

Wilfried Ahrens<sup>\*1</sup>, Christian Berthold<sup>1</sup>, Günter Böck<sup>1</sup>, Jessica Droth<sup>1</sup>, Thomas Fischer<sup>1</sup>, Jürgen Flessa<sup>1</sup>, Christian Freitag<sup>1</sup>, Hans-Jürgen Gareis<sup>1</sup>, Helgard I. Nirenberg<sup>2</sup>, Georg Otto<sup>3</sup>, Christiane Peetz<sup>1</sup>, Andreas Rohn<sup>1</sup>, Josef Schlang(†)<sup>4</sup>, Thomas Weidner<sup>1</sup>

## Ursachen des Hopfensterbens

Causal Agents of Hop Dying

375

### Zusammenfassung

Stockfaule Hopfenpflanzen im Hopfenanbaugebiet Spalt bei Nürnberg weisen Befall mit dem Gefäßparasiten *Ceratocystis paradoxa* auf. Aus Bodenproben von über 100-jährigen Hopfengärten konnten die Pilze *Fusarium oxysporum* und *F. equiseti* isoliert werden. Bei der mikroskopischen Untersuchung von Hopfenwurzeln wurden Pilze der Gattungen *Rhizoctonia* und *Pythium* gefunden, die als Wurzelfäule-Erreger bekannt sind. An Faserwurzeln war starker Befall mit Hopfen-Zystennematoden (*Heterodera humili*), sowie an Haarwurzeln Befall mit Strahlenpilzen (Actinomycetes) zu erkennen, die für Bodenmüdigkeitserscheinungen verantwortlich sind.

**Stichwörter:** Hopfen, Hopfensterben, *Ceratocystis paradoxa*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Heterodera humili*, Actinomycetes

### Abstract

Rotten hop-stocks in the hop growing area of Spalt near Nuremberg were attacked by the vessels-invading fungus *Ceratocystis paradoxa*. The fungi *Fusarium oxysporum* and *F. equiseti* could be isolated from soil of a 100 years old hop garden. By microscopic examination, fungi of the genera *Rhizoctonia* and *Pythium* were found, which are known as root rot pathogens. The filamentous roots were severely attacked by hop cyst nematodes (*Heterodera humili*), and the hairy roots were infested with Actino-

mycetes, both responsible for the soil exhaustion syndrome.

**Key words:** Hop, hop dying, *Ceratocystis paradoxa*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti*, *Heterodera humili*, Actinomycetes

### Einleitung

Da im Spalter Anbaugebiet die Hopfenerträge seit 1980 von 1600 kg/ha auf heute unter 1000 kg/ha zurückgegangen sind, wurden die Ursachen dieser Entwicklung untersucht. Schon mit bloßem Auge waren an den Sommer-(Jahres-)wurzeln von Hopfenpflanzen, die auf Flächen mit z. T. über 100-jährigem ununterbrochenem Hopfenanbau standen, Zysten des Hopfenzystennematoden (*Heterodera humili*) zu erkennen.

Der Hopfenzystennematode ist in allen europäischen Hopfenanbaugebieten anzutreffen und hat sich mit dem Austausch von Hopfenfechsern weltweit verbreitet. Wirtspflanzen sind vor allem die mit Hopfen (*Humulus lupulus*) verwandten Pflanzen Große Brennnessel (*Urtica dioica*), Kleine Brennnessel (*U. urens*) und Hanf (*Cannabis sativa*). Erbse (*Pisum sativum*) und Zottelwicke (*Vicia villosa*) sind mit Hopfen nicht verwandt und trotzdem gute Wirtspflanzen für *H. humili*.

