72 °C für 2 min; als Abschluß wurden 72 °C für 7 min gehalten. Vom Reaktionsgemisch (25 µl) wurden jeweils 10 µl in einem 2 %igen Agarosegel getrennt und die Banden mit Ethidiumbromid (1 µg/ml) sichtbar gemacht.

Morphologische Untersuchung

Vergleichende lichtmikroskopische Untersuchungen wurden an Zysten und Infektionsjuvenilen bei den meisten der verfügbaren Populationen durchgeführt, in der Regel an mit TAF fixiertem und in Glycerin eingebettetem Nematodenmaterial. Mikroskopische Dauerpräparate des Sammlungsmaterials befinden sich in der Deutschen Nematodensammlung am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster.

Ergebnisse

Die in die biochemischen Untersuchungen einbezogenen Populationen aus verschiedenen Gebieten Deutschlands, die als *H. avenae* (s. str.) identifiziert worden waren, weisen hinsichtlich der Proteinbanden sämtlich das gleiche Grundmuster auf (Abb. 1). Die repräsentativen Populationen der vier französischen Rassen Fr1 – Fr4, von denen Fr2 und Fr3 zum atlantischen und Fr1 und Fr4 zum mediterranen Typ gehören, zeigen untereinander das exakt gleiche Muster und stimmen mit der deutschen Vergleichspopulation Grafenreuth gut überein (Abb. 2: Nr. 1 – 5). Die spanische Population Santa Olalla schließt sich hier an (Abb. 2: Nr. 6). Für zwei weitere spanische Populationen (Al Arah al und Teruel) konnte ebenfalls das typische *H. avenae*-Muster nachgewiesen werden. Auch die Populationen Nitra aus der Slowakei und Wadi Nissa aus Saudi-Arabien sowie die Population aus Israel reihen sich eindeutig in diese Gruppe ein (Abb. 3:

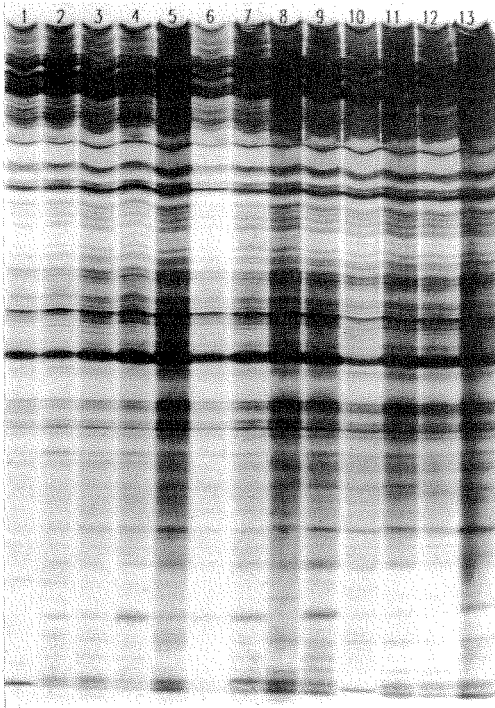


Abb. 1: IEF-Bandenmuster von *Heterodera avenae*-Populationen von Ackerflächen in Deutschland

Nr. 4, 5, 7); sie sind damit ebenfalls als *H. avenae* identifiziert.

Die australischen Populationen von *H. avenae* scheinen nach Abb. 2 (Nr. 7 und 8) von „typischen“ *H. avenae*-Populationen sehr verschiedene Proteinbanden aufzuweisen. Bei genauer Betrachtung ist jedoch festzustellen, daß das Muster nicht grundsätzlich verschieden ist; einige Banden treten lediglich deutlicher hervor, andere sind abgeschwächt, zwei für *H. avenae* markante Banden fehlen jedoch. Dies deutet auf eine sehr große Ähnlichkeit mit den europäischen Populationen hin, die sich auch in morphologischen Befunden zeigt. Den australischen Populationen kommt die indische Popu-

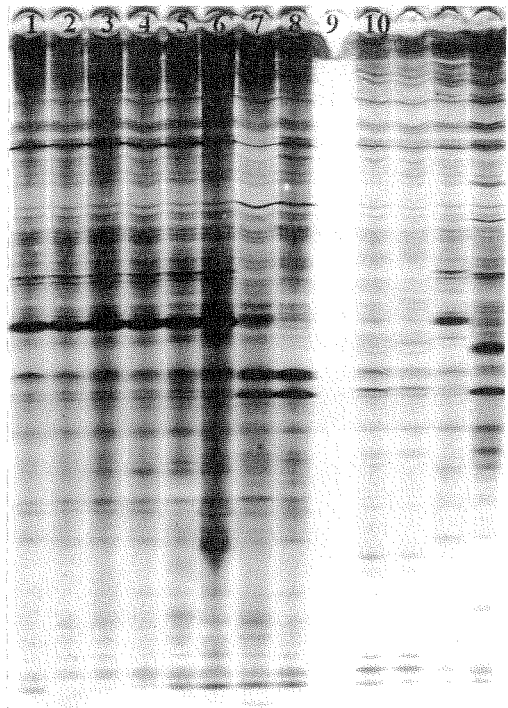


Abb. 2: IEF-Bandenmuster von *H. avenae*-Populationen aus Frankreich, Deutschland, Spanien und Australien: Villasavary (Spur 1), Vivonne (2), Argentan (3), Nuisement-sur-Cooles (4), Grafenreuth (5), Santa Olalla (6), Beulah/Victoria (7), Australien 3. Population (8), Habernis (12), und *H. spec.*-Populationen: Missunde (10), Cranz (11), Torralba de Calatrava (13)

lation aus Delhi im Bandenmuster sehr nahe, weist aber im niedrigen pH-Bereich markante Unterschiede auf.

Wie Abbildung 4 zeigt, weichen die Bandenmuster der zu „Pathotyp 3“ von *H. avenae* gerechneten Populationen Akenham, Gelmer und Gimbe deutlich von denen der untersuchten *H. avenae*- und *H. mani*-Populationen ab. Dies gilt auch für die Gotland-Population Havor, die gute Übereinstimmung mit den Proteinbanden der

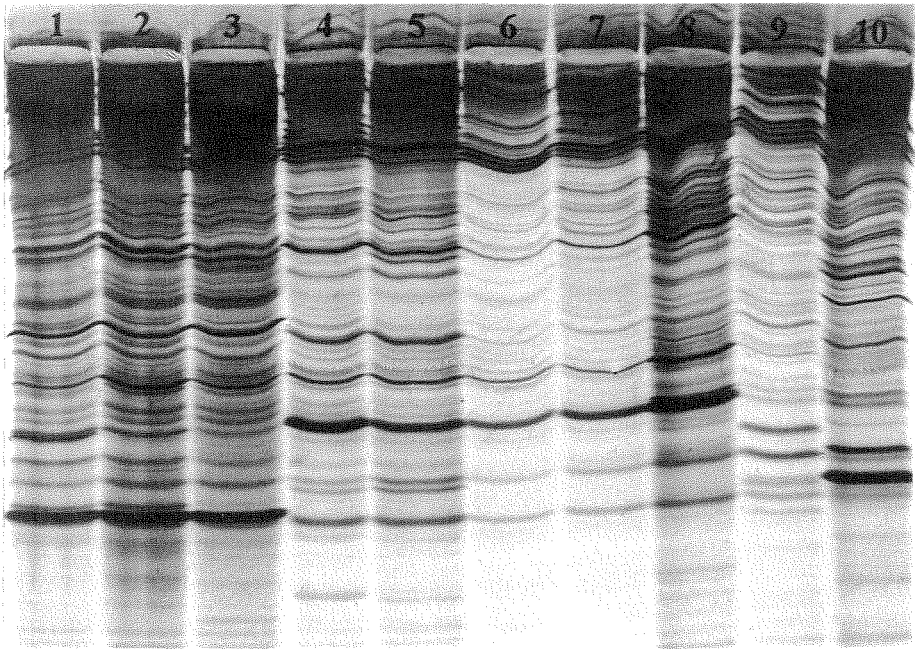


Abb. 3: IEF-Bandenmuster von *H. filipjevi*, Populationen Kadinhani (Spur 1), Pushkin (2) und Marvast (3); *H. avenae*, Populationen Wadi Nissah (4), Israel (5), Grafenreuth (6), Nitra (7) und Santa Olalla (8); *H. spec.*, Populationen Torralba de Calatrava (9) und China (10)

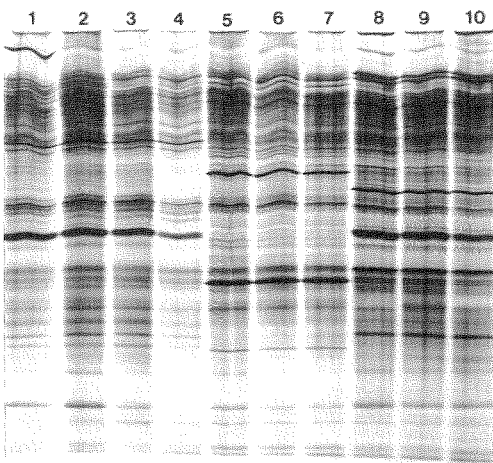


Abb. 4: IEF-Bandenmuster von *H. avenae*-Populationen aus Deutschland (Spur 1-4); *H. filipjevi*, Populationen Akenham (5), Gelmer (6) und Gimbe (7); *H. mani*-Populationen aus Deutschland (8-10)

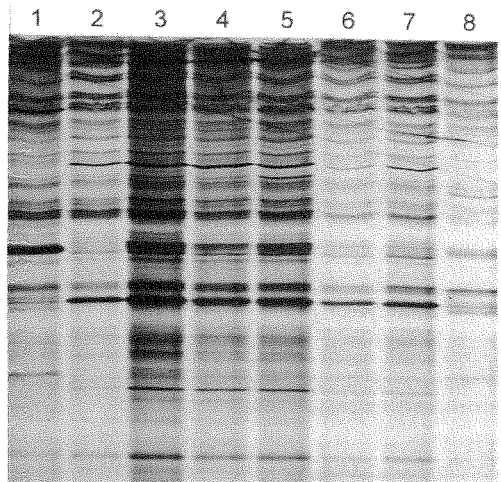


Abb. 5: IEF-Bandenmuster einer *H. avenae*-Population aus Deutschland (Spur 1); *H. filipjevi*, Populationen Akenham (2), Havor (3-5) und Gelmer (6-7); *H. mani*-Population aus Deutschland (8)

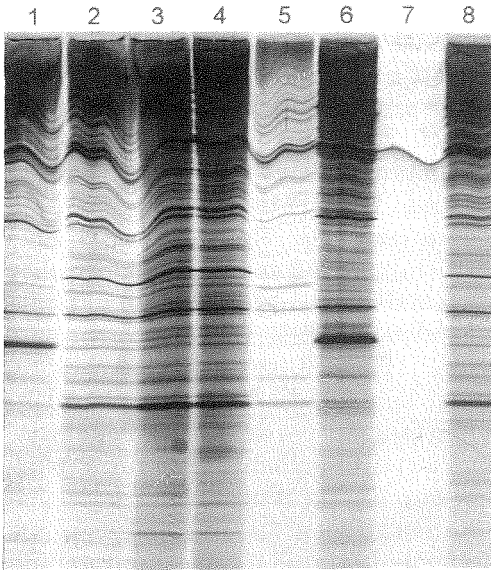


Abb. 6: *H. avenae*-Populationen aus Deutschland (Spur 1 + 6); *H. filipjevi*, Populationen Pushkin (2), Baimak (3), Saratov (4), Akenham (8)

Populationen von Akenham und Gelmer aufweist (Abb. 5). Aus Abbildung 6 ist ersichtlich, daß die Population Akenham gut mit den russischen Populationen Puschkin, Baimak und Saratov übereinstimmt. Die neun aus verschiedenen Gebieten der ehemaligen UdSSR als *H. „avenae“* gesammelten Populationen hatten sich bei der elektrophoretischen Untersuchung ihrer Proteinextrakte bis auf eine Ausnahme als artidentisch mit *H. filipjevi* erwiesen (SUBBOTIN *et al.*, 1996). Auch 25 *H. „avenae“*-Populationen aus Mitteleuropa sowie die iranische Population Marvast waren als Repräsentanten dieser Art identifiziert worden (RUMPENHORST *et al.*, 1996). Die Abbildung 3 belegt eine gute Übereinstimmung der türkischen Population Kadinhani mit Bandenmustern von

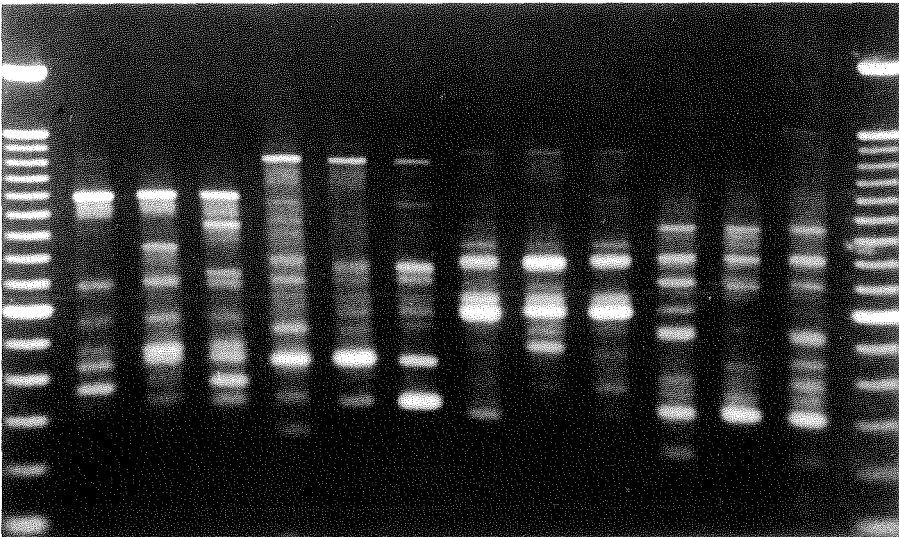


Abb. 7: RAPD-Analyse von *H. avenae*, Populationen Grafenreuth (Spur 7), Rinkam (2, 8), Taaken (3, 9) und *H. filipjevi*, Populationen Pushkin (4, 10), Kadinhani (5, 11), Akenham (6, 12); Random Primer OPA-08 (1-6) und OPA-12 (7-12); M: DNA-Leiter (100 bp)

Populationen aus Rußland und dem Iran. Die Populationen Gimbte, Akenham, Chernobyl, Pushkin, Baimak und Kadinhani weisen auch ein einheitliches Isozymmuster der unspezifischen Esterasen auf (ohne Abbildung).

Die Population Torralba de Calatrava aus Spanien zeigt nach IEF weitgehend die gleichen Proteinbanden wie *H. filipjevi*; es gibt jedoch Abweichungen, die eine sichere Zuordnung zu dieser Art nicht zulassen (Abb. 3: Nr. 9).

Erste Untersuchungen mittels Polymerase Chain Reaction (PCR) bestätigen die Artidentität der Populationen Pushkin aus Rußland, Kadinhani aus der Türkei und Akenham aus England und zeigen wie die IEF deutliche Unterschiede im Bandenmuster zu *H. avenae* (Abb. 7). Mit bestimmten Primern, z. B. OPA 08, wird sowohl bei *H. avenae* als auch bei *H. filipjevi* eine gewisse Heterogenität deutlich.

Morphologische Untersuchungen an Populationen aus der ehemaligen UdSSR und der Türkei hatten bereits ergeben, daß eine Übereinstimmung zur *H. filipjevi*-Population aus Tadschikistan vorliegt und eine Differenzierung der Populationen von *H. avenae* und anderen Arten der *H. avenae*-Gruppe anhand morphologischer Merkmale der Zysten und Infektionsjuvenilen möglich ist (RUMPENHORST *et al.*, 1996; SUBBOTIN *et al.*, 1996). Außer den für die biochemischen Untersuchungen verwendeten Populationen unterschiedlicher Herkunft wurden durch mikroskopische Vergleichsuntersuchungen die Populationen aus Estland, Lettland (4 Herkünfte) und Bulgarien als *H. filipjevi* identifiziert und Populationen aus Deutschland von folgenden 9 Orten: Oeding bei Borken, Gittrup bei Münster, Goldenstedt bei Wildeshausen, Niegripp bei Magdeburg, Böckwitz bei Wolfsburg, Güstritz bei Lüchow, Goting und

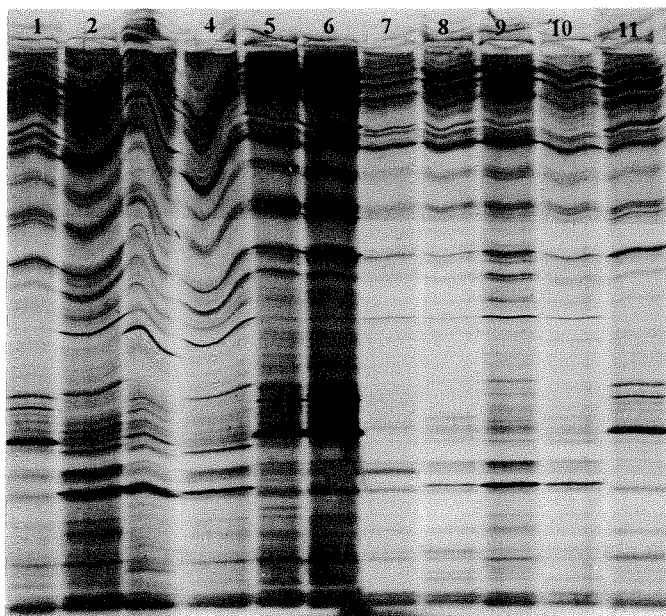


Abb. 8: IEF-Bandenmuster von *H. avenae*, Populationen Habernis (Spur 1), Santa Olalla (5), Grafenreuth (6) und Teruel (11); *H. spec.*, Populationen Missunde (2), Benstaben (4), Östergaard (8 + 9) und Lengries (10); *H. filipjevi*, Population Akenham (3); *H. aucklandica* (7). Servalyt 4-7

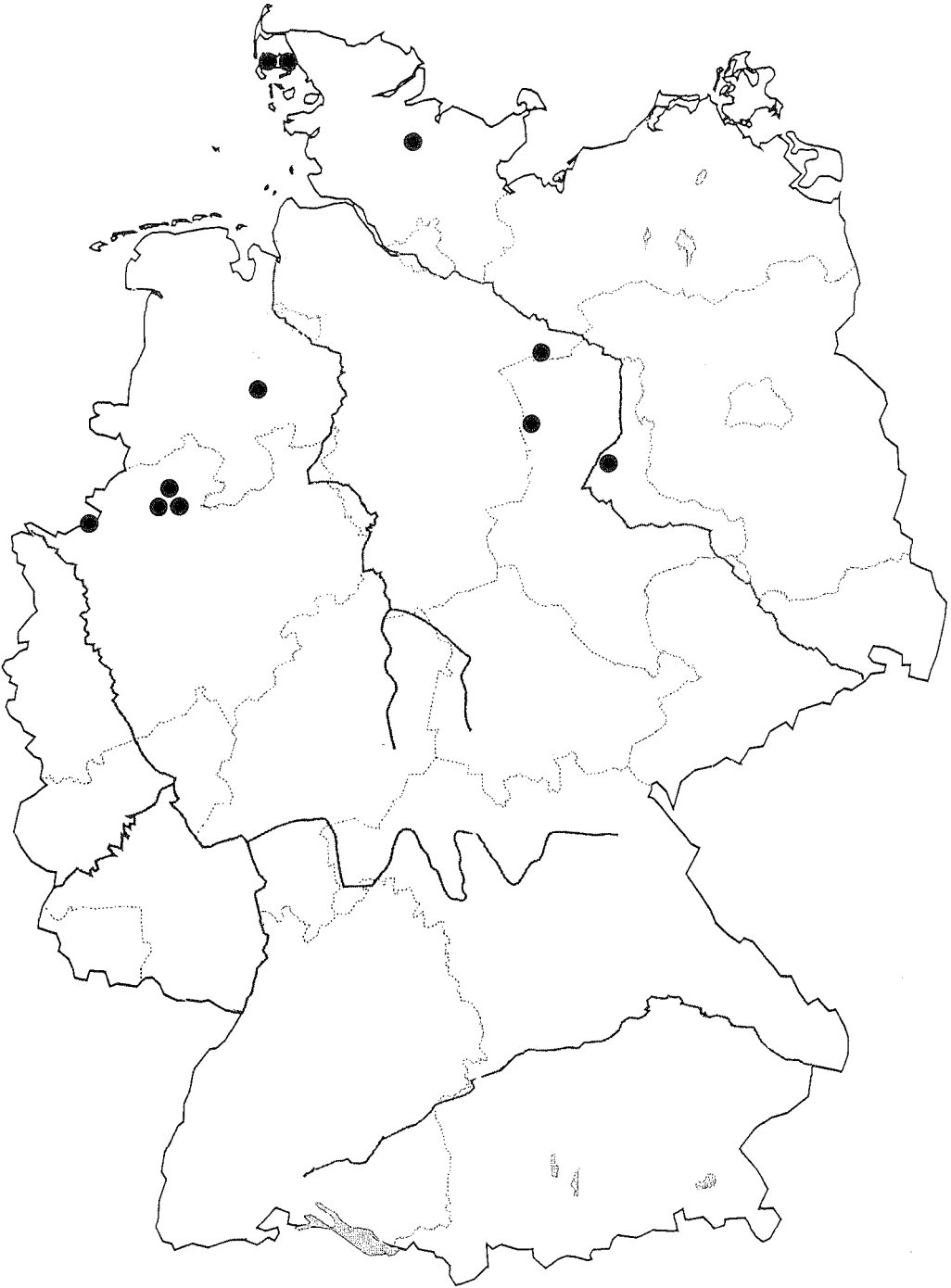


Abb. 9: Nachweise von *Heterodera filipjevi* in Deutschland

Midlum/Insel Föhr sowie ein weiterer, nicht genau bekannter Fundort in Schleswig-Holstein (Abb. 9).

Die aufgrund gewisser morphologischer Abweichungen zu *H. avenae* in die biochemischen Untersuchungen einbezogenen Populationen Missunde, Cranz, Benstaben, Östergaard und Lengries (Abb. 2: Nr. 10, 11; Abb. 8: Nr. 2, 4, 8-10) weichen im Proteinmuster sowohl von *H. avenae* als auch von *H. filipjevi* und *H. aucklandica* ab. Die Zugehörigkeit der russischen Population Putilovo zu dieser Gruppe von Populationen war schon zuvor festgestellt worden (SUBBOTIN *et al.*, 1996). Aufgrund morphologischer Merkmale bei Zysten und Infektionsjuvenilen lassen sich auch Populationen aus der Umgebung von Stade und Eckernförde dieser Gruppe zuordnen.

Die Population aus China zeigt ein eigenes, klar von *H. avenae* und *H. filipjevi* sowie von den anderen hier untersuchten Arten abweichendes Bandenmuster (Abb. 3: Nr. 10).

Diskussion

Eine sichere Bestimmung von zystenbildenden Nematoden anhand von Zystenmerkmalen hat sich mit steigender Zahl beschriebener Arten als zunehmend schwieriger bzw. fast unmöglich erwiesen. Die Berücksichtigung von morphologischen Merkmalen der Juvenilen des zweiten Entwicklungsstadiums hatte neue Möglichkeiten der Identifizierung von Arten eröffnet (WOUTS & WEISCHER, 1977; STURHAN, 1982b). Angesichts teilweise beträchtlicher innerartlicher Variabilität morphologischer Charakteristika und Entdeckung morphologisch

nur schwer differenzierbarer Arten haben biochemische und besonders molekulargenetische Verfahren an Bedeutung für die Taxonomie gewonnen.

Für die *H. avenae*-Gruppe war schon zuvor gezeigt worden, daß sich Arten mittels isoelektrischer Fokussierung von Proteinen unterscheiden lassen (RUMPENHORST, 1985). Die vorliegenden neueren Untersuchungen bestätigen, daß die charakteristischen Bandenmuster von *H. avenae* eine sichere Identifizierung von Populationen erlauben. Ebenso eignet sich eine RAPD-Analyse mit geeigneten Primern zur Artbestimmung.

Wichtiger Befund der Elektrophorese-Untersuchungen ist, daß sich viele der zuvor als *H. avenae* angesehenen oder *H. avenae*-ähnlichen Populationen in ihren Proteinbandenmustern deutlich von *H. avenae* (s. str.) unterscheiden. Die meisten dieser Populationen lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen, von denen die eine *H. filipjevi*, Pathotyp 3 und den Gotland-Typ repräsentiert, die zweite eine vermutlich noch unbeschriebene Art der *H. avenae*-Gruppe. Diese Zuordnung der Populationen zu Gruppen offensichtlich verwandter Populationen bildete eine wertvolle Basis für die Suche nach gemeinsamen Merkmalen, die zur morphologischen Differenzierung der ähnlichen Gruppen genutzt werden können.

Durch vergleichende morphologische und elektrophoretische Untersuchungen an Populationen des *H. avenae*-Komplexes aus der ehemaligen UdSSR, der Türkei und dem Iran konnte gezeigt werden, daß als *H. „avenae“* angesehen Populationen tatsächlich artidentisch sind mit dem

Getreidezystennematoden *H. filipjevi*, von dem für die Untersuchungen identifiziertes frisches Vergleichsmaterial aus Tadschikistan zur Verfügung stand (RUMPENHORST *et al.*, 1996; SUBBOTIN *et al.*, 1996). Die Einbeziehung von Populationen des „Pathotyp 3“ von *H. avenae*, des „Gotland strain“ und von zunächst als *H. „mani“* bezeichneten Populationen aus Deutschland (RUMPENHORST, 1985) hat nun ergeben, daß diese aus dem westlichen Europa stammenden Populationen ebenfalls zur Art *H. filipjevi* gehören. Das lange bestehende Problem bezüglich des Status dieser Populationen - Rasse von *H. avenae*? „neue“ Art? *H. filipjevi*? - ist somit gelöst. Erfolgreich verlaufene Kreuzungen zwischen der russischen Population Baimak und der deutschen Population Gimbite, die fertile F₁-Generationen lieferten (C. GÄBLER, mündl. Mitt.), sind als weiterer „Beweis“ für die Zugehörigkeit zur selben Art zu werten. Nach PERSON-DEDRYVER (in: BOSSIS & RIVOAL, 1996) ließen sich Isolate des „Gotland strain“ aus Schweden und Bulgarien nicht mit mehreren französischen Pathotypen von *H. avenae* (s. str.) kreuzen. Markante Unterschiede im Proteinmuster und in rDNA-Sequenzen zwischen „typischen“ *H. avenae*-Populationen und dem Gotland-Typ, die auf die Existenz getrennter Arten hindeuten, hatten FERRIS *et al.* (1989, 1994) und BOSSIS und RIVOAL (1996) aufzeigen können.

Ergebnisse der Untersuchungen von SUBBOTIN *et al.* (1996) bestätigen Befunde von MADZHIDOV (1981), nach denen sich *H. filipjevi* auch morphologisch von *H. avenae* und nahverwandten Arten unterscheiden läßt.

Vor allem das Vorkommen einer langen und zumeist schwach ausgebildeten Unterbrücke im Vulvakegel der Zysten und die Anordnung der Bullae sowie einige Kennzeichen der Juvenilen sind brauchbare Differentialmerkmale, die jedoch eine erhebliche Variabilität aufweisen können, wie unsere Untersuchungen an Populationen unterschiedlicher geographischer Herkunft gezeigt haben. Auf morphologische Besonderheiten war schon durch ANDERSSON (1973), COOK (1975, 1982), ROMERO (1977) sowie VALDEOLIVAS und ROMERO (1990) hingewiesen worden.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand hat *H. filipjevi* seinen Verbreitungsschwerpunkt im osteuropäisch-vorderasiatischen Raum (Estland, Lettland, Rußland, Ukraine, Bulgarien, Türkei, Iran, Tadschikistan). Die Funde aus dem westlichen Europa beschränken sich bisher auf den nördlichen Bereich (Schweden, England, Deutschland, Polen). Dies trifft auch für die aus Deutschland bisher vorliegenden 11 „sicheren“ Nachweise zu (Abb. 9). Im südlichen Schweden ist der Nematode weit verbreitet und in offensichtlich zwei Pathotypen vertreten (IREHOLM, 1994). Die Artzugehörigkeit der spanischen Population Torralba de Calatrava muß zunächst offen bleiben, obgleich nach den Befunden morphologischer Untersuchungen von VALDEOLIVAS und ROMERO (1990) und den Ergebnissen neuester RAPD-Analysen (LÓPEZ-BRAÑA *et al.*, 1996) eine Zuordnung zu *H. filipjevi* angenommen wird. Jüngste genetische Befunde (BOSSIS & RIVOAL, 1996) bestätigen die eigenen Untersuchungsergebnisse zum Status dieser Population.

Fast alle Nachweise von *H. filipjevi* stammen von Getreidefeldern. Wie Wirtspflanzenuntersuchungen gezeigt haben, sind Weizen, Gerste, Hafer und Roggen Wirte dieses Getreidezysten-nematoden, der sich vor allem dadurch auszeichnet, daß er viele Sorten (insbesondere bei Weizen und Gerste) befällt, die Resistenz gegenüber verschiedenen Pathotypen von *H. avenae* aufweisen (ANDERSEN & ANDERSEN, 1982; COOK, 1975; IREHOLM, 1990, 1994; MADZHIDOV, 1987).

Bei der zweiten in Deutschland differenzierten Gruppe von *H. avenae*-ähnlichen Populationen scheint es sich um eine noch unbeschriebene Art zu handeln, die - wie der Nachweis einer dieser Gruppe zuzuordnenden Population aus Rußland gezeigt hat (SUBBOTIN *et al.*, 1996) - in Europa vermutlich eine weite Verbreitung haben dürfte. Diese „Form“ wurde in Deutschland bisher ausschließlich in landwirtschaftlich nicht genutzten Böden gefunden, zumeist an grasigen Standorten. Eingehende Untersuchungen zur morphologischen Kennzeichnung dieser „Form“ stehen noch aus. Wie Untersuchungen an der Population Putilovo und an deutschen Populationen gezeigt haben, erscheint eine morphologische Differenzierung von beschriebenen Arten der *H. avenae*-Gruppe möglich (SUBBOTIN *et al.*, 1996; C. GÄBLER, mündl. Mitt.; eigene Befunde).

Nach den Ergebnissen der IEF-Untersuchungen scheinen sich unter dem Namen „*H. avenae*“ noch weitere bisher nicht identifizierte Arten zu verbergen. Insbesondere dürfte dies für die aus China stammende Population zutreffen. Die Zuordnung der untersuchten Populationen aus Indien

und Australien zu *H. avenae* bedarf einer Überprüfung. Für australische Populationen waren schon zuvor Abweichungen im Proteinhemmermuster nachgewiesen worden (RUMPENHORST, 1988, 1994; FERRIS *et al.*, 1994). PERSON-DEDRYVER (in: BOSSIS & RIVOAL, 1996) konnte französische *H. avenae*-Pathotypen jedoch erfolgreich mit australischen Pathotypen kreuzen, und eine australische Population zeigte im Proteinspektrum gute Übereinstimmung mit französischen *H. avenae*-Populationen (BOSSIS & RIVOAL, 1996). Nach eigenen Untersuchungen scheinen in Deutschland neben *H. avenae*, *H. filipjevi*, *H. iri*, *H. mani*, *H. hordecalis*, *H. bifenestra* und der „Grasland-Art“ weitere, noch nicht identifizierte Arten der *H. avenae*-Gruppe vorzukommen.

Veröffentlichungen über *H. avenae* sind angesichts der neuen Befunde kritisch auf die Artidentität der jeweiligen Populationen hin zu überprüfen. Eine genaue Kenntnis der Nematodenart ist vor allem bei Untersuchungen über Biologie und Ökologie sowie für Resistenzzüchtung, Resistenzprüfung und gezielten Einsatz resistenter Sorten von Bedeutung. Der Haferzysten-nematode *H. avenae* ist nach unseren Befunden möglicherweise weniger weit verbreitet, als nach dem bisherigen Kenntnisstand angenommen wurde.

(Danksagung: Für die Überlassung von frischem oder fixiertem *Heterodera*-Material für die von uns durchgeführten Untersuchungen danken wir A.S. Al-Hazmi, S. Andersson, S.C. Dhawan, I.H. Elekcioglu, H. Fariwar-Mehin, D.J. Hooper, E. Krall, M. Lišková, A.R. Mazhidov, Z. Muce-

niece, R. Rivoal, M.D. Romero, R.A. Sikora, A.R. Stone, D. Stoyanov, S.A. Subbotin, W.M. Wouts und Dongsheng Zhang, für die technische Mitarbeit Marion Bünker, Dagmar Funck, Karin Schrand und Dorothee Suttorp.)

Zusammenfassung

Von den derzeit bekannten ca. 100 Arten zystenbildender Nematoden ist mehr als ein Drittel auf Getreide und Gräser spezialisiert. Die zur *Heterodera avenae*-Gruppe gestellten elf Arten haben fast ausschließlich Gramineen als Wirte. Bei der Bewertung des engeren *H. avenae*-Komplexes bestehen seit langer Zeit taxonomische Probleme; vor allem der Status des sog. „Pathotyp 3“ von *H. avenae* bzw. des „Gotland-Typs“ war bislang ungeklärt.

Durch vergleichende biochemische und morphologische Untersuchungen an *H. avenae* und zahlreichen *H. avenae*-ähnlichen Populationen unterschiedlicher geographischer Herkunft, unter Einbeziehung von *H. filipjevi* aus Tadschikistan und anderer Arten des *H. avenae*-Komplexes, konnten Populationen aus Rußland, der Ukraine, Estland, Lettland, Bulgarien, der Türkei und dem Iran als *H. filipjevi* identifiziert werden, ebenso Populationen des britischen „Pathotyp 3“, des „Gotland-Typs“ aus Schweden und vom *H. „mani“-Typ* aus Deutschland. Die Art *H. filipjevi* scheint ihren Verbreitungsschwerpunkt im osteuropäisch-vorderasiatischen Raum zu haben; aus dem nördlichen Deutschland liegen bisher elf gesicherte Nachweise vor, sämtlich

von Getreidefeldern.

Eine weitere, offensichtlich noch unbeschriebene Art des *H. avenae*-Komplexes wurde differenziert, die in Deutschland verbreitet in grasigen Biotopen vorzukommen scheint und der auch eine Population aus der Region von St. Petersburg zugeordnet werden konnte. Die Befunde der IEF-Untersuchung deuten darauf hin, daß „*H. avenae*“ noch weitere bisher nicht beschriebene Arten umfaßt, unter anderem aus China. Während Populationen aus Indien und Australien in ihrem Proteinstreifen ebenfalls gewisse Unterschiede zum „typischen“ *H. avenae* aufweisen, zeigen Populationen aus Israel und Saudi-Arabien eine gute Übereinstimmung. Auch in Deutschland scheinen noch weitere nicht identifizierte Arten der *H. avenae*-Gruppe vorzukommen.

Literatur

- ANDERSEN, S. & ANDERSEN, K. (1982): Suggestions for determination and terminology of pathotypes and genes for resistance in cyst-forming nematodes, especially *Heterodera avenae*. EPPO Bull. **12**, 379-386.
- ANDERSSON, S. (1973): En sannolikt ny cystnematod på stråsåd. Växtskyddsnotiser **37**, 74-76.
- ANDERSSON, S. (1976): Occurrence and behaviour of *Heterodera hordecalis* Anderson und *H. bifenestra* Cooper in Sweden, with some references to *H. avenae* Wollenweber and a similar *Heterodera* sp. Medd. Stat. Växtskyddsanst. **16**, 245-287.
- BOSSIS, M. & RIVOAL, R. (1996): Protein variability in cereal cyst nematodes from different geographic regions assessed by two-dimensional gel electrophoresis. Fundam. appl. Nematol. **19**, 25-34.
- CHARLES, J.S. & VENKITESAN, T.S. (1985): New hosts of *Heterodera oryzicola* Rao & Jayaprakash, 1978, in Kerala, India. In-

- dian J. Nematol. **14** (1984), 181-182.
- 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.
- COOK, R. (1982): Cereal and grass hosts of some gramineous cyst nematodes. EPPO Bull. **12**, 399-411.
- FERRIS, V.R., FAGHIHI, J., IREHOLM, A. & FERRIS, J.M. (1989): Two-dimensional protein patterns of cereal cyst nematodes. Phytopathology **79**, 927-933.
- FERRIS, V.R., FERRIS, J.M., FAGHIHI, J. & IREHOLM, A. (1994): Comparisons of isolates of *Heterodera avenae* using 2-D PAGE protein patterns and ribosomal DNA. J. Nematol. **26**, 144-151.
- GLABA, I.B. (1986): [The natural and agro-technical conditions determining incidence and injuriousness of *Heterodera* spp. on cereals.] Ochrona Roslin, Poland **30**, 10-12.
- IREHOLM, A. (1990): Patotyper av stråsådes-cystnematoder, *Heterodera* spp., i Sverige. Resultat från patotyptester utförda 1981-1988. Växtskyddsrapporter, Jordbruk **58**, 70 p.
- IREHOLM, A. (1994): Characterization of pathotypes of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Sweden. Nematologica **40**, 399-411.
- KÜHN, J. (1874): Über das Vorkommen von Rübennematoden an den Wurzeln der Halmfrüchte. Z. wiss. Landwirtschaft. Arch. Kgl. Preuß. Landes-Ökon. Kolleg. **3**, 47-50.
- LÓPEZ-BRAÑA, I., ROMERO, M.D. & DELIBES, A. (1996): Analysis of *Heterodera avenae* populations by the random amplified polymorphic DNA technique. Genome **39** (im Druck).
- MADZHIDOV, A.R. (1981): [New species *Bidera filipjevi* sp. nov. (Heteroderina: Tylenchida) from Tadzhikistan.] Biolog. Nauki **83**, 40-44.
- MADZHIDOV, A.R. (1987): [Testing of cereals for resistance to *Bidera filipjevi*.] In: Paraziticheskie nematody rastennii Tadzhikistana. Dushanbe, USSR; Izdatel'stvo "Donish", 42-49.
- MEAGHER, J.W. (1977): World dissemination of the cereal-cyst nematode (*Heterodera avenae*) and its potential as a pathogen of wheat. J. Nematol. **9**, 9-15.
- OHMS, J.P. & HEINICKE, D.H.K. (1983): Pathotypen des Kartoffelnematoden I. Schnellbestimmung der Artzugehörigkeit mittels Isoelektrofokussierung. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch. **90**, 258-264.
- PASTRIK, K.H., RUMPENHORST, H.J. & BURGERMEISTER, W. (1995): Random amplified polymorphic DNA analysis of a *Globodera pallida* population selected for virulence. Fundam. appl. Nematol. **18**, 109-114.
- RITTER, M. (1982): Importance des nématodes à kystes des céréales. EPPO Bull. **12**, 307-316.
- ROBINSON, A.J., STONE, A.R., HOOPER, D.J. & ROWE, J.A. (1996): A redescription of *Heterodera arenaria* Cooper 1955, a cyst nematode from marram grass. Fundam. appl. Nematol. **19**, 109-117.
- ROMERO, M.D. (1977): The morphology of *Heterodera avenae* in Spain. Nematol. medit. **5**, 291-297.
- RUMPENHORST, H.J. (1985): Vergleichende elektrophoretische Untersuchungen von Proteinen einiger Zystennematoden von Getreide und Gräsern. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **226**, 64-74.
- RUMPENHORST, H.J. (1988): Proteintaxonomische Untersuchungen an *Heterodera avenae* und verwandten Arten. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin und Braunschweig, Jahresbericht 1987, 67.
- RUMPENHORST, H.J. (1994): Untersuchungen zum *Heterodera avenae* Komplex. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin und Braunschweig, Jahresbericht 1993, 140.
- RUMPENHORST, H.J., ELEKÇIOĞLU, I.H., STURHAN, D., ÖZTÜRK, G. & ENNELI, S. (1996): The cereal cyst nematode *Heterodera filipjevi* (Madzhidov) in Turkey. Nematol. medit. **24** (im Druck).
- STONE, A.R. (1978): Recent developments and some problems in the taxonomy of cyst-nematodes, with a classification of the Heteroderoidea. Nematologica **23** (1977), 273-288.
- STONE, A.R. & HILL, A.J. (1982): Some problems posed by the *Heterodera avenae* complex. EPPO Bull. **12**, 317-320.
- STURHAN, D. (1976a): Das Getreidezystenälchen - ein Artenkomplex! Gesunde

- Pflanzen **28**, 236-238.
- STURHAN, D. (1976b): Erstnachweise von fünf *Heterodera*-Arten in der Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **28**, 167-169.
- STURHAN, D. (1982a): Distribution of cereal and grass cyst nematodes in the Federal Republic of Germany. EPPO Bull. **12**, 321-324.
- STURHAN, D. (1982b): Species identification of European cereal and grass cyst nematodes by larval characters. EPPO Bull. **12**, 335-339.
- SUBBOTIN, S.A., RUMPENHORST, H.J. & STURHAN, D. (1996): Morphological and electrophoretic studies on populations of the *Heterodera avenae* complex from the former USSR. Russ. J. Nematol. **4**, 29-39.
- TAYLOR, D.P. (1978): Parasitism of banana by *Heterodera oryzae*. Rev. Nématol. **1**, 165-169.
- VALDEOLIVAS, A. & ROMERO, M.D. (1990): Morphometric relationships of some members of the *Heterodera avenae* complex (Nematoda: Heteroderidae). Nematologica **36**, 292-303.
- WILLIAMS, T.D. & SIDDIQI, M.R. (1972): *Heterodera avenae*. C.I.H. Descriptions of plant-parasitic nematodes. Set 1, no. 2, 4 p.
- WOLLENWEBER, H.W. (1924): Zur Kenntnis der Kartoffel-Heteroderen. III. Landwirtschaft. Ztg. **44**, 100-101.
- WOUTS, W.M. & WEISCHER, B. (1977): Eine Klassifizierung von fünfzehn in Westeuropa häufigen Arten der Heteroderinae auf Grund von Larvenmerkmalen. Nematologica **23**, 289-310.
- WOUTS, W.M. & STURHAN, D. (1995): *Heterodera aucklandica* sp. n. (Nematoda: Heteroderidae) from a New Zealand native grass, with notes on the species of the *H. avenae* group. New Zealand J. Zool. **22**, 199-207.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Dieter Sturhan und
 Dr. Hans Jürgen Rumpenhorst,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Topphaideweg 88, 48161 Münster

Die Getreide- und Gräserzystennematoden *Heterodera hordecalis* und *H. bifenestra* in Deutschland

The cereal and grass cyst nematodes *Heterodera hordecalis* and
H. bifenestra in Germany

DIETER STURHAN

Abstract

The barley cyst nematode, *Heterodera hordecalis*, a member of the cereal and grass cyst nematodes of the *H. avenae* group, is common in northern Germany, in particular in the coastal areas; it occurs only sporadically in other regions of Germany. Its presence is confined to sandy soils and more or less natural biotopes are preferred. Although cereals, besides many grasses, are among its hosts, *H. hordecalis* has been rarely recorded from agricultural soils. *H. bifenestra* has also been found mainly in northern Germany, particularly in permanent grassland, rarely in arable soil; wet soils are preferred. There is no evidence to suggest that either nematode causes damage to cereals in Germany; only in northern Germany damage to barley by *H. hordecalis* appears possible. Diagnostic characters of cysts and second-stage juveniles of both nematode species are given.

Keywords: *Heterodera hordecalis*, *Heterodera bifenestra*, *Heterodera avenae* group, distribution, ecology, morphology, Germany

Heterodera hordecalis Andersson, 1975 gehört mit der nahverwandten Art *H. latipons* Franklin, 1969 zu den Getreide- und Gräserzystennematoden der *H. avenae*-Gruppe. Neben Weizen, Gerste, Roggen und Hafer werden von diesen auf Gramineen spezialisierten Arten verschiedene Gräser befallen.

Die meisten *H. latipons*-Nachweise liegen für den Mittelmeerraum und Vorderasien vor, wo die Art insbesondere bei Gerste in semiariden Gebieten von wirtschaftlicher Bedeutung sein dürfte (SIKORA, 1988). Von Zypern wird für Gerste von Ertragseinbußen von mehr als 50 % berichtet (PHILIS, 1988). *H. hordecalis* scheint

dagegen vor allem im nördlichen und mittleren Europa vorzukommen. Über mögliches Schadaufreten ist bisher offensichtlich nur aus Schweden berichtet worden, wo der Nematode in bestimmten Gebieten eine Rolle als Getreideschädling zu spielen scheint (ANDERSSON, 1976). Besonders Gerste soll empfindlich auf einen Befall reagieren (ANDERSSON, 1976; IREHOLM, 1994). Insgesamt sind Schadwirkung und wirtschaftliche Bedeutung beider Arten aber offensichtlich wesentlich geringer als die von *H. avenae* (ANDERSSON, 1976; MOR *et al.*, 1992). Untersuchungen aus Schweden und Dänemark deuten auf Vorkommen mehrerer Pathotypen bei *H. hordecalis* hin

(IREHOLM, 1990, 1994; JAKOBSEN, 1981).

Über Nachweise der 1975 aus Schweden beschriebenen Art *H. hordecalis* in Westdeutschland war erstmals 1976 berichtet worden (STURHAN, 1976b), über weitere Funde wenige Jahre später (STURHAN, 1982a). *H. hordecalis* wurde für die frühere DDR erstmals durch DECKER und SEIDEL (1981) erwähnt.

Heterodera bifenestra Cooper, 1955 wird ebenfalls zur *H. avenae*-Gruppe gestellt. Der zuvor nur ungenügend bekannte Zystennematode wurde durch ANDERSSON und WOUTS (1983) wiederbeschrieben und der aus dem Bezirk Rostock beschriebene Nematode *H. longicaudata* Seidel, 1972 mit dieser Art synonymisiert. Zu den bevorzugten Wirtspflanzen zählen zahlreiche Gräser, aber auch an bestimmten Weizen-, Gersten- und Hafersorten erfolgt eine gute Vermehrung (ANDERSSON, 1976; IREHOLM, 1994; SEIDEL, 1972, 1977). Schwedische Populationen zeigten Unterschiede in der Virulenz (IREHOLM, 1990, 1994).

H. bifenestra ist aus mehreren europäischen Ländern bekannt. Für die ehemalige DDR wurde die Art erstmals 1972 erwähnt, für Westdeutschland 1976 (SEIDEL, 1972; STURHAN, 1976b). MULVEY (1972) hatte für vergleichende morphologische Untersuchungen bereits Zystenmaterial von *H. bifenestra* aus Deutschland zur Verfügung.

Der derzeitige Kenntnisstand über Vorkommen und Verbreitung von *H. hordecalis* und *H. bifenestra* in Deutschland soll im folgenden zusammengefaßt und eine Abschätzung der potentiellen Bedeutung für den Getreideanbau gegeben werden. Die

Befunde sind Teilergebnisse faunistisch-ökologischer Untersuchungen, bei denen Bodenproben aus einem breiten Spektrum unterschiedlicher Biotop aus nahezu allen Gebieten Deutschlands auf Bodennematoden untersucht wurden. Für die Identifizierung der Nematodenart standen meist Zysten zur Verfügung, in vielen Fällen aber auch nur aus den Bodenproben mittels Zentrifugiermethode oder Sieb-Dekantierverfahren isolierte Infektionslarven, die für die Artbestimmung brauchbare Merkmale aufweisen (WOUTS & WEISCHER, 1977; STURHAN, 1982b). Belegmaterial befindet sich in der Deutschen Nematodensammlung am Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der Biologischen Bundesanstalt in Münster.

Morphologische Merkmale

Heterodera hordecalis zählt zu den leicht bestimmbaren Arten der *H. avenae*-Gruppe, die nach der Beschreibung von zwei neuen Arten und der Wiederbeschreibung von *H. arenaria* Cooper, 1955 elf anerkannte Arten umfaßt (ROBINSON *et al.*, 1996; WOUTS *et al.*, 1995; WOUTS & STURHAN, 1995).

Die Gruppe ist unter anderem charakterisiert durch kurzen Vulvaschlitz und rundliche, mehr oder weniger deutlich voneinander abgesetzte Fenster bzw. Halbfenster im Vulvakegel der zitronenförmigen Zysten. Bei *H. hordecalis* und *H. latipons* ist der Abstand der Fenster voneinander groß (= Vulvabrücke breit) und eine stark pigmentierte Unterbrücke vorhanden, während Bullae fehlen oder nur schwach ausgebildet sind (Abb. 1, A

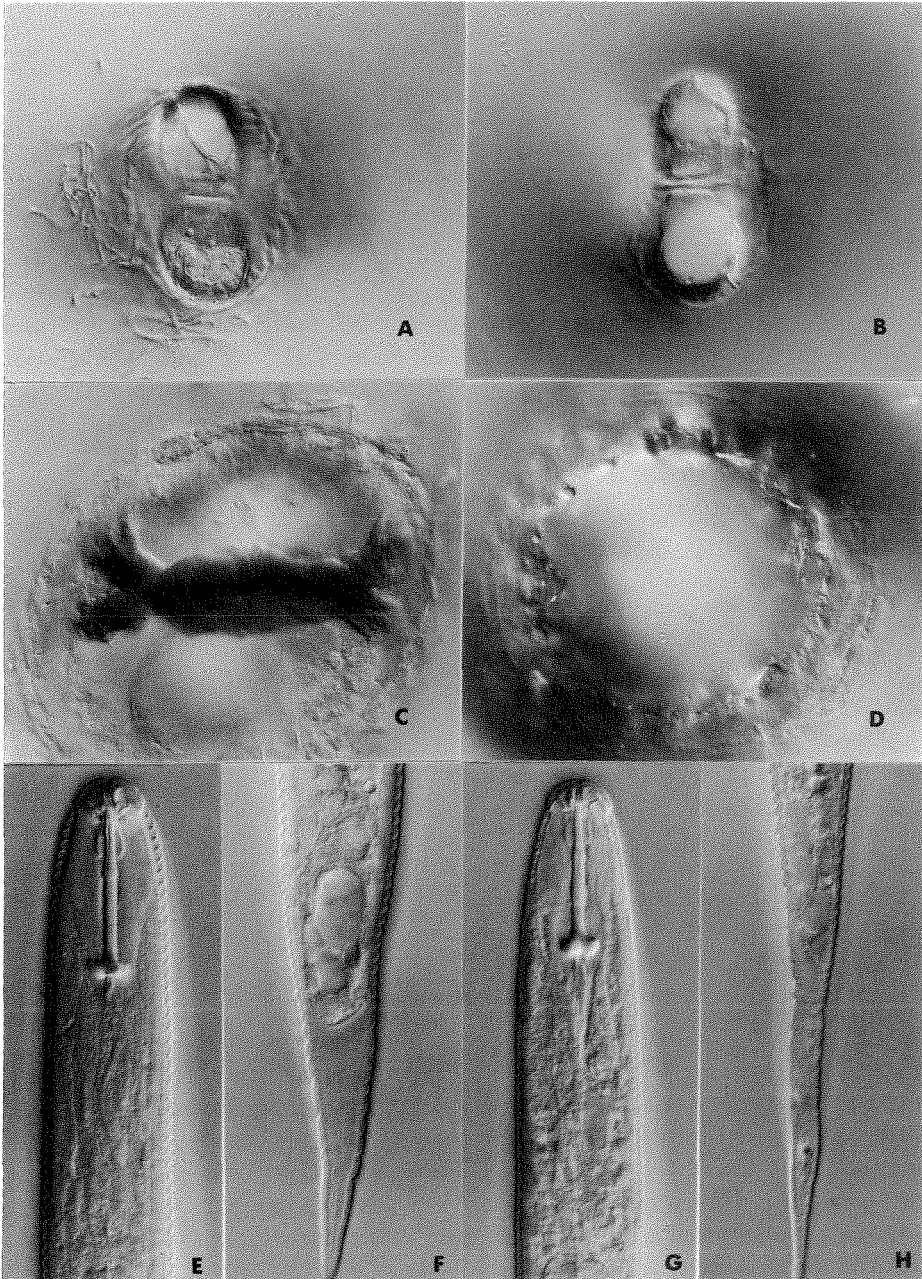


Abb.1: *Heterodera hordecalis* (A, C, E, F) und *H. bifenestra* (B, D, G, H).
 A, B: Zyste, Vulvaregion; C, D: Zyste, Vulvakegel innen; E, G:
 Infektionsjuvenil, Vorderende; F, H: Infektionsjuvenil, Schwanz

und C). Die dunkle Unterbrücke ist bei den zumeist hellbraunen, relativ transparenten *H. hordecalis*-Zysten oft schon ohne Präparation erkennbar.

Die Larven des zweiten Entwicklungsstadiums sind wie die der meisten anderen derzeit zur *H. avenae*-Gruppe gestellten Arten gekennzeichnet durch große, dicht hinter dem Anus gelegene Phasmiden und zumeist deutlich verdickte Cuticula hinter der Lippenregion. Von den meisten Arten der Gruppe unterscheiden sie sich durch die deutliche Ausbildung von vier Seitenlinien und die Form der Stachelknöpfe und des Schwanzes (Abb. 1, E und F).

H. latipons stimmt morphologisch weitgehend mit *H. hordecalis* überein, doch ist der Abstand der Fenster im Vulvakegel zumeist deutlich größer. Untersuchungen über die Variabilität der Zysten- und Larvenmerkmale und die Brauchbarkeit zur Differenzierung beider Arten sind eingeleitet worden. Obgleich *H. latipons* auch mehrfach aus dem mittleren und nördlichen Europa gemeldet worden ist, wird bei den Nachweisen aus Deutschland zunächst davon ausgegangen, daß es sich ausschließlich um *H. hordecalis* handelt.

H. bifenestra ist innerhalb der *H. avenae*-Gruppe u. a. gekennzeichnet durch nur schwach ausgebildeten Vulvakegel, Fehlen einer Unterbrücke, Fehlen oder geringe Entwicklung von Bullae (Abb. 1, B und D) sowie Infektionslarven mit langem, zugespitzten Schwanz ($>70\ \mu\text{m}$), kleinen Phasmiden, deutlich getrennten Stachelknöpfen und Vorkommen von nur drei Längslinien im Seitenfeld (Abb. 1, G und H).

Vorkommen und Verbreitung

H. hordecalis wurde von uns bisher an insgesamt 89 Standorten in Deutschland nachgewiesen. Wie die Verteilung der Fundorte zeigt (Abb. 2), ist das Vorkommen der Nematodenart im wesentlichen auf den norddeutschen Raum und insbesondere die Küstenregion konzentriert. Allein 16 der Nachweise stammen von den Nordseeinseln Sylt, Amrum, Föhr, Hooge, Mellum, Langeoog und Baltrum. Im südlicheren Deutschland konnte die Art nur vereinzelt festgestellt werden.

Die Verteilung der *H. hordecalis*-Nachweise auf unterschiedliche Biotoptypen ist in Tabelle 1 zusammengefaßt worden.

Die Hälfte aller Funde stammt von Grasland, von Mähwiesen und Weiden, grasigen Weg-, Feld- und Waldrändern sowie von küstennahen grasigen, teilweise als Schafweide genutzten Flächen. Häufig wurde *H. hordecalis* an der Küste auch in feuchten Salzwiesen nachgewiesen sowie unter Dünenvegetation, darunter vor allem Bestände von Strandhafer (*Ammophila arenaria*) und Strandroggen (*Leymus arenarius*). Unter grasiger Ufervegetation und in Weidenauen an Elbe, Weser, Aller, Rhein und Isar wurde der Nematode ebenfalls mehrfach gefunden. Nur zwei Funde liegen vor aus Kiefernwäldern in der Nähe von Mainz und Hersbruck und ebenfalls zwei Nachweise von Heideflächen (mit *Calluna vulgaris*, verschiedenen Gramineen usw.) in Schleswig-Holstein. Lediglich fünfmal wurde *H. hordecalis* in Ackerland gefunden: Auf einer Ackerfläche auf der Insel Föhr, einem Gerstenfeld bei

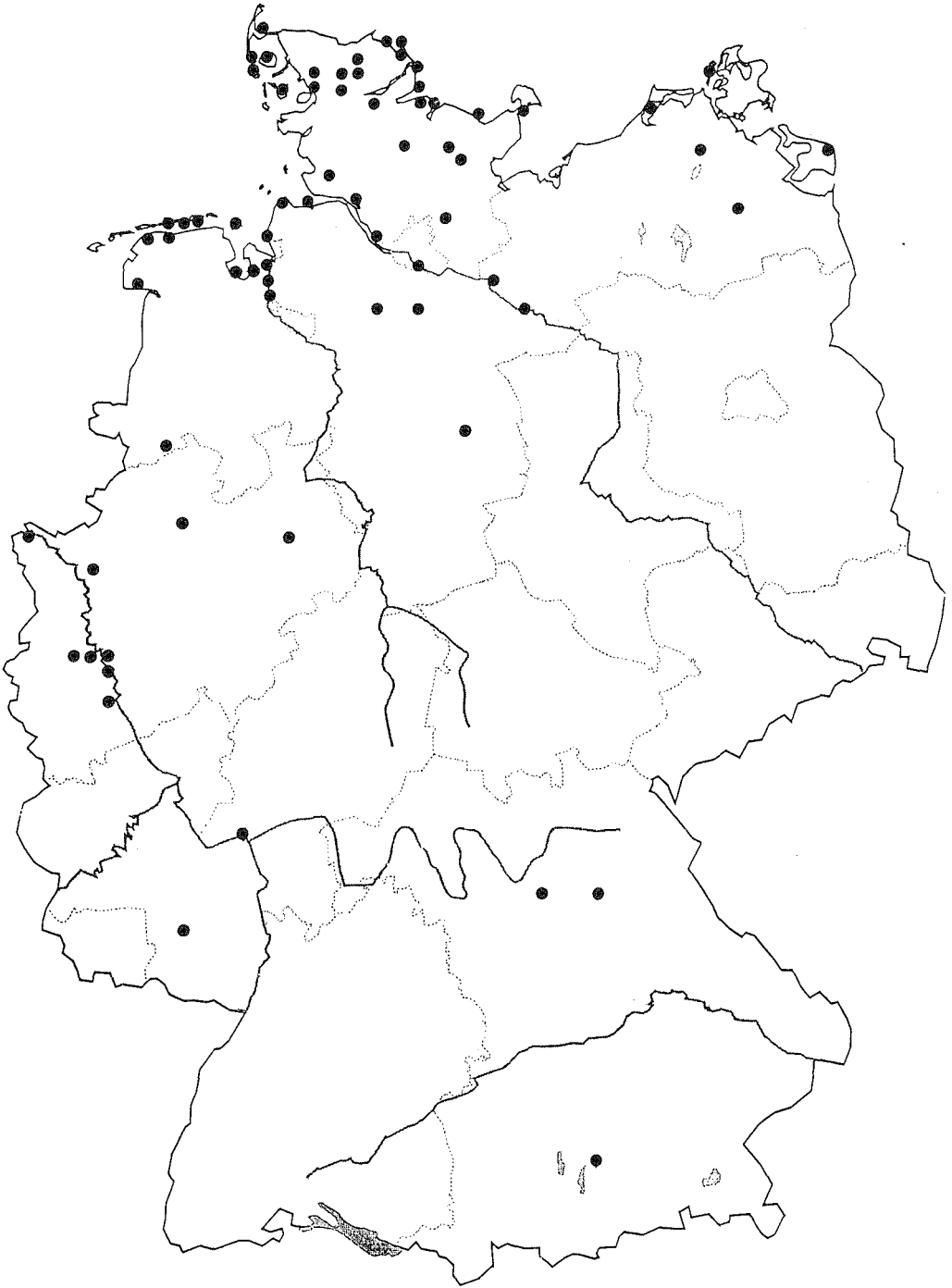


Abb. 2: Nachweise von *Heterodera hordecalis* in Deutschland

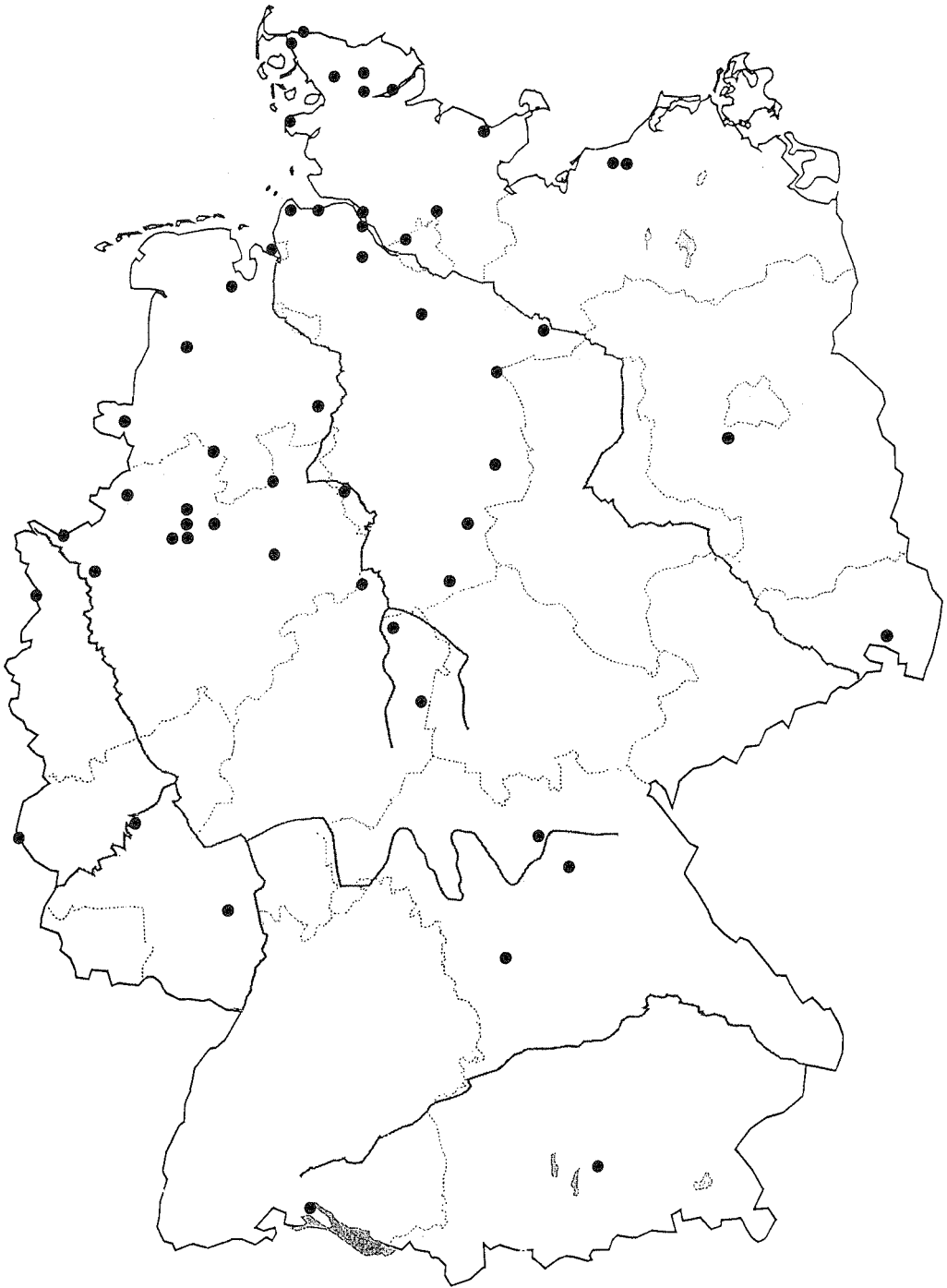


Abb. 3: Nachweise von *Heterodera bifenestra* in Deutschland

Tab. 1: Verteilung der insgesamt 89 *H. hordecalis*- und 64 *H. bifenestra*-Nachweise auf unterschiedliche Biotoptypen

| Biotop | Anzahl der Nachweise | |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>H. hordecalis</i> | <i>H. bifenestra</i> |
| Ackerland | 5 | 3 |
| Wiese/Weide | 16 | 37 |
| grasige Weg-, Feld-, Waldränder | 13 | 4 |
| küstennahe grasige Biotope | 15 | 8 |
| Salzwiesen | 11 | 0 |
| Dünenvegetation | 16 | 0 |
| Ufervegetation | 9 | 10 |
| Wald | 2 | 2 |
| Heide | 2 | 0 |

Flensburg, einem Weizenfeld bei Hamburg, einem Roggenfeld bei Lübeck und einem Gerstenfeld in Wilsede, Lüneburger Heide.

