

Johannes Hallmann¹, Matthias Daub², Florian Grundler³, Andreas Westphal²

150 Jahre *Heterodera schachtii*: Ein Überblick der frühen Arbeiten

150 years *Heterodera schachtii*: A historical review of the early work

429

Zusammenfassung

Mitte des 19. Jahrhunderts kam der Rübenanbau im damaligen Mitteldeutschland nahezu zum Erliegen. Die Suche nach den Ursachen der sogenannten Rübenmüdigkeit führte im Jahr 1859 zur Entdeckung des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* durch den Botaniker Hermann SCHACHT. Obwohl sich SCHACHT recht intensiv mit der Morphologie und Biologie des Tieres befasste und ihm vermutlich bewusst war, dass es sich hierbei um eine neue Art handelte, vermied er es, dem Tier einen Namen zu geben. Dies holte Adolf SCHMIDT aus Aschersleben nach, indem er das Tier zu Ehren seines Entdeckers *Heterodera schachtii* nannte. *Heterodera schachtii* war der erste pflanzenparasitäre Nematode, der als Schaderreger unterirdischer Pflanzenorgane beschrieben wurde. Aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung für den Rübenanbau stand von Beginn an neben der Biologie vor allem die Entwicklung von Bekämpfungsmaßnahmen im Vordergrund des Forschungsinteresses. Hier ist es vor allem dem unermüdlichen Engagement und der intensiven Versuchstätigkeit von Prof. Julius KÜHN aus Halle zu verdanken, dass innerhalb weniger Jahre Verfahren zur Vermeidung und Bekämpfung des Rübenzystennematoden erfolgreich in der Praxis etabliert wurden. KÜHN zeigte, dass die Rübenmüdigkeit mit recht einfachen Mitteln verhindert werden konnte, dass solchen Methoden aber arbeits- und betriebswirtschaftliche Anforderungen entgegenstanden. Somit tragen intensive Rübenfruchtfolgen

bis heute dazu bei, dass *H. schachtii* in gemäßigten Klimaregionen weltweit einer der wirtschaftlich bedeutendsten Schadnematoden ist. Anlässlich des 150jährigen Jubiläums der Entdeckung von *H. schachtii* sollen in diesem historischen Überblick die frühen Arbeiten zu diesem Nematoden vorgestellt werden, die in vielen Aspekten auch heute noch von hoher Aktualität sind.

Stichwörter: Rübenzystennematode, Biologie, Bekämpfung, Temperatursumme

Abstract

In the middle of the 1900 s, the production of sugarbeets severely declined in Central Germany. In 1859, the botanist Hermann SCHACHT discovered the sugar beet cyst nematode, *Heterodera schachtii* while searching for the cause of the observed “beet weariness”. SCHACHT intensively studied the morphology and biology of this animal; he probably was aware that he dealt with a new species but he avoided naming it. Adolf SCHMIDT (1871) of Aschersleben corrected this neglect and named the animal *Heterodera schachtii* in honor of its discoverer. *Heterodera schachtii* was the first plant-parasitic nematode described as feeding on below-ground plant parts. From the beginning and because of the nematode’s economic importance, the primary objectives of studies were focused on the development of management strategies in

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Münster¹

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Eldorf und Münster²

Universität für Bodenkultur, Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie, Wien³

Kontaktanschrift

PD Dr. Johannes Hallmann, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppeideweg 88, 48161 Münster, E-Mail: johannes.hallmann@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

November 2009

addition to investigations of its biology. Foremost due to the tireless efforts and intensive experimentation of Professor Julius KÜHN of Halle, methods of avoidance and management strategies for the sugar beet cyst nematode were implemented in practical agriculture. KÜHN demonstrated that fairly simple methods mitigated beet weariness but these were not always economically and logistically feasible. Therefore, *H. schachtii* remains among the most damaging plant-parasitic nematodes in moderate climates worldwide. In recognition of the 150-year anniversary of the discovery of *H. schachtii*, early works on this nematode are presented in this historical review to outline the implications of these for dealing with the sugar beet cyst nematode.

Key words: Sugar beet cyst nematode, biology, control, temperature sum

Einleitung

Die Entdeckung des Rübenzystennematoden wäre ohne den Anbau von Zuckerrüben in Mitteleuropa wohl völlig anders verlaufen. Begonnen hatte alles mit dem durch den Chemiker Andreas Sigismund MARGGRAF (1709-1782) erbrachten Nachweis, dass Beta-Rüben kristallisierbaren und von den übrigen Stoffen abzutrennenden Zucker enthielten (MARGGRAF, 1749). Im politischen Klima des preußischen Autarkiestrebens setzte ein Schüler MARGGRAFs, der Berliner Chemiker und Naturforscher Franz Carl ACHARD (1753-1821), die Arbeiten zur Isolierung von Zucker aus Beta-Rüben fort. ACHARD begann um 1786 mit der systematischen Züchtung und dem Anbau von Zuckerrüben. Im Jahre 1801 errichtete ACHARD auf dem Gut Cunern in Niederschlesien die weltweit erste Zuckerfabrik für die Verarbeitung von Beta-Rüben. Im folgenden Jahr wurden 400 t Rüben mit einer Zuckerausbeute von 4 % verarbeitet. Die hohen Preise für Zucker machten die Zuckerrübe als eine neue Kultur für die Bauern interessant. Da mit der Kontinentalsperre NAPOLEONS (1806-1814) die Rohrzuckerlieferungen aus den englischen Kolonien ausfielen, wurde die Ausweitung der Rübenzuckerindustrie begünstigt. Doch erst zur Zeit der Abschaffung der Sklaverei in Amerika um 1850, setzte sich der Rübenzucker durch. Vor allem in Mitteldeutschland erlebte der Rübenanbau einen starken Aufschwung. Oft erfolgte ein intensiver Anbau der Zuckerrüben in Fabriknähe, häufig in Monokultur. Diese Intensivierung des Rübenanbaus in Deutschland schuf ideale Bedingungen für die Vermehrung des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*. Bereits nach wenigen Jahren gingen die Erträge zurück; die Böden wurden „rübenmüde“. So mussten um 1876 schließlich 24 Fabriken wegen unzureichender Belieferung mit Zuckerrüben den Betrieb einstellen (STEUDEL, 1984). In den meisten Fällen war ein Befall mit *H. schachtii* die Ursache für die Ertragseinbußen. Auch wenn sich bis heute Generationen von Wissenschaftlern mit Methoden zur Bekämpfung von *H. schachtii* beschäftigt haben, treten weiterhin Ertragseinbußen

durch diesen Nematoden auf. In dem hier vorliegenden historischen Überblick der frühen Arbeiten zu *H. schachtii* soll vor allem auf jene Aspekte eingegangen werden, die die Forschung und den Umgang mit diesem Nematoden bis in unsere heutige Zeit beeinflusst haben.

Entdeckung von *Heterodera schachtii*

Auf der Suche nach der Ursache für den Ertragsrückgang der Zuckerrüben beobachtete der Botaniker Hermann SCHACHT (1814-1864, Abb. 1) im Jahr 1859 in der Nähe von Halle/Saale „kleine weiße Pünktchen“ an den Wurzeln von Zuckerrüben: „In Ermangelung eines Mikroskops hielten wir die Pünktchen für Milben, bei genauer Untersuchung zeigte sich dagegen, daß sie aus einem häutigen Sacke, der an beiden Enden etwas spitz zulief und dort die beiden Leibesöffnungen hatte, bestanden. Die eine dieser Oeffnungen war bei den größeren Säckchen mit einer schleimigen am Rande erhärteten Masse umgeben, in welcher sich häufig sehr kleine längliche runde Eier, die einen Wurm umschlossen, befanden“ (SCHACHT, 1859a). SCHACHT erkannte, dass es sich hierbei um einen Nematoden handelte und veröffentlichte seine Beobachtungen inklusive erster Zeichnungen der verschiedenen Stadien des Nematoden 1859 in zwei Aufsätzen

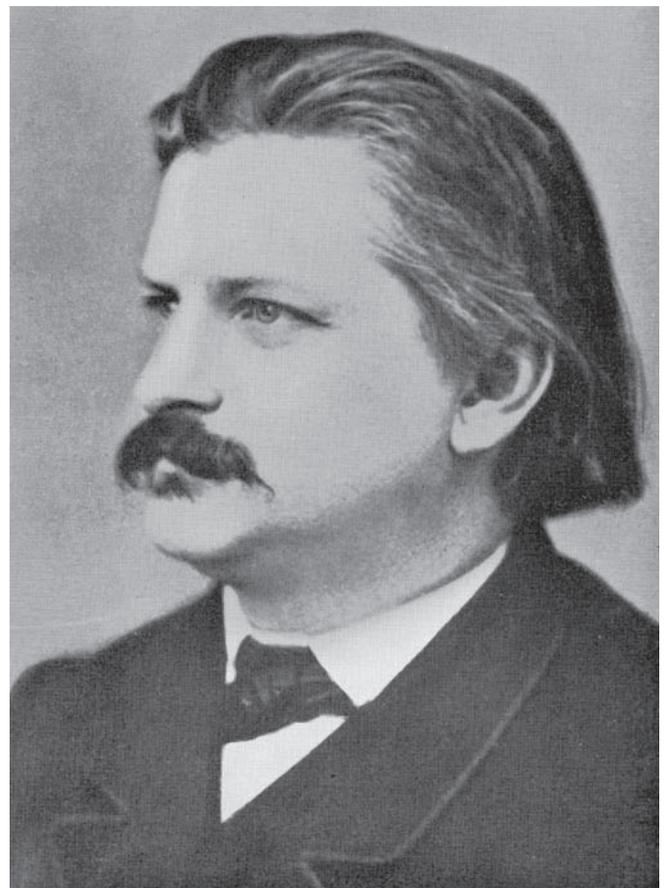


Abb. 1. Prof. Hermann SCHACHT, Botaniker (1814-1864) (Quelle: GOFFART, H., 1959: 100 Jahre *Heterodera schachtii*. *Nematologica* 4, 89-90).

