

Pflanzenparasitäre Nematoden in der Schweiz

Wichtige Gattungen, Schadsymptome und Regulierungsmassnahmen

Autorinnen und Autoren: Tobias Stucky, Silvan Meyer, Thyda Sy, Paul Dahlin

Einleitung

Nematoden, auch als Fadenwürmer bezeichnet, sind eine artenreiche Tiergruppe, die weltweit verbreitet ist und nahezu alle Lebensräume besiedelt. Besonders zahlreich finden sie sich in Böden, kommen jedoch auch in aquatischen Lebensräumen vor und überleben selbst unter widrigen Umweltbedingungen.

Aufgrund ihrer enormen Häufigkeit und ökologischen Vielfalt zählen Nematoden zu den bedeutendsten und individuenreichsten Tiergruppen der Erde und stellen einen wesentlichen Anteil der Bodenfauna dar. Ökologisch spielen sie eine zentrale Rolle im Nährstoffkreislauf, insbesondere durch die Regulation mikrobieller Prozesse und den Umsatz organischer Substanz.

Nematoden besitzen zudem eine hohe landwirtschaftliche Relevanz. Einerseits werden bestimmte Arten gezielt als biologische Bekämpfungsorganismen gegen Insektenschädlinge eingesetzt, andererseits umfassen sie zahlreiche pflanzenparasitische Arten, die erhebliche Ertragsverluste verursachen können. Da die meisten Nematoden mikroskopisch klein sind, bleiben sie im Feld oft unbemerkt, obwohl sie sowohl nützliche als auch schädliche Auswirkungen auf Agrarökosysteme haben können.

Pflanzenparasitische Nematoden

Pflanzenparasitische Nematoden (PPN) sind obligate Parasiten und weltweit in landwirtschaftlichen Böden verbreitet. Sie können nahezu alle wichtigen Kulturpflanzen befallen. Rund 10–15 % der bekannten Nematodenarten gehören zu den PPN, wobei nur etwa 0,5–1 % wirtschaftlich relevant sind. Trotz dieses geringen Anteils verursachen sie weltweit erhebliche Ertragsverluste, die auf bis zu 80 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt werden. Das Schadensausmass hängt von der Nematodenart, der Populationsdichte, der Ausgangsdichte im Boden sowie der angebauten Kultur ab.

In der Schweiz zählen Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne* spp.), Zystenematoden (*Heterodera* spp. und *Globodera* spp.), Stängelnematoden (*Ditylenchus* spp.) sowie Läsionsnematoden (*Pratylenchus* spp.) aufgrund ihres breiten Wirts-

spektrums, ihrer weiten Verbreitung und ihres erheblichen Schadpotenzials zu den wichtigsten pflanzenparasitären Nematodengattungen. Wurzelgallennematoden stellen insbesondere im Gemüseanbau bedeutende Schädlinge dar und verursachen an Tomaten, Gurken, Karotten oder Kartoffeln Ertragsverluste bis hin zum Totalausfall durch Wurzelgallenbildung und Sekundärinfektionen. Zystenematoden befallen zahlreiche Ackerbaukulturen wie Zuckerrüben und Kartoffeln, wobei die Kartoffelzystenematoden *Globodera rostochiensis* und *Globodera pallida* in der Schweiz geregelte Quarantäneorganismen sind, weil sie erhebliche wirtschaftliche Schäden verursachen können. Neben *Meloidogyne*, *Globodera*, *Heterodera*, *Ditylenchus* und *Pratylenchus* besitzen auch Virusvektoren wie *Xiphinema* und *Longidorus* in einzelnen Spezialkulturen Bedeutung.

Ein Nematodenbefall ist häufig schwer zu erkennen, da die Symptome unspezifisch sind und leicht mit Nährstoffmangel oder anderen Schadursachen verwechselt werden können. Die Regulierung pflanzenparasitärer Nematoden ist aufgrund ihres oft breiten Wirtsspektrums, ihrer Persistenz im Boden und ihrer leichten Verschleppung über Maschinen und infiziertes Pflanzgut besonders anspruchsvoll. Da Bekämpfungsmassnahmen stark artspezifisch sind, stellt die korrekte Identifikation der Nematodenart die Grundlage eines erfolgreichen Managements dar. Nicht die Nematodendichte allein, sondern vor allem die vorhandenen Nematodenarten bestimmen die Wahl geeigneter Regulierungsstrategien. Eine sichere Artbestimmung bildet daher die Grundlage für wirksame und nachhaltige Managementmassnahmen. Prävention und eine gezielte Überwachung sind daher von zentraler Bedeutung.

Biologie und Ökologie

Pflanzenparasitäre Nematoden (PPN) durchlaufen in der Regel sechs Entwicklungsstadien: das Ei, vier Juvenilstadien (J1–J4) sowie das adulte Stadium. Die Embryonalentwicklung erfolgt im Ei, in dem sich die erste Larve (J1) bildet. Die erste Häutung findet meist noch im Ei statt, sodass das zweite Juvenilstadium (J2) schlüpft (Abb. 1).



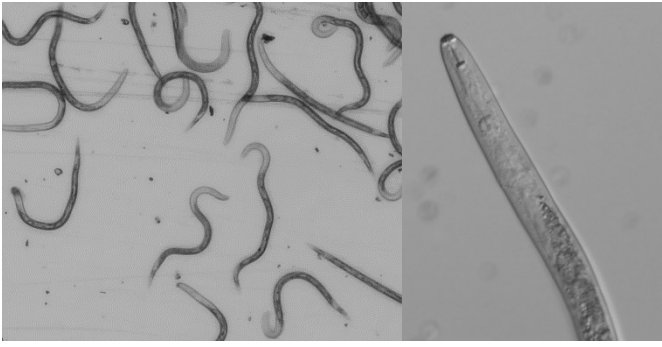


Abb. 1: Infektiöse Juvenile im Stadium 2 der Gattung *Pratylenchus* spp. mit stark ausgeprägtem Stylet (Fotos: Agroscope).