DUFFIELD (1925) stellte in Topfversuchen nach Inokulation mit 600 bis 800 Eiern und Larven und 45 Zysten je Wurzelsystem fünf Monate nach der Pflanzung fest, dass das Gewicht der Hopfenpflanzen um 63 % gegenüber der

### Institut

Fachhochschule Weihenstephan, Abteilung Triesdorf<sup>1</sup>  
 ehem. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Berlin-Dahlem<sup>2</sup>  
 ehem. BBA, Dresden-Pillnitz<sup>3</sup>  
 ehem. BBA, Elsdorf/Rheinland<sup>4</sup>

### Kontaktanschrift

Prof. Dr. Wilfried Ahrens, Fachhochschule Weihenstephan, Abteilung Triesdorf, Steingruberstraße 2, 91746 Weidenbach,  
 E-Mail: wilfried.ahrens@fh-weihenstephan.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

März 2009

nicht inokulierten Kontrolle geringer war. SEN und JENSEN (1969) fanden bei einer Ausgangsverseuchung von 4 Zysten/Pflanze nach fünf Monaten Vermehrungsraten vom 11-fachen bei Hopfen, 7-fachen bei Hanf und Brennesel, 5-fachen bei Erbse und Zottelwicke und 2-fachen bei Buschbohne, Weißklee, Gurke und Schwarzem Senf.

Um eine weitere Verschleppung der Nematoden zu verhindern, sollten Fehser nur von Pflanzen gewonnen werden, die von einem nachweislich nematodenfreien Standort stammen. Da weder Nematoden-bedingte Befallssymptome noch entsprechende, eindeutig auf Nematodenbefall zurückzuführende Ertragsschäden in Hopfengärten auftreten, gibt es zurzeit keine Bekämpfungsstrategie. Es ist aber von anderen Kulturpflanzen bekannt, dass Nematoden durch Anstechen und Besaugen der Wurzeln Viren, Bakterien, Strahlenpilze sowie Wurzel- und Gefäßparasiten, wie den Welke-Erreger und Mitverursacher der Hopfenstockfäule *Verticillium albo-atrum*, übertragen können.

### Methoden

Ertragsschäden, von denen zunächst die Ursachen nicht bekannt sind, werden nach OTTO und WINKLER (1985) als „Bodenmüdigkeit“ bezeichnet. Darunter sind starke und lange andauernde Ertragsschäden zu verstehen, die auch nach einer längeren Anbau-Unterbrechung auftreten.

Das Testprinzip zur Erkennung von Ertragsschäden ist ein Vegetationsversuch mit Hopfenfechern oder Sämlingen einer alternativen Wirtspflanze von *H. humili*. Nematodenzysten mit Eiern und Larven werden bereits bei Bodentemperaturen bis 60°C, Sporen von Bakterien und Pilzen erst bei 100°C abgetötet.

Die Nematodenuntersuchung wurde von Dr. J. SCHLANG † (ehemalige BBA, Elsdorf) und, gleichzeitig mit der mikroskopischen Actinomyzeten-Untersuchung, von Dr. H. WINKLER (ehemalige BBA, Dresden-Pillnitz) durchgeführt. Frau Dr. H. I. NIRENBERG (ehemalige BBA, Ber-

lin-Dahlem) bestimmte die aus Bodenproben isolierten *Fusarium*-Arten.

### Ergebnisse

Stockfäule Hopfenpflanzen (Abb. 1) aus dem Siegelbezirk Spalt wiesen u. a. Befall mit dem Gefäßparasiten *Ceratocystis paradoxa* auf. Aus der Bodenlösung konnten die Pilze *Fusarium oxysporum* und *F. equiseti* isoliert werden, deren Kulturfiltrate innerhalb von 24 Stunden eine starke Welke an Hopfentrieben verursachten. Bei der mikroskopischen Untersuchung von Haarwurzeln kranker Hopfenstöcke wurden Pilze der Gattungen *Rhizoctonia* und *Pythium* gefunden, die als Wurzelfäule-Erreger bekannt sind. An Faserwurzeln konnte ein starker Befall mit Hopfenzystennematoden (*Heterodera humili*) (Abb. 2 und 3) von 8 Nematoden/cm Wurzellänge festgestellt werden, sowie ein Befall der Haarwurzeln mit Actinomyzeten (Strahlenpilze) (Abb. 4 und 5).