(SCHACHT, 1859a, b). Ein Teil des Materials gelangte zu den Helminthologen LIEBERKÜHN und WAGENER, die in dem Nematoden eine neue, bisher unbekannte Art sahen. Doch wurde der Nematode zunächst nicht taxonomisch bearbeitet. Unterdessen beschäftigte sich seit 1868 Julius KÜHN (1825-1910), Professor an der Universität Halle und Leiter des Landwirtschaftlichen Lehrstuhls, mit den Ursachen der Rübenmüdigkeit. Rasch erbrachte er den Nachweis, dass die Rübenmüdigkeit auf den Befall der Zuckerrüben mit dem Rübenzystemnematoden zurückzuführen war (in SCHMIDT, 1871). Drei Jahre später gab Archidiakonus Adolf SCHMIDT 1871 aus Aschersleben der neuen Nematodenart einen Namen: „So mag denn der Rüben-Nematode als ein kleines Ehrenndenkmal des zu früh von uns entrissenen tüchtigen Forschers dastehen und sich als *Heterodera schachtii* in die Wissenschaft einreihen“ (SCHMIDT, 1871). Adolf SCHMIDT hatte richtig erkannt, dass diese neue Art nicht in der bisherigen Systematik unterzubringen war und somit die Bildung einer neuen Gattung erforderte. SCHMIDT wählte den Namen *Heterodera*, um nach eigenen Worten auf die ungewöhnlich großen Unterschiede beider Geschlechter hinzuweisen. Etymologisch betrachtet verweist der Name *Heterodera* (gr. hetero = verschieden, dera = Haut) jedoch auf die unterschiedliche „Haut“ von Weibchen und Zyste. Kaum dass der Nematode beschrieben war, mehrten sich auch die Nachweise zu dessen Verbreitung innerhalb Deutschlands (Abb. 2), Frankreichs (1879), Finnlands (1879), Hollands (1883) und Österreichs (1890) (in Vanha und Stoklasa 1896). Heute tritt *H. schachtii* weltweit in allen bedeutenden Rübenanbaugebieten auf und verursacht teilweise erhebliche wirtschaftliche Schäden (MÜLLER, 1999). Da die Stammform der Zuckerrübe *Beta*

vulgaris L. ssp. *maritima* sehr wahrscheinlich im Mittelmeerraum beheimatet ist, vermutet man auch den Ursprung von *H. schachtii* in dieser Region. *Heterodera schachtii* entwickelte sich zur Stammform aller später beschriebenen Zystemnematoden, die meistens zunächst als Varietäten von *H. schachtii* benannt wurden, bevor sie als eigenständige Arten anerkannt wurden (z. B. *H. schachtii* var. *trifolii* GOFFART, 1932, *H. schachtii* var. *avenae* WOLLENWEBER, 1924, *H. schachtii* var. *galeopsidis* GOFFART, 1936) (GOFFART, 1932, 1936, 1944).

Morphologie

In seiner ersten Arbeit zu *H. schachtii* beschrieb Hermann SCHACHT die verschiedenen Nematodenstadien (SCHACHT, 1859a). Zeichnungen der verschiedenen Stadien fügte er in einer zweiten Arbeit im selben Jahr bei (SCHACHT, 1859b) (Abb. 3). Wenngleich dem Forscher ein geeignetes Mikroskop fehlte, so fielen diese Zeichnungen insgesamt beeindruckend aus. Sie zeigten bereits erste Details zur Lage der Eier in den Gonaden der Weibchen oder die Faltung der Juvenilen innerhalb der Eier. Männchen waren allerdings noch nicht bekannt und wurden erst drei Jahre später von SCHACHT erwähnt (SCHACHT 1862). In den folgenden Jahren beschäftigte sich Adolf SCHMIDT aus Aschersleben ausgiebiger mit dem Rübenzystemnematoden (SCHMIDT, 1871). SCHMIDT (1871) beschrieb die verschiedenen Entwicklungsstadien vom Ei bis zum adulten Tier äußerst akribisch und fertigte detaillierte Zeichnungen an, wie z. B. von der Spikula der Männchen oder den embryonalen Eistadien (Abb. 4). Durch Quetschung der Tiere gelang es SCHMIDT sogar, den fadenförmigen

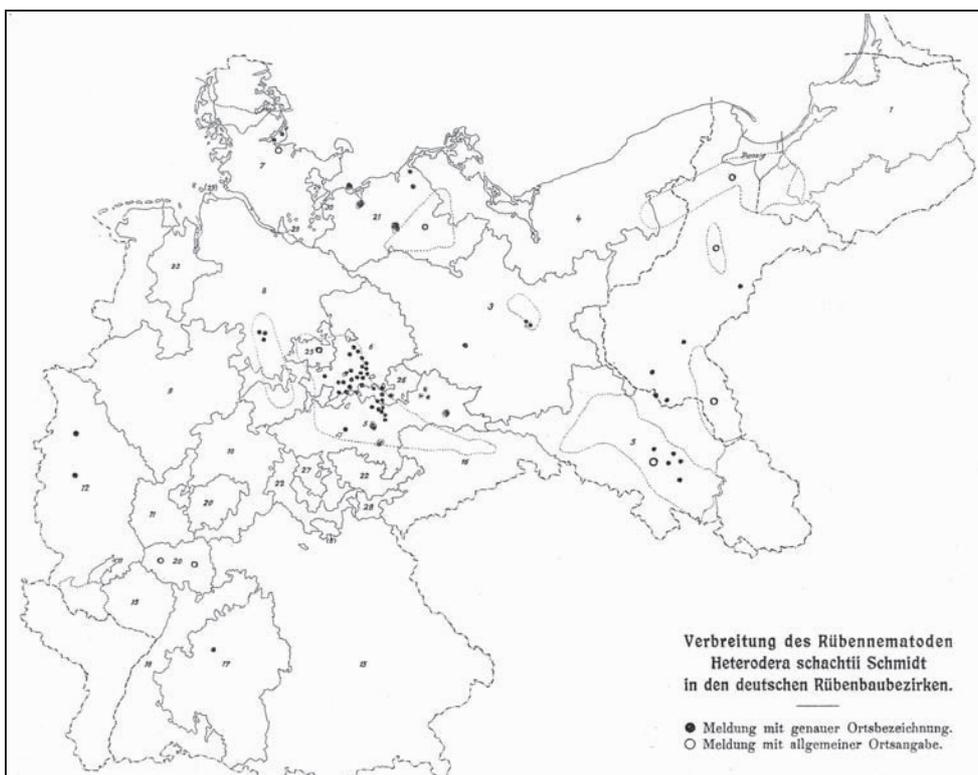


Abb. 2. Verbreitung des Rübenzystemnematoden in den deutschen Rübenbaubezirken Anfang des 20. Jahrhunderts (Quelle: BAUNACKE, W., 1922: Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii* SCHMIDT. Arb. Biol. Reichsanst. Land- und Forstwirtschaft. 11, 185-288).

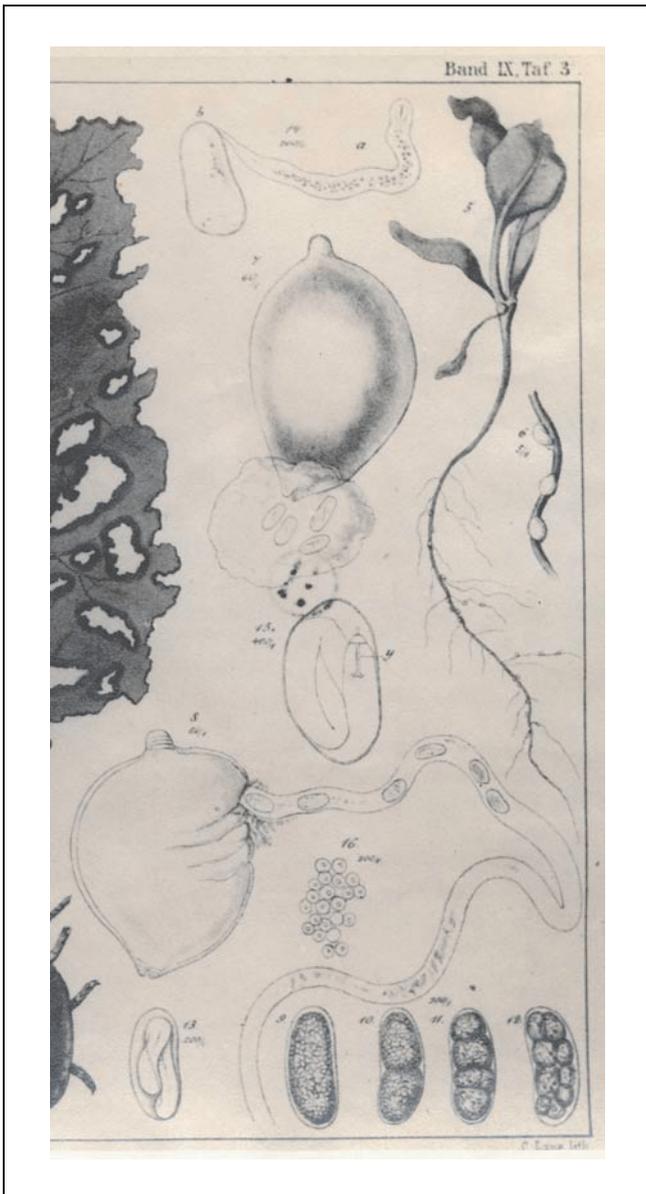


Abb. 3. Originalzeichnung des Rübenmematoden (Quelle: SCHACHT, H., 1859b: Über einige Feinde und Krankheiten der Zuckerrübe. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein 9, 239-250).