Bei vielen wirtschaftlich bedeutenden sedentären Endoparasiten (z. B. *Meloidogyne*-, *Heterodera*- und *Globodera*-Arten) stellt das J2 das wichtigste infektiöse Stadium dar. Nach dem Schlupf suchen die J2-Larven aktiv geeignete Wirtspflanzen auf und penetrieren das Wurzelgewebe mithilfe ihres Stilets. Innerhalb oder an der Pflanze erfolgen weitere Häutungen (J3 und J4), die schliesslich zum adulten Stadium führen. Ein ausgeprägter Sexualdimorphismus mit sessilen Weibchen und mobilen Männchen tritt insbesondere bei sedentären Endoparasiten auf: Während Weibchen sedentär

im Pflanzengewebe verbleiben, sind Männchen frei beweglich und bewegen sich im Boden oder im Rhizosphärenraum.

Pflanzenparasitäre Nematoden unterscheiden sich deutlich in ihren Ernährungs- und Lebensstrategien (Abb. 2). Eine grundlegende Einteilung erfolgt nach dem befallenen Pflanzenorgan (Blatt-, Stängel- oder Wurzelparasiten) sowie nach der Lebensweise (wandernd vs. sedentär). Wandernde (migratorische) Arten bewegen sich aktiv im Pflanzengewebe und ernähren sich dabei von verschiedenen Zellen, während sedentäre Arten eine dauerhafte Ernährungsstruktur induzieren und während ihrer Entwicklung an dieser Stelle verbleiben. Abhängig von ihrer Ernährungsweise können PPN zudem als ektoparasitisch (Nahrungsaufnahme von ausserhalb des Pflanzengewebes im Boden oder an der Wurzeloberfläche) oder endoparasitisch (Ernährung innerhalb des Wirtsgewebes) klassifiziert werden.

Migratorische Endoparasiten wie *Pratylenchus* spp. dringen typischerweise über die Wurzelspitze oder Wurzelhaare in das Wurzelgewebe ein und bewegen sich frei innerhalb der Wurzel, wo sie Zellen zerstören und sich fortpflanzen. Andere Gattungen, etwa *Aphelenchoides* spp. und *Ditylenchus* spp., gelangen über natürliche Öffnungen wie Spaltöffnungen in oberirdische Pflanzenteile und besiedeln Blätter bzw. Stängel. Einige oberirdisch parasitierende Nematoden, insbesondere Arten der Gattungen *Anguina*, *Ditylenchus* und *Aphelenchoides*, besitzen die Fähigkeit zur Anhydrobiose und können

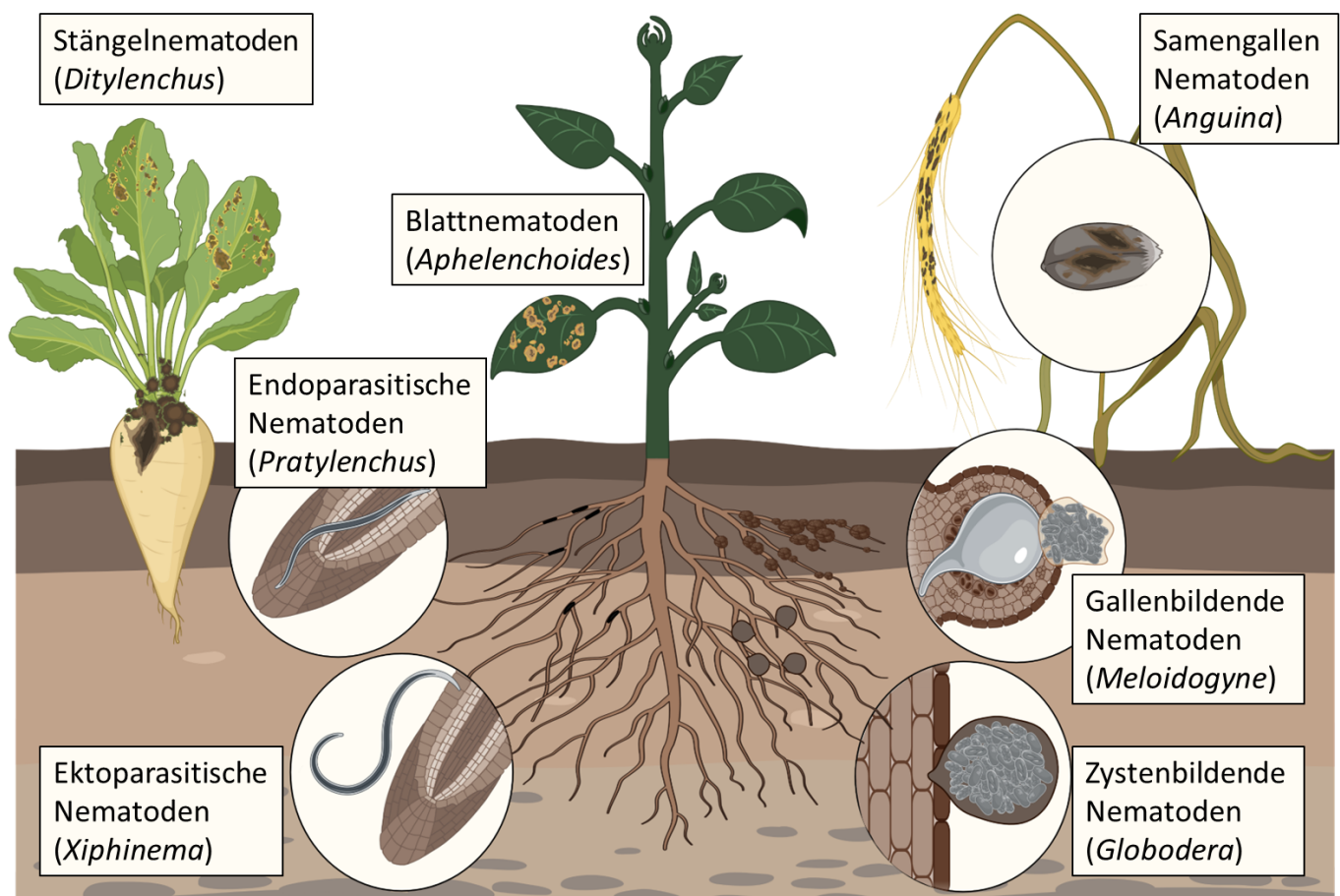


Abb. 2: Übersicht der verschiedenen Lebensweisen und Schadsymptome wichtiger pflanzenparasitärer Nematoden-Gattungen der Schweiz.