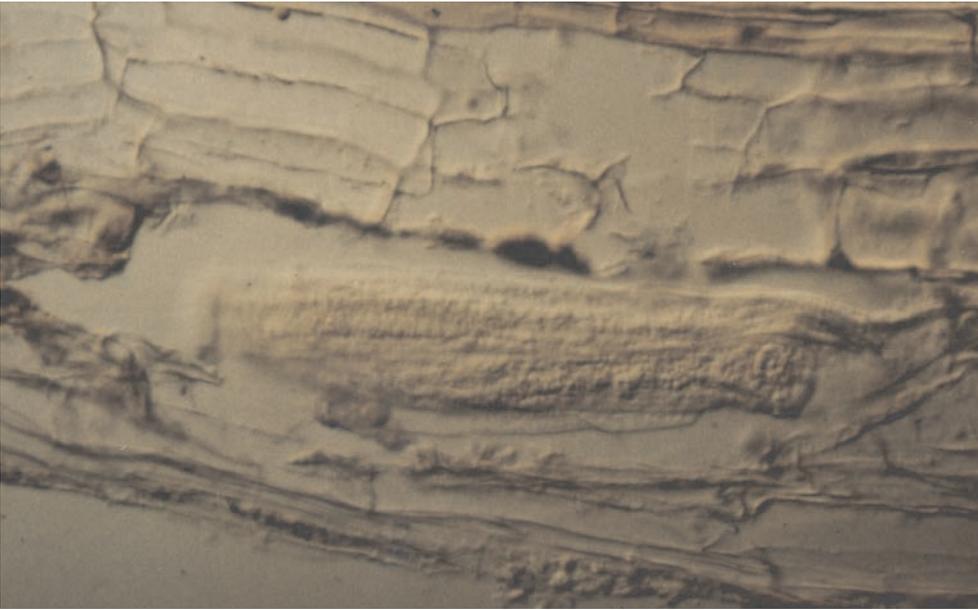
Die Ergebnisse der Nematodenanalyse (Tab. 1) und Wachstumstests mit Hopfenfechern (Tab. 2) und der alternativen Wirtspflanze Hanf (*Cannabis sativa*) (Tab. 3) bestätigten eine hohe Bodenverseuchung mit Zysten bzw. Eiern und Larven von *H. humili* sowie eine starke Schädigung des Längenwachstums der Hopfenreben bzw. der Hanfpflanzen. Rebengewichte und Doldenerträge waren eng korreliert mit der Rebenlänge.

### Diskussion

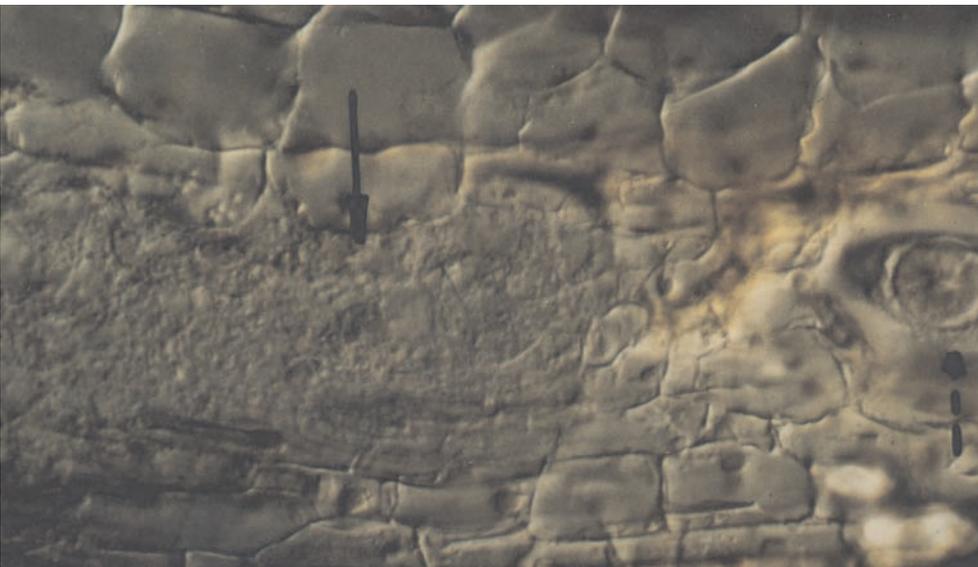
Befall mit „Sekundärerregern“ scheinen neben dem Befall der Wurzeln mit Hopfenzystennematoden die eigentlichen Ursachen des „Hopfensterbens“ zu sein. Die Wurzelfäule-Erreger, insbesondere Actinomyzeten, werden durch den Mundstachel von Nematodenlarven in die Wurzelzellen injiziert. In Jahren mit feucht-kühler Witte-



