

Bearbeitet von / Compiled by:

Johannes Hallmann¹, Johannes Keßler², Rita Grosch³,
Michaela Schlathöler⁴, Florian Rau⁵, Wolfgang Schütze⁶, Matthias Daub⁷

Biofumigation als Pflanzenschutzverfahren: Chancen und Grenzen

Beiträge des Fachgesprächs
vom 5. Mai 2010 in Bonn-Roleber

Biofumigation for plant disease control: chances and limitations

Proceedings of the workshop
held on May 5th, 2010 in Bonn-Roleber

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

¹Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Münster

⁶Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Quedlinburg

⁷Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Elsdorf

²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pflanzenschutzdienst, Bonn

³Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., Großbeeren

⁴P.H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, Grundhof

⁵Ökoring Niedersachsen, Visselhövede



Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

155

Kontaktadresse

PD Dr. Johannes Hallmann
Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik
Toppeideweg 88
48161 Münster

Telefon +49 (0) 0251 87106-25

Telefax +49 (0) 0251 87106-33

Der Forschungsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) hat seit dem 1. Januar 2008 eine neue Struktur.

Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), die Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) sowie zwei Institute der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wurden zum Julius Kühn-Institut - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen zusammengeschlossen. Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) wurde aus der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft und aus Teilen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft errichtet.

The research branch of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) has been reorganized. The former Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA) has been merged with other institutions. The newly established Julius Kühn-Institut (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, is working on plant protection, plant breeding, crop and soil science. The Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) was created from the German Federal Research Centre for Fisheries, the German Federal Research Centre for Forestry and Forest Products and part of the German Federal Agricultural Research Centre.

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.

Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.

Alle Ausgaben stehen kostenfrei im Internet zur Verfügung:

<http://www.jki.bund.de> Bereich Veröffentlichungen – Berichte.

We advocate open access to scientific knowledge. Reports from the Julius Kühn-Institut are therefore published as open access journal. All issues are available free of charge under <http://www.jki.bund.de> (see Publications – Reports).

Herausgeber / Editor

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland
Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

Verlag

Eigenverlag

Vertrieb

Saphir Verlag, Gutsstraße 15, 38551 Ribbesbüttel

Telefon +49 (0)5374 6576

Telefax +49 (0)5374 6577

ISSN 1866-590X

© Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, 2010

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersendung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
Einführung in die Thematik (JOHANNES HALLMANN)	2
Biofumigation – Chemische Hintergründe des Verfahrens (WOLFGANG SCHÜTZE, MICHAELA SCHLATHÖLTER, RITA GROSCH, MATTHIAS DAUB, JOHANNES HALLMANN).....	10
Züchtung von Pflanzen für die Biofumigation (MICHAELA SCHLATHÖLTER).....	22
Einsatz der Biofumigation in Ackerbausystemen – Versuche zur Wirkung gegen pflanzenparasitäre Nematoden (MATTHIAS DAUB, WOLFGANG SCHÜTZE, MICHAELA SCHLATHÖLTER, RITA GROSCH, JOHANNES HALLMANN)	26
Kontrolle bodenbürtiger Schaderreger mittels Biofumigation (RITA GROSCH, MICHA- ELA SCHLATHÖLTER, WOLFGANG SCHÜTZE, MATTHIAS DAUB, JOHANNES HALLMANN).....	36
Feldhygiene durch Biofumigation, ein Schritt zur Verbesserung der Ertragssicherheit im Gemüsebau (FLORIAN RAU).....	43
Improvement und monitoring of soil health (TIM THODEN, LEENDERT MOLENDIJK, JONNY VISSER, GERARD KORTHALS).....	48
Evaluation of biofumigation crops for the control of <i>Pratylenchus penetrans</i> and <i>Verticillium dahliae</i> (GERARD KORTHALS, JONNY VISSER, TIM THODEN, LEENDERT MOLENDIJK).....	54
Biofumigation zur Bekämpfung der Verticillium-Welke (VINCENT MICHEL)	60
Biofumigation mit Pellets gegen <i>Meloidogyne arenaria</i> (REINHARD EDER, IRMA ROTH).....	67
Erprobung der Biofumigation als Alternativverfahren zur chemischen Bodenent- seuchung auf bodenmüden Baumschulflächen (HEIKE NITT, BETTINA GOLECKI).....	71
Bodenentseuchungs-Versuche bei Erdbeere von 2002-2009 (ARNO FRIED)	78
Schwierigkeiten mit der Biofumigationsvariante <i>Brassica juncea</i> ISCI-99 gegen die <i>Verticillium</i> -Welke im praktischen Frigo-Erdbeeranbau (CHRISTIANE STEEN, KLAUS DILLMANN, REINHARD ORTLIEB).....	83
Ammoniak gegen Pilze und Nematoden? (RHEINHARD EDER, JÜRGEN KRAUSS, WERNER HELLER).....	89
Attempted biofumigation of carrot fields with <i>Brassica juncea</i> pellets and leek material (KAI GREVSEN).....	92
Abschließende Bewertung (JOHANNES HALLMANN).....	97

EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK

JOHANNES HALLMANN; Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppeideweg 88, 48161 Münster; e-mail: johannes.hallmann@jki.bund.de

Bedeutung bodenbürtiger Schaderreger

Die wirtschaftliche Bedeutung bodenbürtiger Schaderreger nimmt in Deutschland zu. So beobachten Produzenten und Berater bei pilzlichen Schaderregern in den letzten Jahren unter anderem eine Zunahme an Krankheiten durch *Rhizoctonia solani*. Wolf und Verreet (1999) gehen von einer endemischen Existenz von *R. solani* im gesamten südbayerischen Raum aus. Wirtschaftlich relevant ist *R. solani* in Deutschland vor allem als Wurzeltöterkrankheit an Kartoffeln, späte Rübenfäule und Salatfäule (Kofot et al. 2001, Laun 2002). Die genannten Krankheiten können Ertragverluste bis zu 70% verursachen (Stevens et al. 1993, Davis et al. 1997, Kiewnick et al. 2001). An Mais gewinnt der Erreger ebenfalls an Bedeutung.

Vergleichbares gilt auch für pflanzenparasitäre Nematoden. So treten in Deutschland u. a. zunehmend wirtschaftliche Schäden durch pflanzenparasitäre Nematoden in norddeutschen „Dauergrün-Fruchtfolgen“ (Winterraps, Wintergerste, Winterweizen), im Baumschulbereich, an Erdbeeren, im Zuckerrübenanbau auf „Trockenstandorten“ sowie im Ökolandbau auf.

Bodenbürtige Schaderreger gehören zu den am schwersten zu bekämpfenden Schaderregern von Kulturpflanzen. Eine Bekämpfung dieser Schaderreger allein über die Fruchtfolge ist aufgrund des breiten Wirtspflanzenspektrums dieser Schaderreger und ihrer meist langen Überdauerungszeiten im Boden nicht möglich. Resistente Sorten stehen mit wenigen Ausnahmen (z. B. Kartoffeln - *Globodera pallida*/*G. rostochiensis*, Zwischenfrüchte/Zuckerrüben - *Heterodera schachtii*) nicht zur Verfügung, oder stellen aufgrund von Ertrags- und Qualitätsnachteilen keine Alternative für den Landwirt dar, so dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln oftmals die einzige Bekämpfungsmöglichkeit darstellt. Da der gesamte Boden behandelt werden muss, bedeutet dies hohe Aufwandmengen an Pflanzenschutzmitteln. Diese müssen zudem gut wasserlöslich sein, um eine gute Verteilung im Boden zu gewährleisten, was wiederum die Gefahr einer Auswaschung ins Grundwasser mit sich bringt. Hinzu kommt, dass diese Pflanzenschutzmittel meist wenig spezifisch sind und vielfältige Nebenwirkungen auf Nicht-Zielorganismen haben. Sie stellen ein erhebliches

Risiko für den Naturhaushalt sowie aufgrund ihrer oft hohen Toxizität für die Gesundheit von Mensch und Tier dar. Aus diesem Grund sind heute auch nur noch sehr wenige Pflanzenschutzmittel für die Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger verfügbar, und dies auch nur für sehr spezifische Indikationen (z. B. Fosthiazate gegen verschiedene Nematoden in Spätkartoffeln) bzw. nur mit Ausnahmegenehmigung (in 2010 z. B. Genehmigung nach § 11 Pflanzenschutzgesetz für Basamid gegen freilebende Wurzelneematoden in Erdbeeren).

Erwartungen an die Biofumigation

Da insgesamt praxistaugliche Alternativen zur Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger nur eingeschränkt bzw. je nach Kultur erst gar nicht vorhanden sind, werden große Erwartungen an die Biofumigation als alternatives Pflanzenschutzverfahren gestellt. Doch kann die Biofumigation diese Erwartungen erfüllen?

National wie auch international wird die Biofumigation als eine natürliche und umweltfreundliche Alternative zum Einsatz chemischer Bodenbegasungs- und Pflanzenschutzmittel gesehen (Brown & Mora 1997, Lazzeri & Manici 2000, Kirkegaard & Matthiessen 2004, Lazzeri et al. 2004, Matthiessen & Kirkegaard 2006). Insbesondere in Australien, USA und Italien wurde die Entwicklung der Biofumigation intensiv vorangetrieben.

Bereits in den 1930-iger Jahren wurde durch Walker et al. (1937) die antifungale Wirkung von sekundären Inhaltstoffen des Ackersenfs gegenüber *Colletotrichum circinans*, *Botrytis alii*, *Aspergillus niger*, *A. alliaceus* und *Gibberella saubinetii* in Laboruntersuchungen nachgewiesen. Während die natürlichen Glucosinolate selbst keine antifungale Aktivität zeigen, wird die hemmende Wirkung der Hydrolyseprodukte von deren physikochemischen und biologischen Eigenschaften bestimmt (Manici et al. 1997). Gegenüber den einzelnen Isothiocyanaten zeigen pilzliche Pathogene eine unterschiedliche Sensitivität. Insgesamt wurde in zahlreichen Studien gezeigt, dass die antifungale Wirkung einiger Isothiocyanate ein Potential zur Entwicklung alternativer Bekämpfungsmöglichkeiten von bodenbürtigen Pathogenen bietet (Dawson et al. 1993, Galletti et al. 2006, Manici et al. 2000, Smolinska et al. 2003). Durch die Einarbeitung von entsprechenden Pflanzenteilen (Biofumigantien) in den Boden konnte bei verschiedenen bodenbürtigen pilzlichen Pathogenen wie *Fusarium* sp. (Sarwar et al. 1998), *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Angus et al. 1994), *Rhizoctonia solani* (Manici et al. 1997, Cohen & Mazzola 2006), *Verticillium dahliae* (Subbaroa & Hubbard 1996, Harding & Wicks 2007), *Sclerotinia* spp. (Sanchi et al. 2005), *Aphanomyces*

sp. (Muehlchen et al. 1990) oder *Pythium irregulare* (Manici et al. 1997) eine signifikante Reduktion der Erreger und der durch sie verursachten Krankheiten beobachtet werden.

Eine befallsreduzierende Wirkung der Biofumigation auf pflanzenparasitäre Nematoden ist unter anderem beschrieben für *Meloidogyne incognita* (Lopez-Perez et al. 2005), *Meloidogyne chitwoodi* (Riga et al. 2003) und *Pratylenchus neglectus* (Potter et al. 1998). So konnte z. B. in den U.S.A. durch Einsatz der Biofumigation die Rentabilität des Kartoffelanbaus bei gleichzeitiger Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes deutlich gesteigert werden (McGuire, 2001, Hobson, G. 2002).

So wundert es nicht, dass die Biofumigation über die letzten Jahre auch zunehmend in Deutschland praktiziert wird und zwar sowohl in Ackerkulturen als auch in Gemüse, Erdbeeren, Zierpflanzen und Baumschulen.

Was ist Biofumigation?

Der Begriff „Biofumigation“ wird in der Literatur teils sehr breit angewandt. Im Rahmen des Fachgesprächs sowie den folgenden Ausführungen in diesem Heft wird unter „Biofumigation“ ausschließlich die suppressive Wirkung von Kruziferen gegenüber bodenbürtigen Schaderregern gesehen, wie sie 1993 von Kirkegaard et al. definiert wurde. Hierbei macht man sich folgendes natürliches Prinzip zu Nutze: Kruziferen enthalten Glucosinolate, deren Gesamtmenge in der Pflanze zum Zeitpunkt der Blüte am höchsten ist. Werden die Kruziferen zerkleinert und in den Boden eingearbeitet, kommt es zur Umsetzung (Hydrolyse, Myrosinase als Katalysator) der Glucosinolate u. a. in Isothiocyanate. Die genauen Umsetzungsprozesse werden im folgenden Kapitel von Schütze et al. dargestellt. Diese Isothiocyanate wiederum haben vielfältige Wirkungen gegen bodenbürtige Schaderreger, insbesondere wirken sie reduzierend auf verschiedene Pilzpathogene (Angus et al. 1994, Sarwar et al. 1998), pflanzenparasitäre Nematoden (Stirling & Stirling 2003, Potter 1998) und auch Unkrautsamen (Lopez-Martinez et al. 2006). Andere Bodenorganismen wiederum werden gefördert, wie z. B. Pilze der Gattung *Trichoderma* (Smith 2001), die u. a. bedeutende Antagonisten zahlreicher pflanzlicher Schaderreger sind. Da die Biofumigation als Zwischenfrucht erfolgt, sind die grundsätzlichen Vorteile eines Zwischenfruchtanbaus, wie Bodenverbesserung und Zufuhr von organischer Substanz, auch hier gegeben.

Forschungsvorhaben zur Biofumigation

Angesichts der bisher nur spärlich verfügbaren Informationen zur Wirkung der Biofumigation gegen bodenbürtige Schaderreger unter gemäßigten Klimabedingungen wurde ein Forschungsvorhaben ins Leben gerufen, dass die Chancen der Biofumigation als alternatives Pflanzenschutzverfahren zur Bekämpfung bodenbürtiger Pilze und pflanzenparasitärer Nematoden untersuchte. Das Forschungsvorhaben „Optimierung der Biofumigation zur nicht-chemischen Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger“ startete im Juli 2007 und endete in Juni 2010. **Finanziell gefördert wurde das Projekt aus dem Programm zur Innovationsförderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).** Neben dem Julius Kühn- Institut waren an dem Forschungsvorhaben das Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, die P.H. Petersen Saatzucht GmbH, der Ökoring Niedersachsen sowie verschiedene Landwirte beteiligt (Abb. 1).

Ziel des Forschungsvorhabens war es,

- den Wirkungsgrad und die Wirkungssicherheit der Biofumigation für die Bedingungen gemäßigter Klimaregionen zu optimieren und
- die Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger unter Praxisbedingungen zu verbessern.

Um dies zu erreichen, wurde

- an einem vorhandenen Sortiment aussichtsreicher Kruziferenarten und –sorten der Anteil Isothiocyanate-freisetzender Glucosinolate bestimmt,
- durch züchterische Bearbeitung der Glucosinolategehalt in Kruziferenarten und –sorten erhöht
- durch Optimierung der Anbaumaßnahmen die Glucosinolat-Menge pro Flächeneinheit gesteigert und
- das neu gewonnene Wissen an die landwirtschaftliche und gartenbauliche Praxis adaptiert und transferiert.

Die Wirkung der Biofumigation wurde am Beispiel pflanzenparasitärer Nematoden (*Ditylenchus dipsaci*, *Heterodera schachtii*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus* spp.) sowie dem bodenbürtigen Pilz *Rhizoctonia solani* untersucht, den Praktikern auf Feldtagen demonstriert und soll nun in einem Technischen Leitfaden Biofumigation zusammengefasst werden.

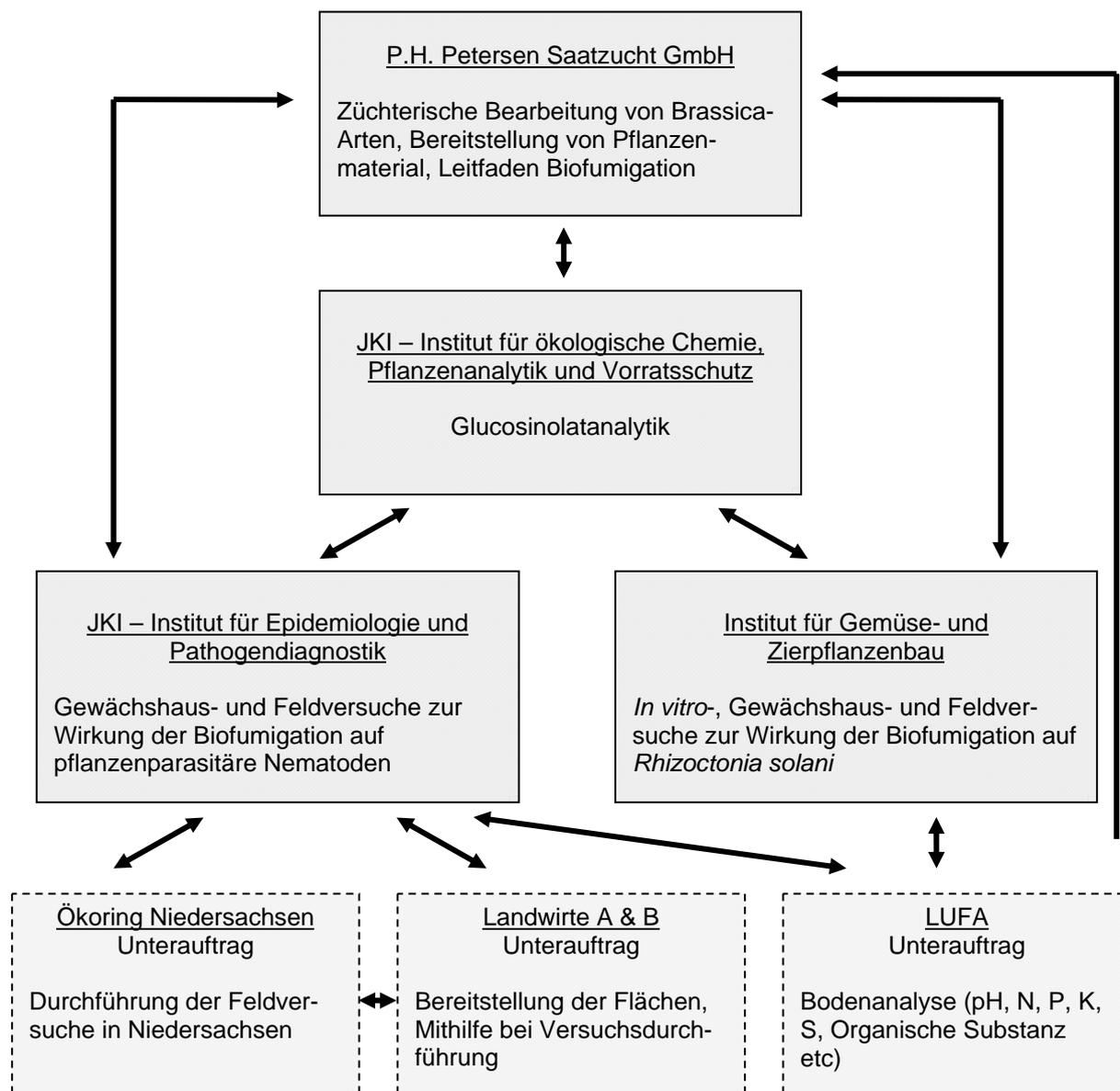


Abb. 1: Darstellung der Arbeitsteilung zwischen den Kooperationspartnern im Projekt

Ziele des Fachgesprächs

Das Fachgespräch „Biofumigation als Pflanzenschutzverfahren: Chancen und Grenzen“ wurde initiiert, um die Ergebnisse aus dem zuvor genannten Forschungsvorhaben vorzustellen und mit den Erfahrungen von Praktikern und Wissenschaftlern aus anderen Bereichen zu diskutieren. Die Organisation erfolgte durch das Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, die Durchführung der Tagung gemeinsam mit dem Pflanzenschutzdienst der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen am 5. Mai 2010 in Bonn. Ziel des Fachgesprächs war es:

- über die Grundlagen der Biofumigation zu informieren

- vorhandenes Wissen/Erfahrungen aufzuzeigen
- Chancen und Grenzen der Biofumigation darzustellen
- Anwendungen für die Praxis zu diskutieren
- Forschungsbedarf zu formulieren und
- den Erfahrungsaustausch zwischen Praktikern, Wissenschaftlern und Beratern zu fördern.

An dem Fachgespräch nahmen 86 Teilnehmer aus Praxis, Beratung, Industrie und Forschung teil. In vierzehn Beiträgen wurden die Grundlagen der Biofumigation sowie erste Praxiserfahrungen aus Deutschland, Niederlande, Schweiz und Dänemark vorgestellt. In der abschließenden Diskussion wurden insbesondere Wirkungsweise, Einsatzbereiche sowie ökonomische und praxisrelevante Aspekte der Biofumigation erörtert.

Die Kurzfassungen der insgesamt 10 Vorträge und 4 Poster schließen sich im Folgenden an.

Literatur

- Angus J., Gardner P., Kirkegaard J., Desmarchelier J. (1994). Biofumigation: isothiocyanates release from *Brassica* roots inhibit growth of take-all fungus. *Plant and Soil* 162: 107-112.
- Brown P.D., Morra M.J. (1997). Control of soilborne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advances in Agronomy* 61: 167-231.
- Cohen M., Mazzola M. (2006). Resident bacteria, nitric oxide emission and particle size modulate the effect of *Brassica napus* seed meal on disease incited by *Rhizoctonia solani* and *pythium* spp. *Plant and Soil* 286: 75-86.
- Davis R.M., Subbarao K.V., Raid R.N., Kurtz E.A. (1997). Compendium of lettuce diseases. APS Press: 15-16.
- Dawson G.W., Doughty K.J., Hick A.J., Pickett J.A., Pye B.J., Smart L.E., Wadhams L.J. (1993). Chemical precursors for studying the effects of glucosinolate catabolites on diseases and pests of oilseed rape (*Brassica napus*) or related plants. *Pesticide Science* 39: 271-278.
- Galletti S., Burzi P.L., Sala E., Marinello S., Cerato C. (2006). Combining Brassicaceae green manure with *Trichoderma* seed treatment against damping-off in sugarbeet. *IOBC/wprs Bulletin* 29: 71-75.
- Harding R.B., Wicks, T.J. (2007). *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus* spp: populations in potato soils and plants in Australia. *Australasian Plant Pathology* 36: 62-67.
- Hobson G. (2002). Potato grower's positive experiences with biofumigation green manures. *Horticulture Biofumigation Update* 16: 1.
- Kiewnick S., Jacobsen B.J., Braun-Kiewnick A., Eckhoff J.L.A., Bergmann J.W. (2001). Integrated

- control of *Rhizoctonia* crown and root rot of sugar beet with fungicides and antagonistic bacteria. *Plant Disease* 85: 718-722.
- Kirkegaard J.A., Gardner P.A., Desmarchelier J.M., Angus J.F. (1993). Biofumigation – using *Brassica* species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. In: N. Wratten, R.J. Mailer (Hrsg.) Proceedings 9th Australian Research Assembly on Brassicas. Agricultural Research Institute, Wagga Wagga, S. 77-82.
- Kirkegaard J.A., Matthiesen J.N. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria* 3: 233-239.
- Kofoet A., Fricke A., Heine H., Hommes M., Richter E., Ulbrich A., Weier U. (2001). Kopfsalatsorten und ihre Anfälligkeit gegenüber bodenbürtigen Pathogenen. *Gemüse* 37: 10-13.
- Laun N. (2002). Zur Wirkung von FZB 24 WG gegen *Rhizoctonia* an Salat. *Gemüse* 38: 14-15.
- Lazzeri L., Manici L. M. (2000). The glucosinolate-myrosinase system: A natural and practical tool for biofumigation. In: Proc. IS Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Desinfestation. Eds. M. L. Gullino, J. Karan, A. Matta. *Acta Horticulturae* 532: 89-95.
- Lazzeri L., Leoni O., Bernardi R., Malaguti L., Cinti S. (2004). Plants, techniques and products for optimising biofumigation in the full field. *Agroindustria* 3: 81-287.
- Lopez-Martinez N., Castillo S., Aguirre I., Gonzales-Zamora J.E., Avilla C., Lopez-Medina J. (2006). Effect of biofumigation on typical weeds of strawberry fields. *Acta Horticulturae* 708: 193-196.
- Lopez-Perez J.A., Roubtsova T., Ploeg A. (2005). Effect of three plant residues and chicken manure used as biofumigants at three temperatures on *Meloidogyne incognita* infestation of tomato in greenhouse experiments. *Journal of Nematology* 37: 489-494.
- Manici L.M., Lazzeri L., Palmieri S. (1997). *In vitro* antifungal activity of glucosinolates and their enzyme derived products towards plant pathogenic fungi. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 2768-2773.
- Manici L.M., Lazzeri L., Baruzzi G., Leoni O., Galletti S., Palmieri S. (2000). Suppressive activity of some glucosinolate enzyme degradation products on *Pythium irregulare* and *Rhizoctonia solani* in sterile soil. *Pest Management Science* 56: 921-926.
- Matthiessen J.N., Kirkegaard J.A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease control. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 235-265.
- McGuire A. (2001). US grower's successful use of mustard green manure in a two-year potato rotation. *Horticulture Biofumigation Update* 13: 2.
- Muehlchen A.M., Rand R.E., Parke J.L. (1990). Evaluation of crucifer green manures for controlling *Aphanomyces* root rot of peas. *Plant Disease* 74: 651-654.
- Potter M., Davies R., Rathjen A.J. (1998). Suppressive impact of glucosinolates in *Brassica* vegetative tissues on root lesion Nematode *Pratylenchus neglectus*. *Journal of Chemical Ecology* 24: 67-

80.

- Riga E., Mojtahedi H., Ingham R.E., McGuire A.M (2003). Green manure amendments and management to root knot nematodes on potato in the Pacific Northwest of USA. *Nematology Monographs and Perspectives* 2: 151-158.
- Sanchi S., Odorizzi S., Lazzeri L., Marciano P. (2005). Effect of *Brassica carinata* seed meal treatment on the *Trichoderma harzianum* T39-Sclerotinia species interaction. *Acta Horticulturae* 698: 287-292.
- Sarwar M., Kirkegaard J.A., Wong P.T.W., Desmarchelier J.M. (1998). Biofumigation potential of brassicas: III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil* 201: 103-112.
- Smith B. (2001). A complex mode of action for biofumigation? *Horticulture Biofumigation Update* 13: 1.
- Smolinska U., Morra M.J., Knudsen G.R., James R.L. (2003). Isothiocyanates produced by Brassicaceae species as inhibitors of *Fusarium oxysporum*. *Plant Disease* 87: 407-412.
- Stevens Johnk, J., Jones R.K., Shew H.D., Carling D.E. (1993). Characterization of populations of *Rhizoctonia solani* AG-3 from potato and tobacco. *Phytopathology* 83: 854-858.
- Stirling G.R., Stirling A.M. (2003). The potential of *Brassica* green manure crops for controlling root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) on horticultural crops in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 623-630.
- Subbaroa K.V., Hubbard J.C. (1996). Interactive effects of broccoli residue and temperature on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and on wilt in cauliflower. *Phytopathology* 86: 1303-1310.
- Walker J.C., Morell S., Foster H. (1937). Toxicity of mustard oils and related sulphur compounds to certain fungi. *American Journal of Botany* 24: 536-541.
- Wolf P.F.J., Verreet J.A. (1999). Untersuchungen zur Epidemiologie und Schadrelevanz der *Rhizoctonia*-Rübenfäule (*Rhizoctonia solani* Kühn). *Gesunde Pflanzen* 51: 133-140.