über Jahre in trockenem Pflanzenmaterial, Saatgut oder Pflanzenresten überdauern. Diese Eigenschaft trägt wesentlich zu ihrer Persistenz und Verschleppung bei. Zu den sedentären Endoparasiten zählen insbesondere Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne* spp.) und Zystennematoden (*Globodera* spp.). *Meloidogyne*-Arten penetrieren die Wurzel nahe der Wurzelspitze und wandern interzellulär bis in den Zentralzylinder, wo sie die Bildung spezialisierter Riesenzellen (Nährzellen) induzieren. Diese dienen als dauerhafte Nährstoffquelle und führen zur Ausbildung charakteristischer Wurzelgallen.

Zystennematoden wie *Globodera* spp. induzieren hingegen ein Syncytium als Ernährungsstruktur. Während der Entwicklung schwillt das Weibchen stark an, wobei der Hinterkörper aus der Wurzel herausbricht, während der Vorderkörper im Syncytium verankert bleibt. Nach der Befruchtung durch mobile Männchen entwickeln sich die Eier im Körper des Weibchens. Mit dessen Absterben verhärtet die Cuticula zu einer widerstandsfähigen Zyste, die zahlreiche Eier enthält. Unter günstigen Bedingungen können Zysten im Boden über viele Jahre, teils bis zu zwei Jahrzehnten, mit lebensfähigen Eiern überdauern und stellen somit ein langfristiges phytosanitäres Risiko dar.

Einfluss von Temperatur und Bodenbedingungen auf die Populationsentwicklung

Die Populationsentwicklung pflanzenparasitärer Nematoden wird wesentlich durch Umweltfaktoren beeinflusst. Insbesondere Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Bodenstruktur und Sauerstoffverfügbarkeit bestimmen Aktivität, Schlupf, Entwicklung und Reproduktionsrate der verschiedenen Nematodenarten. Da Nematoden wechselwarme Organismen sind, erfolgt ihre Entwicklung nur innerhalb eines artspezifischen Temperaturbereichs. Mit steigenden Temperaturen nimmt die Entwicklungsrate in der Regel zu, wodurch sich die Anzahl möglicher Generationen pro Vegetationsperiode erhöhen kann.

Auch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst die Vermehrung und Ausbreitung pflanzenparasitärer Nematoden. Die Bodenfeuchtigkeit spielt ebenfalls eine zentrale Rolle zur Fortbewegung, da Nematoden für ihre Fortbewegung auf zusammenhängende Wasserfilme im Boden angewiesen sind.

Diese ökologischen Zusammenhänge sind für das Nematoden-Management von grosser Bedeutung, da zahlreiche Bekämpfungsstrategien, darunter die Wahl des Saatzeitpunkts, der Einsatz von Fangpflanzen und Zwischenfrüchten, Schwarzbrache, Biofumigation oder thermische Verfahren direkt oder indirekt auf der Beeinflussung der Umweltbedingungen und damit der Populationsdynamik der Nematoden beruhen.

Schadsymptome

Pflanzenparasitäre Nematoden verursachen eine Vielzahl unterschiedlicher Schadsymptome an ihren Wirtspflanzen. Diese lassen sich grundsätzlich in oberirdische und unterirdische Symptome unterteilen (Abb. 2 und 3). Im Folgenden werden die wichtigsten Schadsymptome zusammenfassend dargestellt.

Oberirdische Symptome

Die oberirdisch auftretenden Pflanzensymptome sind oft unspezifisch und können leicht mit anderen biotischen sowie abiotischen Schäden verwechselt werden. In vielen Fällen wird der Befall erst erkannt, wenn sich die Nematoden bereits im Boden etabliert und grössere Schäden verursacht haben.

- **Wachstumsdepression:** Meist weisen befallene Pflanzen ein reduziertes bzw. gestörtes Wachstum auf.
- **Vergilbung** (Chlorose) und **Welkesymptome:** Aufgrund der beschädigten Wurzeln ist die Nährstoff- und Wasserzufuhr gestört, was zu gelblichen Blättern, Welkeerscheinungen und allgemein geschwächten Pflanzen führt.
- **Ertragsminderung:** Der Ernteertrag kann sinken, mit kleineren und weniger Früchten oder Gemüse.
- **Blattverfärbung:** Einige Nematoden können unspezifische Blattverfärbungen und chlorotische Flecken verursachen.
- **Wuchsdeformationen:** *Ditylenchus* spp. und andere Blatt- und Stängelnematoden verursachen Verdickungen, Stängelverdrehungen und Verwachsungen die zu abnormalem Blattwachstum führen.
- **Samenvergallung** bei *Anguina tritici* Befall

Typisch für viele Nematodenprobleme ist ein nesterweises Auftreten der Symptome innerhalb eines Feldes. Die Schadstellen breiten sich häufig von Jahr zu Jahr aus und können Hinweise auf eine ungleichmässige Verteilung der Nematodenpopulation im Boden liefern.