**Abb. 1.** Stockfäule des Hopfens, verursacht durch *Verticillium albo-atrum*, *Fusarium oxysporum* und *F. equiseti*.



**Abb. 2.** Längsgeschnittener Hopfenzystennematode (*Heterodera humili*) in Hopfenwurzelrinde (1000-fach).



**Abb. 3.** Querschnittener Hopfenzystennematode (Pfeil rechts) im Zentralzylinder einer Hopfenfaserwurzel und dessen Schädigung (Pfeil Mitte) (1000-fach).

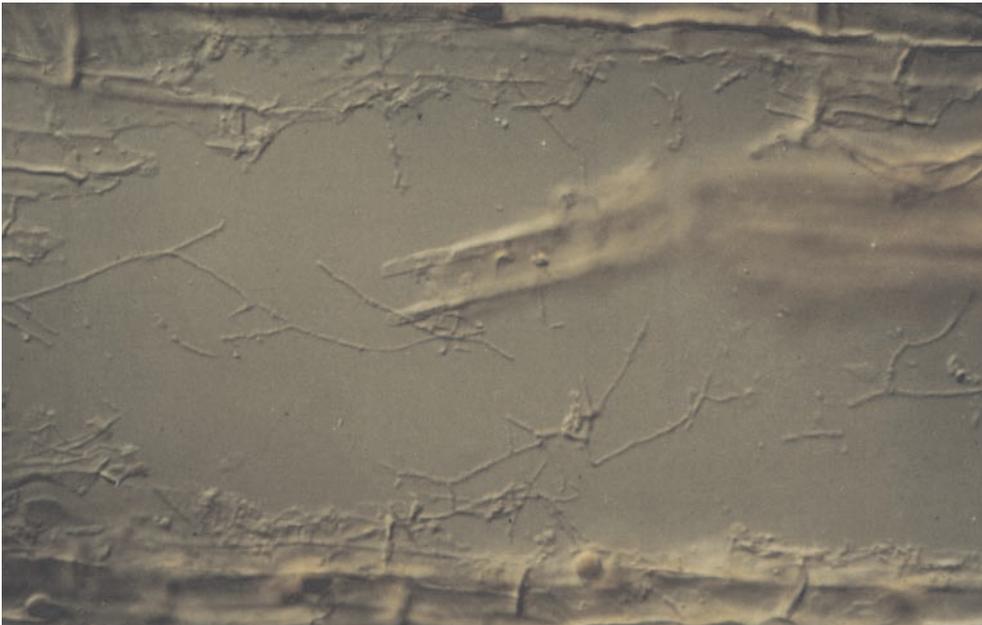
rung können die Hopfenpflanzen offenbar einen starken Nematodenbefall tolerieren, weil die nicht infizierten Tiefenwurzeln die mangelhafte Wasseraufnahme der geschädigten Jahreswurzeln, die in einer Bodentiefe bis 40 cm Bodentiefe wachsen, zum großen Teil übernehmen. Diese Erfahrung hat sich in dem Spruch: „Nass und kalt ist gut für Spalt“, niedergeschlagen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden in einem Zeitraum stark schwankender Hopfenpreise und zuletzt vollständigen Preisverfalls zwischen 1992 und 1999 durchgeführt. Durch Verringerung der Hopfen-Anbaufläche in Spalt um mehr als 50 % und in der Hallertau um etwa 20 % bis 2005 ist die Angebotsmenge von Hopfen zurzeit wieder marktconform, und seit 2006/2007 stiegen die Erzeugerpreise kontinuierlich und zuletzt sehr stark an auf ein Niveau über 1200 Euro/dt im Jahr 2008. Diese positive Marktentwicklung hat dazu geführt, dass wieder neue Hopfengärten angelegt werden. Eine mehr als 6000 Euro/ha teure

Neuanlage sollte aber nicht ohne eine Befallsprognose geschehen, wie sie nachfolgend vorgeschlagen wird.