Bei sämtlichen Fundstellen handelte es sich um sandige Böden, von reinem Dünensand bis hin zu stark lehmigem und tonigem Sand mit unterschiedlichem Humusgehalt. Der pH-Wert lag zumeist zwischen 6 und 8. Etliche der Fundstellen wurden bei höheren Wasserständen ziemlich regelmäßig vom Meerwasser überspült, z. B. die Salzwiesen und grasige Flächen (Andelrasen u. a.) unmittelbar am Küstensaum.

In den meisten Bodenproben war die Populationsdichte von *H. hordecalis* gering; häufig wurden sogar nur einzelne Zysten oder Larven gefunden. An 45 der insgesamt 89 untersuchten Standorte, an denen in der Regel Bodenmischproben entnommen worden waren, wurden ein bis zwei weitere *Heterodera*- oder *Punctodera*- und *Globodera*-Arten gefunden. Darunter waren Vertreter der *H. avenae*-Gruppe mit insgesamt 23 Nachweisen am häufigsten vertreten, gefolgt von der

H. trifolii-Artengruppe mit 15 Nachweisen.

Heterodera bifenestra scheint seinen Verbreitungsschwerpunkt ebenfalls im nördlichen Deutschland zu haben (Abb. 3). Wie zuvor schon im Bezirk Rostock (SEIDEL, 1977), wurde dieser Nematode auch in Westdeutschland vor allem auf Grünlandflächen nachgewiesen (Tab. 1). Feuchte Standorte werden bevorzugt; Beziehungen zwischen Vorkommen und Bodenart sind nicht erkennbar. ANDERSSON (1976) stellte bereits fest, daß dieser Zysten-nematode empfindlich gegenüber Austrocknung ist.

Diskussion

Nach den vorliegenden Ergebnissen sind *H. hordecalis* und *H. bifenestra* im norddeutschen Raum verbreitet und kommen sporadisch auch im übrigen Deutschland vor. Nach STURHAN (1982a) handelte es sich bei je 5 % aller Nachweise von Arten der *H. avenae*-Gruppe in Westdeutschland um *H. hordecalis* bzw. *H. bifenestra*.

Das Vorkommen von *H. hordecalis* ist auf sandige Böden beschränkt; hohe Salzgehalte werden toleriert. Insgesamt bevorzugt der Nematode naturnahe Biotope mit Gräsern, wobei sehr unterschiedliche Arten als Wirtspflanzen dienen. Obgleich auch Getreidearten Wirte dieser Nematodenart sind und Ackerböden in Deutschland in größerem Umfang auf Vorkommen von *H. avenae* und anderen Zystennematoden untersucht worden sind (GRABERT, 1988; GROSSE, 1986; LÜCKE, 1969; u. a.), ist die geringe Zahl der Nachweise für Ackerflächen bemerkenswert. Gleiches gilt für *H. bifenestra*; die Ansprüche an hohe Bodenfeuchte dürften wesentlich das Vorkommen dieser Art bestimmen.

Bisher gibt es keine Hinweise auf ein Schadvorkommen von *H. hordecalis* in Deutschland. Einem möglichen Schadauftreten bei Gerste, die nach schwedischen Untersuchungen die bevorzugte und besonders empfindlich reagierende Getreideart ist, sollte aber weiterhin Beachtung geschenkt werden. Nach unseren Befunden dürfte die Nematodenart, für die der deutsche Name „Gerstenzystennematode“ vorgeschlagen worden ist (STURHAN, 1976b), lediglich für das nördliche Deutschland als potentieller Getreideschädling in Betracht kommen.

Bei *H. bifenestra* war zwar in Pathogenitätstests eine Schädigung von verschiedenen Gramineen nachweisbar (SEIDEL, 1977; MAAS & BRINKMAN, 1982), doch dürfte mit einem Schadauftreten des Nematoden bei Getreide nicht zu rechnen sein. In Schweden ist nach ANDERSSON (1976) *H. bifenestra* höchstens sehr lokal von wirtschaftlicher Bedeutung.

Zusammenfassung

Der zu den Getreide- und Gräserzystennematoden der *Heterodera avenae*-Gruppe gehörende Gerstenzystennematode, *H. hordecalis*, kommt im nördlichen Deutschland und vor allem im Küstenbereich verbreitet, in den übrigen Gebieten sporadisch vor. Sein Auftreten ist auf sandige Böden beschränkt, naturnahe Biotope werden bevorzugt. Obgleich neben vielen Gräsern auch Getreidearten zu den Wirten von *H. hordecalis* zählen, wurde der Nematode nur vereinzelt auf Ackerflächen nachgewiesen. Auch *H. bifenestra* wurde insbesondere im nördlichen Deutschland gefunden, vor allem in Grünland und nur selten in Ackerböden; feuchte Standorte werden bevorzugt. Hinweise auf ein Schadauftreten beider Arten liegen für Deutschland bisher nicht vor; ein Vorkommen von *H. hordecalis* als Schädling an vor allem Gerste erscheint lediglich für Norddeutschland möglich. Die für eine Bestimmung beider Nematodenarten wesentlichen Merkmale der Zysten und der Larven des zweiten Entwicklungsstadiums werden angegeben.

(Für tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen danke ich Karin Schrand und Dorothee Suttorp.)

Literatur

- ANDERSSON, S. (1975): *Heterodera hordecalis* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) a cyst nematode of cereals and grasses in southern Sweden. *Nematologica* **20** (1974), 445-454.

- ANDERSSON, S. (1976): Occurrence and behaviour of *Heterodera hordecalis* Andersson and *H. bifenestra* Cooper in Sweden, with some references to *H. avenae* Wollenweber and a similar *Heterodera* sp. Meddel. Statens Vaxtsskyddsanstalt **16**, 245-287.
- ANDERSSON, S. & WOUTS, W.M. (1983): The identity of *Heterodera longicaudata* SEIDEL, 1972 and a redescription of *H. bifenestra* COOPER, 1955 (Nematoda: Heteroderidae). Nematologica **29**, 298-308.
- DECKER, H. & SEIDEL, D. (1981): Beobachtungen über die Verdrangung wandernder Wurzelnematoden der Gattung *Pratylenchus* durch zystenbildende Nematoden (*Globodera*, *Heterodera*). Arch. Phytopathol. Pflanzensch. **17**, 39-46.
- GRABERT, D. (1988): Analyse der Verbreitung des Getreidezystenlchens (*Heterodera avenae*) in der DDR. Nachrichtenbl. Pflanzensch. DDR **42**, 113-116.
- GROSSE, E. (1986): Untersuchungen zur Verbreitung von *Heterodera avenae* unter Berücksichtigung der Getreidekonzentration und unterschiedlicher Böden in verschiedenen Gebieten der DDR. 11. Vortr.-Tag. akt. Probl. Phytonematol., Rostock, 4-11.
- IREHOLM, A. (1990): Patotyper av strsdes-cystnematoder, *Heterodera* spp., i Sverige. Resultat frn patotyptester utfrda 1981-1988. Vaxtskyddsrapporter, Jordbruk **58**, 70 S.
- IREHOLM, A. (1994): Characterization of pathotypes of cereal cyst nematodes, *Heterodera* spp., in Sweden. Nematologica **40**, 399-411.
- JAKOBSEN, J. (1981): *Heterodera avenae*-udbredelse, pathotyper og betydning i Danmark. Vaxtskyddsrapporter, Jordbruk **16**, 76-80.
- LCKE, E. (1969): Untersuchungen zum Hafernematodenproblem (4. Mitteilung). Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch. **76**, 269-276.
- MAAS, P.W.T. & BRINKMAN, H. (1982): Life-cycle and pathogenicity of grass cyst nematode, *Heterodera bifenestra* in the Netherlands. Mededel. Fac. Landbouwwetensch. Rijksuniv. Gent **47**, 757-764.
- MOR, M., COHN, E. & SPIEGEL, Y. (1992): Phenology, pathogenicity and pathotypes of cereal cyst nematodes, *Heterodera avenae* and *H. latipons* (Nematoda: Heteroderidae) in Israel. Nematologica **38**, 494-501.
- MULVEY, R.H. (1972): Identification of *Heterodera* cysts by terminal and cone top structures. Can. J. Zool. **50**, 1277-1292.
- PHILIS, I. (1988): Occurrence of *Heterodera latipons* on barley in Cyprus. Nematol. medit. **16**, 223.
- ROBINSON, A.J., STONE, A.R., HOOPER, D.J. & ROWE, J.A. (1996): A redescription of *Heterodera arenaria* Cooper 1955, a cyst nematode from marram grass. Fundam. appl. Nematol. **19**, 109-117.
- SEIDEL, M. (1972): *Heterodera longicaudata* n. sp., ein an Gramineen vorkommendes Zystenlchen von Grünlandflächen im Norden der DDR. Nematologica **18**, 31-37.
- SEIDEL, M. (1977): Zur Verbreitung und zum Wirtspflanzenkreis von *Heterodera longicaudata* SEIDEL, 1972 an Gramineen. Nachrichtenbl. Pflanzensch. DDR **31**, 243-246.
- SIKORA, R.A. (1988): Plant parasitic nematodes of wheat and barley in temperate and temperate semi-arid regions - a comparative analysis. In: SAXENA, M.C., SIKORA, R.A. & SRIVASTAVA, J.P. [Eds.]: Nematodes parasitic to cereals and legumes in temperate semi-arid regions. Int. Center for Agric. Res. in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, pp. 46-68.
- STURHAN, D. (1976a): Das Getreidezystenlchen - ein Artenkomplex! Gesunde Pflanzen **28**, 236-238.
- STURHAN, D. (1976b): Erstnachweise von fünf *Heterodera*-Arten in der Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **28**, 167-169.
- STURHAN, D. (1982a): Distribution of cereal and grass cyst nematodes in the Federal Republic of Germany. EPPO Bull. **12**, 321-324.
- STURHAN, D. (1982b): Species identification of European cereal and grass cyst nematodes by larval characters. EPPO Bull. **12**, 335-339.
- WOUTS, W.M. & WEISCHER, B. (1977): Eine Klassifizierung von 15 in Westeuropa häufigen *Heterodera*-Arten auf Grund von Larvenmerkmalen. Nematologica **22**, 289-310.

WOUTS, W.M., SCHOEMAKER, A., STURHAN, D. & BURROWS, P.R. (1995): *Heterodera spinicauda* sp. n. (Nematoda: Heteroderidae) from mud flats in the Netherlands, with a key to the species of the *H. avenae* group. *Nematologica* **41**, 575-583.

WOUTS, W.M. & STURHAN, D. (1995): *Heterodera aucklandica* sp. n. (Nematoda: Heteroderidae) from a New Zealand native grass, with notes on the species of the *H. avenae* group. *New Zealand J. Zool.* **22**, 199-207.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Dieter Sturhan,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topphaideweg 88, 48161 Münster

Selektion virulenter Populationen von *Heterodera schachtii* und ihre Nutzung zur Charakterisierung von Resistenzgenen in *Beta*-Rüben

Selection of virulent *Heterodera schachtii* populations and their use in characterizing resistance genes in the genus *Beta*

JOACHIM MÜLLER und ARMIN KLINKE

Abstract

The three wild *Beta* species of the section Procumbentes are completely resistant to *Heterodera schachtii*. Crossings between *Beta vulgaris* and these wild beet species have been made at different research institutes, resulting in several addition and translocation lines with resistance genes originating from different chromosomes. As resistance is dominantly inherited, the formation of nematode pathotypes, as they exist for example with potato cyst nematodes, was expected. To investigate virulence in *H. schachtii*, 146 populations were collected and multiplied on rape.

A translocation line with homozygous resistance from chromosome 1 of *B. procumbens* was used to test the nematodes for virulence. In almost all populations at least a few individual new cysts were found, with several populations producing multiplication rates greater than 50 % of that on susceptible beets. A population demonstrating extreme virulence was multiplied continuously on the resistant translocation line and was considered to be a pathotype of *H. schachtii*.

In a comprehensive series of tests the three wild species of the section Procumbentes as well as addition and translocation lines with different sources of resistance were inoculated with this pathotype. The pathotype did not break the resistance of the wild species. Difference in reaction by the various breeding lines showed that chromosomes 1 and 7 of *B. procumbens* and *B. webbiana* carry identical or very similar resistance genes, that have no effect on the pathotype. Chromosome 7 has additional resistance information, which the pathotype is not able to overcome. In *B. patellaris* genes for resistance other than the known gene on chromosome 1 can be expected.

New symbols are proposed to characterize the genes coding for resistance to *H. schachtii* and for nematode virulence (pathotypes).

Keywords: breeding for resistance, resistance genes, *Beta*, Procumbentes, virulence, *Heterodera schachtii*, pathotypes

Der Rübennematode, *Heterodera schachtii* Schmidt, ist in den gemäßigten Temperaturzonen der Erde weit verbreitet. Abbildung 1 zeigt, daß er in Europa in fast allen Regionen vorkommt, die für den Anbau von Zuckerrüben genutzt werden. Da sein

Wirtskreis sehr groß ist und neben Chenopodiaceen insbesondere auch Kreuziferen einschließt, dürfte diese Systemnematodenart aber noch viel häufiger zu finden sein, als es die Abbildung vermuten läßt. Auffällig wird *H. schachtii* erst, wenn es nach

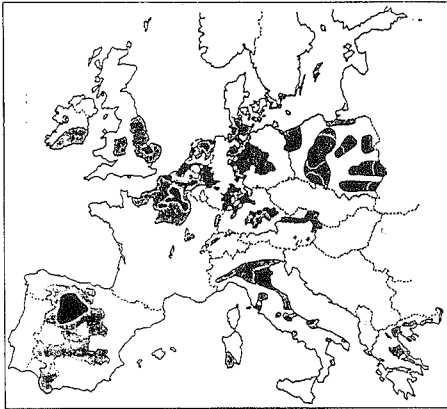


Abb. 1: Verbreitung des Rübenematomen *Heterodera schachtii* in Europa. (grau = Zuckerrübenanbauggebiete, schwarz = Verbreitung von *H. schachtii*)

intensivem Anbau von Zuckerrüben zu hohen Populationsdichten und damit zu Schäden kommt. In Deutschland trat diese Situation erstmals in der Mitte des vorigen Jahrhunderts ein, als zahlreiche Zuckerrübenfabriken infolge der gesunkenen Rübenenerträge schließen mußten (STEUDEL, 1984). Wir vermuten, daß der Schädling in den betroffenen Gebieten damals schon heimisch war und nicht erst eingeschleppt wurde, denn eine sehr rasche epidemische Ausbreitung, wie sie bei bestimmten pilzlichen Krankheitserregern vorkommen kann, ist bei Zystenematomiden nicht möglich. Unsere Beobachtungen zur Verbreitung von Virulenzen in *H. schachtii*-Populationen, über die im folgenden noch berichtet wird, sprechen dafür, daß die erste Besiedlung Deutschlands durch *H. schachtii* schon lange zurückliegt.

Die erheblichen wirtschaftlichen Folgen des Rübenematomidenproblems förderten schon frühzeitig seine wissenschaftliche Erforschung. Im Jahre

1889 gründete KÜHN die „Versuchstation zur Vertilgung der Nematoden“ in Halle, um praktikable Bekämpfungsmaßnahmen zu erarbeiten (GOFFART, 1959). Doch obwohl seither mehr als hundert Jahre vergangen sind, in denen eine Vielzahl von Forschungsprogrammen zu diesem Thema bearbeitet wurde, ist eine völlig befriedigende Lösung immer noch nicht gefunden worden. Sicherlich war die Entwicklung und Nutzung resistenter Zwischenfrüchte ein Markstein auf dem Wege zu neuen Bekämpfungsstrategien. Als Hauptziel züchterischer Arbeit wird aber immer noch die Einkreuzung von Resistenz in die Zuckerrübe selbst angesehen. Erste Versuche dazu sind über fünfzig Jahre alt, und die Phase erster erfolgreicher Schritte, verbunden mit dem Namen SAVITSKY, liegt gut zwanzig Jahre zurück. Im folgenden Abschnitt sollen die heutige Situation und der Weg dahin kurz umrissen werden.

Resistenzquellen und Züchtungsstrategien

Resistenz gegen *H. schachtii* ist in der Kulturrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doll.) nicht gefunden worden (MOLZ, 1917; PRICE, 1965; CURTIS, 1970). Innerhalb der Gattung *Beta* ist vollständige Resistenz nur für drei Arten der Sektion Procumbentes bekannt, nämlich für *B. procumbens* Cgr. Sm., *B. webbiana* Moq. und *B. patellaris* Moq.. Sie ist monogen und wird dominant vererbt, im Gegensatz zur Resistenz in *B. maritima* (Sektion Beta), die polygen und rezessiv ist (HEIJBROEK *et al.*, 1977). SAVITSKY (1975) konnte als Erste aus

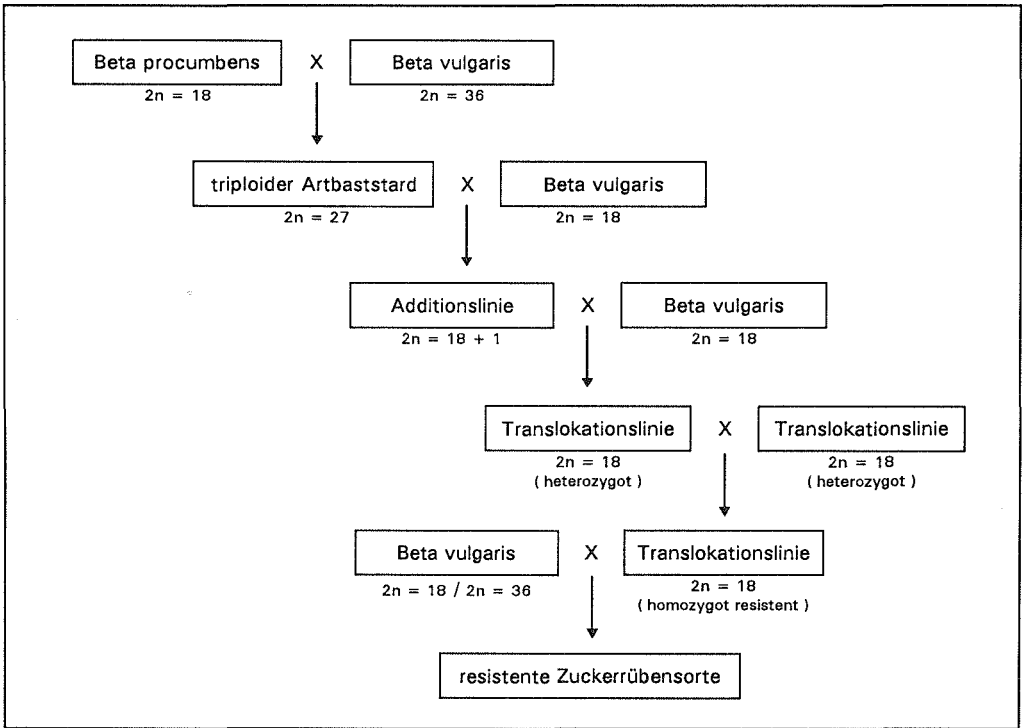


Abb. 2: Schema zur Züchtung nematodenresistenter Zuckerrüben

einer Kreuzung zwischen *B. procumbens* und *B. vulgaris* lebensfähige Nachkommen heranziehen, welche die Grundlage für die Erstellung nematodenresistenter monosomer Additionen ($2n = 19$) bildeten. Sie besitzen zusätzlich zum Kulturrüben genom ($2n = 18$) ein Chromosom der Wildart, auf dem die Resistenz lokalisiert ist. Nach weiteren Rückkreuzungen mit *B. vulgaris* konnte sie schließlich einzelne diploide, 18-chromosomige nematodenresistente Pflanzen selektieren, in deren Genom ein Stück des resistenztragenden Wildrübenchromosoms transloziert war (SAVITSKY, 1978). Dieser Erfolg stimulierte auch die züchterische Arbeit in Europa, und als Resultat wurden weitere monosomere Additionen erstellt, die teilweise

auch Chromosomen mit Resistenzgenen aus *B. webbiana* oder *B. patellaris* enthielten (SPECKMANN & DE BOCK, 1982; HEIJBOEK *et al.*, 1983; LÖPTIEN, 1984a). LANGE *et al.* (1990) beschreiben den Ablauf dieser züchterischen Arbeiten und geben eine Übersicht über das bis dahin entwickelte Material.

Im Verlauf der Untersuchungen stellte sich heraus, daß innerhalb einer Wildrübenart bis zu drei Chromosomen mit Resistenzgenen unterschieden werden können (in *B. procumbens* und *B. webbiana*, aber nur eines in *B. patellaris*). LÖPTIEN (1984b), SPECKMANN *et al.* (1985) und JUNG *et al.* (1986) zeigten, daß diese Chromosomen mit morphologischen Merkmalen der Pflanze gekoppelt sind

(a-, b- und c-Typen). Auch mit Hilfe von Isozym-Markern läßt sich die Identität des Fremdchromosoms in einer resistenten Addition bestimmen (VAN GEYT, 1986; JUNG *et al.*, 1986). JUNG und WRICKE (1987) fanden Unterschiede im Resistenzniveau zwischen Additionen vom a- und c-Typ, während a- und b-Typ gleich reagieren. LANGE *et al.* (1990) nahmen an, daß ein definiertes Resistenzgen (oder eine Gruppe eng gekoppelter Gene) ein-, zwei- oder dreimal in unabhängiger Form im Wildrüben genom vorkommt. Sie fanden keinen Hinweis dafür, daß die Resistenzgene der verschiedenen Chromosomen unterschiedlich wirken oder daß auf einem Chromosom mehr als ein Resistenzgen lokalisiert sein könnte. In den folgenden Kapiteln zeigen wir, daß diese Annahme zu allgemein gefaßt ist und differenziert werden muß.

Abbildung 2 zeigt schematisch den prinzipiellen Weg zur Züchtung nematodenresistenter Zuckerrüben. Der erste Schritt, die Erstellung von Additionspflanzen, war eine schwierige und langwierige Aufgabe. Da monosome Additionen noch ein vollständiges Wildrübenchromosom enthalten, sind ihre qualitativen Eigenschaften mangelhaft. Außerdem spaltet ihre Nachkommenschaft bei Rückkreuzung mit *B. vulgaris* bestenfalls im Verhältnis 1:1 in resistente 19-chromosomige und anfällige 18-chromosomige Pflanzen auf. Daher mußten im nächsten Schritt Pflanzen gefunden werden, bei denen ein kleiner Teil des Wildrübenchromosoms mit dem Resistenzgen in das *B. vulgaris*-Genom transloziert ist. Diese Situation tritt spontan nur sehr selten ein, was in der Praxis bedeutet, daß Tausende von Pflanzen

auf Resistenz getestet werden müssen. Translokationspflanzen kommen in bezug auf die Qualität der Kulturrübe schon nahe. Da sie aber im Merkmal Resistenz noch heterozygot sind, müssen durch Testung ihrer S₂-Nachkommen homozygot resistente S₁-Pflanzen selektiert werden, was bei zwei Translokationslinien mit Resistenz aus *B. procumbens* inzwischen gelang. Im Prinzip könnte dieses Material durch Kreuzung mit *B. vulgaris* eine leistungsfähige resistente Hybridsorte ergeben. Leider ist aber die Transmission der Resistenz nicht vollständig. Der letzte Schritt im Diagramm, die Schaffung einer zugelassenen resistenten Sorte, ist daher noch nicht erreicht worden.

Das Saatgut für die Versuche zur Nematodenvirulenz, die im folgenden beschrieben werden, stammte aus den Zuchtprogrammen des Instituts für Angewandte Genetik der Universität Hannover, des Centrum voor Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek (CPRO-DLO) in Wageningen, der Kleinwanzlebener Saatzucht AG (KWS) in Einbeck sowie der Fa. Saatzucht-Dieckmann in Sülbeck. In den Tabellen 1 und 2 sind die Resistenzquellen der untersuchten Additions- bzw. Translokationslinien aufgelistet.

Pathotypen überwinden die Resistenz

VANDERPLANK (1968, 1978) beschrieb zwei Haupttypen der Resistenz: die horizontale, breit wirksame Resistenz sowie die vertikale Resistenz, die zwar sehr effektiv sein kann, aber nur einen Teil der Genotypen aus einer Erregerpopulation

Tab. 1: Resistenzquellen der untersuchten monosomen Additionslinien

| monosome Addition (2n = 19) | addiertes Chromosom | Wildrübe |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| Pro 8295 ----- | Chromosom 1 ----- | <i>Beta procumbens</i> |
| AN 101 | Chromosom 7 | |
| 14026 | Chromosom 7 | <i>Beta webbiana</i> |
| AN 5 | Chromosom 1 | <i>Beta patellaris</i> |

Tab. 2: Herkunft der Resistenzgene der untersuchten Translokationslinien

| Translokation (2n = 18) | Herkunft des translozierten Resistenzgens | Wildrübe |
|-------------------------|---|------------------------|
| KWS-NR 1 ----- | Chromosom 1 ----- | <i>Beta procumbens</i> |
| Pro 3 | Chromosom 7 | |
| Web 11 | Chromosom 7 | <i>Beta webbiana</i> |

erfaßt. Vertikale Resistenz basiert auf einem oder wenigen Hauptgenen, und sie wird in der Regel dominant vererbt. Nach der Gen-für-Gen-Hypothese (FLOR, 1956, 1971) steht einem Hauptgen für Resistenz im Wirt ein entsprechendes Virulenzgen im Pathogen gegenüber. Besitzt der Erreger das spezifische Virulenzgen, so kann er den resistenten Wirt befallen, er ist ein virulenter Pathotyp. Um den Unterschied zur horizontalen Resistenz deutlich zu machen, wird auch von einem vertikalen Pathotyp gesprochen (ROBINSON, 1969). Virulenz wird in der Regel rezessiv vererbt.

Phytopathologen konnten zeigen,

daß zahlreiche Wirt-Parasit-Beziehungen dem Muster der Gen-für-Gen-Hypothese entsprechen; speziell in der Nematologie gibt es aber nur wenige Belege dafür. Relativ gut untersucht ist die Situation beim Kartoffelnematoden *Globodera rostochiensis*. JONES und PARROT (1965) vermuteten bereits, daß die Beziehungen zwischen dem Nematoden und dem Resistenz vermittelnden H₁-Gen aus *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* nach dem Gen-für-Gen-Mechanismus ablaufen. JANSSEN *et al.* (1990) überprüften diese Vermutung, indem sie virulente und avirulente Linien von *G. rostochiensis* selektierten und diese gegen

das H₁-Gen testeten. Der Anteil virulenter Tiere entsprach zwar nicht immer den erwarteten Werten, es ließ sich aber zeigen, daß Virulenz gegen das dominante H₁-Resistenzgen der Kartoffel durch nur ein rezessives Hauptgen im Nematoden gesteuert wird (JANSSEN *et al.*, 1991). Das H₁-Gen unterdrückte nur in geringem Maße die Entwicklung von Männchen. Diese können sich auch ohne Besitz des Virulenzgens (aa) an resistenten Kartoffeln entwickeln, wobei die heterozygot avirulenten Genotypen (Aa) keinen Fitnessvorteil gegenüber homozygot avirulenten Larven haben (JANSSEN *et al.*, 1992).

Über die Virulenz von *H. schachtii* gegenüber Resistenzgenen aus Rüben der Sektion Procumbentes war bisher nichts bekannt. Als sicher kann gelten, daß die genutzten Resistenzen der Wildrüben durch dominante Hauptgene vererbt werden. In dieser Hinsicht ist die Situation vergleichbar mit dem H₁-Gen aus *S. tuberosum* ssp. *andigena*; die Voraussetzungen für einen Gen-für-Gen-Mechanismus sind auf der Wirtsseite also gegeben. Die verwandtschaftliche Nähe und biologische Ähnlichkeiten zwischen beiden Zysten-nematodenarten, *H. schachtii* und *G. rostochiensis*, lassen erwarten, daß Virulenz in beiden Fällen nach gleichem Muster vererbt wird. Daher war zu befürchten, daß auch Resistenz gegen *H. schachtii* durch virulente Pathotypen sehr bald gebrochen werden könnte, sofern Virulenzgene in Feldpopulationen vorkommen. Dies zu klären, war das erste Ziel unserer Untersuchungen.

Virulenz in *Heterodera schachtii*-Populationen

Um zu klären, ob Virulenz überhaupt vorkommt bzw. welche Anbau-regionen davon betroffen sein könnten, mußten möglichst viele Bodenproben aus unterschiedlichen Gebieten gesammelt werden. Zu Beginn der Versuche stand schließlich eine Sammlung von 146 *H. schachtii*-Populationen zur Verfügung, die mehrheitlich aus Deutschland, teilweise aber auch aus anderen europäischen Ländern stammten (MÜLLER, 1992). Sie wurden ständig im Gewächshaus an Raps (*Brassica napus* var. *napus* cv. *Velox*) vermehrt, der in allen bisher untersuchten Sorten als anfällig gilt, so daß Selektion auf Virulenz hier auszuschließen war. Jede Herkunft wurde durch Nummern gekennzeichnet und wird im folgenden als Population bezeichnet. Unter Population wird hier die auf eine Bodenprobe begrenzte Anzahl von Nematoden definierter Herkunft verstanden, die unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus vermehrt wurden und in Wechselbeziehung treten konnten.

Für den Test auf Virulenz mußten zuerst resistente Rübenpflanzen selektiert werden, da die Transmission des Fremdchromosoms von Additionslinien auf deren Nachkommenschaft nicht vollständig erfolgt. Der Resistenztest erfolgte nach dem von TOXOPEUS und LUBBERTS (1979) beschriebenen Verfahren in Quarzsand, das mit leichten Veränderungen übernommen wurde. Weitere Angaben zur Prüfmethode wurden bereits veröffentlicht (MÜLLER, 1992).

Wesentliche Voraussetzung für ein brauchbares Ergebnis ist eine eindeu-

tige Aufspaltung in resistente und anfällige Pflanzen, wie sie sich mit einer Häufigkeitsverteilung anschaulich darstellen läßt (Abb. 3). In diesem Beispiel können Pflanzen mit bis zu 20 Zysten als resistent bezeichnet und für einen Virulenztest verwendet werden. Sie wurden nach Entfernen aller Zysten in kleine Töpfe (200 ml) in Quarzsand eingetopft und mit je 5000 Larven inokuliert. Insgesamt wurden 113 verschiedene Populationen getestet ($n = 2$ bis 4 Pflanzen). Fünf Wochen später wurden die Wurzeln gespült und die Anzahl der anhaftenden Zysten bestimmt. Abbildung 4 zeigt, daß sich bei mehreren Populationen keine Zysten entwickeln konnten, bei einigen aber durchschnittlich bis zu ca. 15 Zysten pro Pflanze.

Wegen der geringen Zahl an Wiederholungen war es unsicher, ob die Differenzen auf unterschiedliche Virulenz der Populationen zurückzuführen waren. Ein klares Ergebnis konnte erst erzielt werden, als eine Translokationslinie (KWS-NR 1, als Pro 1 bezeichnet bei MÜLLER, 1992) mit homozygoter Resistenz zur Verfügung stand, die aus annähernd 100 % resistenten Pflanzen bestand. Mit dieser Linie konnte das gesamte Sortiment an Populationen in 18facher Wiederholung getestet werden, wobei die Pflanzen in größeren Töpfen (400 ml) in Erde kultiviert wurden. Ausgewertet wurde erst 20 Wochen nach der Inokulation (mit 3000 L_2 je Pflanze), so daß sich wahrscheinlich 2-3 Nematodengenerationen entwickeln konnten. Dabei wurden nicht nur die Zystenanzahlen je Pflanze, sondern auch der durchschnittliche Zysteninhalte (Eier und Larven) erfaßt, woraus sich die Vermehrungsrate berechnen ließ.

Sie ist aussagekräftiger als die Zystenanzahl allein, wie eine Korrelationsberechnung (Abb. 5) zeigt. Offenbar beeinflußt das Resistenzgen in KWS-NR 1 nicht nur die Weibchenentwicklung, sondern auch die Eiproduktion. Wie bei der Additionslinie Pro 8295 (Abb. 4) traten auch bei der Translokationslinie KWS-NR 1 erhebliche Unterschiede zwischen den Populationen auf. Bereits nach Auswertung von acht Pflanzen je Population ließ sich hier aber erkennen, daß die Differenzen nicht nur die methodisch bedingte Varianz widerspiegeln, sondern genetische Ursachen haben. Ein Beispiel dafür gibt Tabelle 3 für die Populationen 126, 129 und 138.

Tab. 3: Vermehrungsraten von drei Nematodenpopulationen an je 8 Einzelpflanzen der resistenten Linie KWS-NR 1 (aus MÜLLER, 1992)

| | Nematodenpopulationen | | |
|------------------------|-----------------------|------|------|
| | 126 | 129 | 138 |
| | 1,4 | 6,4 | 0,04 |
| | 0,1 | 85,3 | 0,34 |
| | 78,0 | 43,0 | 0,00 |
| | 0,2 | 22,1 | 0,27 |
| | 29,7 | 29,4 | 0,10 |
| | 0,6 | 86,2 | 0,27 |
| | 0,7 | 36,2 | 4,40 |
| | 5,4 | 23,7 | 0,19 |
| \bar{x} | 14,5 | 41,6 | 0,70 |
| s | 27,6 | 29,3 | 1,50 |
| \bar{x} = Mittelwert | | | |
| s = Standardabweichung | | | |

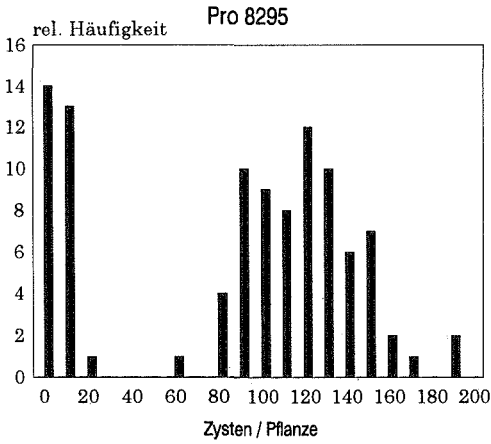


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Zysten pro Pflanze (Klassenbreite = 10 Zysten) der monosomen Additionslinie Pro 8295 nach Inokulation mit der Population MS

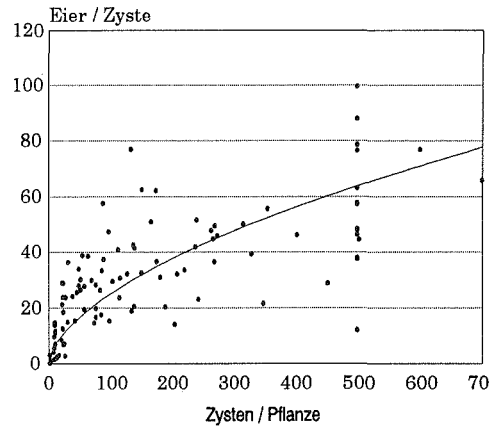


Abb. 5: Korrelation zwischen der Zystenanzahl je Pflanze und dem Zysteninhalt, $y = 1,73 \cdot x^{0,68}$, $r^2 = 0,62$

Pro 8295

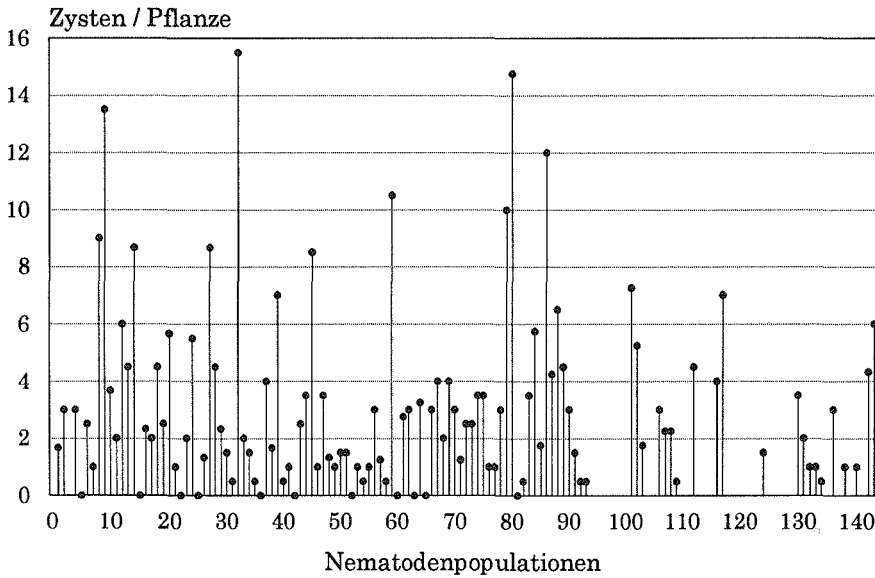


Abb. 4: Mittlere Zystenanzahl von 113 Nematodenpopulationen an resistenten Pflanzen der Additionslinie Pro 8295

Für die weiteren Selektionsschritte wurden die an der resistenten KWS-NR 1 gebildeten Zysten isoliert, die Larven daraus gewonnen und diese dann zur Entwicklung einer neuen Generation wieder an resistente Sämlinge von KWS-NR 1 inokuliert. Parallel dazu wurde immer auch die anfällige Sorte 'Désirée' infiziert. Nach Abschluß der sechsten Generation ergab sich für die Populationen 74 und 78 an der resistenten KWS-NR 1 im Mittel eine Vermehrungsrate von 51,9 % bezogen auf die anfällige Vergleichssorte (MÜLLER, 1992). Die Häufigkeitsverteilungen der Zystenzahlen pro Pflanze an KWS-NR 1 zeigt Abbildung 6 für die Populationen 129-virulent bzw. 129-avirulent.

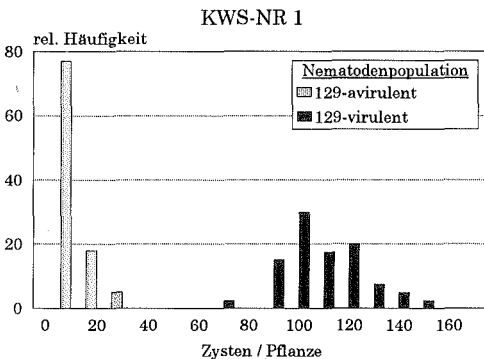


Abb. 6: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die resistente Translokationslinie KWS-NR 1

Damit war nachgewiesen, daß in Feldpopulationen von *H. schachtii* Virulenzgene vorkommen, die bei wiederholtem Anbau resistenter Rüben zur Selektion eines resistenzbrechenden Pathotyps führen. Offenbar handelt es sich dabei nicht nur um einzelne Populationen, sondern um eine weit verbreitete Eigenschaft. Wahr-

scheinlich ist diese Virulenz schon frühzeitig im Ursprungsgebiet von *H. schachtii* aufgetreten und von dort in die heute betroffenen Regionen verbreitet worden.

Virulenz des Pathotyps gegenüber verschiedenen Resistenzquellen

Für alle weiteren hier geschilderten Versuche wurde die Population 129 verwendet, und zwar einerseits aus ständiger Kultur an Raps (= 129-avirulent), andererseits aus Vermehrung an der resistenten Rube KWS-NR 1 (= Pathotyp, 129-virulent). Da die Resistenz in KWS-NR 1 auf einem Gen von Chromosom 1 aus *B. procumbens* basiert, sollte nach der Gen-für-Gen-Hypothese die an KWS-NR 1 selektierte Virulenz für dieses Gen spezifisch sein, die Wirkung anderer Resistenzgene also nicht durchbrechen. Ein Versuch mit der Addition AN 101, deren Resistenz auf dem Chromosom 7 aus *B. procumbens* lokalisiert ist, bestätigte diese Erwartung. Wie Abb. 7

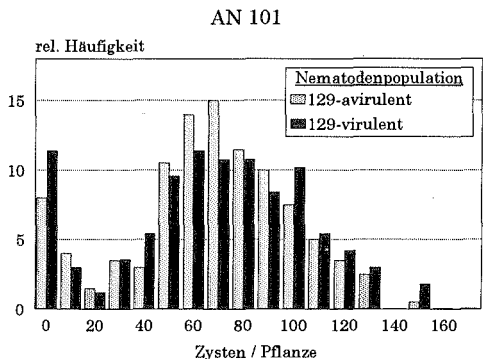


Abb. 7: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die monosome Additionslinie AN 101

zeigt, ergab sich ein Anteil von 10–13 % resistenter Pflanzen bei Testung mit der avirulenten Population, in gleicher Höhe aber auch mit dem Pathotyp. Daraus wurde geschlossen, daß auf Chromosom 7 von *B. procumbens* mindestens ein Resistenzgen liegt, welches sich von dem auf Chromosom 1 unterscheidet (LANGE *et al.*, 1993). Unerwartet war dagegen das Testergebnis mit der Addition AN 5, die ein Stück des Chromosoms 1 aus *B. patellaris* enthält (Abb. 8). Hier wurden bei Testung mit dem Pathotyp keine resistenten Pflanzen gefunden. Der Pathotyp konnte also die Resistenz aus einer anderen Wildrübenart, *B. patellaris*, überwinden. Dies unterstützt die Vermutung, daß die Chromosomen pro-1 und pat-1 homolog sein könnten (SALENTIJN *et al.*, 1992), denn sie tragen offenbar dasselbe Resistenzgen.

Die drei Wildrübenarten selbst erwiesen sich in zwei Versuchen als extrem resistent. MÜLLER (1992) infizierte insgesamt 940 Pflanzen mit 94 (unselektierten) *H. schachtii*-Populationen und konnte insgesamt nur fünf neugebildete Zysten finden. LANGE *et al.* (1993) testeten 423 Pflanzen von *B. procumbens* und *B. patellaris* sowohl mit der Population 129-avirulent als auch mit dem Pathotyp (Population 129-virulent) und fanden insgesamt 15 Zysten. Auch Population 129-virulent kann die Wildrübenresistenz offenbar nicht überwinden.

Bisher ist in Additionspflanzen mit Resistenz aus *B. patellaris* immer nur ein Resistenzgen auf Chromosom 1 gefunden worden. Wie Abbildung 8 zeigt, wird es durch den Pathotyp überwunden. Da die Virulenz an der Wildart aber unwirksam ist, kann

daraus geschlossen werden, daß in *B. patellaris* noch ein weiterer Resistenz-kodierender Faktor vorhanden sein muß.

LANGE *et al.* (1993) haben vorgeschlagen, die Resistenz gegen Rüben-nematoden mit Hs zu kennzeichnen. Unterschiedliche Reaktion gegenüber Pathotypen soll durch eine Ziffer angezeigt werden, der Ursprung des fremden Gens dagegen durch einen zusätzlichen Index. Das Resistenzgen in KWS-NR 1 würde demnach mit Hs1^{pro-1} bezeichnet, dasjenige in AN 5 mit Hs1^{pat-1}. Das Gen in AN 101 sollte Hs2^{pro-7} genannt werden, da es eine unterschiedliche Reaktion gegenüber dem Pathotyp zeigt. Neuere Versuche haben aber deutlich werden lassen, daß hier eine Korrektur erforderlich ist (KLINKE, 1995):

Pro 3 ist eine Translokationslinie mit Resistenz von Chromosom 7 aus *B. procumbens*. Im Gegensatz zur Addition AN 101 (s. Abb. 7) wird die Resistenz der Translokation Pro 3 durch den Pathotyp eindeutig gebrochen (Abb. 9).

Ähnliche Unterschiede zeigten sich für verschiedene Additions- bzw. Translokationslinien mit Resistenz aus *B. webbiana*. Die monosome Addition 14026 (mit Chromosom 7 aus *B. webbiana*) erwies sich auch gegenüber dem Pathotyp als resistent (Abb. 10), während die Translokationslinie Web 11 (mit Resistenz von Chromosom 7 aus *B. webbiana*) ihre Resistenz bei Inokulation mit dem Pathotyp verlor (Abb. 11). Offenbar enthält das komplette Chromosom 7 aus *B. procumbens* bzw. *B. webbiana* mehr Resistenzinformationen, als in die entsprechenden Translokationslinien übertragen wurde.

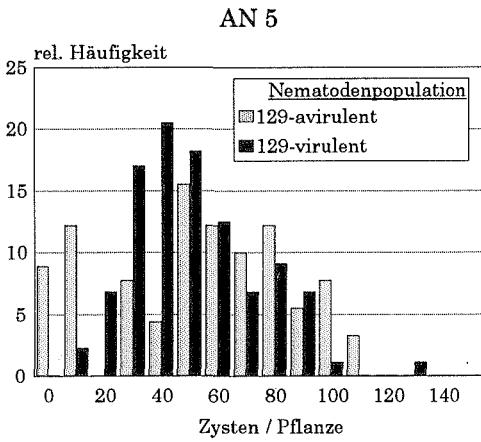


Abb. 8: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die monotelosome Additionslinie AN 5

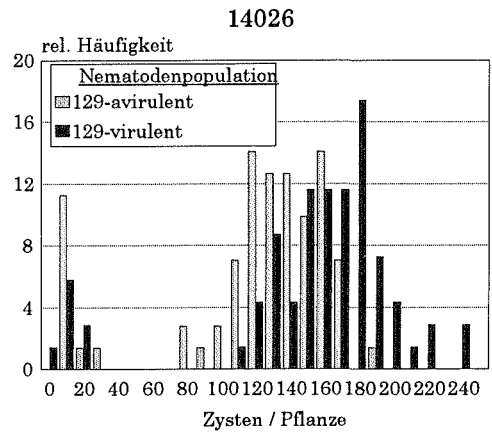


Abb. 10: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die monosome Additionslinie 14026

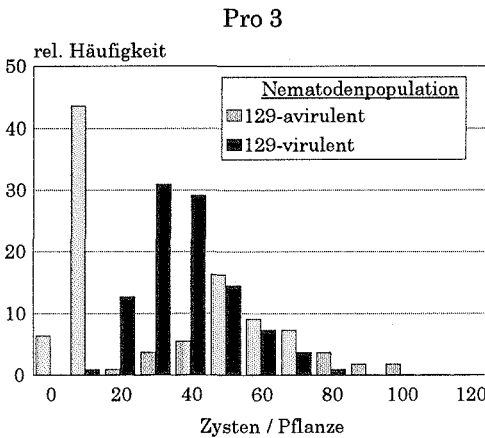


Abb. 9: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die Translokationslinie Pro 3

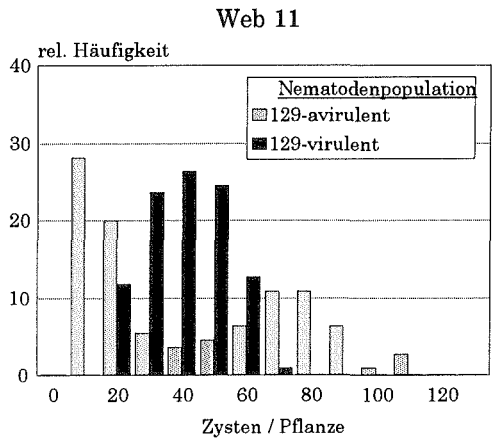


Abb. 11: Häufigkeitsverteilungen der Zysten je Pflanze nach Inokulation von zwei unterschiedlich virulenten Nematodenpopulationen an die Translokationslinie Web 11

Aufgrund dieser Befunde erscheint es nicht gerechtfertigt, das von Chromosom 7 translozierte Resistenzgen mit Hs2^{pro-7} bzw. Hs2^{web-7} zu bezeichnen. Zukünftige Untersuchungen müssen zeigen, ob die auf dem vollständigen Chromosom zusätzlich vorhandene Resistenz auf ein unabhängig wirkendes Resistenzgen zurückgeht, das als Hs2^{pro-7} bzw. Hs2^{web-7} bezeichnet werden kann (KLINKE, 1995).

Kennzeichnung der Nematoden-virulenz

Die Bezeichnung des Pathotyps sollte analog zur Bezeichnung der Resistenzgene erfolgen. Im Gegensatz zu der komplizierten Pathotypensituation beim Kartoffelzystennematoden handelt es sich bei *H. schachtii* nach heutigem Wissensstand um ein klar definiertes Wirt-Parasit-System. Der vollständigen Resistenz der Gene der Sektion Procumbentes steht die Virulenz des Rübenzystennematoden gegenüber.

Zur Zeit werden für die Charakterisierung der Pathotypen von Zystennematoden (*Heterodera avenae*, *H. glycines*, *Globodera rostochiensis* bzw. *G. pallida*) unterschiedliche Schemata verwendet. Sie sind in der Anfangsphase der Entdeckung von Pathotypen entstanden, als noch nicht absehbar war, wie vielschichtig die Beziehungen zwischen resistenten Pflanzen und virulenten Nematodenpopulationen sein können. Heute wäre es wünschenswert, ein offenes System zu haben, das auch neu entdeckte Virulenzen oder Resistenzen mit einbezieht und deren Bezug zueinander erkennen läßt. Die Bezeichnung einer Virulenz sollte

deutlich machen, welche Resistenz durch sie gebrochen wird. In Anlehnung an die Benennung der Pathotypen der Kartoffelzystennematoden bzw. an die Forderungen von SIDHU (1976) sowie ANDERSEN und ANDERSEN (1982) wird daher vorgeschlagen, einen Pathotyp, der die Resistenz des Hs1-Gens überwinden kann, Schach1 zu nennen. Selbst wenn beispielsweise die zusätzliche Resistenz auf Chromosom 7 aus *B. procumbens* nur durch ein Nebengen kodiert wird, könnte dem durch die Ergänzung einer weiteren Ziffer Rechnung getragen werden. Ein Pathotyp mit Virulenz gegen das Haupt- und das Nebengen hieße dann Schach11. Sollte sich das zweite Gen auf Chromosom 7 als Hauptgen (= Hs2) erweisen, so hieße ein dagegen virulenter Pathotyp Schach2.

Konsequenzen für die Resistenz-züchtung

In Tabelle 4 ist die Resistenz bzw. Anfälligkeit der Additions- und Translokationspflanzen gegenüber dem Pathotyp aufgelistet. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, daß auf allen fünf Chromosomen in der Sektion Procumbentes, auf denen Resistenz lokalisiert ist, ein identisches oder zumindest ähnliches Resistenzgen gegen *H. schachtii* vorhanden ist. Weitere Resistenzfaktoren befinden sich auf dem Chromosom 7 von *B. procumbens* und *B. webbiana*, wobei es sich wegen der Homologie der Chromosomen vermutlich um identische Resistenzfaktoren handelt. Auch in *B. patellaris* ist weitere Resistenzinformation zu erwarten. Auf Chromosom 1 von

Tab. 4: Anfälligkeit monosomer Additionen und Translokationen mit Resistenz aus den drei Wildarten der Sektion Procumbentes gegenüber der *H. schachtii*-Population 129-virulent (x = anfällig; (x) = geringe Anfälligkeit; 0 = resistent; - = nicht verfügbar)

| Resistenzquelle | | monosome Addition | Translokation |
|-------------------|--------------|-------------------|---------------|
| <i>Beta</i> | Chromosom 1 | x | x |
| <i>procumbens</i> | Chromosom 7 | 0 | x |
| <i>Beta</i> | Chromosom 1* | (x) | x |
| <i>webbiana</i> | Chromosom 7 | 0 | x |
| <i>Beta</i> | Chromosom 1 | x | - |
| <i>patellaris</i> | | | |

*nach KLINKE (1995)

B. webbiana liegen außer dem Hs1^{web-1}-Gen zusätzliche Resistenzfaktoren, die aber nur schwache Wirkung haben. In der gesamten Sektion Procumbentes sind zur Zeit nur zwei verschiedene, hohe Resistenz vermittelnde Gene bzw. Chromosomen erkennbar. In ihrer Kombination, evtl. auch zusammen mit Nebengenen, können sie vollständige Resistenz auch gegen den Pathotyp vermitteln. Sehr deutlich wird dies an der Reaktion der drei Wildrübenarten. Dauerhaft wirksame Resistenz ist wahrscheinlich nur zu erreichen, wenn verschiedene Resistenzquellen kombiniert werden.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß auch bei *H. schachtii*-Populationen mit unterschiedlicher Virulenz zu rechnen ist. Ein genaues Wissen darüber ist ebenso wichtig wie die Kenntnis der Resistenzquellen. Denn nur wenn das Virulenzspektrum bekannt ist, läßt sich frühzeitig entscheiden, welche Resistenzquellen bei der Züchtungsarbeit auch langfristig Erfolg versprechen. Ohne dieses Wissen könnte sich nach Jahren heraus-

stellen, daß die geleistete Arbeit durch Resistenzbrecher relativ früh wieder zunichte gemacht wird.

Zusammenfassung

Innerhalb der Gattung *Beta* sind die drei Wildarten der Sektion Procumbentes vollständig resistent gegen *Heterodera schachtii*. Durch Kreuzung mit *Beta vulgaris* konnten an verschiedenen Forschungsinstituten mehrere Additions- und Translokationslinien mit Resistenzgenen von unterschiedlichen Chromosomen erstellt werden. Es zeigte sich, daß diese Resistenz dominant vererbt wird. Wir haben daher vermutet, daß es ähnlich wie bei den Kartoffelzystennematoden zu Problemen mit resistenzbrechenden Pathotypen kommen könnte. Um dies zu prüfen, wurden insgesamt 146 *H. schachtii*-Populationen gesammelt und zunächst an Raps vermehrt.

An einer Translokationslinie mit homozygoter Resistenz von Chromosom 1 aus *B. procumbens* wurde das

gesamte Sortiment auf Virulenz getestet. Bei fast allen Populationen wurden einzelne neue Zysten festgestellt; in mehreren Fällen erreichte die Vermehrungsrate sogar mehr als 50 % des Wertes für anfällige Rüben. Eine hochvirulente Population wurde an der resistenten Translokationslinie weitervermehrt. Ihre Virulenz erwies sich als stabil, so daß es sich um einen Pathotyp von *H. schachtii* handelt.

In einem umfassenden Testprogramm wurde geprüft, wie sich die drei Wildarten der Sektion Procumbentes sowie verschiedene Additions- und Translokationslinien mit unterschiedlichen Resistenzquellen gegenüber dem Pathotyp verhalten. Es zeigte sich, daß er die Resistenz der Wildarten nicht durchbrechen kann. Die Zuchtlinien reagierten unterschiedlich und konnten bezüglich ihrer Resistenzgene genauer charakterisiert werden: Die Chromosomen 1 und 7 aus *B. procumbens* und *B. webbiana* tragen identische oder sehr ähnliche Resistenzgene, deren Wirkung durchbrochen wird. Auf Chromosom 7 ist aber weitere Resistenzinformation enthalten, die der Pathotyp nicht überwinden kann. In *B. patellaris* wird außer dem bekannten Resistenzgen auf Chromosom 1 noch ein weiteres Resistenzgen vermutet.

Für die Kennzeichnung der gegen *H. schachtii* wirksamen Resistenzgene sowie für die Nematodenvirulenz (Pathotypen) werden neue Symbole vorgeschlagen.

Literatur

- ANDERSEN, S. & ANDERSEN, K. (1982): Suggestions for determination and terminology of pathotypes and genes for resistance in cyst-forming nematodes, especially *Heterodera avenae*. EPPO Bull. **12**, 379-386.
- CURTIS, G.J. (1970): Resistance of sugar beet to the cyst-nematode *Heterodera schachtii* Schm. Ann. appl. Biol. **66**, 169-177.
- FLOR, H.H. (1956): The complementary genetic systems in flax and flax rust. Adv. Genet. **8**, 29-54.
- FLOR, H.H. (1971): Current status of the gene-for-gene concept. Ann. Rev. Phytopathol. **9**, 275-296.
- GOFFART, H. (1959): Phytonematologie in Deutschland. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **99**, 14-24.
- HEIJBROEK, W., MCFARLANE, J.S. & DONEY, D.L. (1977): Breeding for tolerance to beet-cyst eelworm *Heterodera schachtii* Schm. in sugarbeet. Euphytica **26**, 557-564.
- HEIJBROEK, W., ROELANDS, A.J. & DE JONG, J.H. (1983): Transfer of resistance to beet cyst nematode from *Beta patellaris* to sugar beet. Euphytica **32**, 287-298.
- JANSSEN, R., BAKKER, J. & GOMMERS, F.J. (1990): Selection of virulent and avirulent lines of *Globodera rostochiensis* for the H₁ resistance gene in *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* CPC 1673. Rev. Nématol. **13**, 265-268.
- JANSSEN, R., BAKKER, J. & GOMMERS, F.J. (1991): Mendelian proof for a gene-for-gene relationship between virulence of *Globodera rostochiensis* and the H₁ resistance gene in *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* CPC 1673. Rev. Nématol. **14**, 213-219.
- JANSSEN, R., BAKKER, J. & GOMMERS, F.J. (1992): The effect of heterozygosity for virulence on the development of the potato cyst nematode, *Globodera rostochiensis*. Fundam. appl. Nematol. **15**, 463-466.
- JONES, F.G.W. & PARROTT, D.M. (1965): The genetic relationships of pathotypes of *Heterodera rostochiensis* Woll. which reproduce on hybrid potatoes with genes for resistance. Ann. appl. Biol. **56**, 27-36.
- JUNG, C., WEHLING, P. & LÖPTIEN, H. (1986): Electrophoretic investigations on nematode resistant sugar beets. Plant Breed. **97**, 39-45.
- JUNG, C. & WRICKE, G. (1987): Selection of diploid nematode resistant sugar beet from monosomic addition lines. Plant

- Breed. **98**, 205-214.
- KLINKE, A. (1995): Untersuchungen zur Resistenz gegen *Heterodera schachtii* in der Sektion Procumbentes der Gattung *Beta* sowie zur Virulenz des Nematoden. Diss. Universität Hannover, 121 pp.
- LANGE, W., JUNG, C. & HEIJBOEK, W. (1990): Transfer of beet cyst nematode resistance from *Beta* species of the section Patellares to cultivated beet. Proc. 53rd Winter Congr. Intern. Inst. Sugar Beet Res., Brussel, 89-102.
- LANGE, W., MÜLLER, J. & DE BOCK, T.S.M. (1993): Virulence in the beet cyst nematode (*Heterodera schachtii*) versus some alien genes for resistance in beet. Fundam. appl. Nematol. **16**, 447-454.
- LÖPTIEN, H. (1984a): Breeding nematode-resistant beets I. Development of resistant alien additions by crosses between *Beta vulgaris* and wild species of the section Patellares. Z. Pflanzenzücht. **92**, 208-220.
- LÖPTIEN, H. (1984b): Breeding nematode-resistant beets II. Investigations into the inheritance of resistance to *Heterodera schachtii* Schm. in wild species of the section Patellares. Z. Pflanzenzücht. **93**, 237-245.
- MOLZ, E. (1917): Über die Züchtung widerstandsfähiger Sorten unserer Kulturpflanzen. Z. Pflanzenzücht. **5**, 121-244.
- MÜLLER, J. (1992): Detection of pathotypes by assessing the virulence of *Heterodera schachtii* populations. Nematologica **38**, 60-64.
- PRICE, C. (1965): Breeding sugar beets for resistance to the cyst nematode *Heterodera schachtii*. J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol. **13**, 397-405.
- ROBINSON, A.A. (1969): Disease resistance terminology. Rev. Appl. Mycol. **48**, 593-606.
- SALENTIEN, E.M.J., SANDAL, N.N., LANGE, W., DE BOCK, T.S.M., KRENS, F.A., MARCKER, K.A. & STIEKEMA, W.J. (1992): Isolation of DNA markers linked to a beet cyst nematode resistance locus in *Beta patellaris* and *Beta procumbens*. Mol. Gen. Genet. **235**, 432-440.
- SAVITSKY, H. (1975): Hybridization between *Beta vulgaris* and *Beta procumbens* and transmission of nematode (*Heterodera schachtii*) resistance to sugar beet. Can. J. Genet. Cytol. **17**, 197-209.
- 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.
- SIDHU, G.S. (1976): A proposal for standardizing the nomenclature of the genes for resistance and virulence operative in plant-parasitic systems. Crop Improv. **3**, Nos 1 & 2, 60-63.
- SPECKMANN, G.J. & DE BOCK, T.S.M. (1982): The production of alien monosomic additions in *Beta vulgaris* as a source for the introgression of resistance to beet root nematode (*Heterodera schachtii*) from *Beta* species of the section Patellares. Euphytica **31**, 313-323.
- SPECKMANN, G.J., DE BOCK, T.S.M. & DE JONG, J.H. (1985): Monosomic additions with resistance to beet cyst nematode obtained from hybrids of *Beta vulgaris* and wild *Beta* species of the section Patellares I. Morphology, transmission and level of resistance. Z. Pflanzenzücht. **95**, 74-83.
- STEUDEL, W. (1984): Pflanzenschutz einst und jetzt - ein wissenschaftshistorischer Rückblick. In: Geschichte der Zuckerrübe. Berlin, A. Bartens Verlag.
- TOXOPEUS, H.J. & LUBBERTS, J.H. (1979): Breeding for resistance to the sugar beet nematode (*Heterodera schachtii* Schm.) in cruciferous crops. Proc. Eucarpia Cruciferae Conf., Wageningen, (Post conf. edition), p. 151.
- VANDERPLANK, J.E. (1968): Disease resistance in plants. New York, Academic Press.
- VANDERPLANK, J.E. (1978): Genetic and molecular basis of plant pathogenesis. Berlin, Springer-Verlag.
- VAN GEYT, J. (1986): The use of an isozyme marker system in sugarbeet genetics and breeding. PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, 277 pp.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Joachim Müller und Dr. Armin Klinke,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topheideweg 88, 48161 Münster

Molekularbiologische Untersuchungen zur Pathotypendifferenzierung bei *Heterodera schachtii*

An investigation to differentiate pathotypes of *Heterodera schachtii* by molecular methods

HEIKE ESCHERT

Abstract

The aim of this investigation was to identify the pathotype Schach1 of *Heterodera schachtii* with the aid of molecular biological methods. The methods applied are illustrated using the potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* as examples, because experience exists about the differentiation of the pathotypes in these nematodes.

On the basis of own research molecular biological studies are described to differentiate avirulent and virulent populations of *H. schachtii*. DNA-analyses included restriction fragment length polymorphism and hybridization of genomic DNA with homologous probes. Distinction of the different virulent populations has not been possible. However, the investigation of extracts of second-stage juveniles yielded a difference between the populations 129-avirulent and 129-virulent. The difference is based on a RNA, which is specific to the population 129-virulent. The RNA in question could be isolated.

The possibility of producing large quantities of the isolated RNA for use as a probe to differentiate avirulent and virulent populations is discussed. The methods, which can be used to differentiate pathotypes, are described in detail.

Keywords: *Heterodera schachtii*, virulence, pathotype, DNA, restriction fragment length polymorphism (= RFLP), RNA

Pflanzenparasitäre Nematoden verursachen weltweit große Schäden in der Landwirtschaft. Sie werden deshalb mit unterschiedlichen Strategien wie Einsatz von Nematiziden, weitgestellter Fruchtfolge sowie Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte und Kultursorten bekämpft. Aus ökologischer Sicht sind weitgestellte Fruchtfolgen sicher die beste Strategie, doch ökonomischer ist der Anbau nematodenresistenter Kultursorten. Nematodenresistente Kultursorten können aufgrund genetisch festgelegter Eigenschaften die Nematodenentwicklung unterdrücken. Durch ihren

wiederholten Anbau wurden in vielen Fällen jedoch Nematodenpopulationen selektiert, die die Eigenschaft „Nematodenresistenz“ überwinden, sich also trotz Resistenz vermehren können (JANSSEN *et al.*, 1990; TURNER, 1990; JARQUIN-BARBERENA *et al.*, 1991; WHITEHEAD, 1991; MÜLLER, 1992; YOUNG, 1994; BENIERS *et al.*, 1995; PASTRIK *et al.*, 1995). Diese Nematodenpopulationen werden als virulent bezeichnet und entsprechend ihrer Virulenzeigenschaft einem Pathotyp zugeordnet.