Unterirdische Symptome

Pflanzenparasitäre Nematoden verursachen unterirdische Symptome, die je nach Nematodenart variieren und erhebliche Schäden an Kulturpflanzen hervorrufen können. Die Art und Ausprägung der Symptome hängt von der Lebensweise der Nematode (endoparasitisch oder ektoparasitisch) sowie von der Wirtspflanze ab.

- **Wurzelgallen:** Das charakteristischste Symptom eines Befalls durch Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne* spp.) ist die Bildung gallenartiger Wucherungen und Verdickungen an den Wurzeln.
- **Wurzelläsionen:** Verursacht durch Wurzelläsionsnematoden können sich auf der Wurzeloberfläche braune bis schwarze Läsionen bilden, die durch absterbendes Gewebe entstehen.
- **Übermässige Wurzelverzweigung:** Nach Schädigung der Wurzelspitzen kann es zu einer verstärkten Bildung von Seitenwurzeln kommen. Dadurch entstehen stark verzweigte und oft verkümmerte Wurzelsysteme, die auch als Wurzelbart bezeichnet werden.
- **Verkümmerte Wurzelsysteme:** Der Befall kann zu einer reduzierten Wurzelentwicklung führen, mit geringem Feinwurzelanteil und verminderter Wasser- und Nährstoffaufnahme.
- **Zysten:** Bei einem Befall mit Zystennematoden (*Heterodera* spp., *Globodera* spp.) können weisse, hellgelbe bis braune Zysten als stecknadelkopfgrosse Kügelchen an Wurzeloberflächen mit blossen Auge sichtbar sein.

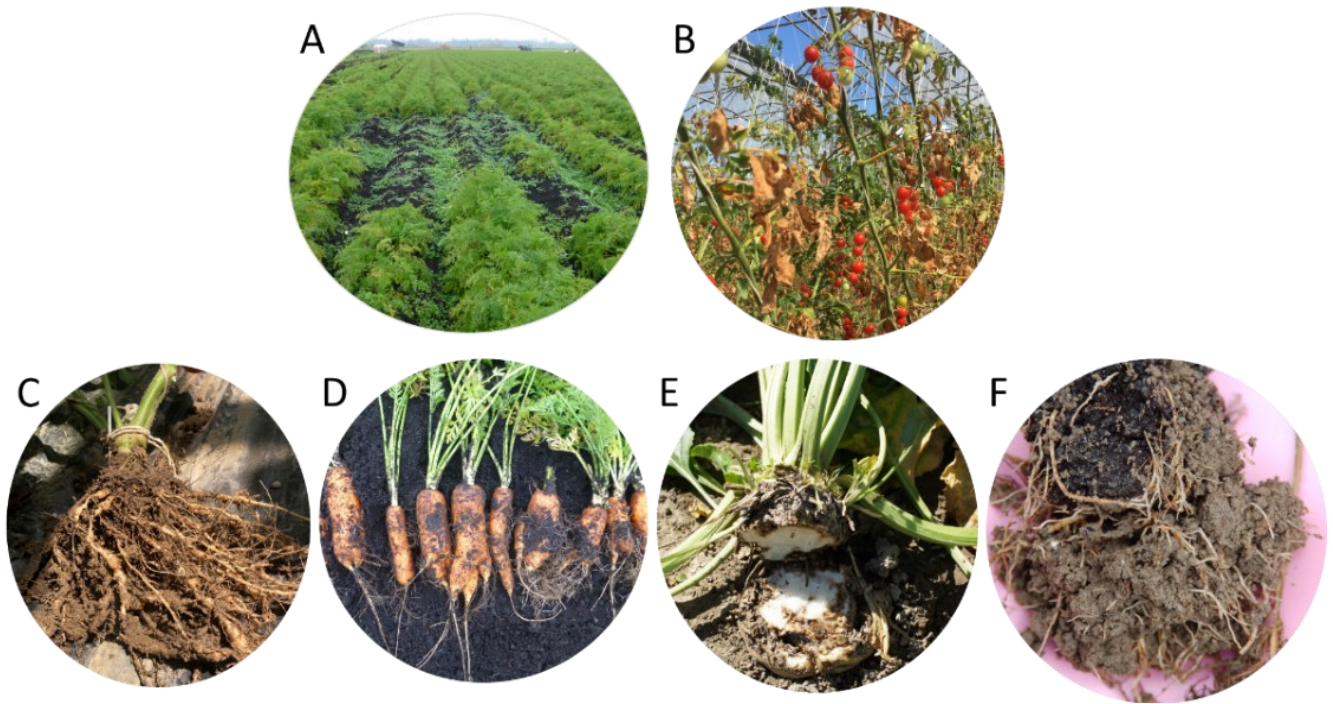


Abb. 3: **Oberirdische und unterirdische Symptome als Reaktion auf Nematodeninfektionen.** (A) Nesterweise auftretender Kümmerwuchs bei *Heterodera-carotae*-Befall an Karotten. (B) Welke und Vergilbung bei Tomaten mit Wurzelgallennematoden. (C) Gallenformation durch *Meloidogyne arenaria* bei Tomatenwurzeln. (D) Kleinwüchsige, verzweigte und behaarte Karotten aufgrund von *Pratylenchus*-spp.-Befall. (E) Fäulnis bei Zuckerrübe mit *Ditylenchus-dipsaci*-Befall. (F) Läsion an Fenchelwurzeln ausgelöst durch *Paratylenchus* spp. (Fotos: Lutz Collet, Grangeneuve, Reinhard Eder, Tobias Stucky).