Unter dem Begriff „Nachbauschäden“ ist ein Komplex von bekannten und bislang noch nicht restlos geklärten Schadensursachen zu verstehen. Man spricht von „Bodenmüdigkeit“ oder einer „spezifischen Nachbaukrankheit“. Die Bodenmüdigkeit führt zu schweren und nachhaltigen Schäden, die auch nach längeren Anbaupausen noch auftreten.

**1 Testprinzip:** Bei dem Test auf Nachbauschäden handelt es sich um einen Vegetationsversuch mit Fehchern oder einer alternativen Wirtspflanze (z. B. Hanf) in Gefäßen. Der zu untersuchende Boden wird bei Temperaturen von 60 und 100°C gedämpft. Aus den auftretenden Unterschieden im Längenwachstum der Pflanzen kann auf das Vorliegen von Nachbauschäden geschlossen werden. Als Bezugsgröße dient das Wachstum in ungedämpftem Boden. Die Dämpfung bei 60°C macht erkennbar, in wie weit die



**Abb. 4.** Zellketten von Actinomyceten in geschädigtem Zentralzylinder einer Hopfenhaarwurzel (1000-fach).



**Abb. 5.** Zellketten von Actinomyceten (als dünne Spuren zu erkennen) in Rindenzellen von Hopfenhaarwurzeln.

Wuchsminderung vorwiegend auf Befall mit Nematoden zurückzuführen ist. Bei diesem Testverfahren handelt es sich um ein „indirektes Nachweisverfahren“, d. h., es werden nicht die Schadensursachen ermittelt, sondern die durch die Bodendämpfung erzielten Wirkungen.

**2 Durchführung des Tests:** Je Hopfengarten ist bei ausgeglichenen Bodenverhältnissen ein Test vorzusehen. Die für die Test-Durchführung erforderliche Bodenmenge von 20-30 l wird aus der Zone der Sommer-(Jahres-)wurzeln aus 10 bis 30 cm Bodentiefe (nach Abheben der Oberschicht) mit dem Spaten entnommen. Die Probe wird aus mindestens 15 Einstichen gemischt und anschließend durch ein Sieb von 5 bis 8 mm Maschenweite gegeben.

**3 Aufbau des Tests:** Es werden drei Bodenbehandlungsvarianten angesetzt: 1 – unbehandelte Kontrolle, 2 – Boden eine Stunde bei 60°C gedämpft und 3 – Boden eine Stunde bei 100°C gedämpft. Je Variante lässt man in vier 10-l-Eimern zwei Fehser der besonders anfälligen

Sorte Hallertauer Mittelfrüh oder 10 Hanf-Pflanzen (genehmigungspflichtig nach BtMG) aufwachsen. Ein Test umfasst somit 12 Töpfe.

**4 Ansatz des Tests:** Für jede Variante werden 32 l Boden (8 l/Gefäß) benötigt. Um die Bodenprobemenge nicht zu groß werden zu lassen, kann der zu prüfende Hopfenboden mit Dreiviertel Torfkultursubstrat gemischt werden. Wegen der Übertragbarkeit der Bodenmüdigkeit durch Bodenteilchen sind die verwendeten Arbeitsgeräte und Hände bzw. Handschuhe nach Bearbeitung jeder Variante sorgfältig zu reinigen.

**5 Kultivierung:** Die Töpfe sind normal und gleichmäßig feucht zu halten. Nach erfolgter Pflanzung/Saat müssen Krankheiten und Schädlinge mit den entsprechenden zugelassenen Wirkstoffen sicher bekämpft werden. Die Pflanzenernährung kann wöchentlich ab Einsetzen stärkeren Längenwachstums mit einer 1%igen Volldüngerlösung vorgenommen werden. Bis zum Ende des Längen-

**Tab. 1. Bodenverseuchung mit *Heterodera humili* in einem 100 Jahre alten Hopfengarten (vor 5 Jahren neu aufgepflanzt) in Wassermungenau, Gemeinde Abenberg (Mfr.)**

