Nematoden

Erkennen · Handeln · Erträge sichern

ZUKUNFT SÄEN
SEIT 1856

KWS

Inhaltsverzeichnis

6 Was sind Nematoden?

8 Rübenzystennematoden
Heterodera schachtii

8 Entdeckung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung

12 Symptome und Schadwirkung

17 Biologie des Rübenzystennematoden

17 – Entwicklungszyklus

21 – Epidemiologie

24 Vorkommen in deutschen Zuckerrübenanbaugebieten

26 Pf/Pi-Wert – Maßzahl für die Nematodenvermehrung

28 Bestimmung des Nematodenbesatzes

31 Auswertung der Bodenproben

33 Ansätze zur Nematodenbekämpfung

33 Chemische Bekämpfung

34 Physikalische Bekämpfung

34 Biologische Bekämpfung

35 Nematodenmanagement in der Fruchtfolge

35 Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte

41 Anbau von Raps und Rüben in einer Fruchtfolge

44 Sortenwahl

46 Was leistet die Züchtung?

47 Über mehrstufige Selektion zur Sorte

54 Methodischer Feldversuch Nematoden

60 Zusammenfassung und Ausblick

64 Nematoden mit regionaler Bedeutung

64 Rübenkopfälchen
Ditylenchus dipsaci

69 Wurzelgallennematoden
Meloidogyne spp.

72 Wandernde Wurzelnematoden
Trichodorus ssp., Paratrichodorus ssp., Longidorus ssp.

Entdecken Sie mehr!

In Ergänzung zu den fachlich aufbereiteten Inhalten in dieser Broschüre bieten wir Ihnen zusätzliche Informationen in Form von Videos.

Diese können Sie sich anschauen unter:
www.kws.de/nematoden

Das Beratungsvideo **Den Nematoden auf der Spur** zeigt Ihnen, wie sich ein Nematodenbefall im Feld erkennen lässt.

Im Beratungsvideo **Erdschwadbeprobung** zeigen wir Ihnen eine einfache Möglichkeit, Nematoden fachgerecht nachzuweisen.

Im Beratungsvideo **Nematodenmanagement in intensiven Zuckerrübenfruchtfolgen** werden Ihnen Möglichkeiten zur Kontrolle der Nematodenpopulation aufgezeigt.

Hilfreiche Online-Werkzeuge

Neben den Videoinhalten finden Sie in der Broschüre an verschiedenen Stellen Hinweise zu unseren CultiVent Werkzeugen für ein erfolgreiches Nematodenmanagement.

CultiVent ist die digitale Fachberatung der KWS und unter **www.kws-cultivent.de** zu erreichen.

Nematoden-Manager:
Mit dem Nematoden-Manager simulieren Sie die Vermehrungsintensität einer Nematodenpopulation in Ihrer Fruchtfolge.

Nematodengenerationen-Timer:
Der Nematodengenerationen-Timer gibt Ihnen Auskunft, wie viele Generationen von Nematoden sich im Jahr entwickeln konnten.

Ausfallraps-Timer:
Mithilfe des Ausfallraps-Timers kalkulieren Sie den Zeitpunkt zum Umbruch des Ausfallrapses, um ein Vermehren der Nematoden zu verhindern.

Was sind Nematoden?

Nematoden gehören zur vielfältigen biologischen Klasse der **Fadenwürmer**. Zumeist handelt es sich um relativ kleine weiße bis farblose fadenförmige Würmchen. Nematoden kommen fast überall vor. Sie haben sich weltweit an **verschiedenste Lebensräume** angepasst, sind dabei aber auf Feuchtigkeit angewiesen. Sie treten sowohl in Süß- als auch in Salzwasser, im Boden, in Pflanzen, in verrottender organischer Substanz oder als Parasiten an Tieren und Menschen auf. In ihrem Lebensraum bewegen sich Nematoden durch Schlängeln fort, weshalb sie auch **Älchen** genannt werden.

Von den etwa 20.000 bekannten Nematodenarten ernähren sich ca. 3.000 von Pflanzen. Etwa **100 Arten** sind bedeutende **Schädlinge an Kulturpflanzen**. Die pflanzenschädlichen endoparasitischen Arten sind im Mittel 1 mm lang. Sie befallen das Wurzelsystem der Wirtspflanzen und beeinträchtigen deren Stoffwechsel stark. Mit einem Mundstachel stechen sie Pflanzenzellen an, geben Speichel ab und induzieren damit ein Nährzellengewebe, aus dem sie Zellinhalt zur eigenen Ernährung aufnehmen.

Abb. 1: *Heterodera glycines* mit einem Ei, ein Parasit der Sojabohne

Die mit Abstand **größte wirtschaftliche Bedeutung** für den Zuckerrübenanbau hat der **Rübenzystennematode** *Heterodera schachtii.* Ihm ist der größte Teil dieser Fachbroschüre gewidmet. Nur regionale Bedeutung haben Rübenkopfälchen *(Ditylenchus dipsaci)*, Wurzelgallennematoden *(Meloidogyne spp.)* und Wandernde Wurzelnematoden *(Trichodorus ssp., Paratrichodorus ssp., Longidorus ssp.)*, die im zweiten Teil der Fachbroschüre behandelt werden.

Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*

Entdeckung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung

Der **Rübenzystennematode** (lat.: *Heterodera schachtii*; auch Weißes Rübenzystenälchen, Rübennematode) ist die **wichtigste Nematodenart** in allen deutschen und den meisten europäischen Zuckerrübenanbaugebieten.

Mitte des 19. Jahrhunderts kam es in Europa zu einer starken Ausdehnung des Zuckerrübenanbaus, da sich Rübenzucker als Süßungsmittel durchgesetzt hatte. In der Nähe der zahlreich entstandenen Zuckerfabriken wurden Rüben besonders intensiv angebaut, häufig nur Rübe nach Rübe. Wenige Jahre später gingen die Erträge stetig zurück, die Böden wurden „rübenmüde“ und der Rübenanbau kam in seinem Zentrum, dem heutigen Mitteldeutschland, fast zum Erliegen. Im Jahr 1859 entdeckte der Bonner Botaniker **Hermann Schacht** (Abb. 2) auf der Suche nach den Ursachen der **Rübenmüdigkeit** „kleine Würmchen“, die in den Rübenwurzeln parasitierten.

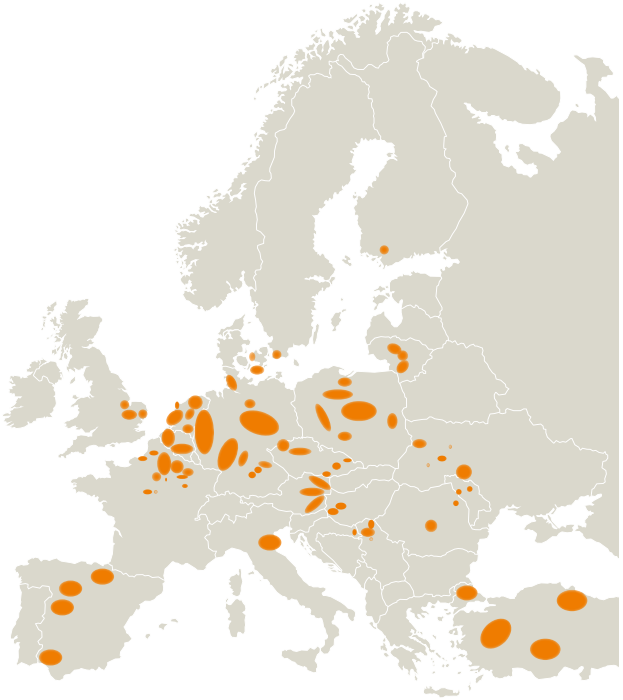
Zu Ehren Hermann Schachts benannte der Wissenschaftler Adolf Schmidt im Jahr 1871 den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*.

Abb. 2 und 3: Hermann Schacht (links) und Julius Kühn (rechts) haben sich bei der Erforschung des Rübenzystennematoden verdient gemacht

Wie groß das Schadpotenzial ist, zeigt die Schließung von 24 Zuckerfabriken im 19. Jahrhundert wegen Ertragsausfällen durch *Heterodera schachtii*. Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung stand von Beginn an die Entwicklung von Bekämpfungsmaßnahmen gegen den Rübenzystennematoden im Mittelpunkt der Forschungen.

Julius Kühn (Abb. 3) aus Halle empfahl bereits 1871 **Anbaupausen** als sicherste Lösung und entwickelte das sogenannte Fangpflanzenverfahren, das darauf beruht, die „Würmer durch geeignete Nährpflanzen gleichsam einzufangen, um sie dann durch Zerstörung derselben zu vernichten“ (KÜHN 1891). Dieses Verfahren wird in abgewandelter Form heute noch mit dem Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte angewendet.

Bekämpfungsstrategien waren damals und sind heute dringend gefragt, da ein starker Nematodenbefall den Rübenertrag halbieren kann. Wird ein Nematodenbefall nicht erkannt, stellt er häufig den ertragsbegrenzenden Faktor dar. Der in Europa, Asien, Nordafrika und Nordamerika sowie in Australien auftretende Schädling zählt zu den größten **Bedrohungen des Zuckerrübenanbaus**. In Deutschland kommen Rübenzystennematoden mittlerweile in allen Anbaugebieten vor und auch in Europa ist *Heterodera schachtii* weit verbreitet (Abb. 4).



Quelle: KWS SAAT SE, Agroservice International

Abb. 4: Verbreitung des Rübenzystennematoden in Europa

Symptome und Schadwirkung

Das Beratungsvideo **Den Nematoden auf der Spur** zeigt Ihnen, wie sich ein Nematodenbefall im Feld erkennen lässt.

Deutliche Symptome eines Nematodenbefalls an Zuckerrüben sind das **nesterweise** auftretende **Welken**, **Aufhellungen** des **Blattapparates** (Abb. 5 und 6) sowie Veränderungen am Rübenkörper. Nur in Ausnahmefällen kann ein Frühbefall mit Nematoden zum Absterben der Jungpflanze führen. Frühestens im Juni sind die klassischen Symptome eines Nematodenbefalls im Bestand zu beobachten, wobei nicht alle Symptome gleichzeitig auftreten müssen.

Abb. 5: Deutliche Symptome eines Nematodenbefalls an einer anfälligen Sorte. Typisch ist das nesterweise Auftreten im Zuckerrübenbestand

Abb. 6: Extreme Welke- und Vergilbungssymptome an einer anfälligen Zuckerrübensorte (rechts), daneben ohne Symptome eine nematodentolerante Zuckerrübensorte (links)

Bei einem mittleren bis starken Befall ist das typische Symptom, insbesondere bei stärkerer Sonneneinstrahlung, das nesterweise Welken der Zuckerrübenblätter. Während der Nachtstunden oder nach Niederschlägen erholen sich die Pflanzen in den Befallsnestern meist wieder. Nachwachsende Blätter besitzen eine deutlich verkleinerte Blattspreite. Stärker befallene Pflanzen zeigen Kümmerwuchs. Typisches Symptom eines starken Befalls ist eine verkürzte Hauptwurzel. Die Pflanze versucht die Schädigung durch Seitenwurzelbildung zu kompensieren. In extremen Fällen kommt es schließlich zur Verfilzung und Bildung des klassischen **Wurzelbartes** (Abb. 7 und 8). Meist bleiben die Symptome aber weniger eindeutig.

Die bisher beschriebenen Symptome können auch auf andere Ursachen wie Bodenverdichtungen, verminderte Wasser-, Sauerstoff- oder Nährstoffverfügbar-

keit hinweisen. Vor einigen Jahren bestand die größte Verwechslungsmöglichkeit mit den Symptomen, die durch die Viruserkrankung Rizomania (Viröse Wurzelbärtigkeit) verursacht wurden. In Deutschland sind zwar mittlerweile alle Zuckerrübensorten rizomaniatolerant, aber diese Verwechslungsmöglichkeit lässt sich trotzdem nicht ganz ausschließen, da vereinzelt Symptome durch Rizomania-Starkbefall im Feld zu beobachten sind.