Pathotypen schränken die Nutzung resistenter Kultursorten stark ein.

Um eine Selektion von Pathotypen zu verhindern, muß vor dem Anbau resistenter Kultursorten geprüft werden, welche Virulenzen bzw. Pathotypen in einer Nematodenpopulation im Feld überhaupt vorkommen. Aufgrund der Pathotypenidentifizierung kann dann eine resistente Kultursorte ausgewählt werden, bei deren Anbau die Nematodenentwicklung unterdrückt wird.

Methoden zur Differenzierung von Pathotypen

Die Identifizierung von Virulenzen bzw. Pathotypen kann durch unterschiedliche Methoden erfolgen. Zum einen können Virulenzen im sogenannten „Biotest“ erkannt werden, indem die Vermehrungsraten von Nematodenpopulationen an Wirtspflanzenarten mit unterschiedlichen Resistenzen bestimmt werden. Zum anderen können Virulenzen mit Hilfe von Protein- oder DNA-Untersuchungen identifiziert werden, sobald sie mit bestimmten Proteinen bzw. bestimmten Basensequenzen in Verbindung gebracht werden konnten. Die genannten Methoden sollen am Beispiel der Kartoffelzystennematoden *Globodera rostochiensis* und *G. pallida* näher beschrieben werden, denn bei diesen Nematodenarten sind Pathotypen bereits seit langem bekannt, und entsprechend viele Erfahrungen wurden bei der Pathotypendifferenzierung gesammelt.

Bei *G. rostochiensis* und *G. pallida* werden zur Zeit insgesamt acht Pathotypen (Ro1 – Ro5, Pa1 – Pa3) unterschieden (KORT *et al.*, 1977). Für den „Biotest“ wird ein Kartoffelsortiment

mit unterschiedlichen Resistenzen (= Differentialklone) verwendet. Definitionsgemäß werden Populationen mit Vermehrungsraten ≤ 1 als avirulent und mit Vermehrungsraten > 1 als virulent eingestuft. Da die Differentialklone meistens mehrere Resistenzgene unterschiedlichen Ursprungs besitzen, werden viele Populationen mit unterschiedlichen Virulenzen in einer Gruppe mit der Eigenschaft „virulent“ zusammengefaßt. Mit Hilfe des „Biotests“ können einzelne Virulenzen bzw. Pathotypen demnach nur identifiziert werden, wenn ein größeres Sortiment Differentialklone zur Verfügung steht. Dies würde aber bedeuten, daß der „Biotest“ einen großen Materialaufwand erfordert und außerdem zeit- und arbeitsintensiv ist. Aus diesem Grunde werden für eine Pathotypenidentifizierung Protein- und DNA-Untersuchungen bevorzugt: Bei diesen Untersuchungen wird wenig Material benötigt, und sie führen relativ schnell zu Ergebnissen.

Durch Proteinuntersuchungen werden phänotypische Merkmale erfaßt. Diese Merkmale hängen vom Entwicklungsstadium der Nematoden ab, sie können aber auch durch Umweltfaktoren beeinflusst werden. Mit Hilfe von Proteinuntersuchungen (IEF-, SDS-, 2-D-PAGE, Enzymfärbungen, Antikörper) können die genannten *Globodera*-Arten voneinander abgegrenzt werden (BAKKER *et al.*, 1988; BAKKER & BOUWMAN-SMITS, 1988; DEN NIJS & LOCK, 1990; PHILLIPS *et al.*, 1992; SCHOTS *et al.*, 1992; BOSSIS & MUGNIÉRY, 1993; ROBINSON *et al.*, 1993). Hinsichtlich innerartlicher Unterschiede ergeben sich z. T. jedoch sehr komplexe Proteinstrukturen (BAKKER, 1987), die nur anhand von Ähn-

lichkeitskoeffizienten und sich daraus ergebenden Dendrogrammen verarbeitet werden können. Diese lassen teilweise zwar eine Korrelation zu der im „Biotest“ gefundenen Pathotypeneinteilung erkennen, doch eine einwandfreie Pathotypendifferenzierung ist damit nicht möglich.

Mit DNA-Untersuchungen werden genotypische Merkmale erfaßt, die im Hinblick auf den Lebenszyklus der Nematoden keinen Variationen unterliegen. Da bei einer Genomanalyse auch die Sequenzen untersucht werden können, die kein phänotypisches Merkmal kodieren, können mehr „Merkmale“ als bei Proteinuntersuchungen auf ihre Eignung zur Pathotypendifferenzierung hin getestet werden. Durch DNA-Untersuchungen (RFLPs nach Ethidiumbromidfärbung sowie nach Hybridisierung mit heterologen oder homologen Sonden, PCR) können die beiden Arten der Kartoffelzystennematoden voneinander unterschieden werden (BURROWS & PERRY, 1988; DE JONG *et al.*, 1989; SCHNICK *et al.*, 1990; STRATFORD *et al.*, 1992; FOLKERTSMA *et al.*, 1994; BLOK & PHILLIPS, 1995; GONZALES *et al.*, 1995). Des weiteren ist innerhalb der Art *G. pallida* eine Differenzierung zwischen dem Pathotyp Pa1 und den Pathotypen Pa2/Pa3 möglich (PHILLIPS *et al.*, 1992; STRATFORD *et al.*, 1992). Der Versuch, Populationen den Pathotypen Ro1 – Ro5 bzw. Pa2/Pa3 zuzuordnen, resultierte in einer Vielzahl von RFLP- bzw. PCR-Mustern (SCHNICK *et al.*, 1990; BURGERMEISTER *et al.*, 1992; FOLKERTSMA *et al.*, 1994; eigene Untersuchungen), mit deren Hilfe für die Populationen Ähnlichkeitskoeffizienten ermittelt und Dendrogramme erstellt wurden.

Wie bei den Proteinuntersuchungen kann nur teilweise eine Korrelation zu der im „Biotest“ gefundenen Pathotypeneinteilung festgestellt werden, eine einwandfreie Pathotypendifferenzierung ist jedoch nicht möglich.

Die Protein- und DNA-Untersuchungen von *G. rostochiensis* und *G. pallida* zeigen, daß eine Pathotypendifferenzierung bei den Populationen nicht einfach ist. Eine eindeutige Pathotypenidentifizierung mit Protein- oder DNA-Untersuchungen setzt nämlich voraus, daß die Virulenzen mit bestimmten Proteinen bzw. bestimmten Basensequenzen in Verbindung gebracht und diese anhand spezifischer Marker erkannt werden können. Da sich Pathotypen außer in ihrer Virulenz auch in anderen Merkmalen unterscheiden können, müssen die spezifischen Marker mit der Virulenz bzw. dem Virulenzgen oder eng damit gekoppelten Merkmalen korreliert sein. Wenn spezifische Marker vorhanden sind, die diese Forderungen erfüllen, bieten Protein- und DNA-Untersuchungen den Vorteil einer sicheren Pathotypenidentifizierung mit Methoden, die einen relativ geringen Material- und Zeitaufwand benötigen und eine eindeutige Aussage, „ja“ oder „nein“, erlauben.

Pathotypen bei *Heterodera schachtii*

Lange Zeit wurden Populationen des Weißen Rübenzystennematoden, *Heterodera schachtii*, hinsichtlich ihrer Virulenz als unveränderlicher Bestandteil in der Wirt-Parasit-Beziehung angesehen. Dieser Standpunkt ist aufgrund von neueren Untersu-

chungsergebnissen nicht mehr haltbar.

Verschiedene *H. schachtii*-Populationen wurden sowohl an anfälligem Raps als auch an einer nematodenresistenten Translokationslinie der Zuckerrübe (KWS-NR 1, mit dominantem Resistenzgen des Chromosoms 1 von *Beta procumbens*) vermehrt (MÜLLER, 1992). Bereits nach sechs Vermehrungszyklen an KWS-NR 1 hatten sich Nematodenpopulationen entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer Virulenz von den Ausgangspopulationen unterscheiden. Die selektierten Populationen zeigen im Gegensatz zu den Ausgangspopulationen eine deutlich erhöhte Vermehrungsrate an KWS-NR 1. Sie werden deshalb als virulent bezeichnet und dem Pathotyp Schach1 zugeordnet (MÜLLER & KLINKE, 1996).

Eigene Untersuchungen zur Pathotypendifferenzierung bei *H. schachtii*

Um Pathotypen bzw. Virulenzen in *H. schachtii*-Populationen mit Protein- oder DNA-Untersuchungen identifizieren zu können, müssen spezifische Marker gefunden werden. Auf der Suche danach gibt es bei dem bisher beschriebenen Pathotyp von *H. schachtii* folgende gute Voraussetzung: Die virulenten Nematodenpopulationen, die an KWS-NR 1 selektiert wurden, können gemeinsam mit ihrer jeweiligen avirulenten Ausgangspopulation untersucht werden. Da sich die virulenten und avirulenten Populationen entsprechend dem Selektionsdruck in ihrer Virulenz unterscheiden, sollten alle phänotypischen oder genotypischen Merkmalsunterschiede zwi-

schen den Populationen mit der Virulenz bzw. dem Virulenzgen zu tun haben oder aber eng mit ihr/ihm gekoppelt sein.

1) DNA-Untersuchungen

Zunächst wurde versucht, den Pathotyp Schach1 und avirulente Populationen von *H. schachtii* mit DNA-Untersuchungen zu differenzieren. Dafür wurden die Herkünfte 74 (Rheinland) und 129 (Irland) der Populationssammlung verwendet, die im Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde der BBA in Münster ständig erhalten wird. Von beiden Herkünften ist sowohl die an anfälligem Raps vermehrte Ausgangspopulation (74- bzw. 129-avirulent) als auch die an resistenter Zuckerrübe selektierte Population (74- bzw. 129-virulent) vorhanden.

Die Gesamt-DNA der Nematoden wurde isoliert und mit 11 verschiedenen Restriktionsendonukleasen geschnitten. Die entstandenen Fragmente wurden in Agarose- und Polyacrylamid (= PAA)-Gelen aufgetrennt. Nach Ethidiumbromidfärbung der Gele wurden die Fragmentmuster (RFLPs) untersucht. Die RFLPs konnten in den meisten Fällen nicht für eine Differenzierung der Herkünfte oder der avirulenten und virulenten Populationen verwendet werden. Die Bahnen wiesen grundsätzlich eine durchgehende Färbung auf, die durch viele verschieden große Fragmente entsteht. Die wenigen sichtbaren Banden, die durch repetitive DNA-Sequenzen gebildet werden, traten fast immer bei allen Populationen auf. Nur bei *SacI*-geschnittener DNA war ein deutlicher Unterschied zwischen

den Herkünften 74 und 129 zu erkennen. Die Herkunft 74 weist im Größenbereich von 400 Basenpaaren (Bp) eine Bande auf, die bei der Herkunft 129 nicht zu sehen ist.

Mit dem ca. 400 Bp langen Fragment ist zwar keine Differenzierung von avirulenten und virulenten Populationen möglich, doch das Fragment schien zumindest für die Aufklärung von Verwandtschaftsbeziehungen nützlich zu sein. Aus diesem Grunde wurde das Fragment aus Nematoden der Population 74-virulent isoliert und anschließend kloniert. In einem parallelen Ansatz wurden durch „shot gun“-Klonierung weitere 28 SacI-Fragmente aus Nematoden derselben Population kloniert.

Im folgenden Versuch wurde das klonierte ca. 400 Bp lange Fragment gegen SacI-geschnittene DNA aus Nematoden der Populationen 74-virulent, 74-avirulent und 129-virulent, 129-avirulent hybridisiert, wobei die DNA zuvor durch einen Southern-Blot auf einer Membran immobilisiert worden war. Es zeigte sich, daß nicht nur die DNA der Herkunft 74, sondern auch die der Herkunft 129 mit dem Fragment hybridisierte (Abb. 1). Bei beiden Herkünften war das gleiche Bandenmuster zu sehen, das eine für repetitive DNA-Sequenzen typische Leiterstruktur zeigte. Der einzige Unterschied zwischen den Herkünften bestand darin, daß die jeweilige DNA unterschiedlich stark mit dem Fragment hybridisierte. Verglichen mit der Herkunft 129 zeigte die Herkunft 74 ein wesentlich stärkeres Signal, wodurch auch der Unterschied zwischen den RFLP-Mustern im Ethidiumbromid-gefärbten PAA-Gel erklärt wird. Neben einer Differenzierung der Her-

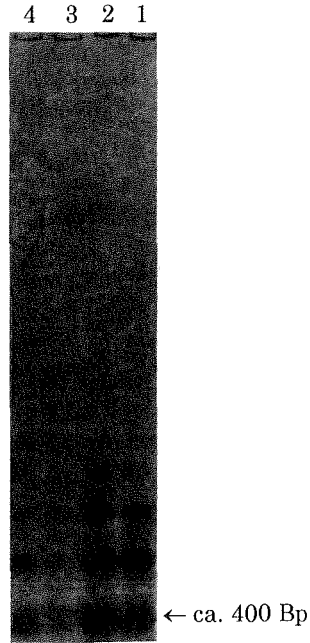


Abb. 1: SacI-geschnittene *H. schachtii*-DNA nach Southern-Blot hybridisiert gegen ein ca. 400 Bp langes Fragment aus der Population 74-virulent.

DNA aus Nematoden der Population 74-avirulent (Bahn 1), 74-virulent (Bahn 2), 129-avirulent (Bahn 3) und 129-virulent (Bahn 4). Die geschnittene *H. schachtii*-DNA wurde in einem 0,8 % Agarosegel aufgetrennt. Die Fragmentmarkierung erfolgte mit Hilfe von Zufallsprimern und Digoxigenin (Boehringer). Das hybridisierte Fragment wurde durch eine Farbreaktion mit alkalischer Phosphatase und Nitroblau-Tetrazoliumchlorid, 5-Bromo-4-chloro-3-indolylphosphat sichtbar gemacht.

künfte ist auch eine Differenzierung zwischen dem Pathotyp und den avirulenten Populationen möglich. Die virulenten Populationen zeigen im Vergleich zu den avirulenten Populationen ein stärkeres Signal. Dieser Unterschied ist aufgrund der sehr hohen Signalintensität bei der Herkunft 74 allerdings weniger gut zu erkennen

als bei der Herkunft 129. Damit weist das ca. 400 Bp lange Fragment auf DNA-Ebene auf eine Selektion der virulenten Populationen hin. Trotz dieses Befunds ist das Fragment jedoch nicht für eine Pathotypendifferenzierung geeignet, da es nicht zu einer eindeutigen Aussage, „ja“ oder „nein“, führt.

Die SacI-Fragmente aus Nematoden der Population 74-virulent, die im „shot gun“-Verfahren kloniert worden waren, wurden gegen unverdaute DNA der Populationen 74-virulent, 74-avirulent und 129-virulent, 129-avirulent hybridisiert, wobei die DNA zuvor durch einen „dot blot“ auf Membranen immobilisiert worden war. Mit einigen Fragmenten wurden sehr starke Hybridisierungssignale erzielt, wahrscheinlich handelt es sich bei diesen Fragmenten um repetitive DNA. Bei anderen Fragmenten waren nur schwache Hybridisierungssignale zu erkennen. Diese Fragmente müssen demnach Sequenzen besitzen, die nicht sehr häufig oder nur vereinzelt im Genom der Nematoden vorkommen. Im Hinblick auf die einzelnen Fragmente konnte allerdings kein Unterschied zwischen dem Pathotyp und den avirulenten Populationen festgestellt werden. Auch dieses Ergebnis verdeutlicht, daß es nicht einfach ist, spezifische Marker für eine Pathotypendifferenzierung zu finden. Die bisher untersuchten Fragmente waren aller Wahrscheinlichkeit nach nicht mit dem Virulenzgen oder eng damit gekoppelten Sequenzen korreliert. Mit Hilfe dieser Fragmente ist demnach keine eindeutige Aussage, „ja“ oder „nein“, über das Auftreten von Pathotypen möglich.

2) Proteinuntersuchungen

Die Eigenschaft „Virulenz“ muß zu den phänotypischen Merkmalen von parasitären Nematoden gehören, so daß ein Vergleich von Proteinen aus Nematoden avirulenter und virulenter Populationen möglicherweise eine Pathotypendifferenzierung erlaubt.

Für Proteinuntersuchungen wurden die Populationen 129-avirulent und 129-virulent verwendet, da bei diesen Populationen nach einer Hybridisierung der jeweiligen Gesamt-DNA mit einem ca. 400 Bp langen Fragment (s. DNA-Untersuchungen) deutlich unterschiedliche Signalintensitäten auftraten. Gesamtextrakte von Zysten, Infektionslarven (L₂) und weißen Weibchen wurden in einem diskontinuierlichen PAA-SDS-Gel aufgetrennt und durch eine Silberfärbung sichtbar gemacht. Bei den Zysten-Extrakten war eine Auswertung nicht möglich, da die Bahnen homogen angefärbt waren. Wahrscheinlich führten Bestandteile der Zystenwand zu dieser intensiven Farbreaktion. Im Gegensatz dazu konnten bei den Extrakten von L₂ und weißen Weibchen Banden festgestellt werden. Die Gesamtextrakte von weißen Weibchen ergaben viele Banden, die jedoch keine Unterscheidung zwischen der avirulenten und der virulenten Population zuließen. Bei den Gesamtextrakten von L₂ waren nur wenige Banden zu sehen, doch in diesem Fall trat ein deutlicher Unterschied im Bandenmuster auf. Bei der Population 129-virulent zeigte sich eine Bande, die bei der Population 129-avirulent nicht bzw. in wesentlich geringerer Intensität vorhanden war (Abb. 2a). Anhand eines Proteinmarkers wurde diese Bande in einem

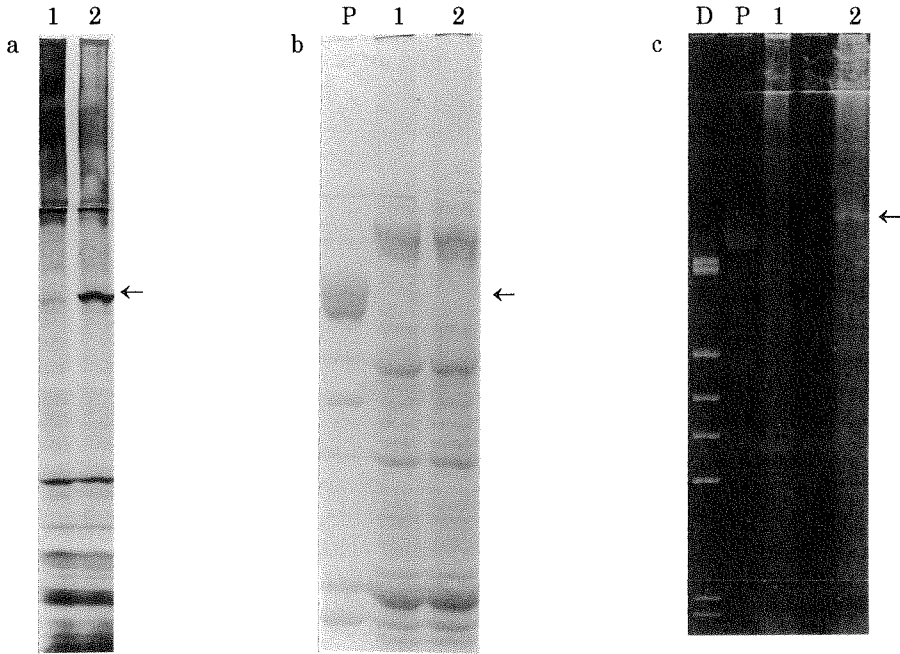


Abb. 2: Gesamtextrakte von L_2 der Herkunft 129 aufgetrennt in einem 7,5 % PAA-SDS-Gel. Gel nach einer Silberfärbung (a), einer Fast Green FCF-Färbung (b) und einer Ethidiumbromidfärbung (c). Gesamtextrakt von L_2 der Population 129-avirulent (Bahn 1) und 129-virulent (Bahn 2). Bahn P: Proteinmarker = RNA-Polymerase aus *Escherichia coli* (160 kD, 150 kD, 70 – 80 kD, 40 kD). Bahn D: DNA-Marker = pBR328xAluI (932 Bp, 831 Bp, 671 Bp, 521 Bp, 464 Bp, 403 Bp, 272 Bp, 257 Bp). Die Pfeile weisen auf den Gelbereich, in dem die „selektive“ Bande der Population 129-virulent liegt.

weiteren Versuch auf einen Größenbereich von 150 – 160 kD festgelegt.

Durch eine Silberfärbung werden nicht nur Proteine, sondern auch Nukleinsäuren erfaßt. Um spezifisch Proteine oder Nukleinsäuren nachzuweisen, wurden die nächsten Gele mit verschiedenen Farbstoffen behandelt. Durch die Farbstoffe Serva Blau R, Fast Green FCF und Amidoschwarz 10B, die zur Anfärbung von Proteinen eingesetzt werden, wurde bei den L_2 -Gesamtextrakten keine Bande im Größenbereich von 150 – 160 kD angefärbt (Abb. 2b). Ethidiumbromid und Acridinorange, Fluoreszenzfarbstoffe zum

Nachweis von Nukleinsäuren, machten die „selektive“ Bande der Population 129-virulent dagegen sichtbar (Abb. 2c). Anhand eines DNA-Markers wurde die Bande in diesen Gelen auf einen Größenbereich von 1300 Bp festgelegt.

Die zuletzt genannten Ergebnisse sprechen dafür, daß die „selektive“ Bande der Population 129-virulent nicht von einem Protein, sondern von einer Nukleinsäure gebildet wird. Aufgrund der Molekülgröße erscheint es außerdem wahrscheinlich, daß es sich nicht um eine DNA, sondern um eine RNA handelt. Um diese Vermu-

tung zu überprüfen, wurden die L₂-Gesamtextrikte der Populationen 129-avirulent und 129-virulent vor dem Gelauftrag mit Proteinase K, Phenol und RNase A behandelt. Im silbergefärbten Gel zeigten die unbehandelten Extrakte erneut den Bandenunterschied. Bei den Proteinase K-behandelten Extrakten konnte keine Auswertung erfolgen, da die Bahnen eine sehr starke Hintergrundfärbung aufwiesen. Bei den Phenol-behandelten Extrakten war der Bandenunterschied zwischen den Populationen ebenso sichtbar wie bei den unbehandelten Extrakten. Erst nach der anschließenden RNase A-Behandlung dieser Extrakte war die „selektive“ Bande der Population 129-virulent nicht mehr im Gel nachzuweisen. Somit zeigte sich bei den L₂-Gesamtextrikten, die eigentlich zur Untersuchung von Proteinen vorgesehen waren, ein Unterschied zwischen den Populationen 129-avirulent und 129-virulent auf RNA-Ebene.

3) RNA-Untersuchungen

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse von L₂-Gesamtextrikten der Populationen 129-avirulent und 129-virulent (s. Proteinuntersuchungen) wurde die Gesamt-RNA aus L₂ dieser beiden Populationen isoliert. Nach einer Auftrennung der Gesamt-RNA in einem diskontinuierlichen PAA-SDS-Gel und anschließender Silberfärbung trat der Bandenunterschied, der bei den L₂-Gesamtextrikten zwischen den Populationen zu sehen war, jedoch nicht auf. Daher erschien es für weitere Untersuchungen der „selektiven“ Bande der Population 129-virulent einfacher, die Bande nach einer Auf-

trennung von L₂-Gesamtextrikt direkt aus dem PAA-SDS-Gel zu isolieren.

Nach der Isolierung wurde die Substanz, die die „selektive“ Bande der Population 129-virulent bildet, mit verschiedenen Enzymen behandelt. Eine Proteinase K- bzw. DNase I-Behandlung zeigte keinerlei Wirkung. Durch eine Verdauung mit RNase A wurde die Substanz jedoch abgebaut. Diese Ergebnisse sprechen für die Annahme, daß es sich bei der Substanz um RNA handelt.

Um die Länge der isolierten RNA zu bestimmen, wurde die RNA in einem PAA-Harnstoff-Gel aufgetrennt. Nach einer Ethidiumbromidfärbung wurde die Länge der RNA anhand eines RNA-Markers auf ca. 500 Nukleotide festgelegt (Abb. 3). Parallel zu der RNA wurden in dem PAA-Harnstoff-Gel auch DNA-Extrakte aus Nematoden der Populationen 129-avirulent und 129-virulent aufgetrennt, die nicht mit RNase A behandelt worden waren. Im Gegensatz zu der Population 129-avirulent erschien bei der Population 129-virulent eine deutliche Bande, die im gleichen Größenbereich wie die isolierte RNA liegt (Abb. 3). Da bei diesen DNA-Extrakten die RNA nicht entfernt wurde, scheinen sich die Populationen 129-avirulent und 129-virulent tatsächlich durch eine RNA zu unterscheiden.

Weitere Untersuchungen der isolierten RNA, speziell zu ihrer Einsatzmöglichkeit als virulenzspezifischer Marker, sind leichter durchzuführen, wenn die RNA in großen Mengen zur Verfügung steht. Es ist daher notwendig, die RNA in Form einer cDNA zu klonieren. Für eine cDNA-Synthese ist es nützlich, daß mRNA meistens am 3'-Ende polyadenyliert ist. Wenn die

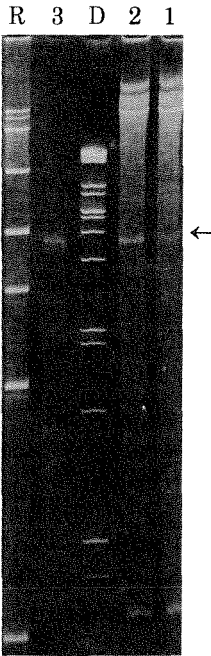


Abb. 3: DNA aus L_2 der Herkunft 129 und die RNA aus der „selektiven“ Bande der Population 129-virulent aufgetrennt in einem 5 % PAA-Harnstoff-Gel.

DNA aus L_2 der Population 129-avirulent (Bahn 1) und 129-virulent (Bahn 2). Isolierte RNA aus der „selektiven“ Bande der Population 129-virulent (Bahn 3). Bahn D: DNA-Marker = λ^+ xPstI (> 10000 Bp, 5077 – 4507 Bp, 2838 Bp, 2560 – 2443 Bp, 2140 – 1986 Bp, 1700 Bp, 1159 – 1093 Bp, 805 Bp, 514 Bp, 468 – 448 Bp, 339 Bp, 264 Bp, 247 Bp). Bahn R: RNA-Marker von GIBCO BRL (1770 B, 1520 B, 1280 B, 780 B, 530 B, 400 B, 280 B, 160 B). Der Pfeil weist auf den Gelbereich, in dem die „selektive“ Bande der Population 129-virulent liegt. Die DNA wurde bei dieser Isolierung nicht mit RNase A behandelt. Das Gel wurde mit Ethidiumbromid gefärbt.

isolierte RNA ebenfalls eine Poly(A)-Sequenz besitzt, muß sie an Poly(T)-Oligomere binden können. In einem entsprechenden Versuch wurde die RNA mit Dynabeads (Dyna), das sind

Magnetpartikel mit kovalent gebundenen Poly(T)-Oligomeren, inkubiert. Es stellte sich heraus, daß die RNA nicht an die Poly(T)-Oligomere bindet. Folglich ist die isolierte RNA am 3'-Ende nicht polyadenyliert und kann bei einer cDNA-Synthese nicht mit einem Poly(T)-Primer hybridisieren.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um von einer RNA ohne bekannte Primerbindungsstelle eine cDNA-Kopie herzustellen. Zum einen kann die RNA mit Hilfe von Zufallsprimern in cDNA umkopiert werden. Zum anderen kann eine Primerbindungsstelle für eine cDNA-Synthese geschaffen werden, indem die RNA *in vitro* polyadenyliert wird. Die zuletzt genannte Methode hat den Vorteil, daß eine endständige Primerbindungsstelle es sehr viel wahrscheinlicher macht, von der gesamten RNA-Sequenz eine cDNA zu erhalten. Aufgrund dieser Überlegung soll die isolierte RNA zunächst polyadenyliert werden. Danach sollte dann eine cDNA-Synthese und -Klonierung möglich sein. Mit Hilfe eines cDNA-Klons kann schließlich geprüft werden, ob die Sequenz der isolierten RNA als spezifischer Marker für eine Pathotypendifferenzierung bei *H. schachtii* geeignet ist.

Pathotypendifferenzierung bei *H. schachtii* mit einem spezifischen Marker

Wenn sich die isolierte RNA bzw. ein cDNA-Klon mit der entsprechenden Sequenz als virulenzspezifischer Marker eignet, stehen für die Identifizierung des entsprechenden Pathotyps einfach durchzuführende Methoden zur Verfügung. Eine einfach

durchzuführende Methode besteht darin, Gesamtextrakte von Nematoden durch einen „dot blot“ auf Membranen zu immobilisieren und anschließend mit dem virulenzspezifischen Marker zu hybridisieren. Die Hybridisierungsreaktion kann durch eine Farbreaktion kontrolliert werden. Findet eine Hybridisierung statt, dann gehören Nematoden der untersuchten Population zum Pathotyp. Erfolgt eine Hybridisierung nicht, so tritt der Pathotyp in der Population nicht auf bzw. die Anzahl der Nematoden, die zum Pathotyp gehören, liegt unter der Nachweisgrenze. In diesem Falle kann eine empfindlichere, aber auch etwas aufwendigere Methode angewandt werden.

Bei der empfindlicheren Methode, der Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR), wird der virulenzspezifische Marker, in diesem Falle in Form eines Oligonukleotidpaares, dazu benutzt, um die virulenzspezifische Sequenz in Gesamtextrakten von Nematoden anzureichern. Die Reaktion wird mit Hilfe eines Ethidiumbromid-gefärbten Gels kontrolliert. Wird die virulenzspezifische Sequenz amplifiziert, dann sind Nematoden des Pathotyps in der untersuchten Population vorhanden. Findet eine Amplifikation nicht statt, so kommt der Pathotyp in der Population nicht vor.

Mit den beschriebenen Methoden ist eine Pathotypendifferenzierung bei Feldpopulationen von *H. schachtii* in relativ kurzer Zeit möglich. Unabhängig von der gewählten Methode müssen aber noch Vorgaben entwickelt werden, die zum einen die zu untersuchende Probenmenge und zum anderen die Auswertung des Ergebnisses betreffen. Die zu untersuchende

Probenmenge muß so gewählt werden, daß sowohl bei der Probenahme im Feld als auch bei der molekularbiologischen Untersuchung geringe Anteile virulenter Nematoden erfaßt werden können. Bei der Auswertung des Ergebnisses, das mit einer der beschriebenen DNA-Untersuchungen erzielt wird, sollte jeder Nachweis eines noch so geringen Anteils virulenter Nematoden zu der Empfehlung führen, daß Zuckerrüben mit einer Resistenz, die der nachgewiesene Pathotyp überwinden kann, nicht angebaut werden.

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchungen war es, den Pathotyp Schach1 von *Heterodera schachtii* mit Hilfe molekularbiologischer Methoden zu identifizieren. Die Methoden werden am Beispiel der Kartoffelzystennematoden *Globodera rostochiensis* und *G. pallida* vorgestellt, da bei diesen Nematoden bereits Erfahrungen mit der Pathotypendifferenzierung gesammelt wurden.

Auf der Grundlage eigener Untersuchungen werden molekularbiologische Arbeiten beschrieben, mit deren Hilfe avirulente und virulente Populationen von *H. schachtii* unterschieden werden sollen. DNA-Untersuchungen in Form von Restriktionsfragmentlängenpolymorphismen oder Hybridisierungen mit homologen Sonden erlaubten keine Differenzierung der verschiedenen virulenten Populationen. Bei einer Untersuchung von L₂-Gesamtextrakten der Populationen 129-avirulent und 129-virulent zeigte sich ein Unterschied, der durch eine RNA hervorgerufen wird. Die RNA, die spezi-

fisch für die Population 129-virulent ist, wurde isoliert.

Abschließend wird diskutiert, wie die isolierte RNA in größeren Mengen als Marker zur Differenzierung der avirulenten und virulenten Populationen produziert werden kann. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der Methoden, die für eine Pathotypendifferenzierung eingesetzt werden können.

Literatur

- BAKKER, J. (1987): Protein variation in cyst nematodes. Proefschrift, Landbouwniversiteit te Wageningen.
- BAKKER, J.; SCHOTS, A.; BOUWMAN-SMITS, L. & GOMMERS, F.J. (1988): Species-specific and thermostable proteins from second-stage larvae of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Phytopathology* **78**, 300-305.
- BAKKER, J. & BOUWMAN-SMITS, L. (1988): Contrasting rates of protein and morphological evolution in cyst nematode species. *Phytopathology* **78**, 900-904.
- BENIERS, A.; MULDER, A. & SCHOUTEN, H.J. (1995): Selection for virulence of *Globodera pallida* by potato cultivars. *Fundam. appl. Nematol.* **18**, 497-500.
- BLOK, V.C. & PHILLIPS, M.S. (1995): The use of repeat sequence primers for investigating genetic diversity between populations of potato cyst nematodes with differing virulence. *Fundam. appl. Nematol.* **18**, 575-582.
- BOSSIS, M. & MUGNIÉRY, D. (1993): Specific status of six *Globodera* parasites of solanaceous plants studied by means of two-dimensional gel electrophoresis with a comparison of gel patterns by a computed system. *Fundam. appl. Nematol.* **16**, 47-56.
- BURGERMEISTER, W.; RUMPENHORST, H.J.; STEHR, J.; SCHNICK, D.; ABBOTT, A.G. & STRATFORD, R. (1992): Differenzierung von Populationen und Pathotypen des Kartoffelnematoden *Globodera rostochiensis* mit Hilfe von DNA-Sonden. *Nachrichtbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **44**, 169-174.
- BURROWS, P.R. & PERRY, R.N. (1988): Two cloned DNA fragments which differentiate *Globodera pallida* from *G. rostochiensis*. *Rev. Nématol.* **11**, 441-445.
- DE JONG, A.J.; BAKKER, J.; ROOS, M. & GOMMERS, F.J. (1989): Repetitive DNA and hybridization patterns demonstrate extensive variability between the sibling species *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Parasitology* **99**, 133-138.
- DEN NIJS, L.J.M.F. & LOCK, C.A.M. (1990): Quantification of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* in mixed populations using species-specific thermostable proteins. *Neth. J. Plant Pathol.* **96**, 179-186.
- FOLKERTSMA, R.T.; ROUPPE VAN DER VOORT, J.N.A.M.; VAN GENT-PELZER, M.P.E.; DE GROOT, K.E.; VAN DEN BOS, W.J.(R.); SCHOTS, A.; BAKKER, J. & GOMMERS, F.G. (1994): Inter- and intraspecific variation between populations of *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* revealed by random amplified polymorphic DNA. *Phytopathology* **84**, 807-811.
- GONZALES, J.A.; PHILLIPS, M.S. & TRUDGILL, D.L. (1995): RFLP analysis in Canary Islands and North European populations of potato cyst nematodes (*Globodera* spp.). I. Analysis of high copy fragments. *Nematologica* **41**, 468-479.
- JANSENSEN, R.; BAKKER, J. & GOMMERS, F.J. (1990): Selection of virulent and avirulent lines of *Globodera rostochiensis* for the H₁ resistance gene in *Solanum tuberosum* ssp. *andigena* CPC 1673. *Rev. Nématol.* **13**, 265-268.
- JARQUIN-BARBERENA, H.; DALMASSO, A.; DE GUIRAN, G. & CARDIN, M.-C. (1991): Acquired virulence in the plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. 1. Biological analysis of the phenomenon. *Rev. Nématol.* **14**, 299-303.
- KORT, J.; ROSS, H.; RUMPENHORST, H.J. & STONE, A.R. (1977): An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Nematologica* **23**, 333-339.
- MÜLLER, J. (1992): Detection of pathotypes by assessing the virulence of *Heterodera schachtii* populations. *Nematologica* **38**, 50-64.

- MÜLLER, J. & KLINKE, A. (1996): Selektion virulenter Populationen von *Heterodera schachtii* und ihre Nutzung zur Charakterisierung von Resistenzgenen in Beta-Rüben. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **317**, 102-116.
- PASTRIK, K.-H.; RUMPENHORST, H.J. & BURGERMEISTER, W. (1995): Random amplified polymorphic DNA analysis of a *Globodera pallida* population selected for virulence. Fundam. appl. Nematol. **18**, 109-114.
- PHILLIPS, M.S.; HARROWER, B.E.; TRUDGILL, D.L.; CATELY, M.A. & WAUGH, R. (1992): Genetic variation in British populations of *Globodera pallida* as revealed by isozyme and DNA analyses. Nematologica **38**, 304-319.
- ROBINSON, M.P.; BUTCHER, G.; CURTIS, R.H.; DAVIES, K.G. & EVANS, K. (1993): Characterisation of a 34 kD protein from potato cyst nematodes using monoclonal antibodies with potential for species diagnosis. Ann. appl. Biol. **123**, 337-347.
- SCHNICK, D.; RUMPENHORST, H.J. & BURGERMEISTER, W. (1990): Differentiation of closely related *Globodera pallida* (Stone) populations by means of DNA restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). J. Phytopathol. **130**, 127-136.
- SCHOTS, A.; GOMMERS, F.J. & EGBERTS, E. (1992): Quantitative Elisa for the detection of potato cyst nematodes in soil samples. Fundam. appl. Nematol. **15**, 55-61.
- STRATFORD, R.; SHIELDS, R.; GOLDSBROUGH, A.P. & FLEMING, C. (1992): Analysis of repetitive DNA sequences from potato cyst nematodes and their use as diagnostic probes. Phytopathology **82**, 881-886.
- TURNER, S.J. (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.
- YOUNG, L.D. (1994): Changes in reproduction of a *Heterodera glycines* race 5 isolate cultured on "Cordell" and "Bedford" soybean. J. Nematol. **26** (Suppl. 4), 653-655.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Heike Eschert,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie
und Wirbeltierkunde,
Topphaideweg 88, 48161 Münster

Zuckerrüben mit Resistenz gegen *Heterodera schachtii*: Abundanzdynamik des Nematoden und Ertragsleistung im Feldversuch

Resistance in sugar beet to *Heterodera schachtii*: Nematode population dynamics and sugar beet yield under field conditions

JOSEF SCHLANG und JOACHIM MÜLLER

Abstract

The influence of four sugar-beet hybrids, with resistance against *Heterodera schachtii*, on nematode population dynamics was investigated in a field trial. In addition, yield and quality parameters of the resistant hybrids were determined. For the first time it was possible to test these parameters for a broad spectrum of nematode population densities at the same location. The results indicate that the influence of resistant sugar-beet hybrids on the population dynamics of *H. schachtii* is clearly correlated with the initial nematode population density (P_i). A specific equilibrium density of *H. schachtii* can be determined for each resistant hybrid.

At high P_i -levels the yield of three resistant sugar-beet hybrids exceeded the control result (57,1 t/ha) significantly. At low P_i -levels the susceptible control variety produced a higher yield (69,6 t/ha) than the resistant hybrids. The sugar content of resistant hybrids (15,5 to 16,4 %) was clearly below that of the susceptible variety 'Anna' (18 %). The values of quality parameters (related to 100 g beet root) exceeded the control level by ca. 50 %. The results demonstrate that, at low nematode population densities, resistant sugar-beet hybrids are inferior to susceptible varieties, at high population densities, however, they are competitive.

Keywords: sugar beet, resistance, *Heterodera schachtii*, population dynamics, sugar-beet yield, field trial

Die Bekämpfung des Rübenzysten-nematoden (*Heterodera schachtii*) ist trotz mehr als hundertjähriger Forschungsarbeit auch heute noch nicht befriedigend gelöst. Mit Hilfe von Nematiziden war es zwar vorübergehend möglich, die Erträge zu sichern, wegen der damit verbundenen ökologischen und toxikologischen Probleme stehen diese Mittel aber heute in Deutschland nicht mehr zur Verfügung. Resistente Sorten von Ölrettich und Weißem Senf, angebaut entweder als Zwischenfrucht oder als ganzjährige Kultur im Rahmen der Flächenstilllegung,

haben die chemische Bekämpfung inzwischen abgelöst. Diese biologische Maßnahme fand fast überall dort Eingang in die Praxis, wo *H. schachtii* ein Problem ist, und sie ist ein Musterbeispiel dafür, daß integrierter Pflanzenschutz auch ohne chemische Mittel im Ackerbau gelingen kann (SCHLANG, 1991). Resistente Kreuziferen können allerdings den Abbau der Schädlingsdichte nur soweit beschleunigen, daß in der Regel eine dreijährige Fruchtfolge ohne Ertragsausfall möglich ist. Das eigentliche Problem, nämlich der regelmäßige wiederkehrende Anstieg

der Populationsdichte unter Zuckerrüben, kann selbst durch Mischkultur von resistentem Ölrettich und Zuckerrüben nicht gelöst werden (MÜLLER, 1985). Nach heutigem Kenntnisstand läßt sich die Vermehrung von *H. schachtii* an der Hauptkultur nur verhindern, indem Resistenz in die Zuckerrübe selbst eingekreuzt wird.

Erste Versuche, resistente Zuckerrüben durch Massenauslese schwach befallener Pflanzen zu erzeugen, scheiterten (MOLZ, 1917), und auch spätere Bemühungen blieben erfolglos (PRICE, 1965; CURTIS, 1970). Die Kulturrübe besitzt offenbar keine Gene, die deutliche Resistenz vermitteln. Solche Gene treten aber in drei Arten der Sektion *Procumbentes* auf. SAVITSKY (1975) arbeitete mit diesen Wildrüben und konnte als Erste Resistenz aus *Beta procumbens* in die Kulturrübe einkreuzen. Der Weg bis zu einer resistenten Sorte war aber noch weit. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten verlagerte sich im Laufe der Jahre von Kalifornien nach Europa, und bis zum Ende der achtziger Jahre konnten Additions- und Translokationslinien mit Resistenz aus *B. procumbens*, *B. webbiana* und *B. patellaris* geschaffen werden. Eine Übersicht über den Ablauf dieser züchterischen Arbeiten geben LANGE *et al.* (1990); weitere Hinweise finden sich in diesem Heft (MÜLLER & KLINKE, 1996).

Das bis dahin in wissenschaftlichen Institutionen erstellte Zuchtmaterial wurde von privaten Firmen erworben und weiter züchterisch bearbeitet. Ziel ist es, resistente Zuckerrübensorten zu schaffen, die möglichst wenige der unerwünschten Wildrübeneigenschaften enthalten. Da die Resistenz domi-

nant vererbt wird, läßt sich dieses Ziel durch Kreuzung eines homozygot resistenten Pollenspenders und einer männlich sterilen, anfälligen Zuckerrübenlinie erreichen. Die Praxis hat aber gezeigt, daß die Nachkommen-schaft dieser Kreuzung auch anfällige Pflanzen enthält, die Transmission der Resistenz also nicht zu 100 % erfolgt. Zur Zeit ist nicht sicher geklärt, ob das die Resistenz tragende Chromosomenstück gelegentlich abgestoßen wird, oder ob Fremdbestäubung mit Pollen anfälliger Rübenpflanzen im Zuchtgarten nicht verhindert werden konnte. Beide Fälle führen zum Auftreten heterozygot resistenter Individuen in der Pollenspenderlinie und als Konsequenz tritt in der resistenten Hybridsorte ein gewisser Anteil anfälliger Pflanzen auf. Welche Auswirkungen dies auf die Abundanzdynamik von *H. schachtii* hat, konnte in mehrjährigen Versuchen in Kleinpflanzen gezeigt werden (MÜLLER *et al.*, 1995). Ziel der hier dargestellten Versuche war es unter anderem, die Transmissionsrate in verschiedenen, bis zur Sortenreife entwickelten Zuckerrübenhybriden zu ermitteln und ihren Einfluß auf die Vermehrungsrate von *H. schachtii* praxisnah unter Feldbedingungen zu erfassen.

Resistenz ist für eine Zuckerrübensorte zwar eine wichtige Eigenschaft, sie wird aber nur dann genutzt werden, wenn auch Ertragsleistung und Qualitätsmerkmale ein Mindestniveau erreichen. Erfahrungen dazu wurden durch Feldversuche bereits in den Niederlanden (HEIJBROEK, 1991) sowie in Frankreich (PORTE *et al.*, 1995) gewonnen. Es zeigte sich, daß resistente Hybriden den anfälligen Sorten unter Befallsbedingungen

durchaus überlegen sein können. Für Deutschland lagen entsprechende Untersuchungen bisher nicht vor. Wir haben daher in einem Feldversuch neben den nematologischen Daten auch die Ertragsleistungen sowie die Qualitätseigenschaften von vier resistenten Hybriden ermittelt. Dabei war es erstmals möglich, diese Parameter bei einem breiten Spektrum unterschiedlicher Besatzdichten des Nematoden unter sonst gleichen Standortbedingungen zu prüfen.

Material und Methoden

Saatgut

Für die Versuche stand Saatgut von vier verschiedenen resistenten Zuckerrübenhybriden zur Verfügung¹. Deren Resistenz basiert auf dem Resistenzgen Hs1^{pro-1} aus *B. procumbens* (LANGE *et al.*, 1993). Ein homozygot resistenter Pollenspender wurde jeweils mit einer anfälligen Zuckerrübenlinie gekreuzt. Als Kontrolle diente die anfällige Sorte 'Anna'. Das Saatgut war monogerm und wurde mit den Fungiziden Thiram und Hymexazol sowie mit Imidacloprid als Insektizid gebeizt.

Bestimmung der Transmissionsrate

Die Unterscheidung anfälliger und resistenter Pflanzen erfolgte auf Basis der Entwicklung von Weibchen bzw. Zysten nach Inokulation von Infektionslarven (L₂) an Rübensämlinge. Unter geeigneten Testbedingungen ergeben sich eindeutige Häufigkeitsverteilungen, an denen der Anteil resisten-

ter Pflanzen direkt abgelesen werden kann (MÜLLER, 1992). Die Transmissionsrate ist der Anteil resistenter Pflanzen an der Gesamtzahl aller Testpflanzen.

Die Testpflanzen wurden im Gewächshaus kultiviert. Dazu wurden je 120 PVC-Gefäße (2 x 4 x 12 cm, 96 ml), die unten offen waren, in einer Kiste mit Drahtboden auf ein wasserdurchlässiges Vlies gestellt und mit Löß gefüllt. Der Löß stammte aus dem Braunkohletagebau bei Garzweiler aus einem Bereich unterhalb der durchwurzelt Zone; er wurde mit 1,2 g Osmocote plus / kg Löß gedüngt. Je Gefäß wurde ein pillierter Rübensamen ca. 1 cm tief ausgelegt. 18 Tage später wurden 1000 L₂ als 1 ml wäßrige Suspension in ein ca. 1,5 cm tiefes Loch neben den inzwischen herangewachsenen Rübensämling inokuliert.

Die Auswertung erfolgte sechs Wochen nach Inokulation der Larven. Löß und Zysten wurden über ein Küchensieb (Maschenweite ca. 1 mm) mit scharfem Wasserstrahl von den Pflanzenwurzeln getrennt und auf ein Sieb mit 100 µm Maschenweite gespült. Dieses Sieb kann der Löß fast vollständig passieren, während alle Weibchen und Zysten von *H. schachtii* sicher aufgefangen werden. Sie wurden zusammen mit wenigen groben karbonathaltigen Partikeln in ein kleines Sieb (5 cm Ø, 100 µm) überführt, darin für 5 min in 20 %ige Essigsäure gestellt, um die karbonathaltigen Partikel aufzulösen, und dann mit Wasser auf ein Papierfilter gespült. Auf dem Papierfilter können Weibchen und Zysten zwischen einigen Wurzelresten und Quarzkörnern sicher erkannt und bei zehnfacher Vergrößerung problemlos ausgezählt werden.

¹ Wir danken den Firmen Hilleshög und Strube-Dieckmann für die Bereitstellung des Saatguts.

Anlage und Auswertung des Feldversuchs

Der mehrfaktorielle Versuch wurde 1995 auf einer Fläche der Außenstelle Elsdorf mit der Fruchtfolge Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste und Zwischenfrucht im Frühjahr nach dem Zwischenfruchtanbau auf einem Parabraunerdeboden angelegt. Zur Schaffung unterschiedlicher Besatzdichten von *H. schachtii* wurden im Jahre 1994 Zwischenfrüchte mit unterschiedlicher Wirtseignung angebaut. Der Versuch wurde als Blockversuch mit drei Blöcken und fünf Wiederholungen je Versuchsglied angelegt. Die Größe der Einzelparzellen betrug 22,5 m² (4,5 x 5 m). Nach dem Zwischenfruchtanbau hatte ein Drittel der Parzellen hohe, zwei Drittel hatten niedrige Besatzdichten (Tab. 1). Die Aussaat der Zuckerrüben erfolgte am 15.04.1995 mit einem praxisüblichen sechsreihigen Einzelkorn-Sägerät bei einem Reihenabstand von 45 cm und einer Ablageweite von 9 cm. Die Rüben jeder Variante wurden in zwei nebeneinanderliegenden Reihen gesät, so daß jedes Versuchsglied auf jeder

Parzelle auf einer Teilfläche von 4,5 m² vertreten war. Am 18.05.1995 wurde auf einen Endabstand von 18 cm vereinzelt. Die Versuchsvarianten sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tab. 2: Versuchsglieder des Feldversuchs

| Versuchsglied | Kennzeichnung |
|---------------|----------------------------|
| 1 | 95086 P |
| 2 | 95087 P |
| 3 | HM 1327 |
| 4 | HM 1328 |
| K | 'Anna' (anfäll. Kontrolle) |

Ermittlung der Besatzdichten

Zur Bestimmung der Ausgangsbesatzdichten (P_i -Werte) wurden am 19.04.1995 je Parzelle 4 – 5 kg Boden durch 14 Einstiche (Durchmesser 7 cm, 25 cm tief) entnommen und zu einer Mischprobe zusammengefaßt. Davon wurden 2 x 300 ml Boden nach der Zentrifugationstechnik mit Zuckerköschung ($D = 1,18$) untersucht. Die Besatzdichten im Herbst (P_r -Werte) wurden durch 14 Einstiche (Durchmesser 5 cm, insgesamt 2 – 3 kg Boden)

Tab. 1: Vorfrüchte im Jahre 1994 und die zugehörigen Besatzdichten von *H. schachtii* im Frühjahr 1995 (= P_i -Werte vor Zuckerrüben)

| Vorfrüchte | n | E+L / 100g Boden | | Zuordnung |
|--------------------------|---|------------------|-----------|------------------------|
| | | Spannbreite | \bar{x} | |
| Winterraps 'Falcon' | 5 | 1711 – 4322 | 2635 | hohe Besatzdichten |
| Ölrettich 'Siletta Nova' | 5 | 1514 – 4022 | 3107 | |
| Ölrettich 'Toro' | 5 | 285 – 944 | 545 | niedrige Besatzdichten |
| Ölrettich 'Diabolo' | 5 | 235 – 446 | 374 | |
| Ölrettich 'Adagio' | 5 | 374 – 702 | 497 | |
| Senf 'Condor' | 5 | 169 – 917 | 547 | |

je Parzelle und Sorte bei sonst gleicher Technik wie oben bestimmt. Dabei erfolgten die Einstiche innerhalb der Zweierreihen mit ca. 10 cm Abstand von den Rüben. Insgesamt wurden 150 Bodenproben entnommen und davon je 2 x 300 ml Boden untersucht

Ertragsbestimmung

Die Zuckerrüben wurden blockweise vom 10. bis zum 12. Oktober 1995 von Hand geerntet. Um Bodenvermischungen zu vermeiden, wurde zuerst entblattet, dann erfolgte die Entnahme der Bodenproben und anschließend das Roden der Rüben. Die durchschnittlich 43 Rüben je Variante innerhalb einer Parzelle wurden von der Zuckerfabrik Bedburg gewogen und zuckertechnisch untersucht.²

Statistische Verrechnung

Die Besatzdichten von *H. schachtii* zur Erntezeit (P_f -Werte) wurden für jedes Versuchsglied als Mittelwerte aus 10 (hohe P_i -Werte) bzw. 20 (niedrige P_i -Werte) Wiederholungen bestimmt und varianzanalytisch verrechnet. Zur Darstellung der Beziehung zwischen P_i -Wert und Vermehrungsrate wurden Regressionskurven berechnet. Potenzfunktionen zeigten die beste Anpassung; sie werden mit natürlichen Zahlen einzeln für drei Versuchsglieder sowie in logarithmischem Maßstab zusammengefaßt in einer Grafik wiedergegeben. Die Grenzdifferenzen der Erträge wurden durch mehrfaktorielle Varianzanalyse ermittelt.

Ergebnisse

Transmissionsrate

Abbildung 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Zysten Zahlen pro Pflanze für die anfällige Sorte 'Anna'. Bei einer Klassenbreite von 10 Zysten liegt der Medianwert bei 80 – 90, der Maximalwert bei 190 – 200 Zysten pro Pflanze. Die wichtigere Kenngröße zur Differenzierung zwischen anfälligen und resistenten Pflanzen ist der Minimalwert der Häufigkeitsverteilung, der hier bei 10 – 20 Zysten liegt. Er zeigt an, daß in der resistenten Hybride 1 (Abb. 2) die dritte Klasse (10 – 20 Zysten) den anfälligen Pflanzen zuzuordnen ist. Von insgesamt 108 getesteten Pflanzen waren daher 81 Pflanzen (= 75 %) resistent, der Rest war anfällig. Die Transmissionsrate liegt also bei 75 %. Bei der Hybride 3 ist die Trennung resistenter und anfälliger Pflanzen noch eindeutiger, die Transmissionsrate liegt bei 95,3 %. Die Ergebnisse für die Hybriden 2 und 4 waren denen der Varianten 1 und 3 sehr ähnlich, die Transmissionsraten lagen bei 75 % bzw. 96,4 %.

Populationsentwicklung von *H. schachtii*

Abbildung 4 zeigt die P_f -Werte, die bei hohem Ausgangsbesatz erreicht wurden. Während die anfällige Sorte 'Anna' auf 3900 Eier und Larven (E+L)/100 ml Boden vermehrte, führten alle vier resistenten Hybriden zu einem Populationsrückgang gegenüber dem durchschnittlichen P_i -Wert von 2871 E+L/100 ml Boden. Dabei liegt das Niveau der Varianten 1 und 2, die Transmissionsraten von 75 %

² Wir danken der Zuckerfabrik Bedburg AG für die Durchführung der zuckertechnischen Untersuchungen.

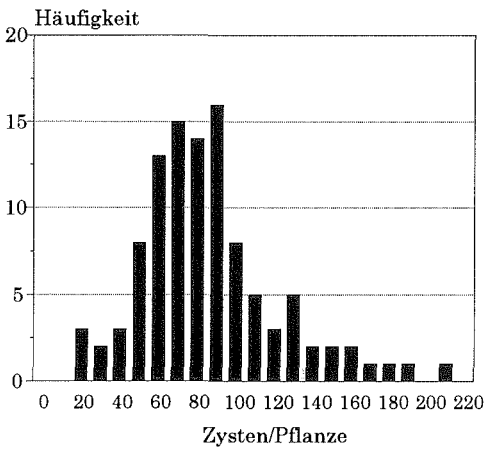


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Zysten pro Pflanze bei der anfälligen Sorte 'Anna'

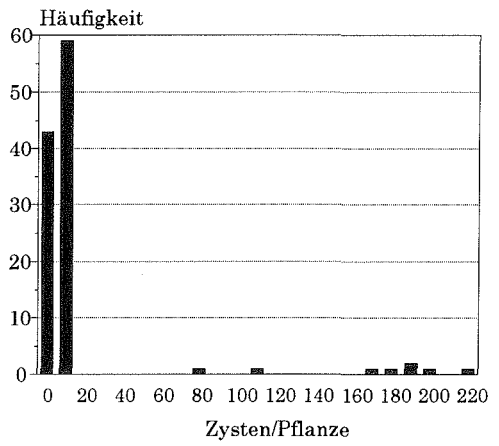


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Zysten pro Pflanze bei der Zuckerrübenhybride 3

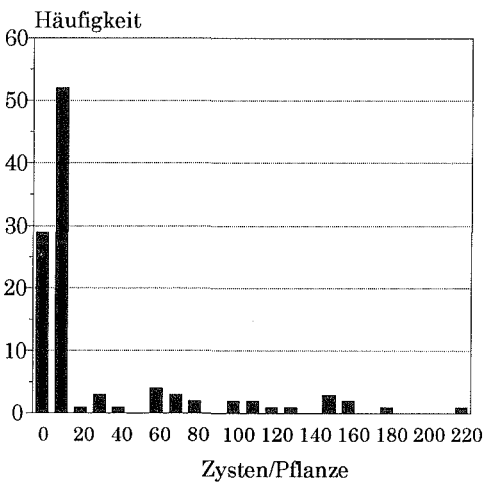


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Zysten pro Pflanze bei der Zuckerrübenhybride 1

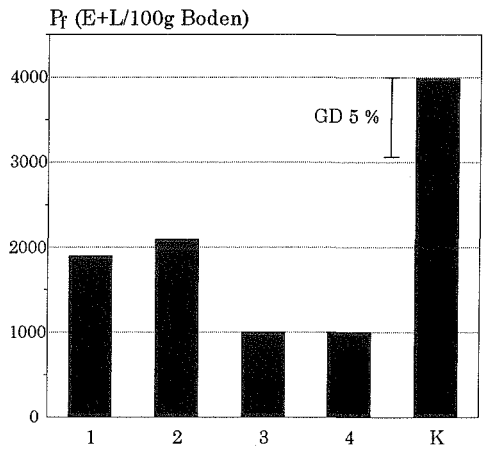


Abb. 4: Populationsdichten von *H. schachtii* (P_i -Werte) bei hohen Ausgangsdichten (P_i -Werten)

hatten, etwa doppelt so hoch wie bei den Hybriden 3 und 4 mit Transmissionsraten von ca. 95 bzw. 96 %.

Bei niedrigen P_1 -Werten von durchschnittlich 491 E+L/100 ml Boden vermehrte die anfällige Sorte um das 7,5fache auf 3700 E+L/100 ml Boden. Während die Hybriden 1 und 2, mit ihrem höheren Anteil anfälliger Pflanzen, die Populationsdichten etwa 2 – 3 fach erhöhten, trat unter den besseren Varianten 3 und 4 auch hier kein Populationsanstieg ein (Abb. 5).

Die Abbildungen 6–8 geben die Einzeldaten der festgestellten Vermehrungsraten für die anfällige Sorte 'Anna' sowie für die Hybriden 1 und 3 wieder. Alle Regressionskurven zeigen eindeutig die bekannte Abhängigkeit der Vermehrungsrate vom P_1 -Wert. Während der Kurvenverlauf ähnlich ist, unterscheiden sie sich deutlich in ihrer Lage. Die Kurven liegen um so niedriger, je höher die Resistenz ausgeprägt ist. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 9 in einem logarithmischen Maßstab gemeinsam für die Varianten 1, 3 und K wiedergegeben.

Erträge

Die Rüben erträge werden in den Abbildungen 10 und 11 getrennt für Parzellen mit hohem bzw. niedrigem Nematodenbesatz dargestellt. Bei hohen P_1 -Werten liegen die Erträge der Varianten 1, 2 und 4 signifikant höher als das Ergebnis der Kontrolle, die mit 571 dt/ha trotz hohen Befalls noch ein relativ gutes Ergebnis zeigt (Abb. 10). Bei niedrigen P_1 -Werten (Abb. 11) erreicht die anfällige Sorte mit 696 dt/ha ein sehr hohes Ertragsniveau. Die Ertragsleistung der resistenten Hybriden steigt gegenüber Flächen mit ho-

hem Ausgangsbesatz zwar noch an, sie liegt aber durchgehend unter dem Niveau der Kontrolle. Das Ertragsniveau der Varianten 1 und 2 liegt deutlich höher als das der Hybriden 3 und 4.

Der Zuckergehalt der Hybriden 1 und 2 lag, weitgehend unabhängig vom Nematodenbesatz, zwischen 15,5 und 15,8 %, während die Hybriden 3 und 4 16,1 bis 16,4 % erreichten. Dagegen lag der Zuckergehalt der anfälligen Sorte 'Anna' zwischen 17,7 und 18,1 %.

Die Werte der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe lagen bei den resistenten Hybriden durchgehend höher als bei der anfälligen Sorte, nämlich für den α -amino-N-Gehalt um 55 %, für den Kaliumgehalt um 50 % und für den Natriumgehalt um 48 % (jeweils bezogen auf 100 g Rübe). Die Hybriden 3 und 4 zeigten hier leichte Vorteile, so daß sie in Verbindung mit dem etwas höheren Zuckergehalt im bereinigten Zuckerertrag mit den Hybriden 1 und 2 auf gleichem Niveau liegen oder diese sogar übertreffen (Abb. 12). Der bereinigte Zuckerertrag der anfälligen Sorte 'Anna' ist mit 89,0 dt/ha bei hohem Nematodenbesatz etwa 10 – 13 % höher als der Ertrag der resistenten Hybriden.