Sekundäre Krankheiten

Pflanzenparasitäre Nematoden können Pflanzen nicht nur direkt, sondern auch indirekt schädigen. Durch die von Nematoden verursachten Wundstellen in Wurzeln, Knollen oder der Stängelbasis können sekundäre Infektionen durch Pilze, Bakterien und andere Bodenpathogene eindringen und Wurzel-, Knollen- oder Stängelfäule hervorrufen. Damit tragen Nematoden nicht nur zur Schädigung der Wurzeln bei, sondern verstärken oder begünstigen komplexe Krankheitssysteme, insbesondere durch die Bildung von Nematoden-Pilz- oder Nematoden-Bakterien-Krankheitskomplexen. So fördern Wurzelläsionsnematoden (*Pratylenchus* spp.) beispielsweise Infektionen durch *Fusarium*-Arten, während *Ditylenchus dipsaci* bakterielle Fäulnisprozesse begünstigen kann. Die tatsächliche Schadwirkung eines Nematodenbefalls wird daher oft durch das Zusammenwirken mit weiteren Pathogenen verstärkt.

Zudem fungieren einige pflanzenparasitäre Nematodenarten als Vektoren pflanzenpathogener Viren. Vertreter der Gattungen *Xiphinema*, *Longidorus* und *Trichodorus* sind als Überträger von NEPO- und NETO-Viren bekannt, die schwere Viruskrankheiten in verschiedenen Kulturpflanzen auslösen.

Wichtig: Das Ausmass sichtbarer Symptome steht nicht immer in direktem Zusammenhang mit der Populationsdichte der Nematoden. Bereits geringe Besatzdichten können unter ungünstigen Wachstumsbedingungen erhebliche Schäden verursachen, während Pflanzen bei optimalen Bedingungen auch höhere Nematodenpopulationen teilweise kompensieren können.

Präventive Massnahmen

Präventive Massnahmen können die Einschleppung, Etablierung und Ausbreitung von PPN in landwirtschaftlichen Systemen deutlich reduzieren. Eine konsequente Betriebshygiene, eine sorgfältige Sortenwahl, die Förderung der Bodenbiologie durch organische Substanz sowie regelmässige Nematodenuntersuchungen bilden zusammen die Grundlage für ein effektives Nematodenmanagement.

Betriebshygiene

Pflanzenparasitäre Nematoden können sich im Boden nur über sehr kurze Distanzen aktiv bewegen. Die Einschleppung und die Ausbreitung erfolgen daher grösstenteils durch menschliche Aktivitäten. Landwirtschaftliche Geräte, Werkzeuge, Fahrzeuge und Schuhwerk können mit befallenen Boden oder Pflanzenmaterial kontaminiert werden und so zur Verschleppung von PPN beitragen. Auch Bewässerungs- und Oberflächenwasser sowie Bodenverlagerungen können zur Ausbreitung pflanzenparasitärer Nematoden beitragen. Konsequente Hygienemassnahmen und phytosanitäre Vorkehrungen wie Desinfektionsmatten, separates Schuhwerk und die gründliche Reinigung von Bodenbearbeitungsmaschinen vor und nach Gebrauch sind daher essenziell, um die Einschleppung und Verbreitung von PPN zu verhindern.

Verwendung von zertifiziertem Saat- und Pflanzgut

Die Einschleppung von PPN erfolgt häufig über infiziertes Pflanzmaterial wie Samen, Setzlinge, Knollen, Stecklinge oder Wurzelstöcke. Die Verwendung von zertifiziertem Saat- und Pflanzgut, das auf pflanzenparasitäre Nematoden untersucht wurde und frei von relevanten Schadartbeständen ist, senkt

das Risiko einer Einschleppung signifikant. Eine gezielte Sortenwahl mit Resistenzen oder Toleranzen gegenüber wichtigen Nematodenartengruppen ergänzt diese Massnahme und trägt zur langfristigen Stabilisierung des Besatzes bei.

Beikrautregulierung

Viele Beikräuter können als alternative Wirte für pflanzenparasitäre Nematoden dienen und so zu deren Erhaltung und Vermehrung beitragen. Eine konsequente Beikrautregulierung reduziert daher potenzielle Wirtspflanzen und kann das Befallsrisiko langfristig senken.

Förderung der Bodenbiologie durch organische Substanz

Die Ausbringung und Einarbeitung organischer Substanz (z. B. Gründüngung, Stallmist, Ölkuchen) kann unterdrückend auf PPN wirken. Der organisch angereicherte Boden fördert die mikrobielle Aktivität und die Besiedlung durch natürliche Gegenspieler von PPN, wie nematophage Pilze und bakterielle Antagonisten. Zusätzlich verbessert die erhöhte Nährstoffverfügbarkeit die Vitalität und Toleranz der Kulturpflanzen gegenüber Nematodenstress, während die Zersetzung einzelner organischer Materialien nematizide Verbindungen freisetzen kann, die das Wachstum und die Reproduktion von PPN hemmen. Die Wirkung organischer Substanz auf pflanzenparasitäre Nematoden hängt jedoch stark von den Standortbedingungen, der Ausgangspopulation sowie der Art des eingesetzten Materials ab.

Nematodennachweis

Regelmässige Bodenuntersuchungen landwirtschaftlicher Flächen auf pflanzenparasitäre Nematoden sind entscheidend, um einen Befall frühzeitig zu erkennen, die Ausbreitung und Verschleppung zu verhindern und gegebenenfalls eine frühzeitige Bekämpfung zu ermöglichen. Für eine zuverlässige Diagnose ist eine fachgerechte Probenahme wichtig. Da pflanzenparasitäre Nematoden im Feld häufig ungleichmässig verteilt auftreten, sollten Bodenproben aus mehreren Stellen einer Parzelle entnommen und zu einer Mischprobe zusammengeführt werden. Die Bestimmung der vorhandenen Nematodenarten bildet die Grundlage für gezielte Bekämpfungs- und Vorbeugemassnahmen.