BIOFUMIGATION - CHEMISCHE HINTERGRÜNDE DES VERFAHRENS

WOLFGANG SCHÜTZE¹, MICHAELA SCHLATHÖLTER², RITA GROSCH³, MATTHIAS DAUB⁴, JOHANNES HALLMANN⁵; Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg; ²P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, 24977 Grundhof; ³Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ), Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren; ⁴JKI, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf; ⁵JKI, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppheideweg 88, 48161 Münster; e-mail: wolfgang.schuetze@jki.bund.de

Prinzip der Biofumigation

Der Begriff „Biofumigation“ wurde 1993 von Kirkegaard et al. eingeführt zur Beschreibung der suppressiven Wirkung von Kruziferen gegenüber bodenbürtigen Schaderregern. Es wird darunter eine agronomische Technologie verstanden, die einige, die Pflanzen schützende Enzymsysteme, in diesem Fall das „**Myrosinase/Glucosinolat-System**“ der *Brassicaceae*, ausnützt.

Die Biofumigation als natürliches und umweltfreundliches Verfahren stellt eine Alternative zum Einsatz chemischer Bodenbegasungs- und Pflanzenschutzmittel dar (Brown & Mora 1997, Lazzeri & Manici 2000, Kirkegaard & Matthiessen 2004, Lazzeri et al. 2004, Matthiessen & Kirkegaard 2006). Die Entwicklung der Biofumigation wurde insbesondere in Australien, USA und Italien intensiv vorangetrieben. In diesen Ländern wurde u. a. das chemische Bodenbegasungsmittel Methylbromid (CH₃Br) noch bis vor kurzem intensiv eingesetzt und auf Grund des Anwendungsverbotes musste nun dringend auf alternative Bekämpfungsverfahren umgestellt werden.

Obwohl die toxische Wirkung der aus den Glucosinolaten (GSL) entstehenden Isothiocyanate (ITC) gegen bodenbürtige Pflanzenschädlinge seit langem bekannt ist (Walker et al. 1937), stellt ihre natürliche Nutzung über die Biofumigation ein sehr junges Verfahren dar, bei dem durch weitere Optimierungsstrategien noch deutliche Wirkungssteigerungen zu erwarten sind. Die Umsetzung durch das Enzym „**Myrosinase**“ ist abhängig vom **pH-Wert** des Bodens, der **Bodentemperatur**, dem **Wassergehalt** des Bodens und dem/den in der Pflanze vorliegenden

Glucosinolat(en). Auch der **Schwefelgehalt** des Bodens beeinflusst das Biofumigationsverfahren. Da es sich bei den Glucosinolaten um S-haltige Verbindungen handelt, muss die Pflanze den zur Bildung der Glucosinolate notwendigen Schwefel aus dem Boden beziehen (Abb. 1). Falk et al. (2007) haben den teilweise erheblichen Einfluss der S-Düngung auf die Höhe des Glucosinolatgehaltes in einer Übersicht zusammengefasst (Tab. 1).

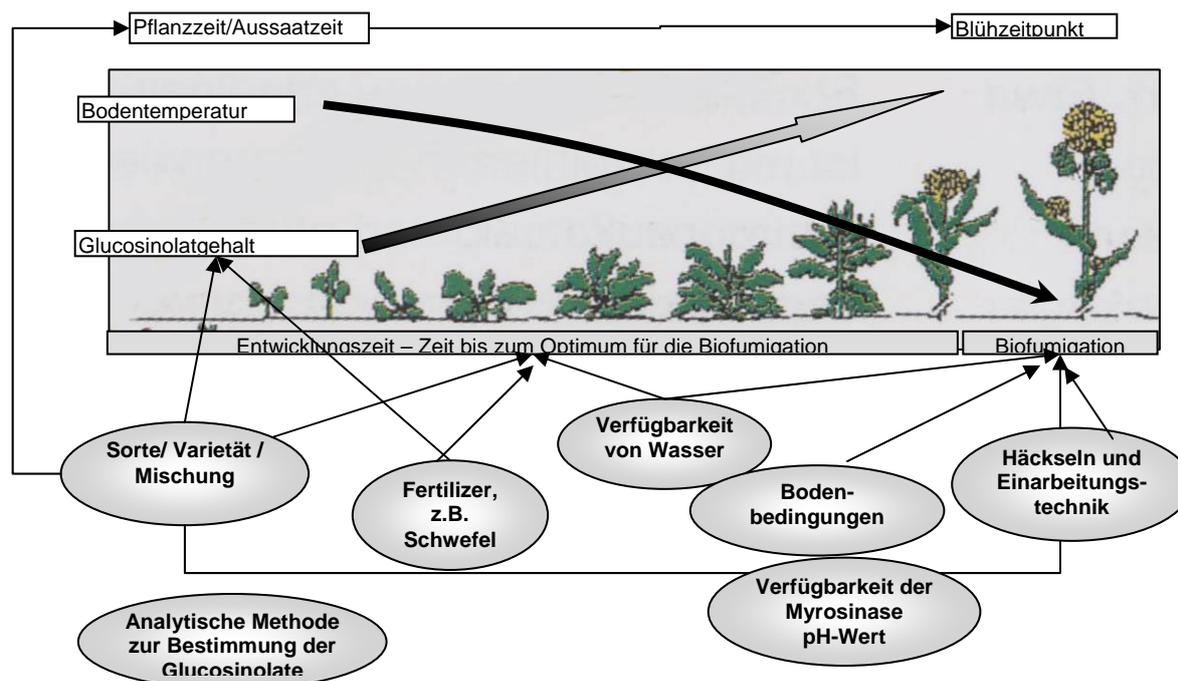


Abb. 1: Einflussfaktoren auf das Biofumigationsverfahren.

Bei der „Biofumigation“ werden Pflanzen mit einem möglichst hohen Gehalt an Glucosinolaten als Zwischenfrüchte angebaut. Es sind vor allem Weißer Senf (*Sinapis alba*), Ölrettich (*Raphanus sativus*), Ölräuke (= "Rucola", *Eruca sativa*), Sareptasenf (= Brauner Senf, *Brassica juncea*) und Schwarzer Senf (*B. nigra*). Die Pflanzen werden zum Zeitpunkt der Blüte fein gehäckselt und in den Boden eingearbeitet. Während des biologischen Abbaus der Pflanzen werden nun die Glucosinolate in Thio- bzw. Isothiocyanate umgewandelt (siehe unten), die die eigentlichen Wirkstoffe darstellen.

Tabelle 1: Übersicht über den Einfluss der S-Düngung auf den Gehalt an Glucosinolaten in einzelnen Brassica-Genotypen (Falk et al. 2007).

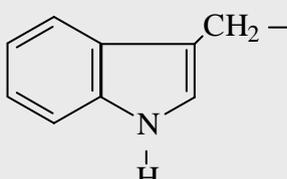
A - Feldexperiment					
Genotyp	niedrige S-Behandlung	hohe S-Behandlung	Total GSL S-niedrig	Total GSL S-hoch	Veränd. GSL-Gehalt (%)
<i>Brassica oleracea</i> L.	0 kg S/ha	110 kg S/ha	2,26 µmol/g FW	2,86 µmol/g FW	+ 26
<i>Brassica napus</i>	0 kg S/ha	80 kg S/ha	15,8 µmol/g (seed)	41,2 µmol/g (seed)	+ 161
	0 kg S/ha	100 kg S/ha	2,59 µmol/g	4,2 µmol/g	+ 62
<i>B. oleracea</i> L. <i>italica</i>	0 kg S/ha	23 kg S/ha	363,4 mg/leaf	529,2 mg/leaf	+ 46
	0 kg S/ha	23 kg S/ha	308,6 mg/head	419,3 mg/head	+ 36
<i>B. oleracea</i> L. <i>italica</i> var. Maraton	15 kg S/ha	150 kg S/ha	51,8 µmol/g dw	36,2 µmol/g dw(K.fr.)	- 30
	15 kg S/ha	150 kg S/ha	30,6 µmol/g dw	52,5 µmol/g dw(K.sp.)	+ 72
<i>B. oleracea</i> L. <i>italica</i> var. Monterrey	15 kg S/ha	150 kg S/ha	32,2 µmol/g dw	78,4 µmol/g dw(K.fr.)	+ 144
	15 kg S/ha	150 kg S/ha	84,9 µmol/g dw	69,6 µmol/g dw(K.sp.)	- 18
B - Gewächshaus					
<i>Brassica napus</i>	0,9 mM SO ₄ ²⁻	18,3mM	11,3 µmol/g dw	153,8 µmol/g dw	+ 1261
<i>Brassica rapa</i>	0,5 mM SO ₄ ²⁻	1,0 mM	28,4 µmol/g dw	80 µmol/g dw	+ 182
<i>Arabidopsis thaliana</i>	ambient SO ₂	706 nl/L SO ₂	1,3 µmol/g dw	13,1 µmol/g dw	+ 908
K - Kopf fr. - früh sp. - spät					

Da die Biofumigation als Zwischenfrucht erfolgt, sind die grundsätzlichen Vorteile eines Zwischenfruchtanbaus, wie z. B. Bodenverbesserung durch Zufuhr von organischer Substanz und Verbesserung des Wasserhaushaltes auch hier gegeben. Gleichzeitig erfolgt mit der Einbringung des Pflanzenmaterials in den Boden auch eine Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger.

Chemie der Glucosinolate

Glucosinolate sind glycosidische Verbindungen, die in unterschiedlichen Konzentrationen und Verhältnissen in den Pflanzenorganen der Klasse der *Dicotyledoneae*, Familie *Brassicaceae* auftreten. Die Glucosinolate sind eine Stoffgruppe mit mehr als 100 z. Z. bekannten Verbindungen. Sie bestehen chemisch aus einer β-D-Glucoseeinheit, einer mit der Glucose als Thiohydroxamat verknüpften Aglucongruppierung (**R**) und einem Sulfatanion am Hydroxamat-Stickstoff (Ettlinger et al, 1956, Ettlinger et al. 1957). Sie unterscheiden sich nur im Aglucon **R**-, das Alkyl-, Alkenyl-, Aryl- bzw. Indolstruktur aufweisen kann (Tab. 2). In der intakten Pflanzenzelle liegen diese Verbindungen getrennt von dem endogenen Enzym **Myrosinase** vor. Bei Verletzung der Zellen katalysiert dieses Enzymsystem die Hydrolyse der Glucosinolate unter Produktion verschiedener Verbindungen wie z. B. Thio- (-SCN) und Isothiocyanate (-NCS), Nitrile (-CN), β-D-Glucose und einem Sulfatanion (-HSO₄⁻) (Abb. 2).

Tabelle 2: Übersicht über die Grundstrukturen der wesentlichsten Glucosinolatgruppen.

$\begin{array}{c} \text{S-Glucose} \\ \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{N}-\text{O}-\text{SO}_3^- \end{array}$ <p>Grundstruktur der Glucosinolate</p>	
Glucosinolate mit Alkenylstruktur (Beispiele):	
Sinigrin	R: $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 -$
Gluconapin	R: $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Glucosinolate mit Alkylstruktur (Beispiele):	
Glucoiberin	R: $\text{CH}_3 - \text{SO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Glucoraphanin	R: $\text{CH}_3 - \text{SO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Glucosinolate mit Arylstruktur (Beispiele):	
Glucotropaeolin	R: $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 -$
Sinalbin	R: $\text{C}_6\text{H}_5(\text{OH}) - \text{CH}_2 -$
Glucosinolate mit Indolstruktur (Beispiel):	
Glucobrassicin	R: 

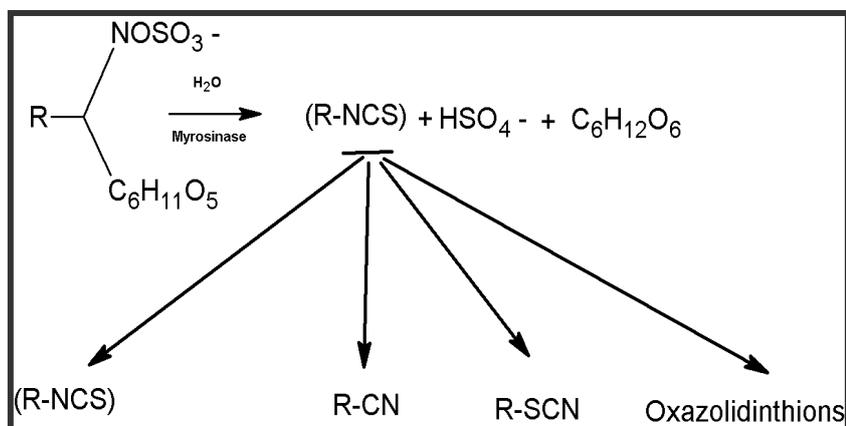


Abb. 2: Schematische Darstellung der Umsetzung von Glucosinolaten unter Myrosinaseeinwirkung zu Thio- bzw. Isothiocyanaten, Nitrilen oder Oxazolidinthionen.

Die Glucosinolate stellen bei Kohlgemüse eine wesentliche, den Geschmack und den ernährungsphysiologischen Wert bestimmende Gruppe von Inhaltsstoffen dar. Auch in der Gruppe der agrotechnisch verwendeten Zwischenfrüchte wie *Brassica juncea*, *Raphanus sativus*, *Sinapis alba* ist die Stoffgruppe der Glucosinolate in teilweise hohen Konzentrationen sowohl in den Samen, als auch in den vegetativen Teilen der Pflanzen vertreten. Die aus den Glucosinolate gebildeten Isothiocyanate und Thiocyanate zeigen z. B. toxische oder besser antinutritive Effekte gegen Insekten oder andere, bodenbürtige Pathogene, so z. B. das aus dem Glucosinolat „Sinigrin“ unter Myrosinaseeinfluss entstehenden Allylisothiocyanat bzw. Allylthiocyanat (Abb. 3).

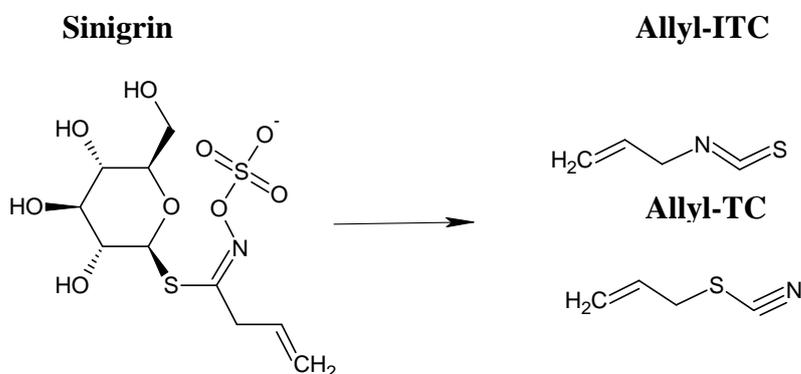


Abb. 3: Schematische Darstellung der Umwandlung von Sinigrin (in Sareptasenf) unter Myrosinaseeinfluss zu Allyl-Isothiocyanat bzw. Allyl-Thiocyanat.

Aber nicht alle in den Pflanzen vorhandenen Glucosinolate bilden unter Myrosinaseeinfluss Isothiocyanate bzw. Thiocyanate. So entsteht z. B. aus dem Glucosinolat „Progoitrin“ **kein** Isothiocyanat, sondern ein Oxazolidinthion, das „Goitrin“, das nicht über die o. g. Eigenschaften verfügt und somit nicht für die Biofumigation relevant ist (Abb. 4). Gleiches gilt auch für die Indolglucosinolate wie z. B. Glucobrassicin (Abb. 5).

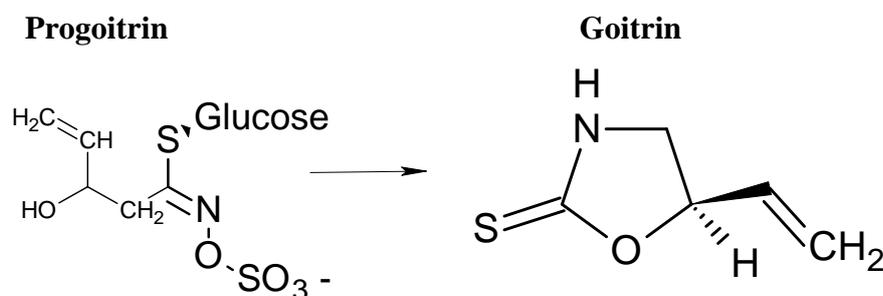


Abb. 4: Schematische Darstellung der Umwandlung von Progoitrin unter Myrosinaseeinfluss zu Goitrin.

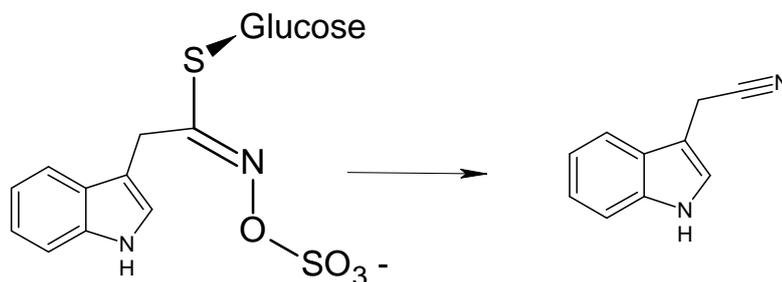
Glucobrassicin**Indol-3-acetonitril**

Abb. 5: Schematische Darstellung der Umwandlung von Glucobrassicin unter Myrosinaseeinfluss zu Indol-3-acetonitril.

Analytik der Glucosinolate

Durch moderne züchtungsbegleitende Analytik ist eine schnelle und effektive Selektion von Kruziferen-Formen mit einem hohen Wirkstoffpotential möglich. Zur Extraktion der Glucosinolate werden jeweils ca. 200 mg des gefriergetrockneten, fein vermahlenden Probenmaterials eingewogen, in einer aufwändigen Prozedur aus dem Pflanzenmaterial extrahiert und durch das Enzym „Sulfatase“ in die für die Analytik zugänglichen desulfatisierten Verbindungen (Abb. 6) umgewandelt (Schütze et al. 2004).

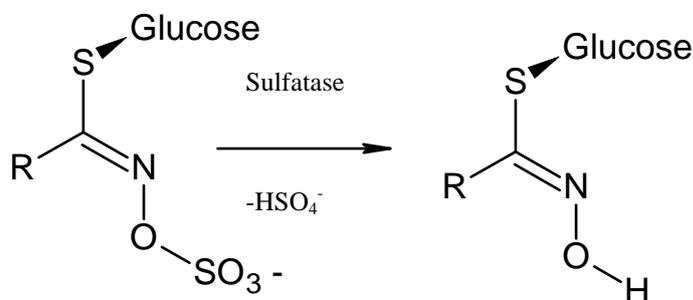


Abb. 6: Umsetzung der Glucosinolate unter Einsatz des Enzyms „Sulfatase“ zu den für die HPLC-Analytik zugänglichen desulfatisierten Verbindungen unter Abspaltung des Sulfatrestes.

Anschließend erfolgt die Untersuchung dieser desulfatisierten Verbindungen unter Einsatz der Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) mit einem sogenannten Multiwellenlängendetektor (DAD) bei einer Wellenlänge von 229 nm (Abb. 7) in einem Detektionsbereich von 200 – 300 nm. Ein typisches HPLC-Chromatogramm einer *Sinapis alba* – Probe ist in Abbildung 8 dargestellt.



Abb. 7: HPLC-System „1100“ von Agilent mit automatischem Probengeber, binärer Pumpe und DAD zur Analyse des Glucosinolatgehaltes und des Glucosinolatverteilungsmusters in Brassicaceen.

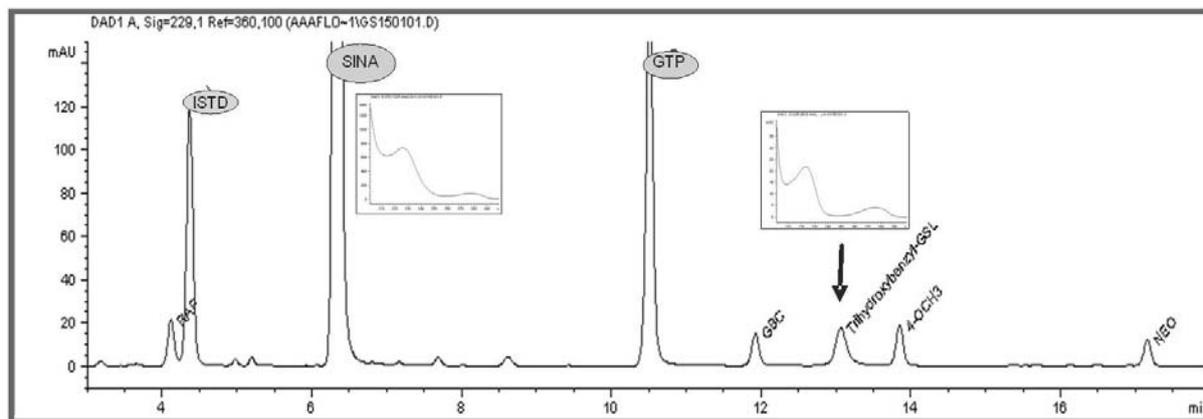


Abb. 8: Typisches HPLC-Chromatogramm einer *Sinapis alba*-Probe mit Sinigrin als „Internen Standard“ (ISTD) und Sinalbin (SINA) als Hauptglucosinolat sowie Glucotropaeolin (GTP) und Trihydroxybenzyl-GSL als weitere Benzyl-Glucosinolate. In nur sehr geringen Konzentrationen vertreten und für das Biofumigationsverfahren nicht relevant treten weiterhin auf: die Indol-Glucosinolate Glucobrassicin (GBC), 4-Methoxyglucobrassicin (4-OCH₃) und Neoglucobrassicin (NEO).

Glucosinolatgehalte und Verteilungsmuster in für die Biofumigation relevanten Kulturarten

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigen sich deutliche Einflüsse der Umwelt auf den Gesamtglucosinolatgehalt. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass das Glucosinolatverteilungsmuster **umweltunabhängig** ist. Im Vergleich der Versuchsjahre ist zu sehen, dass der mittlere Glucosinolatgehalt eines Genotyps stark in Abhängigkeit des Standortes (Faktor 3 bis 8) sowie zwischen Einzelpflanzen (Faktor 3 bis 5) schwankt. Beispielhaft ist dies hier für Ölrettich cv. Dacapo (Probenahme im Jahr 2008) gezeigt (Abb. 9). So schwankte der Gesamtgehalt von Einzelpflanzen zwischen 20 und 102 $\mu\text{mol/g TS}$. Bei Ölrettich cv. Contra lagen die Werte zwischen 19 und 85 $\mu\text{mol/g TS}$ (nicht dargestellt). Als Ursache dieser Schwankungen werden in der Literatur neben standortspezifischen Faktoren (Boden, Klima) auch Fragen des Schwefelgehaltes im Boden und der S-Düngung diskutiert (Tab. 1).

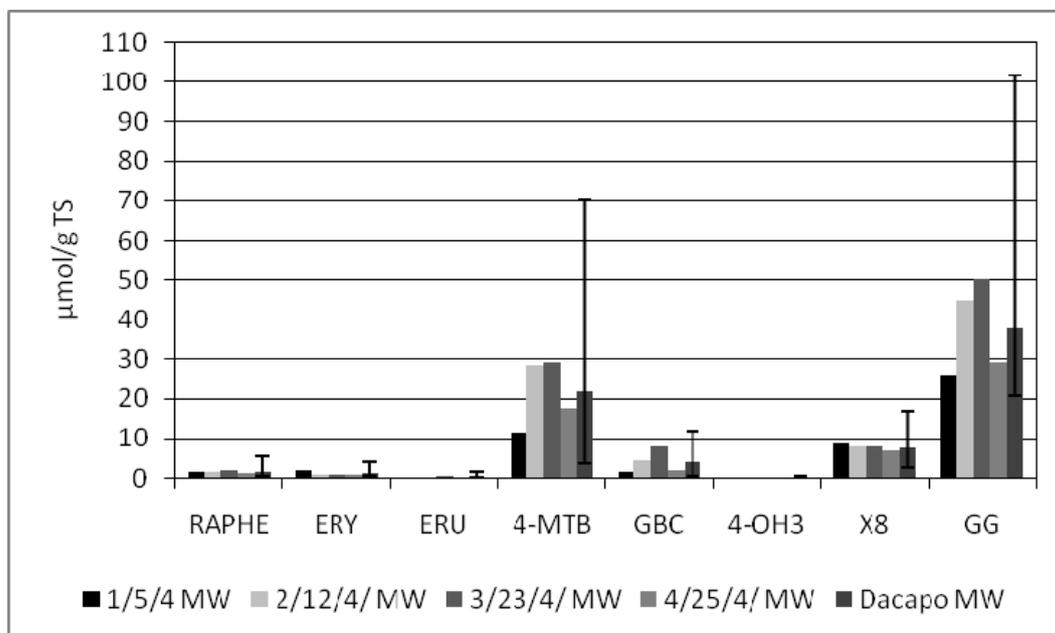


Abb. 9: Variabilität des Glucosinolatgehaltes von Einzelpflanzen: Mittlere Glucosinolatgehalte und Glucosinolat-Verteilungsmuster am Beispiel von Ölrettich cv. Dacapo, Standort Birgel, Rheinland, 4 Wiederholungen a 10 Einzelpflanzen.

Sinapis alba (Weißer Senf)

Das Hauptglucosinolat bei *S. alba* ist das Sinalbin (Abb. 10). Sein Anteil am Glucosinolatgesamtgehalt liegt bei den untersuchten Genotypen, auch in Abhängigkeit vom Anbaujahr sowie Sorte, zwischen 70 und 93%. Als zweithäufigstes Glucosinolat tritt Glucotropaeolin mit relativen Gehalten von bis zu 23% auf. Bei einzelnen Genotypen wurden mittlere Glucosinolatgesamtgehalte bis zu 73 $\mu\text{mol/g TS}$ gemessen, wobei der für die Biofumigation relevante Anteil Werte bis 99% erreichte.

***Brassica juncea* (Brauner Senf/Sareptasenf)**

Das Hauptglucosinolat bei *B. juncea* ist Sinigrin (Abb. 10). Sein Anteil am Glucosinolatgesamtgehalt liegt bei den untersuchten Genotypen zwischen 93 und 98,5%. Der Absolutgehalt erreicht Werte bis 50 $\mu\text{mol/g}$ TS (Freilandanbau). Deutlich geringere Werte (vermindert um 50-75%) wurden bei den gleichen Genotypen bei Anbau im Gewächshaus gemessen.

***Raphanus sativus* (Ölrettich)**

Die Hauptglucosinolate bei Ölrettich sind Raphenin (RAPHE), Erysolin (ERY) und 4-Methylthiobutenyl-GSL (4-MTB), wobei der Hauptanteil durch das 4-MTB gestellt wird (Abb. 10). Der prozentuale Anteil dieser 3 Komponenten am Gesamtglucosinolatgehalt bewegt sich nach bisherigen Untersuchungen zwischen 58 und 82%. Die gemessenen Absolutwerte liegen im Mittel zwischen 20 und 50 $\mu\text{mol/g}$ TS. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zeigen in vielen Fällen eine hohe Variabilität zwischen den Einzelpflanzen, hier am Beispiel des ÖR-Genotyps „Dacapo“ (Probenahme im Jahre 2008) mit der höchsten Variabilität gezeigt (Abb. 9).