Abb. 7: Wurzelbart

Das **eindeutige Symptom** eines Nematodenbefalls ist daher der Nachweis der stecknadelkopfgroßen weißen **Zysten** (Nematodenweibchen) an den Wurzeln (Abb. 8 und 9). Mit Voranschreiten des Entwicklungszyklus der Nematoden verfärben sich die weiblichen Zysten braun. Die weißen Weibchen sind bereits mit dem bloßen Auge zu sehen und lassen eine zweifelsfreie Diagnose zu.

Die braunen Zysten sind deutlich schwieriger zu erkennen. Diese optische Diagnose ist nicht immer

Abb. 8: Stecknadelkopfgroße Zysten an den Feinwurzeln

Abb. 9: Nahaufnahme der Zysten an einer Zuckerrübenwurzel

möglich, da zu Beginn des Entwicklungszyklus einer neuen Generation von *Heterodera schachtii* keine Zysten zu sehen sind oder Zysten Bodenpartikeln zum Verwechseln ähnlich sein können.

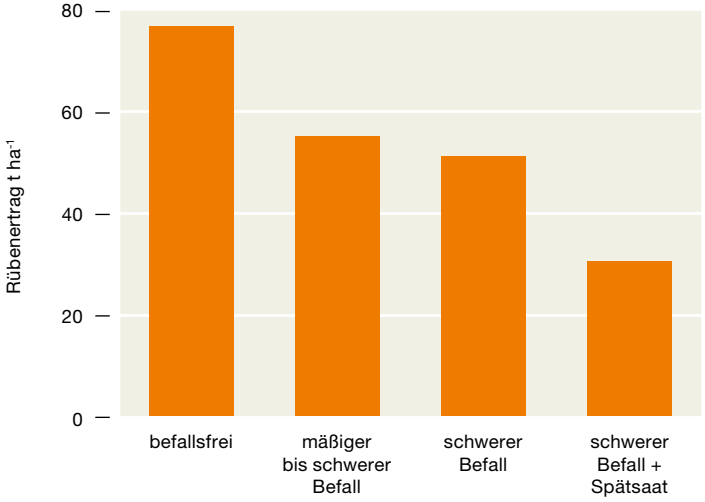
Ein latenter Befall mit Nematoden ist ungleich schwieriger zu erkennen. Ohne dass die klassischen Symptome sichtbar werden, kann bereits ein Ertragsverlust von 10 % entstanden sein.

Direkte Schäden entstehen durch die an den Faserwurzeln der Rübe parasitierenden Larven des Rübenzystennematoden. Die Nematodenlarven regen die Wurzeln zur Bildung eines Nährgewebes (Syncytium) an. Das Syncytium ernährt die Nematodenlarven auch während der folgenden Entwicklungsphasen.

Der Nematodenbefall schränkt die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Zuckerrübenpflanze erheblich ein.

Die Schädigungen äußern sich in erster Linie in Form von **Ertragseinbußen**. Ihre Höhe kann zwischen 5 und 45 % betragen (Abb. 10) und ist abhängig vom Nematodenbesatz im Boden, dem Aussaatzeitpunkt, dem damit verbundenen Zeitpunkt des Befalls der Zuckerrüben und von der Folgewitterung. Allgemein gilt: Je jünger die befallenen Pflanzen sind, desto höher sind die zu erwartenden Ertragseinbußen. Außerdem kann durch verstärkte Seiten- und Feinwurzelbildung der Erdanhang erhöht werden.

Die Qualität der Inhaltsstoffe der Zuckerrübe wird durch Nematoden kaum beeinflusst. Selbst bei schwerem Nematodenbefall kann ein Abfall des Zuckergehaltes oder ein Anstieg der Melassebildner (K, Na, α-Amino-N) meist nicht nachgewiesen werden. Somit bietet die Kontrolle der Qualitätsmitteilungen der Zuckerfabrik keine Möglichkeit, eine sich ausbreitende Verseuchung zu erkennen. Der Landwirt muss seinen Pflanzenbestand genau beobachten und Flächenerträge kontrollieren.



Quelle: KWS SAAT SE, eigene Versuche in Deutschland und Frankreich

Abb. 10: Rübenertrag anfälliger Sorten bei unterschiedlichen Nematodenbesätzen

Biologie des Rübenzystennematoden

Entwicklungszyklus

Das Überdauerungsorgan des Nematoden ist die Zyste. Sie ist etwa stecknadelkopfgroß und kann 200 bis 300, im Extremfall über 600 Eier und Larven enthalten (Abb. 11). Durch Anbau von **Wirtspflanzen**

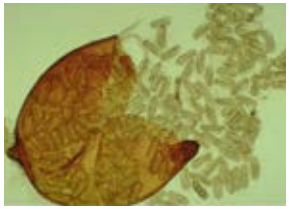
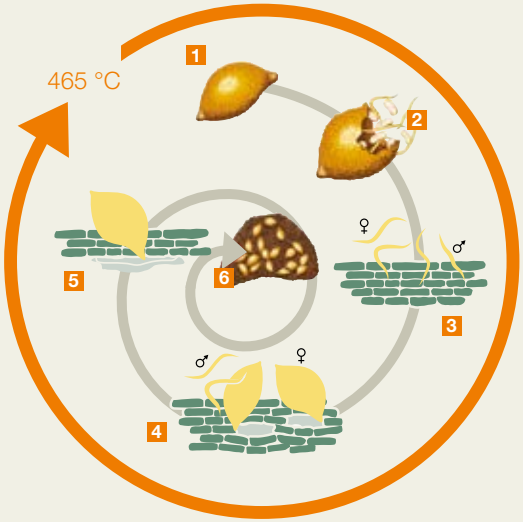


Abb. 11: Gequetschte Zyste mit Inhalt an Eiern und Larven

kommt es zu einer „Aktivierung“ der in der Zyste enthaltenen Larven. Wurzelausscheidungen üben einen **Schlupfreiz** auf die **Larven** aus, sodass diese die Zyste verlassen. Mithilfe seines Mundstachels dringt der Rübenzystennematode in das Wurzelsystem der Zuckerrübe ein. Er setzt sich nach kurzer Wanderung in der Wurzel fest, induziert die Bildung des Syncytiums und durchläuft zwei weitere Larvenstadien, bis er sich zu einem ausgewachsenen Männchen oder Weibchen entwickelt.

Die weißen Weibchen schwellen an, brechen mit dem Hinterende aus der Wurzel heraus, bleiben aber mit dem Kopf im Nährzellensystem verankert (Abb. 12). Sie sind ab diesem Entwicklungsstadium gut mit dem bloßen Auge an der Wurzel sichtbar (vgl. Abb. 8). Die Begattung erfolgt durch die freilebenden Männchen außerhalb der Wurzel. Anschließend reifen in jedem Weibchen im Mittel 250 bis 300 Eier heran. Das Weibchen stirbt ab, der zitronenförmige Körper färbt sich von weiß über hellbraun zur dunkelbraunen Zyste, die sich später von der Wurzel ablöst. In dieser derbwandigen Zyste bleiben die Eier und Larven über 10 Jahre lebensfähig.



1 Zysten überdauern im Boden
2 Wurzelausscheidungen der Zuckerrüben führen zum Schlupfreiz, Larven (♀♂) verlassen die Zysten
3 Larven (♀♂) dringen aktiv in das Wurzelgewebe ein
4 Optimale Ernährungsbedingungen für die Nematodenweibchen (♀) (vollständige Ausbildung von Nährzellengewebe in Wurzeln von Wirtspflanzen)
5 Nach der Befruchtung der Weibchen entstehen neue Zysten mit vielen neuen Eiern und Larven
6 Anzahl der Zysten im Boden hat sich vervielfacht

Abb. 12: Entwicklungszyklus von *Heterodera schachtii*

Die **Entwicklungsdauer einer Generation** von *Heterodera schachtii* ist stark witterungs- und temperaturabhängig. Aus Untersuchungen von CURI & ZMORAY (1965) geht hervor, dass für den Abschluss einer Generation von *Heterodera schachtii* eine Wärmesumme von 465 °C benötigt wird. Diese Summe wird ermittelt, indem täglich die Bodendurchschnittstemperaturen in 10 - 20 cm Tiefe und die Werte oberhalb der Basistemperatur 8 °C gemessen werden.

Beispiel:
Gemessene Bodendurchschnittstemperatur: 17 °C

Berechnung der Wärmesumme:

Bodendurchschnittstemperatur	*17 °C*
– Basistemperatur	*8 °C*
	= 9 °C

CULTIVENT KWS Farm Service

Der **Nematoden-generationen-Timer** gibt Ihnen Auskunft, wie viele Generationen von Nematoden sich im Jahr entwickeln konnten. **www.kws-cultivent.de**

Bei gleichbleibenden Bodendurchschnittstemperaturen von 17 °C wird in diesem Beispiel die Wärmesumme von 468 °C nach 52 Tagen (52 x 9 °C = 468 °C) erreicht. Ein Generationszyklus dauert in diesem Fall 52 Tage oder ca. 7,5 Wochen. Neue Erkenntnisse, die unter Laborbedingungen gewonnen wurden, zeigen, dass eine Generation bereits deutlich früher abgeschlossen werden kann.

Eine Generation konnte dort bereits **deutlich unterhalb von 400 °C Temperatursumme** durchlaufen werden. Unter mitteleuropäischen Verhältnissen können sich entsprechend zwei bis vier, unter besonders warmen Verhältnissen sogar fünf Generationen des Nematoden pro Jahr entwickeln. Neben der Temperatur nimmt auch die Bodenfeuchte (Tab. 1) entscheidenden Einfluss auf die jährliche Generationenzahl.

Tab. 1: Optimale Entwicklungsbedingungen des Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii*

Hohe Bodentemperatur	
mittlere Korngröße	150 - 250 µm
mittlere Bodenfeuchte	30 - 70 % nFK

nFK = nutzbare Feldkapazität

Epidemiologie

Die Wanderungsgeschwindigkeit des Rübenzystennematoden wird als relativ gering beschrieben. Laborversuche deuten darauf hin, dass zumindest kleinräumig und in der Vertikalen eine Mobilität vorhanden ist. In der Praxis bleibt eine stärkere Vermehrung meist auf Befallsnester innerhalb eines Pflanzenbestandes beschränkt. Eine aktive Ausbreitung von einem befallenen Schlag auf den nächsten ist praktisch nicht möglich.

Wichtiger für die Ausbreitung des Rübenzystennematoden ist das passive Verschleppen von Zysten oder Larven durch Erde an Bodenbearbeitungsgeräten und Erntemaschinen, an Schlepperreifen sowie Transportfahrzeugen. Auch Wind- und Wassererosion können die Verbreitung des Rübenzystennematoden fördern. Eine Verbreitung über das Rübensaatgut, insbesondere über aufbereitetes, pilliertes Saatgut, ist ausgeschlossen. Der Rübenzystennematode ist für seine Vermehrung nicht auf Zuckerrüben angewiesen. Er kann seinen Entwicklungszyklus an mehr als 200 Pflanzenarten aus über 90 Gattungen vollenden und hat damit ein **sehr breites Wirtspflanzenspektrum** (Tab. 2).

In den Familien der Gänsefußgewächse und Kreuzblütler finden sich besonders viele Wirtspflanzen, die entweder als Unkräuter oder als Kulturpflanzen einen wesentlichen Beitrag zur Vermehrung von Nematoden leisten können. Als Unkräuter mit Wirtseigenschaften sind Gänsefuß und Melde, Vogelmiere, Ackerhellerkraut, Hirtentäschel sowie Ampferblättriger Knöterich bekannt.