Massnahmen zur Regulierung von Pflanzenparasitären Nematoden

Zur Regulierung von Nematoden bei einem bestehenden Befall stehen verschiedene integrierte Bekämpfungsmassnahmen zur Verfügung, darunter kulturelle Verfahren wie Fruchtfolgegestaltung und der Anbau resistenter oder toleranter Pflanzensorten, physikalische Methoden wie die Bodendämpfung, Biofumigation sowie biologische Verfahren unter dem Einsatz natürlicher Antagonisten. Chemische Methoden stehen in der Schweiz hingegen nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung und unterliegen strengen gesetzlichen Regulierungen, weshalb präventive und kulturtechnische Massnahmen die Grundlage des Nematodenmanagements bilden. Ihr Einsatz ist daher nur in Ausnahmefällen und unter Einhaltung spezifischer Auflagen möglich (Stand Mai 2026).

Fruchtfolge

Pflanzenparasitische Nematoden können im Boden oder in Pflanzenmaterial überdauern und dadurch nachfolgende Kulturen befallen. Eine der wichtigsten und nach wie vor wirksamen Massnahmen zur Regulierung von Nematodenpopulationen in einjährigen Kulturen ist die gezielte Gestaltung der Fruchtfolge. Durch den selektiven Anbau von Nichtwirtspflanzen oder resistenten Sorten können sich Nematoden nicht oder nur eingeschränkt vermehren, was zu einem Rückgang der Population führt. Die erforderliche Dauer einer wirksamen Fruchtfolge hängt jedoch stark von der Nematodenart sowie der Ausgangspopulation im Boden ab.

Eine reduzierte Ausgangspopulation wirkt sich zudem positiv auf anfällige Kulturen aus, da ein geringer initialer Nematodendruck die Etablierung, das Wachstum und die Ertragsbildung verbessert. Besonders wirksam ist die Fruchtfolge bei Nematodenarten mit enger Wirtsspezifität, wie den Kartoffelzystennematoden (*Globodera rostochiensis* und *G. pallida*), die sich durch den Anbau von Nichtwirtspflanzen oder resistenten Sorten gezielt unterdrücken lassen.

Demgegenüber erschweren polyphage Gattungen wie die Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne*-Arten) aufgrund ihres breiten Wirtsspektrums die Auswahl geeigneter Fruchtfolgen erheblich. Zusätzlich können Mischpopulationen verschiedener Nematodenarten das effektive Wirtsspektrum weiter erweitern. Dadurch kann die Planung geeigneter Fruchtfolgen deutlich erschwert werden, da eine Kultur gegenüber einer Nematodenart resistent oder wenig anfällig sein kann, gleichzeitig jedoch als Wirt für andere Arten dient. Für viele Nematodenarten ist das vollständige Wirtspflanzenpektrum zudem noch nicht abschliessend geklärt.

Zur Unterstützung der Fruchtfolgeplanung steht mit «Best4Soil» (www.best4soil.eu) eine kontinuierlich aktualisierte Online-Datenbank zur Verfügung, die wissenschaftliche Daten zu Wirtspflanzen und Resistenzsorten bündelt und in der Praxis als Entscheidungshilfe genutzt wird.

Zwischenfruchtanbau

Der Anbau von Zwischenfrüchten wie Nichtwirtspflanzen, Fangpflanzen, Feindpflanzen oder Biofumigationspflanzen (z. B. Ölrettich, Weisses Senf, Rauhafer) zwischen zwei Hauptkulturen reduziert pflanzenparasitäre Nematodenpopulationen, verhindert Bodenerosion und fördert das Bodenleben signifikant. Jedoch ist der Effekt von Zwischenfrüchten auf pflanzenparasitäre Nematoden stark von der gewählten Pflanzenart, der Nematodenart sowie der Anbaudauer abhängig.

Fangpflanzen

Das Anpflanzen von Fangpflanzen als Zwischenfrucht ist eine wirksame Strategie zur Bekämpfung sesshafter pflanzenparasitärer Nematoden, insbesondere von Wurzelgallennematoden oder Zystennematoden. Dabei wird eine anfällige Wirtspflanze vor der Hauptkultur angebaut, um die Nematoden aktiv anzulocken. Diese dringen in die Wurzeln ein und beginnen ihre Entwicklung. Die Fangpflanzen werden jedoch vor der Eiablage beziehungsweise vor dem Abschluss der Reproduktion vernichtet, sodass sich die Nematodenpopulation nicht weiter vermehren kann. Der Zeitpunkt der

Vernichtung der Pflanzen ist dabei entscheidend und hängt von der Entwicklungsdauer der Nematoden ab. Der optimale Zeitpunkt für die Vernichtung der Fangpflanzen hängt daher von der Nematodenart sowie deren Temperaturanforderungen ab. Entscheidend ist, dass die Pflanzen vor der Eiablage beziehungsweise vor dem Abschluss des Lebenszyklus der Nematoden vernichtet werden. Wenn die Zwischenfrucht zu lange steht oder nicht vollständig vernichtet wird, besteht die Gefahr, dass die Nematoden ihren Lebenszyklus abschliessen und die Population sogar zunimmt.

Mehrere Fangpflanzen haben sich als wirksam erwiesen, darunter die Kreuzblütengewächse (Raps, Senf und Ölrettich), die Kürbisgewächse (Flaschenkürbis), sowie die Hülsenfrüchtler (Wicken-Sorte 976).

Feindpflanzen (antagonistische Pflanzen)

Der Einsatz von Feindpflanzen mit nematizider Wirkung als Zwischenfrucht stellt eine umweltfreundliche Strategie zur Bekämpfung bestimmter pflanzenparasitärer Nematodenarten dar. Die bioaktiven Verbindungen dieser Pflanzen werden über Wurzelausscheidungen oder als Abwehrreaktion auf das Eindringen von Nematoden freigesetzt. Zu den wirksamsten Feindpflanzen zählen Studentenblumen (*Tagetes patula*, *Tagetes erecta*), die insbesondere gegenüber Wurzel-läsionsnematoden der Gattung *Pratylenchus* eine hohe Wirksamkeit zeigen. Die nematizide Wirkung von *Tagetes* beruht auf der Produktion bioaktiver Verbindungen, insbesondere α -Terthienyl, die durch Licht oder enzymatische Prozesse aktiviert werden und nach Kontakt oder Eindringen der Nematoden in die Wurzeln toxisch wirken.