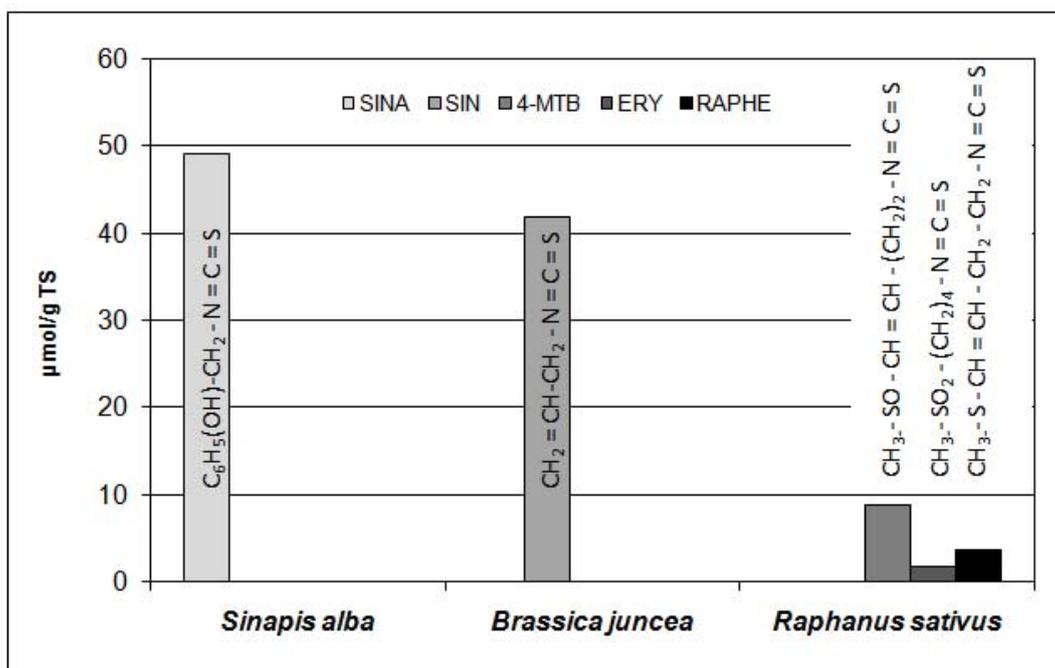


Abb. 10: Übersicht der mittleren Glucosinolatgehalte von *Sinapis alba*, *Brassica juncea* und *Raphanus sativus*, dargestellt an den Hauptglucosinolaten der untersuchten Genotypen. (SINA: Sinalbin, SIN: Sinigrin, 4-MTB: 4-Methylthiobutenyl-Glucosinolat, ERY: Erysolin, RAPHE: Raphenin).

Berechnung des Eintrags an Wirkstoffmenge für die Biofumigation

Für die Einschätzung der Wirksamkeit des Biofumigationsverfahren ist es wichtig, an Hand der gemessenen Glucosinolatgehalte eine Abschätzung über den maximal möglichen Eintrag an Wirkstoff in den Boden treffen zu können. Die nachfolgende Übersicht gibt eine Anleitung für dessen Berechnung (Tab. 3). Dabei dienen die in Tabelle 4 angeführten Molekulargewichte der für die Biofumigation wesentlichen Glucosinolate und Isothiocyanate als Grundlage. Die Berechnung des Eintrags an Wirkstoff für die Biofumigation erfolgte am Beispiel von *Brassica juncea* (angenommen wurde 100% Umsetzung).

Tabelle 3: Anleitung zur Berechnung der Wirkstoffmenge der für das Biofumigationsverfahren wichtigsten Glucosinolate und ihrer Isothiocyanate am Beispiel von Sinigrin.

Angenommener Trockenmasseertrag:	30 dt/ha = 300 g/m ²
Mittlerer GSL-Gehalt pro g TS:	31 µmol Sinigrin
Mittlerer Sinigrin-Gehalt/m ² :	9300 µmol (300 g x 31 µmol)
Molekulargewicht Sinigrin (desulfatisierte Verbindung):	279,3 g/Mol
Menge Sinigrin/m ²	2,597 g/m ² (1 Mol/279,3 g = 0,0093 Mol/x)
Menge Sinigrin/ha	25,975 kg/ha
Molekulargewicht ITC von Sinigrin	99,15 g/Mol
Menge ITC/m ²	0,9221 g/m ²
Menge ITC/ha	9,221 kg/ha

Tabelle 4: Molekulargewichte der für die Biofumigation wesentlichen Glucosinolate und Isothiocyanate.

	Molekulargewicht (g/Mol) Glucosinolate (desulfatis. Verb.)	Molekulargewicht (g/Mol) Isothiocyanate
Sinalbin	345	165,21
Glucotropaeolin	329	149,21
Raphenin	355	175,27
Erysolin	373	193,29
4-MTB	339	159,27
Sinigrin	279	99,15

Zusammenfassung

Der Begriff sowie das Verfahren der „Biofumigation“, zur Beschreibung der suppressiven Wirkung von Kruziferen gegenüber bodenbürtigen Schaderregern, werden erläutert. Auf die dieses System beeinflussenden Faktoren wie pH-Wert des Bodens, Bodentemperatur, Wassergehalt des Bodens, dem/den in der Pflanze vorliegenden Glucosinolat(en) sowie dem Schwefelgehalt des Bodens (S-Düngung) wird eingegangen. Es wird das Prinzip der Umsetzung von Glucosinolaten unter Myrosinaseeinwirkung nach Zerstörung der Pflanzenzellen erläutert und die Bildung bzw. Nichtbildung der für das Biofumigationsverfahren wichtigen Isothiocyanate und Thiocyanate an Hand von Beispielen dargestellt. Die Variabilität des Glucosinolatgehaltes und des Glucosinolat-Verteilungsmusters bei den schwerpunktmäßig untersuchten Genotypen von Weißer Senf, Ölrettich und Sareptasenf werden diskutiert. Vorgestellt wird eine moderne züchtungsbegleitende HPLC-Analytik für eine schnelle und effektive Selektion von Kruziferen-Formen mit einem hohen Wirkstoffpotential. Es wird die Vorgehensweise erläutert, um an Hand der gemessenen Glucosinolatgehalte eine Abschätzung über den maximal möglichen Eintrag an Wirkstoff (Isothiocyanat bzw. Thiocyanat) in den Boden treffen zu können.

Literatur

Kirkegaard J.A., Gardner P.A., Desmarchelier J.M., Angus J.F. (1993). Biofumigation – using Brassica species to control pests and diseases in horticulture and agriculture. In: N. Wratten,

- R.J. Mailer (Eds) Proceedings 9th Australian Research Assembly on Brassicas. Agricultural Research Institute, Wagga Wagga, S. 77-82.
- Brown P.D., Mora M.J. (1997). Control of soilborne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advances in Agronomy* 61: 167-231.
- Kirkegaard J.A., Matthiesen J.N. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria* 3: 233-239.
- Lazzeri L., Manici L. M. (2000). The glucosinolate-myrosinase system: A natural and practical tool for biofumigation. In: Proceedings of IS Chemical and Non-Chemical Soil and Substrate Desinfestation. M. L. Gullino, J. Karan, A. Matta (Eds). *Acta Horticulturae* 532: 89-95.
- Lazzeri L., Leoni O., Bernardi R., Malaguti L., Cinti S. (2004). Plants, techniques and products for optimising biofumigation in the full field. *Agroindustria* 3: 281-287.
- Matthiessen J.N., Kirkegaard J.A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease control. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 235-265.
- Walker J.C., Morell S., Foster H. (1937). Toxicity of mustard oils and related sulphur compounds to certain fungi. *American Journal of Botany* 24: 536-541.
- Falk K. L., Tokuhisa J. G., Gershenzon J. (2007). The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology* 9: 573-581.
- Ettlinger M.G., Lundeen A.J. (1956). The structure of sinigrin and sinalbin: an enzymatic rearrangement. *Journal of the American Chemical Society* 78: 4172.
- Ettlinger M.G., Lundeen A.J. (1956). First synthesis of a mustard oil glucoside: the enzymatic Lossen rearrangement. *Journal of the American Chemical Society* 79: 1764-1765.
- Schütze W., Quilitzsch R., Schlathölter M. (2004). Glucosinolate testing of leaves and stems in brassicas with HPLC and MIR. *Agroindustria* 3: 399-401.

ZÜCHTUNG VON PFLANZEN FÜR DIE BIOFUMIGATION

MICHAELA SCHLATHÖLTER; P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, 24977 Grundhof; E-mail schlathoelter@phpetersen.com

Ausgehend von der Kern-Idee der Biofumigation, dass pflanzliche Isothiocyanate (ITC) Krankheiten und Schädlingen bekämpfen, wurde in der Züchtung damit begonnen, geeignete Pflanzenarten zu evaluieren. Als Auswahlkriterien dienten Angaben und eigene Messungen zum ITC-Gehalt, Biomasseproduktivität, Variabilität und Verfügbarkeit des Ausgangsmaterials:

Botanische Bezeichnung	Deutscher Name	Positive Aspekte	Negative Aspekte
<i>Sinapis alba</i>	Gelbsenf, Weißer Senf	große Variabilität vorhanden	unterschiedliche Angaben zum ITC-Potential
<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i>	Ölrettich, Futterrettich	große Variabilität vorhanden	
<i>Brassica juncea</i>	Brauner Senf, Sareptasenf, Indischer Senf	hohe Gehalte an ITC	wenig Erfahrungen in gemäßigten Klimazonen
<i>Eruca sativa</i> und <i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Rucola	spezielle ITC	geringe Massebildung
<i>Brassica nigra</i>	Schwarzer Senf	hohe Gehalte an ITC	Hartschaligkeit
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Brokkoli	hohe Gehalte an ITC	kostenintensiver Anbau
<i>Brassica napus</i>	Raps	große Variabilität vorhanden	geringer ITC Gehalt
<i>Brassica rapa</i>	Rübsen	große Variabilität vorhanden	geringer ITC Gehalt

Im ersten Züchtungsschritt wurde die genetische Variation innerhalb der für die erste Stufe zu bearbeitenden Arten Gelbsenf, Ölrettich und Sareptasenf erfasst. Dazu wurden Stämme und Linien im Zwischenfruchtanbau ausgesät und es wurde Stängel-, Blatt- und Blütenmaterial als Mischprobe von ca. 2 kg oder als Einzelpflanzen von ca. 500 g vor dem Frost genommen und tiefgefroren. Die Glucosinolat (GSL)-Untersuchungen wurden von Dr. Wolfgang Schütze,

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalyse und Vorratsschutz, Quedlinburg, durchgeführt.

Die Ergebnisse der Einzelpflanzenanalysen zeigten, dass in den ausgewählten Arten ausreichend Variationsbreite im ITC-Gehalt vorhanden war. Wiederholungsversuche zeigten, dass der absolute Gehalt an ITC je nach Anbaubedingung und –jahr unterschiedlich hoch ausfällt, die Rangreihenfolgen zwischen den einzelnen Linien aber nahezu gleich bleibt.

Im zweiten Züchtungsschritt wurden die ITC-Gehalte in den Pflanzen erhöht. Dazu wurden 10 bis 20 Einzelpflanzen einer Linie angezogen. Nach der Entnahme von Grünmaterial für die Glucosinatuntersuchung wurden die Pflanzen weiterkultiviert und isoliert zur Samenreife gebracht. Anhand der GSL-Ergebnisse wurden die besten Einzelpflanzen einer Linie selektiert und blühten in der nächsten Generation als verbesserte Population gemeinsam ab. Danach wurden sie erneut einem Selektionsschritt auf GSL-Gehalt unterzogen.

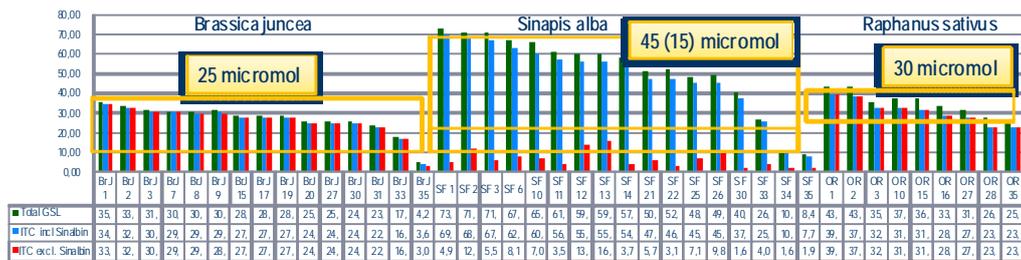
Für die Optimierung der ITC-Zusammensetzung wurde ein weites Spektrum an Brassicaceen gemeinsam angebaut (Abb. 1). Die Bestimmung der GSL-Gehalte erfolgte an der Gesamtpflanze inklusive Wurzeln anhand von maximal 5 Einzelpflanzen. Pflanzenarten mit besonders interessanten ITC's sollen anschließend in das Zuchtmaterial eingekreuzt werden und zu Sorten mit optimierter ITC-Zusammensetzung führen.

Die Grenzen dieser Optimierung zeigten sich schnell bei der Spannbreite der verschiedenen Herkünfte: die zur Verfügung stehenden Saatgutmengen und Keimfähigkeiten waren teilweise sehr gering, viele Formen wiesen eine so geringe Anbauwürdigkeit auf, dass die Beerntung große Schwierigkeiten bereitete. Der Anbau, die Probenahme und -bearbeitung, sowie die Pflanzenanalytik haben sehr viel Zeit und Kapazität erfordert und gebunden. Allein von der Anbauwürdigkeit reichte keine genetische Ressource an die Tauglichkeit von Gelbsenf, Ölrettich oder Sareptasenf. Die GSL-Ergebnisse müssen noch abschließend aufgearbeitet werden.

Als Kriterium für die Einschätzung und Bewertung der Züchtungserfolge können die Sortenentwicklungen gesehen werden: aus den bestehenden Sorten erwiesen sich die Ölrettichsorten DEFENDER, COMMODORE, CONTRA und COLONEL, die Gelbsensorten MAXI, ACCENT und LUNA, sowie der Sareptasenf ENERGY als geeignet

für die Biofumigationstechnik. Aus den Arbeiten zur Erhöhung des GSL-Gehaltes sind die Sareptasene TERRAFIT, TERRAPLUS und TERRATOP entstanden, die Züchtungsarbeiten zur Optimierung der ITC-Zusammensetzung dauern noch an.

GLUCOSINOLATGEHALT UND -MUSTER ALS MITTEL AUS 5 EINZELPFLANZEN



Gesamt-GSL gehalt
 in ITC abgebaute GSL incl Sinalbin
 in ITC abgebaute GSL ohne Sinalbin

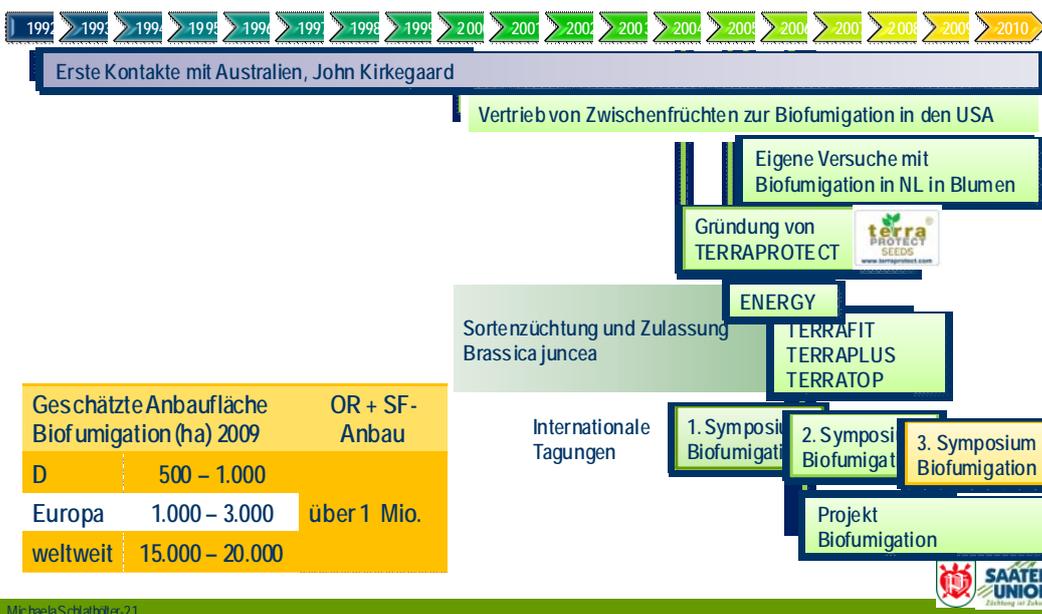
- ausreichend Variationsbreite für Selektion vorhanden
- auch wenn die absolute Gehalt je nach Anbaujahr und -bedingungen schwankt, Rangreihenfolgen bleibt nahezu gleich

Michaela Schlathöfer-16



Abb. 1: Glucosinolatgehalte und -muster in verschiedenen Kulturpflanzenarten.

ZEITLICHE AUSWERTUNG



Michaela Schlathöfer-21



Abb. 2: Züchterische Entwicklung bei der Entwicklung von Kulturen für die Biofumigation.

Die zeitliche Auswertung veranschaulicht sehr deutlich, dass die Biofumigationsidee und –technik noch eine sehr junge Entwicklung ist, die in Europa und insbesondere Deutschland erst in den vergangenen Jahren u.a. durch dieses Projekt systematisch bearbeitet worden ist (Abb. 2). Der Bedarf und die Aktualität bei der Suche nach biologischen Bekämpfungsalternativen oder -ergänzungen zu bestehenden und sich stetig verringernden chemischen Bekämpfungsmethoden wird nicht zuletzt in dem steigenden Interesse und den vielen Anfragen deutlich.

Vergleicht man jedoch die Anbauflächen von Ölrettich und Gelbsenf im Zwischenfruchtanbau für Bodenbegrünung und Nematodenbekämpfung mit den Anbauflächen speziell für die Biofumigation, so macht die Biofumigationsfläche aktuell nur rund 1% der Zwischenfruchtanbaufläche aus. Die Entwicklungskosten für eine Sorte ausschließlich zur Biofumigation sind allerdings aufgrund der aufwändigen Analysen wesentlich höher als für bisherige Zwischenfruchtsorten. Da die Entwicklungskosten innerhalb eines privaten Pflanzenzuchtunternehmens letztendlich von den Saatgutverkäufen getragen werden müssen, müssen auch Biofumigationssorten langfristig hinsichtlich ihrer Wertschöpfung für das Unternehmen kritisch überprüft werden.

Bislang haben die Arbeiten zur Biofumigation dazu beigetragen, die Wirkungsweise der biologischen Schädlingsbekämpfung besser zu verstehen. Die Selektion auf Glucosinolate, die zu Isothiocyanaten abgebaut werden, die wiederum zur Bekämpfung von bodenbürtigen Schaderregern beitragen, ist ein praktikabler Ansatz. Auch werden durch die verhältnismäßig kurzen Anbauzeiträume für die Biofumigationkultur Einsatzgebiete erschlossen, die dem reinen Zwischenfruchtanbau verschlossen geblieben sind.

Die Aktualisierung und Erweiterung der Kenntnisse zum Anbau von Biofumigationskulturen sowie Untersuchungen zu deren Potential bei der Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen im Rahmen des vorliegenden Projektes zur Biofumigation waren vorbildlich. Das Projekt hat dazu beigetragen, einen regen Austausch über biologische Schädlingsbekämpfungsmethoden zu starten. Der Nutzen der Biofumigation ist derzeit noch nicht voll abzuschätzen und wird womöglich erst rückblickend als Innovation entsprechend gewürdigt werden.

EINSATZ DER BIOFUMIGATION IN ACKERBAUSYSTEMEN – VERSUCHE ZUR WIRKUNG GEGEN PFLANZENPARASITÄRE NEMATODEN

MATTHIAS DAUB¹, WOLFGANG SCHÜTZE², MICHAELA SCHLATHÖLTER³, RITA GROSCH⁴, JOHANNES HALLMANN⁵; ¹Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf; ²JKI, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg; ³P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, 24977 Grundhof; ⁴Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ), Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren; ⁵JKI, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppheideweg 88, 48161 Münster; E-Mail: matthias.daub@jki.bund.de

Einleitung

Pflanzenparasitäre Nematoden spielen in Ackerbaukulturen eine weitestgehend unterschätzte Rolle. Schäden durch Nematoden, die durch Symptome begleitet werden, sind häufig unspezifisch und an weniger beachteten Pflanzenorganen wie Wurzeln vorzufinden. Für *Heterodera schachtii* wurde der jährliche Schaden in Zuckerrüben innerhalb der EU auf ca. 90 Mio. € geschätzt (Müller 1999). Die Zahl der Meldungen durch die Pflanzenschutzdienste der Länder und Beratungsorganisationen von Schäden in Ackerkulturen wie Kartoffeln, Zuckerrüben und Getreide durch nicht-sedentäre Nematoden wie *Pratylenchus* spp., *Ditylenchus* spp., *Trichodorus* spp. und *Paratylenchus* nehmen in den letzten Jahren deutlich zu. Bis auf einige Ausnahmeregelungen sind Nematizide zur chemischen Bekämpfung von Nematoden in Deutschland nicht zugelassen.

Für Ackerbausysteme ist die Biofumigation in Deutschland ein bislang weitgehend neues Verfahren, das aber im Wesentlichen auf den bereits etablierten Zwischenfruchtbau aufbaut. Im Gegensatz zum Zwischenfruchtanbau wird der Pflanzenbestand zur Blüte gehäckselt, dann in den Boden eingearbeitet und schließlich wird die Bodenoberfläche verschlossen. Im Ackerbau können diese Arbeitsschritte mit einem Gerät in einem kombinierten Arbeitsgang durchgeführt werden. Zur prinzipiellen Wirkungsweise der Biofumigation sei an dieser Stelle auf den Beitrag von Schütze et al. in diesem Heft verwiesen.

Die Wirkung der Biofumigation gegen pflanzenparasitäre Nematoden ist vor allem für *Meloidogyne* gut dokumentiert, wobei Versuche hierzu häufiger unter kontrollierten

Bedingungen als im Feldversuch durchgeführt wurden (Ploeg 2007). Vor dem Hintergrund der pflanzen- und ackerbaulichen Möglichkeiten hatten die vorliegenden Untersuchungen zum Ziel, die Biofumigation für die Bedingungen des gemäßigten Klimas in Deutschland soweit zu optimieren, dass pflanzenparasitäre Nematoden effektiv bekämpft bzw. Schäden durch pflanzenparasitäre Nematoden verhindert werden können.

Methodik

Feldversuche. Von 2007 bis 2009 liefen auf verschiedenen Versuchsstandorten in der Voreifelregion Feldversuche zur Wirkung der Biofumigation auf konventionell bewirtschafteten Betrieben mit erhöhtem Auftreten durch den Rübenzystennematoden *Heterodera schachtii* und dem Verursacher der Rübenkopffäule, *Ditylenchus dipsaci*. Auf zwei Flächen (A und B) in Rübenbaubetrieben wurden zweijährige Feldversuche durchgeführt. Im ersten Jahr wurde auf Fläche A als Zwischenfrüchte *Brassica juncea* (BJ) cv. Terraplus, Terrafit, Energy, *Raphanus sativus* (RS) cv. Defender, Adagio und die Saatmischungen Terraprotect RB (Sareptasenf cv. Energy + Ölrettich cv. Defender) und Terraprotect MB (Sareptasenf cv. Energy + Gelbsenf cv. Luna) eingesät, auf Fläche B *Brassica juncea* (BJ) cv. Terraplus, *Raphanus sativus* (RS) cv. Defender, Commodore, Contra, Dacapo und die Saatmischungen Terraprotect RB 1:1 oder 1:8 (Ölrettich cv. Defender + Sareptasenf cv. Terraplus). Im Spätsommer wurde mit den Zwischenfrüchten eine Biofumigation durchgeführt. Die Versuchsanlage bestand aus sieben Zwischenfrüchten plus Schwarzbrache als Kontrolle und wurde in Form eines lateinischen Rechtecks angelegt. Im zweiten Jahr erfolgte auf den Versuchsflächen der Anbau von Zuckerrübe cv. Pauletta, einer Sorte mit Toleranz gegen *H. schachtii* und Empfindlichkeit gegen *Ditylenchus dipsaci*. Im ersten Jahr wurde die Besatzdichte von *H. schachtii* und *D. dipsaci* vor der Saat (Pi) und zwei Wochen nach Biofumigation (Pf) sowie am Tag der Biofumigation die pflanzliche Biomasse und der Gehalt bzw. das Spektrum der Glucosinolate (GSL) bestimmt. Im zweiten Jahr wurden neben der Aufnahme der Nematodendichten der Rübenenertrag erfasst und die durch *D. dipsaci* verursachte Rübenkopffäule bonitiert.

Auf der Fläche A erfolgte eine Startdüngung im ersten Jahr mit 50-60 kg N/ha und die Biofumigation wurde im abgesetzten Verfahren in drei Arbeitsgängen durchgeführt. Auf der Fläche B wurde eine Startgabe von 50–60 kg N/ha und 20–30 kg S/ha über ASS gedüngt und die Biofumigation erfolgte in einem Arbeitsgang. Die Flächen wiesen eine schluffig, lehmige Bodentextur mit Humusgehalten von 2,0% auf.

In-vitro Test. Die Wirkung der in Glucosinolaten enthaltenen Isothiocyanate (ITC) auf frei bewegliche Stadien von *Meloidogyne hapla* wurde *in-vitro* untersucht. Hierzu wurden ca. 1000 Juvenile von *M. hapla* über 3 Stunden in Isothiocyanatlösungen mit Konzentrationen zwischen 0,001 µmol und 10 µmol inkubiert. Untersucht wurden Allylisothiocyanat, Benzylisothiocyanat, Butylisothiocyanat, Ethylisothiocyanat, Methylisothiocyanat, Phenylisothiocyanat, 2-Phenylethylisothiocyanat. Nach 24 Stunden Regeneration in Leitungswasser wurde die Aktivität/Inaktivität der Nematoden bestimmt.

Topfversuche. In einem zwei-faktoriellen Versuch wurde die Wirkung der Biofumigation mit Ölrettich (OR) cv. Contra und Sareptasenf (BJ) cv. Terrafit bei unterschiedlichen Temperaturen (10°C, 15°C, 20°C, 25°C) auf *M. hapla* untersucht. Dazu wurden 5000 Juvenile pro 1 L-Topf in gedämpfte Felderde gegeben. Danach wurden 15 g pflanzlicher Frischmasse in den Topf eingemischt und für 7 Tage bei entsprechend eingestellter Temperatur inkubiert. Danach wurde in jeden Topf eine vorgezogene Tomate cv. Moneymaker gepflanzt und alle Töpfe unter gleichen Bedingungen ins Gewächshaus gestellt. Achtundsechzig Tage nach dem Pflanzen wurde der Gallindex ermittelt.

Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit Hilfe des Shapiro-Wilk W Tests auf Normalverteilung geprüft und die Varianzhomogenität mit dem Leven Test festgestellt. Bei Erfüllung der notwendigen Voraussetzung wurden Unterschiede zwischen Hauptprüffaktoren mit dem T-test analysiert. Nicht parametrische Verfahren (Kruskal-Wallis ANOVA und Mann Whitney U-test) kamen bei nicht normalverteilten Daten zur Anwendung. Die Berechnungen erfolgten mit der Software STATISTICA 6.0 (Statsoft, Tulsa, USA).