Diskussion

Die Versuchsergebnisse haben frühere Erfahrungen (MÜLLER *et al.*, 1995) bestätigt, nach denen der Anteil anfälliger Pflanzen in einer resistenten Hybride die Abundanzdynamik von *H. schachtii* sehr deutlich beeinflusst. In Feldversuchen ist dieser Effekt zwar sicher nachweisbar, es läßt

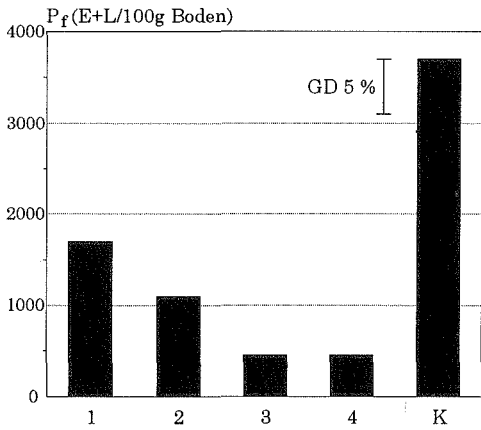


Abb. 5: Populationsdichten von *H. schachtii* (P_f -Werte) bei niedrigen Ausgangsdichten (P_i -Werten)

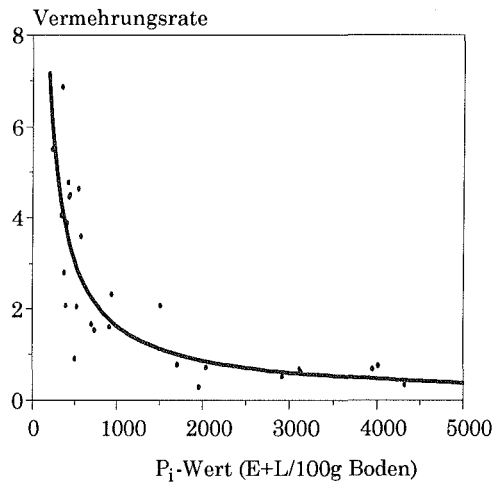


Abb. 7: Korrelation zwischen Vermehrungsrate und P_i -Wert für die Hybride 1 ($y = 931x^{-0,92}$, $r^2 = 0,75$)

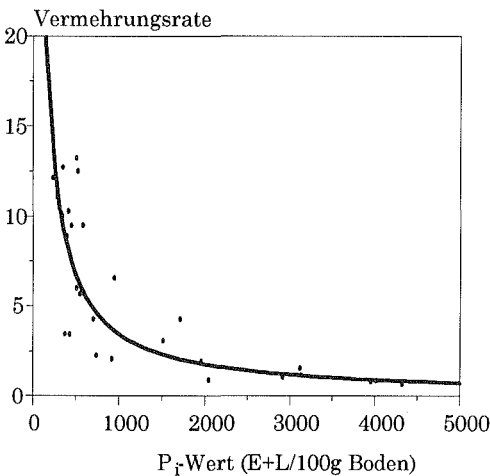


Abb. 6: Korrelation zwischen Vermehrungsrate und P_i -Wert für die anfällige Sorte 'Anna' ($y = 2948x^{-0,98}$, $r^2 = 0,82$)

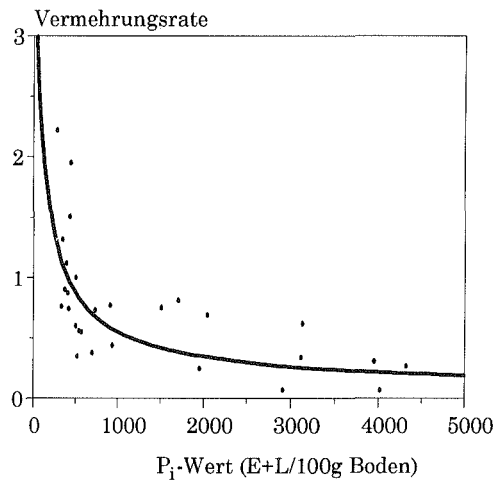


Abb. 8: Korrelation zwischen Vermehrungsrate und P_i -Wert für die Hybride 3 ($y = 57,7x^{-0,67}$, $r^2 = 0,54$)

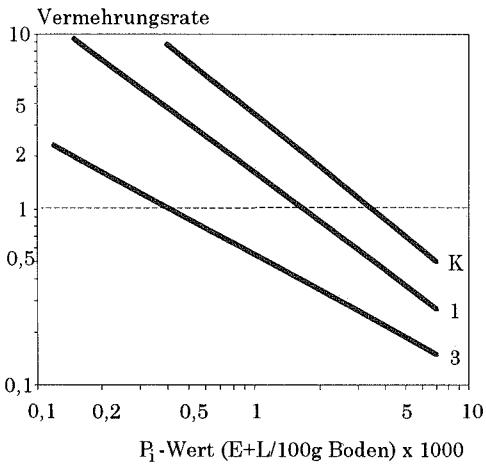


Abb. 9: Korrelation zwischen P_i-Wert und Vermehrungsrate (in logarithmischem Maßstab)
 K = Sorte 'Anna' (Kontrolle)
 1 = Hybride 1
 3 = Hybride 3

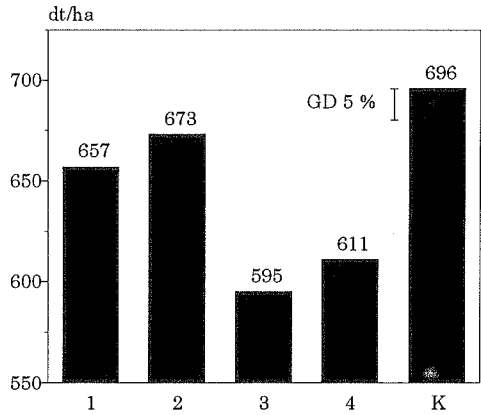


Abb. 11: Ertragsleistungen bei niedrigem Ausgangsbesatz von *H. schachtii*

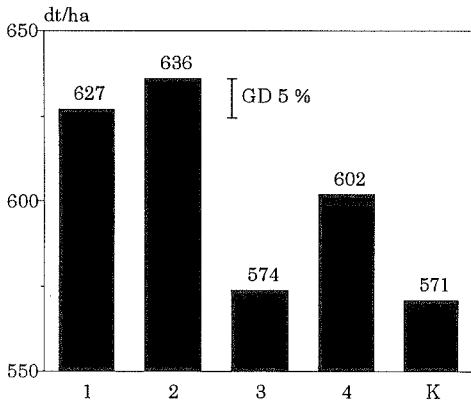


Abb. 10: Ertragsleistung bei hohem Ausgangsbesatz von *H. schachtii*

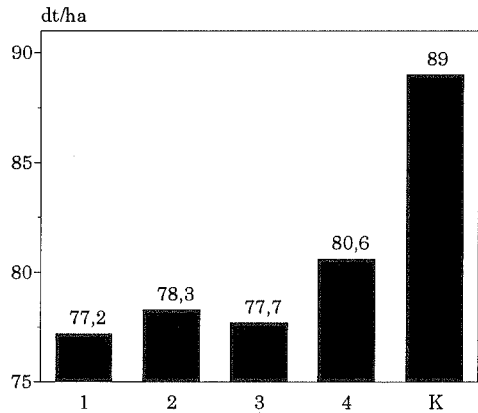


Abb. 12: Bereinigter Zuckerertrag bei hohem Ausgangsbesatz von *H. schachtii*

sich aber nicht feststellen, wie hoch die Transmissionsrate ist, also der Anteil an Pflanzen, die das Resistenzgen tatsächlich besitzen. Für diesen Nachweis mußte ein Testverfahren entwickelt werden, mit dem genaue Daten möglichst arbeits- und zeitsparend gewonnen werden können. Der in der Praxis bisher eingesetzte Test mit Quarzsand nach TOXOPEUS & LUBBERTS (1979) birgt nach KLINKE (1995) gewisse Unsicherheiten, da ein Teil der Weibchen beim Spülen der Wurzeln verloren gehen kann. KLINKE hat seine Daten deshalb mit Hilfe der Zentrifugationstechnik gewonnen, die für Routineuntersuchungen aber zu arbeitsaufwendig ist. Durch Umstellung von Quarzsand auf Löß konnte der Verlust von Zysten bei der hier eingesetzten Technik sicher ausgeschlossen werden. Durch Verfeinerung der Versuchstechnik sollte es möglich sein, den Minimalwert bei der anfälligen Kontrollsorte anzuheben und so die Trennschärfe des Testverfahrens zu verbessern.

PORTE *et al.* (1995) haben die Transmissionsrate an Zuckerrübenhybriden im Feldversuch bestimmt, indem sie nach Ausbildung der ersten bzw. zweiten Nematodengeneration an 10 – 20 Pflanzen die Anzahl weißer Weibchen ermittelten. Dabei wurden zwar hohe Besatzdichten gefunden, die Zahl der untersuchten Pflanzen lag aber - arbeitstechnisch bedingt - aus unserer Sicht zu niedrig. Bei Transmissionsraten um 95 % (Abb. 3) ist bei 10 – 20 untersuchten Pflanzen keine sichere Aussage möglich. Mit unserem Testsystem gelang dagegen nach Untersuchung von 100 – 110 Einzelpflanzen eine sichere Differenzierung der Zuckerrübenhybriden bei

vertretbarem Arbeitsaufwand.

Aufgrund der Erfahrungen mit resistenten Zwischenfrüchten (SCHLANG, 1985) wurden für den Feldversuch mit Zuckerrüben Parzellen mit einer großen Spannweite von P_i -Werten genutzt, die durch den Anbau unterschiedlich anfälliger Kruziferen im Vorjahr erreicht wurden. Durch diesen breiten Versuchsansatz ließ sich zeigen, daß auch die Wirkung resistenter Zuckerrüben auf die Abundanzdynamik von *H. schachtii* eindeutig mit dem P_i -Wert korreliert ist. Aufgrund dieser Zusammenhänge kann für jede Hybride eine Gleichgewichtsdichte (wirtsspezifische Verseuchungsdichte) von *H. schachtii* angegeben werden (Abb. 9). Sie läßt sich ablesen, indem eine waagerechte Linie in Höhe der Vermehrungsrate 1 bis zum Schnittpunkt mit der Regressionsgeraden gezogen wird. Die Senkrechte auf die Abszisse ergibt dann die Gleichgewichtsdichte. Dieser Wert wird im wesentlichen von der Transmissionsrate der Resistenz einer Hybride bestimmt. Insofern kann aus dem Ergebnis der Transmissionsrate-Ermittlung direkt auf die nematologische Wirkung einer Sorte im Feld geschlossen werden. Es sollte daher zukünftig möglich sein, die amtliche Resistenzprüfung von Zuckerrübensorten auf der Basis des beschriebenen Gewächshaustests durchzuführen.

Bestätigt werden diese Überlegungen durch einen Vergleich der im Feldversuch gefundenen Daten mit den Berechnungen von MÜLLER *et al.* (1995). Zum Beispiel wurde für die resistente Hybride 1 im Feldversuch ein P_r -Wert von 48,2 % der anfälligen Sorte 'Anna' festgestellt. Diese Hybri-

de hatte eine Transmissionsrate von 75 %, also 25 % anfällige Pflanzen. Daraus ergibt sich laut Formel ($y = 6,9 + 2,2 x$) in der oben zitierten Arbeit ein P_f -Wert von 61,9 % der anfälligen Vergleichssorte. Der P_f -Wert der Hybride 3 lag im Feldversuch bei 17,1 % der Sorte 'Anna', und bei einem festgestellten Anteil von 4,7 % anfälligen Pflanzen wären 17,24 % laut Formel zu erwarten gewesen. Die in unserem Feldversuch ermittelten Daten bestätigen also die vorausgesagten Werte.

Bezüglich des Ertrages zeigt sich auch in diesem Feldversuch, daß Resistenz und Toleranz getrennte Eigenschaften sind, die einzeln erfaßt und bewertet werden müssen. So brachten die Hybriden 1 und 2 bei geringerer Resistenz höhere Erträge als die Hybriden 3 und 4. Der Ertragsvorteil resistenter Hybriden trat in unserem Versuch nur bei hohem Nematodenbesatz auf, wogegen resistente Rüben bei Versuchen in Frankreich (PORTE *et al.*, 1995) unter allen Populationsdichten günstiger abschnitten. Es ist allerdings zu bedenken, daß das Ertragsniveau französischer Versuche mit Werten von 3,09 bis 8,95 (t Zucker/ha) bei den Kontrollsorten zum Teil deutlich niedriger lag als in unserem Versuch (10,1 – 12,6 t/ha). Unsere Daten belegen, daß resistente Hybriden bei schwachem Nematodenbefall den anfälligen Sorten noch unterlegen sind, bei hohen Populationsdichten deren Leistung aber durchaus erreichen können.

Zusammenfassung

In einem Feldversuch wurde der Einfluß von vier Zuckerrübenhybriden mit Resistenz gegen *Heterodera schachtii* auf die Abundanzdynamik des Nematoden untersucht. Ergänzend wurden Ertragsleistung und Qualitätseigenschaften der resistenten Hybriden ermittelt. Dabei war es erstmals möglich, diese Parameter bei einem breiten Spektrum unterschiedlicher Besatzdichten des Nematoden unter sonst gleichen Standortbedingungen zu prüfen. Die Befunde zeigen, daß die Wirkung resistenter Zuckerrübenhybriden auf die Abundanzdynamik von *H. schachtii* eindeutig mit dem P_i -Wert korreliert ist. Damit kann für jede Hybride die wirtsspezifische Verseuchungsdichte von *H. schachtii* angegeben werden.

Bei hohen P_i -Werten lagen die Erträge von drei resistenten Zuckerrübenhybriden signifikant höher als das Ergebnis der Kontrolle mit 571 dt/ha. Bei niedrigen P_i -Werten erreichte die anfällige Sorte mit 696 dt/ha ein höheres Ertragsniveau als die resistenten Hybriden. Der Zuckergehalt der resistenten Hybriden lag mit 15,5 bis 16,4 % deutlich unter dem Niveau der anfälligen Sorte 'Anna' (18 %). Die Werte der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe (bezogen auf 100 g Rübe) lagen dagegen um 50 % über dem Wert der Kontrolle. Die Untersuchungen zeigen, daß resistente Zuckerrübenhybriden bei schwachem Nematodenbefall anfälligen Sorten noch unterlegen sind, bei hohen Populationsdichten aber durchaus deren Leistung erreichen können.

Literatur

- CURTIS, C.J. (1970): Resistance of sugar beet to the cyst-nematode *Heterodera schachtii* Schm. Ann. appl. Biol. **66**, 169-177.
- HEIJBROEK, W. (1991): The production capacity of nematode-resistant hybrids and their effect on population development of *Heterodera schachtii*. Proc. 54th Winter Congr. Intern. Inst. Sugar Beet Res., Brussel, 167-178.
- KLINKE, A. (1995): Untersuchungen zur Resistenz gegen *Heterodera schachtii* in der Sektion Procumbentes der Gattung *Beta* sowie zur Virulenz des Nematoden. Diss. Universität Hannover, 121 pp.
- LANG, W., JUNG, C. & HEIJBROEK, W. (1990): Transfer of beet cyst nematode resistance from *Beta* species of the section Patellares to cultivated beet. Proc. 53rd Winter Congr. Intern. Inst. Sugar Beet Res., Brussel, 89-102.
- LANG, W., MÜLLER, J. & DE BOCK, T.S.M. (1993): Virulence in the beet cyst nematode (*Heterodera schachtii*) versus some alien genes for resistance in beet. Fundam. appl. Nematol. **16**, 447-454.
- MOLZ, E. (1917): Über die Züchtung widerstandsfähiger Sorten unserer Kulturpflanzen. Z. Pflanzenzücht. **5**, 121-244.
- MÜLLER, J. (1985): Versuche zur Bekämpfung von *Heterodera schachtii* mit resistentem Örettich (*Raphanus sativus* L.) als Zwischensaat in Zuckerrüben. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **226**, 94-103.
- MÜLLER, J. (1992): Detection of pathotypes by assessing the virulence of *Heterodera schachtii* populations. Nematologica **38**, 60-64.
- MÜLLER, J., TACCONI, R., STEINRÜCKEN, G. & BIANCARDI, E. (1995): Der Einfluß anfälliger Pflanzen in einer resistenten Zuckerrübenlinie auf die Abundanzdynamik von *Heterodera schachtii*. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **47**, 130-133.
- MÜLLER, J. & KLINKE, A. (1996): Selektion virulenter Populationen von *Heterodera schachtii* und ihre Nutzung zur Charakterisierung von Resistenzgenen in *Beta*-Rüben. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **317**, 102-116.
- PORTE, C., CAUBEL, G. & MUCHEMBLED, C. (1995): La résistance de la betterave sucrière au nématode à kyste *Heterodera schachtii*. Proc. 58th Winter Congr. Intern. Inst. Sugar Beet Res., Brussel, 233-241.
- PRICE, C. (1965): Breeding sugar beets for resistance to the cyst nematode *Heterodera schachtii*. J. Amer. Soc. Sugar Beet Technologists **13**, 397-405.
- SAVITSKY, H. (1975): Hybridization between *Beta vulgaris* and *Beta procumbens* and transmission of nematode (*Heterodera schachtii*) resistance to sugar beet. Can. J. Genet. Cytol. **17**, 197-209.
- SCHLANG, J. (1985): Resistenzverhalten verschiedener Örettichsorten gegenüber *Heterodera schachtii*. Gesunde Pflanzen **37**, 233-235.
- SCHLANG, J. (1991): Anbau resistenter Zwischenfrüchte zur biologischen Bekämpfung des Rübenzystennematoden. Zuckerrübe **40**, 240-242.
- TOXOPEUS, H.J. & LUBBERTS, J.H. (1979): Breeding for resistance to the sugar beet nematode (*Heterodera schachtii* Schm.) in cruciferous crops. Proc. Eucarpia Cruciferae Conf. Wageningen, (Post conf. edition), p. 151.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Josef Schlang,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
- Außenstelle Elsdorf -
Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf

Dr. Joachim Müller,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Toppeideweg 88, 48161 Münster

Zur Eignung verschiedener Buchweizenarten und -sorten als resistente Zwischenfrucht zur biologischen Bekämpfung von *Heterodera schachtii*

On the suitability of different buckwheat species and varieties as resistant catch crops for biological control of *Heterodera schachtii*

JOSEF SCHLANG

Abstract

The multiplication rate of *Heterodera schachtii* on 25 different *Fagopyrum esculentum* strains was investigated. The multiplication rate (P_i-value 1470 E+L/100 ml soil) ranged from 0,08 to 0,44. When the strains were arranged in classes of 0,08 MR units, significant differences were found between the mean values of four classes. This indicates that the susceptibility of common buckwheat to *H. schachtii* is correlated with its origin. Wild *Fagopyrum* species have an obvious affinity to *H. schachtii*. For all species, with the exception of *F. leptopodum*, a significant hatching rate was detected. The multiplication rate (P_i-value 930 E+L/100 ml soil) of 8 different *Fagopyrum* species ranged from 0,26 (*F. cymosum*) to 0,56 (*F. leptopodum*). The results clearly show the suitability of different *Fagopyrum* species for biological control of beet cyst nematode.

Keywords: *Heterodera schachtii*, *Fagopyrum esculentum*, *F. cymosum*, *F. gracilipes*, *F. leptopodum*, *F. tataricum*, *F. urophyllum*, hatching rate, multiplication rate, resistant catch crop, biological control

Einleitung

Der Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench) war nach KLAPP (1951) eine anspruchslose Körnerfrucht der Esch-, Moorbrand- und Haubergswirtschaft. Er gelangte im 13. – 14. Jahrhundert über Rußland nach Mitteleuropa und fand hier eine weite Verbreitung (LEHMANN, 1940). Nach OHNISHI (1991) liegt das Ursprungsgebiet von *F. esculentum* im südwestlichen China in der Provinz Yünnan und nicht wie TSVETOUKHINE (1952) u. a. vermuteten, in der kontinental geprägten Mandchurei. Die größte Bedeutung und Anbauausdehnung besaß der Buchweizen in

Deutschland im 17. und 18. Jahrhundert. Um die Jahrhundertwende betrug die Anbaufläche noch 117 000 ha (LEHMANN, 1940). Neben *F. esculentum* besaß der im 18. Jahrhundert eingeführte tatarische Buchweizen (*F. tataricum*) eine gewisse Bedeutung. In höheren Lagen wurde er als kältetolerante Art, anstelle von *F. esculentum* angebaut (LEHMANN, 1940). Nach dem ersten Weltkrieg ging der Buchweizenanbau rapide zurück. Von den sechziger Jahren an wird er weder in den landwirtschaftlichen Statistiken und Lehrbüchern über den Ackerbau in der Bundesrepublik Deutschland noch in den Statistiken der Europäischen Gemeinschaft aufgeführt (KÖR-

BER-GROHNE, 1988). Seit einiger Zeit ist das Interesse an diesen Knöterichgewächsen aus unterschiedlichen Gründen wieder stärker gestiegen (ESPIG, 1989). Im Jahre 1980 wurde die International Buckwheat Research Association (IBRA) mit dem Ziel gegründet, die Buchweizenforschung auf den Gebieten der Genetik, der Zytologie, der Züchtung, des Anbaus, der Ernährung und anderen Nutzenwendungen zu intensivieren und sie weiten Kreisen nutzbar zu machen (BOHANEK *et al.*, 1981). Auch die landwirtschaftliche Praxis ist bestrebt, den Buchweizen als alternative Körnerfrucht wieder vermehrt anzubauen (SCHULZE-BISPING, 1986; LAUTEN, 1988).

Als Gattung innerhalb der *Polygonaceae* gehört der Buchweizen zum potentiellen Wirtspflanzenkreis des Rübennematoden *Heterodera schachtii*. Ein Befall mit diesem Schaderreger konnte jedoch zuvor ebensowenig nachgewiesen werden (JONES, 1950) wie eine schlupfstimulierende Aktivität (DEN OUDEN, 1956), so daß der Buchweizen als Nichtwirt eingeordnet wurde (STEELE, 1965). Mit dem Auffinden resistenter Eigenschaften gegenüber *H. schachtii* (SCHLANG, 1985a), dem Nachweis sorten- und herkunftsspezifischer Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber *H. schachtii* (SCHLANG, 1990) und den offenbar anders gelagerten Resistenzmechanismen (GARDNER & CASWELL-CHEN, 1993), ist das phytonematologische Interesse an dieser Pflanzengattung wieder stärker in den Vordergrund gerückt. Durch die Entdeckung des Genzentrums im Einzugsbereich des Jinsha-Flusses bei Yongsheng, Provinz Yunnan / China, war es möglich, ne-

ben einem größeren Buchweizensortiment auch erstmals Wildformen aus dem Ursprungsgebiet von *F. esculentum* sowie nahe verwandte Arten auf ihr Verhalten gegenüber dem Rübenezystennematoden zu untersuchen.

Material und Methoden

Fagopyrum esculentum-Stämme (Versuch I)

Die 25 *F. esculentum*-Stämme wurden von verschiedenen Züchtern zur Verfügung gestellt oder über den Saatguthandel besorgt. Die Pflanzenanzucht erfolgte im Gewächshaus bei tagsüber 20 °C und nachts 16 °C und einer 16-stündigen Photoperiode, in der lichtschwachen Jahreszeit mit ganztägigem Zusatzlicht. Als Substrat wurde normale Felderde mit einer Besatzdichte von 1470 E+L/100 ml Boden verwendet. Sie wurde vor Versuchsbeginn durch mehrmaliges Mischen weitgehend homogenisiert. Pro Plastiktopf (Volumen 200 ml) wurden fünf Samen ausgelegt. Jede Variante bestand aus 10 Wiederholungen. Ab dem Keimblattstadium wurden die Pflanzen wöchentlich mit 50 ml Wuxal (0,2 %) pro Topf gedüngt. Nach Erreichen einer Temperatursumme von 680 °C über 10 °C wurde der Versuch beendet. Bis zur Untersuchung wurden die Töpfe im Kühlraum bei 5 °C aufbewahrt.

Tab. 1: Herkunft der Wildarten

| Nr. | Art | Ort | Provinz |
|-----|-------------------------------|-----------|---------|
| 1 | <i>F. esculentum</i> | Tianshui | Gansu |
| 2 | <i>F. e. ssp. ancestralis</i> | Yongsheng | Yünnan |
| 3 | <i>F. cymosum</i> (2x) | Kunming | Yünnan |
| 4 | <i>F. gracilipes</i> | Kunming | Yünnan |
| 5 | <i>F. leptopodum</i> | Yongsheng | Yünnan |
| 6 | <i>F. tataricum</i> | Mahlong | Yünnan |
| 7 | <i>F. t. ssp. potanini</i> | Markan | Sichuan |
| 8 | <i>F. urophyllum</i> | Kunming | Yünnan |

Fagopyrum-Wildarten (Versuch II)

Das Saatgut der Wildarten wurde von Prof. Dr. Ohnishi¹, Universität Kyoto, Japan, zur Verfügung gestellt, der dieses Material im südwestlichen China während mehrerer Expeditionen gesammelt hatte (Tab. 1). Die Pflanzenanzucht erfolgte wie in Versuch I beschrieben. Das Substrat bestand aus einer Mischung von 75 % normaler Felderde und von 25 % reinem Untergrundlöß. Die mittlere Besatzdichte betrug 930 E+L/100 ml Boden. Pro Plastiktopf (Volumen 300 ml) wurden von *F. cymosum* 4, von der Kontrolle (K) Ölrettich 'Siletina' 5 und von den übrigen Arten 8 Samen ausgesät. Jede Variante bestand aus 5 Wiederholungen. Bei einer Temperatursumme von 650 °C > 10 °C wurde der Versuch beendet.

Die Extraktion der Zysten zur Bestimmung der P_i- und P_e-Werte erfolgte nach der Zentrifugationsmethode (MÜLLER, 1980). Anschließend wurden die Anzahl der Zysten (Z) und die der

Eier und Larven (E+L) je 100 ml Boden bestimmt.

Der Schlupftest zur Bestimmung der Schlupfrate wurde in Anlehnung an SCHLANG (1985a) durchgeführt. Zur Gewinnung des Wurzelablaufwassers wurden die Töpfe nach einer Kulturdauer von 46 Tagen schrittweise mit ca. 90 ml *Aqua dest.* gegossen, und das austretende Ablaufwasser wurde nach einfacher Filtration für die Versuche verwendet. Von jedem Topf wurden 2 ml Wurzelablaufwasser in ein 20 ml Gläschen gefüllt und nach der Zugabe von 10 ausgesuchten, vollen Zysten aus einer Kultur von *H. schachtii* an Raps für eine Woche bei 25 °C inkubiert. Neben den zu prüfenden Pflanzen wurden als Kontrolle *Aqua dest.* und als Schlupfstandard 10 mM Zinkchlorid-Lösung in den entsprechenden Volumina eingesetzt. Die Bestimmung des Tausendkorngewichts (TKG) basiert aufgrund der geringen Saatgutmenge auf 50 Korn/Variante. Als Hypokotyllänge wurde die Strecke von der Substratoberfläche bis zum Keimblatt angegeben. Zur Bestimmung des Pflanzenfrischgewichtes wurden die Pflanzen

¹ Prof. Dr. Ohnishi, Universität Kyoto, Japan, sei für die Überlassung des Saatgutes herzlichst gedankt.

bei Versuchsende an der Substratoberfläche abgeschnitten und das Gewicht topfweise ermittelt.

Ergebnisse

Versuch I (*F. esculentum*-Stämme)

An 25 verschiedenen Buchweizenherkünften wurde die Vermehrungsrate von *H. schachtii*, ausgehend von einem P_1 -Wert von 1470 E+L/100 ml Boden, bestimmt (Abb. 1). Die ermittelten durchschnittlichen P_7/P_1 -Werte reichen von $r = 0,08$ (Nr. 18) bis zu $r = 0,44$ (Nr. 9). An der Kontrolle (Ölrettich 'Siletina') betrug der Wert $r = 7,3$. In der Abbildung 1 ist die obere Grenze der Anfälligkeitsstufe 1 und die untere Grenze der Anfälligkeitsstufe 3 (BEHRINGER *et al.*, 1984) als gestrichelte Linie dargestellt.

Die Frage, ob bei den jeweils 10 P_7/P_1 -Werten eine normale Häufigkeitsverteilung vorliegt, wurde im Wahrscheinlichkeitsnetz anhand der Hazen'schen Geraden überprüft (RENNER, 1981). Diese Prüfung wurde für alle Varianten durchgeführt. In der Abbildung 2 ist das Ergebnis von drei repräsentativen Herkünften dargestellt. Da die einzelnen P_7/P_1 -Werte einer Variante nahe einer Geraden liegen, kann von einer Normalverteilung der Werte ausgegangen werden. Abweichende Befunde bei den anderen Herkünften wurden nicht festgestellt. Zur Differenzierung der verschiedenen Buchweizen-Varianten hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber *H. schachtii* wurden die einzelnen Herkünfte in Klassen von 0,08 r-Wert-Einheiten gegliedert (Abb. 3).

| Klasse | Nr. | \bar{x} | n |
|----------------|--|-----------|-----|
| 1) 0,05 - 0,12 | 5;6;18;19 | 0,11 | 39 |
| 2) 0,13 - 0,20 | 2;3;4;10;11 12 13;14;15;16 17;20;23;24 | 0,17 | 137 |
| 3) 0,21 - 0,28 | 1;7;8;21;25 | 0,24 | 46 |
| 4) 0,29 - 0,36 | 22 | 0,32 | 10 |
| 5) 0,37 - 0,44 | 9 | 0,44 | 10 |

Varianztabelle

| Ursprung | SAQ | FG | s^2 | |
|----------|-------|-----|--------|----------|
| Klassen | 1,239 | 4 | 0,3098 | F-Test |
| Rest | 3,539 | 237 | 0,0149 | 20,74*** |
| Gesamt | 4,778 | 241 | | |

$$F 20,74 [FG 4/237] > 4,81 [P = 0,01]$$

Abb. 3: Klasseneinteilung des Merkmals „Vermehrungsrate“, Klassenbreite 0,08 r-Wert-Einheiten und die entsprechende Varianztabelle

Mit Hilfe dieser Klassifizierung konnten 4 Herkünfte der Klasse 1 ($r = 0,05 - 0,12$), 14 der Klasse 2 ($r = 0,13 - 0,20$), 5 der Klasse 3 ($r = 0,21 - 0,28$) und jeweils eine Herkunft der Klassen 4 ($r = 0,29 - 0,36$) und 5 ($r = 0,37 - 0,44$) zugeordnet werden. Die varianzanalytische Verrechnung der in Klassen zusammengefaßten Buchweizenherkünfte ergab einen statistisch hoch signifikanten F-Wert von 20,74. In der Abbildung 4 sind die einzelnen Herkünfte mit dem jeweiligen Klassendurchschnitt dargestellt. Anhand des „Multiple Range Test“ nach Duncan (Indizes a-d) lassen sich vier Klassen bilden, deren Mittelwerte sich statistisch gesichert voneinander unterscheiden.

Versuch II (*Fagopyrum*-Wildarten) Schlupfförderung

Als Zeichen einer Wirt-Parasit-Beziehung kann für *H. schachtii* der Schlupfreiz einer Wirtspflanze angesehen werden. Während die Schlupfförderung durch Kulturvarietäten von *F. esculentum* bereits nachgewiesen wurde (SCHLANG, 1985a), fehlten bisher Informationen über den Einfluß von Wildformen und nahe verwandter Arten, zumal zystenbildende Nematoden der *H. schachtii*-Gruppe bislang im südwestlichen China noch nicht nachgewiesen wurden (PENG & VOVLAS, 1994). In der Abbildung 5 ist der Einfluß von Wildformen verschiedener *Fagopyrum*-Arten auf den Schlupf von *H. schachtii* dargestellt. Nach dieser Untersuchung besitzen neben der Kontroll-Variante Ölrettich 'Siletina' (K), *F. esculentum* (1), *F. cymosum* (3) und Zinkchlorid (Zn) eine hohe Schlupfförderung. Eine etwas geringere Wirkung wurde bei *F. esculentum* ssp. *ancestralis* (2), *F. tataricum* (6) und *F. urophyllum* (8) festgestellt. Eine geringe bis mittlere Schlupfförderung induzierten *F. tataricum* ssp. *potanini* (7) und *F. gracilipes* (4). *F. leptopodum* (5) bewirkte ebenso wie *Aqua dest.* (A.d.) keine Schlupfförderung.

Vermehrungsrate

In der Abbildung 6 ist die Vermehrungsrate von *H. schachtii* an verschiedenen *Fagopyrum*-Arten dargestellt. Während die anfällige Ölrettichsorte 'Siletina' (K) um das 4,5-fache vermehrte, wurde bei allen Buchweizenarten ein Rückgang der

Populationsdichte festgestellt. Die P_2/P_1 -Werte variieren zwischen $r = 0,26$ bei *F. cymosum* (3) und $r = 0,56$ bei *F. leptopodum* (5). Signifikante Unterschiede bestehen zwischen *F. cymosum* (3) und *F. urophyllum* (8) einerseits und *F. leptopodum* (5) andererseits sowie zwischen *F. cymosum* (3) und *F. gracilipes* (4). Alle anderen Differenzen sind statistisch nicht abzuschließen.

Pflanzenbauliche Parameter

Die Eignung einer Sorte oder Pflanzenart zur biologischen Bekämpfung des Rübenzystennematoden wird nicht nur von ihrer nematologischen Wirksamkeit bestimmt. Neben einer geringen Anfälligkeit spielen pflanzenbauliche und wirtschaftliche Aspekte wie Vermehrungsfähigkeit, Aussaatstärke, Auflauf, Bestandsbildung, Standfestigkeit, Durchwurzelungsvermögen, Unkrautunterdrückung, Massebildung u. a. eine bedeutende Rolle. Zur Charakterisierung der Wild- und Kulturformen werden neben dem Tausendkorngewicht (TKG) die Hypokotyllänge als Maß für die Standfestigkeit und das Pflanzenfrischgewicht als Summenparameter wiedergegeben. Das TKG (Abb. 7) variiert in weitem Maße. Ein sehr hohes TKG besitzen *F. cymosum* (3) und *F. esculentum* (1). Mit 11,4 g liegt das TKG von *F. esculentum* ssp. *ancestralis* (2) um 60 % niedriger als die entsprechende Kulturform. Die beiden *F. tataricum*-Arten (6) und (7) liegen im mittleren Bereich. Der Unterschied zwischen Kultur (6) und Wildform (7) beträgt hier weniger als 20 %. Eine mittlere Korngröße besitzt auch

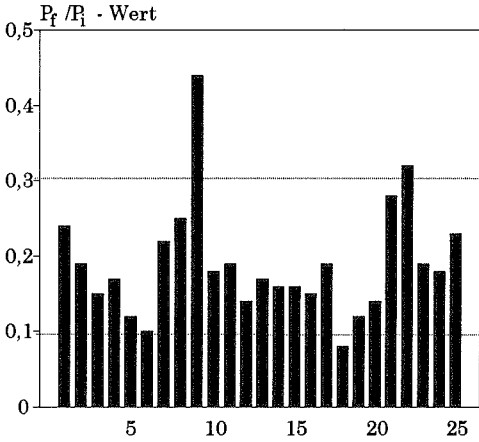


Abb. 1: Vermehrungsraten von *H. schachtii* an 25 verschiedenen Buchweizenherkünften (*F. esculentum*), P_i -Wert = 1470 E+L/100 ml

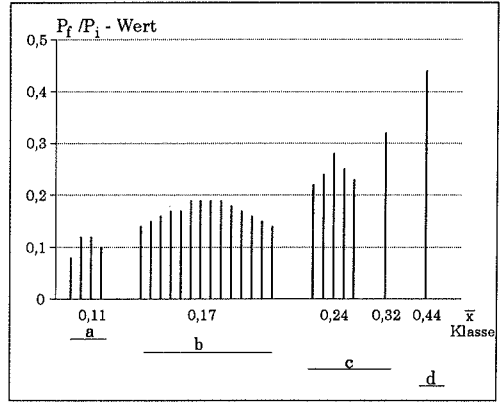


Abb. 4: Klasseneinteilung des Merkmals „Vermehrungsrate“, Klassenbreite 0,08 r-Wert-Einheiten (P_f/P_i -Einheiten), Darstellung der Einzelwerte um den Klassenmittelwert

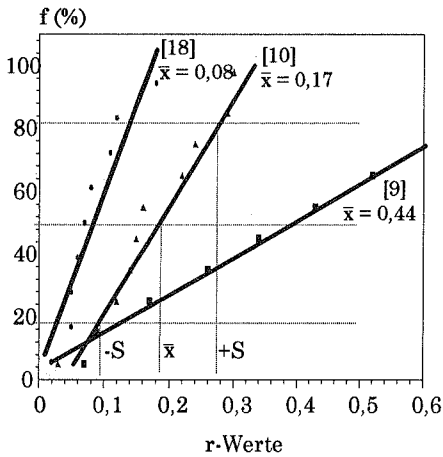


Abb. 2: Darstellung einzelner Herkünfte im Wahrscheinlichkeitsnetz (Hazen'sche Gerade)

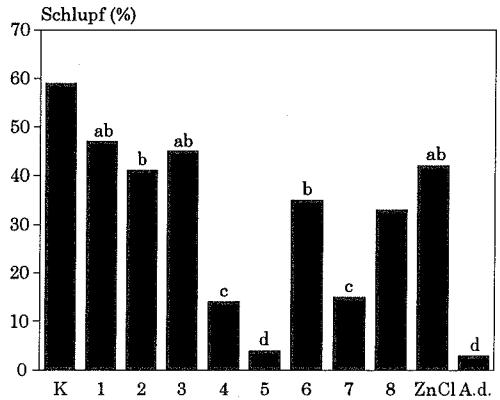


Abb. 5: Einfluß von Wildformen verschiedener *Fagopyrum*-Arten auf den Schlupf von *H. schachtii* (Nr. 1 – 8 entsprechen in allen Abbildungen der Beschreibung unter Material und Methoden)

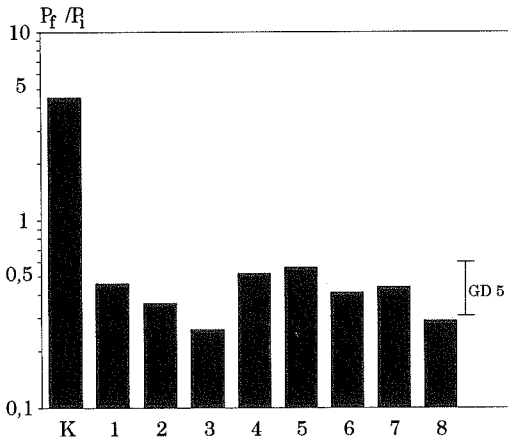


Abb. 6: Vermehrungsrate von *H. schachtii* an verschiedenen *Fagopyrum*-Arten ($P_i = 930 \text{ E+L}/100 \text{ ml}$)

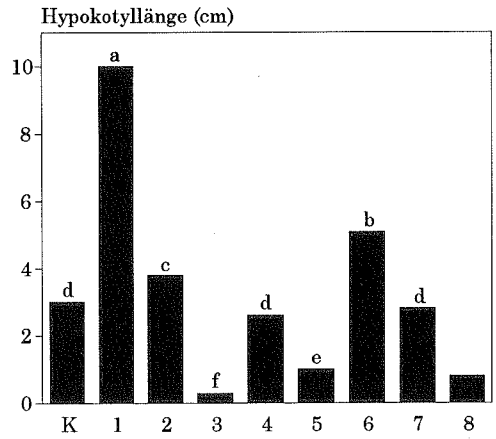


Abb. 8: Hypokotylllänge verschiedener Buchweizenarten

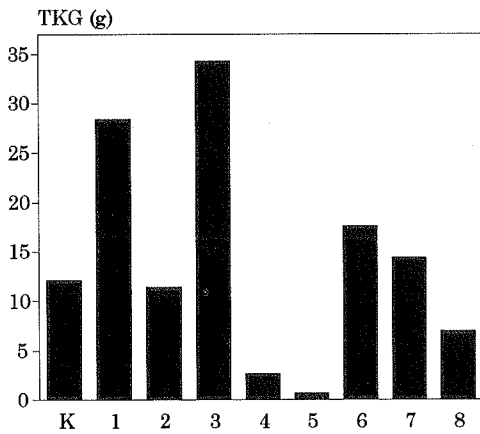


Abb. 7: Tausendkorngewicht (TKG) verschiedener Buchweizenarten

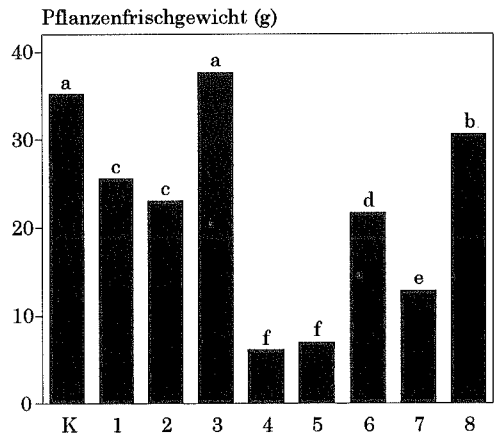


Abb. 9: Pflanzenfrischgewicht (g/Topf) verschiedener Buchweizenarten 75 Tage nach der Saat

F. urophyllum (8). Klein- bzw. feinsamige Varietäten sind *F. gracilipes* (4) und *F. leptopodum* (5).

Auch bei der Hypokotylllänge (Abb. 8) zeigt sich ein sehr differenziertes Bild. Einen stark gestreckten Keimstengel besitzen die Kulturformen von *F. esculentum* (1) und *F. tataricum* (6). Eine mittlere Hypokotylllänge weisen *F. esculentum* ssp. *ancestralis* (2), *F. tataricum* ssp. *potanini* (7) und *F. gracilipes* (4) auf, die damit alle im Bereich der Ölrettichsorte 'Siletina' liegen. Auffallend niedrig ist der Keimstengel bei *F. cymosum* (3) und bei *F. urophyllum* (8). In der Abbildung 9 sind die Pflanzenfrischgewichte in g/Topf im Vergleich zur Ölrettichsorte 'Siletina' dargestellt. Ein dem Ölrettich vergleichbares Pflanzengewicht erreichte *F. cymosum* (3); *F. urophyllum* (8) liegt mit 30,7 g/Topf etwas niedriger. Deutlich niedriger liegen die Pflanzengewichte von *F. esculentum* (1), *F. esculentum* ssp. *ancestralis* (2) und *F. tataricum* (6). Mit 12,8 g pro Topf erreicht *F. tataricum* ssp. *potanini* (7) nur 60 % des Gewichtes der Kulturform (6). Sehr geringe Pflanzengewichte zeigten *F. gracilipes* (4) und *F. leptopodum* (5) mit 6,2 g bzw. 7,0 g.

Diskussion

Zwischen *F. esculentum* und *H. schachtii* besteht ein kompatibles Wirt-Parasit-Verhältnis. Die in den Abbildungen 1 bis 4 aufgezeigten Befunde zeigen darüber hinaus, daß innerhalb der Art *F. esculentum* Unterschiede bezüglich der Anfälligkeit gegenüber *H. schachtii* bestehen. Die Spannweite der Vermehrungsrate in

Abbildung 1 reicht von $r = 0,08$ bis $r = 0,44$. Obwohl sich die P_i/P_1 -Werte über drei Anfälligkeitsstufen erstrecken, liegen alle Werte innerhalb der Anfälligkeitsstufen 1–3, die nach BEHRINGER *et al.* (1984) Resistenz charakterisieren. Eine breite Variation oder Sortenreaktion wie beim Ölrettich (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*) mit Anfälligkeitsstufen von 2 bis 7 oder wie beim Senf (*Sinapis alba*) mit Anfälligkeitsstufen von 2 bis 9 (ANONYM, 1995) konnte bisher bei *F. esculentum* noch nicht nachgewiesen werden.

Die größte Streubreite der P_i/P_1 -Werte zeigte Herkunft (9). Aus Abbildung 2 ist zu ersehen, daß 5 von 10 Werten unterhalb und die andere Hälfte oberhalb des r -Wertes von 0,5 liegen, wobei der durchschnittliche P_i -Wert 645 E+L/100 ml beträgt. Aufgrund der Zusammenhänge zwischen P_i -Wert und Vermehrungsrate (SCHLANG, 1985b) ist abzuleiten, daß bei einem niedrigeren P_i -Wert als 1470 E+L/100 ml, wie im vorliegenden Versuch, einzelne Herkünfte in höhere Anfälligkeitsstufen einzugruppiert wären. So wäre die Herkunft (9), bei gleichem P_i -Wert, ab einem P_i -Wert kleiner als 1290 E+L/100 ml in die Anfälligkeitsstufe 4 ($r = 0,51 - 1,0$) einzuordnen. Die aufgezeigten Vergleiche beziehen sich auf die bisherige Einstufung der Ölrettich- und Senfsorten nach BEHRINGER *et al.* (1984). Ob zukünftig resistente Buchweizensorten anhand des oben erwähnten Bewertungsschemas eingruppiert werden oder ein eigener Bewertungsrahmen erarbeitet wird, ist noch offen.

Aufgrund der stabilen Resistenz der untersuchten *F. esculentum*-Herkünfte stellte sich die Frage, ob Kul-

tur- und Wildformen von *F. esculentum* und *F. tataricum* sowie anderer *Fagopyrum*-Arten aus dem Ursprungsgebiet von *F. esculentum* auch bereits über Resistenzmechanismen gegenüber *H. schachtii* verfügen. Die breite Affinität der Gattung *Fagopyrum* zu *H. schachtii* oder einer nahe verwandten Art, ist aus den Untersuchungen zur Schlupfförderung (Abb. 5) deutlich abzuleiten. Mit Ausnahme von *F. leptopodium* (5) wurde eine signifikante Schlupfförderung nachgewiesen. Bei *F. leptopodium* ist nicht auszuschließen, daß diese feinsamige und langsamwachsende Art zum Zeitpunkt des Schlupftestes noch nicht das gleiche physiologische Alter besaß und noch keine entsprechenden Schlupfstoffe gebildet hatte. Auch bei der Vermehrungsrate (Abb. 6) zeigen alle *Fagopyrum*-Arten eine vergleichbare Reaktion, wobei zwei Arten, *F. cymosum* (3) und *F. urophyllum* (8), mit P_f/P_i -Werten von $r = 0,26$ und $r = 0,29$ sich deutlich von den übrigen Arten abheben. Zwischen den Wild- und Kulturformen von *F. esculentum* (Nr. 1 und 2) und *F. tataricum* (Nr. 6 und 7) sind die Unterschiede mit Δ - r -Werten von 0,1 bei *F. esculentum* und 0,03 bei *F. tataricum* nicht besonders ausgeprägt.

Die Unterschiede zwischen Kultur- und Wildform treten bei den pflanzenbaulichen Parametern deutlich hervor. Neben einem geringeren TKG (Abb. 7) besitzen die Wildformen ein kürzeres Hypokotyl (Abb. 8), was die Standfestigkeit besonders von *F. esculentum* ssp. *ancestralis* (2) stark erhöht. Beide Eigenschaften, geringeres TKG und kürzeres Hypokotyl, sollten züchterisch zur Verbesserung der Kulturarten genutzt werden.

Von den Wildarten dürften *F. cymosum* (3) und *F. urophyllum* (8) über die günstigsten Eigenschaften zur biologischen Bekämpfung von *H. schachtii* verfügen. Neben einer hohen Resistenz zeichnen sich beide Arten durch kompakten Wuchs, hohe Standfestigkeit, hohes Pflanzenfrischgewicht (Abb. 9) und starke Durchwurzelung aus.

Aufgrund der aufgezeigten Befunde, wie der herkunfts- bzw. sortenspezifischen Ausprägung des Merkmals „Anfälligkeit“ für *H. schachtii* innerhalb der Art *F. esculentum*, dem Nachweis von Resistenz bei den Wildformen von *F. esculentum* und *F. tataricum* sowie dem Auffinden zweier neuer Arten (*F. cymosum* und *F. urophyllum*) mit günstigen Resistenz- und pflanzenbaulichen Merkmalen, sollten die Arten der Gattung *Fagopyrum* stärker als bisher zur biologischen Bekämpfung des Rübenzysten-nematoden genutzt werden.

Zusammenfassung

An 25 verschiedenen *F. esculentum*-Herkünften wurde die Vermehrungsrate von *H. schachtii* ermittelt. Die P_f/P_i -Werte lagen zwischen $r = 0,08$ und $r = 0,44$. Bei einer Klassenbreite der r -Werte von 0,08 lassen sich vier Gruppen bilden, deren Mittelwerte sich statistisch gesichert voneinander unterscheiden. Das Merkmal „Anfälligkeit“ für *H. schachtii* muß daher als herkunfts- bzw. sortenspezifisch ausgeprägt angesehen werden.

Wildarten der Gattung *Fagopyrum* aus dem Ursprungsgebiet von *F. esculentum* besitzen eine hohe Affinität zu *H. schachtii*. Mit Ausnahme von *F.*

leptopodum konnte bei allen untersuchten Arten eine signifikante Schlupfförderung nachgewiesen werden. Sie reichte von 14,1 % bei *F. gracilipes* bis zu 47,3 % bei *F. esculentum*. Die Schlupfrate in der Kontrolle (Ölrettich 'Siletina') lag bei 59 %. Die Vermehrungsrate wurde deutlich reduziert. Die P_f/P_i -Werte (P_i -Wert 930 E+L/100 ml) lagen zwischen 0,26 (*F. cymosum*) und 0,56 bei (*F. leptopodum*). Neben *F. esculentum* und *F. tataricum* besitzen auch *F. cymosum* und *F. urophyllum* günstige Eigenschaften zur biologischen Bekämpfung von *H. schachtii*.

Literatur

- ANONYM (1995): Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Hrsg. Bundessortenamt Hannover, Hannover, Landbuch-Verlag.
- BOHANEK, B., JAVORNIK, B., KREFT, J. & VOMBERGAR, B. [Eds.] (1981): Proceedings of the First International Symposium on Buckwheat, Ljubljana, Sept. 1-3, 1980.
- BEHRINGER, P., HEINICKE, D., VON KRIES, A., MÜLLER, J. & SCHMIDT, J. (1984): Resistenz gegen Rübennematoden bei Zwischenfrüchten. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **36**, 125-126.
- DEN OUDEN, H. (1956): The influence of hosts and nonsusceptible hatching plants on populations of *Heterodera schachtii*. Nematologica **1**, 138-144.
- ESPIG, G. (1989): Ein Plädoyer für die Pseudozerealien – Buchweizen, Quinoa, Amaranten. Entwicklung + ländlicher Raum **6**, 6-8.
- GARDNER, J. & CASWELL-CHEN, E.P. (1993): Penetration, development and reproduction of *Heterodera schachtii* on *Fagopyrum esculentum*, *Phacelia tanacetifolia*, *Raphanus sativus*, *Sinapis alba* and *Brassica oleracea*. J. Nematol. **25**, 695-702.
- JONES, F.G.W. (1950): Observations on the beet eelworm and other cyst-forming species of *Heterodera*. Ann. appl. Biol. **37**, 407-440.
- KLAPP, E. (1951): Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. 3. Aufl., Berlin, Paul Parey Verlag.
- KÖRBER-GROHNE, U. (1988): Nutzpflanzen in Deutschland. 2. Aufl., Stuttgart, K. Theiss Verlag.
- LAUTEN, H. (1988): Buchweizenanbau im Rheinland? Landwirtsch. Z. Rheinh. **6**, 332.
- LEHMANN, H. (1940): Der deutsche Buchweizenanbau und seine Entwicklung in den letzten 100 Jahren. Diss. Universität Bonn, 110 S.
- MÜLLER, J. (1980): Ein verbessertes Extraktionsverfahren für *Heterodera schachtii*. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **32**, 21-24.
- OHNISHI, O. (1991): Discovery of the wild ancestor of common buckwheat. *Fagopyrum* **11**, 5-10.
- PENG, D.L. & VOVLAS, N. (1994): Occurrence of the cyst-forming nematode *Cactodera thornei* in China. Nematol. medit. **22**, 75-78.
- RENNER, E. (1981): Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung. 2. Aufl., Berlin u. Hamburg, Paul Parey Verlag.
- SCHLANG, J. (1985a): Buchweizen, *Fagopyrum esculentum* Moench (Polygonaceae), eine Feindpflanze gegen *Heterodera schachtii*. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **226**, 104-114.
- SCHLANG, J. (1985b): Resistenzverhalten verschiedener Ölrettichsorten gegenüber *Heterodera schachtii*. Gesunde Pflanzen **37**, 233-235.
- SCHLANG, J. (1990): Untersuchungen zur Eignung des Buchweizens *Fagopyrum esculentum* als resistente Zwischenfrucht zur biologischen Bekämpfung von *Heterodera schachtii*. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **266**, 447.
- SCHULZE-BISPING, G. (1986): Buchweizen - mehr Nostalgie als Nutzen. Top agrar **9**, 28-29.
- STEELE, A.E. (1965): The host range of the sugar-beet nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. J. Amer. Soc. Sugar-Beet Techn. **13**, 573-603.

TSVETOUKHINE, V. (1952): Buckwheat and its improvement possibilities. *Annls. Inst. natn. Rech. agron.*, Paris No 1, 99-115, zit. in: DE JONG, H. [Ed.] (1972): Buckwheat. *Field Crop Abstracts* **25**, 389-396.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Josef Schlang,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
- Außenstelle Elsdorf -
Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf

Untersuchungen zur Resistenz von *Heterodera schachtii* gegen Aldicarb

Investigations on aldicarb resistance in *Heterodera schachtii*

JOACHIM MÜLLER

Abstract

The nematicide Temik 5G (active substance = 5 % aldicarb) was applied repeatedly to microplots in open field conditions to prevent multiplication of *Heterodera schachtii*. In spite of the high dosage of 5 g Aldicarb/m², applied three times per year for five years, the population density remained at ca. 3000 eggs/100 g of soil (ca. 64 % of untreated control plots). The selection of a resistant *H. schachtii* population, due to continuous nematicidal pressure, was assumed. Additional experiments on the penetration of juveniles into sugar-beet roots and on the multiplication rate of the "resistant" *H. schachtii* population were carried out to check this hypothesis. The results disproved development of resistance. The loss of aldicarb activity is more likely due to enhanced microbial degradation.

Keywords: *Heterodera schachtii*, nematicide resistance, Temik 5G, aldicarb, microbial degradation

Im Laufe ihrer evolutionären Entwicklung haben sich Nematoden an sehr vielfältige Umweltbedingungen angepaßt. Trotz ihres einfachen und relativ einheitlichen Körperbaus, ihrer geringen, konstanten Zahl somatischer Zellen und dem damit verbundenen Fehlen eines Regenerationsvermögens zeigen sie eine erstaunliche physiologische Plastizität. Selbst an hochtoxische Nematizide können sie sich gewöhnen, wie dies inzwischen für zahlreiche Arten belegt ist. Je nach Nematizid und betroffener Nematodenart kann es zu verringerter, aber auch zu höherer Empfindlichkeit kommen, wenn eine Population einem Mittel längere Zeit ausgesetzt ist. Resistenz gegen einen Wirkstoff kann andere Wirkstoffe mit einschließen (Kreuzresistenz), sie kann die Empfindlichkeit gegen ande-

re Stoffe aber auch erhöhen. Insgesamt hat sich gezeigt, daß es sich um sehr komplexe Phänomene handelt (VIGLIERCHIO, 1990; OPPERMAN, 1992).

Resistenz gegen einen toxischen Wirkstoff liegt nur dann vor, wenn es sich um eine genetisch verankerte erhöhte Widerstandsfähigkeit handelt (YAMASHITA *et al.*, 1986; OTTO, 1992). In der Literatur wird dabei teilweise auch von „Toleranz“ oder „verringertes Empfindlichkeit“ gesprochen und dies besonders dann, wenn die Unterschiede zwischen sensiblen und resistenten Populationen nur gering sind (BELOW & KÄMPFE, 1988).

Beobachtungen über eine nachlassende Wirksamkeit von Nematiziden müssen aber nicht zwangsläufig in genetischen Veränderungen der Nematoden begründet sein. VIGLIERCHIO (1990) weist darauf hin, daß neben

den Nematoden auch deren Wirtspflanzenkreis sowie die Mikroorganismen des Bodens in das Wirkungsgefüge eingreifen. Wiederholte Anwendung von Nematiziden bedeutet nicht nur Selektionsdruck auf die Nematodenfauna, sondern auch auf bestimmte Mikroorganismen, die diese Substanzen als Nahrungsquelle nutzen könnten. Eine Selektion auf dieser Ebene kann Resistenz auf Seiten des Nematoden vortäuschen. Schließlich ist es auch möglich, daß ein Nematizid bei erhöhtem pH-Wert verstärkt hydrolysiert wird und damit an Wirksamkeit verliert (YAMASHITA *et al.*, 1986).

Eigene Beobachtungen zum Wirkungsverlust von Aldicarb

Der hier geschilderte Versuch wurde nicht mit dem Ziel angelegt, das Auftreten von Nematizidresistenz bei *Heterodera schachtii* zu prüfen, sondern es sollten Wechselwirkungen zwischen Rübennematoden und Bodenpilzen untersucht werden. Dazu wurden Versuchsflächen mit und ohne *H. schachtii* benötigt. In einer Versuchsreihe sollten Parzellen ohne Rübennematoden durch dreimalige Applikation von Temik 5G (Wirkstoff: 5 % Aldicarb) geschaffen werden. Das Mittel wurde von 1981 bis 1985 jeweils vor der Saat von Zuckerrüben (ca. 20. April) sowie am 15. Juni und am 20. Juli jedes Jahres in einer Aufwandmenge von jeweils 100 g Temik 5G/m² (= 5 g Aldicarb/m²) ausgebracht und ca. 15 cm tief in den Boden eingearbeitet. In den Jahren 1979 und 1980 waren bereits 3 g/m² Aldicarb angewendet worden, aber nur einmalig zur

Saatzeit.

Die Dichte der *H. schachtii*-Populationen wurde jeweils vor der Zuckerrübensaat und nach der Ernte bestimmt (MÜLLER, 1980). Sie ist in Abbildung 1 für den Verlauf von fünf Jahren, in denen jedes Jahr Zuckerrüben kultiviert wurden, dargestellt.

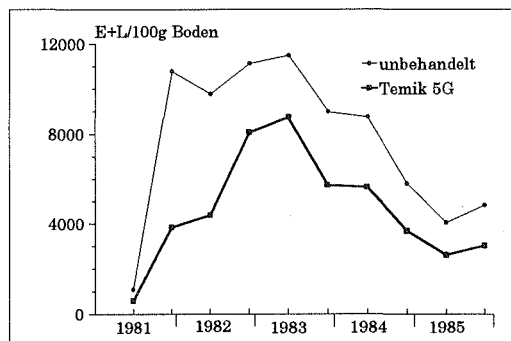


Abb. 1: Abundanzdynamik von *H. schachtii* unter Zuckerrüben-Dauerkultur mit und ohne Temik 5G

Im Jahr 1981 ergab sich für unbehandelten Boden eine Vermehrungsrate von etwa 10; nach dreifacher Applikation von Temik 5G gab es ebenfalls eine Vermehrung, allerdings weniger ausgeprägt als in der Kontrolle. Im folgenden Jahr 1982 wurde in unbehandeltem Boden nur noch ein schwacher Anstieg auf etwa 11 000 Eier und Larven (E+L)/100 g Boden erreicht, während die Vermehrungsrate unter Temik 5G deutlich höher lag. Offenbar war die maximal mögliche Populationsdichte 1982 in beiden Versuchsgliedern erreicht, denn in den folgenden drei Jahren war ein kontinuierliches Absinken auf 3000 – 5000 E+L/100 g Boden zu beobachten. Einen ähnlichen Verlauf fanden THIELEMANN und STEUDEL (1973) in einem Feldversuch mit Zuckerrüben-Dauer-

kultur, allerdings mit einer Aufwandmenge von 0,5 g/m² Aldicarb einmalig zur Saat. Aus diesem Versuch sowie aus anderen Untersuchungen von STEUDEL *et al.* (1978, 1981) ist bekannt, daß Aldicarb die junge Zuckerrübenpflanze zwar kurzfristig vor einem Befall schützt, daß die Populationsdichte von *H. schachtii* aber nicht bis zum Vegetationsende niedrig gehalten werden kann.

Bei dreimaliger Applikation des Mittels, zumal in zehnfacher Überdosierung, wurde dagegen ein anhaltender Effekt bis zum Vegetationsende erwartet. Um die Ursachen für die trotzdem mangelnde Wirksamkeit aufzuklären, wurden ergänzende Versuche durchgeführt. Sie hatten zunächst das Ziel, die Kurzzeitwirkung von Aldicarb auf die Einwanderung von Infektionslarven in das Wurzelgewebe zu erfassen.

Versuche zum Einfluß von Aldicarb auf die Einwanderung der Larven in Zuckerrübenwurzeln

Pflanzenverträgliche Nematizide werden im Boden relativ schnell mineralisiert. Ihre Halbwertszeit liegt, je nach Boden- und Witterungsbedingungen, bei 2 – 50 Wochen (JOHNSON *et al.* 1981; SMELT, 1983). In eigenen Untersuchungen konnte mit Aldicarb (als 1 g Temik 5G/1 m Reihe) die Einwanderung von *H. schachtii*-Larven in Zuckerrübenwurzeln für eine Dauer von fünf bis sechs Wochen nach Mittelapplikation weitgehend verhindert werden (MÜLLER, 1985). Nach dieser Zeitspanne läßt die Wirkung deutlich nach, so daß es im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode doch noch zu

einem Anstieg der Populationsdichte kommen kann. Aus dieser Sicht ist die Bestimmung der Vermehrungsrate zur Erntezeit kein gutes Kriterium für die Erfassung der Nematodenresistenz. Die Wirksamkeit von Aldicarb kann über die Einwanderung der Larven sicherer erfaßt werden.

Methodik

Für die Untersuchungen wurden Parzellen genutzt, die 1979 und 1980 mit je 1 x 3 g/m² Aldicarb und 1981 – 1983 mit jeweils 3 x 5 g/m² Aldicarb behandelt worden waren (Versuchsglied B). Als Vergleich dienten unbehandelte Kontrollflächen (Versuchsglied C) sowie Parzellen, die erstmals zur Saatzeit 1984 mit Aldicarb behandelt wurden (5 g/m², Versuchsglied A).

Im April 1984 lag die Populationsdichte von *H. schachtii* bei ca. 7000 E+L/100 g Boden. Die Zuckerrüben wurden am 22. April auf 6 cm Abstand in der Reihe gesät. Vor dem Vereinzeln (37 Tage nach der Saat) wurden je Versuchsglied 20 Pflanzen entnommen und deren Wurzeln gewaschen; ca. 10 cm Wurzeln je Pflanze wurden in Lactophenol-Säurefuchsin (0,05 %) gefärbt, in Lactophenol entfärbt und nach Auswaschen des Phenols in Glycerin untersucht. Dazu wurden die Wurzelsysteme zwischen Objektträgern gequetscht und bei 40 – 100-facher Vergrößerung auf den gesamten Besatz an Larven ausgezählt.

Ergebnis

Abbildung 2 zeigt die Zahl der pro cm Wurzel gefundenen Larven aller

Stadien. In Versuchsglied A ist der Besatz mit 0,7 Larven pro 1 cm Wurzel sehr niedrig; die wenigen gefundenen Tiere weisen darauf hin, daß die Wirksamkeit des Aldicarb nachzulassen beginnt. Im Vergleich dazu ist in Versuchsglied B aber die zehnfache Zahl an Larven in die Wurzeln eingedrungen, obwohl beide Versuchsglieder vor der Saat mit derselben Dosierung von Aldicarb behandelt wurden. Die Mittelwirkung war also erheblich reduziert, aber nicht völlig aufgehoben, wie ein Vergleich mit dem hohen Besatz in den Kontrollparzellen (C) erkennen läßt. Die hochsignifikante Differenz zwischen A und B läßt vermuten, daß etwa ein Drittel der *H. schachtii*-Population in Versuchsglied B gegenüber Aldicarb bereits unempfindlich ist.

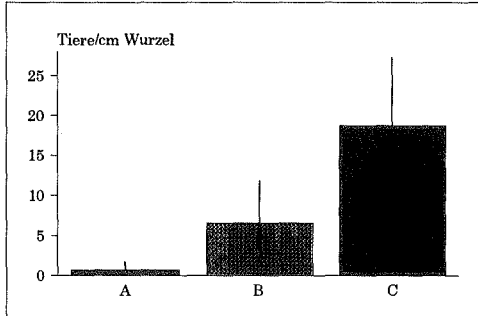


Abb. 2: Einwanderung von *H. schachtii* in Zuckerrübenwurzeln bei erstmaliger Aldicarb-Behandlung des Bodens (A), mehrfacher Vorbehandlung mit Aldicarb (B) sowie bei unbehandeltem Boden (C)

Prüfung der „resistenten“ *Heterodera schachtii*-Population in verschiedenen Substraten

Zur Absicherung der Hypothese einer Resistenzentwicklung wurden die

Böden der Versuchsglieder A und B zwischen Mitte April und Mitte August zu insgesamt sechs Terminen auf den Gehalt an Aldicarb sowie seiner Metaboliten Aldicarbsulfon und Aldicarbsulfoxid untersucht. Der Befund ergab wegen sehr großer Streuungen aber keine Korrelation zu den Rückstandswerten, die aufgrund der Applikationstermine zu erwarten waren, so daß diese Daten nicht verwendet werden konnten. Mehr Sicherheit sollte daher durch einen ergänzenden biologischen Test gewonnen werden.

Methodik

Die Vermehrungsrate der „resistenten“ *H. schachtii*-Population wurde in verschiedenen Substraten ermittelt: Boden 1 kam aus einem langjährigen Versuch mit Mais; er war frei von *H. schachtii*. Die Variante 1a war noch nie mit Aldicarb behandelt worden, in Variante 1b wurden dagegen für drei Jahre an jeweils drei Terminen (ca. 20. April, 15. Juni und 20. Juli) je 100 g Temik 5G pro m² appliziert (Ziel war hier die Bekämpfung wandernder Wurzel nematoden). Boden 2 stammte aus einer landwirtschaftlich mit Getreideanbau genutzten Fläche; er war ebenfalls frei von *H. schachtii*. Die Varianten 2a und 2b waren vorher noch nicht mit Aldicarb behandelt worden.