Bodentiefe (cm)	Zysten/100 ml	Eier und Larven/ 100 ml	Eier und Larven/ Zyste
0 - 30	598	4700	7,9
60 - 90	313	6413	20,5
120 - 150	27	45	1,7
150 - 180	9	19	2,1

**Tab. 2. Rebenlänge (% von unbehandelt) von zwei Hopfensorten in Abhängigkeit von der Behandlung eines Bodens mit starkem Besatz mit Hopfenzystennematoden**

Behandlung	Hallertauer Mittelfrüh	Perle
Kontrolle (unbehandelt)	169 cm = 100 a*	182 cm = 100 a*
gedämpft bei 60°C	160 b	118 a
gedämpft bei 100°C	180 b	120 a

\*) Signifikanzgruppen (Unterschiede zwischen Mittelwerten aus unterschiedlichen Signifikanzgruppen sind nach Duncan's Multiple Range Test statistisch gesichert.)

**Tab. 3. Durchschnittliche Länge von 25 Hanfstängeln in Abhängigkeit von der Behandlung eines Bodens mit starkem Besatz mit Hopfenzystennematoden**

Behandlung	Stängellänge (cm) ± s*	Stängellänge (%)
Kontrolle (unbehandelt)	57 ± 6,7 a**	100 a**
gedämpft bei 60°C	73 ± 7,4 b	128 b
gedämpft bei 100°C	77 ± 7,7 b	135 b

\*) Standardabweichung

\*\*) Signifikanzgruppen (Unterschiede zwischen Mittelwerten aus unterschiedlichen Signifikanzgruppen sind nach Duncan's Multiple Range Test statistisch gesichert.)

wachstums im September wird mindestens zweimal (Ende Juni und Ende August) die Reben-/Hanfstängellänge in cm gemessen. Die Töpfe sollen im Freiland, nicht im Gewächshaus, aufgestellt werden.

**6 Auswertung des Tests:** Der Grad der Wachstumsminde- rung gibt Aufschluss über das Ausmaß der möglichen Er- tragschäden. Die Zunahme des Pflanzenwachstums in ge- dämpftem Boden, verglichen mit der unbehandelten Kon- trolle, ist maßgebend für die Schätzung der möglichen Er- tragschäden. Bezieht man einen positiven Dämpfeffekt mit ein, so gelten die folgenden an Apfelsämlingen ermit- telten Schwellenwerte (OTTO und WINKLER, 1985):

- bis 140% – keine oder geringe Ertragsschäden,
- von 141 bis 170% – mittlere Ertragsschäden,
- von 171 bis 200% – starke Ertragsschäden und
- mehr als 200% – sehr starke Ertragsschäden.

Unterscheidet sich das Pflanzenwachstum bei Dämpf- temperaturen des Bodens von 60°C nicht von dem in un-

behandeltem Boden, so können Nematoden als alleinige Ursache der Ertragsschäden ausgeschlossen werden. Un- terscheidet sich das Pflanzenwachstum hingegen bei Dämpftemperaturen von 60°C von der unbehandelten Kontrolle, nicht aber von dem Pflanzenwachstum bei Dämpftemperaturen von 100°C, so kann man davon aus- gehen, dass Nematoden die Hauptursache der Ertrags- schäden sind.

## Literatur

- AHRENS, W., 1996: Causal Agents of Hop-Dying in Spalt. Lecture on the 4<sup>th</sup> International Symposium "Diagnosis and Identification of Plant Pathogens" of the European Foundation for Plant Pathology (EFPP), Sept. 9-12, 1996 Bonn/Rheinland.
- DUFFIELD, C.A.W., 1925: Yield-Loss According to Attack by Hop Cyst Nematodes. *Annals of Applied Biology* 12, 536-543.
- SEN, A.K., H.J. JENSEN, 1969: Host Plants of the Hop Cyst Nematode (*Heterodera humili*). *Plant Disease Reporter* 53, 37-40.
- OTTO, G., H. WINKLER, 1985: Prognose von Nachbauschäden in Obst- anlagen. Akademie der Landbauwissenschaften Berlin, 1-11.