Ergebnisse

Feldversuche. Die Wirkung der Biofumigation auf *H. schachtii* und *D. dipsaci* ist in der Abbildung 1 dargestellt. In beiden Jahren wurde eine signifikant höhere Vermehrung von *H. schachtii* durch den Anbau der Sareptasensorten Terraplus und Terrafit festgestellt. In 2007 lagen die Saatmischungen auf statistisch gleichem Niveau zur Kontrolle. Die Biofumigation mit den verwendeten Ölrettichsorten führte zu einem Rückgang von *H. schachtii* vergleichbar mit dem natürlichen Populationsrückgang der Schwarzbrache.

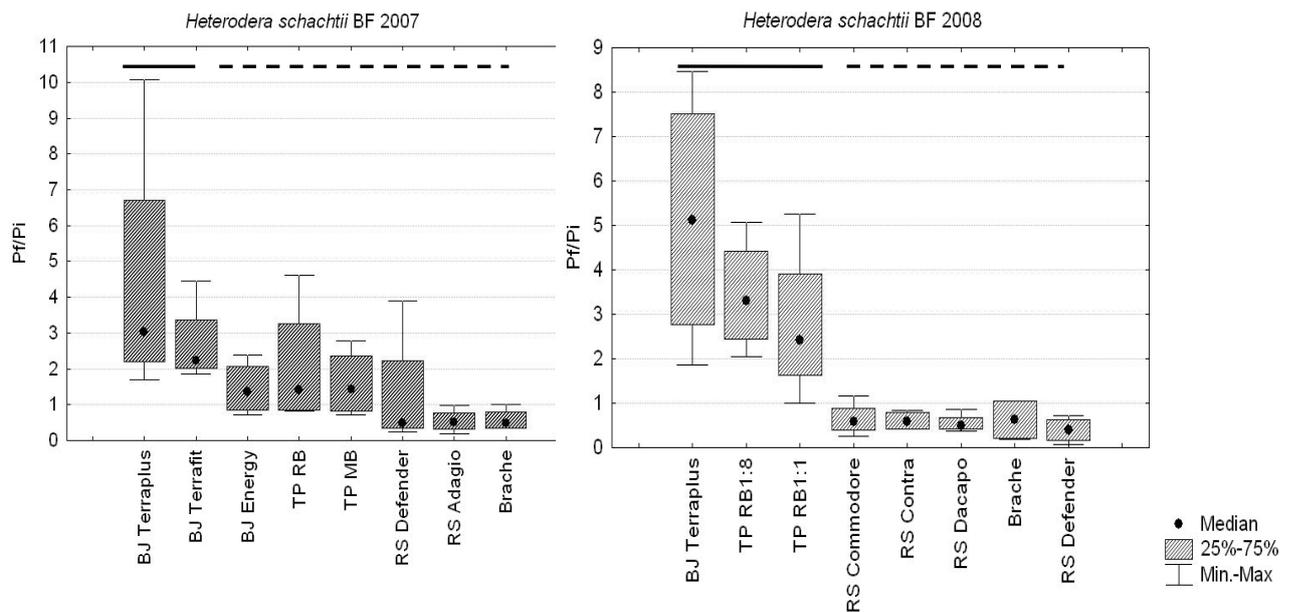


Abb. 1: Vermehrungsraten Pf/Pi von *Heterodera schachtii* nach Biofumigation mit *Brassica juncea* (BJ) cv. Terraplus, Terrafit, Energy, *Raphanus sativus* (RS) cv. Defender, Adagio, Commodore, Contra, Dacapo und den Saatmischungen Terraprotect RB (Sareptasenf cv. Energy + Ölrettich cv. Defender) und Terraprotect MB (Sareptasenf cv. Energy + Gelbsenf cv. Luna) und Terraprotect RB 1:1 oder 1:8 im Vergleich zur unkrautfreien Kontrolle (Brache) im Feldversuch 2007 und 2008; Werte unter dem gleichen Balken (— —) sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich; Kruskal-Wallis ANOVA ($\alpha=0,05$).

Die Auswertung der Populationsdichten vor und nach Biofumigation von *D. dipsaci* war nur für die Fläche A im Jahr 2007 möglich. Eine statistisch signifikante Verringerung der Biofumigationsvarianten gegenüber der Kontrolle konnte nicht festgestellt werden. Eine Vermehrung der Population wurde nicht gefunden.

Im Vergleich zur Fläche A lagen die Glucosinolaterträge der Biofumigationspflanzen auf Fläche B deutlich höher, was möglicherweise auf die zusätzliche Düngung mit Schwefel zurückzuführen ist (Abb. 2). Insgesamt erreichten die Ölrettichsorten etwas höhere Glucosinolaterträge als Sareptasenf cv. Terraplus. Das wird auch im Vergleich der höheren Glucosinolaterträge zwischen der Saatmischung Terraprotect RB (Ölrettich cv. Defender + Sareptasenf cv. Terraplus) im Verhältnis Ölrettich zur Sareptasenf 1:1 und 1:8 deutlich.

Auf den Flächen A und B konnten nach Biofumigation mit den Ölrettichsorten Adagio, Commodore und Dacapo sowie Sareptasenf Terrafit signifikant höhere Erträge mit

Zuckerrübe cv. Pauletta erzielt werden als in der Kontrolle (Tab. 1) Die Unterschiede zwischen der ertragsreichsten und ertragsärmste Variante (Sortenniveau) betragen 13%–14%.

Trotz 100% Befallshäufigkeit der Zuckerrüben mit *D. dipsaci* auf beiden Rübenflächen konnten deutliche Unterschiede in der Ausprägung der durch *D. dipsaci* verursachten Rübenkopffäule beobachtet werden. Auf Fläche A schwankte die Rübenkopffäule zwischen 18% in der Brache und 14% nach Sareptasenf cv. Terrafit und auf Fläche B zwischen 22% in der Brache und 12% nach der 1:1 Saatmischung von Sareptasenf cv. Terraplus mit Ölrettich cv. Defender.

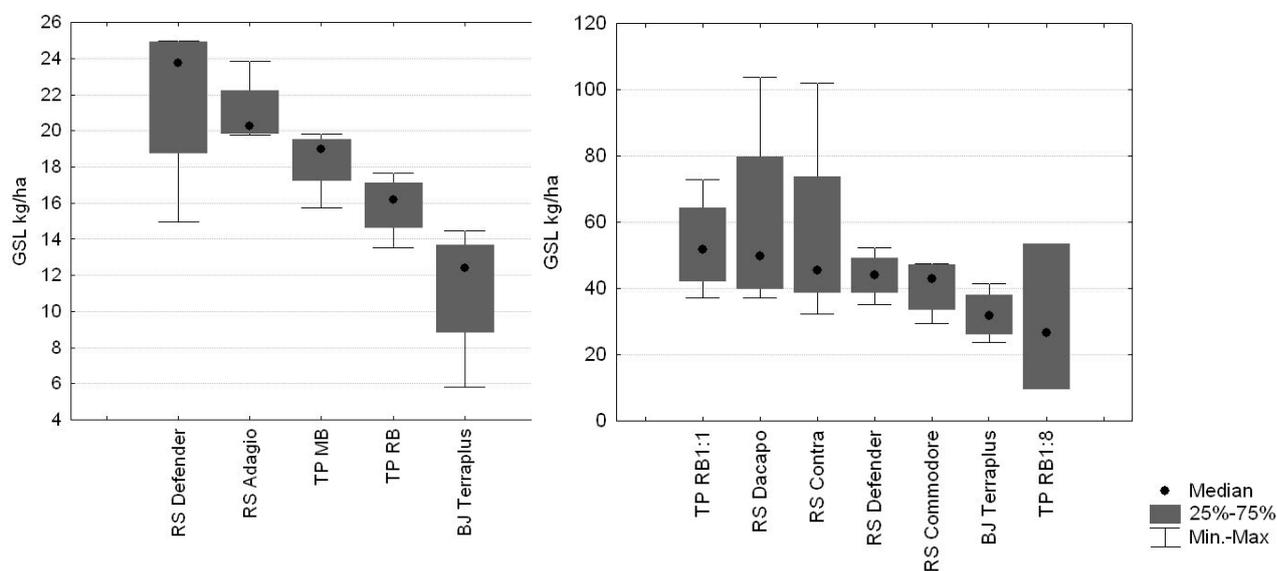


Abb. 2: Glucosinolaterträge in kg/ha verschiedener Sorten von *Brassica juncea* (BJ), *Raphanus sativus* (RS) sowie den Saatmischungen Terraprotect RB und Terraprotect MB im Feldversuch 2007 und 2008.

Tabelle 1: Relative Erträge der Zuckerrübensorte Pauletta im Vergleich zur Kontrolle (= 100%) nach Biofumigation mit Ölrettich, Sareptasenf und den Saadmischung Terraprotect (Sareptasenf und Ölrettich) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle auf Betrieb A und B

	2008 (A)	2009 (B)
Ölrettich	111	112
Sareptasenf	101	111
Terraprotect	103	108
Kontrolle	100	100

In-vitro Test. In der niedrigsten Konzentrationsstufe von 0,01 μmol lag die Mortalität der *M. hapla*-Juvenilen mit 100% bei Behandlung mit Allylisothiocyanat signifikant über der Mortalität bei Behandlung mit Benzylisothiocyanat (Abb. 3). Alle übrigen Isothiocyanate führten zu signifikant geringeren Mortalitäten und lagen damit auf dem Niveau der beiden Kontrollen. Bei hohen Konzentrationen von 10 μmol konnten bei allen getesteten Varianten maximale Mortalitäten erreicht werden.

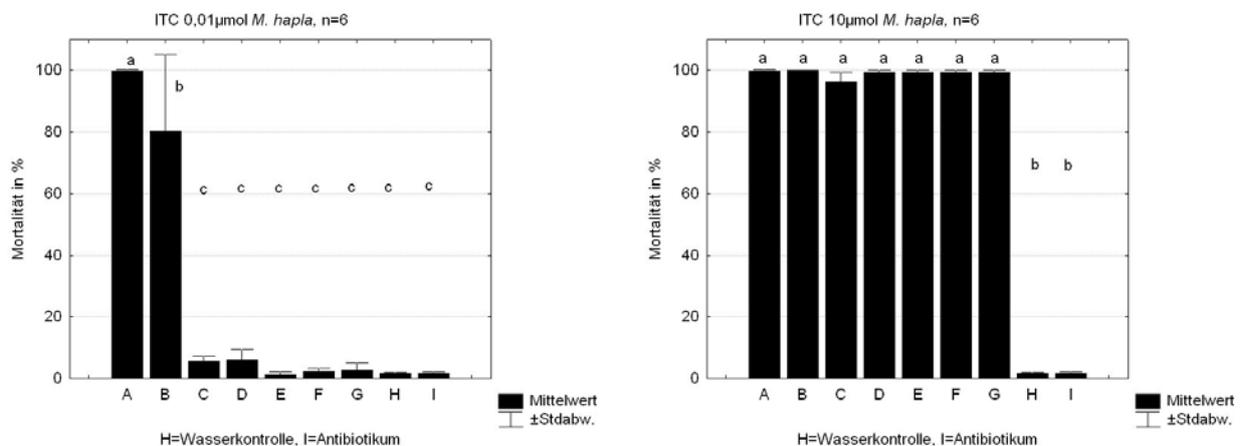


Abb. 3: Mortalität von *Meloidogyne hapla*-Juvenilen nach Behandlung für 3 Stunden mit 0,01 μmol (I) bzw. 10 μmol (II) von A) Allylisothiocyanat, B) Benzylisothiocyanat, C) Butylisothiocyanat, D) Ethylisothiocyanat, E) Methylisothiocyanat, F) Phenylisothiocyanat, G) 2-Phenyylethylisothiocyanat und nachfolgender Regeneration in Leitungswasser für 24 h. Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; Mann Whitney U-Test ($\alpha=0,05$).

Topfversuche. In beiden Experimenten konnte durch Biofumigation mit Pflanzenfrischmasse ein signifikant niedrigerer Gallindex gegenüber der Kontrolle erreicht werden (Abb. 4).

Innerhalb der Behandlungen zeigte sich bei *B. juncea* zusätzlich ein signifikanter Einfluss der Temperatur; bei 20°C und 25°C war der Gallindex geringer als bei 10°C bzw. 15°C.

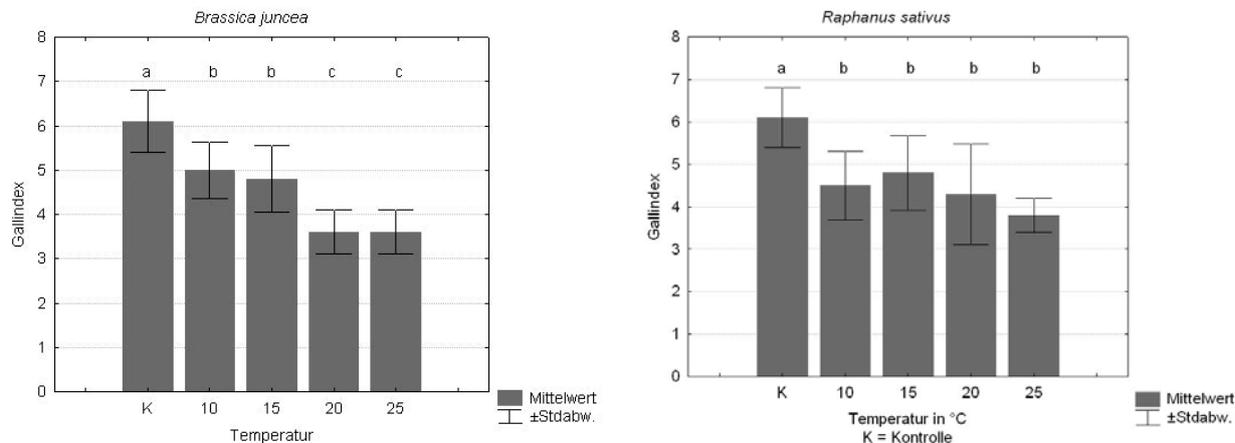


Abb. 4: Gallindex an Tomate cv. Moneymaker nach Biofumigation mit Frischmasse von *Brassica juncea* cv. Terrafit (I) und *Raphanus sativus* cv. Contra (II) bei unterschiedlichen Temperaturen sowie der Kontrolle ohne Biofumigation. Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; T-Test ($\alpha=0,05$).

Diskussion

Eine Unterdrückung pflanzenparasitärer Nematoden durch Biofumigation bzw. der daran beteiligten Isothiocyanate wurde sowohl *in-vitro* als auch *in-vivo* für verschiedene Nematodenarten nachgewiesen, darunter *Meloidogyne chitwoodi*, *M. hapla*, *M. incognita*, *M. javanica*, *H. schachtii*, *Caenorhabditis elegans*, *Pratylenchus neglectus*, *Globodera rostochiensis* und *Xiphinema americanum* (Chitwood 2002, Curto et al. 2005). Je nach Isothiocyanat kann die Wirkung um den Faktor 10 bis 400 differenzieren (Lazzeri et al. 2004). In der vorliegenden Arbeit wurden die höchsten Mortalitätsraten von *M. hapla* mit Allyl- und Benzylisothiocyanat erzielt, wobei bereits Konzentrationen von 0,01 μmol eine vollständige Mortalität der Juvenilen bewirkte. Konzentrationen von 0,01 μmol werden allgemein als ausreichend für eine Wirkung gegen bodenbürtige Schaderreger angesehen (Gimsing und Kirgegaard 2009).

Neben der direkten Wirkung von Isothiocyanaten auf *M. hapla* konnte in Gewächshausversuchen auch eine Wirkung von Biofumigation mit Ölrettich und Sareptasenf gegen *M. hapla* beobachtet werden. Eine positive Wirkung von Biofumigation mit Brassica-Arten gegen *Meloidogyne* spp. ist auch aus anderen Gewächshausversuchen bekannt (Zasada und Ferris 2004, Roubtsova et al. 2007). Die Bildung von Isothiocyanaten aus Glucosinolaten wird durch das Enzym Myrosinase katalysiert. Die Aktivität der Myrosinase wiederum ist

temperaturabhängig, so dass bei wärmeren Temperaturen auch eine bessere Wirkung der Biofumigation zu erwarten ist. Dies hat sich in Gewächshausversuchen mit Sareptasenf bestätigt. Bei 20°C und 25°C war die Wirkung der Biofumigation gegen *M. hapla* signifikant höher als bei 10°C und 15°C. Aus Versuchen dieser Art leiteten Ploeg und Stapleton (2001) als optimale Bodentemperatur für Biofumigation 25°C ab.

In Ackerbausystemen kann eine Zwischenfrucht zur Biofumigation im Allgemeinen nur nach einer frühräumenden Vorkultur, wie z. B. Wintergerste, angebaut werden. Die Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe liegen aber nur im Zeitraum Ende Juni bis Anfang August oberhalb von 22°C (Durchschnitt 2000-2009, JKI Wetterstation in Elsdorf/Rheinland). Da die Aussaat wie in den hier untersuchten Fällen auf Fläche A und B aber erst im August erfolgen konnte, war die Biofumigation erst Mitte bis Ende September möglich, d. h. bei Bodentemperaturen < 13°C. Dies könnte erklären, weshalb die Biofumigation keine oder nur eine geringe Wirkung auf *H. schachtii* und *D. dipsaci* zeigte. Bei Ölrettich kommt hinzu, dass im Falle von *H. schachtii* nicht immer eindeutig zwischen der möglichen Wirkung der Biofumigation und der Resistenz der Sorte unterschieden werden kann. In beiden Feldversuchen konnten sich mit über 4 t/ha Trockenmasse gute Bestände entwickeln, d. h. Biomasse war reichlich vorhanden. Allerdings war es zum Zeitpunkt der Einarbeitung relativ trocken. Dies könnte ein weiterer Grund für die geringe Wirkung sein, denn für die hydrolytische Spaltung der Glucosinolate ist Wasser erforderlich.

Auf der Fläche B wurden insgesamt höhere Glucosinolatmengen erzielt als auf Fläche A. Möglicherweise hat die zusätzliche Schwefeldüngung auf Fläche B hierzu mit beigetragen. Die positive Wirkung einer Schwefeldüngung auf die Glucosinolatgehalte in Pflanzen ist jedenfalls gut dokumentiert (Falk et al. 2007, Harding 2008, siehe auch Beitrag von Schütze et al. in diesem Heft). Die teils signifikanten Ertragssteigerungen bei Zuckerrüben nach Biofumigation deuten auf eher unspezifische Effekte hin, da weder Nematodendichten im Boden noch die Rübenkopffäule deutlich reduziert wurde. Effekte der Zwischenfrüchte auf die Bodenfruchtbarkeit oder andere ertragsbeeinflussende Schaderreger wurden hier nicht untersucht, sind aber aus anderen Studien bekannt (Owen et al. 2010, Benson et al. 2009).

Eine Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden konnte unter kontrollierten Bedingungen mit Isothiocyanaten, als auch im Gewächshausversuch mit Biofumigation nachgewiesen werden. Im Freiland wurden zwar teils höhere Rübenenerträge nach Biofumigation beobachtet,

doch war dieser Effekt unabhängig von einer Reduzierung der Nematodendichten im Boden. Mögliche Ursachen für das schlechte Abschneiden der Biofumigation im Feld könnten die bereits niedrigen Temperaturen zum Zeitpunkt der Einarbeitung bzw. unzureichende Bodenfeuchtigkeit sein. Kann die Biofumigation dagegen in den warmen Sommermonaten erfolgen, oder sogar mit Folienabdeckung (Solarisation) kombiniert werden, ist auch eine bessere Wirkung gegen pflanzenparasitäre Nematoden zu erwarten. In jedem Falle ist auf eine optimale Saatbettbereitung, einen guten Pflanzenaufwuchs, eine optimale Schwefeldüngung sowie eine adäquate Biofumigationstechnik zu achten.

Literatur

- Bensen T.A., Smith R.F., Subbarao K.V., Koike S.T., Fennimore S.A., Shem-Tov S. (2009). Mustard and other cover crop effects vary on lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* and on weeds. *Plant Disease* 93: 1019-1027.
- Chitwood D. (2002). Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology* 40: 221-249.
- Curto G., Dallavalle E., Lazzeri L. (2005). Life cycle duration of *Meloidogyne incognita* and host status of Brassicaceae and Capparaceae selected for glucosinolate content. *Nematology* 7: 203-212.
- Falk K. L., Tokuhisa J. G., Gershenzon J. (2007). The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms. *Plant Biology* 9: 573-581.
- Gimsing A.L., Kirgegaard J.A. (2009). Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews* 8: 299-310.
- Lazzeri L., Curto G., Leoni O., Dallavalle E. (2004). Effects of Glucosinolates and their enzymatic hydrolysis products via myrosinase on the Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 52: 6703-6707.
- Müller J. (1999). The economic importance of *Heterodera schachtii* in Europe. *Helminthologica* 36: 205-213.
- Owen K.J., Clewett T.G., Thompson J.P. (2010). Pre-cropping with canola decreased *Pratylenchus thornei* populations, arbuscular mycorrhizal fungi, and yield of wheat. *Crop and Pasture Science* 61: 399-410.
- Ploeg A. (2007). Biofumigation to manage plant-parasitic nematodes. In: Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops. Eds. Ciancio, A. and Mukerji, K.G., Springer Verlag, 239-248.
- Ploeg A.T., Stapleton J. (2001). Glasshouse studies on the effect time, temperature and amendment of soil with broccoli plant residues on the infestation of melon plants by *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Nematology* 3: 855-861.

- Roubtsova T., López-Pérez J.A., Edwards S., Ploeg A. (2007). Effect of Broccoli (*Brassica oleracea*) tissue, incorporated at different depths in a soil column, on *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 39: 111-117.
- Zasada I.A., Ferris H. (2004). Nematode suppression with brassicaceous amendments: application based upon glucosinolate profiles. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 1017-1024.

KONTROLLE BODENBÜRTIGER PATHOGENE MITTELS BIOFUMIGATION

RITA GROSCH¹, MICHAELA SCHLATHÖLTER², WOLFGANG SCHÜTZE³, MATTHIAS DAUB⁴, JOHANNES HALLMANN⁵; ¹Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ), Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren; ²P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH, 24977 Grundhof; ³Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg; ⁴JKI, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf; ⁵JKI, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppheideweg 88, 48161 Münster; e-mail: grosch@igzev.de

Einleitung

Bodenbürtige Pflanzenpathogen sind aufgrund der Persistenz ihrer Überdauerungsstrukturen, ihres mitunter breiten Wirtspflanzenkreises und fehlender Resistenzen in den jeweiligen Kulturpflanzen generell schwer zu bekämpfen. Eine effektive Unterdrückung der durch bodenbürtige Erreger bedingten Krankheiten über entsprechende Fruchtfolgemaßnahmen ist meist nicht möglich. Die Bekämpfung dieser Erreger erfolgte in der Vergangenheit durch Einsatz von Methylbromid (MeBr). Aufgrund der ozonschädigenden Wirkung einigten sich die Industriestaaten bereits 1987, im sogenannten Montreal Protokoll, MeBr aus dem Verkehr zu nehmen, was letztlich 2005 erfolgte. Der Ausstieg aus der Anwendung von MeBr unterstützte die Suche nach entsprechenden Alternativen. Die Biofumigation gilt als natürliches und umweltfreundliches Pflanzenschutzverfahren zur Bekämpfung bodenbürtiger Pathogene. Länder, wie Australien, USA und Italien, in denen MeBr eingesetzt wurde, unterstützten intensiv die Entwicklung der Biofumigation (Brown & Mora 1997, Lazzeri & Manici 2000, Kirkegaard & Matthiessen 2004, Lazzeri et al. 2004, Matthiessen & Kirkegaard 2006).

Hemmende Effekte von sekundären Inhaltstoffen des Ackersenfs gegenüber *Colletotrichum circinans*, *Botrytis alii*, *Aspergillus niger*, *A. alliaceus* und *Gibberella saubinetti* wurden bereits in den 1930iger Jahren in Laboruntersuchungen nachgewiesen (Walker et al. 1937). Die antifungale Wirkung der Hydrolyseprodukte der Glucosinolate einer Brassica-Art, den Isothiocyanaten, wird von deren physikochemischen und biologischen Eigenschaften bestimmt (Manici et al. 1997). Insgesamt konnte in einer Vielzahl von Studien gezeigt werden, dass die antifungale Wirkung einiger Isothiocyanate ein gewisses Potential zur

Bekämpfung bodenbürtiger Pilzpathogene bietet (Dawson et al. 1993, Galletti et al. 2006, Manici et al. 2000, Smolinska et al. 2003). Gegenüber den einzelnen Isothiocyanaten zeigen pilzliche Pathogene jedoch eine sehr unterschiedliche Sensitivität. Durch die Einarbeitung von entsprechenden Pflanzenteilen (Biofumigantien) in den Boden konnte bei verschiedenen bodenbürtigen pilzlichen Pathogenen wie *Fusarium* sp. (Sawar et al. 1998), *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Angus et al. 1994), *Rhizoctonia solani* (Manici et al. 1997, Cohen & Mazzola 2006), *Verticillium dahliae* (Subbaroa & Hubbard 1996, Harding & Wicks 2001), *Sclerotinia* spp. (Sanchi et al. 2005), *Aphanomyces* sp. (Muehlchen et al. 1990) oder *Pythium irregulare* (Manici et al. 1997) eine signifikante krankheitsunterdrückende Wirkung beobachtet werden.

Der Erreger *R. solani* war ein typisches Beispiel eines bodenbürtigen Erregers, deren Überdauerungsstrukturen (Sklerotien) erfolgreich durch den Einsatz von MeBr bekämpft wurden. In den letzten Jahren ist eine Zunahme an Krankheiten verursacht durch *R. solani* in der Praxis zu beobachten, insbesondere an der Kartoffel, der Zuckerrübe (Späte Rübenfäule) und Salat (Salatfäule). Der Anbau von Brassica-Arten mit einem hohen Gehalt an Glucosinolaten als Zwischenfrüchte könnte zur Reduzierung oder Beeinträchtigung des bodenbürtigen Inokulums bzw. der Vitalität der Sklerotien von *R. solani* beitragen. Die Zusammensetzung der Glucosinolate einer Brassica-Art bestimmt die Art der gebildeten Isothiocyanate, gegenüber denen bodenbürtige Erreger eine unterschiedliche Sensitivität aufweisen. Die Biofumigationswirkung einer Brassica-Art gegenüber einem bestimmtem Pathogen wie z. B. *R. solani* kann somit durch den Anbau einer geeigneten Zwischenfrucht beeinflusst werden. Ziel des Projektes war daher, die krankheitsunterdrückende Wirkung verschiedener Brassica-Arten im Zwischenfruchtanbau gegenüber dem Erreger *R. solani* zu prüfen.

Vorgehensweise

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens gefördert durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Programm zur Innovationsförderung) wurde die Wirkung eines aussichtsreichen Sortiments an Brassica-Sorten *in vitro* und *in vivo* (Tabelle 1) gegenüber dem Erreger der Salatfäule *R. solani* AG 1-IB untersucht.

Tabelle 1. Untersuchte Brassica-Sorten.

Art		Sorte/Name
Sareptasenf	<i>Brassica juncea</i>	Terraplus
Sareptasenf	<i>Brassica juncea</i>	Energy
Sareptasenf	<i>Brassica juncea</i>	Terratop
Sareptasenf	<i>Brassica juncea</i>	Terrafit
Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>	Defender
Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>	Adagio
Gelbsenf	<i>Sinapis alba</i>	Accent
Gelbsenf	<i>Sinapis alba</i>	Luna

Wirkung der Biofumigation auf *Rhizoctonia solani* Sklerotien und Myzel *in vitro*

In vitro wurde geprüft, ob die Hydrolyseprodukte der Glucosinoloate der untersuchten Brassica-Sorten nach Einarbeitung in den Boden die Aktivität der Sklerotien und des Myzels von *R. solani* AG 1-IB beeinflussen. Dazu wurde Biomasse (2 kg/m²) der jeweiligen Brassica-Sorten in mit Sklerotien oder Myzel von *R. solani* bereits inokulierten Boden eingearbeitet. Die Überprüfung der Sklerotienkeimung und der Vitalität des Myzels wurde nach einer Inkubationszeit von 14 Tagen bei 20°C vorgenommen.