Die Böden wurden in 12 cm-Töpfe (= 650 ml) eingefüllt (n = 8). Bei den Varianten 1a, 1b und 2a wurde 0,5 g Temik 5G je Topf eingemischt (entspricht etwa 100 g Temik 5G pro 1 m² Feldboden und 30 cm Tiefe). Boden 2b blieb unbehandelt. Je Topf wurden dann vier Rapskeimlinge ausgelegt,

und anschließend wurde mit *H. schachtii* inokuliert.

Dazu wurden Zysten aus dem oben beschriebenen Versuch mit Zuckerrüben (Versuchsglied B) verwendet, also von einer Population, die gegenüber Aldicarb als weitgehend unempfindlich erschien. 50 Zysten kamen je Topf in einem Gazebeutel in ein 3 cm tiefes Loch in der Topfmitte. Der Zysteninhalt lag bei durchschnittlich 64 Eiern und Larven pro Zyste.

Zusammengefaßt ergibt sich folgendes Schema für die Versuchsanlage:

0,5 g Temik 5G je Topf

1a = Boden 1, bisher ohne Aldicarb
1b = Boden 1, 3 Jahre je 3 x Aldicarb
2a = Boden 2, bisher ohne Aldicarb

unbehandelt

2b = Boden 2, bisher ohne Aldicarb

46 Tage nach Versuchsansatz hatten sich die meisten neuen Zysten braun verfärbt. Sie wurden aus dem gesamten Topfinhalt mit Hilfe des Zentrifugationsverfahrens erfaßt.

Ergebnis

Die Entwicklung neuer Zysten war in den vier Versuchsgliedern sehr unterschiedlich (Abb. 3). In Variante 1a enthielten fünf Töpfe gar keine neuen Zysten, so daß der Durchschnitt bei nur 0,6 liegt. In 1b lag das Minimum

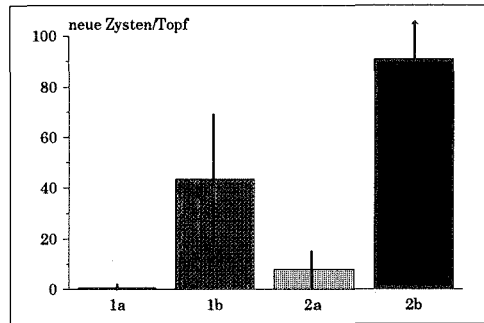


Abb. 3: Entwicklung neuer Zysten von *H. schachtii* an Raps in unterschiedlich behandelten Böden (s. Text)

bei 22, der Durchschnitt bei 43,5 Zysten pro Topf. Der schon bei der Einwanderung der Larven in die Wurzel beobachtete Unterschied zwischen erstmaliger Applikation und mehrfach mit Aldicarb vorbehandeltem Boden tritt hier wieder auf. In Boden 2a entwickelten sich annähernd 8 Zysten pro Topf, also mehr als in 1a, aber deutlich weniger als in 1b. Die unbehandelte Variante 2b brachte die größte Zahl neuer Zysten. Der Boden 2 ist wahrscheinlich für die Vermehrung von *H. schachtii* besser geeignet gewesen als Boden 1, so daß das Niveau in beiden Behandlungen höher liegt. Die Differenz zwischen 1b und 2b kann aber auch durch eine noch vorhandene Restwirkung des Aldicarb begründet sein.

Diskussion

Die Hypothese, durch wiederholte Behandlung des Bodens mit Aldicarb könnte eine resistente *H. schachtii*-Population selektiert worden sein, kann auf Grund der dargestellten Versuchsergebnisse nicht mehr aufrecht erhalten werden. Bei echter Re-

sistenz hätten in den Versuchsgliedern B und C (Abb. 2) sowie in 1b und 2b (Abb. 3) in etwa gleiche Ergebnisse beobachtet werden müssen. Dabei wird allerdings vorausgesetzt, daß Resistenz nicht mit einem Fitness-Nachteil gekoppelt ist und daß die Population nicht mehr in resistente und sensible Individuen aufspaltet. Selbst wenn beide Vorbehalte berücksichtigt werden, läßt sich die Differenz zwischen den Versuchsgliedern 1a und 1b (Abb. 3) aber nicht mit Resistenz erklären. Wahrscheinlicher ist es, daß in Boden 1b durch die Vorbehandlung mit Aldicarb eine Selektion von Mikroorganismen stattgefunden hat, die den Wirkstoff rasch abbauen. In den ersten Tagen nach Applikation dürfte die Konzentration noch ausgereicht haben, um den Larvenschlupf zu hemmen. Mit fortschreitender Mineralisation des Mittels gewinnen die Nematoden ihre Mobilität zurück, da die Hemmung reversibel ist (OPPERMAN & CHANG, 1991; STEELE, 1977). Es setzt eine normale Einwanderung und Entwicklung ein, bei der wegen der zeitlichen Verzögerung die Werte der Kontrolle aber nicht mehr ganz erreicht werden.

Beobachtungen über eine nachlassende Wirkung chemischer Bodenbehandlungsmittel wurden nicht nur bei Nematiziden gemacht. HOMMES & PESTEMER (1985) berichten zum Beispiel, daß die nachlassende Wirkung von Chlorfenvinphos gegen die Kohlflyge nicht auf Resistenz des Insekts, sondern auf beschleunigten mikrobiellen Abbau im Boden zurückzuführen war. Ob nun Insektizide oder Nematizide, in beiden Fällen ist unstrittig, daß mikrobieller Abbau an einem Wirkungsverlust ursächlich beteiligt sein

kann. Im Einzelfall gibt es aber unterschiedliche Ansichten, ob sich die Beobachtungen besser mit Resistenz der Nematoden oder durch höhere Aktivität von Mikroorganismen begründen lassen. YAMASHITA *et al.* (1988) zitieren dazu Literaturhinweise für beide Standpunkte.

Die Untersuchungen von YAMASHITA *et al.* (1988) sind die einzigen, die sich mit Resistenz von *H. schachtii* gegen Aldicarb und andere Wirkstoffe befassen und die daher mit den eigenen Beobachtungen verglichen werden können. Suspensionen mit Mikroorganismen, gewonnen aus langjährig mit Aldicarb behandeltem Boden, konnten in ihren Versuchen den Abbau von Aldicarb in unbehandeltem Boden nicht beschleunigen. Die Vermehrung der *H. schachtii*-Populationen in diesen Böden wurde nicht wesentlich beeinflusst, und die Autoren kommen zu dem Schluß, daß die beobachtete Resistenz genetisch in den Nematoden verankert ist. Gestützt wird dies durch die Ergebnisse von VIGLIERCHIO & BROWN (1989), die *H. schachtii*-Larven nach einer Gewöhnung bei subletaler Dosierung anschließend verschiedenen Nematiziden in steigender Konzentration aussetzten. Obwohl Mikroorganismen hier nicht beteiligt waren, wurden Reaktionen festgestellt, die auf Resistenz hindeuten.

Bei den zitierten Arbeiten mit *H. schachtii* wurden die Nematoden in der Gewöhnungsphase subletalen Konzentrationen der Wirkstoffe ausgesetzt (etwa ein Zehntel der praxisüblichen Dosierung), in den eigenen Versuchen dagegen wurde eine zehnfach erhöhte Dosierung gewählt. Vielleicht liegt hierin der Grund dafür, daß

YAMASHITA *et al.* (1988) einen verstärkten mikrobiellen Abbau nicht feststellen konnten. Da die Nematoden in den eigenen Versuchen trotz der hohen Dosierung überlebten (zumindest teilweise und wahrscheinlich im Grenzbereich zu tieferen Bodenschichten), war ein Selektionsdruck in Richtung genetisch verankerter Resistenz sehr wohl vorhanden. Die dargestellten Ergebnisse lassen aber nur den Schluß zu, daß der Wirkungsverlust des Aldicarb nicht durch Resistenz der *H. schachtii*-Population, sondern durch erhöhten mikrobiellen Abbau zu begründen ist.

Zusammenfassung

In einem Freilandversuch auf Kleinparzellen wurde versucht, die Vermehrung von *Heterodera schachtii* durch wiederholte Applikation des Nematizids Temik 5G (5 % Wirkstoff Aldicarb) zu verhindern. Trotz der hohen Dosierung von 5 g Aldicarb/m² und jährlich dreimaliger Behandlung lag die Populationsdichte nach fünf Jahren noch bei ca. 3000 Eiern und Larven/100 g Boden (ca. 64 % unbehandelter Kontrollparzellen). Es wurde vermutet, daß durch den ständigen Nematiziddruck eine resistente *H. schachtii*-Population selektiert worden war. Um dies zu überprüfen, wurden ergänzende Versuche zur Einwanderungsrate der Larven in Zuckerrübenwurzeln sowie zur Vermehrung der "resistenten" Population in unterschiedlichen Substraten durchgeführt. Die Ergebnisse widersprechen der Resistenz-Hypothese. Es muß vielmehr angenommen werden, daß der Wirkungsverlust des Aldicarb durch

gesteigerten mikrobiellen Abbau bedingt war.

Literatur

- BELOW, S. & KÄMPFE, L. (1988): Modell-Untersuchungen zur Carbamattoleranz und -resistenz an *Rhabditis oxycerca* (de Man, 1895) (Nematoda). Arch. Phytopathol. Pflanzensch. **24**, 45-53.
- HOMMES, M. & PESTEMER, W. (1985): Mögliche Ursachen für eine nachlassende Wirkung von Bodeninsektiziden bei der Bekämpfung der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*. syn. *D. brassica*) an Rettich in der BRD. Mededel. Fac. Landbouwwetensch. Rijksuniv. Gent **50**, 643-650.
- JOHNSON, A.W., ROHDE, W.A., DOWLER, C.C., GLAZE, N.C. & WRIGHT, W.C. (1981): Influence of water and soil temperature on the concentration and efficacy of phenamiphos for control of root-knot nematodes. J. Nematol. **13**, 148-153.
- MÜLLER, J. (1980): Ein verbessertes Extraktionsverfahren für *Heterodera schachtii*. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **32**, 21-24.
- MÜLLER, J. (1985): Versuche zur Bekämpfung von *Heterodera schachtii* mit resistentem Ölrettich (*Raphanus sativus* L.) als Zwischensaat in Zuckerrüben. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **226**, 94-103.
- OPPERMAN, C.H. (1992): The molecular basis of differential nematode sensitivity to nematocides. In: GOMMERS, F.J. & MAAS, P.W.TH. [Eds.]: Nematology from molecule to ecosystem; Proceedings Second International Nematology Congress, 11-17 August 1990, Veldhoven, the Netherlands, Dundee, UK, 60-72.
- OPPERMAN, C.H. & CHANG, S. (1991): Effects of aldicarb and fenamiphos on acetylcholinesterase and motility of *Caenorhabditis elegans*. J. Nematol. **23**, 20-27.
- OTTO, D. (1992): Insektizidresistenz in Insektenpopulationen - ein Überblick. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **44**, 34-39.
- SMELT, A.E. (1983): Effects of selected ne-

- maticides on hatching of *Heterodera schachtii*. J. Nematol. **15**, 467-473.
- STEELE, A.E. (1977): Effects of selected carbamate and organophosphate nematocides on hatching and emergence of *Heterodera schachtii*. J. Nematol. **9**, 149-154.
- STEUDEL, W., THIELEMANN, R. & HAUFE, W. (1978): Der Einfluß von Aldicarb auf die Vermehrung des Rübenzystenälchens (*Heterodera schachtii* Schmidt) und den Ertrag von Zuckerrüben in der Köln-Aachener Bucht. Nematologica **24**, 361-375.
- STEUDEL, W., THIELEMANN, R. & HAUFE, W. (1981): Untersuchungen zur Populationsdynamik des Rübenzystenälchens (*Heterodera schachtii* Schmidt) in der Köln-Aachener Bucht. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem **199**, 66.
- THIELEMANN, R. & STEUDEL, W. (1973): Neunjährige Erfahrungen mit Monokultur von Zuckerrüben auf mit *Heterodera schachtii* verseuchtem Boden. Nachricht. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **25**, 145-149.
- VIGLIERCHIO, D.R. (1990): The impact of nematode adaptability on the prospect for their control. Rev. Nématol. **13**, 3-9.
- VIGLIERCHIO, D.R. & BROWN, S.M. (1989): *In vitro* testing for nonfumigant nematicide resistance in *Heterodera schachtii*. Rev. Nématol. **12**, 139-143.
- YAMASHITA, T.T., VIGLIERCHIO, D.R. & KUO, F.F. (1988): The role of microbial populations from long-term nonfumigant nematicide treated soils on *Heterodera schachtii* nematicide trials. Rev. Nématol. **11**, 351-358.
- YAMASHITA, T.T., VIGLIERCHIO, D.R. & SCHMITT, R.V. (1986): Responses of nematodes to nematicidal applications following extended exposures to subnematicidal stress. Rev. Nématol. **9**, 49-60.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Joachim Müller,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Topheideweg 88, 48161 Münster

Resistenz bei Nematoden und Nagetieren gegen chemische Bekämpfungsmittel - ein Vergleich der biologischen Grundlagen

Resistance of nematodes and rodents to chemical agents - a comparison of the biological principles

JOACHIM MÜLLER und HANS-JOACHIM PELZ

Abstract

For the chemical control of nematodes, as well as of rodents, different chemical agents are used within each target animal group. This paper reports on the effects of carbamates and organophosphates on free living and plant parasitic nematodes and of anticoagulants on brown rats (*Rattus norvegicus*).

Carbamates and organophosphates intervene with the cholinergic system by binding to acetylcholinesterase. As a consequence, in the animal initially coordination of movement is disturbed and eventually damage is lethal. Resistant nematodes use different mechanisms to overcome this effect, e. g. rapid detoxification of the nematicide, increased synthesis of acetylcholinesterase and reduced activity of cholinacetyltransferase. Resistance in plant parasitic nematodes has been observed in pot experiments after treatment with sublethal doses of nematicides, but such results have not been reported from field conditions.

Anticoagulants intervene in the biosynthesis of vitamin K dependent factors for blood clotting. They bind to vitamin K reductase thus preventing the regeneration of vitamin K_o. Different species, even within rodents, show differences in sensitivity or may even react extremely tolerant of anticoagulants, provided they are not yet resistant. Brown rats are very sensitive to all known anticoagulant compounds. They exhibit two different resistance mechanisms (Welsh type and Scottish type).

The biochemical mechanisms of activity are similar in nematicides and anticoagulants. They both block the receptors of important enzymes. Resistance in an organism is due to its capacity to act against the fixed reaction pattern of these chemicals employing flexible structures of the receptor sites in its enzymes. The necessary genetic basis to enable this developed most probably during the evolution of the animal and not recently by new mutations under selection pressure of a chemical agent.

Keywords: nematodes, brown rats, *Rattus norvegicus*, chemical control, resistance, carbamates, organophosphates, anticoagulants

Resistenz gegen chemische Bekämpfungsmittel ist in verschiedenen Organismengruppen beobachtet worden. Unter den tierischen Schaderregern sind besonders Insekten betroffen, von denen zahlreiche Arten heute nicht mehr mit Wirkstoffen bekämpft

werden können, die früher hochwirksam waren. Dabei ist Resistenz in dem hier behandelten Sinne die genetisch verankerte erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen ein Bekämpfungsmittel, die sich aufgrund eines Selektionsprozesses unter dem anhaltenden Selektions-

tionsdruck dieser Noxe herausgebildet hat (OTTO, 1992). Die größere Widerstandsfähigkeit äußert sich langfristig in einer höheren Vermehrungsrate der resistenten Schaderregerpopulation, die daher als Maßeinheit für die Resistenz dienen kann. Hier zeigen sich gewisse Parallelen zur Resistenz von Pflanzen, die in der Nematologie ebenfalls an der Vermehrungsrate der Nematodenpopulation gemessen wird (MÜLLER, 1989).

Ein direkteres Maß zur Ermittlung des Resistenzgrades ist der Vitalitätstest. Hier werden die Tiere dem Wirkstoff in bestimmten Konzentrationen und für festgelegte Zeiten ausgesetzt, und anschließend wird die Mortalität aufgrund äußerer Kriterien oder durch Anfärbung bestimmt. Aus dem Quotienten der LD_{50} einer resistenten Population und der LD_{50} einer sensiblen Population wird der Resistenzindex (R_i) berechnet (BELOW & KÄMPFE, 1988). R_i -Werte >10 sprechen definitionsgemäß für das Vorliegen von Resistenzen. OTTO *et al.* (1992) diskutieren die Nachteile und Grenzen des Resistenzindex bei der Bewertung der Resistenzsituation in Feldpopulationen.

Bei Wirbeltieren hat Resistenz letztlich die gleichen Auswirkungen auf die Populationsentwicklung, wie dies bei Nematoden und Insekten der Fall ist. Die Bestimmung von Vermehrungsraten auf Populationsebene ist aber meistens schwierig und langwierig, so daß andere Verfahren genutzt werden müssen. Spezifische, an den Resistenzmechanismus angepasste Methoden erlauben es, Resistenz an Einzeltieren zu erkennen, ohne daß diese getötet werden müssen.

Chemische Bekämpfungsmittel greifen je nach Wirkstoff bzw. je nach betroffener Tierart an unterschiedlichen Stellen in den Stoffwechsel ein, und entsprechend vielfältig sind die physiologischen und biochemischen Vorgänge, die schließlich zur Resistenz gegen diese Mittel führen. Es ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich und auch nicht beabsichtigt, das Thema für Nematoden und Nagetiere erschöpfend darzustellen. Für beide Tiergruppen können nur Beispiele für Vorkommen und Wirkungsmechanismen von Resistenzen aufgezeigt werden, wobei unter den Nematoden die Pflanzenparasiten sowie freilebende Arten und unter den Nagetieren die Wanderratte besondere Berücksichtigung finden. Trotz unterschiedlicher Wirkungsebenen der Mittel im Stoffwechsel gibt es Gemeinsamkeiten hinsichtlich des genetischen Hintergrundes und der Selektionsprinzipien, die zur Resistenz führen. Deren Bedeutung für geeignete Strategien, die das Auftreten von Resistenzen reduzieren können, soll am Schluß diskutiert werden.

Resistenz von Nematoden gegen Nematizide

Nematoden weisen einerseits einen relativ einheitlichen Körperbau und nur geringe Unterschiede in ihren morphologischen Strukturen auf, andererseits aber zeigen sie eine erstaunlich breite physiologische Vielfalt, die es ihnen erlaubt, nahezu alle Biototypen zu besiedeln. So gibt es neben den zahlreichen freilebenden, überwiegend saprobiontischen Formen die spezialisierten Parasiten, die

Mensch, Tier und Pflanze befallen. Nur Vertreter dieser Gruppen sind das Ziel chemischer Bekämpfungsmittel, und nur hier war das Problem der Resistenz gegen Nematizide zunächst von Interesse. Inzwischen hat sich aber gezeigt, daß bestimmte freilebende Arten, allen voran *Caenorhabditis elegans*, hervorragend für die Erforschung biologischer Grundlagen geeignet sind. Wichtige Erkenntnisse über Resistenzmechanismen wurden an dieser Art gewonnen.

Die gegen Human- und Tierparasiten eingesetzten Anthelminthica unterscheiden sich grundsätzlich von den Mitteln gegen Pflanzenparasiten, die in der Regel für Warmblüter hochtoxisch sind. In dieser Arbeit bleiben Nematoden in Mensch und Tier unberücksichtigt, wenn auch Resistenz gegen z. B. Benzimidazole verbreitet vorkommt. Diese Mittel haben u. a. gegen *Haemonchus contortus*, der in Schafen parasitiert, relativ rasch ihre Wirkung verloren. ROOS und BOERSEMA (1992) geben eine Übersicht über die physiologischen und biochemischen Vorgänge, die bei dieser Wirkstoffgruppe zur Resistenzbildung führen.

Pflanzenparasiten, die zumindest in bestimmten Phasen ihres Lebenszyklus Bodenbewohner sind, können mit Mitteln aus unterschiedlichen Wirkstoffgruppen bekämpft werden. Sehr breit wirksam sind Chemikalien zur Begasung des Bodens, wie z. B. 1,3-Dichlorpropan. Resistenz ist gegen diese allgemeinen Biozide, die auch Pflanzen abtöten, bisher nicht aufgetreten. Daneben gibt es pflanzenverträgliche Nematizide, in der englischsprachigen Literatur "nonfumigant nematocides" genannt. Auf Grund

unterschiedlicher Wirkungsebenen lassen sich hier drei Gruppen unterscheiden: Avermectine, Levasol und Carbamate/Organophosphate (RIDDLE & GEORGI, 1990). Die letzte Gruppe umfaßt die für die Praxis bisher wichtigsten Wirkstoffe, und nur auf sie soll im folgenden näher eingegangen werden.

Wirkungsweise der Carbamate und Organophosphate

Die Carbamate (wie Aldicarb, Carbofuran und Oxamyl) wurden ebenso wie die Organophosphate (wie Ethoprop, Fenamiphos und Fensulfothion) in erster Linie wegen ihrer insektiziden Wirkung entdeckt; erst später wurden ihre nematiziden Eigenschaften erkannt. Grundsätzliche Erkenntnisse über ihren Wirkungsmechanismus wurden daher an Insekten gewonnen (OPPERMAN, 1992). Es ist aber problematisch, diese Beobachtungen vorbehaltlos auf Nematoden zu übertragen, denn es hat sich gezeigt, daß einige Arten auf denselben Wirkstoff sehr unterschiedlich reagieren (VIGLIERCHIO, 1990; GOURD *et al.*, 1994). Untersuchungen an dem freilebenden Nematoden *C. elegans* geben deshalb nur ein Grundmuster wieder, welches bei bestimmten Pflanzenparasiten eventuell modifiziert werden muß und vereinfacht wie folgt abläuft:

An den Synapsen des Nervensystems erfolgt die Erregungsübertragung in der Regel durch Acetylcholin (ACh), bei bestimmten Nerven aber auch durch Acylcholin, Noradrenalin, Adrenalin oder andere Substanzen (VIGLIERCHIO & BROWN, 1989). Ein solcher Stimulus kann z. B. eine Mus-

kelkontraktion bewirken. Um ihn wieder aufzuheben, muß der chemische Transmitter (ACh) wieder abgebaut werden. Dies geschieht durch Acetylcholinesterase (AChE), die ACh in Cholin und Essigsäure spaltet. An dieser Stelle greifen Carbamate und Organophosphate in die Reaktionskette ein. Sie besetzen die Bindungsstellen der AChE und blockieren dadurch die Hydrolyse des ACh. Dieser Vorgang ist reversibel, nach vollständiger Lähmung können sich die Tiere also wieder normal bewegen, wenn sie der toxischen Substanz nicht mehr ausgesetzt sind. Die Dauer der Blockierung ist je nach Tierart unterschiedlich. Bei Nematoden kann eine Erholung schon nach 24 Stunden (OPPERMAN & CHANG, 1991) oder erst nach einigen Tagen erfolgen (MARBAN-MENDOZA & VIGLIERCHIO, 1980). Die Regeneration ist auch von der Art des Nematizids abhängig und bei Carbamaten offenbar leichter möglich als bei Organophosphaten (MULDER & BAKKER, 1988; CUANY *et al.*, 1984), sie ist aber auch je nach Nematodenart unterschiedlich (BUNT, 1975).

Untersuchungen an *C. elegans* haben ergeben, daß hier drei Formen der AChE vorkommen (A-, B- und C-Typen), die unterschiedliche Wirkung auf das ACh haben. Sie werden durch die Gene *ace-1*, *ace-2* und *ace-3* kodiert. An Mutanten ließ sich zeigen, daß ein defektes *ace*-Gen keine erkennbaren Auswirkungen auf den Phänotyp hat. Selbst wenn zwei der drei Strukturgene ausfallen, sind nur leichte Bewegungsstörungen feststellbar. Ein letaler Effekt tritt erst ein, wenn alle drei *ace*-Gene mutiert sind. Ist aber gleichzeitig eine Mutation des Gens für Cholinacetyltransferase

(ChAT) vorhanden, so werden lebensfähige Tiere beobachtet, obwohl AChE fehlt. In diesem Fall wird weniger ACh synthetisiert, was das Fehlen der AChE wieder ausgleicht (RIDDLE & GEORGI, 1990).

Die drei Esterasetypen haben eine unterschiedliche Bindungsfähigkeit für das Acetylcholin. Die Bindung des C-Typs an ACh ist etwa 1000-fach stärker als die des A-Typs und sogar 4500-fach stärker als die des B-Typs. Bei *C. elegans* macht der Anteil des C-Typs nur ca. 5 % der Gesamt-AChE aus. Die Bindungsfähigkeit der AChE wird durch bestimmte Aminosäuren beeinflusst, die eine spezifische Struktur der aktiven Bindungsstellen bewirken. Dadurch wird nicht nur die Affinität zum ACh, sondern auch zum Inhibitor (z. B. Aldicarb) beeinflusst (OPPERMAN, 1992). ARPAGAUS *et al.* (1994) berichten, daß die cDNA des *ace-1* kodierenden Gens von *C. elegans* sequenziert werden konnte. Das daraus abgeleitete Protein hat 620 Aminosäuren und 42 % Ähnlichkeit mit menschlicher AChE.

Acetylcholinesterasen wurden auch in pflanzenparasitären Nematoden nachgewiesen (CUANY *et al.*, 1984; NORDMEYER & DICKSON, 1990; OPPERMAN & CHANG, 1990), über deren biochemische Struktur ist aber weniger bekannt. Drei verschiedene AChE-Typen wurden bei *Heterodera glycines*, *Meloidogyne arenaria* und *M. incognita* gefunden, wobei deren biochemische Eigenschaften Ähnlichkeiten mit denen in *C. elegans* aufweisen (OPPERMAN, 1992).

Beobachtungen über Resistenz gegen Carbamate und Organophosphate

In einem zusammenfassenden Kapitel über die Wirkungsweise von Nematiziden stellt WRIGHT (1981) fest, daß Resistenz gegen diese Mittel bis dahin in Feldpopulationen nicht beobachtet wurde. In Labor- bzw. Gewächshausversuchen wurde dagegen nach zehnmaliger Applikation von Fenamiphos Resistenz bei *Ditylenchus dipsaci* vermutet (BUNT, 1975) und ebenso gegen Aldicarb bei *Paratylenchus hamatus* (MACDONALD, 1976). SMOLIK (1978) berichtet über „Toleranz“ gegen Carbofuran bei *Pratylenchus scribneri* in Maisfeldern nach vier- oder fünfjährigem Einsatz dieses Insektizids. Da jedoch auch Dorylaimiden und saphophage Arten „tolerant“ wurden, ist eher eine andere Ursache zu vermuten als die simultane Resistenzentwicklung in unterschiedlichen Nematodengruppen. Eigene Untersuchungen über „Resistenz“ bei *Heterodera schachtii*, über die in diesem Heft berichtet wird, stützen diese Vermutung (MÜLLER, 1996).

Eindeutige Befunde in Richtung Resistenzselektion ergaben dagegen die Untersuchungen von KÄMPFE und WISCHGOLL (1984), BELOW *et al.* (1987), BELOW und KÄMPFE (1988) sowie KÄMPFE und SCHÜTZE (1995) mit *Rhabditis oxycerca*. Die Nematoden wurden auf Hafermehlbrei kultiviert, dem steigende Mengen von Aldicarb bzw. Oxamyl zugegeben wurden. Nach anfänglichen 1 bzw. 5 ppm konnte die Konzentration sechs Jahre später auf 200 bzw. 250 ppm gesteigert werden, nach neun Jahren sogar auf 400 ppm. Die in sechs Jahren

durchlaufene Generationenzahl wird auf etwa 300 geschätzt. Menge und Zusammensetzung der Mikroflora im Nährmedium, waren unverändert geblieben, so daß hier nicht die Ursache für den Wirkungsverlust der Mittel liegen kann. Eine Vorbehandlung mit Aldicarb erhöhte die Verträglichkeit anschließender Oxamylgaben, während umgekehrt die Vorbehandlung mit Oxamyl die Empfindlichkeit gegen Aldicarb vergrößerte. Wurden dauerbehandelte Tiere in wirkstofffreie Umgebung umgesetzt, so verringerte sich ihre Aktivität, was als Entzugssymptom gedeutet wurde. Der Vitalitätstest ergab eine eindeutige Oxamylresistenz, während Resistenz gegen Aldicarb zunächst nicht festzustellen war.

Ähnlich komplexe Ergebnisse wurden auch mit pflanzenparasitären Nematodenarten erzielt. VIGLIERCHIO *et al.* (1989) setzten *Heterodera schachtii* subletalen Dosen von Carbofuran, Oxamyl, Fenamiphos und Aldicarb aus. Die Konzentrationen lagen bei geschätzten 10 % des im Feld bei praxisüblicher Anwendung zu erwartenden Wertes, und die Applikation der Mittel wurde einmal monatlich für jeweils 24 Stunden durchgeführt (beschrieben in YAMASHITA *et al.*, 1986). Nach dreijähriger Behandlung der Nematodenpopulationen mit subletaler Dosis wurde anschließend die Fähigkeit zur Vermehrung bei nematizider Aufwandmenge geprüft. Die Ergebnisse zeigten sehr unterschiedliche Auswirkungen der Vorbehandlungen: während subletaler Streß mit Carbofuran und Oxamyl die Vermehrungsfähigkeit verringerte, wurde sie durch Vorbehandlung mit Aldicarb oder Fenamiphos erhöht.

Auch andere pflanzenparasitäre Nematodenarten reagierten spezifisch auf eine subletale Vorbehandlung mit Nematiziden, so z. B. *Pratylenchus vulnus*, *Xiphinema index* und *Meloidogyne incognita* (YAMASHITA & VIGLIERCHIO, 1986a, b) oder *Criconebella xenoplax* (YAMASHITA & VIGLIERCHIO, 1988; YAMASHITA *et al.*, 1988).

Resistenzursachen

UNTERSTENHÖFER (1970) unterscheidet drei Ursachenkomplexe, die zu Resistenz bei tierischen Organismen führen könnten: 1. physiologische Resistenz, bei der das toxische Agens im Körper des Tieres ausgeschaltet wird; 2. morphologische Resistenz, bei der ein Eindringen des Mittels in den Organismus verhindert wird; und 3. ethologische Resistenz, bei der der Organismus dem Kontakt mit dem toxischen Mittel durch Verhaltensänderung ausweicht. Eine Realisierung des letzten Punktes erscheint für Nematoden, die eng an ihren spezifischen Lebensraum gebunden sind, wenig wahrscheinlich. Die zweite Möglichkeit ist durchaus denkbar, bisher bei Nematoden aber nicht beobachtet worden. Die physiologisch-biochemisch bedingte Resistenz dürfte daher entscheidend sein, und die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, daß im Metabolismus resistenter Nematoden biochemische Veränderungen auftreten.

Physiologisch-biochemische Erklärungen zur Resistenzursache setzen an drei Punkten an:

1. Die toxische Substanz wird verstärkt abgebaut. Hinweise für diesen Weg ergeben die Versuche von

BELOW *et al.* (1987), die in resistenten Tieren eine höhere Zahl von Oxidasen und unspezifischen Esterasen fanden. Beide Enzymgruppen dürften nach ihrer Einschätzung maßgeblich an der Carbamat-Detoxifikation beteiligt sein.

2. Im Bereich der Acetylcholinesterasen treten Veränderungen auf, entweder durch Aktivitätssteigerung oder durch strukturelle Änderungen. Aus Untersuchungen an *C. elegans* ist bekannt, daß die drei AChE-Typen unterschiedliche Affinität zu Inhibitoren aufweisen, wobei der C-Typ erst durch deutlich höhere Konzentrationen gehemmt wird als die A- und B-Typen (OPPERMAN, 1992). BELOW *et al.* (1987) fanden in *Rhabditis oxycerca* unter dem Einfluß von Aldicarb und Oxamyl eine erhöhte Aktivität für AChE. Dabei blieb aber ungeklärt, ob dies auf Strukturveränderungen oder auf erhöhte Produktion zurückzuführen war. Nach OPPERMAN und CHANG (1991) gibt es Hinweise dafür, daß die Aktivitätssteigerung eher auf die Instabilität einer kovalenten Bindung zwischen AChE und Nematizid zurückgeht als auf die vermehrte Synthese eines Enzyms.
3. Der Resistenzmechanismus könnte über die Acetylcholin synthese geregelt werden. RIDDLE und GEORGI (1990) berichten in einer zusammenfassenden Darstellung über *C. elegans*, daß hier Mutanten gefunden wurden, die eine verringerte Aktivität der Cholinacetyltransferase (ChAT) aufweisen. Dieses Enzym synthetisiert ACh. Wird AChE unter dem Einfluß eines Nematizids blockiert und daher ACh an den

Synapsen nicht mehr in normalem Umfang abgebaut, so wäre ein Ausgleich auch durch reduzierte Synthese von ACh erreichbar.

Welche der drei geschilderten Varianten wirksam wird, ist zumindest bei pflanzenparasitären Nematoden noch völlig offen. Eventuell können verschiedene Resistenzmechanismen nebeneinander wirksam werden, was die je nach Nematizid und Nematodenart unterschiedlichen Reaktionen leichter erklären würde.

Resistenz von Nagetieren gegen Rodentizide

Die Entstehung resistenter Populationen setzt einen ständigen Selektionsdruck durch Rodentizide voraus. Unter den Nagetieren sind diesem Druck nur die kommensalen Ratten und Hausmäuse ausgesetzt. Sie verursachen beträchtliche Schäden durch Fraß an Nahrungs- und Futtermitteln, durch Benagen von Materialien an Gebäuden, Installationen, Fahrzeugen usw., und sie übertragen Krankheiten durch Kontamination von Nahrungs- und Futtermitteln oder über Vektoren auf Menschen und Haustiere. Ratten und Hausmäuse können deshalb im menschlichen Siedlungsbereich nicht geduldet werden.

Von wenigen Spezialanwendungen abgesehen wird die Bekämpfung heute nur noch mit blutgerinnungshemmenden Wirkstoffen (Antikoagulantien) durchgeführt. Seit der Einführung des Warfarins und weiterer 4-Hydroxycumarin- und Indandionderivate in den 50er Jahren haben sich

diese Verbindungen auf Grund verschiedener Vorteile hinsichtlich der Annahme, Wirksamkeit und Anwendungssicherheit durchgesetzt. Bereits weniger als zehn Jahre nach der ersten Anwendung von Warfarin als Rodentizid gegen Wanderratten wurde jedoch erstmals Resistenz festgestellt, und auch die später entwickelten Wirkstoffe Bromadiolon, Difenacoum und Brodifacoum sind bereits von Resistenz betroffen. Dabei konzentrieren sich die Resistenzprobleme auf die hochindustrialisierten Länder in Westeuropa und Nordamerika sowie Japan, Australien und Brasilien (Übersichten bei PELZ, 1990; GREAVES, 1994; MYLLYMÄKI, 1995). Nur gegenüber den beiden neuesten Wirkstoffen Flocoumafen und Dife-thialon wurde Resistenz bisher nicht nachgewiesen. Die Empfindlichkeit gegenüber Antikoagulantien variiert sehr stark je nach Tierart und Wirkstoff. Selbst innerhalb der Nagetiere gibt es erhebliche Unterschiede. Während die Wanderratte sich durch besonders hohe Empfindlichkeit gegenüber allen Wirkstoffen auszeichnet, sind Hausratten und Hausmäuse von Natur aus weniger empfindlich gegenüber den älteren Wirkstoffen der Antikoagulantien, die auch als "Wirkstoffe der ersten Generation" bezeichnet werden. Sie lassen sich daher zum Beispiel mit Warfarin oder Cumatetralyl kaum wirksam bekämpfen. Eine ägyptische Nagerart, *Acomys cahirinus*, zeigt hohe Resistenz gegenüber allen antikoagulanten Wirkstoffen und kann daher mit Rodentiziden aus dieser Wirkstoffgruppe überhaupt nicht bekämpft werden. Eine weitere nordafrikanische Art, *Meriones shawi*, und auch der Goldhamster, *Mesocric-*

tus auratus, sind weitgehend unempfindlich gegenüber den Wirkstoffen der ersten Generation. In Zwangsfütterungsversuchen mit der zur Bekämpfung kommensaler Arten empfohlenen Konzentration (0,005 %) überlebten *M. shawi* auch eine 21tägige Fütterung mit Bromadiolon und 3 von 4 Tieren auch eine 22tägige Fütterung mit Difenacoum. Selbst mit Brodifacoum wurde erst nach 8tägiger Zwangsfütterung 100 %ige Mortalität erreicht (GILL, 1992). Dagegen wirkt bei normalempfindlichen Wanderratten bereits eintägige Zwangsfütterung zu 100 % letal.

Biochemie der Resistenz

Die Biosynthese verschiedener Blutgerinnungsfaktoren ist Vitamin K-abhängig. Die Faktoren des Prothrombinkomplexes (II, VII, IX und X) entstehen in Verbindung mit einer Serie zyklischer Oxidations- und Reduktionsschritte des Vitamin K (THIJSEN, 1995):

Vitamin K ist Co-Faktor einer Carboxylase, die die Umwandlung von Glutamatresten zu Gammacarboxyglutamat katalysiert. Dadurch erhält das Molekül die Fähigkeit, Calciumionen zu binden, die ihm die Anbindung an negativ geladene Phospholipid-Oberflächen ermöglichen. In der Carboxylase-Reaktion wird Vitamin K zu Vitamin K-2,3-Epoxid (Vit. K₀) oxidiert. Die Umsetzung von Vitamin K₀ zu Vitamin K wird über zwei Reduktionsschritte durch das Enzym Vitamin K₀-Reduktase katalysiert. Dadurch kann jedes Vitamin K-Molekül 1000 bis 10 000mal genutzt werden.

Antikoagulantien wirken, indem sie an die Vitamin K₀-Reduktase binden und dadurch die Regeneration des Vitamin K im Zellstoffwechsel unterbrechen. Unter den für die Resistenz gegenüber dem Wirkstoff Warfarin beschriebenen Genotypen lassen sich zwei Grundmuster erkennen, die sich in der Biochemie der Resistenz unterscheiden, und die nach ihren erstmaligen Fundorten benannt sind:

Welsh-type Resistenz

Ratten dieses Genotyps weisen eine veränderte Vitamin K₀-Reduktase auf, die eine geringere Bindungsaffinität zu Warfarin zeigt und dadurch weniger empfindlich ist für eine Hemmung durch diesen Wirkstoff. Diese Eigenschaft ist gleichzeitig mit einem erheblich höheren Bedarf an Vitamin K verbunden.

Scottish-type Resistenz

Bei Ratten dieses Genotyps weist die Vitamin K₀-Reduktase der resistenten Individuen keinen Affinitätsunterschied gegenüber Warfarin im Vergleich mit normal empfindlichen Individuen auf. Im Unterschied zu diesen ist die Interaktion des Warfarins mit der Reduktase bei resistenten Tieren jedoch reversibel, so daß die Regeneration des Vitamin K wieder in ausreichendem Umfang ermöglicht wird (THIJSEN, 1987). Der Vitamin K-Bedarf der Scottish-type Ratten unterscheidet sich nicht wesentlich von dem der normal empfindlichen Ratten, der Resistenzgrad ist geringer als bei Welsh-type Ratten (THIJSEN, 1995).

Antikoagulantien der zweiten Generation

Offenbar werden alle 4-Hydroxycumarinderivate am gleichen Rezeptor wirksam (BRECKENRIDGE *et al.*, 1985). Die auch als „Super-Warfarine“ bezeichneten Wirkstoffe der 2. Generation der Antikoagulantien erhalten ihre höhere Potenz aus einer wesentlich festeren Bindung an das Enzym (Vitamin K₀-Reduktase). Bei Welsh-type resistenten Ratten wird der Verlust an Bindungsaffinität am Hauptbindungszentrum offenbar durch die Seitenketten der neuen Wirkstoffe kompensiert. Bei der Scottish-type Resistenz wird die Bindung irreversibel und damit die Reaktivierung des Vitamin K erneut verhindert.

Resistenzgenetik

Nach GREAVES und AYRES (1967) ist die Warfarinresistenz bei der Wanderratte in einem einzigen autosomalen dominanten Gen festgelegt. Das Resistenzgen befindet sich auf Chromosom 1 und ist mit verschiedenen Genen gekoppelt, die die Pigmentierung steuern. Variationen in der Dominanz und Penetranz der Resistenzausprägung werden mit dem Einfluß von „Modifiern“ erklärt (GREAVES & AYRES, 1976), was letztlich gleichbedeutend mit einem polygenen Effekt wäre. Die unterschiedlichen biochemischen Mechanismen (Welsh-type und Scottish-type) werden auf multiple Allele am selben Locus zurückgeführt (GREAVES & AYRES, 1982). Hinsichtlich der höher potenten Wirkstoffe der Antikoagulantien der zweiten Gene-

ration lassen neuere Untersuchungen auf einen polygenen Erbgang schließen (GILL, 1992; GILL *et al.*, 1992; PELZ *et al.*, 1995).

Diskussion

Nachlassende Wirkung chemischer Bekämpfungsmittel ist in vielen Bereichen des Pflanzen- und Vorratsschutzes ein Problem. Unter den tierischen Schaderregern wird Resistenz bei Insekten besonders häufig beobachtet, und die biologischen Grundlagen der Insektizidresistenz sind daher relativ gut untersucht worden. Diese Resistenz wird in der Regel monogen vererbt, wobei bisher angenommen wurde, daß sie auf spontane Mutationen zurückgeht (RICHTER, 1992a). Wenn solche Mutationen manifest werden sollen, muß der Selektionsdruck ausreichend groß sein. Darüber hinaus ist eine hohe Vermehrungsrate erforderlich, damit Resistenz erkennbar wird (OTTO, 1992).

Entscheidendes Kriterium für das Auftreten von Resistenz ist die Höhe der Mutationsrate. Deren genaue Größe ist unbekannt, in jedem Falle ist sie aber so niedrig, daß in einer endlichen Insektenpopulation nur einzelne resistente Individuen durch Mutation entstehen dürften. RICHTER (1992a) gibt an, wie groß der Anteil sensibler (S), heterozygot resistenter (SR) und homozygot resistenter (RR) Individuen in einer Population ist, wenn die Häufigkeit (q) des Resistenzallels zwischen 10^{-3} und 10^{-10} liegt. Wird q zum Beispiel mit 1×10^{-7} angenommen, so wäre unter 0,5 Millionen Tieren nur eines zu erwarten, das heterozygot resistent (SR) ist, wäh-

rend homozygot resistente (RR) praktisch nicht auftreten ($0,5 \times 10^{-8}$). Resistente Tiere sind also so selten, daß sie kaum Geschlechtspartner finden dürften, wenn nach einer wirksamen Bekämpfung sensible Artgenossen fehlen. Eine Resistenzmutation hätte daher geringe Chancen, sich zu etablieren.

Sollten diese Vorstellungen zur Resistenzentstehung zutreffen, so müßte eine Bekämpfung bei Insekten großflächig und mit hohem Wirkungsgrad durchgeführt werden, um die Selektion resistenter Individuen zu verhindern. Bei Nematoden wäre diese Strategie aber kaum erfolgreich. Nematizide erfassen nur die oberen Bodenschichten, oder sie werden bewußt nur auf begrenzter Fläche, z. B. in die Saatrille, appliziert. Treten hier resistente Individuen auf, so werden sie bald mit sensiblen Tieren aus unbehandeltem Boden in Kontakt kommen und das Resistenzgen verbreiten. Ähnliches würde für eine Mutation gelten, die in einer Rattenpopulation zu Resistenz führt. Auch hier dürfte es kaum gelingen, großräumig alle Ratten zu vernichten, um so eine Weitergabe des Resistenzgens zu verhindern.

Es ist aber fraglich, ob die bisher bekannten Resistenzgene tatsächlich durch spontane Punktmutationen während des akuten Selektionsdrucks entstanden sind. Träger solcher Mutationen müßten eine Wirkstoffkonzentration überleben, die normalerweise letal wirkt. Für die Versuche mit *Rhabditis oxyerca* und auch für die mit pflanzenparasitären Nematodenarten wurden aber zunächst subletale Mitteldosierungen gewählt, und erst nach allmählicher Gewöhnung trat Resistenz auf. Es muß sich also

um einen Resistenzmechanismus handeln, der schrittweise zum Ziel führt. So wäre es denkbar, daß die Esteraseaktivität durch Genamplifikation kontinuierlich gesteigert wird, um die wachsende Nematizidbelastung auszugleichen. Bei der Insektizidresistenz ist dieser Mechanismus bekannt (DEVONSHIRE, 1989; MOUCHÈS *et al.*, 1992). Für die Praxis hätte dies weitreichende Folgen, denn die im integrierten Pflanzenschutz angestrebten verringerten Aufwandmengen würden die Gefahr der Resistenzselektion noch vergrößern.

Manches spricht dafür, daß in resistenten Tieren nicht nur Gene, die die „normale“ Enzymausstattung kodieren, amplifiziert und damit in ihrer Wirkung gesteigert werden. Der Organismus könnte auch Resistenz vermittelnde Gene aktivieren, die im Stoffwechsel normalerweise nicht mehr benötigt werden, die aber schon lange vor Anwendung von Nematiziden in natürlichen Populationen vorhanden waren. Wenn diese Hypothese zutrifft, so handelt es sich dabei kaum um Oxidasen und Esterasen, die gezielt nur bestimmte Carbamate und Organophosphate abbauen können, denn dafür fehlte der Selektionsdruck. Es ist eher anzunehmen, daß im Genom der Nematoden Informationen für eine vierte oder noch weitere Acetylcholinesterasen kodiert sind, deren Bindungsstellen durch Nematizide nicht blockiert werden können. Die ständige Synthese von drei verschiedenen AChE-Typen unterstützt diese Vermutung: Sie sichern die Regulierung des Acetylcholinstoffwechsels, dessen Funktionieren für das Überleben essentiell ist. Während der langen Evolution der Nematoden kann es

durchaus Phasen gegeben haben, in denen andere Esterasen für den Abbau des Acetylcholins genutzt wurden. Deren genetische Information könnte im Erbgut gespeichert sein.

Antikoagulantien greifen auf ganz anderer physiologischer Ebene in den Stoffwechsel ein als Nematizide. Trotzdem weisen einige Strukturen im biochemischen Bereich erstaunliche Parallelen auf. Die Bekämpfungsmittel beeinflussen in beiden Fällen die Funktionsfähigkeit lebenswichtiger Enzyme, indem sie deren Bindungsstellen blockieren. Entscheidend für das Auftreten von Resistenz ist die Fähigkeit des Organismus, dem festgelegten Reaktionsmuster eines Wirkstoffs mit einer flexiblen Struktur der Bindungsstellen zu begegnen. Dabei können kleinste Veränderungen, wie z. B. der Ersatz der Aminosäure Phenylalanin durch Tyrosin, schon ausreichend sein, um Resistenz zu bewirken (MORTON & SINGH, 1982). Von der Struktur der Bindungsstellen dürfte es auch abhängen, ob ein Wirkstoff ein Enzym dauerhaft blockiert oder ob sein Einfluß reversibel ist. Die Scottish-type Resistenz bei Ratten zeigt, daß die Mittelwirkung auch auf diesem Wege verloren gehen kann.

Molekularbiologische Untersuchungen haben zu einem besseren Verständnis geführt, wie die Selektion auf Resistenz ohne Mutationen ablaufen könnte (FOURNIER *et al.*, 1992). Eine französische Forschergruppe konnte an mehreren *Drosophila*-Stämmen mit schwacher Resistenz einen natürlichen Prozeß nachvollziehen, der als intracistronisches Crossingover bezeichnet wird und nach ersten Schätzungen um drei bis vier Zehnerpotenzen effektiver arbeitet als die Entste-

hung spontaner Mutationen (RICHTER, 1992b). Dieser Selektionsprozeß beginnt mit schwach resistenten Tieren, die nur bei geringer Wirkstoffkonzentration (wie sie auch in den zitierten Versuchen mit Nematoden zu Beginn vorlag) überleben können. Diese Situation ist übrigens auch unter Praxisbedingungen regelmäßig vorhanden, wenn in Randbereichen die Mittelkonzentration allmählich abnimmt, oder wenn einige Ratten nur eine subletale Dosis des Giftes aufnehmen. Schwach resistente Tiere reichern sich unter diesen Bedingungen an. Durch Crossingover, das in diesem Fall nicht zwischen den Genen, sondern mitten durch ein Gen verläuft, entstehen relativ schnell einzelne hochresistente Tiere, die sich nach wenigen weiteren Selektionsschritten in der Population durchsetzen.

Ob diese Form der Rekombination auch bei Resistenz von Warmblütern eine Rolle spielt, ist nicht bekannt, aber denkbar. Sie würde das Phänomen der Resistenzhierarchie gegen Antikoagulantien verständlicher machen. Genauere Kenntnis darüber wäre auch wichtig für die Entwicklung neuer Strategien, die die Selektion von Resistenz verhindern oder zumindest hinauszögern können. Resistenz muß nicht notwendigerweise mit einem Fitnessnachteil verbunden sein, wenn kein Selektionsdruck herrscht (RICHTER, 1992a). In diesem Fall würden entsprechend dem HARDY-WEINBERG-Gleichgewicht einmal selektierte Resistenzallele dauerhaft in der Population verbleiben. Resistente Ratten sind in rodentizidfreier Umwelt aber deutlich unterlegen. Ohne Bekämpfungsdruck würde ihr Anteil in der Population zwar zurückgehen,

in vertretbarer Zeit aber nicht völlig verschwinden. Da ein längeres Aussetzen der Bekämpfung nicht in Frage kommt, bleibt als Ausweg nur die Entwicklung neuer Rodentizide mit immer wieder veränderten Wirkstoffen. Solange sie aber stets in die Funktion der Vitamin K₀-Reduktase eingreifen, wird sich die Selektion neuer Resistenzen wahrscheinlich nicht verhindern lassen. Erst ein Mittel mit anderem Wirkungsmechanismus könnte bei langfristiger Anwendung die Allele für Resistenz gegen Antikoagulantien wieder zurückdrängen.

Zusammenfassung

Für die chemische Bekämpfung sowohl von Nematoden als auch von Nagetieren kommen innerhalb jeder Tiergruppe unterschiedliche Wirkstoffe zum Einsatz. In dieser Arbeit liegen die Schwerpunkte bei den Auswirkungen von Carbamaten und Organophosphaten auf freilebende und pflanzenparasitäre Nematoden bzw. von Antikoagulantien auf Wanderratten.

Carbamate und Organophosphate greifen in das cholinergische Nervensystem ein, indem sie die Bindungsstellen der Acetylcholinesterase blockieren. Dies führt zu einer Störung der Bewegungskoordination bis hin zu letaler Schädigung. Resistente Nematoden können die Störung durch unterschiedliche Mechanismen überwinden, wobei rasche Detoxifikation des Nematizids, erhöhte Syntheserate der Acetylcholinesterasen oder verringerte Aktivität der Cholinacetyltransferase in Frage kommen. Bei Phytonematoden wurde Resistenz in Gefäßversu-

chen durch subletale Vorbehandlung induziert, während sie unter Praxisbedingungen bisher nicht zu Problemen geführt hat.

Antikoagulantien greifen in die Biosynthese verschiedener Blutgerinnungsfaktoren ein, die Vitamin K-abhängig ist. Sie binden an die Vitamin K₀-Reduktase und verhindern dadurch die Regeneration des Vitamin K. Selbst innerhalb der Nagetiere sind verschiedene Arten unterschiedlich empfindlich bzw. sogar hochresistent gegen Antikoagulantien. Wanderratten sind gegen alle bisher entwickelten Wirkstoffe sehr empfindlich, sofern es noch nicht zur Selektion von Resistenz gekommen ist. Dabei werden zwei verschiedene Resistenzmechanismen beobachtet (Welsh-type und Scottish-type).

Auf biochemischer Ebene haben Nematizide und Antikoagulantien ähnliche Wirkmechanismen, indem sie die Bindungsstellen wichtiger Enzyme blockieren. Resistenz entsteht durch die Fähigkeit des Organismus, dem festgelegten Reaktionsmuster eines Wirkstoffs mit einer flexiblen Struktur der Bindungsstellen zu begegnen. Die genetische Basis dafür dürfte sich während der Evolution entwickelt haben und nicht erst unter dem Selektionsdruck durch neue Mutationen entstanden sein.

Literatur

- ARPAGAUS, M., FÉDON, Y., CULETTO, E., FOURNIER, D., TOUTANT, J.P. & BERGÉ, J.B. (1994): Acetylcholinesterases from nematodes: Cloning, expression and mutant from ace-1, the gene encoding the class A forms. *Nematologica* 41, 280-281.
- BRECKENRIDGE, A.M., CHOLERTON, S., HART,

- J.A.D., PARK, B.K. & SCOTT, A.K. (1985): A study of the relationship between the pharmacokinetics and the pharmacodynamics of the 4-hydroxycoumarin anticoagulants warfarin, difenacoum and brodifacoum in the rabbit. *Br. J. Pharmac.* **84**, 81-91.
- BELOW, S. & KÄMPFE, L. (1988): Modell-Untersuchungen zur Carbamattoleranz und -resistenz an *Rhabditis oxycerca* (de Man, 1895) (Nematoda). *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz* **24**, 45-53.
- BELOW, S., KÄMPFE, L. & MUELLER, A. (1987): Reaction of *Rhabditis oxycerca* after long-term exposure to aldicarb and oxamyl. II: Enzyme changes in nematicide resistance. *Nematologica* **33**, 298-309.
- BUNT, J.A. (1975): Effect and mode of action of some systemic nematicides. *Mededel. Landbouwhoges. Wageningen* **75**, 127 p.
- CUANY, A., BERGÉ, J.-B., BRIDE, J.-M. & HAMADENE-SELLAMI, S. (1984): Inhibition et reactivation des acetylcholinesterases amphidiales de *Meloidogyne javanica* par l'ethoprophos et l'aldicarbe: tentative de correlation avec une reaction comportementale. *Rev. Nématol.* **7**, 173-176.
- DEVONSHIRE, A.L. (1989): Insecticide resistance in *Myzus persicae*: From field to gene and back again. *Pesticide Sci.* **26**, 375-382.
- FOURNIER, D., MUTERO, A., PRALAVORIO, M. & BRIDE, J.-M. (1992): *Drosophila* acetylcholinesterase and housefly glutathiontransferases: Structure and involvement in the resistance to insecticides. In: OTTO, D. & WEBER, B. [Eds.]: *Insecticides: Mechanism of action and resistance*. Andover, Verlag Intercept, 335-344.
- GILL, J.E. (1992): A review of the results from laboratory tests of some rodenticides against eight rodent species. In: BORRECO, J.E. & MARSH, R.E. [Eds.]: *15th Vertebrate Pest Conference*. University of California, Davis, 182-191.
- GILL, J.E., KERINS, G.M. & MACNICOLL, A.D. (1992): Inheritance of low grade brodifacoum resistance in the Norway rat. *J. Wildl. Manage.* **56**(4), 809-816.
- GOURD, T.R., SCHMITT, D.P. & BARKER, K.R. (1994): Differential sensitivity of *Meloidogyne* spp. and *Heterodera glycines* to selected nematicides. *J. Nematol.* **25**, 746-751.
- GREAVES, J.H. (1994): Resistance to anti-coagulant rodenticides. In: BUCKLE, A.P. & SMITH R.H. [Eds.]: *Rodent pests and their control*. Oxon, CAB international, 197-217.
- GREAVES, J.H. & AYRES, P. (1967): Heritable resistance to warfarin in rats. *Nature*, **215**, 877-878.
- GREAVES, J.H. & AYRES, P. (1976): Inheritance of Scottish-type resistance to warfarin in the Norway rat. *Genet. Res.* **28**, 231-239.
- GREAVES, J.H. & AYRES, P. (1982): Multiple allelism at the locus controlling warfarin resistance in the Norway rat. *Genet. Res.* **40**, 59-64.
- KÄMPFE, L. (1988): Evolutionsstrategien bei Phytonematoden. *Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald, Math.-nat. wiss. Reihe* **37**, 55-62.
- KÄMPFE, L. & SCHÜTZE, H. (1995): Reactions of *Rhabditis oxycerca* after long-term exposure to aldicarb and oxamyl. III: Altered bionomic and physiological reactions. *Nematologica* **41**, 449-467.
- KÄMPFE, L. & WISCHGOLL, S. (1984): Reactions of *Rhabditis oxycerca* after long-term exposure to aldicarb and oxamyl. Part I: General observations. *Nematologica* **30**, 193-205.
- MACDONALD, D.H. (1976): Effects of continued application of aldicarb to greenhouse rose beds infested with *Paratylenchus hamatus*. *J. Nematol.* **8**, 293-294.
- MARBAN-MENDOZA, N. & VIGLIERCHIO, D.R. (1980): Behavioural effects of carbofuran and phenamiphos on *Pratylenchus vulnus*. III. Penetration and development. *J. Nematol.* **12**, 119-129.
- MORTON, R.A. & SINGH, R.S. (1982): The association between malathion resistance and acetylcholinesterase in *Drosophila melanogaster*. *Biochem. Genet.* **20**, 179-198.
- MOUCHÈS, G., AGARWAL, M. & CAMPBELL, K. (1992): Molecular biology of insecticide resistance: Coamplification of transposon-like elements with an esterase gene responsible for organophosphate resistance in *Culex* mosquitoes. In: OTTO, D. & WEBER, B. [Eds.]: *Insecticides: Mechanism of action and resistance*. Andover, Verlag Intercept, 345-353.

- MÜLLER, J. (1989): Zur Definition von Resistenz und anderer Fachbegriffe in der Nematologie. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **41**, 137-139.
- MÜLLER, J. (1996): Untersuchungen zur Resistenz von *Heterodera schachtii* gegen Aldicarb. Mitteil. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **317**, 152-159.
- MULDER, J.G. & BAKKER, J. (1988): Selective inhibition of acetylcholinesterase isozymes from *Panagrellus redivivus* by aldicarb and ethoprop. Mededel. Fac. Landbouwwetenschap Rijksuniv. Gent **53/2b**, 911-918.
- MYLLYMÄKI, A. (1995): Anticoagulant resistance in Europe: Appraisal of the data from the 1992 EPPO questionnaire. Pesticide Sci. **43**, 69-72.
- NORDMEYER, D. & DICKSON, D.W. (1990): Multiple molecular forms of cholinesterase in the plant-parasitic nematodes *Meloidogyne incognita* and *Radopholus similis*. Rev. Nématol. **13**, 311-316.
- OPPERMAN, C.H. (1992): The molecular basis of differential nematode sensitivity to nematicides. In: GOMMERS, F.J. & MAAS, P.W.Th [Eds.]: Nematology from molecule to ecosystem: Proc. Second Internat. Nematology Congr., 11-17 August 1990, Veldhoven, The Netherlands, Dundee (European Society of Nematologists), 60-72.
- OPPERMAN, C.H. & CHANG, S. (1990): Plant parasitic nematode acetylcholinesterase inhibition by carbamate and organophosphate nematicides. J. Nematol. **22**, 481-488.
- OPPERMAN, C.H. & CHANG, S. (1991): Effects of aldicarb and fenamiphos on acetylcholinesterase and motility of *Caenorhabditis elegans*. J. Nematol. **23**, 20-27.
- OTTO, D. (1992): Insektizidresistenz. In: Insektenpopulationen - ein Überblick. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **44**, 34-39.
- OTTO, D., MOLL, E. & RICHTER, P. (1992): A critical comment on the evaluation of the resistance level in field populations by the resistance index Ri. In: OTTO, D. & WEBER, B. [Eds.]: Insecticides: Mechanism of action and resistance. Andover, Verlag Intercept, 363-375.
- PELZ, H.-J. (1990): Resistenzprobleme bei der Bekämpfung von Ratten und Hausmäusen mit Antikoagulantien. Gesunde Pflanzen **42**, 435-439.
- PELZ, H.-J., HÄNISCH, D. & LAUENSTEIN, G. (1995): Resistance to anticoagulant rodenticides in Germany and future strategies to control *Rattus norvegicus*. Pesticide Sci. **43**, 61-67.
- RICHTER, P. (1992a): Possible genetic start points and end points of insecticide resistance evolution. In: OTTO, D. & WEBER, B. [Eds.]: Insecticides: Mechanism of action and resistance. Andover, Verlag Intercept, 355-362.
- RICHTER, P. (1992b): Neue Theorie der Resistenzentstehung. Gesunde Pflanzen **44**, 424.
- RIDDLE, D.L. & GEORGI, L.L. (1990): Advances in research on *Caenorhabditis elegans*: Application to plant parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. **28**, 247-269.
- ROOS, M.H. & BOERSEMA, J.H. (1992): Molecular biology of benzimidazole resistance in the parasitic nematode *Haemonchus contortus*. In: GOMMERS, F.J. & MAAS, P.W.Th [Eds.]: Nematology from molecule to ecosystem: Proc. Second Internat. Nematology Congr., 11-17 August 1990, Veldhoven, The Netherlands, Dundee (European Society of Nematologists), 73-82.
- SMOLIK, J.D. (1978): Influence of previous insecticidal use on ability of carbofuran to control nematode populations in corn and effect on corn yield. Plant Dis. Repr. **62**, 95.
- THIJSSSEN, H.H.W. (1987): Warfarin resistance: Vitamin K epoxide reductase of Scottish resistance genes is not irreversibly blocked by warfarin. Biochem. Pharmacol. **36**, 2753-2757.
- THIJSSSEN, H.H.W. (1995): Warfarin-based rodenticides: Mode of action and mechanism of resistance. Pesticide Sci. **43**, 73-78.
- UNTERSTENHÖFER, G. (1970): Zur Beeinflussung der Resistenzentwicklung. In: WEGLER, R. [Ed.]: Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Berlin, Springer-Verlag, 77-86.
- VIGLIERCHIO, D.R. (1990): The impact of nematode adaptability on the prospect for their control. Rev. Nématol. **13**, 3-9.

- VIGLIERCHIO, D.R. & BROWN, S.M. (1989): In vitro testing for nonfumigant nematicide resistance in *Heterodera schachtii*. Rev. Nématol. 12, 139-143.
- VIGLIERCHIO, D.R., BROWN, S.M. & KUO, F.F. (1989): Adaptive responses of *Heterodera schachtii* populations to nematicidal applications of nonfumigant nematicides after stressing with sublethal doses. Rev. Nématol. 12, 133-138.
- WRIGHT, D. (1981): Nematicides: Mode of action and new approaches to chemical control. In: ZUCKERMAN, B.M. & ROHDE, R.A. [Eds.]: Plant Parasitic Nematodes, Vol. III, New York - London, Academic Press, 421-449.
- YAMASHITA, T.T. & VIGLIERCHIO, D.R. (1986a): The behaviour of nonfumigant-nematicide-stressed, unstressed and wild populations of *Pratylenchus vulnus* cultured on grapevines and bean plants. Rev. Nématol. 9, 267-276.
- YAMASHITA, T.T. & VIGLIERCHIO, D.R. (1986b): Variations in the stability of behavioral changes in nonfumigant nematicide-stressed populations of *Xiphinema index* following release from nematicidal stress. Rev. Nématol. 9, 377-383.
- YAMASHITA, T.T., VIGLIERCHIO, D.R. & SCHMITT, R.V. (1986): Responses of nematodes to nematicidal applications following extended exposures to subnematicidal stress. Rev. Nématol. 9, 49-60.
- YAMASHITA, T.T., VIGLIERCHIO, D.R. & KUO, F.F. (1988): The role of microbial populations from long-term nonfumigant nematicide treated soils on *Heterodera schachtii* nematicide trials. Rev. Nématol. 11, 351-358.
- YAMASHITA, T.T. & VIGLIERCHIO, D.R. (1988): In vitro response to *Criconebella xenoplax* to nonfumigant nematicides. Rev. Nématol. 11, 447-449.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Joachim Müller und
 Dr. Hans-Joachim Pelz,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Toppleideweg 88, 48161 Münster

Untersuchungen zur Gefährdung von Eulen bei der Nagetierbekämpfung mit Rattenködern (Rodentizide)

Investigations on the hazard of rodenticides to owls

HUBERT GEMMEKE

Abstract

Anticoagulant rodenticides used to control rats and mice may cause secondary poisoning of owls. The risk of secondary poisoning depends on the toxicity of the rodenticides and on the availability. Studies have shown that second generation anticoagulants are very hazardous to owls. Therefore these rodenticides are only allowed to be used indoors. However, owls hunting in stables and farmsteads may come in contact with poisoned rats and mice. In Germany the Barn owl and Tawny owl are at risk especially when, due to snow in winter, for their survival they depend on rats and mice living indoors.