Pharynx (= Oesophagus) mitsamt Mundstachel und Mittelbulbus freizulegen. In einem besonders günstigen Fall sah er, wie sich die Pharynxröhre zwischen den drei Knöpfen des Mundstachels einsenkte. Daraus folgerte SCHMIDT, dass der Mundstachel nicht nur zum Verletzen der Pflanzenzelle, sondern auch zum Aufsaugen der Nahrung diene: „Ich sah Nahrungsatome in die Mundkapsel treten und, ganz den Bewegungen des Klappenapparats entsprechend, ruckweise durch den Oesophagus, dann durch den Bulbus selbst gehen, ohne sich im mindesten in der Gegend der Klappen aufzuhalten, bis sie endlich in dem körnigen Inhalte des Darms verschwanden“ (SCHMIDT, 1871). Damit widerlegte Schmidt die bis dahin verbreitete Meinung, dass der Mittelbulbus als Magen zur Zerkleinerung und Verdauung der Nahrung dienen würde.

Die zweite große Arbeit zur Morphologie von *H. schachtii* verdanken wir STRUBELL (1888): „Obwohl nun einzelne intelligente Landwirthe die Tragweite der Schacht'schen Entdeckung gar bald erkannten und manch praktische Winke, wie die Warnung vor Benutzung der Rübenabfälle bei der Düngung der Felder, zu verwerthen suchte, zeigte sich doch die Mehrzahl der Rübenbauer dem Hinweise dieses Forschers wenig zugänglich, und ebenso gerieth der Nematode nach dem Ableben des Entdeckers in wissenschaftlicher Beziehung fast ganz in Vergessenheit“. Im Jahr 1886 stellte die hohe philosophische Fakultät der Universität Leipzig die Darstellung des Baues und der Entwicklung des Rübenmematoden als zoologische Preisaufgabe. Dieser Aufgabe nahm sich Strubell an. Er extrahierte Männchen und Juvenile aus dem Boden und präparierte Juvenile, unreife Männchen und Weibchen aus den Wurzeln. Die hyalinen Juvenile und Männchen wurden in 0,5 %ige Kochsalzlösung oder Hühnereiweiß überführt und unter dem Mikroskop untersucht, die opaken Weibchen wurden zuvor gequetscht oder zerrupft. Des Weiteren fertigte er Paraffinschnitte von den verschiedenen Stadien an. Ausführlich beschrieb und skizzierte er den äußeren und inneren Bau der verschiedenen Nematodenstadien (Abb. 5). Geradezu faszinierend lesen sich seine detaillierten Beschreibungen zur Anatomie der Tiere und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen zur Funktion der einzelnen Körperteile, die noch heute Gültigkeit haben (STRUBELL 1886).

Biologie

Eine hervorragende Zusammenfassung der frühen Studien zur Biologie von *H. schachtii* findet man in der Monographie von BAUNACKE (1922): Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii* Schmidt. Ging STRUBELL (1886) noch davon aus, dass sich *H. schachtii* auch ohne Wirtspflanze zum geschlechtsreifen Tier entwickeln könne, bezweifelte BAUNACKE (1922) dies und verwies auf die begrenzte Lebenszeit der Juvenilen im Boden in Abwesenheit von Wirtspflanzen, die wenige Wochen betrage. In diese Zeit fallen auch die frühen Untersuchungen zu Wirt-Parasit-Interaktionen. So beobachtete NEMEC (1921), dass die Juvenilen von *H. schachtii* bis zu den Leitgefäßen vordrangen und sich die in Nähe des Mundstachels befindlichen Prokam-bialzellen zu Riesenzellen formten. Er fand, dass diese Riesenzellen einen drüsigen Charakter zeigten und dass sie einen hohen Anteil fadenförmiger Mitochondrien hatten, was seiner Meinung nach auf eine hohe Stoffwechsellaktivität schließen ließ. NEMEC (1921) vermutete ferner, dass die Juvenilen einen Stoff ausscheiden, der unter anderem die Zelle zum Wachstum und zur Bildung von Zytoplasma anrege, sowie die Zellwände auflöse und die Bildung von Stoffen induziere, die dem Nematoden als Nahrung dienen. Seine Schlussfolgerungen waren geradezu zukunftsweisend, bedenkt man, dass die Existenz entsprechender Parasitierungsgene bzw. deren Produkte

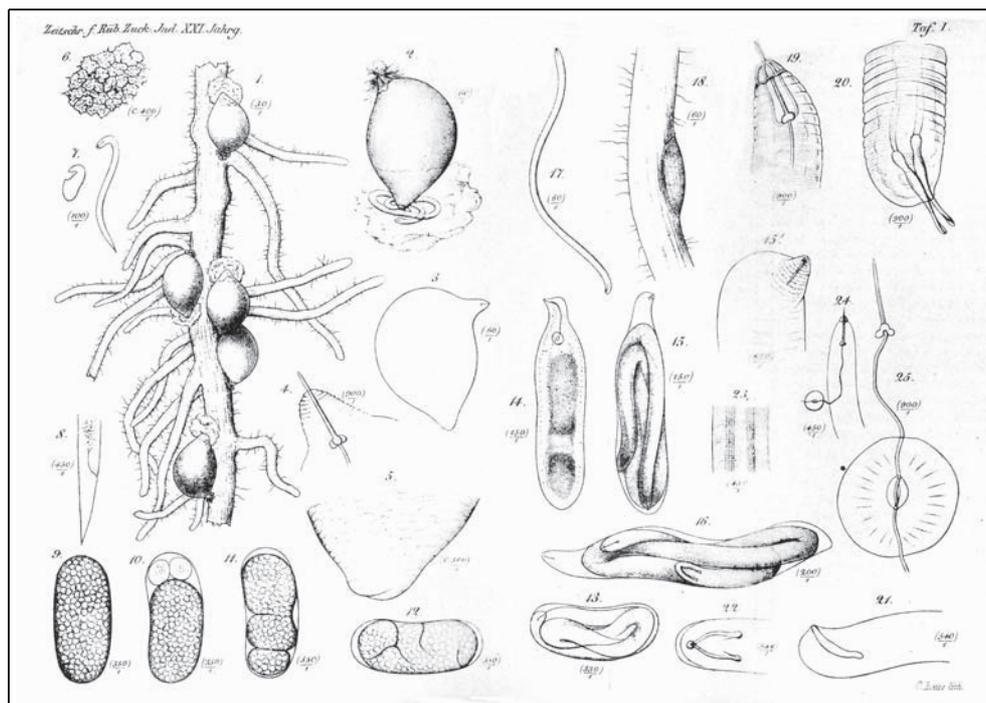


Abb. 4. Zeichnung des Rüben-nematoden *Heterodera schachtii* nach Schmidt (Quelle: SCHMIDT, A., 1871: Über den Rüben-nematoden. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein 21, 1-19).

erst vor wenigen Jahren mittels molekularer Methoden gelang.

Zwei weitere, in unserer heutigen Zeit viel diskutierte Aspekte zur Biologie von *H. schachtii*, wurden ebenfalls Anfang des 20. Jahrhunderts intensiv untersucht: (1) Der Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von *H. schachtii* und (2) die horizontale und vertikale Ausbreitung des Nematoden im Boden. Diese Aspekte der Populationsdynamik und Verteilung im Boden sind zentrale Komponenten für die Vorhersage von Nematodenschäden in Zuckerrübenfruchtfolgen. Die Entwicklungsgeschwindigkeit pflanzenparasitärer Nematoden ist stark von der Umgebungstemperatur abhängig, so dass mit Bodentemperaturdaten eine gute Vorhersage der Nematodenentwicklung möglich ist. Ein einfaches und zunehmend angewandtes Verfahren basiert auf der **Temperatursumme**, also der Summe der Tagesmitteltemperaturen über einer Basistemperatur in 10 cm Bodentiefe, bei der die Tiere gerade aktiv sind. So ist die Entwicklung einer Generation von *H. schachtii* bei einer Temperatursumme von 465°C (über 8°C) abgeschlossen. Die Temperatursumme wird zur Vorhersage der Populationsentwicklung bzw. der Anzahl von Generationen in Zuckerrüben oder beim Ausfallraps-Manager des Landwirtschaftlichen Informationsdienstes Zuckerrübe (LIZ, www.liz-online.de) eingesetzt.