Eine deutliche Reduzierung der Sklerotienkeimung war in den Varianten mit den Sareptasensorten Terraplus und Energy sowie der Gelbsensorte Luna zu beobachten (Tab. 2). Im Vergleich zur Aktivität der Sklerotien wurde die Vitalität des Myzels in allen Varianten deutlicher durch die Biofumigation beeinflusst. In den Varianten mit den Brassica-Sorten ‚Adagio‘ und ‚Accent‘ wurde die Myzelaktivität um mehr als 70% reduziert (Tab. 2).

Krankheitsunterdrückende Wirkung im Gefäßversuch

Die krankheitsunterdrückende Wirkung der Biofumigantien wurde im Gefäßversuch an Salat nach künstlicher Inokulation mit dem Erreger *R. solani* AG 1-IB geprüft. In den mit Myzel des Erregers durchwachsenen Boden wurde ebenfalls eine Frischmasse der Brassica-Arten von 2 kg /m² eingearbeitet und für ca. zwei Wochen bei 25°C inkubiert. Anschließend erfolgte die Pflanzung der Salatjungpflanzen (cv. Tizian) in die entsprechenden Versuchsgefäße (1 Pflanze pro Topf). Nach einer Kulturdauer von vier Wochen bei 22/15°C wurde die Trockenmasse der Pflanzen ermittelt.

Tabelle 2. Einfluss der Brassica-Sorten auf die Sklerotienkeimung (SK) und die Aktivität von *Rhizoctonia solani* Myzel (AM) 14 Tage nach Einarbeitung der Biofumigantien (2 kg Frischmasse /m²) und Inkubation bei 20°C.

Sorte	SK [%]	AM [%]
Kontrolle	66,7	96,7
Terraplus	22,2	40,0
Energy	38,9	40,0
Terratop	72,2	50,0
Terrafit	66,7	66,7
Defender	55,6	60,0
Adagio	55,6	26,7
Accent	66,7	23,3
Luna	11,1	40,0

Durch die Inokulation des Erregers *R. solani* wurde das Wachstum von Salat signifikant reduziert. In allen Varianten mit Biofumigat war eine im Vergleich zur Erregerkontrolle (*R. solani*) höhere Biomasse gegeben. Doch nur in der Variante mit der Brassica-Sorte Energy konnte die durch den Erreger bedingte Reduktion der Biomasse kompensiert werden (Abb. 1).

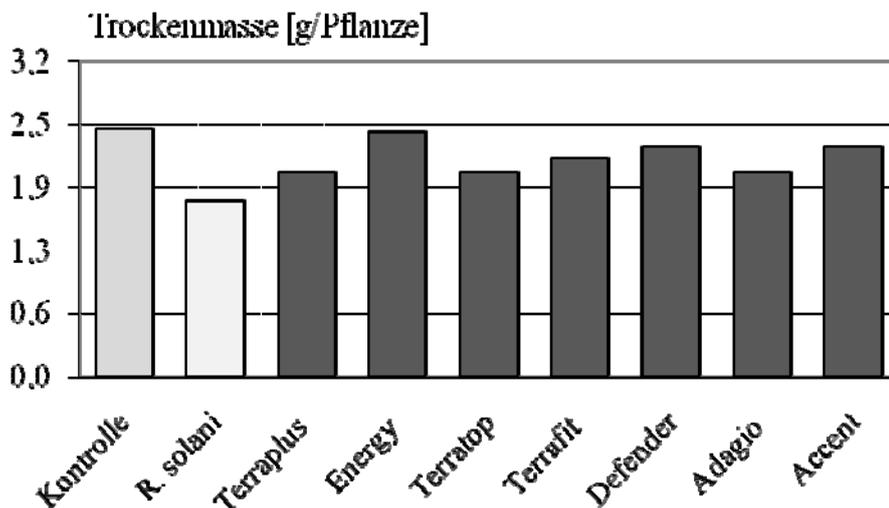


Abb. 1: Krankheitsunterdrückende Wirkung verschiedener Brassica-Sorten gegen *Rhizoctonia solani* an Salat, gemessen an der Biomasse von Salat cv. Tizian nach vierwöchiger Kultivierung bei 22/15°C (Tag/Nacht).

Krankheitsunterdrückende Wirkung unter Feldbedingungen

Zur Einschätzung der Biofumigationswirkung verschiedener Brassica-Sorten gegen *R. solani* (Tab. 1) unter Feldbedingungen wurden zwei Versuche auf den Standorten des IGZ in Großbeeren (lehmgiger Sand, pH 6,6) und Golzow (sandiger Lehm, pH 7,6) durchgeführt. Auf beiden Standorten stand jeweils eine natürlich mit dem Erreger der Salatfäule (*R. solani* AG 1-IB) infizierte Fläche (ca. 100 m x 25 m) zur Verfügung. Die Brassica-Sorten wurden in Parzellen von 30 x 1,8 m ausgesät, wobei die Parzellen der Kontrollvariante unbearbeitet blieben. Jede Variante umfasste drei randomisiert verteilte Wiederholungen bzw. Parzellen auf der jeweiligen Versuchsfläche. Zehn Tage nach der Einarbeitung der Brassica-Sorten mittels Umkehrfräse wurde Salat cv. Tizian im 2-3 Blattstadium auf den entsprechenden Versuchsflächen per Hand gepflanzt. Nach einer Kulturdauer von ca. 6 Wochen wurde der Salat geerntet, die Befallsstärke (BS) der Salatfäule bonitiert sowie die Trockenmasse der Salatköpfe bestimmt. Die Bonitur der Salatfäule erfolgte anhand einer vierstufigen Befallsskala (1 – befallsfrei, 3 – leichte Symptome am unteren Blattkranz, 5 – moderater Befall, Symptome bis zum 2. Blattkranz, 7 – schwerer Befall bis ganze Fäule des Kopfes). Je Wiederholung wurden 96 Pflanzen ausgewertet.

Auf beiden Standorten wurde der Einfluss der Biofumigation auf die Trockenmasse von Salat als auch auf die BS mit dem Salatfäuleerreger untersucht (Abb. 2). In den Varianten mit Sareptasenf cv. Energy und Weißer Senf cv. Adagio war die Trockenmasse von Salat im Vergleich zur Kontrolle ohne Biofumigat auf beiden Versuchsstandorten signifikant erhöht. Auf dem Standort in Großbeeren war auch ein signifikanter Einfluss auf die Trockenmasse von Salat in der Variante mit Ölrettich cv. Defender und in Golzow mit der Sareptasensorte Terrafit gegeben.

Die BS der Salatfäule war auf beiden Standorten und in allen Varianten um 7 bis 25% im Vergleich zur Kontrolle ohne Biofumigation reduziert (Abb. 2).

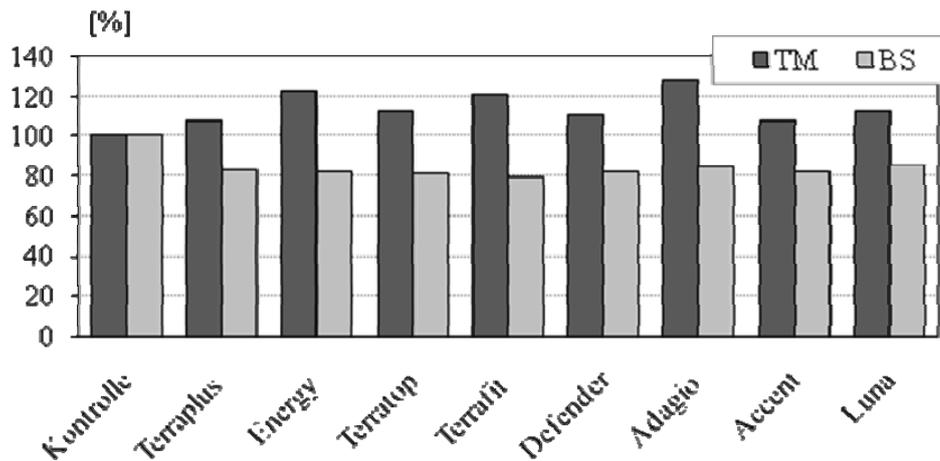


Abb. 2: Wirkung verschiedener Brassica-Sorten auf die Trockenmasse (TM) von Salat cv. Tizian und die Befallsstärke (BS) mit *Rhizoctonia solani* im Vergleich zur Kontrolle (= 100%). Dargestellt ist der Mittelwert von zwei Versuchen auf den Standorten Großbeeren und Golzow.

Schlussfolgerungen

Die *in vitro* Ergebnisse zeigen, dass durch Biofumigation die Aktivität von Pflanzenpathogenen beeinträchtigt werden kann. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der Feldversuche. Während *in vitro* deutlichere Unterschiede zwischen den Brassica-Sorten zu verzeichnen sind, wurde unter Feldbedingungen die Befallsstärke der Salatfäule in allen Varianten vergleichbar reduziert. Neben einer Verminderung der Aktivität von *R. solani* sind auch andere Effekte, wie Erhöhung der Pflanzengesundheit durch verbesserte Nährstoffverfügbarkeit oder eine erhöhte mikrobielle Aktivität und eine damit verbundene gewisse suppressive Wirkung gegen *R. solani* denkbar. Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch, dass Biofumigation als Teil des Managements bodenbürtiger Pathogenen durchaus von Bedeutung sein kann. Langfristig interessiert vor allem die Frage, wie sich die Wirkung eines wiederholten und langjährigen Einsatzes der Biofumigation auf die Krankheitsentwicklung von bodenbürtigen Schaderregern auswirkt.

Literatur

- Angus J., Gardner P., Kirkegaard J., Desmarchelier J. (1994). Biofumigation: isothiocyanates release from *Brassica* roots inhibit growth of take-all fungus. *Plant and Soil* 162: 107-112.
- Brown P.D., Morra M.J. (1997). Control of soilborne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Advances in Agronomy* 61: 167-231.

- Cohen M., Mazzola M. (2006). Resident bacteria, nitric oxide emission and particle size modulate the effect of *Brassica napus* seed meal on disease incited by *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. *Plant and Soil* 286: 75-86.
- Dawson G.W., Doughty K.J., Hick A.J., Pickett J.A., Pye B.J., Smart L.E., Wadhams L.J. (1993). Chemical precursors for studying the effects of glucosinolate catabolites on diseases and pests of oilseed rape (*Brassica napus*) or related plants. *Pesticide Sciences* 39: 271-278.
- Galletti S., Burzi P.L., Sala E., Marinello S., Cerato C. (2006). Combining Brassicaceae green manure with *Trichoderma* seed treatment against damping-off in sugarbeet. *IOBC/wprs Bulletin* 29: 71-75.
- Kirkegaard J.A., Matthiessen J.N. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria* 3: 233-239.
- Lazzeri L., Leoni O., Bernardi R., Malaguti L., Cinti S. (2004). Plants, techniques and products for optimising biofumigation in the full field. *Agroindustria* 3: 81-287.
- Manici L.M., Lazzeri L., Palmieri S. (1997). In vitro antifungal activity of glucosinolates and their enzyme derived products towards plant pathogenic fungi. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 2768-2773.
- Manici L.M., Lazzeri L., Baruzzi G., Leoni O., Galletti S., Palmieri S. (2000). Suppressive activity of some glucosinolate enzyme degradation products on *Pythium irregulare* and *Rhizoctonia solani* in sterile soil. *Pest Management Science* 56: 921-926.
- Matthiessen J.N., Kirkegaard, J.A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease control. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 235-265.
- Muehlchen A.M., Rand R.E., Parke J.L. (1990). Evaluation of crucifer green manures for controlling *Aphanomyces* root rot of peas. *Plant Disease* 74: 651-654.
- Sanchi S., Odorizzi S., Lazzeri L., Marciano P. (2005). Effect of *Brassica carinata* seed meal treatment on the *Trichoderma harzianum* T39-Sclerotinia species interaction. *Acta Horticulturae* 698: 287-292.
- Sarwar M., Kirkegaard J.A., Wong P.T.W., Desmarchelier J.M. (1998). Biofumigation potential of brassicas: III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil* 201: 103-112.
- Smolinska U., Morra M.J., Knudsen G.R., James R.L. (2003). Isothiocyanates produced by Brassicaceae species as inhibitors of *Fusarium oxysporum*. *Plant Disease* 87: 407-412.
- Subbaroa K.V., Hubbard J.C. (1996). Interactive effects of broccoli residue and temperature on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and on wilt in cauliflower. *Phytopathology* 86: 1303-1310.
- Walker J.C., Morell S., Foster H. (1937). Toxicity of mustard oils and related sulphur compounds to certain fungi. *American Journal of Botany* 24: 536-541.

BIOFUMIGATION ALS ELEMENT EINER PHYTOSANITÄREN FRUCHTFOLGE- GESTALTUNG IM INTENSIVEN GEMÜSEBAU

FLORIAN RAU; Ökoring Niedersachsen, Bahnhofstraße 15, 27374 Visselhövede; e-mail:
f.rau@oekoring.de

Einleitung

Biofumigation ist kein Allheilmittel gegen Krankheiten des Gemüsebaus. Als Element einer phytosanitären Fruchtfolgegestaltung ist es jedoch von hohem Wert, wenn dadurch die Ertragssicherheit einer danach angebauten Hauptkultur gesteigert werden kann. Weitere Elemente einer phytosanitären Fruchtfolgegestaltung können z. B. Schwarzbracheperioden, Fang- und Feindpflanzenanbau und auch Mist- oder Kompostgaben sein. Klarmachen muss man sich allerdings, dass nur dann eine positive Wirkung erwartet werden kann, wenn bestimmte Voraussetzungen gegeben sind. Dazu gehört an erster Stelle der Nachweis einer Wirkung auf den zu bekämpfenden Zielorganismus und die pflanzenbaulich korrekte Durchführung der Biofumigation.

Einsatzgebiet

Im Erdbeer-, Zwiebel- und Möhrenanbau kann der Einsatz von Biofumigation sinnvoll sein, wenn Schäden durch Nematoden der Gattung *Pratylenchus* spp. zu erwarten sind. Mit entsprechenden Ertragsverlusten ist ab 200 Tieren pro 100 ml Boden zu rechnen, bei gleichzeitigem Befall mit weiteren pflanzenparasitären Nematoden, wie z. B. *Meloidogyne hapla*, auch schon bei geringeren Werten. Kritisch ist vor allem ein Frühbefall beim Sägemüse, der zum Absterben der Keimlinge führen kann (Abb. 2, 3). Aber auch überlebende Keimlinge leiden weiter unter einem Befall und zeigen eine verminderte Wachstumsleistung und Qualitätsmängel. In jedem Fall sollte bei nachgewiesenem Befall vor dem Anbau empfindlicher Gemüsearten eine Reduzierung von *Pratylenchus* spp. erfolgen, wie z. B. durch Einsatz der Biofumigation im Vorjahr. Die Wirksamkeit dieses Verfahrens wurde in Niedersachsen im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geförderten Forschungsvorhabens eindrücklich nachgewiesen und hat bereits Eingang in die landwirtschaftliche Praxis gefunden.



Abb. 1: Frühbefall von *Pratylenchus* ssp. an auflaufenden Zwiebeln



Abb. 2: Schadbild von *Pratylenchus* ssp. an Möhrenwurzel

Geeignete Kulturen und Sorten

Ölrettich, evt. in Mischung mit Sareptasenf, ist für die Biofumigation aufgrund seiner Schnellwüchsigkeit, Unkrautunterdrückung und intensiven Durchwurzelung des Bodens gut geeignet. Handelsübliche Sorten sind in der Regel ausreichend, wenn sie genügend Grünmasse und damit Glucosinolate bilden. Tritt auf der Fläche zusätzlich *M. hapla* auf, ist die Wirkung der Biofumigation nicht sicher genug, da es aufgrund der langen Standzeit des Ölrettichs von ca. 7-8 Wochen zu einer Vermehrung von *M. hapla* kommt. Soll neben *Pratylenchus* ssp. auch *M. hapla* bekämpft werden, sind in jedem Falle Sorten mit geringer Anfälligkeit für *M. hapla* zu wählen, wie z. B. Ölrettich cv. Contra oder Commodore. Eine Aussaat von handelsüblichen Gesundungsmischungen (z. B. Terraprotect) mit Ölrettich und Senf ist dann nicht möglich.

Zeitpunkt und Dauer der Anwendung

Da die Wirkung der Biofumigation umso besser ist, je mehr Grünmasse eingearbeitet wird und je schneller die Umsetzung im Boden erfolgt, muss die Aussaat und auch Einarbeitung des Ölrettichs noch in der warmen Jahreszeit erfolgen. Dies bedeutet eine Aussaat Mitte Juli bis spätestens Anfang August, d. h. nach einer zeitig räumenden Vorkultur wie Frühgemüse, Körnererbsen oder Frühkartoffeln. Auf stark mit Nematoden belasteten Flächen kann, zumindest im ökologischen Landbau, der völlige Verzicht auf eine Hauptkultur sinnvoll sein, wenn dadurch eine gute „Sanierung“ der Fläche möglich ist. Die Biofumigation könnte zur optimalen Jahreszeit (Juni/Juli) angebaut und durch weitere Maßnahmen, wie Fangpflanzenanbau und/oder Schwarzbracheperioden ergänzt werden.

Aussaatmenge, Nährstoff- und Wasserversorgung

Bei Ölrettichreinsaaten reichen in der Regel 25 kg/ha. Bei Mischungen mit Senf entsprechend weniger. Wichtig ist eine kräftige Grünmasseentwicklung. Dies setzt voraus, dass ausreichend Stickstoff und Schwefel vorhanden ist. Der Schwefel ist für die Bildung der Glucosinolate notwendig und ist z. B. im Patentkali enthalten. Eine entsprechende Düngung von 80 kg N/ha bzw. 50 kg S/ha ist vor allem auf leichteren Böden für einen Erfolg der Biofumigation unerlässlich. Aus den gleichen Gründen hat bei Trockenheit eine Zusatzbewässerung zu erfolgen. Auch zur Einarbeitung der Grünmasse muss noch genügend Feuchtigkeit im Boden vorhanden sein, da sonst keine Zersetzung und Umwandlung der Glucosinolate in Isothiocyanate erfolgen kann.

Zeitpunkt und Art der Einarbeitung

Der optimale Einarbeitungstermin liegt zum Zeitpunkt der Vollblüte, welcher je nach Wüchsigkeit und Jahreszeit nach 7-8 Wochen erreicht wird. Aber auch um 1-2 Wochen frühere bzw. spätere Termine sind möglich. Wichtigster Faktor für die Umsetzung im Boden ist neben der Feuchtigkeit die Temperatur. Deshalb sollte bei späten Aussaaten mit dem Umbruch nicht zu lange in den kalten Oktober hinein gewartet werden. Zur Einarbeitung ist die Kombination von Abschlegeln und sofortigem tiefem Einfräsen am wirkungsvollsten, da die für die Nematodenbekämpfung wirksamen Isothiocyanate über die feuchte Bodenphase wirken (Abb. 3). Aus diesem Grund wird auch ein Beregnen und Walzen des eingearbeiteten Materials empfohlen, um die Bodenoberfläche abzudichten und ein Entweichen der Wirkstoffe zu verhindern.



Abb. 3: Schlegeln und Einarbeiten eines Ölrettichbestandes am 30. August 2009

Nachbau von Folgefrüchten

Die Biofumigation ist bei entsprechenden Bedingungen (Feuchtigkeit & Wärme) nach wenigen Tagen abgeschlossen. Deshalb ist ein Nachbau schon nach einer Woche problemlos möglich. Noch vorhandene Ölrettichwurzeln können allerdings die Aussaat erschweren. Bei Umbruchterminen ab Anfang Oktober kommt vor einer nächstjährigen Möhren- oder

Zwiebelkultur nur noch die Aussaat einer Winterbegrünung mit Grünroggen in Frage. Bei früheren Umbruchterminen auch die Aussaat einer Mischung von Grünroggen mit Winterwicke und evt. Inkarnatklee, welche dann rechtzeitig vor Aussaat der Folgekultur umgebrochen wird.

Zusammenfassung

Mit der Biofumigation können pflanzenparasitäre Nematoden vor Pflanzung einer Erdbeer- bzw. Aussaat einer Möhren- und Zwiebelkultur deutlich reduziert werden. Diese Maßnahme sollte direkt vor dem Anbau der empfindlichen Gemüsekulturen erfolgen. Da dies zumindest bei den Sägemüsen im gleichen Jahr nicht möglich ist, kommt für diese Regulierungsmethode nur der Spätsommer des Vorjahres nach früh räumenden Vorkulturen in Frage. Neben der richtigen Sortenwahl kommt der Wasser-/Nährstoffversorgung und einer effektive Einarbeitungstechnik die größte Bedeutung für den Erfolg der Biofumigation zu. Kosten und Aufwand der Biofumigation sind angesichts der Ertragsausfälle durch pflanzenparasitäre Nematoden wirtschaftlich gerechtfertigt.

IMPROVEMENT AND MONITORING OF SOIL HEALTH

TIM THODEN, LEENDERT MOLENDIJK, JONNY VISSER, GERARD KORTHALS; Applied Plant Research, Wageningen UR, NL-8200 AK Lelystad, Netherlands; e-mail: tim.thoden@wur.nl

Einleitung

Unter dem Begriff der Bodengesundheit wird allgemein die Fähigkeit des Bodens verstanden, „innerhalb gewisser ökologischer und landnutzungstechnischer Grenzen, als vitales System zu funktionieren, ohne dabei die Erfüllung der an ihn gestellten Funktionen (Nutzungsfunktion, Filterfunktion, Erholungsfunktion, etc.) zu vernachlässigen“ (Doran & Zeiss 2000). Eng damit verbunden ist der Begriff suppressiver bzw. wehrbarer Böden. Sie wurden von Baker & Cook (1974) als Böden beschrieben, „in denen es trotz des Vorhandenseins eines Pflanzenpathogens, einer anfälligen Wirtspflanze und Krankheit-fördernder klimatischer Bedingungen nur zu wenigen und in der Regel schwachen Krankheitsausbrüchen kommt“. Häufig wird dieses Phänomen mit biologischen Bodenparametern in Verbindung gebracht, die dafür sorgen, dass ein anwesender Pathogen nicht überhand nimmt. Es stellt sich nun die Frage inwieweit gezielte Eingriffe, wie die Einbringung organischen Materials, zu einer Verbesserung der Bodengesundheit beitragen können.

Vor diesem Hintergrund starteten wir 2006 einen langläufigen Praxisversuch, der darauf abzielt, Methoden zu entwickeln, die der Bodengesundheit zuträglich sind. Ferner sollen innerhalb dieses Projekts Indikatoren entwickelt werden, anhand derer klare Aussagen über den aktuellen Zustand der Bodengesundheit abgeleitet werden können. Dabei richtet sich das Hauptaugenmerk auf die individuenreichste Gruppe der Bodenfauna, die Nematoden (Bongers & Ferris 1999, Wilson & Kakouli-Duarte 2009). Sie eignen sich aus mehreren Gründen als Indikatororganismen. So sind Nematoden leicht aus dem Boden zu extrahieren, auf Familien- oder Gattungsniveau zu determinieren und aufgrund ihres Vorkommens in verschiedenen trophischen Ebenen (bacteriophage, fungiphage, omnivore, carnivore und phytophage Arten) ein guter Spiegel des Bodennahrungsnetzes.

Methoden

Die Versuchsfläche in Vredepeel (Limburg, Niederlande) liegt auf einem sandigen Boden, der einen hohen Besatz mit Wurzelläsions-Nematoden (*Pratylenchus penetrans*) und dem Erreger der Verticillium-Welke (*Verticillium dahliae*) aufweist. Die ca. ein Hektar große Fläche

wurde zu Beginn des Versuchs in 16 Streifen (6 x 60 m) aufgeteilt (Abb. 1). Diese wurden nachfolgend entweder nach biologischen (8 Streifen) oder konventionellen Verfahren (8 Streifen) bewirtschaftet. Der Anbauplan umfasste dabei in beiden Systemen für diese Region typische Kulturen (2006 = Getreide; 2007 = Kartoffel; 2008 = Lilien; 2009 = Getreide; 2010 = Kartoffel). Ferner wurden seit Versuchsbeginn in jedem der Systeme zweimalig (2006/2007 u. 2009/2010) 10 Bodenbehandlungen durchgeführt, um die Bodengesundheit zu verbessern (Abb. 1). Dabei kamen sowohl biologische, chemische als auch physische Methoden zum Einsatz. Diese umfassten z. B. den Anbau einer Klee-Gras-Mischung oder von Studentenblumen (*Tagetes patula*), die Biofumigation mit Brassicaceen oder als Kontrollvariante eine Schwarzbrache. Die Biofumigation wurde mit braunem Senf (*Brassica juncea* cv. Energy; Aussaatmenge 12 kg/ha) durchgeführt. Dabei wurden die Pflanzen nach 3-4monatiger Wachstumsphase fein-gehäckselt, 15 cm tief eingefräßt, die Bodenoberfläche dicht gerollt und abschließend mit 25 mm beregnet. Da der Aufwuchs der Pflanzen im Herbst 2006 schlecht war, wurden bei ihrer Einarbeitung zusätzlich Brokkoli-Abfälle zugefügt. Insgesamt konnten so ca. 40 t/ha an glukosinolathaltigem Material eingearbeitet werden. Die Studentenblume (*Tagetes patula* cv Ground Control; 10 kg/ha) wurde im Hochsommer ausgesät und die Pflanzenreste im folgenden Frühjahr gehäckselt und auf der Versuchsfläche belassen. Die Klee-gras-Mischung (*Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, 25 kg/ha) wurde ebenfalls im Sommer gesät, über Winter stehen gelassen und dann eingearbeitet.

Alljährlich im Frühjahr wurden bzw. werden innerhalb aller Behandlungen dutzende chemische, physische und biologische Bodenparameter ermittelt. Hierbei wird, neben der kompletten Analyse der mikrobiellen Artenzusammensetzung und deren Aktivität, nicht nur die Anzahl pflanzenparasitärer Nematoden (*Pratylenchus*) ermittelt, sondern zusätzlich auch die Artenzusammensetzung der kompletten Nematodenfauna erfasst. Dabei wird zunächst das Fraßverhalten (bakteriophage, fungiphage, omnivore, carnivore, phytophage) von 150 Nematoden einer Bodenprobe (100 ml) unter dem Mikroskop ermittelt und diese Tiere anschließend auf Gattungs- bzw. Artniveau bestimmt (Bongers, 1994). Zudem wird jedes Tier nach der von Bongers (1990) entwickelten cp-Skala (competitor-persister) klassifiziert, und auf diesen Werten basierend ökologische Zeigerwerte – wie der Maturity-Index – berechnet.