Keywords: *Strix aluco*, *Tyto alba*, Tawny owl, Barn owl, anticoagulant, secondary poisoning

Einleitung

Bei der Anwendung von Giftködern gegen Ratten und Mäuse (Rodentizide) können Aasfresser, Greifvögel und Eulen durch die Aufnahme vergifteter Nager indirekt (sekundär) vergiftet werden. Bekannt geworden sind Todesfälle bei Bekämpfungsaktionen in den 50er Jahren mit Endrin und arsen- bzw. thalliumhaltigen Präparaten (SCHUSTER, 1950; STEINIGER, 1952).

Diese sogenannten Akutgifte, bei denen der Tod bereits nach Minuten oder Stunden eintritt, sind häufig persistent, d. h. sie werden nur langsam abgebaut und sind in toten Nagern oft in hohen Konzentrationen nachweisbar. Unbeabsichtigte Vergiftungen von Beutegreifern, die solche Tiere aufnehmen, sind die Folge (PRZYGODDA, 1951).

Nicht zuletzt wegen der uner-

wünschten Auswirkungen dieser Gifte wurden mit Beginn der 50er Jahre die blutgerinnungshemmenden Mittel (Antikoagulantien) eingeführt. Sie haben gegenüber den alten Mitteln eine kurze biologische Halbwertszeit von meist weniger als 24 Stunden und führen erst nach mehrmaliger Aufnahme zum Tode. Wegen dieser günstigen Eigenschaften konnten Sekundärvergiftungen bisher weitgehend verhindert werden.

Da schon bald nach der weltweiten Einführung dieser Mittel Resistenzen bei Wanderratten und Hausmäusen festgestellt wurden (BOYLE, 1960; LUND, 1964), die in den folgenden Jahren zunehmend Probleme bei der Bekämpfung von Ratten und Mäusen besonders mit Warfarin zur Folge hatten, wurden neue, resistenzbrechende Antikoagulantien entwickelt. Diese sogenannten Antikoagulantien der 2. Generation, die mit Beginn der 80er

Jahre zur Verfügung standen, sind für Beutegreifer besonders gefährlich. Wegen ihrer teilweise relativ langen biologischen Halbwertszeit ist die Gefahr der Sekundärvergiftung wesentlich größer als bei den Antikoagulantien der 1. Generation, wie Verfütterungsversuche mit Eulen und Greifvögeln gezeigt haben (MENDENHALL & PANK, 1980; NEWTON *et al.*, 1990).

Über das Ausmaß von Sekundärvergiftungen bei einer Nagerbekämpfung gibt es gegensätzliche Meinungen. Kritiker von Bekämpfungsaktionen befürchten, daß jährlich zahlreiche Beutegreifer durch vergiftete Beutetiere zugrunde gehen und daß die wenigen verendeten Tiere, die man findet, nur die Spitze des Eisbergs sind (KLEMP, 1985). Dagegen wird argumentiert, daß sich die vergifteten Nager vor dem Verenden meist in ihre Baue zurückzögen und so für Beutegreifer nicht erreichbar seien (HARRISON *et al.*, 1988; WIMSCHNEIDER & GERFORTH, 1986). Außerdem würden die meisten Beutegreifer (z. B. Greifvögel, Eulen), da sie vorwiegend im Freien nach Futter suchen, nur selten mit vergifteten Nagetieren in Berührung kommen.

Zur Klärung der strittigen Fragen wird im Folgenden nach einem Prüfschema vorgegangen, mit dem das Sekundärvergiftungsrisiko für Beutegreifer bei Nagetierbekämpfungsaktionen untersucht werden kann.

Prüfschema zur Ermittlung des Sekundärvergiftungsrisikos für Beutegreifer durch Rodentizide

Zur Überprüfung der Gefährdung von Nicht-Ziel-Organismen durch

Pflanzenschutzmittel wird allgemein ein stufenweises Vorgehen empfohlen (JOHNSON, 1982; EDWARDS *et al.*, 1988). Die EPP0 (1994) und Wissenschaftler des Industrieverbands Agrar e. V. haben ein Stufenkonzept mit speziellen Prüfschemata für verschiedene Organismen entwickelt (SÄLE & KNAUF, 1991; KNAUF & SÄLE, 1991; HOLLIHN *et al.*, 1991; FISCHER & HEIMBACH, 1991; JOHNEN & TRAVIS, 1991). Am Beginn der Prüffolge steht die Frage nach dem Gefährdungspotential der verwendeten Mittel. Das Gefährdungspotential eines Wirkstoffs ist „eine Funktion aus der Toxizität und der Exposition der Prüforganismen zu dem Wirkstoff“ (HOLLIHN *et al.*, 1991). Mit anderen Worten, es wird gefragt, wie giftig das verwendete Präparat ist und welcher Menge des Wirkstoffes die Tiere im Extremfall ausgesetzt sein können. Selbst hochtoxische Wirkstoffe können ein geringes Gefährdungspotential besitzen, wenn sie nur in geringer Dosierung für Tiere verfügbar sind. Andererseits kann das Gefährdungspotential eines Wirkstoffs mit relativ geringer Toxizität hoch sein, wenn der Wirkstoff sich wegen seiner langen biologischen Halbwertszeit in der Nahrungskette anreichert und von den Tieren in großer Menge aufgenommen werden kann.

Während die Toxizität eines Wirkstoffs in Labortests relativ leicht zu bestimmen ist, kann die Exposition häufig nur geschätzt werden. Als Schätzwert dient die Wirkstoffmenge, die im ungünstigsten Fall von einem Tier aufgenommen werden kann. Im Einzelnen muß der zeitliche Verlauf der Exposition ermittelt werden, ob z. B. vergiftete Nager nur wenige Tage

oder längere Zeit, eventuell während der Reproduktionszeit zur Verfügung stehen. Weiterhin sind die Expositionswege von Bedeutung. Es wird gefragt, auf welche Weise welche Tiere mit welchen Wirkstoffen in Berührung kommen können. Dabei ist neben der Wirkstoffkonzentration in den Nagern vor allem die Verfügbarkeit der Nager für die Prädatoren von Bedeutung.

Hat sich gezeigt, daß das Gefährdungspotential eines Wirkstoffs hoch ist, folgt als weiterer Schritt in der Prüffolge die Abschätzung der Schadenswahrscheinlichkeit, auch Risikoabschätzung genannt. Dabei wird gefragt, wie häufig bestimmte Prädatoren aufgrund ihrer Habitatwahl, ihres Nahrungsspektrums und ihrer Nahrungssuchstrategie vergiftete Beutetiere fressen. Im konkreten Fall heißt das, wieviele Tiere einer Eulenpopulation sich dort aufhalten, wo für Eulen gefährliche Rodentizide eingesetzt werden, und wie hoch der Anteil an vergifteten Ratten und Hausmäusen ist, die sie täglich aufnehmen.

Untersuchungen über die Gefahr der Sekundärvergiftung bei Eulen durch Rodentizide

Bei der Überprüfung der Gefährdung von Eulen bei einer Nagetierbekämpfung wurde entsprechend dem Stufenkonzept in folgenden Schritten vorgegangen:

Ermittlung des Gefährdungspotentials (Toxizität, Exposition) von Rodentiziden:

- Die Toxizitätsdaten der zugelassenen Rodentizide wurden aus Literaturangaben übernommen und in ei-

ner Tabelle zusammengestellt.

- An Hand von Hinweisen aus der praktischen Schädlingsbekämpfung wurde festgestellt, welche Rodentizide wann, wo, wie häufig und wie lange bei der Bekämpfung von Schadnagern eingesetzt werden.
- Durch spezielle Versuche im Labor und Freiland wurde untersucht, wie sich die Nager nach Aufnahme von Rodentiziden verhalten und ob Waldkäuse bei Bekämpfungsaktionen vergiftete Nager fressen.

Ermittlung der Schadenswahrscheinlichkeit (Risikoabschätzung):

- Aus der Literatur wurde ermittelt, welche Eulenarten wie häufig in oder in der Nähe von Gebäuden vorkommen und aufgrund ihres Beutespektrums mit vergifteten Nagern in Berührung kommen können.
- An Hand von Gewöllen von Höfen mit Rattenbefall wurde untersucht, wie hoch der Anteil an Ratten und Hausmäusen in der Nahrung von Eulen während einer Rattenbekämpfung ist.

Gefährdungspotential von Rodentiziden für Eulen

Toxizität (LD₅₀) der zugelassenen Rodentizide

Von den in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Rodentiziden sind die gebräuchlichsten in Tabelle 1 aufgeführt. Die meisten Rodentizide werden in Form von Köderpräparaten verwendet. Die Anwendungen von Haftgiften (Streupulver) oder Tränkgiften sind auf Räume beschränkt. Sie sind wie die Begasungs-

Tab. 1 : Zugelassene Giftköder gegen Schädner (Stand 1996)

| Wirkstoffe | Akut-orale Toxizität LD ₅₀ (mg/kg) | Handelspräparate (z. B.) | Anwendung |
|-------------------------|---|--|---|
| Akutgifte | | | |
| Zinkphosphid | 45 Ratte 16,4 Fasan | Rattekal-plus Arrex E Köder | im Freiland + in Räumen |
| Antikoagulantien | | | |
| 1. Generation | | | |
| Warfarin | 10 - 20 Wanderratte 1000 Huhn | Curattin Rattenscheiben Cumarax-Fertigköder Cumarax Rattenring Curattin- Granulat Quiritox Sugan-Rattencöder Tetan Rattencöder VermiTox Rattencöder Rattomix Fertigköder | im Freiland + in Räumen |
| Chlorphacinon | 20,5 Wanderratte 607 Wachtel | Brumolin Ratron-Feldmausköder | im Freiland + in Räumen |
| 2. Generation | | | |
| Bromadiolon | 1,125 Wanderratte 50 Huhn | MausEX-Köder Contrax-top-Köder H Brumolin Fix Fertig | in Räumen im Freiland + in Räumen |
| Brodifacoum | 0,2 - 0,37 Wanderratte 10 Fasan | Klerat-Haferflockenköder Klerat Wachsblock | in Räumen |
| Difenacoum | 1,8 - 3,5 Wanderratte 50 - 100 Huhn | Ratak, Sakarat, Frunax-Mäuseköder, Castrix D Mäusekorn Frunax DS Rattencöder Frunax DS Rattencriegel Epyrin plus Rattencöder Epyrin plus Rattencriegel | in Räumen |
| Difethialon | 0,29-0,51 Wanderratte 0,26 Virg.Wachtel | Brumolin Ultra | in Räumen |
| Flocoumafen | 0,25-0,56 Wanderratte 24 - 54 Ente | Storm Ratten- und Mäusehappen | in Räumen |

mittel (Blausäure, Phosphorwasserstoff), die keine Sekundärvergiftungen verursachen, in der Tabelle nicht aufgeführt.

Bei den anderen genannten Wirkstoffen mit Ausnahme von Zinkphosphid handelt es sich um blutgerinnungshemmende Mittel (Antikoagulantien), von denen die älteren (1. Generation) wegen ihrer relativ geringen akut-oralen Toxizität und ihrer raschen Metabolisierung, wie anfangs erwähnt, erst nach mehrmaliger Aufnahme tödlich sind, während bei den neueren Verbindungen der 2. Generation schon die einmalige Aufnahme zum Tode führen kann. Da der Tod der Nager in jedem Fall erst nach einigen Tagen eintritt, können die Tiere den Wirkstoff über die letale Dosis hinaus aufnehmen, wodurch sich die Gefahr von Sekundärvergiftungen erhöht. Die Einstufung des Gefährdungspotentials der Mittel bei Eulen erfolgt in erster Linie aufgrund von Versuchen, bei denen vergiftete Nager verfüttert werden. Demnach ist die Gefahr bei Zinkphosphid und bei den Antikoagulantien der 1. Generation als gering oder als nicht vorhanden einzustufen. Dagegen besteht bei den neuen Antikoagulantien eine deutlich größere Gefahr. Der Fraß einer einzigen vergifteten Ratte ist zwar noch nicht tödlich, aber in Versuchen kamen Schleiereulen zu Tode, wenn sie mehrere Tage lang ausschließlich Ratten erhielten, die mit Brodifacoum bzw. mit Bromadiolon vergiftet waren (MENDENHALL & PANK, 1980).

Kontaktnahme mit Rodentiziden (Exposition)

Aufgrund der hohen Toxizität der

neuen Antikoagulantien sind Sekundärvergiftungen bei Eulen nur bei der Anwendung dieser Mittel zu erwarten. Voraussetzung ist, daß die Tiere mit vergifteten Beutetieren in Berührung kommen, die mit solchen Mittel bekämpft wurden. Dazu muß bekannt sein, wo und wann diese Mittel angewendet werden und welche Eulenarten aufgrund ihrer Habitat- und Nahrungswahl mit vergifteten Nagern in Berührung kommen können.

Anwendung von Rodentiziden (Ort, Zeit, Dauer)

Im Rahmen des Pflanzenschutzes werden auf land- und forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen verschiedene Wühlmausarten bekämpft. Im Bereich des Vorratsschutzes erstreckt sich die Bekämpfung kommensaler Nager auf Lager Räume von Nahrungsmittel verarbeitenden Betrieben, auf landwirtschaftliche Gebäude wie Scheunen, Stallungen und Speicher sowie auf die unmittelbare Umgebung solcher Gebäude. Hausratten und Hausmäuse werden nur innerhalb von Gebäuden bekämpft, Wanderratten auch im Freiland. Außerhalb von Pflanzenschutz und Vorratsschutz werden kommensale Nager in Wohngebäuden und Objekten wie Kanalisation, Kläranlagen oder Mülldeponien bekämpft.

Aufgrund der hohen Toxizität und der lang anhaltenden Wirkung von Antikoagulantien der 2. Generation im Organismus ist von der Biologischen Bundesanstalt die Anwendung von Präparaten mit bestimmten Wirkstoffen auf Räume begrenzt worden. Ohne eine lokale Beschränkung ist der Einsatz dieser Mittel erlaubt,

wenn Gefahr droht, daß Krankheits-erreger verbreitet werden, so daß die zuständigen Behörden gemäß dem Bundesseuchengesetz Bekämpfungsmaßnahmen, z. B. in der Kanalisation und Müllentsorgungsanlagen, vorschreiben.

Rodentizide dürfen das ganze Jahr über zur Bekämpfung von Schadnagern eingesetzt werden. Gewöhnlich werden Köderpräparate aber erst bei starkem Befall bzw. bei einer behördlich angeordneten Maßnahme ausgelegt. Im landwirtschaftlichen Bereich finden besonders im Herbst und im Winter Bekämpfungsaktionen statt. Die Dauer der Köderauslage hängt vom Bekämpfungserfolg ab. In der Praxis benötigt man häufig mehrere Wochen, bis der Befall getilgt ist.

Untersuchungen zur Aufnahme vergifteter Nager durch Eulen

Zur Klärung der Frage, wie weit Eulen über Beutetiere mit Rodentiziden in Kontakt kommen können, wurden zunächst Verhaltensuntersuchungen bei Ratten und Mäusen nach Aufnahme von Antikoagulantien durchgeführt. Dabei sollte geklärt werden, welche Menge an Giftködern Ratten und Mäuse bis zum Verenden aufnehmen, und ob sie vorwiegend im Bau oder auch im Freien verenden. Die Versuche wurden 1989 bei der Biologischen Bundesanstalt in Münster durchgeführt (GEMMEKE, 1990a). Sie haben gezeigt, daß Ratten und Mäuse in der Lage sind, bis kurz vor dem Verenden Giftköder aufzunehmen. Einige Tiere lagen tot in der Futterschale oder in ihrer unmittelbaren Umgebung. Es wurde beobachtet, daß Ratten einige Tage nach Köderauf-

nahme auch bei Tage aktiv waren und ihre angeborene Scheu vor dem Menschen verloren hatten. Von 151 Wanderratten und 253 Hausmäusen verendeten gleich viele oberirdisch wie unterirdisch.

In einer weiteren Studie wurde anschließend überprüft, ob Waldkäuse während einer Wanderrattenbekämpfung auf einem Bauernhof vermehrt vergiftete Ratten erbeuten. Die Untersuchungen wurden 1989 auf einem Bauernhof in der Nähe von Münster durchgeführt (GEMMEKE, 1990b). Sie haben gezeigt, daß Waldkäuse, die sich in oder in der unmittelbaren Umgebung von Höfen aufhalten, bei einer Rattenbekämpfung bevorzugt vergiftete Ratten erbeuten. In den Gewöllen, die zu dieser Zeit gesammelt wurden, konnten fast ausschließlich Knochenreste dieser Nager und ein Markierungsstoff, der dem Giftköder (Haferflockenköder) beigemischt worden war, nachgewiesen werden (GEMMEKE & LUTZ, 1988). Da der Waldkauz als Ernährungsgeneralist mit einem breiten Beutespektrum leicht erreichbare Nahrungsquellen konsequent ausnutzt (WEIS, 1981), fallen ihm somit vergiftete Nager, die sich häufig in einem lethargischen Zustand auch außerhalb der Deckung aufhalten, leicht zum Opfer.

Risikoabschätzung

Die Frage nach der Höhe des Risikos einer Schädigung von Eulen durch vergiftete Beutetiere kann durch Untersuchungen über das Vorkommen und die Nahrungswahl von Eulen in den Bereichen, wo für Eulen gefährliche Rodentizide ausgelegt werden, be-

antwortet werden. Aufgrund der Habitat- und Nahrungswahl sowie des Nahrungssuchverhaltens können von den heimischen Eulenarten allein der Waldkauz, die Schleiereule und der Uhu mit den für Eulen gefährlichen Antikoagulantien der 2. Generation in Berührung kommen.

Schleiereule

Die Schleiereule siedelt gewöhnlich in der Nähe menschlicher Siedlungen. Nistplätze an Felswänden oder in hohlen Bäumen sind die Ausnahme (SCHNEIDER, 1977). Im Sommer werden teilweise auch deckungsreiche Bäume als Rastplätze aufgesucht. Im Winter dagegen werden bei Schneelagen Scheunen, Speicher und Stallungen als Kälteschutz vorgezogen (GLUTZ v. BLOTZHEIM & BAUER, 1980). Aufgrund der engen Bindung an menschliche Siedlungen konzentriert sich die Nahrungssuche der Schleiereule auf die unmittelbare Umgebung von Gebäuden. Aus Gewöllanalysen ist bekannt, daß Schleiereulen hauptsächlich Feld- und Erdmäuse erbeuten, die sie vor allem auf Wiesen und Weiden jagen. Der Anteil an Ratten- und Hausmausresten in den Gewöllen liegt daher gewöhnlich unter 5 % (SCHNEIDER, 1977; SCHMIDT *et al.*, 1980). Wenn Schleiereulen aber im Außenbereich keine Beute finden, z. B. bei schlechter Witterung, jagen sie in den Gebäuden nach Ratten und Hausmäusen (HEGGER, 1978). Dann ist die Gefahr groß, daß sie auf vergiftete Nager stoßen. Da so ungünstige Witterungsverhältnisse selten sind, und gerade zu der Zeit auch nicht auf jedem Bauernhof eine Rattenbekämpfung stattfindet, ist das Sekundär-

vergiftungsrisiko für Schleiereulen allgemein gering. Die Schleiereulenpopulation eines Dorfes oder einer Region würde nur dann stark in Mitleidenschaft gezogen, wenn gleichzeitig auf allen Höfen Bekämpfungsaktionen stattfänden.

Waldkauz

Der Waldkauz ist vorwiegend Waldvogel, siedelt aber auch in Parkanlagen, Alleen, Gärten und Friedhöfen. Gebietsweise dringt er auch in Ortschaften und Städte vor, sofern hohe Bäume und ein gutes Nahrungsangebot vorhanden sind (GLUTZ v. BLOTZHEIM & BAUER, 1980). Da er in der Wahl des Nistplatzes nicht wählerisch ist, findet man Brutnester auch in Taubenschlägen, auf Dachböden von Scheunen, Häusern und Türmen sowie in Nistkästen. Eulenschutzgruppen berichten, daß Schleiereulennistkästen gelegentlich (< 10 %) von Waldkäuzen als Brutkästen genutzt werden. Bei der vom Waldkauz bevorzugten Ansitzjagd fallen ihm vergiftete Nager, die sich in einem lethargischen Zustand auch außerhalb der Deckung aufhalten, leicht zum Opfer. In den Gewöllelisten der Literatur tauchen Ratten und Hausmäuse allerdings nur selten auf (z. B. GLUTZ v. BLOTZHEIM & BAUER, 1980; ERFURT & STUBBE, 1987). Das mag daran liegen, daß das Untersuchungsmaterial vorwiegend dort gesammelt wurde, wo Ratten und Hausmäuse nur selten vorkommen. Wie eigene Untersuchungen gezeigt haben, ist der Anteil an Wanderrattenknochen in den Gewöllen aber deutlich höher, wenn diese auf Höfen mit Rattenbefall gesammelt wurden

Tab. 2: Anzahl der ermittelten Kleinsäuger (nach Schädelresten) in Waldkauzgewöllen von Bauernhöfen mit Rattenbefall

| Beutetiere | Hof Nr. 1 | Hof Nr. 2 | Hof Nr. 3 | Hof Nr. 4 |
|--|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Arvicolidae (Feldmaus, Erdmaus, Schermaus, Rötelmaus) | 178 (52,9 %) | 476 (43,8 %) | 12 (20,0 %) | 20 (55,6 %) |
| Muridae | | | | |
| Wanderratte | 57 (17,0 %) | 15 (1,4 %) | 9 (15,0 %) | 3 (8,3 %) |
| Waldmaus | 72 (21,4 %) | 281 (25,9 %) | 26 (43,3 %) | 8 (22,2 %) |
| Hausmaus | 20 (6,0 %) | 25 (2,3 %) | 4 (6,7 %) | 1 (2,8 %) |
| Zwergmaus | 2 (0,6 %) | 8 (0,7 %) | 0 | 0 |
| Soricidae (Waldspitzmaus, Zwergspitzmaus, Hausspitzmaus) | 7 (2,1 %) | 282 (25,9 %) | 9 (15,0 %) | 4 (11,1 %) |
| gesamt | 336 | 1087 | 60 | 36 |

(Tab. 2). Dabei konnte sogar die jahreszeitliche Schwankung der Populationsdichte von Wanderratten verfolgt werden. Im Sommer, als die Wanderratten die Gebäude weitgehend verlassen hatten, wurden in den Gewöllen deutlich weniger Rattenknochen gefunden als im Winter bei hohem Rattenbefall. Während einer Bekämpfungsjahresaktion waren in den frischen Gewöllen fast ausschließlich Rattenreste zu finden. Die beiden Waldkäuse, die sich in dieser Zeit dort ständig aufhielten, hatten sich hauptsächlich

von den offensichtlich leicht zu erbeutenden vergifteten Wanderratten ernährt (GEMMEKE, 1990b). Danach muß man davon ausgehen, daß für Waldkäuse, die sich auf Höfen aufhalten, auf denen eine Rattenbekämpfung durchgeführt wird, ein hohes Sekundärvergiftungsrisiko besteht. Da Waldkäuse in den Bereichen, wo die für Eulen gefährlichen Rodentizide ausgebracht werden, aber nur relativ selten zu finden sind, ist der Waldkauzbestand durch die Anwendung von Rodentiziden nicht bedroht.

Uhu

Der Uhu jagt seine Beute ausschließlich in der freien Landschaft und kann deshalb mit Rodentiziden, die für Beutegreifer gefährlich sind und nur in geschlossenen Räumen angewendet werden dürfen, nicht in Berührung kommen. Da Uhus in letzter Zeit häufiger auch in der Nähe von Müllentsorgungsanlagen siedeln, besteht für diese Tiere die Gefahr, dort auf vergiftete Ratten zu stoßen. Denn bei Bekämpfungsaktionen auf Müllplätzen mit starkem Rattenbefall werden gelegentlich auch Köder ausgelegt, die im Bereich des Vorrats- und Pflanzenschutzes wegen ihres hohen Gefährdungspotentials für Beutegreifer nur in geschlossenen Räumen verwendet werden dürfen.

Zusammenfassung

Durch die Bekämpfung von Ratten und Mäusen mit Antikoagulantien können auch Eulen vergiftet werden. Zur Überprüfung der Gefährdung wird nach einem Prüfschema vorgegangen, das einleitend vorgestellt wird. Danach wird die Gefahr der Sekundärvergiftung durch die Toxizität der Mittel und die Verfügbarkeit von vergifteten Beutetieren bestimmt. Als besonders gefährlich für Eulen haben sich die Antikoagulantien der „2. Generation“ erwiesen. Da sie fast ausschließlich im Innenbereich verwendet werden, kommen nur die Eulen damit in Berührung, die sich an und in Gebäuden bzw. in der Nähe von Siedlungen oder Einzelhöfen aufhalten und dort vergiftete Nager erbeuten. Dazu zählen von den heimischen Eulenar-

ten die Schleiereule und der Waldkauz. Für diese ist das Vergiftungsrisiko besonders groß, wenn sie im Winter bei hohen Schneelagen vorwiegend vergiftete Ratten und Mäuse aufnehmen. Da alle Risikofaktoren nur selten zusammentreffen, sind zwar einzelne Tiere, nicht aber Populationen dieser Arten bedroht.

Literatur

- BOYLE, C.M. (1960): Case of apparent resistance of *Rattus norvegicus* Berkenhout to anticoagulant poisons. *Nature* **203**, 517.
- EDWARDS, P.J., BROWN, R.A. & COULSON, J.M. (1988): Field methods for studying the non-target hazard of rodenticides. In: GREAVES, M.P., SMITH, B.D. & GREIG-SMITH, P.W. [Eds.]: Field methods for the study of environmental effects of pesticides. BCPC Monograph **40**, Thornton Heath, 77-87.
- EPPO (1994): Decision - making scheme for the environmental risk assessment of plant protection products, Chapter 11, Terrestrial vertebrates. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **24**, 37-87.
- ERFURT, J. & STUBBE, M. (1987): Gewöllanalysen zur Untersuchung der Ernährungsbiologie von Eulen. In: STUBBE, M. [Ed.] Populationsökologie von Greifvögel- und Eulenarten. Kongreß- und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg, WB 1987 (P 27), 429-451.
- FISCHER, R. & HEIMBACH, F. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil IV: Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Laboraten. *Gesunde Pflanzen* **8**, 270-274.
- GEMMEKE, H. & LUTZ, W. (1988): Untersuchungen von Primär- und Sekundärvergiftungen bei Wirbeltieren mit Hilfe von Pollen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig)* **40**, 22-24.
- GEMMEKE, H. (1990a): Untersuchungen zur Abschätzung des Sekundärvergiftungs-

- risikos bei Beutegreifern durch Rodentizide. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **42**, 22-25.
- GEMMEKE, H. (1990b): Untersuchungen zur Abschätzung des Gefährdungspotentials von Rodentiziden für Waldkäuse (*Strix aluco* L.). Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **42**, 153-156.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U.N. & BAUER, K.M. (1980): Handbuch der Vögel Mitteleuropas, Band 9, Wiesbaden, AULA-Verlag.
- HARRISON, E.G., PORTER, A.J. & FORBES, S. (1988): Development of methods to assess the hazard of a rodenticide to nontarget vertebrates. In: GREAVES, M.P., SMITH, B.D. & GREIG-SMITH, P.W. [Eds.]: Field methods for the study of environmental effects of pesticides, BCPC Monograph **40**, Thornton Heath, 89-96.
- HEGGER, H.J. (1978): Einfluß extremer Niederschlagsmengen auf die Ernährung der Schleiereule (*Tyto alba*). Charadrius **14**, 93-98.
- HOLLIHN, K.-U., FISCHER, R., FRITSCH, H., GUTH, J.A., JOHNNEN, B.G., KNAUF, W., PFLÜGER, W., SALE, M. & VOPET, M. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil III: Stufenkonzept für Prüfschemata als Grundlage der Gefährdungsabschätzung und der Risikobeurteilung. Gesunde Pflanzen **43**, 221-231.
- JOHNNEN, B.G. & TRAVIS, K.Z. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil V: Ist die vorhandene Datenbasis ausreichend?. Gesunde Pflanzen **43**, 368-372.
- JOHNSON, E.L. (1982): Risk assessment in an administrative agency. The American Statistician **36**, 232-239.
- KLEMP, H. (1985): Leiser Tod aus dritter Hand. Natur und Umwelt **65**, 18-19.
- KNAUF, W. & SALE, M. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil II: Grundlagen und Ablauf einer kompartimentbezogenen Prüfung. Gesunde Pflanzen **43**, 159-162.
- LUND, M. (1964): Resistance to warfarin in the common rat. Nature **203**, 778.
- MENDENHALL, V.M. & PANK, L.F. (1980): Secondary poisoning of owls by anticoagulant rodenticides. Wildl. Soc. Bull. **8**, 311-315.
- NEWTON, I., WYLLIE, I. & FREESTONE, P. (1990): Rodenticides in British Barn owls. Environ. Pollut. **68**, 101-117.
- PRZYGODDA, W. (1951): Feldmausbekämpfung und Vogelwelt. Vogelwelt **72**, 106-111.
- SÄLE, M. & KNAUF, W. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil I: Prinzipien der ökologischen Bewertung. Gesunde Pflanzen **43**, 129-131.
- SÄLE, M. & KNAUF, W. (1991): Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt - Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. Teil VI: Risikobeurteilung auf naturwissenschaftlicher Basis. Gesunde Pflanzen **43**, 411-415.
- SCHMIDT, K.H., GIES, TH., REICHARD, U. & HEILMANN, H. (1980): Zur Nahrungsökologie von Schleiereulen in Hessen. Luscinia **44**, 5-16.
- SCHNEIDER, W. (1977): Schleiereulen. Neue Brehm Bücherei, Wittenberg Lutherstadt.
- STEINIGER, F. (1952): Nagetierbekämpfung und Sekundärvergiftungen bei Raubvögeln und Eulen. Ornithol. Mitt. **4**, 36-39.
- SCHUSTER, L. (1950): Vernichtung des Waldkauzbestandes durch die Bekämpfung einer Mäuseplage mit Gift. Vogelwelt **71**, 131-132.
- WEIS, J. (1981): Die Eignung des Waldkauzes (*Strix aluco* L.) als möglicher Umweltgütezeiger. Ökol. Vögel **3**, 101-110.
- WIMSCHNEIDER, W. & GERFORTH, B. (1986): Storm, ein Rodentizid der neuen Generation. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem **232**, 240-241.

Anschrift des Verfassers

Dr. Hubert Gemmeke,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topphaideweg 88, 48161 Münster

Untersuchungen zur Gefährdung von Igel durch vergiftete Ackerschnecken

Investigations on the hazard of poisoned slugs to hedgehogs

HUBERT GEMMEKE

Abstract

When molluscicides are used on arable land, hedgehogs may come into contact with poisoned slugs. The aim of this study was to determine whether hedgehogs kept in an enclosure feed on slugs treated with metaldehyde or methiocarb, and if so, display signs of poisoning. Of six hedgehogs used for the study with metaldehyde, one consumed none, and one consumed 12 of the slugs. The other four hedgehogs ate all, or nearly all, of the 200 treated slugs. No hedgehog showed symptoms of metaldehyde poisoning. Of 11 hedgehogs used for the study with methiocarb, two consumed none and the others ate up to 112 treated slugs. Two hedgehogs displayed signs of poisoning. One hedgehog died after ingesting 25 poisoned slugs.

The results demonstrate that the risk of secondary poisoning in hedgehogs due to the use of slug pellets treated with metaldehyde can be judged to be very low, whereas the risk of secondary poisoning due to methiocarb slug pellets cannot be ruled out.

Keywords: *Erinaceus europaeus*, hedgehog, metaldehyde, methiocarb, secondary poisoning, slug

Einleitung

Der Igel (*Erinaceus europaeus*) gehört zu den außergewöhnlichsten Erscheinungen unter den Säugetieren Europas. Wegen seines auffälligen Stachelkleides, seiner geringen Scheu vor Menschen und seines häufigen Vorkommens in der Nähe menschlicher Siedlungen zählt er zu den bekanntesten heimischen Säugetieren. Wegen seiner Zutraulichkeit und geringen Fluchtdistanz ist er allgemein sehr beliebt und genießt einen besonderen Schutz.

Seit einiger Zeit mehren sich die Stimmen, die Pflanzenschutzmittel als große Gefahr für Igel ansehen (z. B. Plädoyer für den Igel 1988, Igel Bulletin 1991). Dabei wird besonders

die Gefährlichkeit von Schneckenbekämpfungsmitteln (Molluskizide) hervorgehoben, die gelegentlich in toten Igel nachgewiesen wurden (BERTHOUD, 1981; GREIG-SMITH, 1988; FLETCHER & HUNTER, 1992; KEYMER *et al.*, 1991). Im Mittelpunkt der Kritik stehen vor allem Präparate mit den Wirkstoffen Metaldehyd und Methiocarb. Es wird vermutet, daß Igel aufgrund ihres Nahrungsspektrums bei der Anwendung von Molluskiziden vergiftete Ackerschnecken aufnehmen und dadurch zu Schaden kommen.

Zur Klärung der Frage, ob durch die Aufnahme vergifteter Schnecken Sekundärvergiftungen bei Igel zu erwarten sind, wurden Gehegeversuche mit im Freiland gefangenen Igel durchgeführt.

Material und Methode

Für die Untersuchungen wurden Igel gefangen, die mit einem Nachtsichtgerät in Gärten und Grünanlagen im Stadtgebiet von Münster aufgespürt und mit der Hand aufgenommen wurden. Es wurden nur Tiere verwendet, die auf den ersten Blick in einem guten Gesundheitszustand waren, d. h. frei von äußerlich erkennbaren Krankheiten, Mißbildungen und Verletzungen. Mit Ausnahme der Entfernung von Zecken wurde bei keinem Tier eine Parasitenbehandlung vorgenommen.

Für die Versuche mit metaldehydvergifteten Ackerschnecken konnten von 20 gefangenen Igel sechs als Prüftiere (Tab. 1) und sechs als Kontrolltiere eingesetzt werden. Diese nahmen das angebotene Standardfutter und tote Ackerschnecken ohne Abneigung auf. Die übrigen Igel waren für die Untersuchungen nicht geeignet. Sechs Tiere verweigerten das Standardfutter mehrere Tage lang, so daß sie wieder ausgesetzt werden mußten. Ein Tier (1030 g) war sehr zutraulich und hatte offensichtlich in Gefangenschaft ohne Winterschlaf überwintert. Ein Igel litt unter starkem Parasitenbefall (Lungenwürmer), wie der Obduktionsbefund ergab, und mußte wegen starken Leidens abgetötet werden.

Für die Untersuchungen mit methiocarbvergifteten Ackerschnecken wurden teilweise auch Igel unter 500 g verwendet (Tab. 1).

Der Ablauf der Untersuchungen mit metaldehydvergifteten Ackerschnecken gliederte sich in eine

- mindestens einwöchige Bereitstellungsphase des Igels im Freigehege

(Eingewöhnung),

- dreitägige Akklimatisation im Prüfraum,
- nächtliche Applikation der vergifteten Ackerschnecken im Prüfraum (eine Nacht),
- dreitägige Nachbeobachtung im Prüfraum,
- mindestens einwöchige Nachbeobachtung im Freigehege.

Während der Gewöhnung an die Gefangenschaft und das Futter wurden die Igel einzeln in ca. 2,5 m² großen Freigehegen gehalten und beobachtet. Die Gehege waren überdacht; Temperatur und Luftfeuchtigkeit entsprachen den Außenbedingungen. Für jeden Igel stand eine Nestbox mit Heu als Unterschlupf zur Verfügung. Im Freigehege wurden die Igel mit Katzenfutter aus Dosen als Standardfutter (100 bis 150 g pro Tag) und mit Trinkwasser versorgt. An mindestens drei Tagen wurden ihnen zusätzlich ca. 10 tote Ackerschnecken vorgelegt. Die Überprüfung des Gesundheitszustands erfolgte täglich. Igel, die mehrere Tage das Standardfutter bzw. tote Ackerschnecken nur widerwillig oder gar nicht aufgenommen hatten, wurden am Fangort wieder freigelassen.

Nachdem die Igel sich in den Freigehegen an das Futter und die Gefangenschaft gewöhnt hatten, wurden sie einzeln mit der Nestbox in den Prüfraum gesetzt. Der Prüfraum war ein ca. 9 bzw. 12 m² großes Innengehege. Der geflieste Boden war mit einer ca. 2 cm dicken Sandschicht bedeckt. Die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit wurden durch die Außentemperatur und die Außenluftfeuchtigkeit bestimmt. Der Raum wurde

Tab. 1 : Lebensdaten der Prüftiere

| Tier Nr. | Fangort | Fanggewicht (g) | Geschlecht | Prüfung von bis |
|----------|---------------------------|-----------------|------------|---------------------|
| GLP 1 | Institutsgelände (BBA) | 757 | ♂ | 08.10.93 – 12.10.93 |
| GLP 6 | Aaseewiesen | 564 | ♀ | 13.05.94 – 20.05.94 |
| GLP 12 | Aaseewiesen | 815 | ♀ | 10.06.94 – 17.06.94 |
| GLP 13 | Aaseewiesen | 1147 | ♂ | 02.09.94 – 09.09.94 |
| GLP 16 | Aaseewiesen | 1131 | ♂ | 16.09.94 – 23.09.94 |
| GLP 19 | Botan. Garten, Schloß | 1020 | ♀ | 14.10.94 – 21.10.94 |
| T 1 | Aaseewiesen | 343 | ♀ | 04.10.88 – 05.10.88 |
| T 2 | Aaseewiesen | 430 | ♂ | 12.10.88 – 13.10.88 |
| T 3 | Aaseewiesen | 275 | ♀ | 18.10.88 – 19.10.88 |
| T 4 | Aaseewiesen | 450 | ♀ | 27.10.88 – 28.10.88 |
| T 5 | Institutsgelände (BBA) | 650 | ♂ | 11.07.89 – 12.07.89 |
| T 6 | Aaseewiesen | 725 | ♂ | 25.07.89 – 27.07.89 |
| T 7 | Aaseewiesen | 730 | ♂ | 23.08.89 – 25.08.89 |
| T 8 | Aaseewiesen | 780 | ♀ | 06.09.89 – 07.09.89 |
| T 9 | Aaseewiesen | 550 | ♀ | 19.09.89 – 21.09.89 |
| T 10 | Aaseewiesen | 750 | ♂ | 27.09.89 – 29.09.89 |
| T 11 | Aaseewiesen | 440 | ♀ | 03.10.89 – 05.10.89 |

durch eine Rotlichtlampe (150 W) von 19.00 bis 7.00 Uhr beleuchtet und mit Hilfe einer Videoanlage überwacht.

Im Prüfraum wurden die Igel so versorgt wie in den Freigehegen. Während der dreitägigen Akklimatisation erhielten sie zusätzlich täglich 100 in Flüssigstickstoff abgetötete Ackerschnecken.

In der vierten Nacht wurden die metaldehydvergifteten Ackerschnecken angeboten. An Stelle des Standardfutters wurden 200 zuvor vergiftete Ackerschnecken verteilt auf einer ca. 1 m² großen feuchten Holzplatte ausgelegt. Jedesmal, wenn der Igel die Nestbox verließ, wurde er zusätzlich zur Videoüberwachung durch ein Beobachtungsfenster in der Prüfraumtür direkt beobachtet.

Der Schneckenverzehr wurde am nächsten Tag erfaßt. Mit Ausnahme von Prüftier Nr. 1, das keine vergifteten Schnecken aufgenommen hat und deshalb sofort wieder in das Freigehege gesetzt wurde, blieben die Tiere zur Nachbeobachtung noch drei Tage im Prüfraum. Danach wurden sie zur weiteren Beobachtung wieder in die Freigehege gesetzt und nach einer Woche am Fangort wieder freigelassen.

Die Kontrolltiere wurden der gleichen Behandlung unterzogen wie die Prüftiere, ihnen wurden aber an Stelle metaldehydvergifteter Ackerschnecken in Flüssigstickstoff abgetötete Ackerschnecken angeboten.

Die Untersuchungen mit methiocarbvergifteten Ackerschnecken verliefen ähnlich wie die mit metaldehydvergifteten Schnecken. Anders verfahren wurde in folgenden Punkten:

- Nach dem Fang wurden die Igel

nicht zuerst in die Freigehege gesetzt, sondern sofort in den Prüfraum, wo ihnen entweder in derselben oder in der darauf folgenden Nacht 150 methiocarbvergiftete Ackerschnecken auf einer Futtermatte angeboten wurden.

- Nach der Applikationsnacht wurden die Igel am nächsten oder übernächsten Tag wieder freigelassen und nicht zur weiteren Beobachtung im Prüfraum bzw. Freigehege gehalten.

Als Prüfsubstanzen wurden zwei Schneckenkornpräparate mit den Wirkstoffen Metaldehyd und Methiocarb verwendet. Das Präparat mit dem Wirkstoff Metaldehyd wurde von der Firma LONZA AG zur Verfügung gestellt. Es handelte sich um ein blaues Granulat (Korngewicht ca. 0,025 g) mit einem Wirkstoffgehalt von ca. 6 %. Die Toxizität des Wirkstoffs ist für Ratten (beide Geschlechter) mit LD₅₀ (akut-oral) mit 227 – 690 mg/kg Körpergewicht angegeben (BOOZE & OEHME, 1985). Das Präparat mit dem Wirkstoff Methiocarb (Schneckenkorn Mesurol) wurde vom Landhandel bezogen. Der Wirkstoffgehalt betrug 4 %. Die akut-orale LD₅₀ beträgt bei Ratten 10 – 47 mg/kg Körpergewicht (PERKOW, 1983/85).

Den Igeln wurden ca. 0,25 g schwere vergiftete Ackerschnecken (*Deroceras spec.*) vorgelegt, die aus einer Schneckenzucht des Instituts stammten. Die Vergiftung der Schnecken mit Metaldehyd erfolgte in einem Glasgefäß (Aquarium). Der Boden war mit wassergetränktem Filterpapier ausgelegt. Als Unterschlupf für die Schnecken dienten ca. 10 cm breite Bretter, die etwas erhöht lagen. Zur Applikati-

on des Mittels wurden die Bretter umgedreht und einzelne Schneckenkörner zwischen die auf den Brettern sitzenden Schnecken gelegt (ca. 1 Korn pro 3 Schnecken). Nach zwei bis vier Stunden wurden die vergifteten Schnecken mit einer Pinzette von den Brettern genommen und bis zur Verwendung maximal vier Stunden im Kühlschrank (ca. 4 °C) aufbewahrt. An den Schnecken haftende Körner wurden entfernt. Für die Versuche wurden nur solche Schnecken verwendet, die deutliche Vergiftungssymptome zeigten, wie sie DAXEL (1968) beschrieben hat. Tote oder stark geschädigte Schnecken lagen entweder unbeweglich ausgestreckt auf der Seite oder zeigten nach Berührung nur noch geringe Reaktionen. In diesem Zustand war die Mundöffnung gewöhnlich vorfallartig ausgestülpt, und das Tier war durch Schleimabsonderung geschrumpft.

Die Vergiftung der Ackerschnecken mit Methiocarb erfolgte in Kunststoffschalen. Die Schalen hatten eine Grundfläche von 250 cm²; die Seitenwände waren zur Belüftung durchlöchert. Der Boden war mit angefeuchtetem Fließpapier bedeckt. Pro Gefäß wurden 30 – 40 Schneckenkörner verteilt ausgelegt und ca. 25 Ackerschnecken eingesetzt. Die Expositionszeit lag bei ca. sieben Stunden. Es wurden nur solche Schnecken verwendet, die ihre Fühler nicht mehr oder nur unvollständig ausstrecken konnten, auf der Seite lagen und 20 Minuten lang keine oder nur geringe Reaktionen zeigten. Die toten Schnecken wurden den Prüftieren entweder noch am selben Tag vorgelegt oder zunächst bei ca. –18 °C gelagert.

Ergebnisse

Bei den Untersuchungen mit metaldehydvergifteten Ackerschnecken fraß von den sechs Prüftieren ein Igel keine, ein Igel 12, ein Igel 196, ein Igel 198 und zwei Igel nahmen alle 200 ausgelegten Ackerschnecken auf (Tab. 2). Ein Igel würgte nach Aufnahme von ca. 150 vergifteten Schnecken eine größere Menge wieder aus und nahm das Ausgewürgte nach einer einstündigen Ruhepause wieder auf. Bei keinem Tier sind Vergiftungssymptome oder auffällige Verhaltensstörungen festgestellt worden. Alle Prüf- und Kontrolltiere haben die Prüfung unbeschadet überlebt.

Bei den Untersuchungen mit methiocarbvergifteten Ackerschnecken fraßen von den 11 Prüftieren zwei Igel keine und die übrigen bis zu 112 methiocarbvergiftete Ackerschnecken (Tab. 2). Mit Ausnahme von zwei Igel sind keine Vergiftungssymptome oder auffällige Verhaltensänderungen beobachtet worden. Ein Igel (Nr. 11) zeigte ca. 1,5 Stunden nach Schneckenverzehr leichte Unsicherheiten in der Lokomotion und untypische Reaktionen bei der Entnahme aus dem Nest (geöffnete Schnauze, röchelnde Geräusche). Nach fünfeinhalb Stunden war das Verhalten wieder normal. Ein Igel (Nr. 1) ist ca. zwei Stunden nach Aufnahme von 25,5 vergifteten Ackerschnecken verendet. Das Beobachtungsprotokoll zeigt, daß sechs Minuten nach der Aufnahme erste Unsicherheiten in der Lokomotion auftraten. Nach weiteren 30 Minuten waren erste Lähmungen an den hinteren Extremitäten zu beobachten. Das Tier blieb dann an einer Stelle sitzen und bewegte sich nicht mehr. Bei der

Tab. 2 : Aufnahme vergifteter Ackerschnecken

| Igel Nr. | Gewicht (g) vor Applikation | Aufnahme vergifteter Ackerschnecken | | | Wirkstoff | Auswirkungen |
|----------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------------------------|------------|------------------------|
| | | Anzahl | Gewicht (in g) | Gewicht (g) pro kg Körpergewicht | | |
| GLP 1 | 773 | keine | ÷ | ÷ | Metaldehyd | ÷ |
| GLP 6 | 680 | 198 | 34,3 | 50,4 | Metaldehyd | ÷ |
| GLP 12 | 846 | 200 | 43,1 | 50,9 | Metaldehyd | ÷ |
| GLP 13 | 1102 | 12 | 2,96 | 2,7 | Metaldehyd | ÷ |
| GLP 16 | 1039 | 196 | 47,6 | 45,8 | Metaldehyd | ÷ |
| GLP 19 | 977 | 200 | 40,0 | 40,9 | Metaldehyd | ÷ |
| T 1 | 343 | 25,5 | 9,44 | 27,5 | Methiocarb | verendet |
| T 2 | 430 | 19 | 7,22 | 16,8 | Methiocarb | ÷ |
| T 3 | 275 | 16 | 7,52 | 27,4 | Methiocarb | ÷ |
| T 4 | 450 | keine | ÷ | ÷ | Methiocarb | ÷ |
| T 5 | 650 | 100 | 21,0 | 32,3 | Methiocarb | ÷ |
| T 6 | 725 | keine | ÷ | ÷ | Methiocarb | ÷ |
| T 7 | 730 | 112 | 20,16 | 27,6 | Methiocarb | ÷ |
| T 8 | 780 | 101 | 23,23 | 29,8 | Methiocarb | ÷ |
| T 9 | 550 | 8 | 2,0 | 3,6 | Methiocarb | ÷ |
| T 10 | 750 | 64 | 16,64 | 22,2 | Methiocarb | ÷ |
| T 11 | 440 | 98 | 20,58 | 46,7 | Methiocarb | Koordinationsstörungen |

anschließenden Kontrolle durch Anstoßen fiel das Tier auf die Seite und blieb unbeweglich liegen. Der Herzschlag konnte nicht mehr gefühlt werden. Der tote Igel wurde kühl gelagert und am nächsten Tag zur veterinärmedizinischen Untersuchung zum Staatlichen Veterinärmedizinischen Untersuchungsamt Münster gebracht. Die Untersuchungen ergaben, daß das Tier in einem guten Gesundheitszustand war und daß keine infektiösen Erkrankungen sowie Organveränderungen vorlagen. Laut Untersuchungsbericht wird das Vorliegen einer akuten Intoxikation nicht ausgeschlossen.

Diskussion

Die Untersuchungen mit dem Wirkstoff Metaldehyd haben gezeigt, daß Igel auch metaldehydvergiftete Ackerschnecken in größerer Zahl aufnehmen. Zwei Igel hätten wahrscheinlich noch mehr als die 200 angebotenen Schnecken gefressen, da sie nach dem Verzehr im Laufe der Nacht häufiger auf der Futterplatte nach Futter suchten. Das Auswürgen von Schnecken, das bei einem Tier beobachtet wurde, ist nach REEVE (1994) bei Igeln nicht ungewöhnlich. Er führt das auf die Schleimabsonderung der Ackerschnecken zurück. Danach scheint das beobachtete Würgeverhalten nicht durch den Giftstoff Metaldehyd in den Schnecken, sondern durch den Schleim an den toten Schnecken verursacht worden zu sein. Zwei Igel zeigten eine Abneigung gegen die ausgelegten toten Ackerschnecken. Ein Tier verweigerte die Schneckenaufnahme total, und ein Tier fraß wäh-

rend der Akklimatisationszeit im Prüfraum in den ersten beiden Nächten jeweils ca. 90 Schnecken und rührte in der dritten Nacht weder Schnecken noch anderes Futter an. In der darauffolgenden Applikationsnacht nahm es dann im hungrigen Zustand nur 12 vergiftete Schnecken auf. An diesen beiden Beispielen wird deutlich, daß tote Ackerschnecken offensichtlich nicht von allen Igeln gern gefressen werden. Wie hoch der Prozentsatz an Igeln ist, die im Freiland vergiftete Schnecken nur selten anrühren, kann an Hand dieser Untersuchungen nicht abgeschätzt werden. Dazu müßten gezielte Untersuchungen zum Nahrungswahlverhalten bei Igeln durchgeführt werden.

Die Ergebnisse lassen vermuten, daß bei erwachsenen, gesunden Igeln bis zur Aufnahme von 200 metaldehydvergifteten Ackerschnecken keine gravierenden Auswirkungen bzw. Todesfälle zu erwarten sind. Wenn Igel im Freiland gelegentlich auch mehr als 200 Schnecken fressen, würde die aufgenommene Wirkstoffmenge wahrscheinlich nicht wesentlich erhöht, da Igel bei der Futtersuche neben vergifteten auch unvergiftete Schnecken und solche mit geringem Wirkstoffgehalt aufnehmen. Außerdem stoßen sie nur bei einem sehr hohen Schneckenbefall (> 100 pro m^2) auf eine noch größere Schneckenansammlung als in den Versuchen vorgegeben. Dennoch wird, wie anfangs erwähnt, gelegentlich von tödlichen Igelvergiftungen durch Metaldehyd berichtet. KEYMER, GIBSON & REYNOLDS (1991) fanden in toten Igeln bis zu 80 mg/kg Acetaldehyd (Abbauprodukt von Metaldehyd) in der Leber. Sie und FLETCHER (pers. Mitteilung an KEYMER) vermuten, daß

die Tiere in diesen Fällen das Schneckenkorn direkt aufgenommen haben. Da Igel auch Brot aufnehmen, könnten sie auch das aus Kleie bestehende Schneckenkorn fressen. Dies könnte eintreten, wenn bei einer nicht praxisgerechten Anwendung die Körner in Reihen oder kleinen Häufchen ausgelegt werden. Nach der Berechnung von KEYMER, GIBSON & REYNOLD müßten 1 kg schwere Igel zum Erreichen der tödlichen Dosis ca. 5 g Schneckenkorn (ca. 200 Körner) aufnehmen, was allerdings bei einer praxisgerechten Anwendung der Mittel (ca. 25 – 40 Körner pro m²) sehr unwahrscheinlich ist. Auch SCHLATTER (zitiert bei ESSER, 1984) kommt an Hand seiner Untersuchungen zu dem Schluß, daß die Aufnahme von 500 mg/kg Körpergewicht Metaldehyd für Igel ungefährlich ist. Bei den in Großbritannien bekannt gewordenen Igelvergiftungen durch Metaldehyd könnten auch illegale Köder (z. B. Hackfleisch) mit Metaldehyd, die von Igel gern gefressen werden, eine Rolle gespielt haben (GREIG-SMITH *et al.*, 1989).

Die Versuche mit Methiocarb haben deutlich gemacht, daß Igel auch methiocarbvergiftete Ackerschnecken in größerer Zahl fressen. Die von der Herstellerfirma geäußerte Vermutung, daß auf Grund der rasch einsetzenden Wirkung des Mittels nach Aufnahme schon weniger Schnecken eine weitere Aufnahme nachhaltig verhindert werde, hat sich nicht bestätigt. Einige Tiere nahmen über 100 vergiftete Schnecken in weniger als 20 Minuten auf, wobei sich bei Igel Nr. 11 erst eine Stunde nach dem Schneckenkonsum und nicht schon während des Verzehrs Vergiftungs-

scheinungen zeigten. Auch bei Igel Nr. 1 traten erste Vergiftungssymptome erst nach Aufnahme der 25 vergifteten Schnecken auf.

Wie bei den Versuchen mit dem Wirkstoff Metaldehyd, zeigte sich auch hier, daß einige Igel Ackerschnecken nicht oder nur ungern fressen. Dies kann nicht auf eine extreme Streßsituation zurückgeführt werden. Igel fressen nicht so regelmäßig wie viele andere Tiere. An manchen Tagen, besonders wenn reichlich Nahrung vorhanden ist, können sie besonders viel und an den darauffolgenden Tagen wenig oder gar nichts fressen. Unter natürlichen Bedingungen sind Igel z. B. bei ungünstiger Witterung häufig gezwungen, kurze Zeit auch ohne oder mit wenig Nahrung auszukommen. Igel, die einen Tag nichts fressen, sind deshalb nicht gestreßt.

Aus den Versuchen wird weiterhin deutlich, daß Igel gegenüber methiocarbvergifteten Schnecken unterschiedlich empfindlich sind. Die meisten Tiere zeigten auch nach dem Verzehr von über 100 Schnecken keine Vergiftungssymptome, dagegen verwendete ein Tier schon nach dem Verzehr von nur 25 Schnecken. Im Freiland sind Ansammlungen von 25 und mehr Schnecken auf engem Raum keine Seltenheit. MARTIN & FORREST (1969) fanden nach einer Schneckenbekämpfung mit Schneckenkorn Mesurol auf einem gepflügten Rapsfeld 48 bis 57 tote Schnecken je Quadratmeter, auf einem Rosenkohlfeld in einem Fall 27 tote Schnecken unter einer Pflanze und in Hopfengärten bis zu 90 tote Schnecken an einer Hopfenpflanze. Bei einem so starken Schneckenbefall können Igel in kurzer Zeit auch noch mehr als 100 vergiftete

Schnecken aufnehmen.

Die beiden zur Schneckenbekämpfung verwendeten Wirkstoffe Metaldehyd und Methiocarb sind bezüglich ihres Gefährdungspotentials für Igel unterschiedlich zu bewerten. Metaldehydvergiftete Ackerschnecken können von Igel offensichtlich ohne Gefahr in weit größerer Zahl aufgenommen werden als methiocarbvergiftete Ackerschnecken. Ungeklärt ist weiterhin, ob Igel mit den vergifteten Ackerschnecken nicht auch anhaftende oder in der Nähe liegende Schneckenkörner verzehren. Verendete Igel, bei denen relativ hohe Metaldehydrückstände gefunden wurden, lassen dies vermuten. Zur Klärung dieser Frage muß untersucht werden, wieviel Schneckenkörner bei einer Bekämpfung an den Schnecken haften oder in der unmittelbaren Umgebung der toten Schnecken liegen.

Zusammenfassung

Durch die Anwendung von Schneckenbekämpfungsmitteln (Molluskizide) können Igel mit vergifteten Schnecken in Berührung kommen. Gehegeversuche sollten klären, ob Igel vergiftete Ackerschnecken aufnehmen und dadurch zu Schaden kommen können. Von sechs Igel, denen metaldehydvergiftete Ackerschnecken vorgelegt wurden, fraß ein Igel keine, ein Igel 12 und die anderen vier Igel fraßen alle bzw. fast alle 200 angebotenen Schnecken. Bei keinem Tier wurden Vergiftungssymptome oder auffällige Verhaltensstörungen beobachtet. Von 11 Igel, denen methiocarbvergiftete Ackerschnecken vorgelegt wurden, fraßen zwei Igel keine

und die übrigen bis zu 112 vergiftete Schnecken. Bei zwei Igel sind Vergiftungssymptome beobachtet worden. Ein Igel zeigte Lähmungserscheinungen an den Hinterbeinen und ein Igel ist nach Aufnahme von 25 vergifteten Schnecken innerhalb von ca. zwei Stunden verendet.

Die Versuche haben gezeigt, daß Igel durch metaldehydvergiftete Schnecken nicht gefährdet sind, während bei methiocarbvergifteten Schnecken Sekundärvergiftungen nicht ausgeschlossen werden können.

Literatur

- BERTHOUD, G. (1981): Contribution à la biologie du hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) et applications à sa protection. Diss. Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences.
- BOOZE, TH.F. & OEHME, F.W. (1985): Metaldehyde toxicity: A review. *Vet. Hum. Toxicol.* **27**, 11-19.
- DAXEL, R. (1968): Die Abhängigkeit der Wirkung molluskizider Substanzen (Metaldehyd, Isolan, Ioxynil) von endogenen Faktoren auf Nacktschnecken. Diss. Technische Univ. Berlin.
- ESSER, J. (1984): Untersuchungen zur Frage der Bestandsgefährdung des Igels (*Erinaceus europaeus*) in Bayern. *Ber. ANL* **8**, 22-62.
- FLETCHER, M.R. & HUNTER, K. (1992): Pesticides poisoning of animals 1992: Investigations of Suspected Incidents in the United Kingdom. London, MAFF.
- GREIG-SMITH, P.W. (1988): Wildlife hazards from the use, misuse and abuse of pesticides. *Asp. Appl. Biol.* **17**, 247-256.
- GREIG-SMITH, P.W., FLETCHER, M.R., HUNTER, K., QUICK, M.P. & THOMPSON, H.M. (1989): Pesticide Poisoning of Animals 1989: Investigations of Suspected Incidents in Great Britain. Environmental Panel Report. London, MAFF.
- Igel Bulletin: Publikationsorgan des Vereins pro Igel 1991.

- KEYMER, I.F., GIBSON, E.A. & REYNOLDS, D.J. (1991): Zoonoses and other findings in hedgehogs (*Erinaceus europaeus*): a survey of mortality and review of the literature. *Vet. Rec.* **128**, 245-249.
- MARTIN, T.J. & FORREST, J.D. (1969): Entwicklung von Schneckenkorn Mesurol in Großbritannien. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* **22**, 212-248.
- PERKOW, W. (1983/85): *Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel*. Berlin-Hamburg, Parey Verlag.
- Plädoyer für den Igel: Rheinisch-Westfälische IgelFreunde (RWI) Perspektiven 1988, ROBOR-GmbH, Hückeswagen.
- REEVE, N. (1994): *Hedgehogs*. London, T. & AD Poyser.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hubert Gemmeke,
Biologische Bundesanstalt,
Institut für Nematologie und
Wirbeltierkunde,
Topheideweg 88, 48161 Münster

Untersuchungen über die Eignung von Nematoden zur Gütebewertung von Fließgewässern

Studies on the potential of nematodes for evaluating the quality of flowing waters

RAINER NIEMANN, MARGIT ARENS, KERSTIN KOCZWARA und DIETER STURHAN

Abstract

From June 1991 to April 1993 more than 600 samples of sediment and aquatic plant material were collected from 15 brooks and small rivers in the region of Münster, Germany, and analyzed for the nematode fauna. The sampling sites were classified to four water quality categories based on the saprobial system, ranging from II (moderately polluted) to III-IV (very heavily polluted). Nearly 150 nematode species were identified, most of them originating from terrestrial habitats. About 65 species were considered aquatic forms; 32 of them were common and numerous. Besides euryoecious species, which show no obvious preferences to certain degrees of pollution, other species might be suitable indicators to certain categories of water quality. Some species showed a relation to different types of anthropogenic pollution (pollution by agricultural discharges or effluents of sewage treatments). Aquatic nematodes are suitable organisms for a biological assessment of water pollution and could be used to support the classification of water quality categories based on the saprobial system.

Keywords: aquatic nematodes, bioindicators, pollution, water quality, flowing waters, Germany

Zahlreiche Oberflächengewässer in dicht besiedelten oder intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen sind jahrzehntelang durch gewässerbauliche Maßnahmen (Begradigungen, Ufer- und Sohlbefestigungen) und Abwassereinleitungen zu naturfernen, artenarmen Gräben oder Betonkanälen umgestaltet worden. Von den 51 namentlich erwähnten Bächen und Flüssen im Raum Münster befinden sich nur noch etwa 20 % in naturnahem Zustand, davon die meisten in Waldgebieten. Während sich die Wasserqualität der größeren Flüsse meist zufriedenstellend darstellt, sind über 50 % der Bäche und über 75 % der namenlosen Gräben kritisch bis sehr

stark verschmutzt. Allein in Münster werden jährlich etwa 30 Millionen m³ Abwasser geklärt und anschließend in Fließgewässer eingeleitet. Die hohen Konzentrationen organischer Kohlenstoffverbindungen und Ammoniumfrachten belasten jedoch neben den Einleitungen von Hauskläranlagen und den Einträgen von Ackerflächen (vor allem Phosphate und Nitrate) die Fließgewässer (einschließlich der Quellen) so stark, daß die angestrebte Gewässergüte II (mäßig belastet) bisher nur bei 15 % der untersuchten Bachabschnitte erreicht wurde. Unbelastete bis wenig belastete Gewässer gibt es im Raum Münster nicht (UMWELTAMT MÜNSTER, 1994).

Ausgehend vom Saprobien-system von KOLKWITZ und MARSSON (1902) bewährte sich zur Bestimmung der Gewässergüte neben der chemischen Analytik die Berechnung des Saprobienindex (DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN, 1991; GUNKEL, 1994; KLEE, 1991). Anhand einer qualitativen und quantitativen Analyse des Makrozoobenthos eines Fließgewässerabschnittes wird ein Indexwert ermittelt, der die beprobte Gewässerstelle einer der sieben Gewässergüteklassen (GGK, Tab. 1) zuordnet. Ergänzend zu diesem „Makroindex“, der auf 166 Indikatorarten basiert, gibt es einen „Mikroindex“, dessen Berechnung anhand von 93 Mikroorganismen vorgenommen wird. Die Meiofauna des Sedimentes wurden bislang kaum beachtet.

Ziel umfangreicher Untersuchungen in zahlreichen Fließgewässern in

Münster und Umgebung war es, Möglichkeiten der Bioindikation mit freilebenden Süßwassernematoden zu erfassen, welche die traditionellen Untersuchungsmethoden sinnvoll ergänzen oder sogar verbessern könnten. Die Befunde wurden im wesentlichen im Rahmen von Diplom- und Staatsexamensarbeiten erarbeitet (ARENS, 1993; KOCZWARA, 1992; NIEMANN, 1992); sie wurden durch ergänzende Untersuchungen wesentlich erweitert.