Tab. 2: Anfälligkeit wichtiger Wirtspflanzenfamilien und -arten gegenüber *Heterodera schachtii*

Wirtspflanze		Anfälligkeit
Amaranthaceae = Amarantgewächse		
Amaranthus caudatus	Gartenfuchsschwanz	++
Amaranthus hybridus	Bastard-Amarant	+++
Amaranthus retroflexus	Rauhaariger Amarant	++
Caryophyllaceae = Nelkengewächse		
Agrostemma githago	Kornrade	+
Saponaria officinalis	Seifenkraut	++
Stellaria media	Vogelmiere	++
Chenopodiaceae = Gänsefußgewächse		
Atriplex hortensis	Gartenmelde	+++
Atriplex patula	Gemeine Melde	++
Beta vulgaris var. altissima	Zuckerrübe	+++
Beta vulgaris var. alba	Futterrübe	+++
Beta vulgaris var. conditiva	Rote Bete	++
Beta vulgaris var. vulgaris	Mangold	+++
Chenopodium album	Weißer Gänsefuß	+
Chenopodium bonus-henricus	Guter Heinrich	+++
Chenopodium hybridum	Bastard-Gänsefuß	++
Chenopodium quinoa	Reismelde	++
Spinacia oleracea	Spinat	++
Brassicaceae = Kreuzblütler		
Brassica chinensis	Chinakohl	+++
Brassica napus var. napus	Raps	+++
Brassica oleracea var. + convar.	alle Kohlarten	+++
Camelina sativa	Leindotter	+++
Capsella bursa pastoris	Hirtentäschel	+++
Lepidium sativum	Gartenkresse	+++
Raphanus raphanistrum	Hederich	++
Raphanus sativus var. oleiformis	Ölrettich	(+)++
Sinapis alba	Weißer Senf	+++
Thlaspi arvensis	Ackerhellerkraut	+++
Leguminosae = Schmetterlingsblütler		
Lathyrus sativus	Platterbse	++
Trifolium resupinatum	Perserklee	(+)+
Vicia villosa	Zottelwicke	++
Polygonaceae = Knöterichgewächse		
Fagopyrum esculentum	Buchweizen	+
Fagopyrum tataricum	Tatarischer Buchweizen	+
Polygonum lapathifolium	Ampferblättriger Knöterich	++
Rumex acetosella	Kleiner Sauerampfer	++

Anfälligkeitsstufen: + gering, ++ mittel, +++ hoch anfällig (nach Schlang, Biologische Bundesanstalt)

Unter den Kulturarten, die Wirte für Nematoden sein können, sind alle Kohlarten, Spinat, Rote Bete, Mangold sowie Ölrettich, Senf und Raps hervorzuheben. Aufgrund dieses großen Wirtspflanzenkreises ist *Heterodera schachtii* auch häufig auf Flächen nachzuweisen, auf denen über viele Jahre kein Zuckerrübenanbau betrieben wurde.

Vorkommen in deutschen Zuckerrübenanbaugebieten

Das Auftreten von Rübenzystennematoden ist in vielen deutschen Rübenanbaugebieten lange bekannt. Die Zuckerrübe ist die wichtigste Wirtspflanze und ihr Anbau wirkt sich direkt auf die Besätze im Boden aus. Die Kerngebiete des Nematodenvorkommens sind das Rheinland, die rheinhessisch-pfälzischen Rübenanbaugebiete sowie die Bördegebiete Niedersachsens und Sachsen-Anhalts. Flächenmäßig kleiner sind Dithmarschen, Uelzen, Franken und Bayern (Abb. 13).
Ein Vorkommen von Nematoden kann jedoch nicht generell für Regionen festgestellt werden, sondern muss auf Schlagebene ermittelt werden. In allen deutschen Anbaugebieten werden seit Langem stichprobenartig auf Flächen mit Nematodenverdacht Einzelerhebungen durchgeführt. Auch auf zahlreichen Flächen, die sich räumlich gut von den Kerngebieten abgrenzen lassen, wurden Nematoden nachgewiesen.

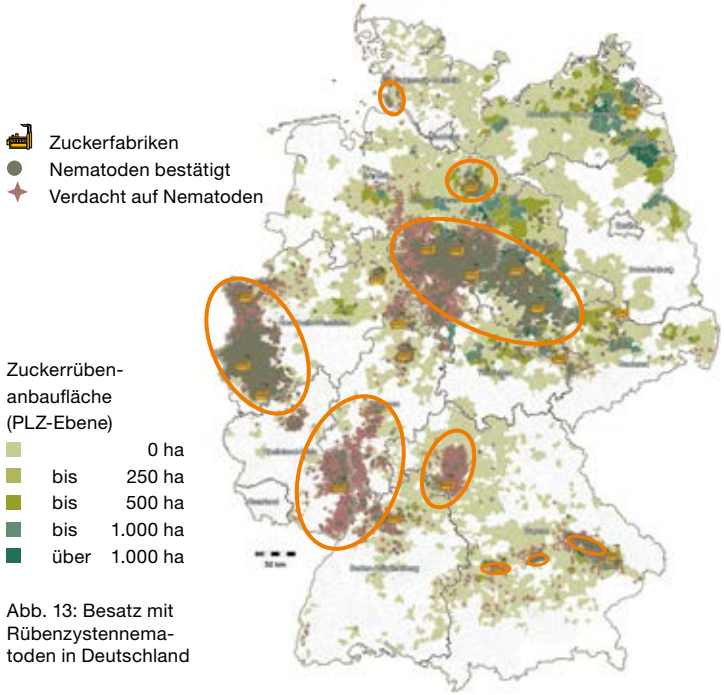


Abb. 13: Besatz mit Rübenzystennematoden in Deutschland

Dies betrifft Flächen in Bayern und Baden-Württemberg sowie Mecklenburg-Vorpommern, Westfalen, Sachsen und Thüringen. Gebiete, in denen ein Auftreten von Nematoden wahrscheinlich ist, sind in Abbildung 13 ebenfalls gekennzeichnet. Weil die Symptome eines Nematodenbefalls auf Hitze und Trockenheit zurückgeführt oder wie beschrieben mit anderen Krankheiten verwechselt werden können, sind Schäden durch *Heterodera schachtii* ein unterschätztes Problem.

Deshalb lohnt es sich, die für den Zuckerrübenanbau vorgesehenen Flächen auf einen Nematodenbesatz zu kontrollieren!

Pf/Pi-Wert – Maßzahl für die Nematodenvermehrung

Die Vermehrungsrate von *Heterodera schachtii* wird in Form eines Quotienten, des sogenannten Pf/Pi-Werts, angegeben und mit folgender Formel berechnet:

$$\text{Pf/Pi-Wert} = \frac{\text{Nematodenbesatz nach dem Wirtspflanzenanbau (Pf)}}{\text{Nematodenbesatz vor dem Wirtspflanzenanbau (Pi)}}$$

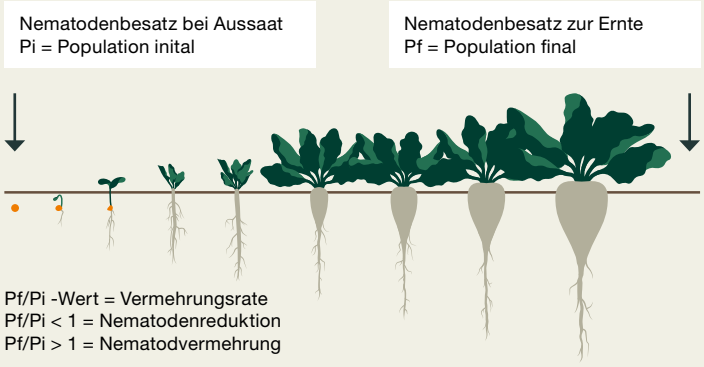


Abb. 14: Pf- und Pi-Wert ordnen Nematodenbesätze bestimmten Zeitpunkten zu.

Ein **Pf/Pi-Wert > 1** bedeutet, dass **nach dem Wirtspflanzenanbau mehr Nematoden** im Boden gefunden wurden, als vorher vorhanden waren: Die Pflanze hat die Nematoden vermehrt.

Ein **Pf/Pi-Wert < 1** bedeutet, dass **nach dem Wirtspflanzenanbau weniger Nematoden** im Boden gefunden wurden, als vorher vorhanden waren: Die Pflanze hat die Nematoden reduziert.

Pflanzen (Sorten oder Arten) mit einem Pf/Pi-Wert < 1 werden als resistent bezeichnet. Die Vermehrungsrate einer Wirtspflanze für *Heterodera schachtii* ist nicht immer konstant, sondern kann stark durch äußere Faktoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Zeitpunkt des Befalls, allgemeine Wachstumsbedingungen für die Pflanze, Nährstoffversorgung, Sortentyp) beeinflusst werden.

Neben der Wirtspflanze und den Anbaubedingungen ist der Pf/Pi-Wert immer auch vom Ausgangsbesatz des Bodens mit Rübenzystennematoden abhängig. Das Vermehrungspotenzial durch Wirtspflanzen ist bei niedrigem Pi-Wert höher als bei hohem Pi-Wert. Das heißt, bei sehr hohen Ausgangspopulationen ist die reduzierende Wirkung resistenter Sorten höher (Pf/Pi-Wert unter 1) als bei niedrigem Ausgangsbesatz.

Bestimmung des Nematodenbesatzes

Die Bestimmung des Nematodenbesatzes einer Zuckerrübenfläche ist über verschiedene Methoden möglich. Relativ exakt lässt sich der durchschnittliche Nematodenbesatz durch eine **Flächenbeprobung** ermitteln. Die Bodenproben werden mit einem Bohrstock und einer hohen Einstichfrequenz von 100 bis 200 Einstichen pro Hektar gezogen, jeweils 30 cm tief.

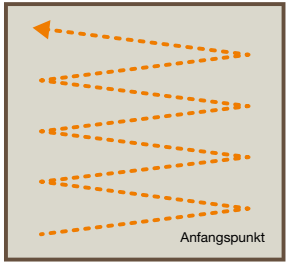


Abb. 15: Schema zur Bodenbeprobung

Je mehr Einstiche pro Hektar vorgenommen werden, umso repräsentativer ist der aus der Bodenprobe ermittelte Wert für den Nematodenbesatz. Da Nematoden i. d. R. nesterweise auftreten, ist es wichtig, die gesamte Fläche gleichmäßig zu beproben. Eine geeignete Mischprobe entsteht, wenn über die gesamte Fläche Proben genommen werden (Abb. 15). Die gesammelte Menge sollte in einem Eimer gut durchgemischt werden. Etwa 1 kg davon muss in einem verschlossenen Kunststoffbeutel **kühl gelagert** werden. Anschließend kann die Erde analysiert werden. Im Labor wird dann der Nematodenbesatz in Eier + Larven je 100 g Boden festgestellt. Alternativ kann die Menge auch je 100 ml Boden angegeben werden. Dabei entspricht 1 ml etwa 1,5 g Boden, d. h., der Umrechnungsfaktor von ml in g liegt bei 1,5. Der **Zeitpunkt der Probenahme** kann dabei vor oder nach dem Anbau von Zuckerrüben liegen. Eine Bodenprobenahme im Zuckerrübenbestand ist nicht sinnvoll, weil hier alle Entwicklungsstadien der Nematoden nebeneinander vorliegen und somit eine quantitative Erfassung des Besatzes nicht exakt vorgenommen werden kann. Beim Anbau von Nichtwirtspflanzen (z. B. Getreide) können auch während des Wachstums der Kulturen Bodenproben genommen werden.

Im Beratungsvideo **Erdschwadbeprobung** zeigen wir Ihnen eine einfache Möglichkeit, Nematoden fachgerecht nachzuweisen.

Im Vergleich zum vorher beschriebenen Vorgehen ist die **Erdschwadbeprobung** wesentlich einfacher durchzuführen und Informationen über die Existenz von Nematoden auf einer Fläche sind schnell verfügbar. Die Erdschwadbeprobung lässt zwar nicht die gleiche Aussagegenauigkeit über die Besatzhöhe zu wie eine Beprobung in der Fläche, ist jedoch unkompliziert und deshalb geeignet, viele Flächen zu beproben. Die Probenahme erfolgt in der Rübenerde, die von der **Rübenmiete nach Verladen** der Rüben zurückbleibt (sogenannter Erdschwad). Dazu genügt es, Boden gleichmäßig entlang der Miete zu entnehmen. Die zur Analyse eingereichte Erde sollte **frei von pflanzlichem Material** sein – ein Absieben der

Probe durch ein grobmaschiges Sieb reicht dazu meist aus (Abb. 16 und 17). Für die Laboruntersuchung sollte etwa 1 kg der abgesiebten Erde eingereicht werden. In vielen Regionen Deutschlands wurden Daten über die Verbreitung von Nematoden durch **intensive und großräumige Schwadbeprobungen** erhoben. Diese Methode wird mittlerweile in den meisten Rübenanbauregionen eingesetzt, um Nematoden nachzuweisen.