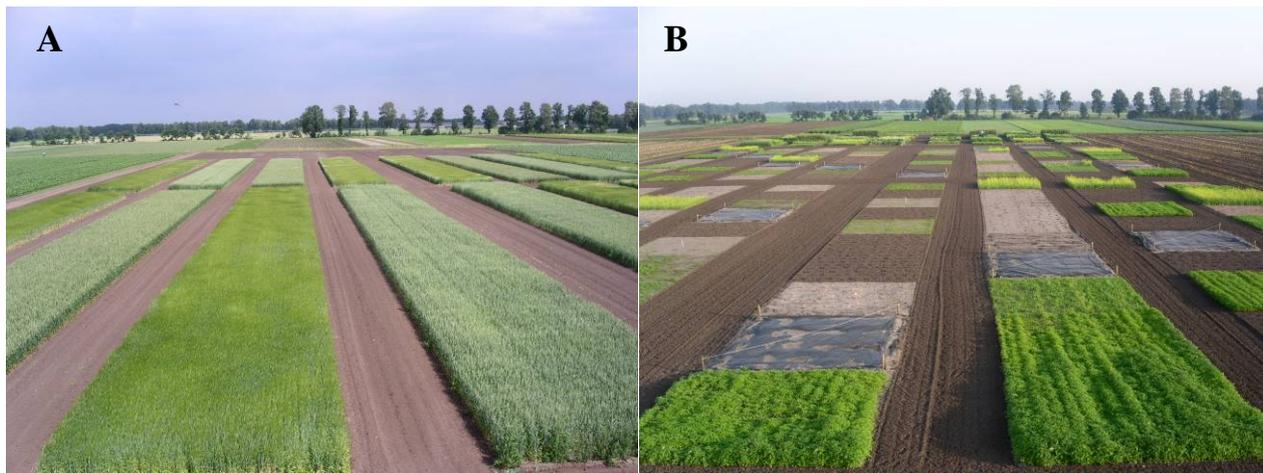


Abbildung 1: (A) Angelegte Versuchsstreifen biologischer und konventioneller Betriebssysteme (4-fach wiederholt); (B) Durchführung von 10 Bodenbehandlungen (per Streifen) (160 Parzellen insgesamt).

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt, dass die Biofumigationsvariante im Vergleich zur Kontrolle (d. h. natürliche Abnahme bei Schwarzbrache) in beiden Systemen zu keiner statistisch signifikanten Abnahme des Hauptschaderregers führte. Eher schien sich die Besatzdichte – *post* Biofumigation – leicht erhöht zu haben. Dies spricht dafür, dass brauner Senf (*B. juncea*), wie z. B. schon von Belair et al. (2002) berichtet, eine Wirtspflanze für *P. penetrans* darstellt (s. auch Artikel Korthals et al. in diesem Band). Gleichfalls scheint die eigentliche Biofumigation (Einarbeitung) keine bedeutsamen nematoxischen Effekt hervorzurufen. Im Gegensatz dazu reduzierte der Anbau von *T. patula* in beiden Systemen *Pratylenchus* (Abb. 2), was ebenfalls schon länger bekannt ist (Evenhuis et al. 2004). Aus nematologischer Sicht als „indiskutabel“ stellte sich der Anbau der Klee-Gras-Mischung dar, der auf diesen sandigen Böden zu einer explosionsartigen Vermehrung von *Pratylenchus* führte (Abb. 2). Diesen Effekt sehen wir auch noch in aktuellen Daten (2009) zurück (Daten nicht präsentiert).

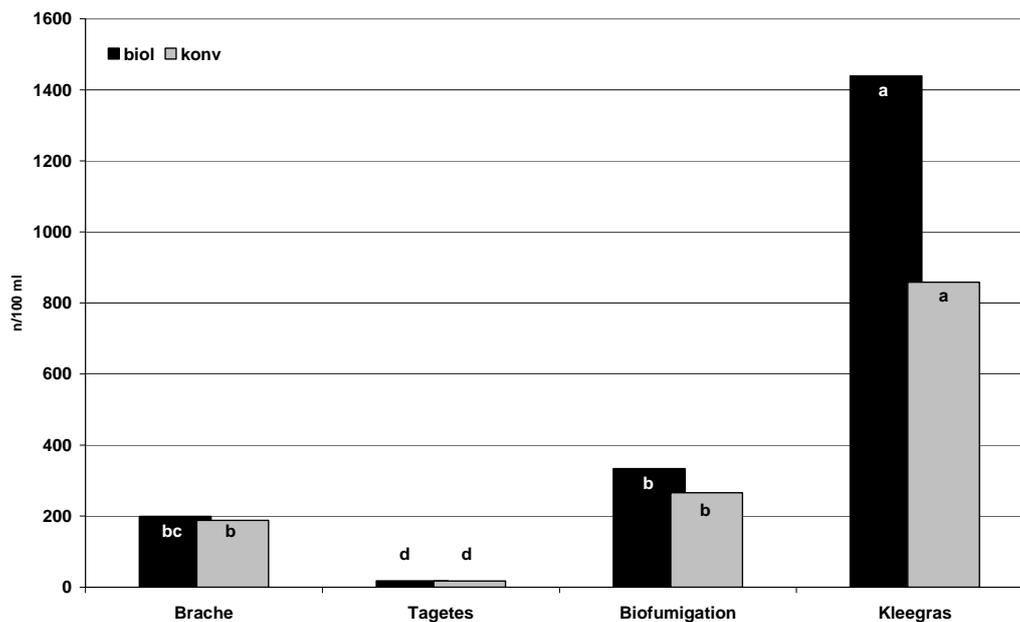


Abbildung 2: Die Besatzdichte mit Wurzelläsions-Nematoden 04/2007 nach einmaliger Durchführung der Bodenbehandlungen (09/2006-03/2007) (Signifikanzniveaus beziehen sich auf das jeweilige Anbausystem).

Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen lagen auch bzgl. ihres Effekts auf die Abundanzen verschiedener Nematoden-Fraß-Typen vor (Abb. 3). Die Anzahlen phyto- und bakteriophager Nematoden lagen dabei bei Biofumigation im oberen Mittelfeld der hier angegebenen Varianten. Dies zeigt, dass *B. juncea* nicht nur für *Pratylenchus* sondern auch für andere phytophage Nematoden Wirtspflanze ist. Ferner stimulierte die Einarbeitung von *B. juncea* und die damit verbundene Zufuhr organischen Materials die Population bakteriophager Nematoden, deren Anzahl in der Biofumigationsvariante um ca. 1/3 über dem Vergleichswert der Schwarzbrache lag (Abb. 3). Diese Gruppe von Nematoden hat u.a. starken Einfluss auf Mineralisierungsprozesse im Boden und etliche Studien haben gezeigt, dass höhere Anzahlen an bakteriophagen Nematoden zu einer Erhöhung pflanzenverfügbarer Nährstoffe führen (z. B. Ingham et al., 1985). Ebenso scheinen sie positive Effekte auf die Wurzelmorphologie zu verursachen (Mao et al. 2006). Neben der fehlenden Wirkung auf phytoparasitäre Nematoden sind auch diese Daten ein Indiz dafür, dass die Biofumigation keine nematiziden Effekte verursachte. Keine statistisch signifikanten Unterschiede zeigte die Biofumigation bzgl. der anderen Fraßtypen.

Im Gegensatz zur Biofumigation zeigte der Anbau von *Tagetes* eine selektive Wirkung gegen phytophage Nematoden. Dabei sollte allerdings angemerkt werden, dass es durchaus Arten phytoparasitärer Nematoden gab, die sich an diesem Gewächs vermehrten (Abb. 3). Schädliche Nebeneffekte auf bacteriophage Arten waren nicht zu erkennen.

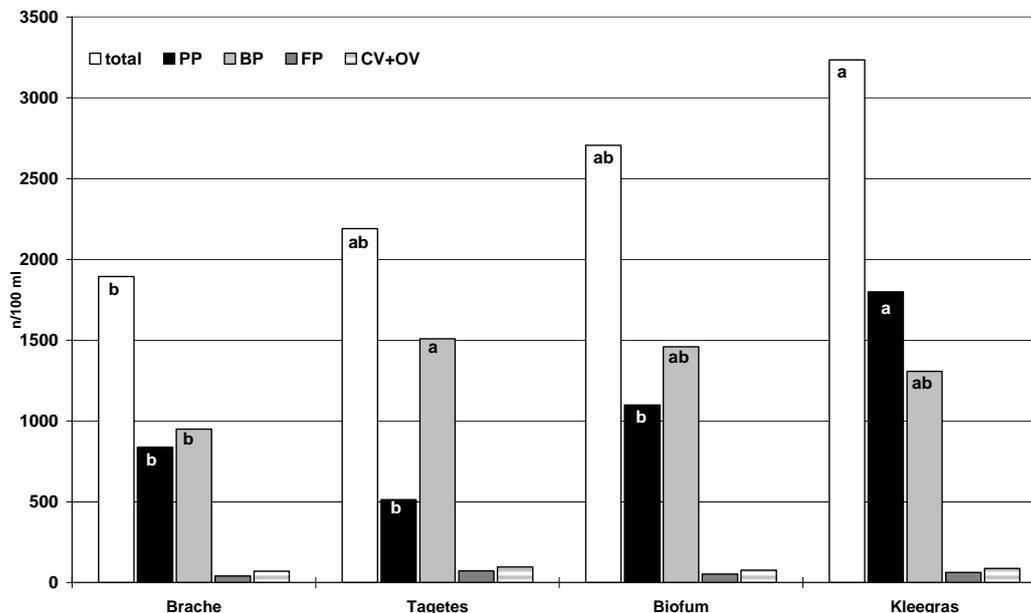


Abbildung 3: Die Abundanz verschiedener Fraßtysen 04/2007 nach einmaliger Durchführung der Boden-behandlungen (Signifikanzniveaus gelten jeweils innerhalb des Fraßtyps) (PP = phytophage; BP = bakteriophage; FP = fungiphage; CV + OV = carnivore + omnivore).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass wir im Rahmen dieser Untersuchung keine nematizide Wirkung der Biofumigation nachweisen konnten. Dies galt sowohl für phytophage als auch bakteriophage Tiere. Trotzdem ist dieses Verfahren positiv zu bewerten, da es über die Einarbeitung organischen Materials zu einer Stimulierung und Förderung des Bodenlebens kommt.

Literatur

- Belair G., Fournier Y., Dauphinais N., Dangi O.P. (2002). Reproduction of *Pratylenchus penetrans* on various rotation crops in Quebec. *Phytoprotection* 83: 111-114.
- Bongers T., Ferris H. (1999). Nematode community structure as bioindicator in environmental monitoring. *Tree* 14: 224-228.
- Bongers T. (1994). *De Nematoden van Nederland*. Publication Foundation Royal Dutch Natural History Society.

- Bongers T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode-species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Doran J.W., Zeiss M.R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11.
- Evenhuis A., Korthals G.W., Molendijk L.P.G. (2004). *Tagetes patula* as an effective catch crop for long-term control of *Pratylenchus penetrans*. *Nematology* 6: 877-881.
- Ingham R.E., Trofymow J.A., Ingham E.R., Coleman D.C. (1985). Interactions of Bacteria, Fungi, and their Nematode Grazers: Effects on Nutrient Cycling and Plant Growth. *Ecological Monographs* 55: 119-140.
- Mao X.F., Hu F., Griffiths B., Li H.X. (2006). Bacterial-feeding nematodes enhance root growths of tomato. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1615-1622.
- Wilson M.J., Kaukali-Duarte T. (2009). *Nematodes as Environmental Indicators*. CABI, Wallingford.

EVALUATION OF BIOFUMIGATION CROPS FOR THE CONTROL OF *PRATYLENCHUS PENETRANS* AND *VERTICILLIUM DAHLIAE*

GERARD KORTHALS, JONNY VISSER, TIM THODEN, LEENDERT MOLENDIJK; Applied Plant Research, Wageningen UR, NL-8200 AK Lelystad, Netherlands; e-mail: gerard.korthals@wur.nl

Einleitung

Auf den sandigen Boden der südöstlichen Niederlande (Limburg) sind zwei Phytopathogene anwesend, die starke Ausfälle in verschiedenen Kulturen verursachen können. Es handelt sich dabei um Wurzelläsions-Nematoden (Pratylenchidae) und den pilzlichen Welke-Erreger *Verticillium dahliae*. Während diese Schaderreger früher zumeist chemisch bekämpft wurden, versucht man heute nachhaltigere Verfahren zu finden, um Schäden einzudämmen. Ein vielbesprochener Ansatz ist die Biofumigation (Ploeg 2008). Dabei werden glukosinolathaltige Pflanzen zunächst angebaut, nachfolgend gehäckselt und in den Boden eingearbeitet. Dies setzt einen „tödlichen“ Kreislauf in Gang; die in der Zellvakuole gespeicherten Glukosinolate werden beim zerkleinern freigesetzt und kommen mit den im Zellplasma befindlichen Myrosinase in Kontakt (Kirkegaard & Sarwar, 1998). Hierdurch bilden sich u.a. Isothiocyanate, die aufgrund ihrer Wechselwirkung mit Proteinen biozide Wirkung haben (Ploeg 2008). Die Effizienz der Biofumigation scheint von den verwendeten Pflanzenarten, dem Klima und Bodenfaktoren abhängig zu sein (Gimsing & Kirkegaard 2009, Gimsing et al. 2009).

Um den Nutzen der Biofumigation unter den edaphischen und klimatischen Bedingungen Limburgs zu testen, wurde im Jahr 2006–2007 in Vredepeel – einer unserer Versuchsstationen – ein entsprechender Praxis-Feldversuch durchgeführt.

Methodik

Dabei wurden 10 glukosinolathaltige Arten getestet. Deren Namen sowie entsprechende Saatmengen sind Tab. 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Zur Biofumigation eingesetzte Pflanzen der Brassicaceae.

Deutscher Name	Lateinischer Name	Sorte/Produktname	Saatmenge kg/ha
Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>	Defender	30
Gelbsenf	<i>Sinapsis alba</i>	Accent	25
Rucola	<i>Eruca sativa</i>	Nemat	9
Futterraps	<i>B. napus</i> + <i>B. campestris</i>	BQ Mulch	10
Raps	<i>Brassica napus</i>	Grizzly	6
Brauner Senf	<i>Brassica juncea</i>	ISCI 20	12
Äthiopischer Senf	<i>Brassica carinata</i>	Bc007	6-8
Krambe	<i>Crambe abyssinica</i>	Galactica	13
Brokkoli	<i>Brassica oleracea</i>	Montop	50.000 Pflanzen/ha
Senf-Samenmehl	<i>Brassica carinata</i>	Biofence	7

Des Weiteren wurden neben einer Schwarzbrache (Kontrolle), die in Tab. 2 aufgeführten Pflanzen bzw. Verfahren als Vergleichmaßstab zur Biofumigation herangezogen.

Tabelle 2: Vergleichs- und Kontrollverfahren zur Biofumigation.

Deutscher Name	Lateinischer Name	Sorte	Saatmenge kg/ha
Studentenblume	<i>Tagetes patula</i>	NemaMix	10
Sudangras	<i>Sorghum sudanense</i>		35
Deutsches Weidelgras (eingearbeitet)	<i>Lolium perenne</i>	BG-3 plus	25
Chemische Entseuchung nach Weidelgras	Monam		
Sandhafer, BSD (biological soil disinfestation)	<i>Avena strigosa</i>	Pratex	120 kg/ha

Alle in Tabelle 1 aufgeführten Gewächse wurden über 7–10 Wochen kultiviert und die Pflanzen zum Zeitpunkt der Blüte umgebrochen. Dazu wurden sie möglichst fein gehäckselt, 15 cm tief eingefräßt, der Boden anschließend verdichtet und letztlich mit 20–25 mm beregnet (Abb. 1).

Der Anbau von Studentenblume und Deutschem Weidelgras sowie die chemische Entseuchung wurden nach den praxisüblichen Methoden durchgeführt. Dabei wurde das Weidelgras nach Anbau wie ein Biofumigationsgewächs behandelt, d. h. gehäckselt und

eingearbeitet. Bei der sogenannten BSD (biological soil disinfestation) wurde zunächst Sandhafer (*Avena strigosa*) angebaut und dieser dann ebenfalls eingearbeitet und beregnet; zusätzlich wurde der Boden in dieser Variante mit luftdichter Folie „versiegelt“. Nach Durchführung der Behandlungen (in 2006) wurden im darauffolgenden Jahr auf der kompletten Versuchsfläche Kartoffeln (cv. Premiere) angebaut. Alle Behandlungen wurden auf 6 x 6 m großen Einzelquadraten 4-malig wiederholt und zufällig über die Versuchsfläche verteilt (Abb. 1).

Um ein genaues Bild über den Ausgangsbesatz an Nematoden und die Effekte des Anbaus, bzw. die Effekte der Einarbeitung (eigentliche Biofumigation) auf die Ziel-Organismen zu erhalten, wurden die Versuchsfläche 3 x beprobt (vor Anbau der Gewächse = 06/2006; vor Einarbeitung der Gewächse = 09/2006 und einige Monate nach deren Einarbeitung = 03/2007).



Abbildung 1: Anbau und nachfolgende Einarbeitung der Versuchsvarianten.

Dabei wurden pro Probequadrat (6 x 6 m) 30 Einstiche genommen und 100 ml einer Mischprobe mit dem Oostenbrink-Elutriator extrahiert. Zusätzlich wurde die organische Restfraktion jeder Probe (Wurzeln, etc) für vier Wochen auf einem Wattefilter inkubiert, um sowohl alle Tiere aus den Wurzeln, als auch die noch nicht geschlüpften Eier zu extrahieren (Verschoor & de Goede 2000).

Ergebnisse und Diskussion

Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die eigentlichen Biofumigationgewächse (hellblaue Balken) – nach Anbau und Einarbeitung – zu keiner Abnahme der Wurzelläsions-Nematoden

beitragen (Frühjahr 2007). Schlechter noch, in allen Behandlungen erhöhte der Einsatz von Kreuziferen die Besatzdichte mit *P. penetrans* gegenüber einer Schwarzbrache.

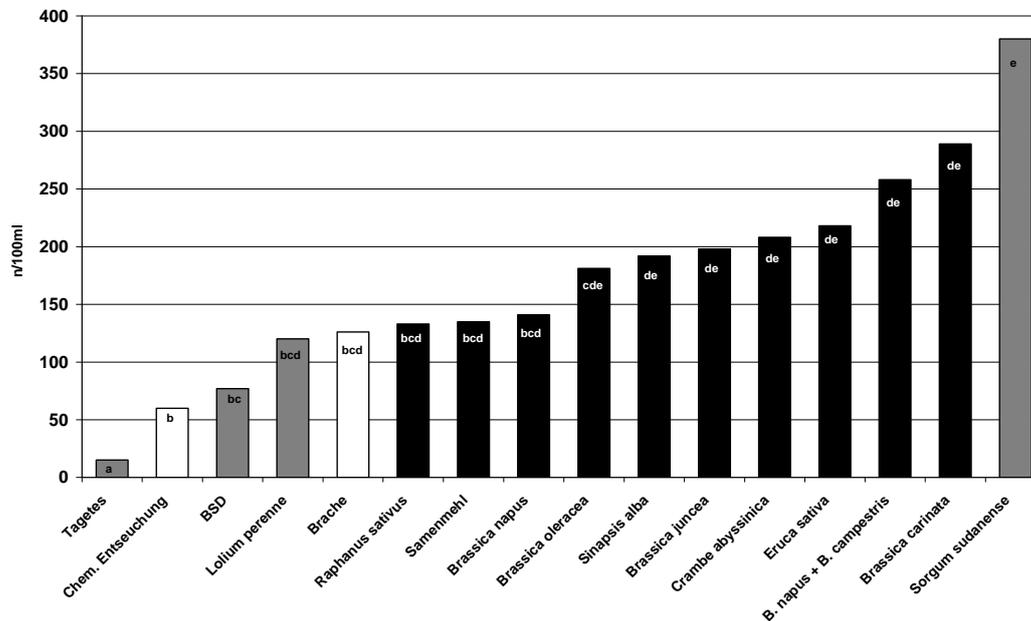


Abbildung 2: Anzahl Pratylenchidae in 100 ml Boden (ca. 90% *Pratylenchus penetrans*) nach Anbau und Einarbeitung der Biofumigationskulturen (03/2007).

Dabei sollten allerdings zwei Effekte unterschieden werden. So ist aus den hier nicht wiedergegebenen Probenahmewerten des Herbst 2006 (nach Anbau aber vor Einarbeitung der Pflanzen) klar ersichtlich, dass alle getesteten Kreuziferenarten gute, bis sehr gute Wirtspflanzen für *Pratylenchus* darstellten. Dies deckt sich sowohl mit Angaben in der Literatur (Belair et al. 2002) als auch mit unseren eigenen Erfahrungen (www.aaltjesschema.nl). Demgegenüber führte die eigentliche Biofumigation, d.h. die Einarbeitung des glukosinolathaltigen Pflanzenmaterials im Herbst, zu einer leichten Reduzierung der hohen Herbst-Besatzdichten. Allerdings zeigt Abb. 2, dass andere Verfahren, deutlich besser geeignet sind, um Pratylenchus in den Griff zu bekommen. Dies galt insbesondere für den Anbau der Studentenblume, aber auch für die chemische Entseuchung und die sogenannte biologische Bodenentseuchung (BSD). Diese positiven Effekte sind z.T. schon länger in der Literatur beschrieben (Evenhuis et al. 2004).

Aus praktischer Sicht stellt sich nun natürlich die Frage, ob die Biofumigation trotz der fehlenden Nematiziden Wirkung nachfolgend zumindest höhere Ernteerträge in der Kartoffelkultur brachte. Abbildung 3 zeigt, dass dies für einige Arten zutraf. So lagen die Erträge nach

Biofumigation mit Örettich (*R. sativus*), Senf-Samenmehl (*B. carinata*) oder Futterraps (*B. napus* + *B. campestris*) signifikant über den Vergleichswerten nach Schwarzbrache oder dem Anbau von Weidelgras. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Biofumigation und der damit verbundene Eintrag organischer Substanz positive Effekte auf das Bodenleben bzw. die chemischen und physischen Bodenparameter haben. Allerdings konnte dies den negativen Einfluss der beiden Hauptschaderreger nicht komplett kompensieren. So zeigte sich, dass der Anbau der Studentenblume und die damit einhergehende, fast völlige Unterdrückung von *Pratylenchus*, letztlich doch die höchsten Erträge generierte (Abb. 2).

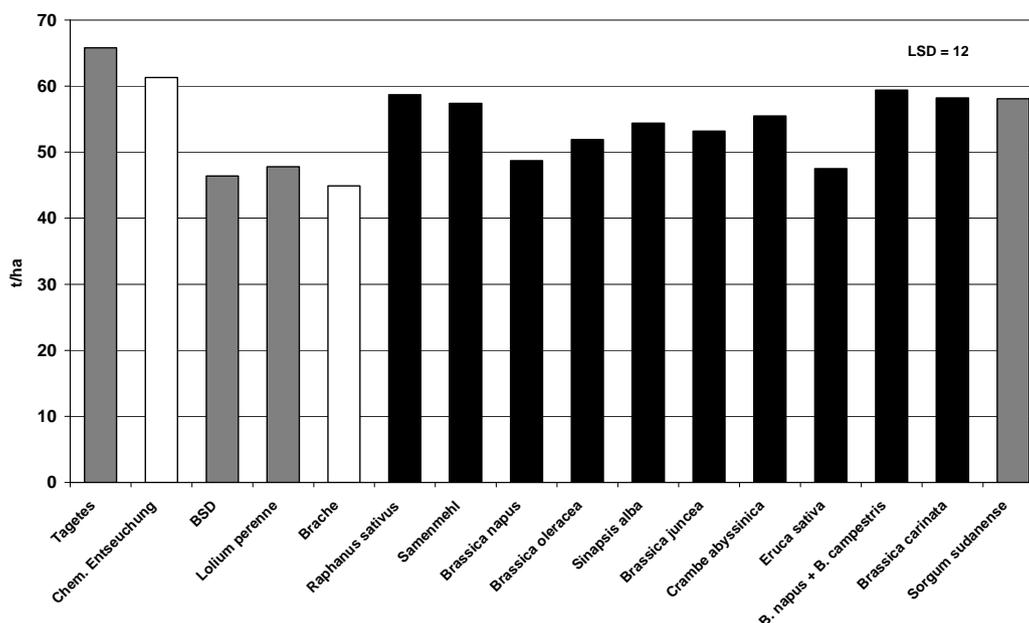


Abbildung 3: Ernteerträge (t/ha) im Jahr 2007, nach Biofumigation 2006 (LSD =least significant difference).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass unsere Ergebnisse keine ausgeprägten Nematiziden Effekte der Biofumigation anzeigen. Es sollte allerdings zwischen der Wirtseignung entsprechender Gewächse und deren eigentlicher Biofumigations-Wirkung unterschieden werden. Anscheinend reichen die im Bodenwasser auftreten Isothiocyanatkonzentrationen nicht aus, um eine nematizide starke Wirkung zu entfalten. Dies kann vielfältige Ursachen haben und lässt sich möglicherweise durch weitere methodische Fortentwicklungen (besseres Zerkleinern, Verdichten) in den Griff kriegen. Ferner sollte versucht werden, resistente Biofumigationsgewächse zu züchten, die nicht zu einer derart starken Vermehrung von *P. penetrans* führen. Trotz der angesprochenen „Mängel“ bewerten wir die Biofumigation abschließend als positiv, da sie die Bodenqualität zu verbessern scheint und so letztlich höhere Erträge ermöglicht.

Literatur

- Belair G., Fournier Y., Dauphinais N., Dangi O.P. (2002). Reproduction of *Pratylenchus penetrans* on various rotation crops in Quebec. *Phytoprotection* 83: 111-114.
- Evenhuis A., Korthals G.W., Molendijk L.P.G. (2004). *Tagetes patula* as an effective catch crop for long-term control of *Pratylenchus penetrans*. *Nematology* 6: 877-881.
- Gimsing A.L., Kirkegaard J.A. (2009). Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews* 8: 299-310.
- Gimsing A.L., Strobel B.W., Hansen H.C.B. (2009). Degradation and sorption of 2-propenyl and benzylisothiocyanate. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28: 1178-1184.
- Kirkegaard J.A., Sarwar M. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil* 2001: 71-89.
- Ploeg A.T. (2008). Biofumigation to manage plant-parasitic nematodes. In: Ciancio A, Mukerji KG (eds.) *Integrated Management of Vegetable and Grain Crops*. Springer, 239-248.
- Verschoor B.C., De Goede R.G.M. (2000). The nematode extraction efficiency of the Oostenbrink elutriator-cottonwool filter method with special reference to nematode body size and life strategy. *Nematology* 2: 325-342.

BIOFUMIGATION ZUR BEKÄMPFUNG DER *VERTICILLIUM*-WELKE DER ERDBEERE

VINCENT MICHEL, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Forschungszentrum Conthey, CH-1964 Conthey, Schweiz; e-mail: vincent.michel@acw.admin.ch

Einleitung

Die *Verticillium*-Welke der Erdbeere wird durch die beiden bodenbürtigen pilzlichen Krankheitserreger *Verticillium dahliae* und *V. albo-atrum* verursacht. Diese Pilze überleben im Boden oder Pflanzenresten in Form spezieller Dauerformen (Mikrosklerotien, melanisiertes Myzel) über mehrere Jahre. Diese Dauerformen keimen aus sobald sich Wurzeln der Erdbeere oder anderer Wirtspflanzen (Tab. 1; Pegg & Brady, 2002) in ihrer Nähe befinden, und dringen durch das Wurzelgewebe in die Leitgefäße der Pflanzen ein. Diese werden von den Pilzen besiedelt, welche sich über Sporen in der restlichen Pflanze verbreiten. Dadurch werden mit der Zeit die Leitgefäße verstopft, was vor allem in Momenten von hohem Wasserbedarf (Sommer) und intensivem Stoffwechsel (Fruchtbildung) zu Problemen führt. Bei starkem Befallsdruck kann die *Verticillium*-Welke gar zum Absterben der Wirtspflanze führen, speziell wenn es sich dabei um Sorten mit einem geringen Resistenzlevel handelt (so z. B. Erdbeere, Sorte Elsanta).