Die Erarbeitung der **Basistemperatur** für die Entwicklung von *H. schachtii* hat für viel Diskussion gesorgt. Entsprechende Angaben schwanken zwischen 6°C und 8°C (FUCHS, 1911; BAUNACKE, 1922), also Temperaturen knapp oberhalb der Mindesttemperatur für Pflanzenwachstum. FUCHS (1911) wies diesbezüglich darauf hin, dass die Beweglichkeit der Juvenilen von *H. schachtii* bei 6°C stark vermindert sei und die Tiere in eine Art Kältestarre ver-

fallen. BAUNACKE (1922), der den Einfluss abnehmender Temperaturen auf das Verhalten der Juvenilen in Wasser untersuchte, stellte fest, dass sich einzelne Tiere bei 8°C zu strecken begannen und bei 7°C erstarrten. Bei 5°C war die Hälfte der Tiere und bei 3°C waren schließlich alle Tiere erstarrt. Bei weiterer Temperaturabnahme waren die Juvenilen zunächst säbelförmig gebogen, dann gerade und bei 0°C vollständig gestreckt. Frostgrade um -10°C, sowie ein mehrmaliges Einfrieren und Auftauen schädigte die Juvenilen nur unwesentlich (BAUNACKE, 1922). Mit Ansteigen der Temperatur über 8°C erlangten die Juvenilen ihre Aktivität wieder, wobei die Zeitspanne für die Reaktivierung umso länger dauerte, je tiefer die Mindesttemperatur lag und je länger sie einwirkte. Auch wenn nach BAUNACKE (1922) die Juvenilen im Boden ab 6,3°C aktiv werden, so bedarf es mindestens 10°C, bis bereits geschlüpfte Juvenile aus der Zyste auswandern. Der Schlupf der Juvenilen, d. h., das Sprengen der Eihülle wiederum setzte eine hohe Aktivität der Juvenilen voraus, wie sie erst bei Temperaturen über 18°C gegeben sei. Somit ist nach BAUNACKE (1922) unter Feldbedingungen mit einem ersten Befall der Zuckerrüben mit *H. schachtii* ab 6°C Bodentemperatur (ca. Anfang April) zu rechnen. Zu dieser Zeit seien die Tiere aber noch sehr träge und vermutlich kaum in der Lage, die Wirtspflanze nennenswert zu parasitieren. Weiterhin erwartete BAUNACKE (1922), dass ab 10°C Bodentemperatur (ca. Mitte Mai) bereits geschlüpfte Juvenile die Zysten verlassen und den Befallsdruck erhöhen. Über die folgenden Wochen seien die Entwicklungsbedingungen für *H. schachtii* ideal, so dass sich bis zur Ernte der Zuckerrübe 2 bis 4 Generationen bilden könnten. KÄMPFE (1962) berichtete, dass das Temperaturoptimum für verschiedene Entwicklungsstadien des Nematoden unterschiedlich sei. So liege die op-

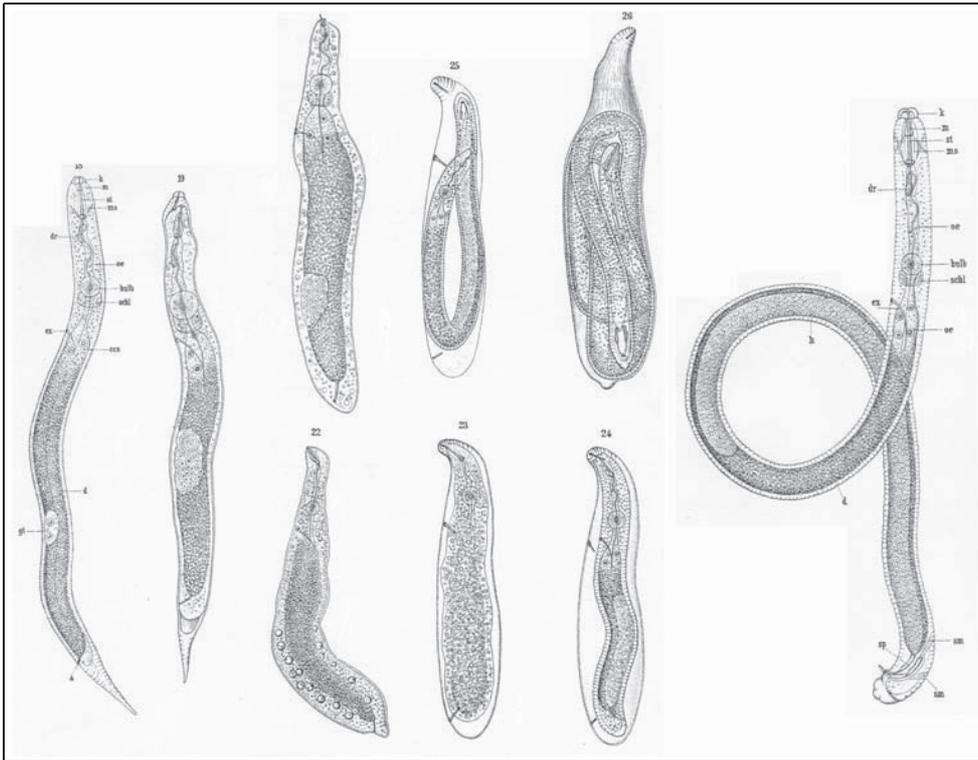


Abb. 5. Entwicklungsstadien von *Heterodera schachtii* nach STRUBELL (1886). Von links nach rechts: Zweites bis viertes Juvenilstadium (obere Reihe: Männchen, untere Reihe: Weibchen) und Männchen (Quelle: STRUBELL, A., 1888: Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung des Rüben nematoden *Heterodera schachtii*. Bibliotheca Zoologica 2, 1-52).

timale Temperatur für den Schlupf der Juvenilen aus dem Ei sowie deren Einwanderung in die Wurzel bei 20-25°C, während die optimale Temperatur für das Verlassen der Zysten und die Wirtsfindung bei deutlich niedrigeren Temperaturen liegt. Erste Reaktionen von Zuckerrüben auf Befall können ab Ende Mai beobachtet werden und erste Weibchen treten erfahrungsgemäß bereits Anfang Juni auf.

Ähnlich den niedrigen Temperaturen wirken sich auch sehr hohe Temperaturen negativ auf die Aktivität von *H. schachtii* aus. Laut BAUNACKE (1922) liegt die maximale Temperatur für den Schlupf der Juvenilen aus den Eiern bei 35,5°C und für das Auswandern aus den Zysten bei 36°C. Temperaturen über 48°C führten zum Tod der Juvenilen. Ein Abtöten des Zysteninhaltes erforderte geringfügig höhere Temperaturen: 51°C nach BAUNACKE (1922), 52°C nach HOLLRUNG (in BAUNACKE, 1922) bzw. 55°C nach FUCHS (1911).

Auch heute ist die Frage nach der Ausbreitung von *H. schachtii* im Boden nur unbefriedigend geklärt. Nach KÜHN's Beobachtungen (1881) kann die **horizontale Ausbreitung** einer Generation von *H. schachtii* bis zu 18 m betragen. Dem hielt FUCHS (1911) entgegen, dass Juvenile unter optimalen Bedingungen maximal eine Strecke von 3 m in zwei Wochen schaffen und danach ihre Energievorräte weitestgehend aufgebraucht haben. Zu vergleichbaren Schlussfolgerungen kam auch BAUNACKE (1922) mit seinen Versuchen in Pflanzkästen, wonach die Juvenilen 2,4 m in 8 bis 9 Tagen zurücklegten. MÜLLER und MOLZ (1914) stellten in ihren Versuchen gar nur eine Wanderung der Juvenilen von 56 cm in drei Monaten fest. Zur Messung der **vertikalen Ausbreitung** von *H.*

schachtii füllte BAUNACKE (1922) 1 m lange Kanalisationsröhren mit verschiedenen sterilisierten Substraten wie Rübenerde, Sand und Lehm und stellte sie hochkant auf nematodenverseuchte Erde. Die Röhren wurden sodann mit Rüben bepflanzt. Trotz des teils fest eingestampften Lehms hatten die Juvenilen in allen Fällen innerhalb von 14 Tagen die Rübenwurzeln in den obersten 10 cm befallen. Für BAUNACKE (1922) war dies, neben anderen Versuchen, ein Hinweis dafür, dass die Juvenilen gezielt von Wurzelexsudaten angelockt würden. Ergänzend bemerkte BAUNACKE (1922), dass dieser Reiz zwar den Schlupf und die Anlockung der Juvenilen fördere, nicht aber die Entwicklung des Embryos im Ei. Zudem übten die besten Wirtspflanzen den stärksten Schlupf- und Anlockungsreiz aus. Nach BAUNACKE (1922) lasse dieser Schlupf- und Anlockungsreiz aber mit zunehmender Parasitierung nach, so dass ein „Überbefall“, der die Wirtspflanze vernichten würde, nicht erfolgt. Dem widersprechen jedoch spätere Untersuchungen, die zeigen, dass Zuckerrüben bei extrem hohen Besatzdichten sehr wohl absterben können.