Süßwassernematoden leben in Sedimenten von Flüssen, Bächen, Seen und Tümpeln. Sie wurden auch in Grund- und Höhlengewässern, Pfützen, Thermalquellen, in Sümpfen und Mooren, in Salinen und Phytotelmen gefunden. Neben reinen Sedimentbewohnern gibt es Arten, die auf Algen, Steinen und Wasserpflanzen leben. Eine strenge Abgrenzung von limnisch und terrestrisch lebenden Nematoden-

Tab. 1: Gewässergüteklassen

| Güteklasse | Saprobität / Saprobienstufe | Grad der organischen Belastung |
|------------|---|-------------------------------------|
| I | oligosaprob | unbelastet bis sehr gering belastet |
| I - II | oligosaprob, mit β -mesosaprobem Einschlag | gering belastet |
| II | β -mesosaprob | mäßig belastet |
| II - III | α - β -mesosaprobener Grenzbereich | kritisch belastet |
| III | α -mesosaprob | stark verschmutzt |
| III - IV | polysaprob, mit α -mesosaprobem Einschlag | sehr stark verschmutzt |
| IV | polysaprob | übermäßig verschmutzt |

arten ist kaum sinnvoll, da Fadenwürmer ohne eine aquatische Umgebung austrocknen. In intensiv landwirtschaftlich genutzten oder dicht besiedelten Gebieten, wo ein Großteil der Oberflächengewässer einen naturfernen oder naturfremden Charakter aufweist, gelangen über Rohreinleitungen (Hauskläranlagen, Drainagen) oder Regenwasserabflüsse bei nur gering ausgebildeter Ufervegetation zahlreiche Nematodenarten in Fließgewässersedimente, die typisch für den terrestrischen Lebensraum sind. Bis auf die euryhygrophilen Arten sind die wenigsten dieser eingeschwemmten Tiere in der Lage, in einem dauerhaft wassergesättigten Habitat zu überleben. Als aquatisch im engeren Sinne (= stenohygrophil) sind nur solche Taxa zu bezeichnen, die ausschließlich limnische Biotope als Lebensraum nutzen oder als euryöke Arten auch z. B. in Acker-, Wald- oder Wiesenböden zu finden sind (JACOBS, 1984).

Aquatische Nematoden nutzen die unterschiedlichsten Nahrungsressourcen. Pflanzenparasiten (z. B. *Hirschmanniella*-Arten) und mykophag Nematoden (z. B. *Aphelenchoides* spp.) sind in der Regel selten anzutreffen. Die meisten der im aquatischen Milieu vorkommenden Arten leben bakteriophag, phykophag oder räuberisch im Aufwuchs von Algen (Periphyton) sowie im Sediment, wo sie u. a. Cyanobakterien, einzellige Algen, Rotatorien und kleinere Nematoden erbeuten.

Der Individuen- und Artenreichtum aquatischer Nematoden veranlaßte bereits MICOLETZKY (1914), eine Gruppierung der Nematoden in ökologische Leitgesellschaften vorzunehmen, wobei er auch den Parameter der

Verunreinigung erfaßte. HIRSCHMANN (1952) ermittelte für fünf Gewässergüten typische Indikatorarten. Nach ihren Untersuchungsbefunden stammen die Leitformen in oligosaproben und oligo- β -mesosaproben Gewässern im wesentlichen aus den Ordnungen Monhysterida und Enoplida, und mit steigendem Maß der Gewässerverschmutzung wurden die saprobionten Rhabditida und Diplogasterida dominant. ZULLINI (1976) bestimmte aus dem Abundanzverhältnis der Secernentea zu den Adenophorea einen Fließgewässerindex. Er wies bereits auf wichtige Ausnahmen hin (z. B. *Fictor fictor*). Eine systematische Nutzung für sämtliche Oberflächengewässer erscheint jedoch wegen des z. T. hohen Anteils eingeschwemmter terrikoler Arten nicht sinnvoll.

Eine umfangreiche Probenauswertung in einer Region, die eine relativ hohe limnisch-ökologische Vielfalt bietet, läßt genauere Aussagen zur Nutzung der Nematodenfauna zumindest in landwirtschaftlich geprägten Gebieten erhoffen. Die vorliegenden Untersuchungen sollen einen Beitrag dazu liefern.

Material und Methoden

Im Zeitraum von Juni 1991 bis April 1993 wurden im Raum Münster/Westf. über 600 Sediment- und Wasserpflanzenproben von 55 Probenstellen aus fünfzehn Bächen und Flüssen (Krummer Bach, Hangsbach, Münstersche Aa, Gievenbach, Kinderbach, Meckelbach, Nienberger Bach, Werse, Schlautbach, Kleibach, Flachsbach, Hüttenbach, Emmerbach, Kreuzbach und Hülsbach) entnommen

und auf Nematoden untersucht. Die Untersuchungsstellen deckten die in dieser Region typischen Gewässergüteklassen von II (mäßig belastet) bis III-IV (sehr stark verschmutzt) ab. Die Klassifizierung der Probenahmestellen erfolgte nach den Gewässergütekarten der Stadt Münster (Stand: 1990). Ein Teil der Untersuchungsstellen lag im Bereich von Kläranlagen und in Gewässerabschnitten in Bereichen mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung (dort Probenahme jeweils oberhalb und unterhalb der „Belastungsquellen“). An fast allen Standorten wurden mehrere Proben entnommen, an vielen Stellen Proben zu unterschiedlichen Jahreszeiten.

Die Sedimentproben (250 g) wurden nach einem modifizierten Dichteextraktionsverfahren mit Magnesiumsulfat (CAVENESS & JENSEN, 1955) aufgearbeitet, die Nematoden aus dem Pflanzenmaterial über einen modifizierten Baermann-Trichter extrahiert. Die Nematodensuspensionen wurden mit erhitztem TAF fixiert und anhand eines inversen Lichtmikroskopes ausgezählt und die Nematodentaxa bestimmt.

Ergebnisse

Die Abundanzen der Nematoden in den Sedimentproben waren sehr unterschiedlich. In sandigen Sedimenten fanden sich z. T. weniger als 20 Tiere pro kg Frischsubstrat. Die höchsten Individuenzahlen wurden in Stillwasserzonen mit feinkörnigen Sedimenten oder in stark verschmutzten Bachabschnitten (Gewässergüte III-IV) festgestellt (maximal > 20 000 Tiere/kg Frischsubstrat). Insgesamt konnten

fast 150 Nematodenspezies nachgewiesen werden. Etwa 65 dieser Arten können dem limnischen Lebensraum zugeordnet werden, 32 von ihnen waren häufiger anzutreffen (an mehr als 20 der Untersuchungsstellen gefunden). Diese Arten und der jeweilige prozentuale Anteil der Nachweise in den vier erfaßten Gewässergüteklassen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Bei den meisten der nachgewiesenen Taxa dürfte es sich um eingeschwemmte Arten aus den an die Fließgewässer angrenzenden Wiesen und Äckern handeln. In Sedimenten von Bachläufen ohne abgrenzende Ufervegetation wurde vor allem im Herbst und Frühjahr nach starken Regenfällen ein Anteil von bis zu 75 % an „terrikolen“ Arten festgestellt (vor allem Tylenchida). Die „limnischen“ Arten zeigten oft einen ausgeprägten saisonalen Rhythmus. So lag das Populationsmaximum der algenfressenden oder -bewohnenden Arten (Monhysteriden, *Fictor fictor*) im Sommer, das der bakteriophagen Arten im Spätherbst (Laubzersetzung, verrotende Wasserpflanzen!).

Die meisten der in Tabelle 2 aufgelisteten Nematodentaxa waren in allen vier Gewässergüteklassen nachweisbar, doch zeigt die Verteilung der Funde auf die GGK bei vielen Arten deutliche Unterschiede. Insbesondere gilt dies für die obere und die untere Artengruppe auf Tabelle 2.

Gewässergüteklassen II und II-III

Nur vier der 32 häufigen Süßwasserarten mieden stärker belastete Fließgewässerbereiche (GGK III und III-IV) bzw. hatten ihren Verbreitungsschwerpunkt in den Gewässergü-

Tab. 2: Prozentualer Anteil der Nachweise der häufigsten aquatischen Nematodentaxa in den Gewässergüteklassen II bis III-IV

(AR = Araeolaimida, CH = Chromadorida, DI = Diplogasterida, DO = Dorylaimida, EN = Enoplida, MH = Monhysterida, MO = Mononchida, RH = Rhabditida)

| | | II | II - III | III | III - IV |
|--|----|----|----------|-----|----------|
| <i>Mononchus tunbridgensis</i> Bastian | MO | 73 | 27 | 0 | 0 |
| <i>Fictor fictor</i> (Bastian) | DI | 36 | 57 | 6 | 1 |
| <i>Monhystera paludicola</i> de Man | MH | 13 | 65 | 22 | 0 |
| <i>Plectus rhizophilus</i> de Man | AR | 17 | 64 | 13 | 6 |
| <i>Tripyla glomerans</i> de Man | EN | 8 | 61 | 31 | 0 |
| <i>Mononchus aquaticus</i> Coetzee | MO | 13 | 55 | 32 | 0 |
| <i>Eumonhystera dispar</i> (Bastian) | MH | 4 | 34 | 62 | 0 |
| <i>Chromadorita leuckarti</i> de Man | CH | 0 | 15 | 85 | 0 |
| <i>Anaplectus granulatus</i> (Bastian) | AR | 2 | 66 | 15 | 17 |
| <i>Plectus parvus</i> Bastian | AR | 1 | 23 | 43 | 33 |
| <i>Plectus parietinus</i> Bastian | AR | 16 | 28 | 44 | 12 |
| <i>Aphanolaimus aquaticus</i> Daday | AR | 11 | 24 | 50 | 15 |
| <i>Eumonhystera filiformis</i> (Bastian) | MH | 10 | 38 | 28 | 24 |
| <i>Eudorylaimus carteri</i> (Bastian) | DO | 17 | 31 | 23 | 29 |
| <i>Panagrolaimus</i> spp. | RH | 1 | 48 | 21 | 30 |
| <i>Tobrilus pellucidus</i> Bastian | EN | 14 | 9 | 56 | 21 |
| <i>Plectus cirratus</i> Bastian | AR | 12 | 31 | 22 | 35 |
| <i>Mesorhabditis</i> spec. | RH | 3 | 38 | 22 | 37 |
| <i>Dorylaimus stagnalis</i> Dujardin | DO | 12 | 21 | 19 | 48 |
| <i>Tobrilus gracilis</i> (Bastian) | EN | 14 | 22 | 10 | 54 |
| <i>Pelodera punctata</i> (Cobb) | RH | 0 | 18 | 21 | 61 |
| <i>Curviditis curvicaudata</i> (Schneider) | RH | 0 | 11 | 40 | 49 |
| <i>Diplogaster rivalis</i> (Leydig) | DI | 1 | 4 | 39 | 56 |
| <i>Aphanolaimus attentus</i> de Man | AR | 1 | 8 | 20 | 71 |
| <i>Diplogasteritus nudicapitatus</i> (Steiner) | DI | 1 | 7 | 22 | 70 |
| <i>Cuticularia oxycerca</i> (de Man) | RH | 1 | 4 | 24 | 71 |
| <i>Tobrilus diversipapillatus</i> Daday | EN | 0 | 0 | 71 | 29 |
| <i>Diploscapter coronatus</i> (Cobb) | RH | 0 | 3 | 25 | 72 |
| <i>Paroigolaimella bernensis</i> (Steiner) | DI | 3 | 2 | 6 | 89 |
| <i>Mononchoides striatus</i> (Bütschli) | DI | 0 | 4 | 4 | 92 |
| <i>Oigolaimella carinata</i> Zullini | DI | 0 | 1 | 7 | 92 |
| <i>Rhabditoides stigmatus</i> (Steiner) | DI | 0 | 1 | 2 | 97 |

teklassen II und II-III (Tab. 2, obere Artengruppe).

Der räuberische, weltweit verbreitete *Mononchus tunbridgensis*, der in Süßwasser und in feuchten Böden vorkommt, war die einzige Nematodenart, die keine Fundstellen in den GGK III oder III-IV aufwies. In Münster und Umgebung lagen 73 % der Fundorte an natürlichen oder naturnahen Bachläufen mit niedriger Fließgeschwindigkeit.

Der ebenfalls weit verbreitete aquatische Nematode *Fictor fictor* lebt in schlammigen Sedimenten, auf Algen und Krustensteinen β -mesosaprober Gewässer. Er meidet als einzige Diplogasteridenart stark belastete Gewässer und bevorzugt sauerstoffreiche Fließgewässer (ZULLINI, 1982). Die Art konnte z. T. in sehr großer Individuenzahl (> 500 pro 100 g Pflanzenfrischgewicht) aus Fadenalgenbewuchs und von der Unterseite der Schwimmblätter verschiedener Wasserpflanzen isoliert werden. Als Nahrungsspezialist für einzellige Algen trat *F. fictor* in den Sommermonaten z. T. massenhaft auf, während er in den kälteren Monaten äußerst selten gefunden wurde. Es lagen 93 % der Fundstellen in den GGK II und II-III.

Monhystera paludicola ist ein häufiger aquatischer Nematode, der selten auch in feuchten Böden anzutreffen ist. Er soll saubere Gewässer bevorzugen. In α -mesosaproben Bächen und Flüssen wurde er selten, in polysaproben nie angetroffen. Er ernährt sich wie die meisten Monhysteriden von Algen und Detritus (HIRSCHMANN, 1952; ZULLINI, 1982). Die ebenfalls im Probengebiet vorkommende Art *Monhystera stagnalis* lebt im schlammigen Sediment meist stehen-

der Gewässer und scheint *M. paludicola* in stärker verschmutzten Gewässern zu ersetzen (HIRSCHMANN, 1952). Aus Münster und Umgebung sind von dieser Art nur drei Fundstellen bekannt, die alle als stark verschmutzt eingestuft werden.

Plectus rhizophilus ist eine kosmopolitisch verbreitete Nematodenart, die feuchte Böden, Süßwasser und vor allem Moospolster bewohnt. Sie meidet stark belastete Gewässer (ZULLINI, 1982; ANDRÁSSY, 1984). In Münster und Umgebung stammen 81 % der Funde aus Gewässern der GGK II und II-III. Von den im Untersuchungsgebiet verbreiteten *Plectus*-Arten scheint *P. rhizophilus* die einzige zu sein, die stärker belastete Sedimente meidet.

Einige weitere Nematodenarten wurden zwar nicht in den sehr stark verschmutzten Gewässerbereichen gefunden, kamen aber doch häufig in GGK III vor, z. B. *Tripyla glomerans* und *Mononchus aquaticus* (Tab. 2).

Gewässergüteklassen III und III-IV

Von den häufigen aquatischen Nematoden bevorzugten 12 Arten stark und sehr stark verschmutzte Gewässerabschnitte (Tab. 2, untere Gruppe). Sechs dieser Arten gehören zu den Diplogasteriden, vier zu den Rhabditiiden, die Arten *Aphanolaimus attentus* und *Tobrilus diversipapillatus* zu den Araeolaimiden bzw. Enopliden. In den GGK II und II-III konnten die meisten dieser Arten nur selten festgestellt werden (sämtlich < 20 %); sieben Arten wurden in der GGK II nicht gefunden.

Zwei Arten der Unterklasse Adenophorea zeigten eine deutliche Präfe-

renz für stark verschmutzte Gewässer: *Tobrilus diversipapillatus* konnte stets in großer Individuenzahl (meist im Algenaufwuchs von Steinen) im Mündungsbereich von Kläranlagen gefunden werden. *Aphanolaimus attentus* bevorzugte nährstoffreiche Sedimente in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft und im Bereich der Vorfluter von Kläranlagen.

Die drei im Untersuchungsgebiet häufigen *Tobrilus*-Arten unterscheiden sich sehr stark in den Ansprüchen an ihr Habitat. *T. gracilis* lebt im Schlamm stehender und fließender Gewässer. Er kommt sowohl in gering verschmutzten als auch in stark belasteten Flüssen und Seen vor. HIRSCHMANN (1952) stellte mit zunehmendem Verschmutzungsgrad des Gewässers steigende Individuenmengen fest. In Münster und Umgebung lagen 54 % der Fundorte in GGK III-IV. Da *T. gracilis* jedoch in den meisten Sedimentproben vertreten war und neben *Plectus cirratus* zu den häufigsten Süßwassernematoden zählte, dürfte die Art zu den euryöken Formen gestellt werden.

Tobrilus pellucidus wurde von HIRSCHMANN (1952) nur an polysaprobien Stellen gefunden; ZULLINI (1976, 1982) stellt ihn dagegen zu den Indikatoren wenig belasteter Gewässer. In Münster und Umgebung war die Art überall dort häufig, wo dichter Bewuchs von Wasserpflanzen auftrat (vor allem *Callitriche* und Fadenalgen). Im Gegensatz zu *T. gracilis* scheint *T. pellucidus* vorwiegend periphytisch zu leben.

Tobrilus diversipapillatus ist ein kosmopolitisch verbreiteter aquatischer Nematode, der insbesondere in fließenden Gewässern lebt. Die Art

gilt als ausgesprochen rheophil; sie findet sich an sauberen und verschmutzten Stellen (HIRSCHMANN, 1952; ZULLINI, 1974, 1982). Im Untersuchungsgebiet wurde die Art ausschließlich in den GGK III oder III-IV gefunden, überwiegend im Bereich von Kläranlagen; die meisten Funde stammen von ausgebauten (auch betonierten) Bachbetten mit dichtem Aufwuchs an Fadenalgen. Naturnahe Gewässerabschnitte scheint *T. diversipapillatus* nach unseren Befunden zu meiden.

Aphanolaimus attentus kommt in feuchten Böden und im Süßwasser vor. Im Gegensatz zu anderen im Untersuchungsgebiet vertretenen *Aphanolaimus*-Arten zeigte *A. attentus* eine deutliche Präferenz für belastete Bachläufe; es können 91 % der Fundorte den GGK III und III-IV zugeordnet werden.

Curviditis curvicaudata ist sowohl aus aquatischen als auch aus terrestrischen Biotopen bekannt. Die Art ist ein typischer Bewohner von Kompost und Schlamm der Wassergrenze verschmutzter Gewässer (SUDHAUS, 1976); sie lebt zahlreich in β - α -mesosaprobien und massenhaft in polysaprobien Flüssen. Als Nahrungsquelle dienen ihr kohlehydratabbauende Bakterien (SCHNEIDER, 1939; HIRSCHMANN, 1952). In Münster und Umgebung lagen 89 % der Fundorte in stark bis sehr stark verschmutzten Gewässern. *C. curvicaudata* war die einzige Rhabditiden-Art, deren Abundanzen in Fließgewässern nach Einleitungen aus Kläranlagen nicht deutlich anstiegen.

Cuticularia oxycerca ist ein häufiger Boden- und Süßwassernematode. Der euryöke Saprobiont lebt von Pilzspo-

ren, Cyanobakterien und Ascomyceten. Er ist ein typischer Bewohner von Kompost, Gartenabfällen, Misthaufen und faulenden Pilzen. Als anspruchslose Art kann *C. oxycerca* auch in O₂-freien oder H₂S-haltigen Gewässern überleben (SUDHAUS, 1976). Er gilt als Zeigerorganismus für polysaprobe Flüsse (HIRSCHMANN, 1952). Im übermäßig verschmutzten Teil des Seveso-Flusses machte *C. oxycerca* fast 50 % der Nematodenfauna aus (ZULLINI, 1976). Die Art wurde z. B. auch in den Abwässern von Kläranlagen (ZULLINI, 1977) und im stark verschmutzten Rotterdamer Hafenbecken gefunden (BONGERS, 1988). Neben dem Auftreten der Art (im Untersuchungsgebiet lagen 95 % der Fundorte in stark bis sehr stark verschmutzten Gewässern) ist auch ihr körperlicher Zustand ein wichtiges Merkmal, da in stark verunreinigten Biotopen wegen des großen Nahrungsangebotes die Tiere z. T. doppelt so groß werden wie an weniger belasteten Stellen.

Pelodera punctata ist eine aquatische Nematodenart, die wasserpflanzenreiche Uferregionen von Fließgewässern bevorzugt (ANDRÁSSY, 1984). In Münster und Umgebung nahm die Häufigkeit dieser Art mit dem Verschmutzungsgrad zu. *P. punctata* wurde ausschließlich in kleinen Bächen (Breite < 2 m) oder nach Einleitung von geklärten Abwässern gefunden.

Diploscapter coronatus ist ein terrikoler Nematode, der auch im Süßwasser und Brackwasser lebt. Er gilt als Zeigerorganismus für β - α -mesosaprobe Gewässer, der auch in polysaprobe Flüssen häufig vertreten ist (HIRSCHMANN, 1952). Die Art lebt saprophag im Bereich verrottender

Wurzeln (GOODEY, 1963) und ist in der Lage, auch extreme Lebensbereiche wie Abwässer oder heiße Quellen zu besiedeln. Im Untersuchungsgebiet konnten die höchsten Abundanzen von *D. coronatus* unmittelbar hinter Einleitungen von geklärten Abwässern ermittelt werden.

Rhabditoides stigmatus ist eine Nematodenart, die in Dünger, Kompost, Regenwürmern, auf Käfern und im Schleimfluß von Bäumen lebt. Sie findet sich zahlreich in β - α -mesosaprobe, sehr häufig in polysaprobe Gewässern. ZULLINI (1982) fand *R. stigmatus* vor allem in stark verunreinigten Gewässern und in den Abwässern von Kläranlagen. *R. stigmatus* konnte im Untersuchungsgebiet fast ausschließlich (97 %) in sehr stark verschmutzten Gewässern gefunden werden.

Diplogasteritus nudicapitatus lebt saprob in Süßwasser, Mist und Dünger. Er gilt als Zeigerart für polysaprobe Gewässer (HIRSCHMANN, 1952). ZULLINI (1982) stellte ihn in mäßig bis stark verschmutzten Flüssen und Abwässern von Kläranlagen fest. In sauberen und stehenden Gewässern ist die Art selten. Die Verbreitung im Raum Münster (92 % der Nachweise in den GGK III und III-IV) bestätigt diese Befunde. Ähnlich wie bei *Cuticularia oxycerca* nahm die Größe der Tiere mit steigender Saprobienstufe deutlich zu.

Diplogaster rivalis ist ein rein aquatischer Nematode, der als viviparer Saprobiont fließende und stehende Gewässer bewohnt (ANDRÁSSY, 1984). Er soll das Periphyton in Stillgewässern bevorzugen und tritt oft vergesellschaftet mit *Fictor fictor* auf (MICOLETZKY, 1925; ZULLINI, 1974).

D. rivalis war die häufigste Diplogasteridenart in den Fließgewässern des Untersuchungsgebietes. Obwohl 94 % der Fundstellen an stark bis sehr stark verschmutzten Bachläufen lagen, kam es im Sommer synchron mit der Algenblüte zu kurzfristigen Massenentwicklungen von *D. rivalis* an geringer belasteten Stellen.

Paroigolaimella bernensis ist ein saprober Bewohner von Süßwasser, Mist und Kompost; er gilt als Zeiger für polysaprobe Gewässer (HIRSCHMANN, 1952). Die Art bevorzugt das Periphyton fließender Gewässer. Ähnlich wie *Diplogasteritus nudicapitatus* findet man sie auch in sauberen Bächen; die Individuenzahl steigt jedoch stark mit zunehmendem Verschmutzungsgrad (ZULLINI, 1982). Vergleichbare Befunde gelten im Raum Münster. Es lagen zwar 89 % der Fundorte in sehr stark verschmutzten Gewässern, daneben wurden einige Tiere aber auch in naturnahen Oberläufen mit mäßiger Schadstoffbelastung gefunden. An diesen Stellen fehlten jedoch stets die Männchen.

Mononchoides striatus findet sich in Kompost, Dünger, in faulenden Stoffen, in Baumsäften und im Süßwasser. Der Nematode ist ein typischer Bewohner polysaprober Gewässer (HIRSCHMANN, 1952; ANDRÁSSY, 1984). In Münster und Umgebung lagen 92 % der Fundorte an stark verschmutzten Bachläufen.

Oigolaimella carinata ist ein saprobionter Süßwassernematode, der bisher offensichtlich nur aus Italien bekannt war. Er bevorzugt mäßig bis stark verunreinigte Gewässer wie z. B. die Abwässer von Kläranlagen (ZULLINI, 1982; ANDRÁSSY, 1984). An den wenigen Fundstellen im Untersu-

chungsgebiet (99 % in GGK III und III-IV) kam die Art z. T. in sehr hoher Individuendichte vor (> 400 Tiere/kg Sedimentfrischgewicht).

Einfluß von Kläranlagen

Innerhalb der Artengruppe mit verstärktem Auftreten in stark verschmutzten Gewässern waren bei einzelnen Arten besondere Präferenzen für Klärabwässer (hohe Nitrat- und Nitrit-Konzentrationen) erkennbar. Es ließen sich typische Leitgesellschaften aufstellen (Tab. 3).

Tab. 3: Nematoden-Leitgesellschaft für Fließgewässer nach Einleitungen aus Kläranlagen
(Wert in Klammern = Quotient aus mittlerer Abundanz in abwasserbelasteten Abschnitten und im gesamten Untersuchungsgebiet)

| | |
|--------------------------------------|------|
| <i>Diploscapter coronatus</i> | (50) |
| <i>Oigolaimella carinata</i> | (38) |
| <i>Cuticularia oxycerca</i> | (23) |
| <i>Rhabditoides stigmatus</i> | (21) |
| <i>Panagrolaimus</i> spp. | (21) |
| <i>Diplogasteritus nudicapitatus</i> | (16) |
| <i>Aphanolaimus attentus</i> | (10) |
| <i>Tobrilus diversipapillatus</i> | (9) |
| <i>Eumonhystera filiformis</i> | (7) |
| <i>Mesorhabditis</i> spp. | (4) |

Bei diesen Nematodenarten wurden im Vergleich zur mittleren Individuendichte im Gesamtuntersuchungsgebiet nach Einleitung geklärter Abwässer besonders hohe Abundanzen festgestellt; vor allem gilt dies für *Di-*

ploscapter, *Oigolaimella* und *Cuticularia*. Die Individuen an diesen Fundstellen waren meist wesentlich größer als Tiere von anderen Probenahmestellen. Die Weibchen trugen mehr Eier, und es traten nur hier bei *Diploscapter coronatus* und *Aphanolaimus attentus* die an anderen Stellen fehlenden Männchen auf.

Einfluß von Einträgen aus der Landwirtschaft

Auch für die Gewässerabschnitte in Bereichen mit intensiver Land- und Viehwirtschaft, wo neben gezielter Einleitung (Drainagerohre) vor allem nach starken Regenfällen und bevorzugt aus Nutzflächen ohne abgrenzende Ufervegetation ein Eintrag von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln erfolgt, waren besondere Auswirkungen erkennbar. Auffällige Veränderungen in der Nematodenzusammensetzung ergaben sich vor allem in Gebieten mit starkem Maisanbau, mit intensiver Gülle- und Kompostdüngung sowie mit starkem Einsatz von Mineraldünger.

Die Abundanzen von drei Nematodenarten unterschieden sich hier deutlich von der mittleren Gesamtindividuen-dichte, z. B. bei *Plectus cirratus* und *Curviditis curvicaudata* (Tab. 4). Dazu trat hier die in aquatischen Habitaten nicht typische Art *Acrostichus gracilis* (Bütschli) auf, ein typischer Dünger- und Kompostnematode, von dem im Untersuchungsgebiet nur wenige Fundstellen vorliegen; dort waren die Tiere in hoher Individuendichte (> 300 Tiere / kg Frischsediment) eingeschwemmt worden.

Tab. 4: Nematoden-Leitgesellschaft für Fließgewässer nach Eintrag von Ackerflächen
(Wert in Klammern = Quotient aus mittlerer Abundanz in belasteten Abschnitten und im gesamten Untersuchungsgebiet)

| | |
|--------------------------------|------|
| <i>Plectus cirratus</i> | (13) |
| <i>Curviditis curvicaudata</i> | (8) |
| <i>Diplogaster rivalis</i> | (5) |

Diskussion

Die Untersuchungen im Stadtbereich von Münster und in der näheren Umgebung haben gezeigt, daß selbst in einem relativ kleinen geographischen Gebiet mit einem großen Artenreichtum an Nematoden in Fließgewässern zu rechnen ist. Die aus dem terrestrischen Bereich eingeschwemmten Nematoden stellten dabei allerdings die Mehrzahl der nachgewiesenen Taxa. Bei den im selben Gebiet durchgeführten Untersuchungen zur Nematodenfauna von Stillgewässern wurde dagegen in der Regel ein wesentlich größerer Anteil an limnischen Arten nachgewiesen, ein hoher Anteil an terrestrischen Formen nur in Proben aus dem unmittelbaren Uferbereich oder in zeitweise trockenfallenden Kleingewässern (SIEVERT, 1993). Von den etwa 65 in den Fließgewässern gefundenen limnischen Arten und den Formen, die sowohl in Gewässern als auch in nassen Böden dauerhaft existieren können, wurden lediglich 32 regelmäßig und an zahlreichen Untersuchungsstellen nachgewiesene Taxa in die Auswertung einbezogen.

Obleich die Zuordnung der Unter-

suchungsstellen zu den Gewässergüteklassen von II bis III-IV nach den verwendeten Kartierungsunterlagen (Gewässergütekarten des Umweltamtes der Stadt Münster, Stand: 1990) vermutlich nicht für alle Standorte genau zutreffen dürfte, da kleinräumig Abweichungen vorliegen mögen und sich zwischen Kartierungszeitpunkt und Durchführung der nematologischen Untersuchungen Änderungen ergeben haben können, läßt die Verteilung der Nachweise auf die Gewässergüteklassen bemerkenswerte Unterschiede erkennen (Tab. 2). Danach scheint die Mehrzahl der Arten eine breite ökologische Valenz zu besitzen. Einige Arten zeigen jedoch eine deutliche Bevorzugung von gering bis mäßig belasteten Gewässerabschnitten; wenigstens 12 Arten finden sich vor allem in den stark bis sehr stark verschmutzten Bereichen.

Oligosaprobe und oligo- β -mesosaprobe Fließgewässer (GGK I und I-II) sind im Probengebiet nicht vertreten. Mögliche Leitorganismen für saubere Bachläufe, wie sie z. B. von Mittelgebirgsbächen bekannt sind, wurden unter den Nematoden im Raum Münster nur selten gefunden (z. B. *Ironus ignavus* und *Paractinolaimus macrolaimus*). Nur vier der 32 häufigen Süßwassernematoden mieden stärker belastete Fließgewässerbereiche (GGK III und III-IV), einige weitere waren in GGK III-IV nicht nachweisbar. Von diesen sind nur *Mononchus tunbridgensis* und *Fictor fictor* als Indikatorarten zu nutzen. Da *Monhystera*-Arten nur anhand der Männchen sicher unterschieden werden können, ist *M. paludicola* als Indikatororganismus nur bedingt geeignet; wegen der schwierigen Determination von *Plectus*-Arten

gilt gleiches auch für *P. rhizophilus*.

Als Indikatorarten für stärker verschmutzte Gewässer kommen nach den vorliegenden Befunden mehrere Nematodenarten in Betracht, darunter für GGK III-IV die Arten *Paroigolaimella bernensis*, *Mononchoides striatus*, *Oigolaimella carinata* und *Rhabditidoides stigmatus*. Für GGK III und III-IV existieren nur wenige Indikatororganismen des Makrozoobenthos, die zudem häufig in den stark verbauten und teilweise sedimentfreien Bächen und Kanälen nicht auftreten. Die nach Regenfällen auftretenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten (> 1m/sec) in begradigten Wasserläufen (vor allem in den Vorflutern von Kläranlagen) sind für größere limnische Lebewesen so lebensfeindlich, daß sich oft eine reine Meio- oder Mikrofauna (Nematoden, Rotatorien, Mikroorganismen) entwickelt.

Die eigenen Befunde bestätigen für die meisten Arten die Feststellungen von z. B. HIRSCHMANN (1952), ZULLINI (1976) und OVERHOFF (1994, 1995) über die Eignung der meisten der in Tabelle 2, untere Artengruppe, aufgelisteten Arten als Indikatoren für stärker belastete Gewässer.

Wie Unterschiede bei den Leitgesellschaften, die für Bereiche nach Einleitungen aus Kläranlagen bzw. Einträgen von Ackerflächen aufgestellt wurden, zu werten sind, bedarf weiterer Untersuchungen.

Die relativen Häufigkeiten der aquatischen Diplogasteriden, Rhabditiden, Araeolaimiden, Monhysteriden, Chromadoriden, Enopliden und Dorylaimiden in den vier beprobten GGK im gesamten Untersuchungsgebiet bestätigen die Annahme ZULLINIS (1976), die Secernentea seien Indika-

toren für hohe Gewässerbelastungen und die Adenophorea Indikatoren für geringe Schadstoffmengen, nur zum Teil. Zwar stellen in der Gruppe der Arten mit Präferenz für stärker verschmutzte Gewässerabschnitte (Tab. 2) die Secernentea mit zehn Diplogasteriden und Rhabditiden die Mehrzahl der Arten, doch bilden *Fictor fictor* als Indikator für geringer belastete Gewässer und *Tobrilus diversipapillatus* als Indikator für stärkere Verschmutzung wichtige Ausnahmen bei den Secernentea bzw. Adenophorea. Artliche Unterschiede in der ökologischen Valenz werden auch bei der Gattung *Aphanolaimus* deutlich; nach OVERHOFF (1994, 1995) ist *A. aquaticus* eine gegenüber Belastungen sensitive Art. Das von BONGERS (1990) vorgeschlagene Verfahren zur Bewertung der Bodengüte mittels eines "Maturity Index", bei dem die Nematodenfamilien fünf Klassen unterschiedlicher Empfindlichkeit zugeordnet werden, bedarf zu einer Verwendung im aquatischen Bereich wichtiger Korrekturen, um artliche Unterschiede in ökologischen Präferenzen erfassen zu können.

Als wichtiger Parameter für die biologische Beurteilung von Fließgewässern kann neben dem Biomonitoring der „Artenfehlbetrag“ (KOTHÉ, 1962) einer Untersuchungsstelle genutzt werden. Die Untersuchung der Fließgewässer in Münster und Umgebung hat gezeigt, daß es unter den Nematodenarten mehrere „negative Indikatoren“ gibt, die nur eine geringe Reaktionsbreite gegenüber Umweltfaktoren haben. Fehlen Arten, die im jeweiligen Untersuchungsgebiet oder auch an anderen Stellen desselben Fließgewässers vertreten sind, in

bestimmten Gewässerbereichen, so kommt dem ein Indikationswert zu.

Insgesamt haben die Untersuchungen gezeigt, daß die Analyse der Nematodenfauna geeignet ist, den Belastungsgrad eines Fließgewässers zu beurteilen. Zumindest für die stärker belasteten Gewässer in der untersuchten Region ließen sich zuverlässige und leicht zu identifizierende Arten benennen, mit denen sich - in Kombination mit dem Saprobienindex des Makrozoobenthos - recht genau die Gewässergüteklasse ermitteln läßt. Fehlbeurteilungen, die vor allem in Bächen mit permanent hoher Fließgeschwindigkeit oder minimaler Besiedlung durch die Makrofauna auftreten können, werden so vermieden.

Allgemein erfaßt die Gewässergüteklassifizierung nach dem Saprobien-system organische Belastungen und ist nicht geeignet, andere Stressoren anzuzeigen (GUNKEL, 1994). Welche aquatische Nematoden sich als Biomonitoring zur Erfassung von Belastungen durch Schwermetalle, Pflanzenschutzmittel und andere Umweltchemikalien eignen, ist noch weitgehend ungeklärt. Da viele Xenobiotika in Sedimenten festgelegt sind, dürften sich die überwiegend sedimentbewohnenden aquatischen Nematoden für die biologische Bewertung längerfristiger Einflüsse besonders eignen. Die eigenen Befunde und die Ergebnisse der Untersuchungen von HIRSCHMANN (1952), ZULLINI (1976), EDER & KIRCHENGAST (1982), BONGERS & VAN DE HAAR (1990) u. a. zeigen, daß sich Nematoden für eine ökologische Bewertung von Gewässern eignen.

Zusammenfassung

Im Zeitraum von Juni 1991 bis April 1993 wurden im Raum Münster/Westf. über 600 Sediment- und Wasserpflanzenproben aus 15 Bächen und Flüssen entnommen und auf Nematoden untersucht. Die Untersuchungsstellen deckten die vier Gewässergüteklassen (GGK) von II (mäßig belastet) bis III-IV (sehr stark verschmutzt) ab. Unter den nahezu 150 nachgewiesenen Nematodenarten, von denen die meisten aus terrestrischen Habitaten eingeschwemmt waren, wurden etwa 65 vorwiegend aquatisch lebende Taxa identifiziert, von denen 32 häufig und regelmäßig anzutreffen waren. Neben euryöken Arten, die keine Präferenzen für bestimmte Belastungsgrade erkennen ließen, wurden Arten gefunden, die sich als Indikatororganismen für bestimmte Gewässergüteklassen eignen. Für einige Arten war auch ein Bezug zu unterschiedlichen anthropogenen Belastungen (Einträge aus der Landwirtschaft, Einleitungen von Abwässern aus Kläranlagen) nachweisbar. Aquatische Nematoden eignen sich zur biologischen Bewertung von Gewässern und könnten als Ergänzung zur Gewässergütebestimmung nach dem Saprobienindex genutzt werden.

(Herrn Prof. Dr. P. Fioroni, Institut für Spezielle Zoologie und Vergleichende Embryologie der Universität Münster, danken wir für die Vergabe der Themen für die durchgeführten Diplom- und Staatsexamensarbeiten, dem Umweltamt der Stadt Münster für die Überlassung von Berichten über Gewässeruntersuchungen, Kartenmaterial usw.)

Literatur

- ANDRÁSSY, I. (1984): Klasse Nematoda (Ordnungen: Monhysterida, Desmoscolecida, Araeolaimida, Chromadorida, Rhabditida). Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- ARENS, M. (1993): Untersuchungen über die Nematodenfauna von Oberflächengewässern im Bereich landwirtschaftlich genutzter Flächen. Diplomarbeit, Univ. Münster.
- BONGERS, T. (1988): De Nematoden van Nederland. Natuurhistorische Bibliotheek van de KNVV Nr. 46, Utrecht.
- BONGERS, T. (1990): The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on species composition. *Oecologia* 83, 14-19.
- BONGERS, T. & VAN DE HAAR, J. (1990): On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: An example from the river Rhine. *Hydrobiol. Bull.* 24, 37-45.
- CAVENESS, F.E. & JENSEN, H.J. (1955): Modification of the centrifugal-flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proc. helminth. Soc. Wash.* 22, 87-89.
- DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN (1991): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. M2: Bestimmung des Saprobienindex. (DIN 38410, Teil 2). Weinheim, Verlag Chemie.
- EDER, R. & KIRCHENGAST, M. (1982): The nematode-fauna (Nemathelminthes, Nematoda) of a polluted part of the river Mur (Styria, Austria). *Nematol. medit.* 10, 127-134.
- GOODEY, T. (1963): *Soil and Freshwater Nematodes*. 2nd edition, revised by J.B. Goodey. London, Methuen & Co.
- GUNKEL, G. (1994): *Biindikation in aquatischen Ökosystemen*. Jena & Stuttgart, Gustav Fischer Verlag
- HIRSCHMANN, H. (1952): Die Nematoden der Wassergrenze mittelfränkischer Gewässer. *Zool. Jahrb. Abt. Syst.* 81, 313-407.
- JACOBS, L.J. (1984): The free-living inland aquatic nematodes of Africa - a review. *Hydrobiologia* 113, 259-291.
- KLEE, O. (1991): *Angewandte Hydrobiologie*.

- Trinkwasser - Abwasser - Gewässerschutz. 2. Aufl., Stuttgart & New York, Georg Thieme Verlag.
- KOCZWARA, K. (1992): Aquatische Nematoden als potentielle Indikatoren für Schadstoffbelastungen. Untersuchungen an Fließgewässern in Münster. Staatsexamensarbeit, Univ. Münster.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1902): Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. Mitt. Kgl. Prüfanst. Wasservers. Abwasserbes. Berlin-Dahlem 1, 33-72.
- KOTHÉ, P. (1962): Der „Artenfehlbetrag“, ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorfluteruntersuchungen. Deut. Gewässerkundl. Mitt. 6, 60-65.
- MICOLETZKY, H. (1914): Freilebende Süßwasser-Nematoden der Ostalpen mit besonderer Berücksichtigung des Lunzer Seengebietes. Zool. Jahrb. (Syst.) 36, 331-546.
- MICOLETZKY, H. (1925): Die freilebenden Süßwasser- und Moornematoden Dänemarks. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr. Naturv. Math. Afd. 10, 55-310.
- NIEMANN, R. (1992): Untersuchungen zur Nematodenfauna der münsterschen Aa. Diplomarbeit, Univ. Münster.
- OVERHOFF, A. (1994): Eignung von Nematoden zum Biomonitoring von Fließgewässersedimenten. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem 301, 330.
- OVERHOFF, A. (1995): Nematode fauna in a mountain stream affected by pollution. Nematologica 41, 328.
- SCHNEIDER, W. (1939): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile. 36. Teil: Würmer oder Vermes, II. Fadenwürmer oder Nematoden. Jena, Gustav Fischer Verlag.
- SIEVERT, A. (1993): Untersuchungen zur Nematodenfauna von Stillgewässern. Staatsexamensarbeit, Univ. Münster.
- SUDHAUS, W. (1976): Vergleichende Untersuchungen zur Phylogenie, Systematik, Ökologie, Biologie und Ethologie der Rhabditidae (Nematoda). Zoologica 115, 1-229.
- UMWELTAMT MÜNSTER (1994): Umweltbericht 1993.
- ZULLINI, A. (1974): The nematological population of the Po River. Boll. Zool. 41, 183-210.
- ZULLINI, A. (1976): Nematodes as indicators of river pollution. Nematol. medit. 4, 13-22.
- ZULLINI, A. (1977): I nematodi di un impianto di depurazione a filtri percolatori nei prime due anni di funzionamento. Ateneo Parmense, Acta Nat. 13, 657-667.
- ZULLINI, A. (1982): Nematodi (Nematoda). In: Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane, 17.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Biol. Rainer Niemann,
 Dipl.-Biol. Margit Arens,
 Kerstin Koczwar, Dr. Dieter Sturhan,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Toppheideweg 88, 48161 Münster

Gesetzliche Regelungen und Praxis der Bekämpfung der Kartoffelnematoden (*Globodera rostochiensis* und *G. pallida*) in der ehemaligen DDR

Legal regulations and practical conditions for the control of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*) in the former DDR

EBERHARD GROSSE

Abstract

Globodera rostochiensis (pathotype Ro1) could not be prevented from spreading through the former German Democratic Republic. Around 4 % of the arable land was infested with the nematode in 1965, and ca. 19 % in 1985. The main areas of infestation were located in the today's new Bundesländer Brandenburg and Mecklenburg-Vorpommern. At times seed potatoes had to be cultivated in these regions, because no other arable land was available. This was particularly a problem during the 1970s.

In the 1980s up to 35 % of all cultivated potatoes were nematode-resistant. This led to a significant decrease in the number of highly infested areas. From 1978 to 1988, *G. pallida* and from Ro1 (*G. rostochiensis*) differing pathotypes were found on a maximum of 800 hectares, usually with only minor levels of infestation. This can possibly be attributed to the limited import of seed potatoes from West-European countries.

Keywords: *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, potato cyst nematodes, legal regulations, control, German Democratic Republic

Einleitung

Die Kartoffelerzeugung war in der ehemaligen DDR ein wichtiger Produktionszweig in der zentral geleiteten Landwirtschaft. Ein großer Teil der geernteten Kartoffeln wurde aus Mangel an hochwertigem Konzentratfutter in der Viehhaltung verbraucht. Die Kartoffelanbaufläche wurde den Betrieben dirigistisch vorgeschrieben. Von den ca. 5 Mio. ha Ackerfläche der DDR wurden z. B. 1973 650 000 und 1988 immer noch 413 000 ha mit Kartoffeln bestellt. Um das Ausmaß der Kartoffelproduktion in der ehemaligen DDR richtig einzuordnen, sollte berücksichtigt werden, daß 1995 in Ge-

samtdeutschland lediglich 356 000 ha mit Kartoffeln bestellt wurden (ANONYM, 1995).

Der Kartoffelanbau war auf den leichten Böden der Altmark sowie Branden- und Mecklenburgs konzentriert, und somit gab es dort günstige Voraussetzungen für eine zunehmende Verseuchung der Ackerflächen mit Kartoffelnematoden. Angaben zur entsprechenden Verseuchungssituation wurden stets als vertrauliche Dienstsache behandelt und durften demzufolge auch nicht veröffentlicht werden. Die folgenden Angaben zur Verbreitung der Kartoffelnematoden in der ehemaligen DDR und zur Verseuchungsstärke konnten den jetzt

zugänglichen Unterlagen des ehemaligen Zentralen Staatlichen Amtes für Pflanzenschutz und Pflanzenquarantäne (ZSPA) beim Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR (MLFN) entnommen werden (ANONYM, 1965 – 1988).

Gesetzliche Regelungen und Vorschriften zur Bekämpfung der Kartoffelnematoden

Ausgangspunkt aller Bestimmungen zur Kontrolle und Bekämpfung der Kartoffelnematoden war das am 25.11.1953 verkündete Gesetz zum Schutze der Kultur- und Nutzpflanzen (ANONYM, 1953). Hier wurde festgeschrieben (§ 3), daß der Pflanzenbeschauendienst die Aufgabe hat, die Ausbreitung und Verschleppung von Krankheiten und Schädlingen im Inland (innere Quarantäne) und bei der Ein-, Aus- und Durchfuhr von Pflanzen (äußere Quarantäne) zu verhüten. Nach § 11 dieses Gesetzes erließ das MLFN die jeweiligen Durchführungsbestimmungen.

Regelungen bezüglich Kartoffelnematoden zur Ein- und Ausfuhr von Kartoffeln

Die Einfuhr von Pflanzkartoffeln wurde nur gestattet, wenn der Erzeugerbetrieb frei von Kartoffelnematoden war, der Erdanteil der Sendung nicht mehr als 2 % des Reingewichtes betrug und an der Grenzeinlaßstelle kein Befall mit Kartoffelnematoden nachgewiesen werden konnte (ANONYM, 1960). Auch aus Westdeutschland und aus den Niederlanden wur-

den gelegentlich Pflanzkartoffeln importiert. Im Jahr 1972 erhielt die Landwirtschaft der DDR insgesamt 8775 Tonnen Pflanzkartoffeln - insbesondere die Sorte Grata - aus Westdeutschland (KÖHLER, 1972). Bei Exportkartoffeln, die ebenfalls nur auf befallsfreien Flächen erzeugt werden durften, waren bei der Sortierung anfallende Erdrückstände und später die versandfertigen Kartoffeln auf Kartoffelnematoden zu untersuchen. Wurden dabei Zysten gefunden, so konnten die Kartoffeln, wenn dies den Bedingungen des Importlandes nicht widersprach, einer speziellen Aufbereitung (Abbürsten, Abwaschen) unterzogen werden. Entscheidend war dann das Ergebnis der letzten Untersuchung der versandfertigen Kartoffeln. Der Pflanzenquarantänedienst hatte dabei die Aufgabe, den Pflanzenschutzdienst bei der Durchführung dieser Maßnahme anzuleiten und zu kontrollieren (ANONYM, 1968a).

Bestimmungen zur Entnahme und Untersuchung von Bodenproben

Alle Betriebe, die Pflanzkartoffeln auf vertraglicher Grundlage mit DSG-Betrieben (Deutsche Saatgut-Gesellschaft) produzierten, waren verpflichtet, zwei Jahre vor dem geplanten Anbau sämtliche für den Kartoffelbau vorgesehenen Flächen auf Befall mit Kartoffelnematoden untersuchen zu lassen. Die Vermehrungsverträge durften erst nach Vorlage entsprechender Atteste abgeschlossen werden. Auch die Absaatenproduzenten konnten von der zuständigen staatlichen Pflanzenschutzstelle in die Untersuchungspflicht einbezogen wer-

den, sofern diese für andere Betriebe Absaaten erzeugten (ANONYM, 1968b).

Zum Einsatz kamen überwiegend staatlich empfohlene Ausschwemmverfahren (Wilke-Apparatur und modifizierte Fenwickkanne) und später auch der Biotest, der insbesondere zum Nachweis bestimmter Pathotypen und zum Nachweis von *G. pallida* eingesetzt wurde. Da bei den Ausschwemmverfahren nur die Zysten- und Larvenzahl, nicht aber die Zahl der Eier und Larven pro Bodenmenge erfaßt wurde, konnte die tatsächliche Verseuchung nur grob ermittelt werden. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Ergebnissen, die mit dem Biotest gewonnen wurden, da bei dieser Methode von Flächen bis zu 20 ha nur eine Mischprobe untersucht wurde (ANONYM, 1983, 1987).

Pro ha waren mindestens 200 Proben (Einstiche) zu entnehmen und zu einer Mischprobe von wenigstens 400 cm³ zu vereinigen. Von jedem ha mußten wenigstens 400 cm³ des entnommenen Bodens nach einer empfohlenen Extraktionsmethode untersucht werden (ANONYM, 1968a).

Im Jahre 1985 wurde - offensichtlich auf Grund der zunehmenden Verseuchung der Ackerflächen mit Kartoffelnematoden - verfügt, daß alle Betriebe, die Kartoffeln vermehren bzw. auf 15 % oder mehr der kartoffelanbaufähigen Ackerfläche Speise- oder Industriekartoffeln anbauen, einer Anbaugenehmigung für Kartoffeln bedürfen (ANONYM, 1985). Wie bisher wurden die entsprechenden Betriebe verpflichtet, zwei Jahre vor dem vorgesehenen Kartoffelanbau die betreffenden Flächen zum Zwecke der Untersuchung auf Kartoffelnematoden zu beproben. Die pro Hektar zu ent-

nehmenden Einzelproben und die zu untersuchende Bodenmenge wurden auf die Hälfte reduziert. Die Entnahme der Bodenproben für den auch zugelassenen Biotest zum Nachweis der Kartoffelnematoden hatte nach einem staatlichen Standard (ANONYM, 1983) zu erfolgen. Nach dieser Festlegung waren von einer Fläche bis zu 20 ha 1500 Einzelproben zu entnehmen und anschließend zu einer Mischprobe von etwa 3 l Boden zu vereinigen. Zur Bewertung der Untersuchungsbefunde wurde ab 1985 eine Einstufung in Verseuchungsstufen vorgenommen (Tab. 1).

Maßnahmen zur Bekämpfung der Kartoffelnematoden

in Pflanzkartoffeln

Betriebe, die auf Vertragsbasis Pflanzkartoffeln erzeugten, hatten auf der gesamten Ackerfläche Anbaupausen von wenigstens vier Jahren für Kartoffeln und Tomaten einzuhalten (ANONYM, 1968b). Für Flächen, die mit Kartoffelnematoden befallen waren, hatte die zuständige Pflanzenschutzstelle eine mindestens fünfjährige Anbausperre für Kartoffeln und Tomaten oder den wechselnden Anbau von nematodenresistenten bzw. -anfälligen Kartoffeln, mit mindestens dreijähriger Anbaupause für Kartoffeln und Tomaten, anzuordnen. Grundsätzlich war der Anbau nematodenresistenter Kartoffeln nur zum Zwecke der Sanierung nematodenverseuchter Gebiete oder zur Erzeugung von Pflanzgut auf nematodenfreien Flächen zulässig (ANONYM, 1963). Zur Bekämpfung der Kartoffelnematoden

durch nematodenresistente Sorten waren sogenannte Sanierungsgebiete zu bilden. In den Sanierungsgebieten durften keine anfälligen Kartoffeln bzw. Tomaten angebaut werden. Die in den Sanierungsgebieten geernteten nematodenresistenten Kartoffeln konnten nur dann in angrenzenden Sanierungsgebieten als Pflanzkartoffeln genutzt werden, wenn sie auf einer nematodenfreien Fläche des Sanierungsgebietes (Gemeinde, Betrieb) aufwachsen. Das zuständige Pflanzenschutzamt (PSA) durfte eine Sanierung für abgeschlossen erklären, wenn pro 100 cm³ Boden nicht mehr als eine Zyste mit lebendem Inhalt festgestellt werden konnte. Zur Feststellung des Auftretens abweichender Pathotypen mußten alle auf nematodenverseuchten Flächen angebauten resistenten Kartoffeln auf Zysten an den Wurzeln bonitiert werden (ANONYM, 1963).

Die Vorschriften bezüglich des Pflanzkartoffelanbaus konnten auf Grund der zunehmenden Verbreitung des Nematoden immer weniger eingehalten werden. Da die staatliche Planaufgabe zur Kartoffelproduktion Priorität hatte, erteilten die PSA auch bei stärkerer Bodenverseuchung zunehmend die Erlaubnis zur Erzeugung von Pflanzkartoffeln. Zur Vereinheitlichung dieser Ausnahmegenehmigungspraxis erließ das ZSPA am 14.02.1973 eine entsprechende Vorschrift, wonach der Pflanzkartoffelanbau bis zu einer Verseuchung von fünf Zysten mit lebendem Inhalt pro 100 cm³ Boden genehmigungsfähig war (BEER, *in litt.*).

Ab 1985 wurden die Maßnahmen zur Bekämpfung der Kartoffelnematoden nach festgelegten Verseu-

chungsstufen verordnet (Tab. 1). Beim Vorliegen der Verseuchungsstufe I war die Erzeugung von Pflanzkartoffeln auf der Grundlage eines Sanierungsprogrammes mit resistenten und anfälligen Sorten genehmigungsfähig. Auf Flächen mit der Verseuchungsstufe II durften (mit Genehmigung) für Pflanzzwecke nur resistente Sorten angebaut werden. Eine Untersuchung der geernteten und für den Binnenhandel vorgesehenen nematodenresistenten Pflanzkartoffeln auf Zystenbesatz erfolgte nur, wenn die Flächen der Verseuchungsstufe II zugeordnet waren. Wurde bei der Untersuchung dann kein Nematodenbesatz festgestellt, so wurden auch diese Kartoffeln als Pflanzkartoffeln gehandelt. Im Falle des Vorliegens der Verseuchungsstufe II war eine Untersuchung der Anbaufläche auf *G. pallida* und auf von Ro1 (*G. rostochiensis*) abweichende Pathotypen nach einem standardisierten Biotest vorzunehmen.

in Speise- und Industriekartoffeln

Speise- und Industriekartoffeln konnten auf Flächen mit der Verseuchungsstufe I ohne Einschränkung angebaut werden, während bei der Verseuchungsstufe II resistente und anfällige Kartoffeln auf der Grundlage eines Sanierungsprogramms und entsprechender Genehmigung vorgeschrieben waren. Nematodenresistente Speise- und Industriekartoffeln konnten nach Genehmigung auch auf Flächen angebaut werden, die der Verseuchungsstufe III zugeordnet waren. Es war dann Voraussetzung, diese Flächen auf *G. pallida* und auf von Ro1 (*G. rostochiensis*) abweichende Pathotypen zu untersuchen (ANONYM,

1985).

Eine chemische Bekämpfung der Kartoffelnematoden gab es in der ehemaligen DDR nicht. Zu keinem Zeitpunkt war ein geeignetes Nematizid auf Ackerflächen zugelassen. Ein Grund dafür war, daß diese Mittel nicht in dem erforderlichen Umfang verfügbar waren.

Betrachtungen zur Effizienz der Bekämpfungsmaßnahmen

Die Verseuchung mit Kartoffelnematoden wurde von den PSÄ der ehemaligen DDR intensiv untersucht. Auf Grund der sich ständig verschärfenden Verseuchungssituation verfügte das MLFN 1985 die Untersuchungspflicht auch bei Speise- und Industrie-

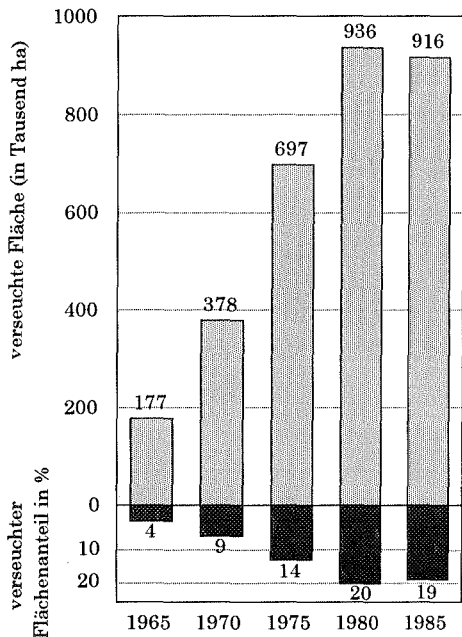


Abb. 1: Zunahme der mit Kartoffelnematoden verseuchten Ackerfläche (ehemalige DDR)

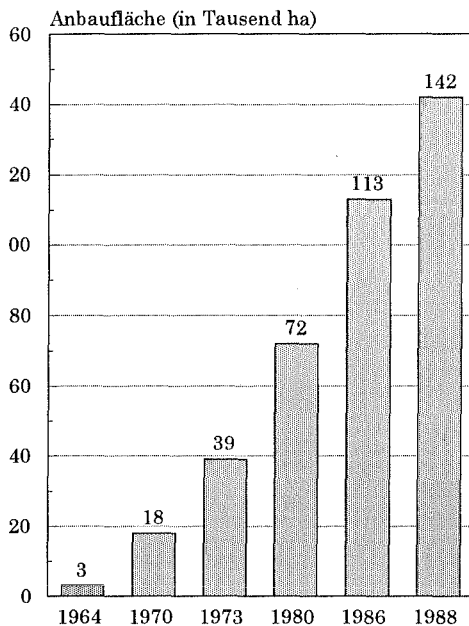


Abb. 2: Anbau von Kartoffelsorten mit Resistenz gegen *G. rostochiensis* (Ro1) in der ehemaligen DDR

kartoffeln ab 15 % Kartoffelanteil von der kartoffelanbaufähigen Fläche eines Betriebes. Trotz der seit 1963 verordneten und zunehmend auch umgesetzten Sanierungsmaßnahmen (wechselnder Anbau resistenter und anfälliger Kartoffelsorten) nahmen die Verbreitung und die Stärke der Verseuchung mit Kartoffelnematoden ständig zu. Galten 1965 erst 4 % der Ackerfläche als verseucht, so waren es 1980 bereits 20 % (Abb. 1).

Mit Abstand am stärksten waren die Gebiete der heutigen Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg betroffen, die auf Grund des hohen Anteils leichter Böden vorrangig zur Kartoffelproduktion genutzt wurden. Hohe Anforderungen an die Produktionsmenge, insbesondere für Pflanzkartoffeln, verschärfen die Situation. Da die hier erzeugten Pflanz-

Tab. 1: Einstufung der Verseuchungsstärke bei Kartoffelnematoden ab 1985 (ehemalige DDR)

| Verseuchungsstufe | Spülverfahren Zysten mit lebensfähigem Inhalt/ 100 ccm Boden | E+L/100ccm Boden |
|-------------------|--|---------------------|
| 0 | 0 | 0 - 30 |
| I | 1 - 2 sowie 3 - 5 mit einem Anteil verseuchter Proben bis 20 % | 31 - 200 |
| II | 3 - 5 mit einem Anteil verseuchter Proben über 20 % | 201 - 500 |
| III | >5 | > 500 |

Tab. 3: Speise- und Industriekartoffelanbaufläche insgesamt und auf mit *G. rostochiensis* (Ro1) verseuchten Flächen (ehemalige DDR, 1988)
a = anfällige Kartoffelsorten
r = resistente Kartoffelsorten

| Land | Anbaufläche insgesamt (in Tausend ha) | davon verseucht (in Tausend ha) Verseuchungsstufen | | | | | |
|------------------------|---|--|----|----|---|-----|----|
| | | I | | II | | III | |
| | | a | r | a | r | a | r |
| Brandenburg | 82 | 16 | 7 | 4 | 2 | 0 | 22 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 64 | 18 | 16 | 2 | 3 | 0 | 7 |
| DDR insgesamt | 293 | 50 | 31 | 7 | 9 | 0,3 | 36 |

Tab. 2: Pflanzkartoffelanbau insgesamt und auf mit *G. rostochiensis* (Ro1) verseuchten Flächen (ehemalige DDR, 1988)
a = anfällige Kartoffelsorten
r = resistente Kartoffelsorten

| Land | Pflanzkartoffel- fläche (in Tausend ha) | davon verseucht (in Tausend ha) Verseuchungsstufen | | | | | |
|------------------------|---|--|----|----|---|-----|---|
| | | I | | II | | III | |
| | | a | r | a | r | a | r |
| Brandenburg | 33 | 3 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Mecklenburg-Vorpommern | 34 | 10 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| DDR insgesamt | 120 | 18 | 22 | 0 | 2 | 0 | 0 |

Tab. 4: Auf Kartoffelnematoden untersuchte und als verseucht erkannte Ackerfläche (in Tausend ha, ehemalige DDR)

| Jahr | untersuchte Fläche | verseuchte Fläche | davon Verseuchungsstufen | | |
|------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|----|-----|
| | | | I | II | III |
| 1980 | 296 | 169 | 80 | 34 | 55 |
| 1986 | 361 | 190 | 116 | 22 | 52 |
| 1988 | 352 | 183 | 123 | 16 | 44 |

kartoffeln zum Großteil für die südlichen Teile der ehemaligen DDR bestimmt waren, war das Problem der Weiterverbreitung der Nematoden von besonderer Brisanz. 1988 wurden in Mecklenburg-Vorpommern von den insgesamt 34 000 ha Pflanzkartoffeln 21 000 ha und in Brandenburg von

33 000 ha 11 000 ha auf verseuchten Flächen angebaut (Tab. 2). Noch ungünstiger waren die Verhältnisse bei Speise- und Industriekartoffeln, die zum beträchtlichen Teil auf stark verseuchten Flächen angebaut werden mußten (Tab. 3). Der Anteil resistenter Kartoffelsorten stieg von 1964 bis

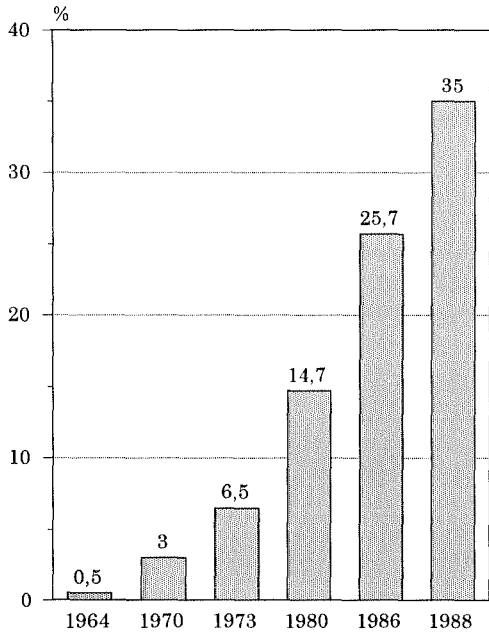


Abb. 3: Anteil resistenter Kartoffelsorten an der Kartoffelanbaufläche von 1964 – 1988 (ehemalige DDR)

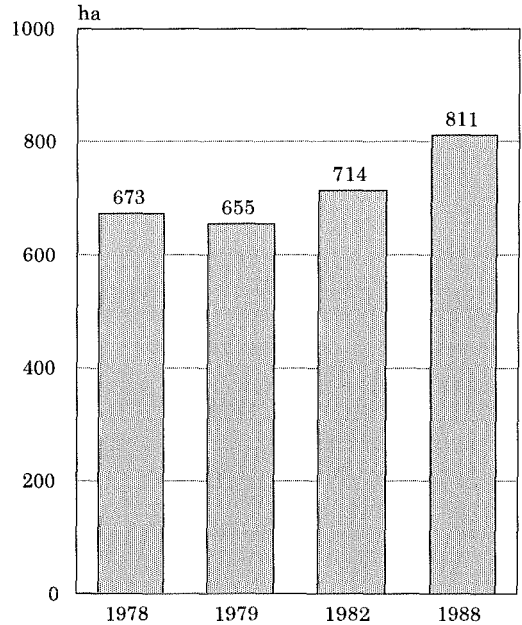


Abb. 4: Ackerfläche (ha) mit von Ro1 (*G. rostochiensis*) abweichenden Pathotypen und mit *G. pallida* (ehemalige DDR)

1980 von 0,5 auf 14,7 % der Kartoffelanbaufläche nur langsam an, da es anfangs nur wenige resistente Sorten gab, und deren Qualität häufig nicht befriedigte (Abb. 2 und 3). So gab es noch 1973 praktisch keine resistente Speisekartoffelsorte in der ehemaligen DDR (ANONYM, 1973). Nach 1980 gab es ein breiteres Sortenspektrum mit besseren Sorteneigenschaften, und der Anteil resistenter Kartoffelsorten nahm stärker zu. 1988 wurden 35 % der Kartoffelfläche mit resistenten Sorten bestellt (Abb. 3). Dieser Zuwachs dürfte die Ursache dafür gewesen sein, daß der Anteil der verseuchten Fläche nach 1980 nicht weiter zunahm und insbesondere die Verseuchungsstärke offensichtlich leicht rückläufig war (Abb. 1, Tab. 4). SEIDEL *et al.* (1990) kommen zu der glei-

chen Schlußfolgerung. Somit mußten 1988 in der gesamten ehemaligen DDR „nur noch“ ca. 2000 ha Pflanzkartoffeln auf Flächen mit der ausgewiesenen Verseuchungsstufe II angebaut werden. Um dies richtig zu bewerten, muß man sich vor Augen halten, daß 1976 z. B. im Bezirk Neubrandenburg die bis zur Verseuchungsstufe II vorhandenen Flächen selbst zum Pflanzkartoffelanbau nicht mehr ausreichten (ANONYM, 1976).