Tabelle 1: Für *Verticillium*-Welke anfällige Arten (Liste ist nicht vollständig, es gibt über 200 Wirtspflanzenarten), hoch anfällige Arten sind unterstrichen. Kreuzblütler (*kursiv*) werden von *Verticillium longisporum*, einer mit *V. dahliae* nahe verwandten Art, befallen.

Beeren	Gemüse	Ackerfrüchte	Futterpflanzen	Blumen	Bäume
<u>Erdbeeren</u>	<u>Tomate</u>	<u>Kartoffel</u> ,	<u>Luzerne</u>	<u>Dalien</u>	<u>Ahorn</u>
Himbeere	<u>Peperoni</u>	<u>Tabak</u>	Kleearten	Astern	Kirsche
Brombeere	<u>Aubergine</u>	<u>Sonnenblume</u>		Nelke	Zwetschge
	Gurke	<i>Raps</i>		Chrysanthemen	Aprikose
	Rhabarbar			Geranien	Eiche
	Salat			Stiefmütterchen	Kastanien
	<i>Kohl-</i>			Begonien	Haselnuss
	<i>Arten</i>				
	<i>Sellerie</i>				
	<i>Radis</i>				

Die Biofumigation ist eine biologische Methode zur Verringerung von Krankheitserregern und Schädlingen im Boden. Sie stützt sich auf die Verwendung von Pflanzen mit einem hohen Gehalt an Glukosinolaten (GSL), hauptsächlich Kreuzblütler. Während dem Abbau der Pflanzen werden die Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate (ITC) umgewandelt. Diese Substanzen sind flüchtig und für gewisse Bodenorganismen giftig. Je nach Pflanzenart und Sorte ist die Zusammensetzung der Glukosinolate, welche eine Gruppe von mehreren Molekülen umfasst, verschieden. Diese Zusammensetzung bestimmt, welche Isothio- und Thiocyanate beim Abbau der Pflanzen entstehen (Kirkegaard et al., 2004).

Die verschiedenen Glukosinolat-Moleküle sind ausschlaggebend für die erzeugte Wirkung des freigesetzten Gases, da die Giftigkeit der unterschiedlichen Isothio- und Thiocyanate verschieden ist. Nebst der potentiellen Giftigkeit des Gases spielt die Empfindlichkeit des Zielorganismus (pilzlicher oder bakterieller Krankheitserreger, Insekt, Nematode, Unkrautsamen) eine entscheidende Rolle für die Wirksamkeit der Biofumigation. Um eine optimale Wirkung zu erreichen, müssen dementsprechend Pflanzen mit möglichst hohen Gehalten an bestimmten Glukosinolaten (so z. B. Sinigrin, enthalten in Braunem Senf) für die Biofumigation verwendet werden.

Die Eignung der Biofumigation zur Bekämpfung der *Verticillium*-Welke wurde in einer Reihe von Topfversuchen am Forschungszentrum Agroscope ACW Conthey untersucht. Es wurde der Einfluss verschiedener Kreuzblütlerarten/-sorten und des Bodentyps untersucht. Die Wirksamkeit wurde dabei anhand der Verringerung der Anzahl Mikrosklerotien, der Dauerform von *V. dahliae*, gemessen.

Material und Methoden

Im Frühling 2006 wurden zwei Sorten von Braunem Senf (= Sareptasenf, *Brassica juncea*) und eine Rapssorte (*Brassica napus*) in mit Torfsubstrat gefüllten Töpfe ausgesät. Bei den beiden Senfsorten handelte es sich um die speziell für die Biofumigation gezüchtete Sorten ISCI-20 (hoher Glukosinolatgehalt) und ISCI-99 (sehr hoher Glukosinolatgehalt) (Patalano, 2004, www.blufomula.com). Bei der Rapssorte Talent handelt es sich um eine glukosinolatarme 00-Sorte. Die oberirdischen Pflanzenteile wurden im Stadium Beginn Blüte abgeschnitten, fein zerhackt und sofort mit einem mit *V. dahliae* natürlich verseuchten lehmigen Boden gemischt. Dabei wurden 0,65 L Boden mit 70 g Pflanzenmaterial vermischt

und danach in 1-L Plastiktöpfe gefüllt. Die Töpfe wurden danach ausgiebig bewässert und während einer Woche in einem dunklen Raum bei 20-22°C inkubiert. Danach wurde der Boden über sechs Woche luftgetrocknet bevor die Anzahl lebender Mikrosklerotien pro g trockenem Boden bestimmt wurde. Jedes Verfahren wurde viermal wiederholt und der Versuch wurde einmal im Frühling und einmal im Herbst 2006 durchgeführt. Zur Bestimmung der Anzahl lebender Mikrosklerotien, wurden 100 mg trockener Boden auf dem selektiven Nährboden NP-10 (Kabir *et al.*, 2004) ausgebracht. Nach zwei Wochen Inkubation bei 24°C wurde die Anzahl Mikrosklerotien unter der Binokularlupe ausgezählt.

In zwei weiteren Topfversuchen wurde der Einfluss des Bodentyps, sandig (Sand/Schluff/Ton: 81/14/5%) bzw. lehmig (Sand/Schluff/Ton: 48/44/8%), auf die Wirksamkeit der Biofumigation mit den Braunen Senfsorten ISCI-99 (sehr hoher Glukosinolatgehalt) und Arid (sehr tiefer Glukosinolatgehalt) untersucht. Zudem wurde auch die Wirkung einer Nicht-Kreuzblütlerart, nämlich Roggen (*Secale cereale*) sowie von Biofumigationsspellets geprüft. Diese Pellets, welche unter dem Namen Biofence vermarktet werden (www.plantsolutionsltd.com/biofence.htm), sind aus den Körnern einer Senfart hergestellt. Der Versuch wurde ebenfalls einmal wiederholt und die Versuchsdurchführung war analog zur ersten Versuchsreihe, mit Ausnahme der Einarbeitungsmenge von Roggen (50 g pro Topf) und Biofence Pellets (1,6 g pro Topf).

Ergebnisse und Diskussion

Die Verwendung von Braunem Senf, speziell von der sehr gehaltsreichen Sorte ISCI-99, bewirkte eine starke Abnahme der Anzahl Mikrosklerotien in einem lehmigen Boden (Abb. 1). Der glukosinolatarme Raps bewirkte ebenfalls eine Abnahme, wenn auch von geringerem Ausmaß. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass nicht nur die Bildung der toxischen Isothio- und Thiocyanate eine Rolle bei der Verringerung der Mikrosklerotien spielte. Andere Faktoren, wie das Einbringen großer Mengen leicht zersetzbarer organischer Substanz in den Boden, könnten sich ebenfalls auf das Überleben der *V. dahliae* Mikrosklerotien ausgewirkt haben.

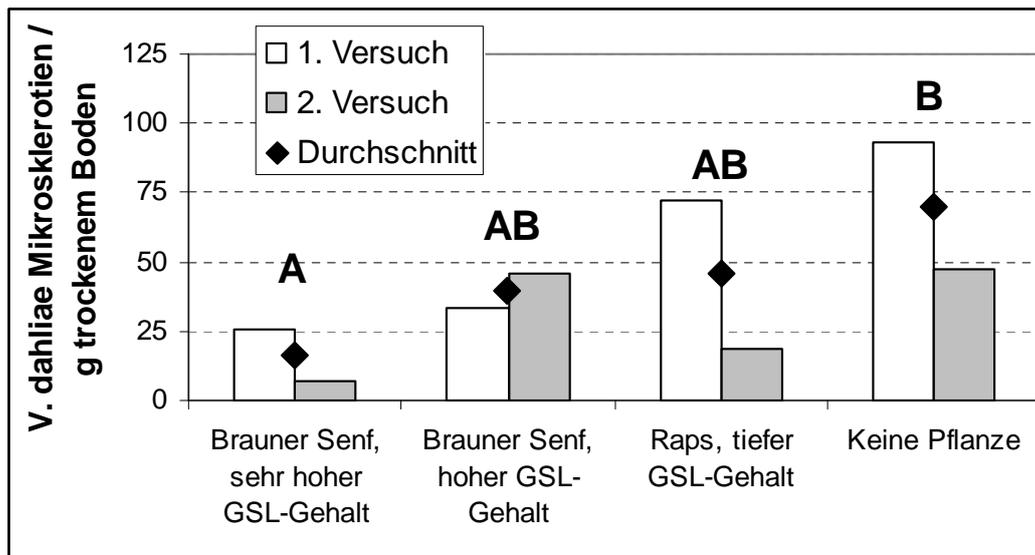


Abb. 1: Wirkung von braunem Senf und Raps auf das Überleben von *Verticillium dahliae* in einem lehmigen Boden eine Woche nach dem Einarbeiten der Pflanzen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede (Tukey-Test, 5%).

Die Wirkung der durch den Braunen Senf erreichte Biofumigation war bodenspezifisch (Abb. 2). Im lehmigen Boden wurde wiederum die beste Wirkung durch die Braune Senfsorte ISCI-99 (sehr hoher Glukosinolatgehalt) erreicht, die Pflanze mit der geringsten Wirkung war der glukosinolatfreie Roggen. Genau umgekehrt verhielt sich die Wirkungsweise der drei Gründünger im sandigen Boden, wo der Roggen die stärkste Abnahme lebender Mikrosklerotien bewirkte. Eine geringere Wirkung des Braunen Senfs in einem sandigen im Vergleich zu einem lehmigen Boden könnte möglicherweise in der größeren Durchlässigkeit des Sandbodens liegen. In solch einer Bodenart verflüchtigen sich die gasförmigen Isothio- und Thiocyanate möglicherweise zu schnell um eine für das Abtöten der Mikrosklerotien notwendige Konzentration zu erreichen. Aus dem Einsatz von Metam-Sodium, einem chemischen Bodenentseuchungsmittel, welches Methyl-Isothiocyanat freisetzt, ist bekannt, dass *V. dahliae* relativ resistent gegen diese Art von giftigen Molekülen ist (Klose et al., 2008). Die gute Wirkung von Roggen, einer glukosinolatfreien Pflanze, kann möglicherweise auf die Freisetzung anderer, für Bodenorganismen giftige Substanzen zurückzuführen sein (Stapleton et al., 2009). Eine vom Boden abhängige, unterschiedliche Wirkung von verschiedenen Gründüngern gegen *Verticillium longisporum* wurde erst kürzlich in Belgien festgestellt (Debode et al., 2005). Je nach Boden waren entweder die Kreuzblütler (Broccoli, Blumenkohl oder Brauner Senf) oder die Grasarten (Weidelgras oder Mais) wirksamer in der Reduktion von *V. longisporum*.

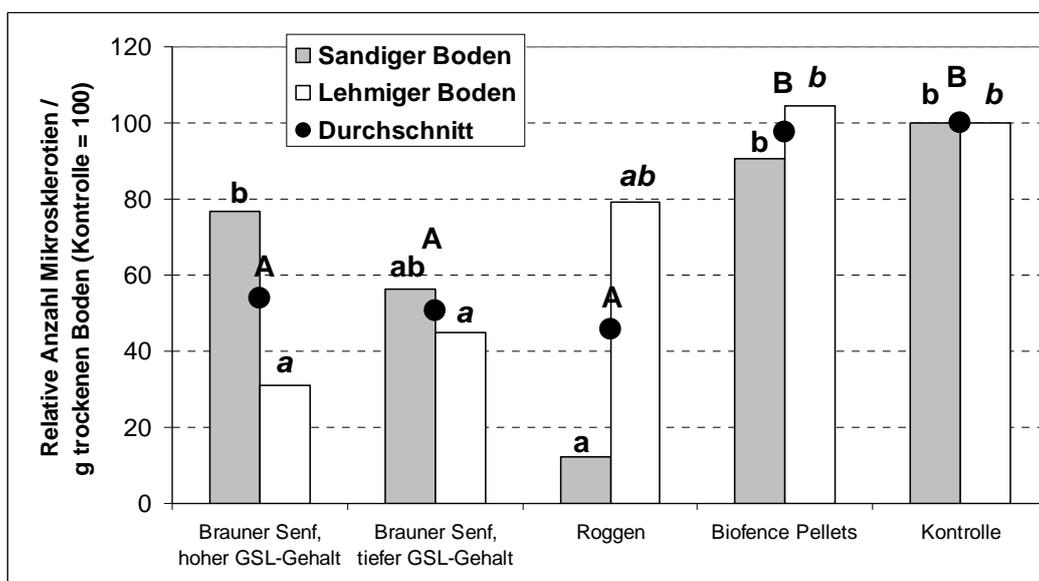


Abb. 2: Wirkung von Braunem Senf, mit hohem und tiefen Glukosinolat (GSL)-Gehalt, Roggen und Biofumigation Pellets (Biofence) auf das Überleben von *Verticillium dahliae* in einem sandigen und einem lehmigen Boden eine Woche nach dem Einarbeiten der Pflanzen/Pellets. Der Versuch wurde zweimal durchgeführt. Verfahren mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant unterschiedlich: kleine Buchstaben betreffen den sandigen Boden, kleine *kursive* Buchstaben den lehmigen Boden, große Buchstaben den Durchschnitt beider Böden (Tukey-Test, 5%).

Im Gegensatz zu den Pflanzen wiesen die Biofence Pellets in beiden Böden keine Wirkung gegen *V. dahliae* Mikrosklerotien auf. Diese Pellets enthalten sowohl Glukosinolate wie auch Myrosinase, das Enzym, welches die Umwandlung der Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate bewirkt. Die Menge an organischer Substanz, welche durch die Zugabe von Biofence Pellets in den Boden eingetragen wird (2500 kg/ha), ist relativ klein. Somit wirkten die Pellets wahrscheinlich ausschließlich über das Freisetzen von Isothio- und Thiocyanaten, was sich bei den relativ resistenten *V. dahliae* Mikrosklerotien als ungenügend erwies.

Schlussfolgerung

Der Einsatz der Biofumigation zur Bekämpfung von *Verticillium dahliae* ist nur eingeschränkt sinnvoll. Zwei Faktoren beschränken den Einsatz dieser im Prinzip sehr vielversprechenden Methode: die im Schnitt zu geringe Wirksamkeit und die vom Bodentyp abhängige Wirkung. Um die Wirkung zu verbessern müssen verschiedenste Faktoren der Biofumigation optimiert werden (Tab. 2). Die Wirksamkeit der Biofumigation ist

wahrscheinlich besser gegen bodenbürtige Krankheitserreger, die gegen äußere Einflüsse weniger resistent sind als *V. dahliae*. Der Anbau und das Einarbeiten eines Senfgründüngers weist aber auch andere Vorteile auf, wie z. B. eine Verbesserung der Bodenstruktur, eine Verringerung der Nitratauswaschung und die Unterdrückung gewisser Unkräuter.

Am Agroscope ACW Forschungszentrum Conthey sind verschiedene Versuche mit der Biofumigation zur Bekämpfung bodenbürtiger Krankheiten im Gange. So z. B. Feld- und Gewächshausversuche zur Bekämpfung der *Verticillium*-Welke der Erdbeere, des Himbeerwurzelsterbens (verursacht durch *Phytophthora fragariae* var. *rubi*), der schwarzen Wurzelfäule der Johannisbeere (verursacht durch *Thielaviopsis basicola*) und der Korkwurzelkrankheit der Tomate (verursacht durch *Pyrenochaeta lycopersici*).

Tabelle 2: Faktoren, welche die Wirksamkeit der Biofumigation beeinflussen und durch weitere Forschungs- und Züchtungsarbeiten optimiert werden können (Liste nicht vollständig).

Faktor	Optimierung (Forschung = F, Züchtung = Z)
Glukosinolatmenge/ha	Biomasse (Z, F), GSL-Gehalt (Z, F), GSL-Zusammensetzung (Z), Anbauperiode (Z),
Freisetzung der ITC	Myrosinasegehalt (Z), Aufarbeitung vor Einarbeiten (F), Einarbeitungsgeschwindigkeit (F), Einarbeitungsmenge (F)
Wirksamkeit im Boden	Einarbeitungstiefe (F), Einarbeitungsart (ev. Einschlämmen) (F), Abdecken mit Plastik (F), Wirksamkeitsverlust (F), Empfindlichkeit der Zielorganismen (F)
Andere Faktoren	Empfindlichkeit von Nicht-Zielorganismen (Regenwürmern) (F), Verbreitung von bodenbürtigen Krankheiten (Kohlhernie) (Z, F)

Literatur

- Debode J., Clewes E., De Backer G., Höfte M. (2005). Lignin is involved in the reduction of *Verticillium dahliae* var. *longisporum* inoculum in soil by crop residue incorporation. *Soil Biology Biochemistry* 37: 301-309.
- Kabir Z., Bhat R. G., Subbarao K. V. (2004). Comparison of media for recovery of *Verticillium dahliae* from soil. *Plant Disease* 88: 49-55.
- Kirkegaard J., Matthiessen J. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria* 3: 233-239.

- Klose, S., Ajwa, H. A., Browne, G. T., Subbarao, K. V., Martin, F. N., Fennimore, S. A., Westerdahl, B. B. (2008). Dose response of weed seeds, plant-parasitic nematodes, and pathogens to twelve rates of metam sodium in a California soil. *Plant Disease* 92: 1537-1546.
- Patalano G. (2004). New practical perspectives for vegetable biocidal molecules in Italian agriculture: Bluformula brand for commercialisation of biocidal green manure and meal formulations. *Agroindustria* 3: 409-412.
- Pegg G. F., Brady B. L. (2002). *Verticillium* wilts. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Stapleton J. J., Summers. C. G., Mitchell J. P., Prather T. S. (2009). Deleterious activity of cultivated grasses (Poaceae) and residues on soilborne fungal, nematode and weed pests. *Phytoparasitica*, DOI 10.1007/s12600-009-0070-3d. (Springerlink.com).

BIOFUMIGATION MIT PELLETS GEGEN *MELOIDOGYNE ARENARIA*

REINHARD EDER, IRMA ROTH; Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW,
Nematologie, Schloss, CH-8820 Wädenswil, Schweiz; e-mail: reinhard.eder@acw.admin.ch

Biofumigation mit Pellets

Biofumigation ist ein biologisches Verfahren um Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter im Boden zu reduzieren. Kreuzblütler-Pflanzen mit hohem Glukosinolatgehalt werden für etwa zwei Monate als Zwischenfrucht im Feld angebaut. Diese werden zur Vollblüte gemulcht und schnell in den Boden eingearbeitet. Bei der Zersetzung der Glukosinolate im Boden entstehen gasförmige und unter anderem auch für Nematoden giftige Stoffe. Neben der klassischen Einarbeitung von frischem Pflanzenmaterial stehen heute Pellets (BioFence, Fa. Triumph Italia) aus getrockneten Kreuzblütlern zur Verfügung. Ein Vorteil dieser Pellets ist, dass die Zeit zur Kultivierung der Zwischenfrüchte entfällt, womit auch im Gewächshaus eine Biofumigation möglich ist. Ausserdem findet ohne den Anbau von Zwischenfrüchten als potentielle Wirtspflanzen auch keine Nematodenvermehrung statt. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Eignung von BioFence Pellets zur Bekämpfung des Wurzelgallenematoden *Meloidogyne arenaria* in Topfversuchen zu ermitteln.



Abb. 1: Töpfe nach der Tomatenpflanzung im Gewächshaus.

Material und Methoden

In den Jahren 2008 und 2009 wurden insgesamt drei Topfversuche durchgeführt. Bei zwei Versuchen wurde jeweils die empfohlene Aufwandmenge von 2,5 t/ha BioFence Pellets bzw. Agro Biosol (organischer N-Langzeitdünger auf Chitinbasis = Pilzzellwände, Fa. Andermatt Biocontrol AG) eingearbeitet und mit *Meloidogyne arenaria* inokuliert (Versuch 1: 2600 Eier und Larven/Topf; Versuch 2: 2400 Larven/Topf). Bei Versuch 3 (2500 Eier und Larven/Topf) wurde die Aufwandmenge Pellets gesteigert (0,5, 1,5, 2,5, 3,5 und 4,5 t/ha). Nach der Applikation der Pellets und der Inokulation von *M. arenaria* wurden die Töpfe bewässert und mit Folie abgedeckt um die Wirkung der Biofumigation zu verbessern. Nach sieben bis zwölf Tagen wurden Tomaten gepflanzt und im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen aufgestellt (Abb. 1). Nach 10 bis 12 Wochen bei 25°C wurde das Spross- und Wurzelgewicht, der Wurzelgallenindex und die Vermehrungsrate P_f/P_i ermittelt.



Abb. 2: Pellets vor der Einarbeitung und Wurzel mit Gallen bei der Auswertung.

Ergebnisse und Diskussion

Bei allen Versuchen war das Spross- und Wurzelgewicht der Tomaten mit Pellets oder Biosol höher als in der ungedüngten Kontrolle. Es lag meist auf dem signifikant höheren Niveau der gedüngten Kontrolle.

Versuch 1: 2,5 t/ha, Eier und Larven

Die Pellets konnten den Gallenindex gegenüber der Kontrolle signifikant um 28 bis 44% reduzieren. Bei Biosol zeigte sich bei gleicher Aufwandmenge eine signifikante Reduktion des Gallenindex von 30%.

Beide Produkte reduzierten die Vermehrung von *M. arenaria*. Die Pellets senkten die Vermehrungsrate signifikant um 64% (48 - 75%). Mit Biosol wurde die Vermehrung um 41% (32 - 50%) reduziert (Abb. 3).

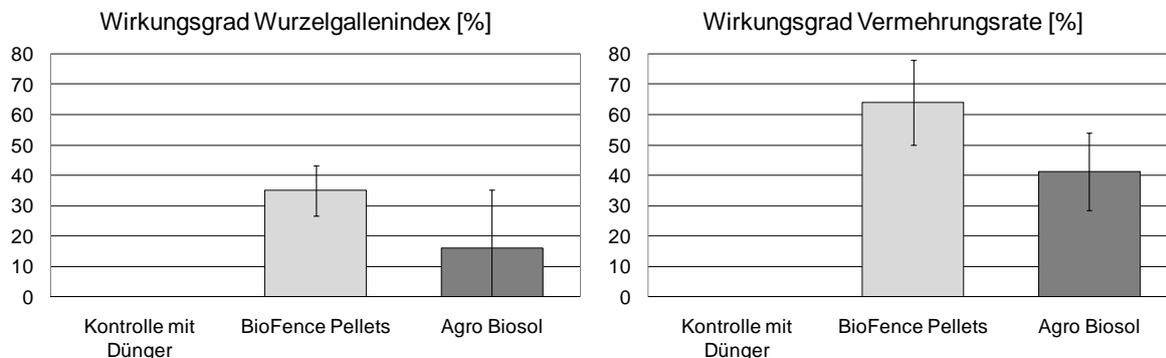


Abb. 3: Wirkungsgrad von Gallenindex und Vermehrungsrate bei Inokulation mit Eiern und Larven von *Meloidogyne arenaria*.

Versuch 2: 2,5 t/ha, nur Larven

Wurde nur mit Larven inokuliert, erhöhte sich die Wirkung der Pellets. Der Gallenindex wurde um 50% und die Vermehrung um 98% signifikant reduziert. Die Vermehrungsrate lag bei 0,8, das heißt, es fand keine Vermehrung der Nematoden statt. Biosol zeigte keine Wirkung auf den Gallenindex. Die Vermehrungsrate lag zwar um 39% geringer als in der Kontrolle, doch war dieser Unterschied statistisch nicht absicherbar (Abb. 4).

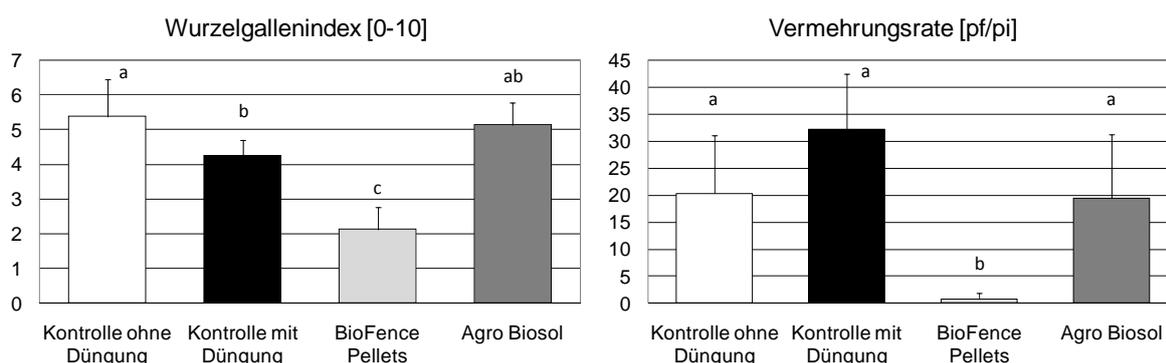


Abb. 4: Wurzelgallenindex und Vermehrungsrate bei Inokulation mit Larven von *Meloidogyne arenaria*.

Versuch 3: steigende Dosis Pellets, Eier und Larven

Bei steigender Dosierung der Pellets zeigte sich bis 2,5 t/ha eine ansteigende Wirkung. Höhere Gaben (3,5 oder 4,5 t/ha) brachten keine nennenswert höhere Wirkung (Tab. 1).

Tab. 1: Wirkungsgrad [%] von Gallenindex und Vermehrungsrate bei steigender Dosierung.

Varianten	Gallenindex	Vermehrungsrate
Pellets 0,5 t/ha	22.2	48.5
Pellets 1,5 t/ha	25.0	59.0
Pellets 2,5 t/ha	44.4	74.6
Pellets 3,5 t/ha	38.9	77.5
Pellets 4,5 t/ha	27.8	66.9

Zusammenfassung

BioFence Pellets zeigen Potential zur Bekämpfung von *Meloidogyne arenaria* im Gewächshaus. Es gibt geringeren Schaden an Wurzeln und eine reduzierte Vermehrungsrate der Nematoden. Und es gibt die deutliche Düngerwirkung. Weitere Versuche im Gewächshaus zur Abklärung der Praxiseignung sind angelegt.

Literatur

Eder, R., Roth, I., Zinsstag, C., Koch, W. (2009). Biofumigation auch gegen pflanzenparasitische Nematoden? In: Majer, J., Alföldi, T., Leiber, F., Dubois, D., Fried P., Heckendorn, F., Hillmann, E., Klocke, P., Lüscher, A., Riedel, S., Stolze, M. Strasser, R., van der Heijden, M., Willer, H. (Hrsg.). Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, ETH Zürich, 11.-13. Februar 2009, Band 1, 302-303.

BIOFUMIGATION AUF BODENMÜDEN BAUMSCHULFLÄCHEN – EIN ZWISCHENBERICHT

HEIKE NITT¹, BETTINA GOLECKI²; ¹Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Abt. Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Landtechnik, Gartenbauzentrum, Thiensen 22, 25373 Ellerhoop; ²Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Abt. Pflanzenbau, Pflanzenschutz, Landtechnik, Westring 383, 24118 Kiel; e-mail: hnitt@lksh.de

Bei einem zweijährigen Biofumigationsversuch, der auf einer vormals mit Rosen bestandenen Versuchsfläche angelegt worden ist, wird die Methode der Biofumigation mit der Ölrettichsorte ‚Defender‘ und der Sareptasensorte ‚Terraplus‘ mit den Varianten *Tagetes erecta*, Schwarz- und Grünbrache verglichen. Der Befall mit Wurzelnekrotomyzeten ist ein wichtiger Indikator der unspezifischen Bodenmüdigkeit, woraufhin die Varianten untersucht worden sind. Ein Vergleich mit der chemischen Bodenentseuchung und die Bewertung der Wuchsleistung der Folgekultur werden im laufenden zweiten Versuchsjahr ermittelt.