Tab. 3: Erdschwadbeprobung und Flächenbeprobung im Vergleich

	Erdschwadbeprobung	Flächenbeprobung
Ziel	Nematodennachweis oder Nematodenausschluss	Ermittlung Anzahl Eier + Larven/100 g Boden
Aufwand	gering	hoch
Untersuchungsmethode	kein Unterschied	
Kosten	kein Unterschied	
Zeitpunkt	nach dem Zuckerrübenanbau	vor dem Zuckerrübenanbau
Einstiche	1 Einstich je laufender Meter Erdschwad	200 Einstiche ha^{-1}
Beprobungstiefe	oberflächlich	0 - 30 cm
Ergebnisgenauigkeit	gering Nematodenkonzentration im Schwad höher als in der Fläche – Rückrechnung auf Feldniveau möglich durch Beprobung von Referenzflächen	hoch repräsentativ für die beprobte Fläche

Auswertung der Bodenproben

Der **Nachweis** des Rübenzystennematoden in den Bodenproben wird in dafür ausgestatteten Labors (z. B. Pflanzenschutzämter, Bodengesundheitsdienst BGD oder KWS) durchgeführt, wobei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen können. Bei der **Siebmethode** wird eine **definierte Menge lufttrockener Boden** mit Wasser aufgeschlämmt und über Siebe mit bestimmten Maschenweiten ausgespült. Die auf dem Sieb verbliebenen Zysten werden gezählt und es wird die Anzahl **Eier und Larven** nach Quetschen der Zysten bestimmt.

Abb. 16: Materialien für die Erdschwadbeprobung

Abb. 17: Vorgehensweise bei der Erdschwadbeprobung

Die Auswertung der Bodenproben erfordert qualifiziertes Personal mit viel Erfahrung. Eine weitere Untersuchungsmethode ist die Anregung des Schlupfs der Nematoden durch Zugabe von **Acetox** (1-Acetoxy-2-Ethyl-1,3-Hexadien) im Rahmen der sogenannten „Acetox-Methode“.

Als Vorteil wird in der Literatur herausgestellt, dass eine selektive Schlupfinduktion nur von *Heterodera schachtii* und nicht von Getreidezystennematoden erfolgt. In Ergänzung hierzu wird eine halbquantitative PCR-Methode (**P**olymerase-**C**hain-**R**eaction) zur Quantifizierung des Nematodenbesatzes eingesetzt.

Seit ein paar Jahren werden verstärkt Messverfahren untersucht, die eine Laboruntersuchung überflüssig machen. Spezielle Kamerasensoren können in Luftbildern im roten, nahinfraroten und infraroten Wellenlängenbereich Symptome an Pflanzen erfassen, die in der Kombination mit einer stichprobenartigen Untersuchung der Pflanzen am Boden ein großflächiges Monitoring zulassen. Einer weiten Anwendung in der Praxis steht entgegen, dass die Zuordnung der Daten zu den verschiedenen Schaderregern (Pilze, Viren, Nematoden) und abiotischen Ursachen nach wie vor schwierig ist.

Ansätze zur Nematodenbekämpfung

Je enger die Wirtspflanze Zuckerrübe in der Fruchtfolge gestellt ist, desto stärker kann sich die Nematodenpopulation aufschaukeln. Untersuchungen belegen, dass es in einer dreijährigen Zuckerrübenrotation zu einer deutlichen Nematodenvermehrung im Boden kommen kann. Eine weit gestellte Fruchtfolge beugt einer starken Vermehrung des Rübenzystennematoden vor, bietet aber auch keine absolute Sicherheit. Da viele Flächen über den Wirtspflanzenanbau der vergangenen Jahrzehnte Nematodenbesätze in unterschiedlicher Höhe aufweisen, ist eine Reduzierung häufig notwendig, um weiterhin wirtschaftlich Zuckerrüben anbauen zu können. Im Folgenden werden verschiedene Bekämpfungsansätze vorgestellt.

Chemische Bekämpfung

Bis in die 1980er-Jahre war der Einsatz von Nematiziden (bspw. Wirkstoff 1,3-Dichloropropen in Shell DD oder Telone; Wirkstoff Aldicarb in Temik) im Rahmen der Bodenentseuchung in Deutschland üblich. Mittlerweile sind Nematizide weltweit seit vielen Jahren in fast allen Ländern nicht mehr zugelassen.

Physikalische Bekämpfung

Die Entseuchung von Pflanzsubstraten und Boden über Hitzeeinwirkung ist in Gartenbaubetrieben gängige Praxis. Dafür stehen spezielle Dämpfgeräte zur Verfügung. Dieses Verfahren tötet auch Rübenzystennematoden zuverlässig ab. Auf größeren Ackerschlägen ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Diese Bekämpfungsmethode wird auch zukünftig nur in kleinflächig angebauten Sonderkulturen zur Anwendung kommen.

Biologische Bekämpfung

Unter die biologische Bekämpfung fallen der Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte, der Umgang mit Raps und Ausfallraps in der Fruchtfolge und die Sortenwahl bei Zuckerrüben. Diese Aspekte sind unter dem nachfolgenden Punkt **Nematodenmanagement in der Fruchtfolge** zusammengefasst. Gemeinsam angewendet, sind sie der Schlüssel, um *Heterodera schachtii* erfolgreich zu bekämpfen.

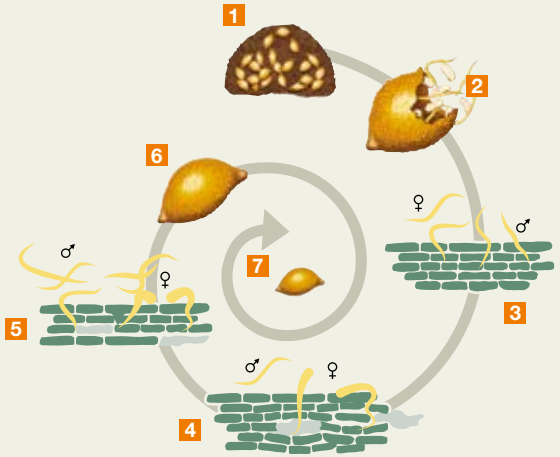
Nematodenmanagement in der Fruchtfolge

Anbau nematodenresistenter Zwischenfrüchte

Der Anbau resistenter Zwischenfrüchte kann ein wichtiges biologisches Bekämpfungsverfahren sein, um hohe Populationsdichten des Nematoden in Zuckerrübenfruchtfolgen zu vermeiden bzw. eine bestehende hohe Populationsdichte zu senken. Als wirkungsvolle Pflanzen stehen hierfür verschiedene resistente **Gelbsenf- und Ölrettichsorten** zur Verfügung. Das **Wirkungsprinzip** besteht in einer **Unterbrechung** des **Entwicklungskreislaufs** von *Heterodera schachtii* (Abb. 18). Diese nematodenresistenten Zwischenfrüchte sind Wirtspflanzen. Sie üben einen **Schlupfreiz** auf die Larven aus und locken diese an, in ihre Wurzeln einzudringen. Im Gegensatz zur weiteren Entwicklung in anfälligen Wirtspflanzen ist aber in resistenten Zwischenfrüchten die Bildung eines Nährzellensystems (Syncytium) eingeschränkt. Der Nematode kann sich nicht ausreichend ernähren.

CULTIVENT KWS Farm Service

Mit dem **Nematoden-Manager** simulieren Sie die Vermehrungsintensität einer Nematodenpopulation in Ihrer Fruchtfolge.



1 Zysten überdauern im Boden
2 Wurzelausscheidungen der Zuckerrüben führen zum Schlupfreiz, Larven (♀♂) verlassen die Zysten
3 Larven (♀♂) dringen aktiv in das Wurzelgewebe ein
4 Schlechte Ernährungsbedingungen für die Nematodenweibchen (♀) (unvollständige Ausbildung von Nährzellengewebe in Wurzeln von resistenten Sorten)
5 Viele Weibchen sterben ab, es entwickeln sich fast nur Männchen
6 Nur wenige Weibchen können sich zu Zysten weiterentwickeln
7 Anzahl der gefüllten Zysten im Boden deutlich reduziert

Abb. 18: Wirkungsweise nematodenresistenter Zwischenfrüchte

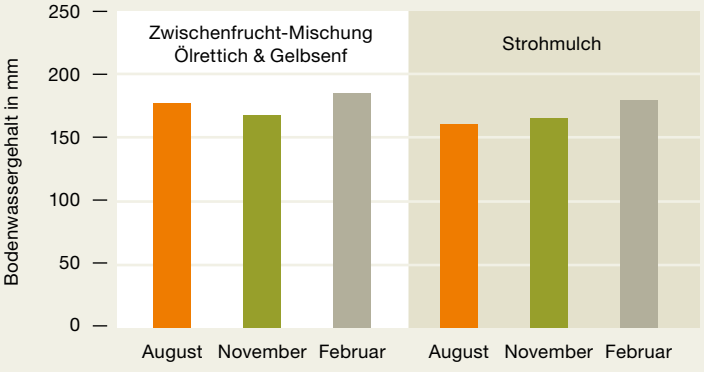
In der Folge kommt es zu einem **Verschieben des Geschlechterverhältnisses**. Während wir in anfälligen Wirtspflanzen ein Männchen-Weibchen-Verhältnis von nahezu 1 : 1 vorfinden, beträgt dieses in resistenten Pflanzen 100 : 1. Da die Weibchen während ihrer Entwicklung ca. 40-mal mehr Nahrung aufnehmen als die Männchen, ist es weiblichen Tieren bei gestörter Nährzellenfunktion nur vereinzelt möglich, ihren Entwicklungszyklus abzuschließen. Die Folge ist eine Verringerung der Nematodenpopulation. In der Praxis werden zur biologischen Bekämpfung von *Heterodera schachtii* vor allem **resistenter Ölrettich** und **Gelbsenf als Zwischenfrüchte** eingesetzt (Abb. 19).

Abb. 19: Nematodenresistente Zwischenfrüchte, links Ölrettich und rechts Senf

Für eine effektive Bekämpfung der Nematoden müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. **Nur die resistenten Ölrettich- und Senfsorten reduzieren die Populationsdichte**. Alle übrigen Senf- und Ölrettichsorten tragen zur Vermehrung der Nematoden bei! Die nematodenreduzierende Wirkung resistenter Ölrettich- und Senfsorten lässt ab Blühbeginn deutlich nach. Daher sollten Sorten mit langer vegetativer Entwicklung und geringer Blühneigung bzw. später Blüte ausgewählt werden. Diese Eigenschaften haben als Zuchtziele bei der Züchtung resistenter Ölrettich- und Senfsorten einen hohen Stellenwert. Für einen intensiven Larvenschlupf und damit eine hohe Entseuchungswirkung sind sowohl eine ausreichende Bodentemperatur (Wärmesumme 400-465 °C, wie zuvor beschrieben) als auch Bodenfeuchtigkeit wichtig. Entsprechende Bodentemperaturen sind in der Regel nach frühräumenden Hauptkulturen wie z. B. Wintergerste zu erwarten.

Auf eine **sorgfältige Bodenvorbereitung** ist zu achten. Es muss ein zügiges und gleichmäßiges Auflaufen gewährleistet sein und der Boden muss eine gute Durchwurzelung ermöglichen. Entscheidend ist, dass der Schlupfreiz nur dort ausgelöst werden kann, wo die Nematoden intensiven Kontakt mit den Wurzeln haben. Zu beachten ist, dass Sorten mit ausgeprägter Blühneigung bei früher Saat sehr schnell in die generative Phase übergehen und aus diesem Grund für Frühsaaten ungeeignet sind. Eine gute Wasserversorgung ist gleichermaßen Voraussetzung für eine gute Entwicklung der Zwischenfrucht und für intensiven Larvenschlupf. Ein sehr trockener oder sehr kühler Herbst begrenzt die Verringerung der Nematodenpopulation.