Wirtsspektrum

Angesichts der enormen wirtschaftlichen Bedeutung von *H. schachtii* für den Rübenanbau spielte die Frage nach dem Wirtspflanzenspektrum von *H. schachtii* von Beginn an eine ganz zentrale Rolle, da vor allem im Anbau von Nicht-Wirtspflanzen eine wirkungsvolle Bekämpfung dieses bedeutenden Schaderregers gesehen wurde. KÜHN (1881) untersuchte 180 Pflanzenarten aus 35 Familien

auf ihre Wirtseignung für *H. schachtii*, darunter auch verschiedene Unkräuter. An 21 Pflanzenarten beobachtete er den Rübenzystennematoden, darunter 16 Arten aus den beiden Familien Brassicaceae und Chenopodiaceae. Darüber hinaus fand KÜHN (1881), wie er fälschlicherweise meinte, *H. schachtii* auch an Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und der Großen Platterbse (*Lathyrus cicera*). Weitere Wirtspflanzenarten wurden von HOLLRUNG (1890) und vor allem von VANHA und STOKLASA (1896) beschrieben. Letztere listeten 40 Wirtspflanzenarten, darunter vor allem Arten aus den Familien Cruciferae (= Brassicaceae) und Chenopodiaceae, aber auch Arten aus den Familien Gramineae (= Poaceae) und Papilionaceae (= Fabaceae) sowie verschiedene Unkrautarten (z. B. Kornrade, Vogelmiere). Unter den ebenfalls erwähnten 167 Nicht-Wirtspflanzenarten befanden sich vor allem Arten aus den Familien Compositae (= Asteraceae), Umbelliferae (= Apiaceae), Solanaceae, Papilionaceae und Gramineae, sowie weitere 66 Arten aus verschiedensten Pflanzenfamilien. Heute wissen wir, dass *H. schachtii* weder Arten der Fabaceae noch Arten der Poaceae befällt, das dies aber sehr wohl andere der für Deutschland insgesamt nachgewiesenen 23 *Heterodera*-Arten können (STURHAN, 2006). Man sollte jedoch nicht vergessen, dass die Artbestimmung pflanzenparasitärer Nematoden Ende des 19. Jahrhunderts noch in den Anfängen steckte und vor *Heterodera schachtii* lediglich *Anguina tritici* (STEINBUCH 1799) FILIPJEV 1936, *A. agrostis* (STEINBUCH 1799) FILIPJEV 1936, *A. graminis* (HARDY 1850) FILIPJEV 1936 und *Ditylenchus dipsaci* KÜHN 1857 beschrieben wurden.

Da sich die an verschiedenen Pflanzenarten auftretenden Heteroderiden morphologisch sehr ähnlich sahen, ging man zunächst von nur einer Art aus. So wurde unbewusst teils mit reinen Populationen von *H. schachtii* und teils mit Mischpopulationen von *H. schachtii* mit anderen *Heterodera*-Arten gearbeitet. Dies erklärt auch die unterschiedlichen Aussagen zum Wirtspflanzenspektrum von *H. schachtii*, auf das sich die Forscher lange Jahre keinen Reim machen konnten. Besonders lange dauerte die Differenzierung von *H. schachtii* und *H. avenae*. Julius Kühn und andere Forscher beobachteten an Hafer, Gerste und Weizen Zysten, die mit denen an Zuckerrübe scheinbar identisch waren (KÜHN, 1874; SCHMIDT, 1930) und entsprechend *H. schachtii* zugeordnet wurden. KÜHN (1874) berichtete sogar von einer Übertragbarkeit des Rübenzystennematoden von Zuckerrüben auf Hafer. Erst WOLLENWEBER, (1924) erkannte, dass es sich bei den an Zuckerrüben bzw. Hafer parasitierenden Zystennematoden um unterschiedliche Rassen bzw. Arten handeln musste und bezeichnete die Haferrasse als *H. schachtii* var. *avenae*. In parallelen Forschungen differenzierte SCHMIDT (1930, 1931), dem die Arbeiten Wollenwebers vermutlich nicht bekannt waren, die Rübenrasse (*H. schachtii minor*) von der Haferrasse (*H. schachtii major*) basierend auf Unterschiede in der Länge der Juvenilen (0,47 mm vs. 0,57 mm), dem Wirtspflanzenkreis (Chenopodiaceen und Kruziferen vs. Gramineen) und der Anzahl Generationen pro Jahr (2-3 vs. 1 Generation). Paral-

lel durchgeführte Arbeiten von GOFFART (1930) bestätigten diese Unterschiede. Auch wenn zu diesem Zeitpunkt klar war, dass es sich um zwei unabhängige Arten handelte, dauerte es weitere 29 Jahre bis die International Commission on Zoological Nomenclature 1959 dem Vorschlag von Franklin, Thorne und Oostenbrink folgte und den Haferzystennematoden als eigenständige Art *Heterodera avenae* WOLLENWEBER, 1924 einstuft. Somit fanden fast 90 Jahre nach Kühn's Versuchen zum Wirtspflanzenspektrum die Diskussionen zur Rassenfrage bei *H. schachtii* ein Ende. Auch heute noch stellen Mischpopulationen von Zystennematodenarten eine Herausforderung für die Diagnostik dar.

Bekämpfung

Als *H. schachtii* 1871 beschrieben wurde, arbeitete Julius KÜHN bereits an der Entwicklung von Bekämpfungsmaßnahmen für *H. schachtii* und entwickelte Methoden zur Durchführung entsprechender Feldversuche (KÜHN, 1871a). Das sicherste sei es nach KÜHN (1871b, c), Rüben auf dem gleichen Feld für mehrere Jahre nicht anzubauen. Wie lange diese **Anbaupause** sein sollte, sagte er aber nicht; dies machten andere Forscher. LIEBSCHER, (1879) hielt bei alljährlichem unkrautfreiem Anbau von Gerste wenigstens sechs bis acht Jahre zur Beseitigung der Rübenmüdigkeit für erforderlich. Hellriegel (in BAUNACKE, 1922) fand bereits nach fünf Jahren in vegetationslosem Boden kein *H. schachtii*. Dem widersprach FUCHS (1911), der nach 5 Jahren Schwarzbrache noch Zysten mit lebensfähigem Inhalt fand. Über die Jahre zeigte sich in der Praxis, dass ein Anteil von 20-25 % Zuckerrüben bzw. anderer Wirtspflanzen in der Fruchtfolge ein Kompromiss zwischen wirtschaftlichem Anbau und Prävention von schädigenden Besatzdichten von *H. schachtii* darstelle; dies entspricht einer Anbaupause von 3 bis 4 Jahren (RADEMACHER, 1934).

Bereits WILFARTH (1900) beobachtete, dass selbst in stark verseuchten Böden einzelne Rübenpflanzen völlig frei von Nematoden waren bzw. trotz Befall keinen Schaden nahmen und in Form, Größe und Zuckergehalt sich wie unbedingte Rüben entwickelten. Er empfahl, solch **resistente bzw. tolerante Zuckerrüben** zu selektieren. Aber es dauerte fast 100 Jahre, bis die ersten resistenten Zuckerrübensorten auf den Markt kamen, kurz darauf folgten die ersten toleranten Sorten.

Die heute oft diskutierte Bedeutung von **Raps in Rübenfruchtfolgen** auf die Vermehrung von *H. schachtii* behandelte schon RADEMACHER (1934), wenn auch eher theoretisch. Er ging seinerzeit davon aus, dass sich nach Aussaat des Rapses in jedem Falle noch eine Generation von *H. schachtii* im Herbst entwickeln könne, sowie 1 bis 2 weitere Generationen im darauf folgenden Frühjahr/Sommer. Im Gegensatz zu Zuckerrüben werde der Raps aber kaum geschädigt, da er eine deutlich höhere Toleranz für *H. schachtii* besäße. So könne der Raps näher an das Zuckerrübenjahr gestellt werden, nicht aber die Rübe näher an den Raps. In der heutigen Praxis er-

folgt die Aussaat von Winterraps je nach Region zwischen Ende August und Anfang September. In dieser Zeit sinkt die Bodentemperatur unter 18°C und der Schlupf der Juvenilen geht zurück. GOFFART (1944) konnte bei Aussaatterminen bis Anfang September noch eine Entwicklung der Tiere bis zur Zyste feststellen, bei späteren Aussaatterminen jedoch nicht mehr. Insgesamt wird von einem geringen Vermehrungspotential unter der Kulturfrucht Raps ausgegangen. Ganz anders sieht es beim Ausfallraps aus. Der während der Ernte unvermeidlich auftretende Ausfallraps läuft je nach Witterung in sehr hohen Dichten und in zeitlich versetzten Wellen auf. In dieser Zeit sind die Entwicklungsbedingungen für *H. schachtii* ideal, so dass es zu einer starken Vermehrung des Nematoden kommt, falls keine Bekämpfung des Ausfallrapses erfolgt.