Resistente Sorten

Der Einsatz resistenter oder toleranter Sorten stellt, wo verfügbar, eine der effizientesten und umweltfreundlichsten Massnahmen zur Regulierung pflanzenparasitärer Nematoden dar. Durch die Verwendung solcher Sorten kann die Vermehrung und Schädigung von Nematoden erheblich reduziert werden. Resistente Sorten verhindern beispielsweise die Infektion oder Etablierung der Nematoden an den Wurzeln der Wirtspflanzen sowie deren weitere Entwicklung und Reproduktion, was zu einer deutlichen Reduktion der Nematodendichte im Boden führt. In Kulturen wie Tomaten oder Kartoffeln stehen Sorten mit spezifischen Resistenzgenen, beispielsweise das Mi-Gen in Tomaten oder das Gpa2-Gen in Kartoffeln, bereits erfolgreich zur Verfügung. In vielen Gemüsearten sind jedoch bislang nur wenige resistente Sorten verfügbar, was die Umsetzung dieser Strategie einschränkt. Zudem kann eine langfristige und ausschliessliche Nutzung derselben Resistenzquelle zur Selektion virulenter Nematodenpopulationen führen, die in der Lage sind, die Resistenz zu überwinden. Daher wird empfohlen, resistente Sorten im Wechsel mit toleranten oder anfälligen Sorten sowie in Kombination mit Fruchtfolge- und Bodenmanagementmassnahmen einzusetzen, um eine nachhaltige Wirkung zu gewährleisten.



Abb. 4: Einarbeitung der vorher gemulchten Senfpflanzen in den Boden mit einer Spatenmaschine (Foto: Agroscope).

Biofumigation

Biofumigation ist eine umweltfreundliche Methode, die sich die natürlichen Abwehrmechanismen bestimmter Pflanzen zunutze macht. Diese Technik basiert auf der Verwendung von Pflanzenarten, die einen hohen Gehalt an Glucosinolaten aufweisen. Zur Vollblüte werden die Pflanzen fein gehäckselt und direkt anschliessend in den Boden eingearbeitet (Abb. 4.). Dabei setzen sie durch die enzymatische Reaktion der Glucosinolate mit der zuvor in der Zelle räumlich getrennten Myrosinase flüchtige Senfgase, insbesondere Isothiocyanate und Thiocyanate, frei, die eine toxische Wirkung auf pflanzenparasitäre Nematoden sowie andere bodenbürtige Schad-erreger im Boden haben. Insbesondere die Verwendung von bestimmten Senfsorten, Raps oder Ölrettichsorten aus der Familie der Kreuzblütengewächse ist weit verbreitet. Um das Entweichen der flüchtigen Senfgase zu verhindern, kann der Boden mit einer dichten Plastikfolie abgedeckt werden. Der dabei entstehende Solarisationseffekt kann die nematizide Wirkung durch erhöhte Bodentemperaturen zusätzlich verstärken. Einige Zwischenfruchtarten, beispielsweise bestimmte Ölrettich- oder Senfsorten, können je nach Sorte und Nematodenart sowohl zur Biofumigation als auch direkt zur Reduktion pflanzenparasitärer Nematoden beitragen.

Schwarzbrache

Pflanzenparasitäre Nematoden sind biotroph und somit auf eine Wirtspflanze angewiesen. Das Ziel einer Schwarzbrache, dem bewusst unbepflanzten Zustand einer landwirtschaftlichen Fläche über einen bestimmten Zeitraum, ist es, den Nematoden im Boden die Nahrungsgrundlage zu entziehen und sie dadurch auszuhungern. Diese Massnahme ist insbesondere bei Nematoden mit breitem Wirtsspektrum sinnvoll. Die Wirksamkeit einer Schwarzbrache hängt daher von der Nematodenart, der Dauer der Massnahme sowie einer konsequenten Beikrautregulierung ab. Für eine wirksame Reduktion der *Meloidogyne-hapla*-Population ist eine mindestens einjährige Schwarzbrache erforderlich, wobei Beikräuter konsequent und in regelmässigen Abständen zu entfernen sind.



Abb. 5: Hors-Sol-System mit Tomaten als Kulturpflanze im Gewächshaus bei Agroscope.

Eine Schwarzbrache während der wärmeren Jahreszeiten ist besonders effektiv, da die biologische Aktivität möglicher Antagonisten gefördert wird und der Stoffwechsel der Nematoden meist höher ist, wodurch Nematoden eigene Nahrungsreserven schneller abgebaut werden. Ein grosser Nachteil der Schwarzbrache ist die Auswaschung von Nährstoffen sowie eine erhöhte Erosionsgefahr.

Bei Nematodenbefall in Gewächshauskulturen kann als Alternative ein Hors-Sol-System installiert werden, bei dem der Boden mit einer Folie abgedeckt wird und der Anbau ohne Bodenkontakt trotzdem ermöglicht wird (Abb. 5).

Saatzeitpunkt

Die Entwicklung pflanzenparasitärer Nematoden ist stark temperaturabhängig. Ein vollständiger Lebenszyklus kann erst ab einer artspezifischen Mindesttemperatur und nach Erreichen einer erforderlichen Temperatursumme abgeschlossen werden, wodurch das Schlüpfen aus den Eiern ausgelöst wird. Bei niedrigen Bodentemperaturen sind Nematoden hingegen inaktiv oder in ihrer Aktivität stark eingeschränkt.

Ein früher Anbau von Kulturpflanzen im Freiland bei noch niedrigeren Aussentemperaturen kann daher zur Begrenzung von Nematodenschäden beitragen. Etablieren sich die Jungpflanzen frühzeitig und entwickeln sich rasch, weisen sie eine erhöhte Toleranz gegenüber Nematodenbefall auf. Gleichzeitig steht den Nematoden aufgrund der verkürzten Vegetationsperiode nur ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung, um ihren Lebenszyklus abzuschliessen.