Die Bekämpfung von *Heterodera schachtii* durch resistente Zwischenfrüchte hat eine Reihe positiver Nebeneffekte. Durch die Zufuhr organischer Substanz wird das Bodenleben aktiviert, der dichte Bestand unterdrückt Unkräuter, Nährstoffe werden biologisch gebunden und vor der Auswaschung bewahrt. Erosion kann durch Mulchsaat in abgestorbenen Senf oder Ölrettich deutlich reduziert werden. Der Zwischenfruchtanbau ist nicht auf Regionen mit guter Wasserversorgung beschränkt. Auch in Trockengebieten ist der Anbau von Zwischenfrüchten vor Zuckerrüben eine Option. Die größte Herausforderung ist dort die Etablierung des Pflanzenbestandes. Der Bodenwassergehalt für den folgenden Zuckerrübenanbau ist auf Flächen mit Zwischenfrüchten nicht geringer als nach Strohmulch oder Brache (Abb. 20). Der Wasserentzug durch die Zwischenfrucht wird durch Winterniederschläge ausgeglichen.



Quelle: KWS SAAT SE, eigene Versuche am Standort Klein Wanzleben 2014/2015, Aussaat der Zwischenfrucht Mitte August; Messung bis 1 m Tiefe; 71 mm Winterniederschlag von November bis Februar

Abb. 20: Bodenwassergehalt unter Zwischenfrüchten und beim Strohmulch-Verfahren

Anbau von Raps und Rüben in einer Fruchtfolge

Eine besondere Stellung unter den landwirtschaftlichen Kulturen in Bezug auf *Heterodera schachtii* nimmt der **Raps** ein. Raps ist als Kreuzblütler eine **Wirtspflanze** für Nematoden. Sollen Raps und Rüben in einer Fruchtfolge angebaut werden, so sind einige Herausforderungen zu bewältigen. Da sowohl Raps als auch Rüben Nematoden vermehren können, ist mit großer Sorgfalt ein Aufschaukeln der Nematodenpopulation zu vermeiden. Viele Untersuchungen belegen, dass der Anbau von Winterraps durchaus ohne eine starke Vermehrung von *Heterodera schachtii* möglich ist.

Die Hauptfrucht Winterraps hat meist ein begrenzteres Vermehrungspotenzial, als die lange Vegetationsperiode vermuten lässt. Winterraps wird im Herbst gesät. Mit abnehmenden Bodentemperaturen im Herbst können die Rübenzystennematoden ihren Entwicklungszyklus vor Winter nicht mehr vollständig abschließen und sterben ab. Im Frühjahr ist mit noch niedrigen Bodentemperaturen auch die Entwicklungsgeschwindigkeit der Nematoden niedrig. Bei steigenden Bodentemperaturen und damit wieder einsetzender Nematodenaktivität wird die Attraktivität der Pflanze für *Heterodera schachtii* aufgrund kräftiger Wurzeln deutlich geringer, da die Larven bei der

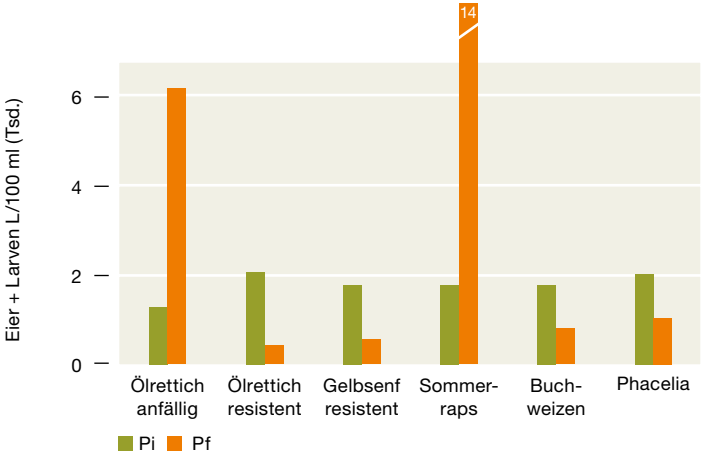
Infektion auf Feinwurzeln angewiesen sind. Mit beginnender Blüte wird das Wurzelwachstum des Rapses deutlich reduziert, damit nimmt auch der Schlupfreiz für die Nematoden ab.

CULTIVENT KWS Farm Service

Mithilfe des **Ausfallraps-Timers** kalkulieren Sie den Zeitpunkt zum Umbruch des Ausfallrapses, um ein Vermehren der Nematoden zu verhindern.

Eine größere pflanzenbauliche **Herausforderung** stellen der Anbau von **Sommerraps** sowie der Umgang mit **Ausfallraps** dar. Der im Frühjahr oder Sommer auflaufende Raps hat sein Hauptwurzelwachstum mit steigenden oder bei bereits hohen Bodentemperaturen und trifft auf eine zeitgleich hohe Aktivität der Nematoden (Abb. 21).

Unter diesen Bedingungen ist regelmäßig mit einer starken Vermehrung von *Heterodera schachtii* zu rechnen. Der Anbau von Winterraps in einer Zuckerrübenfruchtfolge setzt daher eine präzise und termingerechte Bekämpfung des Ausfallrapses voraus. Dabei ist darauf zu achten, dass der Generationszyklus des Rübenzystennematoden nicht abgeschlossen wird. Bisher wird eine **Bekämpfung** durch Bodenbearbeitung oder den Einsatz von Herbiziden nach Erreichen einer **Temperatursumme von 250 °C** empfohlen. Hierbei ist zu beachten, dass die Temperatursummen in warmen Regionen wie Süddeutschland deutlich schneller erreicht werden als in maritimen Klimaten in Norddeutschland. Der Anbau von Raps in Rübenfruchtfolgen ist also durchaus möglich, birgt aber immer auch das Risiko einer Nematodenvermehrung. Insbesondere der Ausfallraps, der meist schon im stehenden Bestand vor Beginn des Druschs aufläuft, bietet den Nematoden beste Vermehrungsbedingungen.



Quelle: verändert nach Schlang, Biologische Bundesanstalt

Abb. 21: Vermehrung von *Heterodera schachtii* an verschiedenen Wirtspflanzen. Dargestellt sind die Zahl der Eier und Larven vor (= Pi-Wert) und nach (= Pf-Wert) Anbau der genannten Kulturarten.

In **Raps-Rüben-Fruchtfolgen** sollten weder nematodenresistenter Ölrettich noch Gelbsenf angebaut werden. Beide Zwischenfrüchte stammen aus der Familie der **Kreuzblütler** und **fördern** die vom Erreger *Plasmodiophora brassicae* ausgelöste Pflanzenkrankheit **Kohlhernie**.

Sortenwahl

Die erste rizomania- plus nematoden**resistente** Sorte stand in Deutschland im Jahr 2000 zur Verfügung, die erste rizomania- plus nematoden**tolerante** Sorte 2006. Während bei der Wahl von nematodenresistenten Zuckerrübensorten eine **wirtschaftliche Schadensschwelle** von etwa 1.200 Eiern + Larven/100 g galt, lag dieser Wert bei den ersten nematodentoleranten Sorten bei etwa 500 Eiern + Larven/100 g Boden. Bei leichten, nicht beregneten Böden wurden diese Schwellen niedriger angesetzt, bei sehr guten Böden mit entsprechender Wassernachlieferung dagegen etwas höher. Erst wenn der Nematodenbesatz bei den entsprechenden Werten lag, wurde zum Anbau einer nematodenresistenten bzw. nematodentoleranten statt einer anfälligen Sorte geraten. Die Empfehlung war darin begründet, dass die damaligen Sorten ohne Nematodenbefall in ihrer Leistung den anfälligen Sorten deutlich unterlegen waren.

Im Beratungsvideo **Nematodenmanagement in intensiven Zuckerrübenfruchtfolgen** werden Ihnen Möglichkeiten zur Kontrolle der Nematodenpopulation aufgezeigt.

In der aktuellen Anbausituation mit der Verfügbarkeit nematodentoleranter Sorten, die eine mit den einfachtoleranten Sorten vergleichbare Leistung aufweisen, haben die bisherigen **Schadensschwellen** ihre Bedeutung verloren. Denn generell sind Schadensschwellen umso niedriger anzusetzen, je geringer der Leistungsunterschied zwischen anfälliger und toleranter Sorte bei Nichtbefall ist. In diesem Sinne gilt für aktuelle nematodentolerante Sorten keine wirtschaftliche Schadensschwelle mehr. Werden auf den Betriebsflächen bereits seit Jahrzehnten Zuckerrüben angebaut und werden die Rübenfruchtfolgen tendenziell enger, besteht ein begründetes Ertragsrisiko durch Rübenzystennematoden. Dieses lässt sich durch den Anbau nematodentoleranter Sorten minimieren.

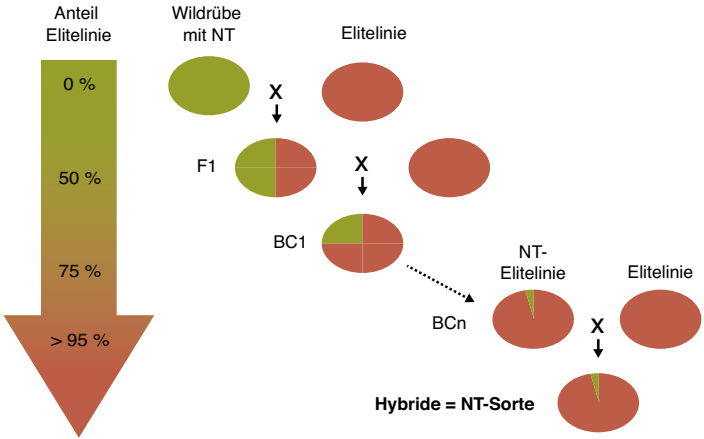
Was leistet die Züchtung?

Durch die weite Verbreitung des Rübenzystennematoden haben **nematodentolerante Zuckerrübensorten** in Deutschland innerhalb weniger Jahre **große Anbaubedeutung** erlangt. Anfang der 1990er-Jahre wurde in Deutschland mit der Entwicklung von gegenüber *Heterodera schachtii* toleranten Sorten begonnen. Die genetische Quelle der Eigenschaft „nematodentolerant“ liegt in der Wildrübe *Beta maritima*. Diese Wildrüben wachsen in Küstennähe, beispielsweise in Dänemark. Die Wildrübenherkünfte stehen der Züchtung über öffentliche Genbanken zur Verfügung. Da aktuelle Zuckerrübensorten Hybriden sind, werden zunächst unabhängig voneinander Mutterlinie (Saatelter) und Vaterlinie (Pollenspender) entwickelt. Der Züchtungsprozess beginnt im Gewächshaus oder im Feld mit der ersten Kreuzung zwischen zwei Pflanzen und der Schaffung neuer Variation in der Kreuzungsnachkommenschaft. Der Ursprung der ersten nematodentoleranten Sorten liegt in der Kreuzung ausgewählter Einzelpflanzen von *Beta maritima* mit Elitelinien. Die Nachkommen der ersten Kreuzung (F1) mussten über viele Generationen rückgekreuzt werden (Backcross „BC“), um das Wildrübengenom zu verdrängen bzw. die Toleranz mit anderen wertbestimmenden Eigenschaften wie Rübenertrag, Zuckergehalt, Saftreinheit und Blattgesundheit zu kombinieren (Abb. 22 a). Am Ende des Rückkreuzungsprozesses stehen Elitelinien, die die Nematodentoleranz als zusätzliche Eigenschaft aufweisen.

Über mehrstufige Selektion zur Sorte

Von der ersten Kreuzung bis zur fertigen Linie werden heutzutage zur Selektion der Jungpflanzen **molekulare Marker** eingesetzt. Diese lassen sich mit einem Barcode vergleichen, der auf DNA-Ebene anzeigt, ob die Nachkommen die gewünschten Eigenschaften tragen. Bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Züchtungsgang ermöglicht es die Markertechnologie, den Kreis der Kandidaten zu verkleinern.