Da Fruchtfolgemaßnahmen und Anbaupause in den frühen Jahren nicht immer zu den gewünschten Bekämpfungserfolgen von *H. schachtii* führten, entwickelte Julius Kühn das sogenannte **Fangpflanzen-Verfahren**. Dessen Prinzip beruhte darauf, die „Würmer durch geeignete Nährpflanzen gleichsam einzufangen, um sie dann durch Zerstörung derselben zu vernichten“ (KÜHN, 1891). Heute stellt das Fangpflanzen-Verfahren in seiner weiterentwickelten Form der resistenten Zwischenfrüchte eines der bedeutendsten Verfahren zur Bekämpfung des Rübenzystenematoden dar. Seinerzeit experimentierte Kühn mit einer Vielzahl von Pflanzenarten inklusive Rübren, Raps, Kohlrübe, Blattkohl, Kohlrabi, Blumenkohl, Weißer Senf, Gartenkresse, Ölrettich und Spinat (KÜHN, 1881, 1882, 1886). Für eine gute Bekämpfung von *H. schachtii* empfahl er den dreimaligen Anbau einer Fangpflanze in der warmen Jahreszeit zwischen Mai und September, wobei für eine optimale Wirkung die erste Kultur Kohl sein sollte und die beiden folgenden Kulturen Sommerrübren. Die Pflanzen müssten im Frühjahr 33 bis 35 Tage nach dem Auflaufen zerstört werden, im Sommer 25 Tage nach dem Auflaufen. Zunächst empfahl Kühn, die Pflanzen mit Wurzeln aus dem Boden zu entnehmen, diese zu kompostieren und dann als Dünger auf Grünland zu geben. Später stellte er fest, dass sich die Juvenilen nach Zerstörung der Pflanze maximal 10 Tage weiter entwickeln konnten, bevor sie abstarben (KÜHN, 1881). Geschieht die Zerstörung der Fangpflanze in den oben genannten Zeiträumen, könnten seiner Ansicht nach die Pflanzenreste als Dünger auf dem Feld verbleiben. Entscheidend für die Wirkung des Fangpflanzen-Verfahrens ist die sorgfältige Zerstörung der Pflanzen. HOLLRUNG (1890) verwies in diesem Zusammenhang auf den Einsatz des Grubbers, der die Ackerkrume durcharbeite und die Rübrenwurzeln von der Erde trenne. Die Bildung von Erdklumpen sollte vermieden werden, da die darin befindlichen Wurzeln intakt blieben und damit zur Verzögerung oder sogar Verhinderung des Absterbens von *H. schachtii* in den Wurzeln führen könne. Konsequenterweise durchgeführt, konnte mit dem Fangpflanzen-Verfahren eine gute Bekämpfung von *H. schachtii* erzielt werden. So wurden in den Fangpflanzen der dritten Aussaat innerhalb eines Jahres meist nur noch vereinzelt Juvenile ge-

funden. Die Rübren im Folgejahr zeigten in der Regel Erträge vergleichbar denen auf befallsfreien Flächen. Eine völlige Entleerung der Zysten im Boden war mit diesem Verfahren aber nicht möglich.

Für BAUNACKE (1922) war das Fangpflanzen-Verfahren wenig praktikabel, da der Termin für die Zerstörung der Wirtspflanzen in der Praxis nur schwer einzuhalten sei. Nach seiner Meinung solle die Bekämpfung von *H. schachtii* auf die Vernichtung der Zysten im Boden abzielen. Da sich diese bis in 1 m Bodentiefe befänden, sei eine direkte Bekämpfung nicht möglich. Seine Strategie war, den Zysteninhalt zum Schlupf anzuregen und den Juvenilen dann keine Entwicklungsmöglichkeiten zu geben. Er entwickelte das sogenannte **Aktivierungsverfahren**, dass die „Einsaat der bevorzugten Wirtspflanze als Reizpflanze (nicht als Fangpflanze) zu einer Zeit, ..., zu der auch die sonstigen äußeren Faktoren (Bodentemperatur und -feuchtigkeit) der Entwicklung des Parasiten günstig sind“ vorsah (BAUNACKE, 1922). Etwa acht Tage nach dem Auflaufen solle die Kultur flach untergepflügt werden. Eine Wiederholung dieses Verfahrens sei aber zwecklos, da die zweite Saat rasch durch die bei der ersten Aussaat aktivierten Juvenilen befallen werde und damit ihre Reizwirkung verliere. Viel sinnvoller war es nach BAUNACKE (1922) deshalb, das Aktivierungsverfahren mit einer Ammoniakbehandlung zu kombinieren, um die aktivierten Tiere sicher abzutöten.

Anfangs dachte man noch, die Nematoden durch **Vergraben** in tiefe Bodenschichten bekämpfen zu können. So empfahl KÜHN (1871a, 1881) das Spatpflügen, eine Kombination von 2 x Pflug und 1 x Spaten, womit man den oberen Boden in 50 cm Tiefe brachte. Hierzu waren 10 bis 12 Mann pro Morgen und Tag (ca. 0,25 ha) nötig, die KÜHN (1871a) für berechtigt ansah: „Ich höre schon eine ganze Fülle von Einwendungen! – aber es handelt sich um die Bekämpfung eines argen Feindes der Rübrenkultur“. Ein Ausstreuen 90 cm tiefer Gräben mit **Ätzkalk** sollte nach KÜHN (1880) das Übergreifen von *H. schachtii* auf Nachbarflächen vermeiden. Ätzkalk empfahl KÜHN (1880) auch zur Desinfektion der in den Fabriken anfallenden Rübrenanhang- und Abfallerden. Der Ätzkalk sollte vor der Kompostierung im Verhältnis von 1:4 der Rübrenerde zugesetzt werden und der so gewonnene Dünger dann ausschließlich auf Wiesen verwendet werden. Ein weiteres Verfahren war das **Brennen** des Bodens mittels Presssteinen aus Braunkohle (KÜHN, 1877). Die Braunkohlebriketts wurden auf dem Feld bis zu einer Höhe von 50 cm geschichtet und angezündet. Es zeigte sich jedoch, dass die gebildete Hitze nicht tief genug in den Boden eindrang und die Wirkung gegen *H. schachtii* angesichts der extrem hohen Kosten völlig unbefriedigend war.

Auch erste Ansätze zur **Biologischen Bekämpfung** findet man bei KÜHN (1877): „Bei Bekämpfung der zahlreichen thierischen Parasiten, welche unsere Kulturpflanzen schädigen, haben wir eine nicht zu unterschätzende Stütze in den natürlichen Feinden dieser Parasiten“.

Er beobachtete in zahlreichen Weibchen einen Fadenpilz, an dessen Myzel kleine ungefärbte Konidien saßen.

Weiterhin beobachtete er große, runde, braune Sporen in den Weibchen. Wo dieser Pilz auftrat, waren Eier und Embryonen vollständig parasitiert. KÜHN vermutete zwar, dass es sich bei diesem Pilz um eine neue Gattung handelte, doch stellte er ihn vorläufig in die ihm am nächsten erscheinende Gattung und nannte ihn *Tarychium auxiliarum* (= *Catenaria auxiliaris* (KÜHN) TRIBE 1977). HOLLRUNG (1890) erwähnte Beobachtungen des Wissenschaftlers Zopf über den räuberischen Pilz *Arthrobotrys oligospora* und ersten Bestrebungen, den Pilz in Fabriken massenhaft zu produzieren und dann in der Praxis auszubringen. Doch ist nach HOLLRUNG (1890) ein Einsatz von *A. oligospora* zur Bekämpfung von *H. schachtii* in der Praxis wenig sinnvoll, da der Preis zu hoch sei, die Verteilung der Sporen im Boden zu schwierig, und die Wirkung zu wechselhaft. Entgegen der Meinung von Kühn, der den Pilzparasiten eine große Bedeutung bei der Bekämpfung von *H. schachtii* zugestand, gingen RADEMACHER und SCHMIDT (1933) davon aus, dass diese für die Bekämpfung von *H. schachtii* genauso wenig bedeutsam seien wie räuberische Nematoden.

Als KÜHN 1877 Versuche zur **chemischen Bekämpfung** von pflanzenparasitären Nematoden durchführte, war er seiner Zeit weit voraus. Pflanzenschutzmittel mit speziell nematiziden Eigenschaften waren noch nicht bekannt und die von KÜHN eingesetzten Mittel aus der Reblausbekämpfung (z. B. Carbolsäure, Schwefelkohlenstoff etc.) zeigten keine ausreichende Wirkung gegen *H. schachtii*, zumindest nicht mit wirtschaftlich zu rechtfertigenden Aufwandmengen. Auch sulfocarbonsaurer Kali und xanthogensaure Alkalien, die bei ihrer Zersetzung Schwefelkohlenstoff abgaben und auch in der Kultur appliziert werden konnten, schränkten das Auftreten von *H. schachtii* nicht wesentlich ein. Für den Einsatz von **Schwefelkohlenstoff** setzte sich jedoch HOLLRUNG (1890) ein. Er empfahl, Bohrlöcher von 20 cm Tiefe in 50 cm Abstand mit 80 ml (= 100 g) Schwefelkohlenstoff zu befüllen, diese mit Erde zu verschließen und anschließend gut zu beregnen, so dass die leichtflüchtigen Schwefelkohlenstoffgase möglichst lange im Boden gehalten würden. Die Wirkung wurde als gut beschrieben (WILFARTH et al. 1906 in BAUNACKE, 1922), doch verboten die hohen Kosten bei Aufwandmengen von 400 g/m² sowie die leichte Entzündlichkeit des Schwefelkohlenstoffs einen großflächigen Einsatz in der Praxis. Vergleichbares galt auch für die Applikation von **Kalziumsulfidlauge**, aus der im Boden zunächst nematizid wirkende schwefelige Säure entstehe und schließlich schwefelsaurer Kalk (BAUNACKE, 1922). In Frankreich bewährte sich der Einsatz von ammoniakalischem Gaswasser mit 1-4 % **Ammoniak** zur Bekämpfung von *H. schachtii*. Diesbezüglich mahnte STIFT (1912) jedoch zur Vorsicht, da rohes Gaswasser phytotoxisch sei und die Wirkung gegen *H. schachtii* nicht gewährleistet werden könne. Doch auch BAUNACKE (1922) setzte auf Ammoniak zur Bekämpfung von *H. schachtii*. Seine Untersuchungen zeigten, dass bereits eine 0,25 %ige Ammoniaklösung für pflanzenparasitäre Nematoden toxisch war. Andere Ammoniaksalze wie Ammoniumchlorid oder Ammoniumsulfatsalpeter

zeigten dagegen selbst als 5%ige Lösung keine gute Wirkung. Eine Wirkung ähnlich dem Ammoniak war allenfalls mit einer 0,8 %ige Lösung von **Formaldehyd** gegeben, doch lagen die Kosten hierbei etwa 20-mal höher. KÜHN (1881) experimentierte mit **Petroleum** zur Nematodenbekämpfung, doch verwarf er diese Möglichkeit schnell wieder, da das Petroleum die Keimkraft der Rüben zu sehr schädige. Ungeachtet dessen verwies Desaux noch 1891 (in VANHA und STOKLASA 1896) auf die Möglichkeit, *H. schachtii* mit Petroleum getränkten Lappen aus Maschinenwerkstätten zu bekämpfen.