Die Resistenz von Kartoffelsorten der ehemaligen DDR war ausschließlich gegen den Pathotyp Ro1 von *G. rostochiensis* gerichtet. Sorten mit Resistenz gegen andere Pathotypen wurden nicht gebraucht, da solche Populationen nur selten festgestellt wurden. Bemerkenswert ist auch, daß von 1978 – 1988 keine nennenswerte

Ausbreitung dieser Pathotypen zu beobachten war (Abb. 4). Auf den wenigen Befallsflächen war die Verseuchungsdichte zumeist sehr gering und bei Nachbeprobungen gelang eine Nachweisbestätigung häufig nicht mehr (RICHTER, pers. Mitteilung; SCHÖNFELD, pers. Mitteilung).

Eine wesentliche Ursache für die äußerst seltene Verseuchung der Ackerfläche in der ehemaligen DDR mit anderen Pathotypen als Ro1 (*G. rostochiensis*) und *G. pallida* dürfte der geringe Importumfang von Pflanzkartoffeln aus Westeuropa gewesen sein. Zudem wurden, im Gegensatz zu Westdeutschland, bei nachgewiesener Verseuchung von mit Ro1 (*G. rostochiensis*) abweichenden Pathotypen und mit *G. pallida* die betreffenden Ackerflächen bis auf Widerruf für den Anbau von Kartoffeln und Tomaten gesperrt (ANONYM, 1985). Eine andere Möglichkeit hatte man ohnehin nicht, da gegen diese Populationen keine resistenten Kartoffelsorten zur Verfügung standen. In Westdeutschland konnte demgegenüber die zuständige Behörde den Anbau von Kartoffelsorten zulassen, die gegen die auf diesen Flächen vorhandenen Pathotypen resistent waren (ANONYM, 1972). Da mit dem Anbau resistenter Kartoffelsorten keine vollständige Entseuchung des Bodens zu erreichen ist, waren im Westen günstigere Bedingungen zur Verbreitung derartiger Populationen gegeben als bei der generellen Anbauperre für Kartoffeln und Tomaten im Osten.

Wegen der kritischen Verseuchungssituation durften ab 1985 bei hoher Verseuchung (Verseuchungsstufe III) nur noch resistente Kartoffelsorten angebaut werden. Der wech-

selnde Anbau von resistenten und anfälligen Kartoffelsorten führte trotz dreijähriger Anbaupause in vielen Fällen zur Zunahme der Verseuchung durch *G. rostochiensis* (Ro1). Demnach wären noch längere Anbaupausen für Kartoffeln auf verseuchten Flächen erforderlich gewesen. Ausgangsverseuchungen von über 1000 Eiern und Larven pro 100 cm³ Boden erfordern den Anbau resistenter Kartoffelsorten in zwei aufeinanderfolgenden Rotationen, wenn die Besatzdichte unter die Schadensschwelle gesenkt werden soll (KUHN, 1988).

Trotz umfangreicher Maßnahmen zur Überwachung (Bodenuntersuchung) und zur Bekämpfung (insbesondere Sanierungsprogramme) von *G. rostochiensis* (Ro1) konnte dessen weitere Verbreitung auch in der ehemaligen DDR nicht verhindert werden. Zur Sicherung der Kartoffelproduktion wurde deshalb 1985 geregelt, bis zu welcher Verseuchungsdichte anfällige und resistente Pflanz- bzw. Konsumkartoffeln angebaut werden können. Es war also nicht gelungen, die ständige Ausbreitung von *G. rostochiensis* (Ro1) auf Kartoffelanbauflächen zu verhindern, was eine neue Strategie unumgänglich machte.

Von der in absehbarer Zeit zu erwartenden EG-Richtlinie zur Bekämpfung der Kartoffelnematoden wäre zu wünschen, daß die darin enthaltenen Vorschriften der heute gegebenen Verseuchungssituation Rechnung tragen. Nach meiner Auffassung sollten beim Vorliegen einer Verseuchung mit dem dominierenden und in fast allen deutschen Kartoffelanbaugebieten präsenten Pathotyp Ro1 (*G. rostochiensis*) weniger restriktive Maßnahmen als bei den anderen noch

wenig verbreiteten Pathotypen bzw. als bei der ebenfalls noch wenig verbreiteten Art *G. pallida* gefordert werden. Bei Anbau unterschiedlich hoch resistenter Kartoffelsorten und diesem Resistenzgrad angepaßten Anbaupausen für Kartoffeln kann die Nematodenpopulation auf einem vertretbaren Niveau gehalten werden.

Zusammenfassung

Die Ausbreitung von *Globodera rostochiensis* (Pathotyp Ro1) konnte auch in der ehemaligen DDR nicht verhindert werden. 1965 waren ca. 4 % und 1985 bereits ca. 19 % der Ackerfläche mit dem Nematoden verseucht. Als Verseuchungsschwerpunkte erwiesen sich die Gebiete der heutigen Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Insbesondere in den siebziger Jahren mußten selbst Pflanzkartoffeln in diesen Gebieten bei zum Teil hoher Verseuchungsdichte angebaut werden, da andere Flächen nicht mehr zur Verfügung standen.

In den achtziger Jahren nahm bei einem Flächenanteil von bis zu 35 % resistenter Kartoffeln der Anteil an stark verseuchten Flächen deutlich ab. *G. pallida* und von Ro1 (*G. rostochiensis*) abweichende Pathotypen konnten zwischen 1978 und 1988 lediglich auf maximal 800 ha in zumeist geringer Verseuchungsstärke nachgewiesen werden. Ursache für das seltene Vorkommen könnten die geringen Pflanzgutimporte aus dem westlichen Europa sein.

Literatur

- ANONYM (1953): Gesetz zum Schutze der Kultur- und Nutzpflanzen. Gesetzblatt (GBL) der DDR, Nr. 125 vom 25.11.1953, 1179.
- ANONYM (1960): 11. Durchführungsbestimmung (DB) zum Gesetz zum Schutze der Kultur- und Nutzpflanzen. GBL I Nr. 48 vom 01.08.1960, 481.
- ANONYM (1963): 16. DB zum Gesetz zum Schutze der Kultur- und Nutzpflanzen. GBL II Nr. 62 vom 29.06.1963, 429.
- ANONYM (1965-1988): Jahresberichte des Zentralen Staatlichen Amtes für Pflanzenschutz und Pflanzenquarantäne (ZSPA) beim Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR zur Verbreitung des Kartoffelnematoden in der ehemaligen DDR (unveröffentlicht).
- ANONYM (1968a): Verfügung über die Entnahme und Untersuchung von Proben zur Ermittlung des Besatzes mit Zysten des Kartoffelnematoden. Verfügungen und Mitteilungen des Rates für landwirtschaftliche Produktion und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR Nr. 5/94 vom 31.10.1968, 94.
- ANONYM (1968b): 23. DB zum Gesetz zum Schutze der Kultur- und Nutzpflanzen. GBL II Nr. 119 vom 31.10.1968, 935.
- ANONYM (1972): Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelnematoden. Bundesgesetzblatt I Nr. 35 vom 25.04.1972, 627.
- ANONYM (1973): Bericht des ZSPA zur Verbreitung des Kartoffelnematoden im Jahre 1973 in der ehemaligen DDR (unveröffentlicht).
- ANONYM (1976): Schreiben des ZSPA an das Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR vom 20.04.1976.
- ANONYM (1983): Bestandesüberwachung - Nematoden, Biotest für Kartoffelnematoden. TGL der DDR Nr. 37574/02 vom Juni 1983, 4.
- ANONYM (1985): Weisung Nr. 4 zur Überwachung und Bekämpfung der Kartoffelnematoden. Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR Nr.

- 4/85 vom 27.11.1985, 38-39.
- ANONYM (1987): Bestandesüberwachung - Nematoden, Entnahme von Bodenproben für den Biotest. TGL der DDR Nr. 37574/01 vom Juni 1983, 5.
- ANONYM (1995): Kartoffelanbau stark ausgeweitet. Märkische Allgemeine vom 27.07.1995, 6.
- KÖHLER, G. (1972): Schreiben der Vereinigung volkseigener Betriebe für Saat- und Pflanzgut an das ZSPA vom 04.10.1972.
- KÖHLER, G. (1974): Schreiben der Vereinigung volkseigener Betriebe für Saat- und Pflanzgut an das ZSPA vom 02.12.1974.
- KUHN, R. (1988): Schwerpunkte bei der Bekämpfung von Kartoffelnematoden in der DDR. Nachrichtenbl. Pflanzensch. DDR 4, 78-79.
- SEIDEL, M., RICHTER, M. & PLORIN, R. (1990): Schwerpunkte und Tätigkeit der Pflanzenschutzämter auf dem Gebiet der Binnenquarantäne und des Vorratsschutzes. Nachrichtenbl. Pflanzensch. DDR 6, 128-131.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Eberhard Große,
 Biologische Bundesanstalt,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 - Außenstelle Kleinmachnow -
 Stahnsdorfer Damm 81,
 14532 Kleinmachnow

Zur Geschichte der Bisambekämpfung in Deutschland

On the history of muskrat control in Germany

HANS-JOACHIM PELZ

Abstract

During 80 years of settlement in Germany the muskrat has proved to be a very successful colonist. In spite of an immediate control campaign the species could not be prevented from spreading all over Germany. Two world wars and economical crisis impeded achievement of eradication or driving back of the muskrat to the frontier. The present situation of muskrat control is characterized by a gradual retreat of governmental institutions from active control measures and by a transfer of responsibility to water authorities. However, a scientific verification of the efficiency of preventive muskrat control with a catch size of presently around 350 000 individuals per year is still missing. It is suggested that plant protection and nature conservancy services should take the opportunity to work out a forward-looking solution for the future status of the muskrat in Germany.

Keywords: *Ondatra zibethicus*, muskrat, control, Germany

Im Laufe seiner mehr als 90jährigen Einbürgerungs- und Siedlungsgeschichte in Europa ist viel über den Bisam geschrieben worden. Wohl kaum eine andere Säugetierart in Europa ist in ihrer Ausbreitung so detailliert dokumentiert worden, wie das beim Bisam der Fall war. Der Grund dafür liegt in der bereits frühen Einstufung der Art als Schädling für den Bereich der Land- und Wasserwirtschaft. Durch entsprechende Erfahrungen in Böhmen gewarnt, war man bereits beim Auftauchen der ersten Tiere in Bayern im Jahre 1914 darauf eingestellt, daß die Art als Schädling zu bekämpfen sei.

Aus den Aufzeichnungen des Melde- und Warndienstes der Pflanzenschutzdienststellen bzw. des Bekämpfungsdienstes und anderer beteiligter Ämter, die zum Teil auch heute noch geführt werden, verfügen wir über ei-

ne fast lückenlose Dokumentation der überaus erfolgreichen Siedlungsgeschichte dieser semiaquatischen Säugetierart. Zusammenfassende Auswertungen dieses Materials finden sich bei HOFFMANN (1958), FRANK & HÄRLE (1964, 1967), SCHRÖPFER & ENGSTFELD (1983) und PELZ (1985).

Die Einstellung zum Bisam war von jeher von der Sorge vor seinen schädlichen Einflüssen auf landeskulturelle Einrichtungen geprägt. Die bereits in den ersten Jahren der Einwanderung in Bayern, später in Sachsen und Thüringen einsetzende Bekämpfung ging zunächst von der Vorstellung aus, daß das Tier zurückgedrängt und nach Möglichkeit wieder ausgerottet werden sollte. Daß diese Zielvorstellung nicht völlig unbegründet war, zeigte später der Erfolg der unter maßgeblicher Beteiligung des damaligen Reichsbeauftragten für die

Die Bisamratte.

Von Regierungsrat Dr. Martin Schwarz, Mitglied der Biologischen Reichsanstalt.

Die ursprüngliche Heimat der Bisamratte (*Fiber zibethicus* L.) ist Nordamerika. Von dort wurde sie im Jahre 1906 nach Böhmen eingeführt, wo sie sich eingebürgert und in kurzer Zeit über das ganze Land ausgebreitet hat. 1914 begann sie von der Tschechoslowakei her nach Deutschland einzuwandern. Zunächst ist sie in Bayern, dann auch in Sachsen und Thüringen eingedrungen und in diesen Ländern jetzt bereits an vielen Orten festgestellt und erlegt worden. Der Gefahr, daß das sehr schädliche Tier sich in Deutschland weiter ausbreitet und festsetzt, muß mit allen Mitteln entgegengetreten werden.

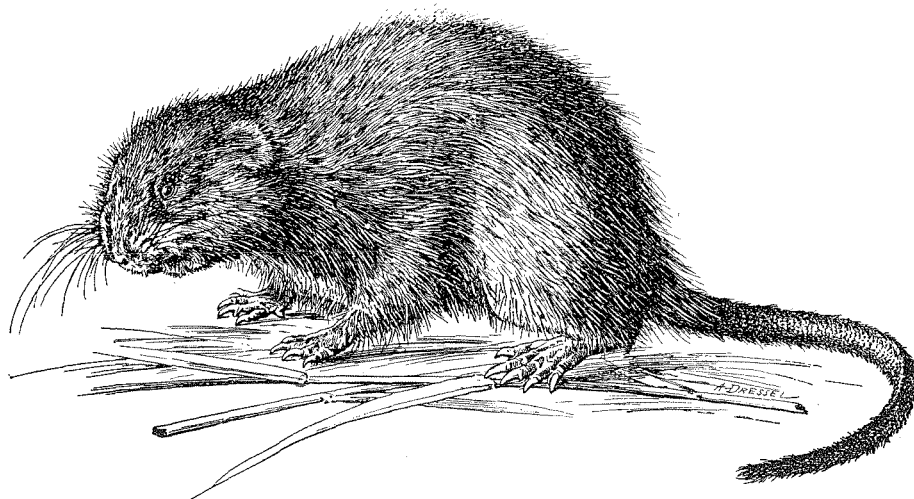


Abb. 1. Bisamratte, gezeichnet von A. Dressel (1/3 nat. Größe).

Abb. 1: Bisam-Flugblatt 1920

Bisambekämpfung, A. Pustet, in Großbritannien durchgeführte Bisam – Ausrottungskampagne. Allerdings wurden die entsprechenden Bekämpfungsmaßnahmen in Deutschland sowohl durch mangelnde Kooperationsbereitschaft der Nachbarländer als auch durch die Kriegswirren 1914 bis 1918 und auch ab 1939 erheblich behindert. Die Fangzahlen (Abb. 2) lassen gerade zu diesen Zeiten einen deutlichen Populationssprung erkennen, der jeweils mit einem erheblichen Geländegewinn verbunden war.

Gegen Ende der 50er Jahre waren Bayern und Ostdeutschland praktisch

flächendeckend besiedelt, während die Einwanderung in die wasserreichen Gebiete Norddeutschlands und der Niederlande gerade erst begann. Hier fürchtete man besonders gravierende Konsequenzen für die Sicherheit der Küstenschutzanlagen.

Mitte der 80er Jahre kam die Besiedlung Deutschlands (mit Ausnahme von Nordschleswig) zum Abschluß. Nirgendwo war es gelungen, den Bisam auf Dauer aufzuhalten. Seither konzentriert sich die Bekämpfung darauf, die Bestandsdichte niedrig zu halten, um größeren Schäden vorzubeugen. Auf Grund der veränderten

Situation und angesichts leerer öffentlicher Kassen wurde jedoch in verschiedenen Bundesländern über die Organisation der Bisambekämpfung neu nachgedacht, insbesondere in Verbindung mit der Novelle der Bisamverordnung vom 20. Mai 1988. Nach der Vereinigung Deutschlands ergab sich aus der Diskussion mit den neuen Bundesländern, wo die Bisambekämpfung bereits seit langem organisatorisch mit der Wasserwirtschaft verbunden war, eine Tendenz zur Herausnahme der Bisambekämpfung aus dem Pflanzenschutzgesetz. Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, die Veränderungen in Begründung und Zielsetzung der Bisambekämpfung im historischen Rückblick auf der Grundlage vorliegender Dokumente nachzuvollziehen und zu bewerten.

Verlauf der Besiedlung Deutschlands durch den Bisam

Der Ursprung für die Ausbreitung des Bisams in Mitteleuropa lag in Böhmen. Im Jahre 1905 wurden dort mehrere Paare ausgesetzt. In Deutschland wurde der Bisam erstmals 1914 in Bayern gefangen (MALLACH, 1968). Trotz der eingeleiteten Bekämpfungsmaßnahmen gelang es ihm, sich weiter nach Westen und Norden auszubreiten. Im Jahre 1931 erreichte er Baden-Württemberg. Die Ausbreitung nach Norden erfolgte vor allem über das Flußsystem der Elbe. So wurde der Bisam in Schleswig-Holstein bereits 1933 bei Geesthacht an der Elbe zum ersten Mal gefangen (BÜRING, 1986). Ein weiteres Ausbreitungszentrum bildete sich 1928 aus 500 aus einer Pelztierfarm im Elsaß

freigesetzten Individuen, die schon bald die Schweiz erreichten und von dort aus nordwärts an den Rhein gelangten (HOFFMANN, 1958). In Ostdeutschland war der Bisam 1945 im Gewässersystem der Oder verbreitet und erreichte 1951 Berlin. Dort besiedelte er die Spree und stieß weiter zur Ucker und Peene vor (1952), ab 1958 wurde er auch in der Mecklenburgischen Seenplatte heimisch. Für die Erstbesiedlung von Hessen nennt HOFFMANN (1958) das Jahr 1947; er vermutet, daß die Einwanderung über die Flüsse Fulda und Werra aus Bayern oder durch den Main vonstatten ging. Im Jahre 1954 wurde das Saarland von Frankreich aus besiedelt. Über Rheinland-Pfalz gelangte der Bisam 1958 nach Nordrhein-Westfalen. Ab 1960 wurde die norddeutsche Tiefebene besiedelt, wobei die Weser und auch der Mittellandkanal als Ausbreitungsgewässer fungierten. (SCHRÖPFER & ENGSTFELD, 1983).

Bei der Interpretation von Bisamfangzahlen ist Vorsicht angebracht, sie sollen hier als ein grober Indexwert für die Entwicklung der Bestandsdichte herangezogen werden. Ihre Höhe ist abhängig von der Intensität der Bekämpfung, die ihrerseits von Prämienzahlung, Prämienhöhe, Fellwert, Witterung usw. beeinflusst wird. So ist in besonders niederschlagsarmen Jahren mit trockenen Sommern im allgemeinen ein Rückgang der Fangzahlen zu beobachten. Ungewöhnliche Extremwerte lassen sich zum Teil aber auch durch Unregelmäßigkeiten bei der Ablieferung der Belege (Bisamschwänze) durch die Privatfänger erklären. Als Beispiel sei hier auf die Fangzahlen aus dem Be-

reich der Landwirtschaftskammer Weser-Ems hingewiesen, wo für das Jahr 1989 198 734 Bisame abgerechnet wurden (1988: 101 079). Dies entspricht einer unrealistischen Steigerung von 96,5 %, die sich aus der Abrechnung von Belegen aus früheren Jahren nach Wiederaufnahme der

Prämienzahlungen in zwei Landkreisen erklärt. Auch soll es zeitweise zur Abrechnung von Belegen aus anderen Gebieten auf Grund von Unterschieden in der Prämienhöhe gekommen sein, die sich jedoch bei der zusammenfassenden Betrachtung großer Gebiete (Abb. 2) kaum auswirken dürften.

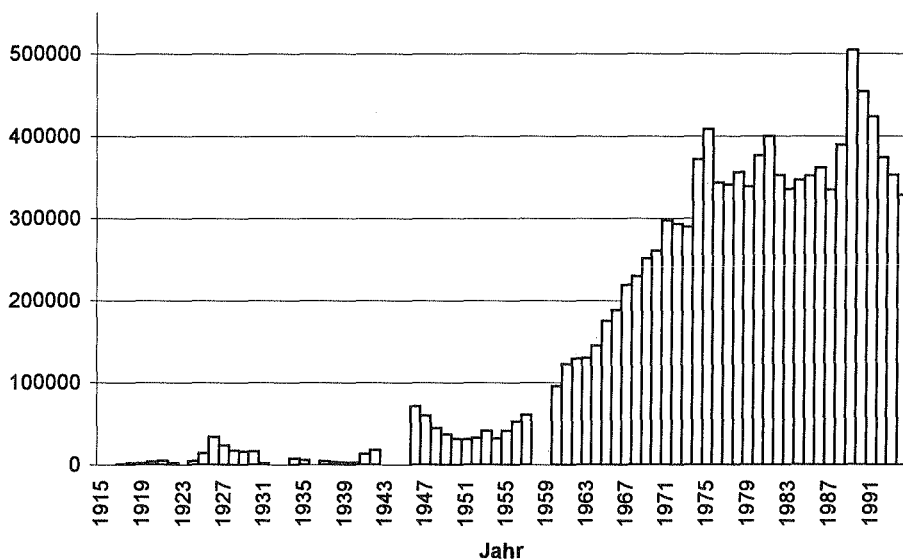


Abb. 2: Bisamfangzahlen 1915 – 1994, westliche Bundesländer. Für die Jahre 1923, 1933, 1936, 1958 und 1959 lagen keine Zahlen vor, 1932 war der bayerische Bekämpfungsdienst aufgelöst. Fehlende regionale Werte in einzelnen Jahren wurden interpoliert.

In Bayern wurden 1915 erstmals 11 Individuen gefangen, die Fangzahlen stiegen dann in mehreren Sprüngen über 107 (1916), 797 (1917) bis zu einem ersten Höhepunkt (1926 : 33 838) weiter an. Die in Abbildung 2 ersichtlichen Rückgänge der Fangergebnisse sind in vielen Fällen durch eine geringere Bekämpfungsintensität bedingt, so zum Beispiel von 1922 bis 1924, als die amtliche Bekämpfung vorübergehend ausgesetzt war. Die danach erkennbare starke Zunahme der Fang-

zahlen ist auf die dann mit hoher Intensität wieder aufgenommene Fangtätigkeit zurückzuführen. Ähnliches gilt für die Zeit von 1928 bis 1935 (Personalabbau) bzw. 1935 bis 1947 (Intensivierung der Bekämpfung nach der Neuorganisation) (MALLACH, 1966). Die Zeiten geringer Bekämpfungsintensität erlaubten dem Bisam eine erhebliche Ausdehnung seines Areals, was in dem jeweils bleibend höheren Niveau der späteren Fangzahlen zum Ausdruck kommt.

Der rasante Anstieg der Fangzahlen in den 60er Jahren erfolgte parallel zur Besiedlung des norddeutschen Tieflandes. Im Jahre 1977 waren in der Bundesrepublik 64 hauptamtliche Bisamjäger und 3025 Privatfänger tätig, diese Zahlen blieben bis 1987 etwa gleich. Seit dem Extremwert von 1989 (Fangzahl = 506 096) gingen die Bisamfänge in Westdeutschland wieder zurück. Im Jahre 1994 wurden für Gesamtdeutschland 365 000 gefangene Individuen gezählt, wobei die Fangzahlen der neuen Bundesländer 1993 und 1994 mit rund 17 000 Indi-

viduen auf dem Niveau der frühen fünfziger Jahre lagen.

Die Organisation der Bisambekämpfung

Erste gesetzliche Regelungen in den betroffenen Landesteilen

Obwohl sich der Bisam in den Jahren von 1910 bis 1920 immer weiter von Böhmen her ausbreitete, kam eine Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Österreich nicht zustande.

Flugblätter

zur Förderung des Pflanzenbaues und Pflanzenschutzes.

Herausgegeben von Ministerialrat Georg Christmann,
Direktor der Bayer. Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München.

Flugblatt Nr. 10 (7. neubearbeitete Auflage).

München, März 1928.

Die Bisamratte.

Von Prof. Dr. Korff und Regierungsrat Dr. Pustet.

Mit 3 Abbildungen und 1 farbigen Tafel.

Beschreibung und Lebensweise.

Die Bisamratte (*Fiber zibethicus* L.) gehört nicht zur einheimischen Tierwelt Europas, sondern hat ihre Heimat in Nord-

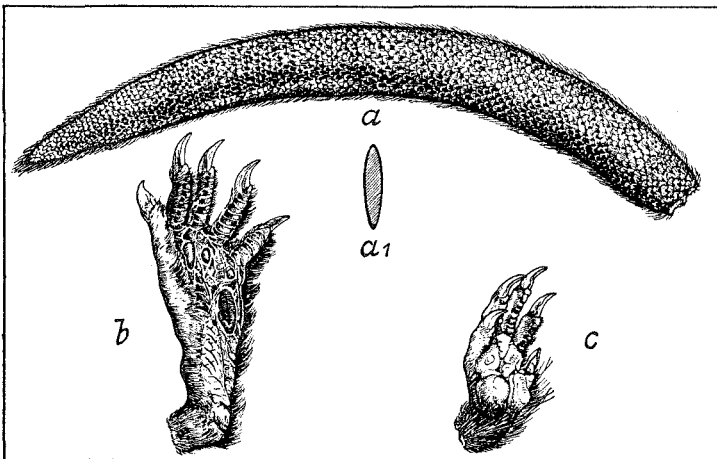


Abb. 1. a Schwanz der Bisamratte von der Seite; a₁ Querschnitt des Schwanzes; b Hinterfuß; c Vorderfuß in gleichem Größenverhältnis. Man beachte den auffälligen Größenunterschied.

Abb. 3: Bisam-Flugblatt 1928

Erste gesetzliche Grundlagen für die Bisambekämpfung wurden am 24. Juli 1917 in Bayern geschaffen. Damit war vor allem das Hegen, Halten und Versenden des Bisams, außer zu wissenschaftlichen Zwecken, verboten. Gesichtete und erbeutete Tiere mußten gemeldet werden, das Jagdgesetz fand auf den Bisam keine Anwendung mehr, seine Vertilgung wurde allen Grundstücksbesitzern sowie Jagd- und Fischereiberechtigten zur Pflicht gemacht. Die Leitung des Abwehrendienstes lag in der Hand der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München. Durch Anweisung des Reichskanzlers vom 16. April 1918 wurde die Verantwortung für die Bisambekämpfung auch formell auf die Länder übertragen, die Koordination zwischen den Ländern erfolgte durch die Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft. In allen von der Bisameinwanderung betroffenen Ländern wurden zwischen 1917 und 1927 an den bayerischen Vorschriften orientierte Verordnungen erlassen (HOFFMANN, 1958). In Bayern und Thüringen gelang es, den Bisam in bestimmten Gebieten zeitweise „abzuriegeln“, wegen knapper Geldmittel ließ sich dies jedoch auf Dauer nicht aufrechterhalten (KLEMM, 1949).

Zentralisierung der Bisambekämpfung

Wegen der meist zu geringen Finanzausstattung der Bekämpfungsdienste und infolge von Koordinationsproblemen zwischen den Ländern vermochte die Bekämpfung die Ausbreitung des Bisams nicht wirksam

einzu­schränken. Deshalb wurde zum 1. März 1935 der bei der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München bereits mit der Bisambekämpfung beschäftigte Regierungsrat Dr. Pustet zum „Reichsbeauftragten für die Bisamrat­tenbekämpfung“ ernannt und mit der fachlichen Oberleitung des Abwehrendienstes im gesamten Reichsgebiet betraut. Als „Reichsinspektor“ war ihm Adam Roith, ebenfalls aus Bayern, unterstellt. Das Reichsministerium für Ernährung und Landwirtschaft brachte über einen Fonds aus Landwirtschaftsverwaltung, Reichswasserstraßenverwaltung und Reichsbahn rund 4/5 der Kosten auf, den Rest steuerten die betroffenen Länder bei. Im Zeitraum von 1935 bis 1945 wurden mehr als 2,5 Millionen Reichsmark für die Bisambekämpfung ausgegeben (KLEMM, 1949).

Ab dem 15. Juli 1938 ersetzte eine neue, auf das Gesetz zum Schutze der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (RGBI I S. 271) vom 5. März 1937 gestützte Reichsverordnung (RGBI I S. 847) die Ländervorschriften zur Bekämpfung des Bisams. Damit wurden die rechtlichen Voraussetzungen für die Tätigkeit des Reichsbeauftragten geschaffen. Bei Beginn des Zweiten Weltkrieges gehörten dem amtlichen deutschen Bekämpfungsdienst ein Reichsbeauftragter, ein Inspektor, zwei Außendienstleiter, fünf Bisamoberjäger und 28 Bisamjäger an.

Der Reichsbeauftragte legte jährlich einen Bericht über den Verlauf der Bisambekämpfung vor. Bis zum Berichtsjahr 1939/40 fällt die militärisch geprägte Wortwahl auf, die sehr an die Kriegsberichterstattung erinnert. Durchgängig benutzt Pustet Ausdrük-

ke wie „Kampflinie“, „Kampfgebiet“ und „Kampfabschnitt“, um die Areale der Bisamverfolgung zu charakterisieren (PUSTET, 1936, 1938, 1939a, 1939b, 1941, 1942).

Nach dem Engagement, das Pustet in seinen Berichten erkennen läßt, war er zutiefst von der Dringlichkeit seiner Aufgabe überzeugt und in der Lage, maßgebliche Stellen auch in Kriegszeiten von der lebenswichtigen Bedeutung seiner Arbeit für „die Verkehrssicherheit, den Wasserschutz und die Bodenkultur“ zu überzeugen. Auch im Berichtsjahr 1939-40 fand Pustet „Verständnis und Entgegenkommen“ für seinen Plan, die „für die Zeit des Stellungskrieges eingesetzten Truppenteile zur Mitarbeit zu gewinnen“. Seinem übergeordneten Ziel treu bleibend, den Bisam in Deutschland auszurotten, begründete er die Regel, daß „ein Gebiet von durchschnittlicher Schwierigkeit und von einer durchschnittlichen Größe, wie sie dem einzelnen Bisamjäger zugewiesen ist, in einem Zeitraum von etwa 3 Jahren völlig geräumt werden kann“ (PUSTET, 1939b). An Schäden, die vom Bisam verursacht wurden, erwähnt Pustet in seinen Berichten zwischen 1935 und 1940 lediglich eine Bahndammbeschädigung und einen Dambruch.

In den letzten beiden Kriegsjahren kam die Bekämpfung praktisch zum Erliegen, so daß sich der Bisam ungestört vermehren und sein Areal erheblich ausweiten konnte.

Nach Kriegsende konnte die zentrale Leitung der Bisambekämpfung zunächst nicht aufrechterhalten werden. In den westlichen Besatzungszonen blieb diese Aufgabe unverändert dem Pflanzenschutzdienst zugeordnet. In der britischen Zone wurde ein Be-

kämpfungsdienst für die untere Elbe eingerichtet. Von 1947 bis 1952 bestand beim Pflanzenschutzamt Hannover eine „Zentralstelle für Bisamrattenbekämpfung in der britischen Zone“, die jedoch personell und materiell unzureichend ausgestattet war (BÜRING, 1986). In der amerikanischen Besatzungszone fiel die Aufgabe, einen funktionierenden Bisambekämpfungsdienst wiederherzustellen, im Sommer 1945 dem Land Bayern zu, welches sich auch bereit zeigte, den größten Teil der Kosten zu übernehmen. Die Dienststelle des Reichsbeauftragten wurde in „Dienststelle des Beauftragten für die Bisamrattenbekämpfung“ umbenannt. Diese führte dann nicht nur die alten Aufgaben fort, sondern übernahm auch noch die Leitung der Landesstelle Bayern, deren Leiter nach Kriegsende ausgeschieden war. Dieser neuen Dienststelle stand der alte Reichsbeauftragte in Personalunion vor. Die Schwierigkeiten der ersten Nachkriegsjahre ließen jedoch ein planmäßiges Arbeiten erst ab Herbst 1948 zu (PUSTET, 1956).

Der spätere „Bundesbeauftragte für die Bisamrattenbekämpfung“, dessen Tätigkeitsfeld weiterhin in Süd- und Südwestdeutschland lag, war nach wie vor davon überzeugt, den Bisam aus dem Land drängen zu können. In seiner Denkschrift aus dem Jahre 1952 schreibt er rückblickend: „Einmal war es trotz überwiegender Ungunst der Zeitverhältnisse gelungen, den weitaus größeren Teil Deutschlands noch frei von Befall zu halten und das Tempo des Vordringens der Bisamratte so stark zu drosseln, daß diese etwa viermal so lange brauchte, den bis 1948 besiedelten Raum zu gewinnen, als sie ohne Ab-

Biologische Zentralanstalt Braunschweig

Flugblatt C 3

1. Auflage

März 1950

12 Seiten

Die Bisamratte

Von Dr. A. Pustet, München.

Beauftragter für die Bekämpfung der Bisamratte.

Mit 8 Bildern

Die Bisamratte (*Fiber zibethicus* L.) gehört nicht zur einheimischen Tierwelt Europas, sondern hat ihre Heimat in Nordamerika, wo sie von Kanada bis Florida in mehreren Arten sehr verbreitet ist. Von dort wurde sie im Jahre 1905 nach Böhmen in einigen wenigen Stücken eingeführt. Diese vermehrten sich ungemein rasch, besiedelten in kaum 10 Jahren das ganze Land, drangen seit 1914 in die angrenzenden deutschen Länder Bayern, Sachsen und Schlesien

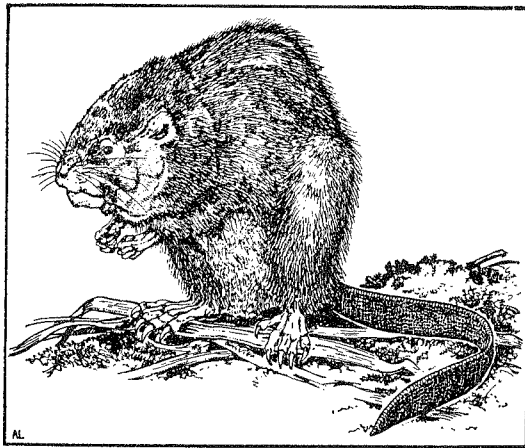


Bild 1. Bisamratte, aufgerichtet sitzend.

Abb. 4: Bisam-Flugblatt 1950

wehr benötigt hätte. Ganz Deutschland wäre ohne Abwehr längst besiedelt. Zum zweiten war unzweifelhaft und unwiderleglich die Möglichkeit erwiesen, durch entsprechendes Vorgehen den Schädling nicht nur aufzuhalten, sondern ihn sogar schrittweise zurückzudrängen bis an die Landesgrenzen“ (PUSTET, 1952). Diese Überzeugung belegt er mit dem Hinweis auf Sachsen, Schlesien und Südbaden, wo dieses Ziel nach 1935 schon erreicht worden war, sowie England, wo der Bisambestand innerhalb von drei Jahren (1933-1936) vollständig ausge-

rottet werden konnte, was nicht zuletzt auf die genaue Umsetzung der Empfehlungen von Pustet zurückzuführen war. Tatsächlich konnte dann auch im Zeitraum von Herbst 1948 bis Sommer 1953, also innerhalb von fünf Jahren, ein Befallsgebiet in Süddeutschland von rund 14 000 km² bisamfrei gemacht werden. Dabei wurden innerhalb des Gebietes 6352 Individuen erlegt (PUSTET, 1956).

Die Fangzahlen für ganz Bayern lagen 1936/37 bei 5613 Individuen (PUSTET, 1938), nachdem sie aber bereits 1926 ein Maximum von 33 838

Individuen erreicht hatten. Von Kriegsende bis 1946 wurden allein im Donau-Isar-Vils-Gebiet 5000 Bisame gefangen - für Pustet damals ein Anlaß zu ernsthafter Besorgnis. Allerdings waren diese Zahlen noch weit entfernt von der späteren Entwicklung, als die jährlichen Fangzahlen in Bayern in den sechziger Jahren auf über 90 000 und später bis auf 138 596 (1975) anstiegen. Die als Folge eines zunehmenden Bisambesatzes oft beschworenen Katastrophen blieben dennoch aus.

In seiner Denkschrift (PUSTET, 1952) fordert der Bisambeauftragte erstmals, „planmäßige Forschungsarbeiten einzuleiten, um die Biologie, die Lebensäußerungen und die Beziehungen des Schädlings zur Umwelt zu ergründen“.

In der Nachkriegszeit gewinnen der Austausch und die Zusammenarbeit bei der Bisambekämpfung mit den betroffenen westlichen Nachbarländern unter dem Dach der neugegründeten Europäischen Pflanzenschutzorganisation (EPPO) zunehmend an Bedeutung. Von 1951 bis 1956 fanden insgesamt 11 internationale Bisamkonferenzen unter Leitung der EPPO statt, wobei internationale Bekämpfungspläne aufgestellt und ein Fonds zur Unterstützung von Schwerpunktgebieten eingerichtet wurden. Die Bisamjäger der Nachbarländer wurden zunächst in Deutschland ausgebildet.

Während dieser Zeit begann in der DDR bereits die Verlagerung der Bisambekämpfung auf die Wasserwirtschaftsämter. Im Jahre 1952 wurde das Amt für Wasserwirtschaft in Berlin mit der Wahrnehmung der Bisambekämpfung beauftragt, dort

wurde ein „Beauftragter für die Bekämpfung der Bisamratte“ eingesetzt. Den Wasserwirtschaftsdirektionen waren Bisamjäger zugeteilt, die durch ehrenamtliche Fänger unterstützt wurden (HOFFMANN, 1973).

Pustet blieb seinem selbstgesteckten hohen Ziel bis zuletzt treu. Obwohl zu diesem Zeitpunkt schon erkennbar gewesen sein muß, daß die Zurückdrängung des Bisams bis an die Landesgrenzen und die spätere Aufrechterhaltung dieses Zustandes mit vertretbarem Aufwand nicht zu erreichen sein würde, schreibt er noch kurz vor seinem Tode: „Es kann keinem Zweifel mehr unterliegen, daß das Endziel der Bekämpfung zu erreichen sein wird“ und „Der günstige Fortgang der Arbeit läßt bereits die Möglichkeit erkennen, auch in Südbaden jenes Endstadium der Bekämpfung zu erreichen, in dem nur noch der an den Landesgrenzen anfallende Zuzug von Bisamratten abzufangen sein wird“ (PUSTET, 1956).

Anläßlich des Ausscheidens von Pustet aus dem aktiven Dienst im Jahre 1956 wurde die künftige Organisation der Bisambekämpfung kontrovers diskutiert. Aus den Protokollen der Arbeitssitzungen des deutschen Pflanzenschutzdienstes geht hervor, daß sowohl eine Neubesetzung der vakanten Stelle als auch deren Abschaffung erwogen wurde. Auch die Einrichtung einer Stelle innerhalb der Biologischen Bundesanstalt wurde diskutiert. Zunächst wurde auch erwogen, Pustet im Rahmen eines Auftrages noch für ein oder zwei Jahre weiter zu beschäftigen, um einen Nachfolger einzuarbeiten. Jedoch verstarb Pustet noch im Jahr seiner Pensionierung (20.04.1956).

Rückverlagerung der Bekämpfungsorganisation auf die Länder
Novellierung der Bisamverordnung

Gegen Ende der 50er Jahre wurde für jedermann offensichtlich, daß der Bisam weder auszurotten, noch sein Vordringen zu verhindern war. „Die Entwicklung hat gezeigt, daß diese Zielsetzung unrealistisch war und die enorme biologische Potenz des Bisams, also seine Vermehrungsfähigkeit, seine Ausbreitungsfreudigkeit und seine Anpassungsfähigkeit an die immerhin sehr unterschiedlichen Umweltbedingungen des mitteleuropäischen Raumes nicht hinreichend berücksichtigt“ (FRANK & HÄRLE, 1967). Als Konsequenz wurde die Zuständigkeit für die Bisambekämpfung wieder auf die Bundesländer übertragen, deren Bekämpfungsziel es nun war, die Populationsdichte möglichst niedrig zu halten, um die Gefahr der Entstehung von Schäden zu verringern. Bereits zu Beginn der 60er Jahre wurde im Pflanzenschutzdienst auch die Abgabe der Zuständigkeit für die Bisambekämpfung diskutiert, der Vorschlag fand jedoch damals noch keine Mehrheit.

In Bayern wurde 1964 der Bekämpfungsdienst in einen Überwachungsdienst umgewandelt, in dem die Hauptlast der Bekämpfung den Nutzungsberechtigten, Fischereiausübungsberechtigten und den zur Unterhaltung von Wasserkraftanlagen Verpflichteten auferlegt wurde. Diese konnten sich an Privatfänger wenden, denen das jeweilige Fanggebiet in alleiniger Zuständigkeit zugeteilt war.

Um eine weitestgehende Einheitlichkeit bei der Bisambekämpfung in den einzelnen Bundesländern zu ge-

währleisten, übernahm die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft ab 1962 auf Wunsch der Länder eine koordinierende Funktion. Im Jahre 1962 berief sie die erste „Arbeitsbesprechung zur Bisambekämpfung“ nach Kassel ein; bis 1977 folgten weitere sieben Besprechungen, die jeweils von Quantz geleitet und durch Frank (beide Biologische Bundesanstalt) fachlich betreut wurden. Neben den Vertretern der Bundesländer nahmen an diesen Besprechungen häufig Gäste aus dem benachbarten Ausland (Belgien, Dänemark, Frankreich, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Schweiz) teil, was ihnen manchmal den Charakter von internationalen Tagungen verlieh.

Die EPPO gründete im Jahre 1967 eine Arbeitsgruppe „Bisambekämpfung“, die insgesamt dreimal, 1967 in Paris, 1969 in Wageningen und 1981 in Bad Zwischenahn zusammenkam.

In den 60er Jahren vollzog sich in raschem Tempo die Besiedlung der wasserreichen norddeutschen Niederungsgebiete durch den Bisam, was damals als erhebliche Bedrohung für die Sicherheit der Küstenschutzrichtungen betrachtet wurde. Auch in den Nachbarländern bestand auf Grund entsprechender Befürchtungen viel Diskussionsbedarf. So wurde bei den Besprechungen zunächst ein einjähriger und von 1967 bis 1973 ein zweijähriger Rhythmus eingehalten.

Zu Anfang der 70er Jahre wurde auch die Anwendung chemischer Mittel zur Bisambekämpfung diskutiert. Versuche mit Chlorphacinonködern verliefen erfolgreich, so daß der Wirkstoff die Zulassung für die Bisambekämpfung erhielt. Wegen seuchenhygienischer (Verenden der Tiere im



BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT

Flugblatt **Nr. 9**

2. Auflage · Oktober 1961 · 12 Seiten

Die Bisamratte

Von Oberlandwirtschaftsrat Dr. Dr. Sigbert Mehl,
Bayerische Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München



Abb. 1. Die Bisamratte (*Ondatra zibethica* L.) (1/2 nat. Größe).

Abb. 5: Bisam-Flugblatt 1961

Wasser) und umwelttoxikologischer Bedenken, sicherlich aber auch, um die Motivation der Privatfänger zu erhalten, machte der deutsche Pflanzenschutzdienst von dieser Möglichkeit niemals Gebrauch. Ende der 80er Jahre wurde die Zulassung für Chlorphacinon zur Bisambekämpfung

durch Zeitablauf beendet. Noch heute wird in Belgien und Frankreich die Bisambekämpfung zum Teil mit Chlorphacinonködern durchgeführt, während in den Niederlanden der Bisam wie in Deutschland nur mit Fallen gefangen wird.

Seit dem Jahr 1967 wurde während

vieler Arbeitsbesprechungen und durch Schriftwechsel zwischen Pflanzenschutzämtern, Landes- und Bundesbehörden eine Möglichkeit gesucht, die Bisambekämpfung auch rechtlich an die veränderten Gegebenheiten anzupassen, da die Bekämpfung sich immer noch auf die aus dem Jahr 1938 stammende Verordnung stützte. Die achte „Arbeitsbesprechung zur Bisambekämpfung“ wurde mehrfach verschoben, da sie vorrangig der Diskussion der Umsetzung der neuen Verordnung in den Bundesländern dienen sollte. Deren Erlaß verzögerte sich jedoch, da die Ermächtigungen des Pflanzenschutzgesetzes aus dem Jahre 1968 nicht für ausreichend gehalten wurden und somit erst eine Novelle des Pflanzenschutzgesetzes abgewartet werden mußte. Dazu kam es jedoch erst im Jahre 1986. Die achte Arbeitsbesprechung wurde schließlich 1977 in Hirschaid bei Bamberg abgehalten. Nach dem Ausscheiden von Frank und Quantz aus dem aktiven Dienst beschäftigte sich ab 1979 Pelz auf Seiten der Biologischen Bundesanstalt mit der Bisamproblematik. Auch die von ihm organisierte bislang letzte Arbeitsbesprechung zur Bisambekämpfung 1987 in Elmshorn sollte sich schwerpunktmäßig mit der Umsetzung der neuen Verordnung zur Bekämpfung des Bisams befassen, die jedoch erst am 20.05.1988 - nach über 20jähriger Diskussionszeit - Gesetzeskraft erlangte (BGBl. I S. 640)

Ausblick: Gegenwärtige Situation und Perspektiven

Nach der Besiedlung Norddeutschlands während der 60er und 70er Jah-

re sind auch in Niedersachsen und Schleswig-Holstein die befürchteten Schäden an Dämmen und Deichen ausgeblieben. Die Bundesländer haben unter diesen Voraussetzungen und angesichts der Sparzwänge in den öffentlichen Haushalten das Interesse an der Bisambekämpfung weitgehend verloren. Auf die veränderte Einschätzung der Schädlichkeit des Nagers durch die Behörden deutet auch der kontinuierliche Rückgang der Bisamfangzahlen seit 1989 hin, der vielerorts seine Erklärung in der Verringerung oder dem Wegfall von Prämienzahlungen findet.

In den östlichen Bundesländern war die Zuständigkeit für die Bisambekämpfung bereits seit langem auf die Wasserwirtschaft verlagert worden. Auf Grund der allgemeinen Tendenz zum Rückzug aus der aktiven Bekämpfungstätigkeit ist es erklärlich, daß man sich nach der Wiedervereinigung Deutschlands in den zuständigen Bund-Länder-Gremien schnell einigte, die Bisambekämpfung mit der anstehenden Novellierung aus dem Pflanzenschutzgesetz herauszunehmen, allerdings ist bisher unklar, welcher Behörde die Zuständigkeit für den Bisam übertragen werden soll.

Mehrere Bundesländer haben die Bisambekämpfung bereits vollständig auf rein private Fangtätigkeit umgestellt (z. B. Baden-Württemberg, Bremen, Rheinland-Pfalz), wobei die zuständige Behörde nur noch eine Aufsichtsfunktion wahrnimmt, jedoch kein eigenes Personal mehr für die Bekämpfung bereitstellt. Dadurch bedingt kann auch die Fangstatistik teilweise nicht mehr fortgeführt werden. In Schleswig-Holstein ging ab Januar 1996 die Bisambekämpfung in

die Zuständigkeit der Wasser- und Bodenverbände unter Leitung des Landesverbandes der Landeskulturverbände über. In Brandenburg ist die Bisambekämpfung im Wassergesetz geregelt, und auch in Sachsen erfolgt die Bekämpfung durch die Wasserwirtschaftsverbände.

Der Rückzug des Pflanzenschutzdienstes aus der Bisambekämpfung erscheint grundsätzlich konsequent, da der Bisam primär kein Pflanzenschädling ist. Allerdings muß man sich fragen, warum dieser Schritt dann nicht bereits viel früher getan wurde. Warum hat der Pflanzenschutzdienst sich des Problems nicht mit dem Nachdruck angenommen, der erforderlich gewesen wäre, um zu einer dauerhaften Lösung zu kommen, die ja auch heute noch nicht absehbar ist? Zu guten Teilen hängt dies sicher mit Vorurteilen und dem Beharrungsvermögen des Bekämpfungsapparates zusammen. Eine ganz wesentliche Ursache dürfte jedoch auch darin liegen, daß die Grundlagenforschung zu diesem Problem in Deutschland lange vernachlässigt wurde. Zwar wurde bereits frühzeitig als Ergebnis einer im Jahre 1916 durchgeführten Rundreise von Rörig (Biologische Reichsanstalt, Berlin-Dahlem), Meier (Landesinspektor für Fischzucht, München) und Korff (Sachbearbeiter der Agricul-tur-Botanischen Anstalt, München) eine Beobachtungsstätte und Versuchsstation zur Erforschung des Bisams in Windisch-Eschenbach eingerichtet, wo vor allem die Wandertätigkeit, Fortpflanzung und Nahrung der Tiere untersucht wurden (KLEMM, 1949). Das Schwergewicht wurde aber auch hier auf die Entwicklung von Bekämpfungsverfahren gelegt, was in

dieser frühen Phase der Besiedlung Deutschlands durch den Bisam verständlich ist. Erst in den 70er Jahren gab es verschiedene kleinere Untersuchungen zu Fortpflanzung, Wanderverhalten und Physiologie (z. B. MALLACH, 1970, 1971) und auch zum bisamsicheren Ausbau von Gewässern (DVWK, 1977). Umfangreichere ökologische Feldstudien sind in Frankreich (VINCENT, 1972a, 1972b), Großbritannien (WARWICK, 1940), den Niederlanden (DOUDE VAN TROOSTWIJK, 1976; VERKAIK, 1991), Belgien (LE BOULENGÉ & LE BOULENGÉ-NGUYEN, 1981) und in Schweden (DANELL, 1978) durchgeführt worden. In Deutschland betreffen die bisherigen populationsökologischen Untersuchungen eher untypische Spezialbiotope wie den Dümmer See (AKKERMANN 1975a, 1975b, 1975c) oder das Schweinsberger Moor (CLARA, 1989). Im Vergleich zu anderen eingeschleppten Schädlingen ist die Bisamforschung in Deutschland offensichtlich stark vernachlässigt worden. Forschungsansätze von PELZ (1989) konnten nicht nur aus finanziellen Gründen, sondern vor allem wegen des mangelnden Interesses der zuständigen Behörden und Körperschaften bisher nicht weiter verfolgt werden. Gleichwohl wurden grundlegende methodische Vorarbeiten geleistet, die zusammen mit den Studien von JÜDES (1989) und HALLE (1992) eine gute Basis für zukünftige Untersuchungen bieten.

Bis heute ist ungeklärt, ob und wenn ja, in welchem Umfang die flächenmäßige Bekämpfung des Bisams, wie sie von der Intention her nach wie vor überall in Deutschland betrieben wird, tatsächlich zu einer Verringe-

rung von Uferschäden führt. Bei einer solchen Bewertung helfen die im Ausland durchgeführten Untersuchungen wenig, da es um die Beurteilung der Wirksamkeit der speziell in Deutschland angewandten Bekämpfungspraxis geht. Nach den Überlegungen von HALLE und PELZ (1990) gelingt es mit diesem Bekämpfungssystem vermutlich nicht einmal, die jeweilige Überschußproduktion an Nachkommen wegzufangen, so daß die Populationsdichte in erster Linie von der Verfügbarkeit geeigneten Lebensraumes reguliert würde. Nach DOUDE VAN TROOSTWIJK (1976) muß aber die Frühjahrspopulation in jedem Jahr um mindestens 50 % durch Fang reduziert werden, wenn den Schäden wirksam begegnet werden soll.

Nach 80 Jahren Bisambekämpfung in Deutschland wäre es an der Zeit, sich einmal mehr als nur halbherzig mit dieser nun seit vielen Generationen bei uns heimischen Tierart auseinanderzusetzen und herauszufinden, welche Behandlung ihr tatsächlich gebührt. Dabei ist möglicherweise eine differenzierte Betrachtung notwendig, die die strukturellen Unterschiede der verschiedenen Lebensräume berücksichtigt. Nicht zuletzt sollte es im Interesse der Naturschutzverwaltung liegen, herauszufinden, ob es notwendig und sinnvoll ist, Jahr für Jahr zur Schadensprophylaxe Hunderttausende von Wildtieren mit der Falle zu fangen. Statt das ungelöste Problem in einen anderen Verwaltungsbereich abzuschieben, sollte die gegenwärtige Umbruchsituation genutzt werden, um die im Pflanzenschutzbereich (noch) vorhandene praktische Erfahrung und die Naturschutzinteressen zusammenzu-

führen, und gemeinsam eine dauerhafte Lösung für den zukünftigen Status des Bisams in Deutschland zu entwickeln.

Zusammenfassung

Während seiner mehr als 80jährigen Siedlungsgeschichte in Deutschland erwies sich der Bisam als äußerst erfolgreicher Kolonist. Trotz schnell einsetzender Abwehrmaßnahmen konnte seine Ausbreitung über ganz Deutschland nicht verhindert werden. Die beiden Weltkriege und die ökonomischen Krisen trugen dazu bei, daß sich die über lange Zeit angestrebte Wiederausrottung bzw. Zurückdrängung bis an die Landesgrenzen als nicht praktikabel erwies.

Die gegenwärtige Situation der Bisambekämpfung ist gekennzeichnet durch einen allmählichen Rückzug der staatlichen Stellen aus der aktiven Bekämpfungstätigkeit und eine Verlagerung der Zuständigkeit auf die Wasserwirtschaft. Nach wie vor nicht wissenschaftlich belegt ist jedoch die Wirksamkeit der prophylaktischen Bisambekämpfung mit jährlichen Fangzahlen von derzeit rund 350 000 Individuen. Es wird vorgeschlagen, durch eine gemeinsame Initiative von Pflanzenschutzdienst und Naturschutzverwaltung eine zukunftsweisende Lösung für den zukünftigen Status des Bisams in Deutschland zu erarbeiten.

Literatur

- AKKERMANN, R. (1975a): Untersuchungen zur Ökologie und Populationsdynamik des Bisams (*Ondatra zibethicus* L.) an einem nordwestdeutschen Verlandungssee. I. Bauten. Z. angew. Zool. **62**, 39-81.
- AKKERMANN, R. (1975b): Untersuchungen zur Ökologie und Populationsdynamik des Bisams (*Ondatra zibethicus* L.) an einem nordwestdeutschen Verlandungssee. II. Nahrung und Nahrungsaufnahme. Z. angew. Zool. **62**, 173-218.
- AKKERMANN, R. (1975c): Untersuchungen zur Ökologie und Populationsdynamik des Bisams (*Ondatra zibethicus* L.) an einem nordwestdeutschen Verlandungssee. III. Verhalten und Populationsdynamik. Z. angew. Zool. **62**, 281-338.
- BÜRING, H. (1986): Ausbreitung und Bekämpfung des Bisams in Schleswig-Holstein. Gesunde Pflanzen **38**, 521-524.
- CLARA, M.E. (1989): Populationsökologische Untersuchungen an einer Bisampopulation (*Ondatra zibethicus* L., 1766) in einem Niedermoor (NSG Schweinsberger Moor) in Hessen. Diss. Univ. Marburg, 139 S.
- DANELL, K. (1978): Ecology of the muskrat in northern Sweden. Stockholm (Report Nat. Swed. Environ. Protect. Board), 157 S.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (DVWK) [Hrsg.] (1977): Empfehlungen für bisamsicheren Ausbau von Gewässern, Deichen und Dämmen. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft **107**, Hamburg, Parey Verlag, 2. Aufl., 10 S.
- DOUDE VAN TROOSTWIJK, W.J. (1976): The muskrat (*Ondatra zibethicus* L.) in the Netherlands, its ecological aspects and their consequences for man. Diss. Universität Leiden, RIN Verhandeling **7**, 136 S.
- FRANK, F. & HARLE, A. (1964): Die Entwicklung des Bisambefalls (*Ondatra zibethicus*) in der Bundesrepublik Deutschland von 1957 bis 1963. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **16**, 145-147.
- FRANK, F. & HARLE, A. (1967): Derzeitiger Stand und voraussichtliche Entwicklung des Bisambefalls (*Ondatra zibethicus*) in der Bundesrepublik Deutschland (nach Meldungen der Pflanzenschutzämter der Bundesländer). Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) **19**, 123-125.
- HALLE, S. (1992): Konzeptionsstudie zur wissenschaftlichen Untersuchung der Bisamproblematik in Niedersachsen. Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, 45 S. (unpubl.).
- HALLE, S. & PELZ, H.-J. (1990): Zur Effizienz der Bekämpfung des Bisams (*Ondatra zibethicus*) anhand von Fangdaten aus dem Land Bremen. Z. angew. Zool. **77**, 205-218.
- HOFFMANN, M. (1958): Die Bisamratte. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G.
- HOFFMANN, M. (1973): Die Bisamratte (*Ondatra zibethica* L.). In: STUBBE, H. [Hrsg.]: Buch der Hege, Bd. 1: Haarwild. Berlin, Deut. Landw.-Verlag, 413-434.
- JÜDES, U. (1989): Studie zur Populationsentwicklung des Bisam in neuerer Zeit, insbesondere im Hinblick auf den Einfluß der Bekämpfung. Studie im Auftrag des Ministers für Natur, Umwelt und Landesentwicklung Schleswig-Holstein, 108 S. (unpubl.).
- KLEMM, M. (1949): Bisamratte. In: SCHLUMBERGER, O. [Hrsg.]: 50 Jahre deutsche Pflanzenschutzforschung. Festschrift zum 50jährigen Bestehen der Biologischen Zentralanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Berlin, Dt. Zentralverlag, 135-142.
- LE BOULENGÉ, E. & LE BOULENGÉ-NGUYEN, P.Y. (1981): Ecological study of a muskrat population. Acta Theriologica **26**, 47-82.
- MALLACH, N. (1966): Die Bekämpfung der Bisamratte in Bayern 1965 nach einer 50jährigen Entwicklung. Anz. Schädlingsk. Pflanzensch. **39**, 145-149.
- MALLACH, N. (1968): Die Verbreitung des Bisams und seine Bekämpfung in Bayern. Gesunde Pflanzen **10**, 223-227.
- MALLACH, N. (1970): Beobachtungen zum Territorialverhalten der Bisamratte, *Ondatra zibethica* (Linné, 1766). Säugetierk. Mitt. **18**, 151-154.
- MALLACH, N. (1971): Markierungsversuche zu Analyse des Aktionsraumes und der Ortsbewegung des Bisams (*Ondatra zibethica* L.). Anz. Schädlingsk. Pflanzensch. **49**, 129-136.

- PELZ, H.-J. (1985): Häufigkeit des Bisams (*Ondatra zibethicus*) im Vergleich verschiedener Regionen der Bundesrepublik Deutschland. Z. angew. Zool. **72**, 229-237
- PELZ, H.-J. (1989): Untersuchungen zum Einfluß der Bekämpfung auf Schadaufreten und Populationsdynamik des Bisams, *Ondatra zibethicus*. Z. Säugetierk. **54** (Sonderheft), 35.
- PUSTET, A. (1936): Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1935/36. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **16**, 115-119.
- PUSTET, A. (1938): Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1936/37. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **18**, 12-16.
- PUSTET, A. (1939a): Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1937/38. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **19**, 39-43.
- PUSTET, A. (1939b): Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1938/39. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **19**, 99-103.
- PUSTET, A. (1941): Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1939/40. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **21**, 25-31.
- PUSTET, A. (1942) Die Bekämpfung der Bisamratte in Deutschland 1940. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **22**, Beilage, 10 S.
- PUSTET, A. (1952): Grundsätzliches zur Bisamrattenbekämpfung in Westdeutschland, ihre Entwicklung seit Kriegsende bis 1952 und ihre weitere Gestaltung. Denkschrift, unpubl., 26 S.
- PUSTET, A. (1956): Die Bisamratte, ihre wirtschaftliche Bedeutung, Verbreitung und Bekämpfung in Süddeutschland. Pflanzenschutz **8**, 71-76.
- SCHRÖPFER, R. & ENGSTFELD, C. (1983): Die Ausbreitung des Bisams (*Ondatra zibethicus* Linné, 1766, Rodentia, Arvicolidae) in der Bundesrepublik Deutschland. Z. angew. Zool. **70**, 13-37.
- VERKAIK, A.J. (1991): Verspreidings- en verplaatsingspatronen van muskusratten (*Ondatra zibethicus*). Arnhem (Rijksinstituut voor Natuurbeheer, RIN-rapport 91/12), 79 S.
- VINCENT, J.P. (1972a): Etude d'une population de rats musqués (*Ondatra zibethica*) par marquage et recapture. Mammalia **36**, 8-21.
- VINCENT, J.P. (1972b): Quelques données sur la reproduction et sur la dynamique des populations du rat musqué (*Ondatra zibethica*) dans le nord de la France. Ann. Zool.-Ecol. Anim. **4**, 395-415.
- WARWICK, T. (1940): A contribution to the ecology of the musk-rats (*Ondatra zibethica*) in the British Isles. Proc. Zool. Soc. London **110**, 165-201.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hans-Joachim Pelz
 Biologische Bundesanstalt für
 Land- und Forstwirtschaft,
 Institut für Nematologie und
 Wirbeltierkunde,
 Topheideweg 88, 48161 Münster

Zeittafel

- 1946 Gründung des Instituts als „Institut für Hackfruchtbau“ mit erstem Standort in Peckeloh bei Versmold.
- 1947 Gründung der „Außenstelle Elsdorf/Rheinland“.
- 1949 Umzug von Peckeloh nach Münster (Grevener Straße)
Dr.H. Goffart wird Leiter des Instituts.
- 1958 Umbenennung in „Institut für Hackfruchtkrankheiten und Nematodenforschung“.
- 1960 Einweihung des neuen Gebäudes am Toppheideweg mit ca. drei Hektar Versuchsfläche.
- 1965 Dr. W. Steudel wird Institutsleiter.
- 1968 Die Außenstelle Elsdorf erhält neue Räume an der Dürener Straße.
- 1970 Erweiterung des Versuchsfeldes um einen Hektar.
- 1976 Prof. Dr. B. Weischer wird Institutsleiter.
- 1977 Umbenennung in „Institut für Nematologie“.
- 1979 Das Fachgebiet Wirbeltierkunde wird dem Institut für Nematologie angegliedert.
- 1983 Das „Mäusehaus“ wird errichtet.
- 1985 Dr. J. Müller wird Institutsleiter.
- 1985 Bau eines neuen, großen Gewächshauses.
- 1986 Umbenennung in „Institut für Nematologie und Wirbeltierkunde“.
- 1990 Das „Vogelhaus“ wird errichtet.
- 1991 Die „Außenstelle Kleinmachnow“ kommt hinzu.
- 1993 Erweiterung des Versuchsfeldes um zwei Hektar.