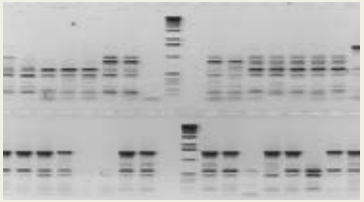
Der nächste Selektionsschritt ist ein standardisierter **Biotest im Gewächshaus**. Dort wird die Resistenz anhand der Zahl gebildeter Zysten an der Zuckerrübenwurzel beurteilt. Zysten sind widerstandsfähige „Schutzhüllen“, in denen die nächste Nematodengeneration heranreift.



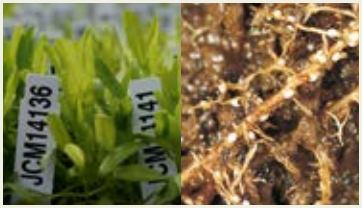
Quelle: KWS SAAT SE, eigene Darstellung

Abb. 22 a: Durch Rückkreuzung (Backcross „BC“) erhöht sich der Anteil der Elitelinie und der Anteil des Wildrübengenoms geht zurück.

Nur Linien, die hier gut abschneiden, d. h. eine sehr geringe Zystenbildung aufweisen, werden im Feld auf Standorten mit und ohne Nematodenbesatz als Testhybriden geprüft. Die Testhybriden stehen in mehrfacher Wiederholung in sogenannten **Leistungsprüfungen** an zahlreichen Standorten in Deutschland und dem **europäischen Ausland** (Abb. 22 b).



Ziel: Sicherstellung der Vererbung eines Merkmals durch molekulare Marker



Ziel: Geringe Zystenzahl an den Zuckerrübenwurzeln

Ziel: Anmeldekandidaten zur offiziellen Sortenprüfung

Abb. 22 b: Selektionsschritte und -ziele im Züchtungsprozess: Mit molekularen Markern und Biotests wird kontrolliert, ob die Nematodentoleranz erhalten geblieben ist. Bei Leistungsprüfungen im Feld müssen sich zukünftige Zuckerrübensorten unter Beweis stellen.

Ziel ist es, die Sortenleistung in möglichst vielen Selektionsumwelten zu prüfen und damit viele unterschiedliche Umwelteinflüsse, abiotische wie biotische Schad- und Stressfaktoren, in die Selektion einzubeziehen. Das mehrjährige und mehrstufige Prüfverfahren gewährleistet eine recht sichere Einschätzung zur Stabilität der Sorteneigenschaften und bringt eine gute Vorhersage für den Anbau in der Praxis.

Die Intensität der Selektion spiegelt sich nicht zuletzt darin wider, dass weniger als 1 % der Linien zu einer erfolgreichen Sortenkomponente werden.
Was sich durchsetzt, ist züchterischer Fortschritt.

Was hat es mit der Toleranz auf sich?
Was ist der Unterschied zur Resistenz?

Hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen *Heterodera schachtii* lassen sich drei Sortentypen unterscheiden:

1. **anfällige Sorten**
   ohne züchterischen Eingriff in Bezug auf dieses Merkmal
2. **tolerante/partiell resistente Sorten**
   wie beschrieben Einkreuzung der Nematodentoleranz aus der Wildrübe *Beta maritima* in Elitelinien
3. **resistente Sorten**
   Translokation eines Chromosomenstücks, das die Resistenz aus der Wildrübe *Beta procumbens* trägt, in Elitelinien

Diese züchterische Einordnung ist mit folgender Charakterisierung der Sortentypen verbunden: An anfälligen Zuckerrübensorten sind die Entwicklungsmöglichkeiten für *Heterodera schachtii* besonders gut und sie vermehren sich an deren Wurzelsystem i. d. R. um ein Vielfaches. Gleichzeitig stören sie die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanze massiv und mindern den Ertrag.

Nematodentolerante Zuckerrübensorten lassen sich durch einen Nematodenbefall in ihrem Wachstum nicht oder nur geringfügig beeinträchtigen. Sie zeigen, wenn überhaupt, erst bei hoher Befallsintensität Ertragsminderungen.
Die aktuellen Sorten dieses Typs sind tolerant, aber auch partiell resistent. Das bedeutet, sie erlauben eine gewisse Vermehrung der Nematoden, die aber deutlich geringer ausfällt als die Nematodenvermehrung an anfälligen Sorten.

Nematodenresistente Zuckerrübensorten vermehren nicht, reduzieren häufig sogar die Nematodenpopulation im Boden und sind damit vollständig resistent. Dieser Sortentyp hat Ertragsnachteile, die in seiner Resistenzquelle *Beta procumbens* begründet sind. Sie ist mit unserer Zuckerrübe nicht direkt kreuzbar.

Es kann zwar das Chromosomenstück mit der Resistenzeigenschaft durch Translokation vererbt werden, allerdings findet keine Rekombination statt. Der ins Zuckerrübengenom eingebrachte Resistenzabschnitt bleibt gekoppelt an unerwünschte ertragsmindernde Wildrübeneigenschaften.

Die Resistenz bzw. Toleranz einer Pflanze gegen eine Krankheit oder einen Schädling wirft immer die Frage nach ihrer Stabilität auf. Letztlich kann eine Überwindung der partiellen Resistenz oder eine graduelle Anpassung der Nematoden daran nicht komplett ausgeschlossen werden. Ein Überwinden der Toleranz bzw. partiellen Resistenz einer Zuckerrübensorte wird aufgrund der Tatsache, dass sich *Heterodera schachtii* an den nematodentoleranten Sorten noch vermehren kann, geringer als bei resistenten Sorten eingeschätzt. Diese leichte Vermehrung an den Wurzeln ist zwar ein Nachteil für die Zuckerrübe selbst, stützt aber das Konzept. In europäischen und deutschen Forschungsverbünden wird der Fragestellung der Stabilität von partieller und vollständiger Resistenz wissenschaftlich nachgegangen. Maßnahmen des Nematodenmanagements, wie die Einhaltung einer Fruchtfolge mit dem überwiegenden Anbau von Nichtwirtspflanzen für *Heterodera schachtii* und der Integration nematodenresistenter Zwischenfrüchte zur weiteren Reduktion der Nematodenpopulation im Boden, unterstützen die nachhaltige Nutzung der nematodentoleranten Sorten.

Die Verbreitung und das Schadpotenzial von *Heterodera schachtii* sind groß, sodass die nematodentoleranten Sorten zur Ertragsabsicherung aktuell auf mehr als einem Drittel der Rübenfläche in Deutschland angebaut werden. Durch die intensive züchterische Bearbeitung dieses Segments ist es gelungen, die Schwächen der ersten Generation bezüglich Blattgesundheit und Saftqualität deutlich zu vermindern. Bei den nematodentoleranten Sorten beträgt der jährliche Zuchtfortschritt, betrachtet über den Zeitraum von 10 Jahren und gemessen am Bereinigten Zuckerertrag, ca. 2,4 % und ist damit höher als der der nicht nematodentoleranten Sorten (ca. 1,4 % p. a.).

Methodischer Feldversuch Nematoden

Um einen Nematodenbesatz, die Populationsdynamik und die vertikale Verteilung der Nematoden im Feld genau zu ermitteln, sind systematische Versuche mit hoher Beprobungsgenauigkeit notwendig. In den Jahren 2012 bis 2015 wurden an 50 Versuchsorten mit bekanntem Nematodenvorkommen in mehreren Rübenanbaugebieten Feldversuche angelegt, um das Vermehrungsverhalten von Nematoden beim Anbau von Zuckerrüben zu beschreiben. Im Versuch stehen mehrere nematodentolerante Sorten unterschiedlicher Zulassungsjahre neben einer nematodenresistenten und einer anfälligen Zuckerrübensorte. Mit professioneller Beprobungstechnik, dem sogenannten NemaGator (Abb. 23), wurden Bodenproben aus zwei Tiefen (Oberboden 0 - 30 cm; Unterboden 30 - 60 cm) gezogen und der Ausgangsbesatz vor Zuckerrüben (Pi-Wert) sowie der Endbesatz nach Ernte der Zuckerrüben (Pf-Wert) ermittelt.

Die in vier Versuchsjahren in Ober- und Unterboden gemessenen Nematodenbesätze vor dem Zuckerrübenanbau (Pi) sind in Abbildung 24 dargestellt. Eine Säule stellt das arithmetische Mittel über die 36 Probepunkte einer Bodentiefe am jeweiligen

Abb. 23: Beprobungstechnik „NemaGator“

Versuchsort dar. Es wurde eine Gruppierung der Versuchsorte nach Verteilung der Nematoden vorgenommen. Diese basiert auf einer Differenz der gemessenen Ober- und Unterbodenwerte von mindestens 33 %. Insgesamt sind die Nematodenbesätze in ihrer Höhe und vertikalen Verteilung sehr unterschiedlich (Abb. 24).

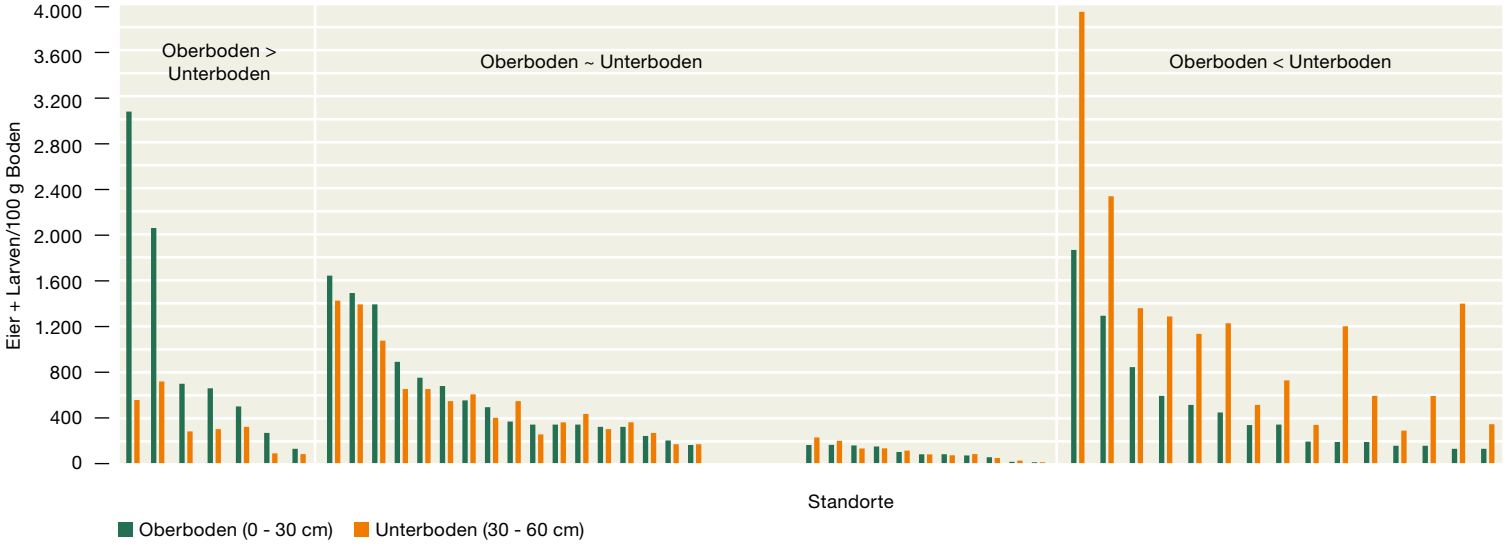
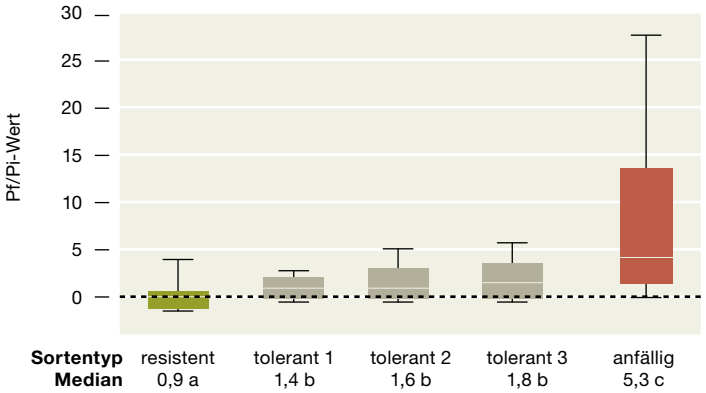


Abb. 24: Verteilung von Rübenzystennematoden in Ober- und Unterboden an 50 Versuchsstandorten vor dem Anbau von Zuckerrüben (Pi). Dargestellt ist das Standortmittel.