Spätestens seit den ausführlichen Betrachtungen BAUNACKE'S (1922), dass *H. schachtii* von den Sekreten der Rübenwurzeln angelockt werde, fehlte es nicht an Versuchen, den Nematoden durch Applikation sogenannter **reizwirksamer Stoffe** zu bekämpfen (RENSCH, 1924, 1925a,b; NEBEL, 1926; MOLZ, 1928; RADEMACHER, 1930). In einem Übersichtsartikel fassten RADEMACHER und SCHMIDT (1933) die Ergebnisse der zwischen 1925 und 1930 im Schlupfversuch geprüften Stoffe zusammen: Darunter 320 chemische Stoffe von Acetamid bis Zimetsäure, 15 Drogen und 5 Pflanzenextrakte. So zeigten z. B. Anwendungen von 0,1 % Anis- oder Fenchelöl eine toxische Wirkung auf *H. schachtii*, Rosenöl eine neutrale Wirkung und Nelkenöl eine stimulierende Wirkung. Am besten schnitt Allylbromid ab, mit einer toxischen Wirkung bei 0,0001 %. Andere Stoffe, wie Allylsenföl, Phenylsenföl und Teertoluol wirkten noch bei 0,001 %. Allyl- und Phenylsenföle entstehen unter anderem als Abbauprodukte der in Brassicaceen enthaltenen Senfölglykosinolen und sind als solche heute von Bedeutung bei der Biofumigation, einem Verfahren, bei dem glukosinolat-haltige Brassicaceen zum Zeitpunkt der Blüte fein gehäckselt in den Boden eingearbeitet werden, um durch die dann entstehenden toxischen Isothiocyanate bodenbürtigen Schaderreger zurückzudrängen. Keiner dieser reizwirksamen Stoffe konnte sich jedoch in der Praxis durchsetzen. Die hohen erforderlichen Aufwandmengen zur Nematodenbekämpfung waren entweder phytotoxisch (3000 – 9000 l/ha Tieröl) oder zu teuer (200 – 1000 l/ha Allylsenföl). Auch fehlte es an entsprechenden Applikationsverfahren.

Max HOLLRUNG (1890) verwies auf die Möglichkeit, *H. schachtii* durch Einsatz von **Kochsalz** zu bekämpfen. Die Idee entwickelte sich aus der Feststellung von STRUBELL (1888), dass eine 3 %ige Kochsalzlösung die Eier und eine 5 %ige Kochsalzlösung die Juvenilen von *H. schachtii* abtöte. Die Untersuchungen VÖLKER'S (in HOLLRUNG, 1890) zeigten jedoch, dass bereits eine 0,1 %ige Kochsalzlösung den Boden vollkommen unfruchtbar machte. Auch die Idee einer Ausbringung des Kochsalzes im Herbst verbunden mit der Hoffnung, dass das Kochsalz über Winter durch die Niederschläge wieder ausgewaschen werde, wurde letztendlich verworfen, da für die Abtötung der in den Zysten geschützten Eier und Juvenilen vermutlich höhere Konzentration als die zuvor genannten erforderlich wären und ein Auswaschen des Kochsalzes allenfalls auf gut drainierten Böden bei ausreichend hohen Niederschlägen vorstellbar war. Somit

stellte für HOLLRUNG (1890) die Verwendung von Kochsalz als Nematizid ein höchst gewagtes Unternehmen dar.

Mitte des 20. Jahrhunderts kam auch die Idee auf, *H. schachtii* mit **Zucker** zu bekämpfen. Das Prinzip basierte wie bei Kochsalz auf einer Veränderung des osmotischen Wertes in der Bodenlösung, so dass der Nematode degenerierte. Nach WALLACE (1956) verhindern Konzentrationen von 3-4 mol Rohrzucker den Schlupf von *H. schachtii* und nach KÄMPFE (1962) führten Rohrzuckerlösungen von 0,25-2 mol bereits zu mehr oder weniger starken Körperveränderungen an *H. schachtii*. FEDER (1960) wiederum zeigte, dass ein Zusatz von 1-5 % Zucker zum Boden den Nematoden innerhalb von 24 Stunden tötete. Auch GOFFART und WEISCHER (1963) beobachteten bei Aufwandmengen von 1 mol Zucker zum Boden einen Rückgang des Nematodenbesatzes, doch zeigten sie zugleich, dass ein solches Verfahren technisch und wirtschaftlich nicht praktikabel war. Bei einer Behandlungstiefe von 20 cm wären 70 t/ha Zucker erforderlich um unter günstigsten Bedingungen eine Reduzierung des Nematodenbesatzes erwarten zu können. Aber auch aus anderen Gründen lehnten die Autoren dieses Verfahren ab. So weiß man bis heute nichts über die Wirkung dieser Zuckermengen auf die Bodenstruktur sowie den Einfluss des veränderten C:N-Verhältnisses für die Bodenmikrobiologie. Nach GOFFART und WEISCHER (1963) könne die Verwendung von Zucker zur Nematodenbekämpfung in der Praxis jedenfalls nicht empfohlen werden.

Blick in die Zukunft

Will man Aussagen für die Zukunft treffen, ist ein Blick in die Vergangenheit meist recht hilfreich. So schätzte BAUNACKE (1922) 60 Jahre nach der Entdeckung von *H. schachtii* das Rübenneematodenproblem wie folgt ein: „Es ist aber in allen beteiligten Kreisen bekannt, daß diese Frage trotz aller im Laufe jener Jahre darauf verwandten beträchtlichen pekuniären Mittel, trotz aller Mühe und Zeit, die hervorragende Sachverständige ihr gewidmet haben, noch immer einer praktischen Lösung harret.“ Vor 50 Jahren zum 100jährigen Jubiläum von *H. schachtii* schrieb GOFFART (1995): „Heute hat das Rübenneematodenproblem in Europa nicht mehr die praktische Bedeutung als ehemals. Wir haben es gelernt, mit dem Rübenneematoden zu wirtschaften und halten ihn hauptsächlich durch Fruchtfolgemassnahmen in Grenzen. Dennoch spielt *Heterodera schachtii* in der Nematologie, namentlich bei Untersuchungen über das Aktivierungs- und das Resistenzproblem, auch heute noch eine beachtliche Rolle“ (GOFFART 1957). Heute, 150 Jahre nach der Entdeckung von *H. schachtii*, ist der Rübenzystemnematode noch immer von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Bekämpfungsmöglichkeiten sind vielfältiger geworden und umfassen neben der klassischen Anbaupause und Fruchtfolgemassnahmen, zusätzlich den Einsatz von resistenten Zwischenfrüchten und seit neuestem den Anbau von resistenten und toleranten Zuckerrübensorten. Und den-

noch werden in der Praxis Schäden an Zuckerrüben durch *H. schachtii* beobachtet (WINDT, 2009). Wie ist dies zu erklären? Möglicherweise hat das Verbot chemischer Bekämpfungsverfahren Anfang der 1980er Jahre in den Folgejahren zu einem erneuten Populationsaufbau von *H. schachtii* geführt. Andererseits tragen auch die sich ständig ändernden Anbausysteme und -bedingungen wie z. B. Konzentrierung und Intensivierung des Rübenanbaus auf bestimmte Regionen oder die Ausfallrisikoproblematik beim Anbau von Raps in Rübenfruchtfolgen zu einer Vermehrung bzw. Erhaltung der Rübenzystemnematoden bei. Tolerante Sorten sichern zwar den Ertrag, führen aber auch zu einer Vermehrung von *H. schachtii*, wengleich in geringerem Maße als empfindliche Sorten. Milde Winter und trocken-warme Sommer als Folge des Klimawandels könnten eine Zunahme der Anzahl Generationen pro Jahr bedingen. Zunehmend treten Herbizid-tolerante Unkräuter in Zuckerrüben auf, darunter auch Wirtspflanzen für *H. schachtii* (z. B. Hederich, Ackersenf, Vogelmiere). All diese Faktoren werden mit Sicherheit dafür sorgen, dass auch in Zukunft ausreichend Forschungsbedarf zum Rübenzystemnematoden besteht.