Kulturarten wie Frühkartoffeln und Zuckerrüben eignen sich besonders für einen frühen Anbauzeitpunkt und können somit zur Reduktion des Befallsrisikos beitragen.

Biologische Kontrolle

Natürliche Gegenspieler wie Pilze und Bakterien sind in der Lage, pflanzenparasitäre Nematoden im Boden zu regulieren. Die Wirksamkeit biologischer Antagonisten im Feld wird jedoch stark von Faktoren wie Bodentemperatur, Bodenfeuchte und der Zusammensetzung des Bodenmikrobioms beeinflusst. Entsprechend können die erzielten Wirkungen unter Praxisbedingungen zwischen Standorten und Jahren deutlich variieren. Zu den wichtigsten pilzlichen Antagonisten gehören Arten der Gattungen *Arthrobotrys*, *Dactylaria*, *Dactylella* und *Monacrosporium* sowie eierparasitische Pilze wie *Purpureocillium lilacinum* und *Pochonia chlamydosporia*.

Das in der Schweiz zugelassene biologische Produkt BioAct WG (Andermatt Biocontrol) basiert auf Sporen des Pilzes *Purpureocillium lilacinum*, der vor allem die Eier pflanzenparasitärer Nematoden befällt. Bakterielle Antagonisten, insbesondere bestimmte Arten der Gattungen *Bacillus* und *Pasteuria*, wirken gegen Nematoden durch die Produktion nematizider Metaboliten sowie die direkte Parasitierung oder Hemmung ihrer Entwicklung, was zur Reduktion der Nematodenpopulation im Boden führt.

Eine besonders gut erforschte Art ist *Pasteuria penetrans*, welche *Meloidogyne*-Arten direkt parasitieren kann. Die Sporen haften an der Cuticula der Nematoden, dringen in deren Körper ein und entwickeln sich dort weiter, was letztlich zur nachhaltigen Kontrolle der Nematodenpopulation führt.

Dämpfen

Bei dieser effektiven Bekämpfungsmassnahme wird Heissdampf in den Boden geleitet, wobei eine Temperatur zwischen 50 °C bis 80 °C angestrebt wird. Bei diesen Temperaturen werden Nematoden, mehrere Bakterienarten, Beikrautsamen und Insekten inaktiviert. Ein wesentlicher Nachteil ist, dass die Hitze nicht nur Zielorganismen, sondern auch nützliche Mikroorganismen stark reduziert und die mikrobiellen Gemeinschaften und die Stickstoffumsetzung im Boden längerfristig verändern kann. Insbesondere nitrifizierende Bakterien können über Wochen bis Monate stark beeinträchtigt sein. Ein weiterer Nachteil der Bodendämpfung ist, dass die hohen Temperaturen phytotoxische Stoffe freisetzen können. Durch die thermische Mineralisierung steigen insbesondere die Gehalte an ammoniumhaltigem Stickstoff und austauschbarem Mangan, und es können erhöhte Konzentrationen löslicher Salze sowie nitritischer Stickstoff-Formen auftreten, die das Pflanzenwachstum beeinträchtigen können. Zudem ist das Verfahren mit einem hohen Arbeits- und Energieeinsatz verbunden und verursacht im Vergleich zu anderen Bodenentseuchungsmethoden häufig erhebliche Kosten.

Chemische Kontrolle

Der Einsatz chemischer Nematizide birgt erhebliche Risiken für Mensch und Umwelt, weshalb ihr Gebrauch zunehmend eingeschränkt wird. In der Schweiz ist derzeit ausschliesslich das chemische Nematizid Basamid für die Flächen- und Substratbehandlung im Gemüsebau unter strengen Auflagen zugelassen. Dieses Nematizid wird in Granulatform angeboten und darf auf derselben Parzelle nur alle drei Jahre verwendet werden. Der Wirkstoff Dazomet (DMTT) zeigt neben seiner nematiziden Wirkung auch fungizide und herbizide Wirkung, wodurch er ein breites Wirkungsspektrum auch gegen Nützlinge aufweist. Aufgrund der hohen Anforderungen an Anwenderschutz, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit spielt die chemische Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden in der Schweiz heute nur noch eine untergeordnete Rolle.

Integratives Management

Ein integratives Management von pflanzenparasitären Nematoden ist ein ganzheitlicher Ansatz, der auf der gezielten Kombination verschiedener Bekämpfungsmassnahmen beruht, da einzelne Methoden in der Regel nur eine begrenzte Wirkung entfalten. Ziel dieses Ansatzes ist nicht die vollständige Ausrottung, sondern die nachhaltige Kontrolle der Nematodenpopulationen unterhalb eines wirtschaftlich schädlichen Niveaus, um Ertragsverluste zu minimieren und gleichzeitig ökologische Auswirkungen gering zu halten. Dabei werden standort- und artspezifische Bedingungen berücksichtigt, indem Strategien gezielt an die vorhandenen Nematodenarten, die Fruchtfolge, den Bodentyp sowie die jeweiligen Anbauverfahren angepasst werden. Durch diese integrative und adaptive Vorgehensweise trägt das Management wesentlich zur langfristigen Stabilität von Agrarökosystemen bei.

Impressum

Herausgeber	Agroscope Rte de la Tioleyre 4, Postfach 64 1725 Posieux www.agroscope.ch
Auskünfte	Paul Dahlin, paul.dahlin@agroscope.admin.ch
Lektorat	Erika Meili
Fotos	Agroscope
Weitere Informationen	nematologie.agroscope.ch
Copyright	© Agroscope 2026

Haftungsausschluss

Agroscope schliesst jede Haftung im Zusammenhang mit der Umsetzung der hier aufgeführten Informationen aus. Die aktuelle Schweizer Rechtsprechung ist anwendbar.