Wie sich der Anbau der drei unterschiedlichen Sortentypen „anfällig“, „tolerant“ und „resistent“ auf die Nematodenbesätze auswirkt, zeigt Abbildung 25. Aufgrund der nicht gleichmäßig, sondern nesterweise im Feld auftretenden Nematoden ist die Streuung der Ergebnisse für den Nematodenbesatz sehr groß. Unter der resistenten Sorte verringert sich der Besatz bzw. bleibt im Mittel über alle Versuchsorte zumindest konstant. Die vier nematodentoleranten Sorten zeigen eine leichte Vermehrung.

Die gemessenen Werte liegen zwischen denen der resistenten und denen der anfälligen Sorte. Zwischen der anfälligen und der resistenten Sorte sind die Unterschiede im Vermehrungsverhalten signifikant. Ebenso unterscheiden sich alle nematodentoleranten Sorten im Versuch signifikant von der anfälligen und von der resistenten Sorte.



Box zeigt 50 % der Werte, Whisker 10 - 90 % Perzentil; n = 47. Sorten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (α = 0.05, LSD-Test nach log-Transformation)

Quelle: KWS SAAT SE, eigene Darstellung

Abb. 25: Vermehrungsrate (= Pf/Pi-Wert) verschiedener Sortentypen im Oberboden

Das Vermehrungsverhalten ist immer im Zusammenhang mit dem Nematodenbesatz vor dem Zuckerrübenanbau zu betrachten. An Standorten mit niedrigen Ausgangsbesätzen ist grundsätzlich eine stärkere Nematodenvermehrung zu erwarten als an Standorten mit hohen Ausgangsbesätzen. Dieser Sachverhalt schlägt sich auch in der relativ großen Spannweite der Pf/Pi-Werte nieder.

In Höhe und Verteilung im Ober- und Unterboden waren die gemessenen Nematodenbesätze sehr unterschiedlich. Daher kann mit einer Beprobung des Oberbodens nicht auf den Nematodenbesatz im Unterboden geschlossen werden. Die alleinige Beprobung des Oberbodens, wie in der Praxis üblich, kann sowohl zu einer Über- als auch zu einer Unterschätzung der Nematodenbesätze führen. Auffällig sind die im Vergleich zum Oberboden sehr hohen Nematodenbesätze im Unterboden einzelner Orte. Wie die Wirkung der Besätze im Unterboden auf den Ertrag einzuschätzen ist, lässt sich aus dem beschriebenen Versuch nicht ableiten. Untersuchungen von DAUB (2016) deuten allerdings darauf hin, dass die Ertragswirksamkeit der Unterbodenpopulation deutlich geringer einzuschätzen ist als die der Oberbodenpopulation.

Um das Vermehrungsverhalten unterschiedlicher Sorten und Sortentypen auch in Abhängigkeit von den Ausgangsbesätzen auf eine noch breitere Datenbasis zu stellen, werden die Untersuchungen fortgeführt.

Zusammenfassung und Ausblick

Nematoden besiedeln das Wurzelsystem der Rübe und stören die Wasser- und Nährstoffaufnahme. Befallszeitpunkt, Anzahl abgeschlossener Entwicklungszyklen und Besatzdichten im Boden bestimmen die Höhe der Ertragsverluste und den wirtschaftlichen Schaden. Abhängig von der Stärke des Befalls sind Mindererträge von bis zu 50 % möglich. Es gilt die Faustregel: **Je früher die Rübe befallen wird und je wärmer und trockener die Witterungsbedingungen, umso ausgeprägter sind Symptome und Ertragsverluste.** Eine chemische Bekämpfung ist in vielen Ländern nicht gestattet. Biologische Bekämpfungsmaßnahmen haben regional sehr unterschiedlichen Erfolg.

Symptome bei latentem Befall:
- Nesterweises Welken bei Sonneneinstrahlung
- Blattaufhellung

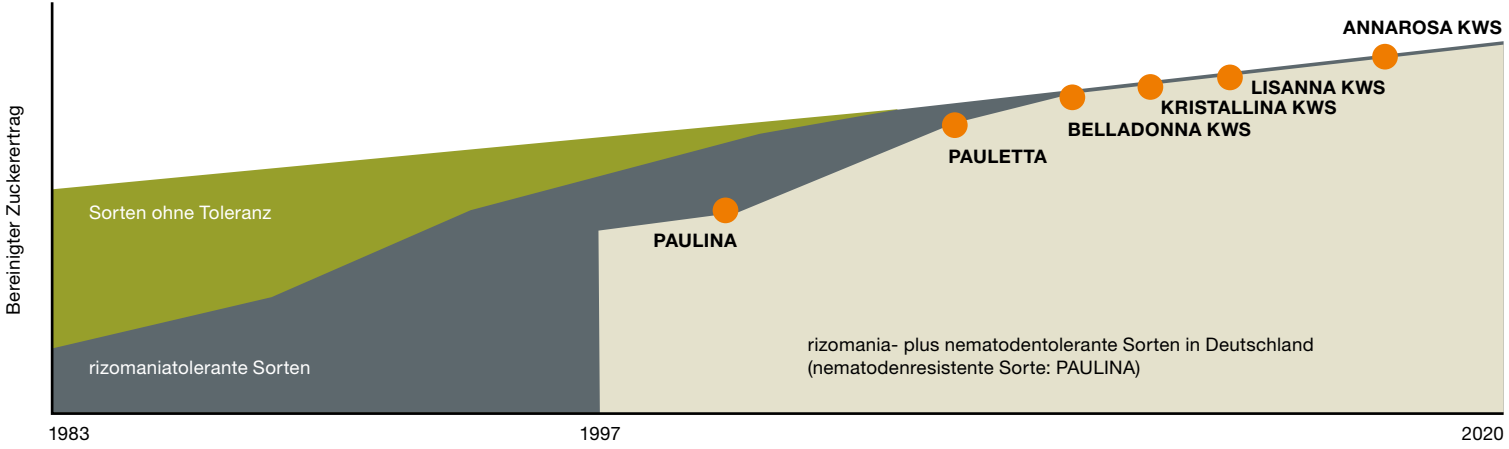
Symptome bei starkem Befall:
- Kümmerwuchs und verkürzte Hauptwurzel
- Ausbildung eines Wurzelbartes
- Stecknadelkopfgroße weiße Zysten an Seitenwurzeln (sicherer Nachweis)

Die effizienteste Maßnahme für eine nachhaltige Zuckerrübenproduktion auf Flächen mit Nematoden stellt der Anbau nematodentoleranter Zuckerrübensorten dar.

Der Rübenzystennematode wird einer der bedeutendsten Schädlinge in den deutschen und europäischen Anbaugebieten bleiben. Ertragsverluste durch einen Befall mit Nematoden wurden in der Vergangenheit deutlich unterschätzt. Schon ein latenter Befall kann signifikante Ertragsausfälle bewirken. Unter den anspruchsvollen ökonomischen Rahmenbedingungen im Zuckerrübenanbau verdient der Rübenzystennematode viel Aufmerksamkeit. Mit der Wanderung des Zuckerrübenanbaus in die besten Regionen und mit der Konzentration um die Zuckerfabriken nimmt die Anbaudichte bei Zuckerrüben regional und lokal wieder zu. Enge Rübenfruchtfolgen begünstigen den Rübenzystennematoden. Gleichzeitig ist ein stabiles und kontinuierlich steigendes Ertragsniveau unabdingbar, um die Rentabilität und Wettbewerbsfähigkeit des Zuckerrübenanbaus zu sichern. Dabei gilt es, Ertragsausfälle durch Schädlinge oder Krankheiten zu vermeiden, um eine sichere Erfüllung der

Vertragsmengen zu gewährleisten und damit auch zur Rohstoffsicherung der Zuckerfabriken beizutragen. Der Anspruch an die Leistungsfähigkeit geeigneter Zuckerrübensorten ist über die Zeit gestiegen. Pflanzenzüchtung zeigt immer wieder, dass sie den notwendigen Produktivitätsfortschritt liefern kann. Innerhalb nur weniger Jahre haben die Sorten aus dem KWS Spezialzüchtungsprogramm „Nematoden“ zur Leistung der rizomaniatoleranten Sorten, die den Standard darstellen, aufgeschlossen (Abb. 26).

Auf Flächen mit Nematodenbesatz und auf Verdachtsflächen schöpfen nematodentolerante Sorten das Ertragspotenzial des Standorts aus und sichern den vollen Bereinigten Zuckerertrag ab. Pflanzenzüchtung leistet mit der Entwicklung leistungsstarker Sorten einen zentralen Beitrag für die Wettbewerbsfähigkeit des Zuckerrübenanbaus. Jede neu zugelassene nematodentolerante Zuckerrübensorte ist ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zu 20 2020 t/ha Zucker



Quelle: KWS SAAT SE, eigene schematische Darstellung

Abb. 26: Nematodentolerante Sorten als Meilensteine auf dem Weg zu 20 2020 t/ha Zucker

Nematoden mit regionaler Bedeutung

Rübenkopfälchen *Ditylenchus dipsaci*

In den deutschen Zuckerrübenanbaugebieten sind die Rübenkopfälchen nach den zystenbildenden Nematoden die **zweitbedeutendste Nematodenart**.

Das Rübenkopfälchen *Ditylenchus dipsaci* hat mit über 450 Arten einen sehr umfangreichen Wirtspflanzenkreis. Es ist in zahlreiche Rassen untergliedert, von denen eine Reihe auch Beta-Rüben befallen kann. Im Zuckerrübenanbau ist es auch unter der Bezeichnung Stock- oder Stängelälchen bekannt. Das Rübenkopfälchen unterscheidet sich in der Biologie und im Schadbild deutlich von den zysten- und gallenbildenden Nematoden.

Symptome

Bei frühem Befall an Jungpflanzen kommt es zu einer Verdickung des Hypokotyls. Die jüngsten Blätter zeigen Missbildungen, die einem Wuchsstoffschaden ähneln (Abb. 27). Im Laufe des Sommers, etwa ab August, zeigen sich die schwerwiegenderen **Schadsymptome** am oberen Rübenkörper.

Abb. 27:
Frühbefall mit
Ditylenchus dipsaci

Abb. 28: Spätbefall mit
Ditylenchus dipsaci

Abb. 29:
Im Endstadium ist das Rübengewebe vollständig von Fäulnis zersetzt

Am Rübenkopf bilden sich zunächst schorfartige rissige Stellen, die sich später dunkel verfärben (Abb. 28).

Das Gewebe sinkt von diesen Stellen ausgehend ein und es bilden sich große, immer weiter ausbreitende Löcher. **Sekundäre Infektionen** durch Pilze, Bakterien und andere Nematodenarten führen im weiteren Verlauf in diesen tiefreichenden Rissen zu Fäulen (Rübenkopffäule). Im Zuge eines schweren Befalls kann der Rübenkopf vollständig abfaulen (Abb. 29).

Biologie

Das Rübenkopfälchen besitzt kein spezielles Überdauerungsorgan, es kann als Larve oder ausgewachsenes Tier in Pflanzenrückständen oder im Boden überwintern. Die **biologische Aktivität** beginnt bereits bei Bodentemperaturen von 1 - 5 °C.

Bei niedrigen Temperaturen im Mai und Juni und guter Durchfeuchtung der Oberkrume kommt es über die Schließzellen oder Verletzungen der Epidermis zur Einwanderung der Tiere in das Hypokotyl. Nach der Begattung legt das Weibchen in der Pflanze bis zu 500 Eier ab. Die aus den Eiern schlüpfenden Larven entwickeln sich zu geschlechtsreifen Tieren, wandern aus der Rübe ab oder verbleiben in dieser und produzieren weitere Nachkommen. Dieser **Entwicklungszyklus** kann bei 20 - 22 °C in 18 Tagen durchlaufen werden, sodass unter mitteleuropäischen Bedingungen in derselben Zuckerrübe bis zu fünf Generationen des Rübenkopfälchens entstehen können. Im Herbst wandern die Tiere in den Boden ab, wo sie in einem Zustand ohne messbaren Stoffwechsel (Anabiose) mehr als 10 Jahre (bisher maximal 23 Jahre im Versuch beobachtet) überdauern können.