Literatur

- BAUNACKE, W., 1922: Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung des Rübenneematoden *Heterodera schachtii* Schmidt. Arb. Biol. Reichsanst. Land- und Forstwirtschaft. **11**, 185-288.
- FEDER, W.A., 1960: Osmotic destruction of plant parasitic and saprophytic nematodes by the addition of sugars to soil. Anatomical Record **138**, 347-348.
- FUCHS, O., 1911: Beiträge zur Biologie der Rübenneematoden *Heterodera schachtii*. Z. f. d. landw. Versuchswesen in Österreich **14**, 923-949.
- GOFFART, H., 1930: Rassenstudien an *Heterodera schachtii*. Arb. Biol. Reichsanst. Land- und Forstw. **18**, 83-100.
- GOFFART, H., 1932: Untersuchungen am Hafernematoden *Heterodera schachtii* Schmidt unter besonderer Berücksichtigung der schleswig-holsteinischen Verhältnisse I. III. Beitrag zu: Rassenstudien an *Heterodera schachtii* Schm. Arb. Biol. Reichsanst. Land- und Forstw. **20**, 1-26.
- GOFFART, H., 1936: *Heterodera schachtii* Schmidt an gemeiner Hanfnessel (*Galeopsis tetrahit* L.) und an Kakteen. Z. Parasitenkunde **8**, 528-532.
- GOFFART, H., 1944: Beobachtungen über das Auftreten von *Heterodera schachtii* an Klee. Z. Pflanzenkrankh. **54**, 12-18.
- GOFFART, H., 1947: Das Auftreten von *Heterodera schachtii* an Kreuzblütlern, namentlich an Raps und Rüben. Landwirtschaftliche Jahrbücher **93**, 792-809.
- GOFFART, H., 1959: 100 Jahre *Heterodera schachtii*. Nematologica **4**, 89-90.
- GOFFART, H., B. WEISCHER, 1963: Nematodenbekämpfung mit Zucker? Anz. Schädlingsk. **36**, 57-60.
- HOLLRUNG, M., 1890: Die Hallesche Versuchsstation für Nematodenverteilung. Z. Ver. Rübenzuckerind. Dtsch. Reiches **40**, 140-149.
- KÄMPFE, L., 1962: Vergleichende Untersuchungen zur Autökologie von *Heterodera rostochiensis* Wollenweber und *Heterodera schachtii* Schmidt sowie einiger anderer Nematodenarten abweichender Lebensstätten. Parasitologische Schriftenreihe **14**, 1-205.
- KÜHN, J., 1871a: Versuche zur Bekämpfung der Rüben-Nematoden. Z. Landw. Central-Ver. Provinz Sachsen **28**, 97-100.
- KÜHN, J., 1871b: Ueber den Rüben-Nematoden (*Heterodera schachtii* A.S.). Z. Ver. Rübenzuckerind. Dtsch. Reiches **21**, 1-19.
- KÜHN, J., 1871c: Die Rüben-Nematode. Ver. Rübenzuckerind. Dtsch. Reiches **21**, 20-24.
- KÜHN, J., 1874: Über das Vorkommen von Rübenneematoden an den Wurzeln der Halmfrüchte. Landw. Jahrbücher **3**, 47-50.
- KÜHN, J., 1877: Über die Ursache der Rübenmüdigkeit des Bodens und die Erforschung der Natur der Nematoden. Z. Verein Rübenzuckerind. Dtsch. Reiches **27**, 452-457.

- KÜHN, J., 1880: Ätzkalk. Z. Verein Rübenzuckerind. Dtsch. Reiches **27**, 452-457.
- KÜHN, J., 1881: Die Ergebnisse der Versuch zur Ermittlung der Ursache der Rübenmüdigkeit und zur Erforschung der Natur der Nematoden. Ber. Physiol. Labor. Univ. Halle **3**, 1-153.
- KÜHN, J., 1882: Die Wirksamkeit der Nematoden-Fangpflanzen nach den Versuchsergebnissen des Jahres 1881. Ber. Physiol. Labor. Univ. Halle **4**, 1-14.
- KÜHN, J., 1886: Bericht über weitere Versuche mit Nematoden-Fangpflanzen. Ber. Physiol. Labor. Univ. Halle **6**, 163-175.
- KÜHN, J., 1891: Neuere Versuche zur Bekämpfung der Rübenmematoden. Zbl. Bakt., Abt.1, **9**, 563-566 und 593-597.
- LIEBSCHER, G., 1879: Ueber die Beziehungen der *Heterodera schachtii* zur Rübenmüdigkeit. Dissertation, Universität Halle.
- MARGGRAF, A.S., 1749: Expériences chimiques, faites dans le dessein de tirer un véritable sucre de diverses plantes, qui croissant dans nos contrées. Hist. Acad. Roy. Sci. et Belles Lettres. Berlin, 79-90.
- MOLZ, E., 1928: Reizphysiologische Untersuchungen zur Bekämpfung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii*. Fortschritte der Landw. **3**, 337-346.
- MÜLLER, H.C., E. MOLZ, 1914: Versuche zur Bekämpfung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii*. Z. Verein. Dtsch. Zuckerind. **64**, 959.
- MÜLLER, J., 1999: The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. Helminthologia **36**, 205-213.
- NEBEL, B., 1926: Ein Beitrag zur Physiologie des Rübenmematoden *Heterodera schachtii* vom Standpunkt der Bekämpfung. Kühn-Archiv **12**, 38-103.
- NEMEC, B., 1921: Über die Nematodenkrankheit der Zuckerrüben. Z. Pflanzenkrankh. **21**, 1-10.
- RADEMACHER, B., 1930: Reizphysiologische Beobachtungen an dem Rübenmematoden *Heterodera schachtii* Schmidt. Wiss. Arch. Landw. Abt. Pflanzenbau **5**, 750-787.
- RADEMACHER, B., 1934: Zur Nematodenfrage beim Anbau von Raps-Rüben als Haupt- und Zwischenfrucht in Rübenwirtschaften. Zuckerrübenbau **16**, 127-128.
- RADEMACHER, B., O. SCHMIDT, 1933: Die bisherigen Erfahrungen in der Bekämpfung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii* Schm. auf dem Wege der Reizbeeinflussung. Wiss. Arch. Landw. Abt. Pflanzenbau **10**, 237-296.
- RENSCH, B., 1924: Ein neue Methode zur Bekämpfung der Rübenmematoden. Mitt. d. deutsch. Landw. Gesellsch. **22**, 412-414.
- RENSCH, B., 1925a: Zur Frage der Nematodenbekämpfung. Zuckerrübenbau **7**, 24-32.
- RENSCH, B., 1925b: Zwei quantitative reizphysiologische Untersuchungsmethoden für Rübenmematoden. Z. wiss. Zool. **123**, 488-497.
- SCHACHT, H., 1859a: Über einige Feinde der Rübenfelder. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein **9**, 175-179.
- SCHACHT, H., 1859b: Über einige Feinde und Krankheiten der Zuckerrübe. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein **9**, 239-250.
- SCHACHT, H., 1962: Beobachtungen über die Zuckerrübe aus dem Jahr 1861. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein **12**, 97-129.
- SCHMIDT, A., 1871: Über den Rübenmematoden. Z. Ver. Rübenzuckerind. Zollverein **21**, 1-19.
- SCHMIDT, O., 1930: Sind Rüben- und Hafer-Nematoden identisch? Wiss. Arch. Landw. Abt. Pflanzenbau **3**, 420-464.
- SCHMIDT, O., 1931: Beiträge zur Rassenfrage bei *Heterodera schachtii*. Wiss. Arch. Landw. Abt. Pflanzenbau **7**, 147-168.
- STEUDEL, W., 1984: Pflanzenschutz im Rübenbau einst und jetzt – ein wissenschaftshistorischer Rückblick. In: Geschichte der Zuckerrübe – 200 Jahre Anbau und Züchtung. Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen, 67-82.
- STIFT, A., 1912: Zur Geschichte der Rübenmematoden. Z. Zuckerind. Landw. **41**, 417.
- STRUBELL, A., 1888: Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung des Rübenmematoden *Heterodera schachtii*. Bibliotheca Zoologica **2**, 1-52.
- STURHAN, D., 2006: Zystenbildende Nematoden und verwandte Heteroderiden in Deutschland. In Hallmann, J., B. Niere (Eds.): Aktuelle Beiträge zur Nematodenforschung. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstw. H. **404**, 18-30.
- VANHA, J., J. STOKLASA, 1896: Die Rüben-Nematoden. Berlin, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, 96 S.
- WALLACE, H.R., 1956: The emergence of larvae from cysts of the beet eelworm, *Heterodera schachtii* Schmidt, in aqueous solutions of organic and inorganic substances. Ann. Appl. Biol. **44**, 274-282.
- WILFARTH, H., 1900: Ein neuer Gesichtspunkt zur Bekämpfung der Nematoden. Z. Ver. Deut. Zuckerind. **50**, 195-204.
- WINDT, A., 2009: Ergebnisse des Nematoden-Monitorings bei Nordzucker. Zuckerrübe **58**, 20-22.
- WOLLENWEBER, H.W., 1924: Zur Kenntnis der Kartoffel-Heteroderen. Illustr. Landw. Z. **44**, 100-101.