Schäden

Das Rübenkopfälchen ist weltweit verbreitet und kann regional große Bedeutung haben. Innerhalb Deutschlands besitzt es vor allem im Süden und Westen lokale Bedeutung. Bei gehäuftem Auftreten können **Ertragsverluste** in Einzelfällen über 50 % betragen. Neben dem Verlust an Rübenmasse ist auch ein Qualitätsverlust zu verzeichnen, da ein Befall mit *Ditylenchus dipsaci* zu einem Rückgang des Zuckergehaltes bei gleichzeitigem Anstieg der Melassebildner führt. Die Schäden sind besonders dann signifikant, wenn nach dem Anfangsbefall mit Rübenkopfälchen sekundäre Infektionen durch Pilze und Bakterien eine Rübenkopffäule hervorrufen.

Bekämpfungsmöglichkeiten

Eine **direkte Bekämpfung** des Rübenkopfälchens ist nicht möglich. Eine weite Fruchtfolge kann zur indirekten Bekämpfung beitragen. Weizen und Gerste sowie Ölrettich stellen keine **Wirtspflanzen** dar und sind somit als Vor- bzw. Zwischenfrucht gut geeignet. Senf hingegen ist eine Wirtspflanze und sollte nicht verwendet werden.

Da *Ditylenchus-dipsaci*-Populationen häufig ein Rassengemisch darstellen, in dem zwei oder mehr Arten generell untereinander kreuzbar sind, ist ein Bekämpfungserfolg allerdings abhängig vom Wirtspflanzenspektrum des Nematoden. Es sollte neben der Zuckerrübe auch der Anbau weiterer möglicher Wirtspflanzen vermieden werden, wie z. B. Roggen, Hafer, Mais, Tabak, Raps, Ackerbohne, Erbse, Phaseolus-Bohne, Klee, Spinat, Möhren und Zwiebeln. Unter den Unkräutern sind folgende

Wirtspflanzen zu bekämpfen: Vogelmiere, Hederich, Ackersenf, Klettenlabkraut, Gemeines Kreuzkraut, Melde, Quecke, Windhalm und Flughafer.

Weitere Maßnahmen sind eine Förderung der Bodenstruktur, eine ausgeglichene Nährstoffversorgung sowie ein standortangepasster pH-Wert des Bodens. Um eine weitere Ausbreitung des Nematoden zu verhindern, sollte auf befallenen Flächen möglichst früh gerodet und abtransportiert werden.

Sortenwahl

Alle marktgängigen Sorten werden auf ihre Anfälligkeit gegenüber *Ditylenchus dipsaci* getestet. Hierbei ist eine nutzbare Variation zu finden. Es gibt daher mittlerweile Sortenempfehlungen mit weniger anfälligen Sorten für Befallsstandorte.

Achtung!
Senf sollte keinesfalls als Zwischenfrucht angebaut werden, da er ebenfalls eine Wirtspflanze für das Rübenkopfälchen ist. Das gilt auch für nematodenresistenten Senf! Nematodentolerante Sorten sind tolerant gegenüber den Zystenälchen *Heterodera schachtii* und nicht automatisch auch gegenüber den frei lebenden Nematoden *Ditylenchus dipsaci*.

Wurzelgallennematoden *Meloidogyne spp.*

Die Gattung der Wurzelgallennematoden kommt weltweit mit über 50 bekannten **Meloidogyne-Arten** vor und kann über 2.000 Kultur- und Wildpflanzenarten verschiedenster Familien befallen. In gemäßigten Zonen tritt in erster Linie *Meloidogyne hapla* auf, während in wärmeren Gebieten *Meloidogyne incognita* vorrangig anzutreffen ist. Im europäischen Zuckerrübenanbau spielen Meloidogyne-Arten nur eine sehr untergeordnete Rolle!

Abb. 30: Befall mit Wurzelgallennematoden

Symptome

Befallene Rüben zeigen **Wachstumshemmungen**. Bei höheren Temperaturen zeigen die Pflanzen **Welke**, erlangen in den frühen Morgenstunden aber häufig wieder ihre Turgeszenz. Das Wurzelwerk wirkt struppig, es kommt jedoch nicht zur Ausbildung eines dichten Wurzelbartes wie bei *Heterodera schachtii*. An den Seitenwurzeln sind deutlich knotige oder auch unregelmäßig ineinander übergehende Gallen zu erkennen, die von

Heterodera schachtii unterscheidbar sind (Abb. 30). Der Fachmann kann anhand der Gallenform Rückschlüsse auf die Meloidogyne-Art ziehen.

Biologie

Der **Entwicklungszyklus** der Gallennematoden gleicht dem des Rübenzystennematoden (siehe Abb. 12, Seite 19). Die Larven des zweiten Larvenstadiums dringen in die Wurzel ein, setzen sich fest und induzieren die Bildung von Wurzelgallen. In diesen entwickeln sich die Weibchen und legen bis über 400 Eier in einem gelatinösen Eiersack ab. Der Eiersack verhärtet sich außerhalb der Wurzel unter Braunverfärbung zur schützenden Hülle. Im Gegensatz zum Rübenzystennematoden sind die Eier und Larven im Boden nur **ca. zwei Jahre lebensfähig**. Unter mitteleuropäischen Bedingungen werden Meloidogyne-Arten in der Regel **drei Generationszyklen pro Vegetationsperiode** durchlaufen. In wärmeren Regionen sind bis zu 10 Generationen pro Jahr möglich.

Schäden

Wurzelgallennematoden spielen im Zuckerrübenanbau eine untergeordnete Rolle. Im Einzelfall können sie je nach Zeitpunkt und Intensität des Befalls **Ertragseinbußen** in Höhe von bis zu 20 % verursachen.

In der Regel beschränken sich die Schäden jedoch auf Wachstumsverzögerungen, die unter günstigen Bedingungen keine Ertragsrelevanz besitzen. Nur ein starker Frühbefall führt zum Totalausfall der Pflanzen. Schäden durch Meloidogyne-Arten bleiben meist auf sandige bis leicht schluffige Standorte beschränkt.

Bekämpfungsmöglichkeiten

Die Eier und Larven der Wurzelgallennematoden sind nur etwa zwei Jahre im Boden lebensfähig. Der Anbau von Wirtspflanzen sollte daher höchstens alle drei Jahre erfolgen. Wirtspflanzen sind u. a. Zuckerrüben, Möhren, Salat, Spinat, Gurken, Tomaten, Kartoffeln, Tabak, Erbsen, Bohnen, Ackerbohnen, Klee, Sonnenblumen etc. Weiterhin ist auf eine effektive **Unkrautbekämpfung** zu achten. Die wichtigsten Getreidearten gehören nicht zum Wirtspflanzenkreis der bedeutendsten Meloidogyne-Arten, sodass die gallbildenden Nematoden in üblichen dreijährigen Zuckerrübenrotationen mit zwei Halmfrüchten kein Problem darstellen.
Eine Ausnahme bildet *Meloidogyne chitwoodi*. Sein Wirtspflanzenkreis beinhaltet unter anderem auch die wichtigsten Getreidearten, sodass eine Bekämpfung über Fruchtfolgemaßnahmen kaum möglich ist. Sein Vorkommen ist u. a. aus den USA und den Niederlanden bekannt.

In Deutschland hat er gegenwärtig keine Bedeutung. Die Höhe der Schädigung ist abhängig von den Bodenverhältnissen, dem Saatzeitpunkt, der Verseuchungsdichte (Pi-Wert), den Klimaverhältnissen sowie den Antagonisten (z. B. Collembolen, Milben, räuberische Nematoden, parasitäre Pilze).

Wandernde Wurzelnematoden *Trichodorus spp., Paratrichodorus spp., Longidorus spp.*

Unter den zahlreichen Arten der Wandernden Wurzelnematoden befinden sich etliche, die an Zuckerrübenwurzeln parasitieren. Die wichtigsten gehören den drei Gattungen Trichodorus, Paratrichodorus und Longidorus an. Jedoch haben Wandernde Wurzelnematoden im Zuckerrübenanbau nur eine lokale Bedeutung, bespielsweise in England.

Symptome

Auf dem Feld äußert sich diese Krankheit, die aus England als „Docking Disorder“ bekannt ist, durch unregelmäßige Nester, in denen das Wachstum der Rüben deutlich vermindert ist.
Die Pflanzen zeigen aufgrund der Saugtätigkeit der Nematoden uneinheitliche Wurzelgrößen, vergilben und bleiben im Wachstum zurück.

Die Blattsymptome ähneln einem Stickstoff- oder Mangan-mangel, sind aber immer nur auf einzelne Bereiche im Feld beschränkt. Bei Schädigung der Vegetationspunkte junger Pflanzen wird die Rübe beinig und zeigt Symptome, wie sie durch Verdichtungen des Unterbodens entstehen (Abb. 31).

Abb. 31: Wurzeldeformationen nach Befall mit Wandernden Wurzelnematoden

Biologie

Die Wandernden Wurzelnematoden gehören zu den **außerhalb der Pflanze** lebenden Wurzelparasiten. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Schadnematoden der Zuckerrübe dringen Wandernde Wurzelnematoden nicht in die Pflanze ein, sondern ernähren sich durch Anstechen der äußeren Wurzelzellen. Die Larven und geschlechtsreifen Tiere bewegen sich dabei von Pflanze zu Pflanze und durchlaufen als freilebende Nematoden ihren gesamten Entwicklungszyklus außerhalb der Wurzel. Auch die Eiablage erfolgt in den Boden.

Schäden

Wirtschaftliche Bedeutung besitzen die Wandernden Wurzelnematoden innerhalb Europas nur in **England** und den **Niederlanden**. Dort kann ein Befall mit Wandernden Wurzelnematoden in Ausnahmefällen bei hoher Verseuchung und entsprechenden Klimabedingungen zu Ertragsausfällen in Höhe von 50 % führen. Die nachgewiesene Übertragung von Viren (Tobacco rattle virus und Tomato black ring virus) hat auf die Höhe der Ertragsverluste keinen signifikanten Einfluss. Kühlfeuchte Witterung besonders im Mai fördert die Schädigung, durch Trockenheit wird die Mobilität der Nematoden eingeschränkt. Die Nematoden treten vorwiegend auf leichten Böden auf.

Bekämpfungsmöglichkeiten

Aufgrund ihrer polyphagen Ernährungsweise sind die freilebenden Nematoden durch Fruchtfolgemaßnahmen kaum zu bekämpfen. Um einen Schaden durch diese Nematodenarten auf gefährdeten Standorten zu begrenzen, sind daher alle Maßnahmen zu empfehlen, die eine **zügige Pflanzenentwicklung fördern**.

Weitere KWS Ratgeber

Bitte beachten Sie auch unsere weiteren kostenlosen Fachbroschüren zu **Rizomania**, **Rhizoctonia** und **Blattkrankheiten**!

Einfach bestellen unter: www.kws.de

Tel.: 0 55 61 / 311-227
Fax: 0 55 61 / 311-600
E-Mail: info@kws.de

Fotos:
Seite 7, Abb. 1: https://de.wikipedia.org/wiki/Fadenwürmer#/media/File: Soybean_cyst_nematode_and_egg_SEM.jpg, 22.03.2017
Seite 9, Abb. 2: https://de.wikipedia.org/wiki/Julius_Kühn, 22.03.2017
Seite 9, Abb. 3: Johannes Hallmann, Matthias Daub, Florian Grundler, Andreas Westphal
150 Jahre Heterodera schachtii: Ein Überblick der frühen Arbeiten
JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN, 61 (12). S. 429 - 439, 2009, ISSN 0027-7479 VERLAG EUGEN ULMER KG, STUTTGART