Einleitung

In den Baumschulen sind Wuchsdepressionen beim Nachbau von Gehölzen aus der Familie der Rosaceae, die insbesondere auf leichteren Böden in Form von Kümmerwuchs und Wurzelschäden auftreten, seit langem bekannt. Die Wuchsdepressionen werden häufig beim Nachbau von Rosen und von Obstgehölzen beobachtet und als Bodenmüdigkeit bezeichnet. Bei dem Begriff der Bodenmüdigkeit ist zu unterscheiden zwischen chemischen oder physikalischen Ursachen, dem Befall mit wandernden Wurzelnekrotomyzeten und dem Vorhandensein der spezifischen Bodenmüdigkeit, deren Ursache bei rosenmüden Böden noch nicht bekannt ist. Merkmale der spezifischen Bodenmüdigkeit sind deren Spezifität, Persistenz, Reversibilität und Immobilität. Gemäß dieser Kennzeichen sind die langjährig andauernden Wuchsdepressionen nur beim Nachbau dergleichen Pflanzenart oder nahe verwandter Arten zu erwarten. Werden die aufgrund der spezifischen Bodenmüdigkeit kümmerwüchsigen Pflanzen in jungfräulichen Boden verpflanzt, erholen sie sich von den Wuchsdepressionen (Spethmann und Wilstermann 2003).

Das Schleswig-Holsteinische Baumschulgebiet ist von der Bodenmüdigkeit besonders betroffen, da Rosenkulturen schwerpunktmäßig angebaut werden. Auf 136 ha werden 40% der bundesdeutschen Rosen produziert. Zweidrittel aller in Deutschland erzeugten

Rosenunterlagen stammen aus Schleswig-Holstein, wo sie auf etwa 164 ha angebaut werden (Rixen, 2009). Zur Bekämpfung der Nachbauprobleme wurden in der Vergangenheit chemische Bodenentseuchungsmittel eingesetzt, die allerdings aufgrund der Zulassungssituation seit 2004 nur noch sehr restriktiv eingesetzt werden können. Gegen die durch wandernde Wurzelnematoden verursachten Nachbauprobleme hat sich als integriertes Verfahren der Zwischenfruchtanbau mit *Tagetes erecta* bewährt, wodurch die als besonders schädigend bekannten Wurzelläsionsnematoden (*Pratylenchus* spp.) stark reduziert werden (Lösing, 1995).

In der Versuchsanstellung wird der Frage nachgegangen, ob die Biofumigation mit Kreuzblütlern gegenüber dem Zwischenfruchtanbau mit *Tagetes erecta* vorteilhaft ist, wie sie im Vergleich mit der chemischen Bodenentseuchung auf Baumschulböden zu bewerten ist und ob mit der Biofumigation positive Effekte gegenüber der Überwindung der spezifischen Bodenmüdigkeit erzielt werden können.

Material und Methoden

Der Biofumigationsversuch wurde auf dem Versuchsfeld der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein auf einer ehemaligen Rosenversuchsanlage durchgeführt. Die Rosen standen dort seit dem Jahr 2000 und wurden im Winter 2008/2009 gerodet. Bei dem Boden handelt es sich um einen humosen schwach lehmigen Sand. Die Anlage des Versuchs erfolgte im Frühjahr 2009. Zum Vergleich der Biofumigation der Kreuzblütler mit dem Zwischenfruchtanbau von *Tagetes erecta* und der chemischen Bodenentseuchung wird als Kenngröße die Reduktionsleistung bezüglich der Nematodendichte in Boden- und Wurzelproben ermittelt. Die Nematodenuntersuchungen der Bodenproben erfolgen im Diagnoselabor des amtlichen Pflanzenschutzes der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein nach dem Zentrifugierverfahren mit $MgSO_4$ (Müller 1980). Der Vorbefall mit Nematoden wurde durch eine Mischprobe am 4.03.2009 festgestellt. In einer Bodenprobe von 250 ml wurden am häufigsten *Rotylenchus* spp. (Anzahl 830), gefolgt von *Tylenchorhynchus* spp. (Anzahl 550) und *Meloidogyne* spp. (Anzahl 390) festgestellt. Die Anzahl an *Pratylenchus* spp. betrug 210, die von *Paratylenchus* spp. 115.

Es wurden fünf Versuchsvarianten mit vier zufällig verteilten Wiederholungen angelegt: 1. Ölrettich cv. ‚Defender‘, 2. *Tagetes erecta*, 3. Grünbrache, 4. Sareptasenf cv. ‚Terraplus‘ und 5. Schwarzbrache. Eine Versuchsparzelle umfasste 24 m², die Versuchsfläche war insgesamt

500 m² groß. Eine parzellenweise Entnahme von Bodenproben zur Bestimmung des Ausgangsbefalls mit Nematoden wurde am 14.05.2009 genommen. Hierzu wurden pro Parzelle 25 Einstiche genommen, eine Mischprobe hergestellt und ein Volumen von 250 ml zur Untersuchung entnommen. Der Rest wurde verworfen. Die Aussaat erfolgte am 15.05.2009 im Breitsaatverfahren. Gedüngt wurde aufgrund der Empfehlungen der Standardbodenanalyse, wobei der Kalkbedarf erhöht war, da der pH Wert lediglich 4,3 betrug. Es wurde darauf geachtet, dass eine ausreichende Schwefelversorgung vorhanden ist. Aus den Schwarzbracheparzellen wurden knapp 50 Liter Boden entnommen, damit dieser auf Kennzeichen der spezifischen Bodenmüdigkeit in einem noch von Wrede und Winckelmann (2010) zu standardisierenden Testverfahren nach Wunderlich und Wolf (1993) im Gartenbauzentrum Ellerhoop untersucht werden konnte. Bei diesem Biotestverfahren werden in einem Gefäßversuch die Wuchseigenschaften von Rosenunterlagen in dem zu testenden Boden, mit zwei bei unterschiedlichen Temperaturen gedämpften Bodenvarianten verglichen. Bei der 50°C Variante werden Nematoden abgetötet, die noch unbekanntes Verursacher der spezifischen Bodenmüdigkeit jedoch nicht. Diese werden erst durch eine Dämpfung bei 100°C beseitigt. Aufgrund der Unterschiede in der Wachstumsleistung zwischen den Varianten erfolgt eine Beurteilung der Art und des Grades der Bodenmüdigkeit.

An Pflanzenschutzmaßnahmen wurde in der Tagetesvariante eine Herbizidmaßnahme mit Goltix Compact (2,3 kg/ha) durchgeführt und in allen Varianten ausgenommen der Schwarzbrache ein Gräserherbizid eingesetzt, da ein starker Auflauf von Hühnerhirse vorlag. Die Fläche konnte leider nicht beregnet werden. Im Juni und Anfang Juli 2009 sind kaum Niederschläge gefallen. Der Sareptasenf litt augenscheinlich unter der anhaltenden Trockenheit. Kurz vor der Biofumigation am 13.07.2009 sind 17 mm Niederschlag gefallen, der Wassergehalt des Bodens betrug 15% (Bodentrocknung bei 120°C). Abbildung 1 zeigt die fünf Versuchsvarianten kurz vor der Biofumigation des Sareptasenfes und des Örettichs. Die Bodentemperatur wurde mit einem Datenlogger gemessen, der mittels eines KG Rohres in 20 cm Tiefe in den Boden eingegraben wurde. Die Bodentemperatur während der Biofumigation schwankte zwischen 18°C und 22°C.



Abb. 1: Der Aufwuchs in den Parzellen kurz vor der Einarbeitung der Kreuzblütler am 13.07.2009. Von rechts nach links: Ölrettich cv. ‚Defender‘, *Tagetes erecta*, Grünbrache, Sareptasenf cv. ‚Terraplus‘, Schwarzbrache.

Der Sareptasenf und der Ölrettich wurden am 13.07.2009 mit einem Mulchgerät kleingehäckselt, anschließend eingefräst und fest gewalzt. Ein Wassersiegel nach dem Anwalzen wurde nicht aufgebracht. Vier Wochen nach der Biofumigation wurde die zweite Nematodenbodenprobe wie oben beschrieben entnommen. Außerdem wurden aus zwei Ölrettich- und zwei Sareptasenfparzellen Wurzelstückchen und Wurzelproben der Leitunkräuter *Chenopodium album* und *Polygonum lapathifolium* nach der Trichter-Sprühmethode nach Oostenbrink untersucht.

In den Parzellen, in denen der Ölrettich aufgewachsen war, erfolgte eine Aussaat mit Sandhafer cv. ‚Pratex‘. Die Schwarzbrache wurde mit Basamid Granulat behandelt. Die Bodenbehandlung im Frühjahr 2010 erfolgte im April, die *Tagetes erecta* und der Sandhafer wurden eingearbeitet, bei der Basamidvariante wurde die Folienabdeckung eine Woche vor der Bearbeitung entfernt. Die Aussaat der Nachfolgekultur erfolgte am 28. April mit der Sorte *Rosa corymbifera* ‚Laxa‘, die im Vergleich zu anderen Rosenunterlagen auch bei einem vergleichsweise geringen Befall mit *Pratylenchus* spp. mit Wuchsdepressionen reagiert

(Lösing, 1995). Es ist geplant, auch in 2010 Boden- und Wurzelproben wie in 2009 zu entnehmen und auf pflanzenparasitäre Nematoden zu untersuchen.

Erste Ergebnisse

Der Vergleich der Nematodenproben vom 14.05.2009 und 10.08.2009 zeigt einen Rückgang der Anzahl an *Rotylenchus* spp. in allen Versuchsgliedern, wobei die Sareptasenfvariante mit einer Reduktion um fast die Hälfte den stärksten Rückgang verzeichnete. Die Anzahl von *Tylenchorchynus* spp. nahm in allen Versuchsvarianten zu. In der *Tagetes erecta* Variante wurden in drei Parzellen zum Teil starke Zunahmen der Larven des Wurzelgallennematoden *Meloidogyne* spp. festgestellt, beim Sareptasenf kam es ebenfalls zu einem deutlichen Anstieg der Larvenanzahl, während bei der Ölrettichvariante die Anzahl gesunken ist.

In der *Tagetes erecta* Variante wurde *Pratylenchus* spp. im Mittel um 80% reduziert, bei dem Ölrettich betrug die Reduktion lediglich 28%, beim Gelbsenf stieg die Anzahl an *Pratylenchus* spp. sogar an. Abbildung 2 zeigt die Anzahl der *Pratylenchus* spp. in den 20 Parzellen zu den beiden Probenahmeterminen. Bei den Wurzelproben wurden in den Wurzeln *Pratylenchus* spp. und *Meloidogyne* spp. festgestellt. In den Ölrettichwurzelproben wurden im Mittelwert 11,5 und bei den Sareptasenf wurzelstücken 4,5 Nematoden gezählt. Bei den Leitunkräutern ergibt sich bei *Chenopodium album* ein Mittelwert von 102 und bei *Polygonum lapathifolium* ein Mittelwert von 138 Nematoden. Bei dem von Wrede durchgeführten Gefäßtest zur Feststellung der spezifischen Bodenmüdigkeit nach Wunderlich und Wolf (1993), der zur Zeit zusammen mit Winckelmann weiterentwickelt und standardisiert wird, haben sich keine Wuchsunterschiede der Testpflanzen zwischen der mit 50°C gedämpften Bodenvariante und der mit 100°C gedämpften Testvariante ergeben. Somit liegt bei der Versuchsfläche keine spezifische Bodenmüdigkeit vor.

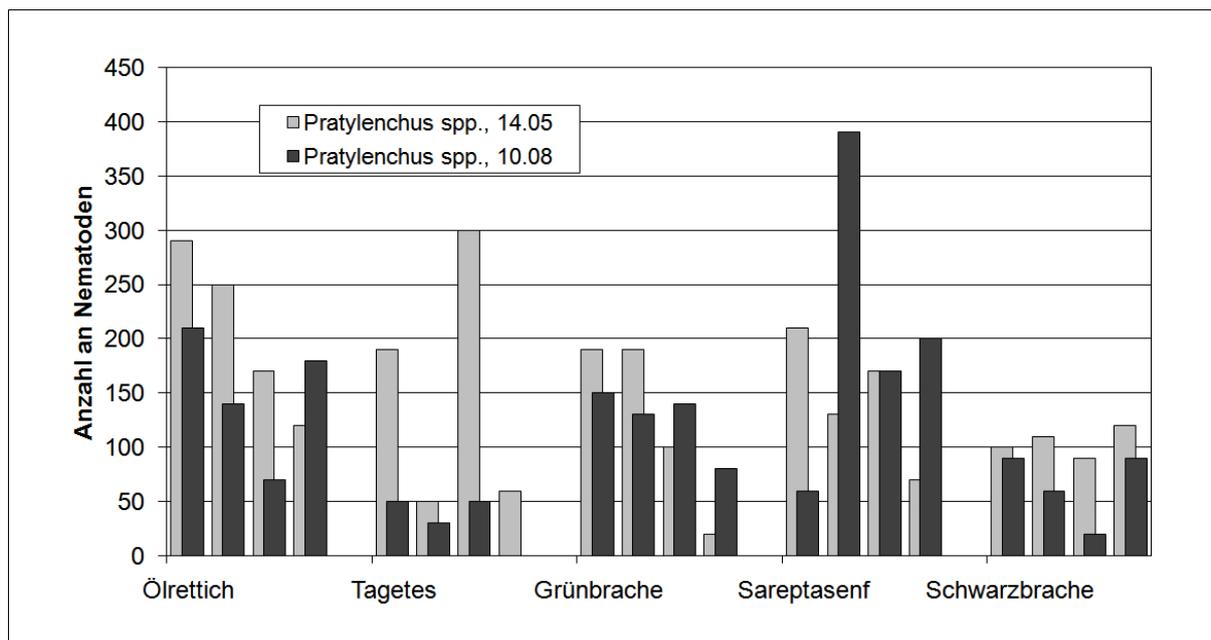


Abb. 2: Entwicklung von *Pratylenchus* spp. in den 20 Versuchspartellen zu den beiden Probenahmeterminen in 2009.

Diskussion

In der Arbeit von Lösing (1995) wird aufgeführt, dass *Tagetes* spp. als Nichtwirtspflanze von *Tylenchorhynchus* spp. bezeichnet werden kann. Die in allen Varianten zu verzeichnende Zunahme von *Tylenchorhynchus* spp. ist eventuell auf den niedrigen pH-Wert auf der Versuchsfläche zurückzuführen. Nach Brzeski (1970) kommt *Tylenchorhynchus* spp. häufiger in sauren als in alkalischen Böden vor.

Die Abnahme von *Rotylenchus* spp. entsprach den Erwartungen. Die Zunahme von *Meloidogyne* spp. in der Tagetesvariante und bei der Sareptasenfvariante wird man in den folgenden Untersuchungen weiter beobachten müssen. In der Literatur wird eine Wirkung von *Tagetes* spp. gegenüber *Meloidogyne hapla* beschrieben (Lösing 1995). Die von Lösing (1995) in umfangreichen Versuchen im Pinneberger Baumschulgebiet festgestellte Wirksamkeit von *Tagetes erecta* gegen Nematoden der Gattung *Pratylenchus* wurde in dem durchgeführten Versuch bestätigt. Aufgrund der fehlenden Bewässerungsmöglichkeit konnte sich insbesondere der Sareptasenf nicht optimal entwickeln. Dieses wäre eine mögliche Erklärung für den Anstieg der *Pratylenchus* spp. in den Sareptasenfpartellen. Die in der Anfangsentwicklung langsame *Tagetes erecta* litt hingegen nicht so stark an der Trockenheit.

Die Wirksamkeit des Ölrettichs und des Sareptasens hätte nach der Biofumigation durch das Aufbringen eines Wassersiegels möglicherweise erhöht werden können. Infolge fehlender Bewässerungsmöglichkeiten war dies jedoch nicht möglich. Die vorgestellten Ergebnisse sind Zwischenergebnisse eines zweijährigen Versuchs. Die Untersuchungsproben auf Nematoden im laufenden Jahr sowie die Bonitur der Wuchsleistung der Nachfolgekultur *Rosa corymbifera* ‚Laxa‘ müssen in die Bewertung des Versuches einfließen. Ein Wiederholungsversuch wird in diesem Jahr in einem Baumschulbetrieb angelegt, so dass hiermit weitere Daten zum Vergleich und zur Interpretation der vorliegenden Zwischenergebnisse herangezogen werden können.

Literatur

- Brzeski M.W. (1970). Plant parasitic nematodes associated with carrot in Poland. Roczn. Nauk. Roln. Ser. E. 1: 93-102.
- Lösing H. (1995). Bedeutung und integrierte Bekämpfung wandernder Nematoden (*Pratylenchus* spp.) als eine Ursache von Nachbauschäden bei Rosen in der Baumschulproduktion. Dissertation, Humboldt-Universität, Berlin.
- Rixen D. (2009). Frühling im Pflanzencenter Sibirien. Bauernblatt 63./159: 44-45.
- Spethmann W., Wilstermann M. (2003). Wuchsdepressionen von Gehölzarten im Baumschulbereich, unveröffentlichter Abschlussbericht, <http://orgprints.org/15659/>
- Strassburger T.H. (1992). Alternative Verfahren zur Beseitigung von Nachbauproblemen in Baumschulen. Dissertation, Universität Kiel.
- Wrede A., Winkelmann T. (2009). persönliche Mitteilungen, November 2009.
- Wunderlich B., Wolf A. (1993). Biotest zum Nachweis von Bodenmüdigkeit bei Rosen. Gartenbau-Magazin 2: 57-59.

BODENENTSEUCHUNGS-VERSUCHE BEI ERDBEEREN VON 2002 BIS 2009

ARNO FRIED; Landratsamt Karlsruhe, Landwirtschaftsamt, Am Viehmarkt 1, 76646 Bruchsal;
e-mail: arno.fried@landratsamt-karlsruhe.de

Einleitung

Im intensiven Erdbeeranbau gibt es immer wieder erhebliche Pflanzenausfälle und damit Ertragsverluste durch verschiedene bodenbürtige Schaderreger. Es spielen vor allem pilzliche Pathogene eine sehr große Rolle (Abb. 1). Während es für die Bekämpfung der *Phytophthora*-Erreger (Rhizomfäule *P. cactorum*, Rote Wurzelfäule *P. fragariae* pv. *fragariae*) ein zugelassenes Pflanzenschutzmittel gibt, kann die Verticillium-Welke nicht und die freilebenden Wurzelnematoden nur z. T. wirksam bekämpft werden. Dies bereitet zunehmend Probleme auf Erdbeer vermehrungsflächen, weil bereits sehr geringe Besatzdichten mit Verticillium-Mikrosklerotien im Boden zu großen Pflanzenverlusten führen können. Zusätzlich besteht das Risiko der Befallsverschleppung von Vermehrungs- auf Ertragsflächen. Ein Flächenwechsel ist je nach Anbauregion nur begrenzt möglich, weshalb einer Bodenentseuchung eine große Bedeutung zukommt.



Abb. 1: Pflanzenausfälle durch Verticillium-Welke im Ertragsbestand.

Um verschiedene chemische Präparate und biologische Verfahren zu prüfen, wurden mehrjährige Versuche auf Betriebs- und Versuchsflächen durchgeführt. Im Vordergrund der Untersuchungen stand dabei die *Verticillium*-Welke. Teilweise erfolgten auch Nematoden-Untersuchungen (Dr. Knuth, LTZ Augustenberg), auf die hier aber nicht näher eingegangen wird.

Methodik

Die Versuche wurden stets auf stark mit *Verticillium* spp. belasteten Flächen angelegt. Auf den Versuchsstandorten wurden die Varianten jeweils mit 4-facher Wiederholung randomisiert verteilt. Vor Versuchsbeginn und während der Versuchsdauer wurden von jeder Parzelle Bodenproben mit mindestens 75 Einstichen entnommen (ca. 30 cm tief). Die Einzelparzellen hatten auf den Versuchsflächen eine Fläche von 10 qm (2 x 5 m) und bei den Betriebsflächen mind. 50 qm (5 x 10 m) (Abb. 2-4).



Abb. 2: Verschiedene Ölertrichsorten in Wiederholung A.



Abb. 3: Gemulchte Versuchspartellen vor der Einarbeitung.



Abb. 4: Mit Silofolie abgedeckte sowie nicht abgedeckte Versuchspartellen. Alle Partellen wurden zusätzlich mit einem Vogelschutznetz geschützt.

Die Mikrosklerotien wurden aus den Bodenproben mit einem Nasssiebverfahren extrahiert. Mit einer nachfolgenden Kultur auf Nährböden wurde die Anzahl Mikrosklerotien je g Boden bestimmt (Dr. Neubauer, FH Osnabrück bzw. Dr. Hinrichs-Berger, LTZ Augustenberg). Zusätzlich wurden die Erdbeerpflanzen visuell bewertet in „gesund“, „krank“ oder „abgestorben“.

Versuchsvarianten:

In den 8 Prufjahren wurden insgesamt folgende Varianten auf ihre Wirksamkeit getestet:

- Unbehandelt (Schwarzbrache)
- Basamid Granulat (200-600 kg/ha, Kastenstreuer, Einarbeitung, Wässern, Abdeckung mit Silofolie für mind. 6 Wochen)
- Metam-Fluid (300 l/ha, Bodeninjektion, Abdeckung mit Silofolie für mind. 6 Wochen)
- Solarisation (transparente Folie für mehrere Monate)
- Biologische Bodenentseuchung (Anbau von Sudangras, Ölrettich, Senf + Ölrettich für mind. 3 Monate)
- Kalkstickstoff (400 kg/ha)

Die Biologische Bodenentseuchung erfolgte folgendermaßen: Aussaat, Düngung und mehrmalige Bewässerung, Mulchen, Einarbeitung, Bewässerung, Abdeckung mit Silofolie für mind. 6 Wochen.

Fazit

Je nach Versuchsjahr verminderte sich der Besatz von Verticillium-Mikrosklerotien in der unbehandelten Variante (Schwarzbrache) um ca. 50%. Bei einer hohen Besatzdichte von Mikrosklerotien konnten nur mit Basamid Granulat und Metam-Fluid gute Bekämpfungserfolge erzielt werden (Tab. 1). Beide Pflanzenschutzmittel sind in Deutschland allerdings nicht mehr zugelassen.

Tabelle 1: Einfluss der Prüfvarianten auf den Besatz gegen die Verticillium-Welke.

Varianten	Aufwand je ha	Wirkungsgrad % (Mikrosklerotien)
Basamid Granulat	200-600 kg	91,2-99,3
Metam Fluid	300 l	89,3
Solarisation (transparente Folie)	mehrere Monate	77,8-79,9
Biologische Bodendesinfektion:		
• Sudangras	30 kg	82,8
• Örettich „Boss“	30 kg	0
• Ölrettich „Sirella“	35 kg	10,9
• Ölrettich + Senf	20 kg	0
Kalkstickstoff	400 kg	0-69,9

Mit der Solarisation, dem Kalkstickstoff und den Biologischen Bodenentseuchungs-Varianten waren die Bekämpfungserfolge für Verticillium-anfällige Erdbeersorten nicht ausreichend.

Bei den Varianten der Biologischen Bodenentseuchung konnten nur mit Sudangras ein relativ guter Wirkungsgrad erreicht werden.

Bei den Versuchen mit Solarisation wurde die Temperatur in verschiedenen Bodentiefen mit Dataloggern gemessen. Während direkt an der Bodenoberfläche unter der transparenten Folie an Sonnentagen Temperaturen bis über 60°C erreicht wurden, isolierte der Boden sehr stark, so dass zur gleichen Zeit in 25 cm Tiefe nur noch etwas über 20°C gemessen wurden.

Mit weiteren Versuchen soll geklärt werden, ob durch eine Kombination verschiedener Verfahren, der Bekämpfungserfolg gesteigert werden kann. Beispielsweise soll vor der Aussaat von Sudangras zuerst mit Kalkstickstoff gearbeitet werden und anschließend eine Biologische Bodenentseuchung erfolgen.

SCHWIERIGKEITEN MIT DER BIOFUMIGATIONSVARIANTE *BRASSICA JUNCEA* ISCI-99 GEGEN DIE *VERTICILLIUM*-WELKE IM PRAKTISCHEN FRIGO-ERDBEERANBAU

CHRISTIANE STEEN¹, KLAUS DILLMANN², REINHARD ORTLIEB³; Bioland Beratung GmbH, 73728 Esslingen; ²Bioland Beratung GmbH, 71735 Eberdingen; ³Förderverein für ökologischen Obstbau e. V., 70329 Stuttgart; e-mail: christiane.steen@bioland.de

Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes, gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL), werden seit dem Frühjahr 2009 Freilandversuche zur „Stärkung der Ertragssicherheit und Rentabilität im biologischen Erdbeeranbau durch eine effektivere Unkrautkontrolle sowie der Regulierung des Erdbeerblütenstechers und verschiedenen Wurzelfäulen“ durchgeführt. Die Versuche finden auf mehreren Bioland-Betrieben im Großraum Stuttgart statt und werden von der Bioland Beratung GmbH und dem Förderverein für ökologischen Obstbau e.V. (Föko) koordiniert und betreut. Im speziellen beschreibt dieser Artikel die praktischen Erfahrungen aus dem ersten Versuchsjahr in 2009, die mit der Biofumigationsvariante *Brassica juncea* (Sorte: ISCI-99) als Frühjahrs-Vorkultur zu Frigo-Erdbeeren gemacht wurden.

Verticillium-Welke in Erdbeeren und Biofumigation

Böden, auf denen mehrjährig Erdbeeren angebaut werden, neigen dazu, mit der *Verticillium*-Welke in hohem Maße infiziert zu sein (Babadoost 2001). Dieser bodenbürtige Pathogen-Komplex (*V. dahliae* & *V. albo-atrum*) ist einer der wichtigsten Pathogene in Erdbeeren. Insbesondere deshalb, da *V. dahliae* in der Lage ist, sich über mehrere Jahre im Boden aufzubauen und dort in Form von Mikrosklerotien bis zu zehn Jahre zu überdauern (Neubauer 2005). Die Folgen des Befalls zeigen sich nicht nur in einer Verringerung der Fruchtqualität sondern auch im Verlust ganzer Pflanzen.

Der Einsatz der Biofumigation stellt eine Möglichkeit zur Infektionsreduzierung im ökologischen Erdbeer-Anbau dar, so dass Anbauer die Chance haben, bereits aufgegebene Flächen wieder zurück zu gewinnen. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte ein robustes Anbaukonzept erarbeitet werden, das in diesem Falle den Erdbeeranbauern eine Übersicht des Arbeitsablaufes, des Technikbedarfes und des Arbeits- und Zeitaufwandes an die Hand gibt.

Die Biofumigation

Die Biofumigation zielt in Verbindung mit der Verticillium-Welke auf die Reduktion der Mikrosklerotien ab, wodurch das Infektionspotential einer befallenen Fläche verringert wird. In erster Linie wird dazu *Brassica juncea* (Sareptasenf) empfohlen, da sich diese Senfart durch besonders hohe Glucosinolatwerte auszeichnet (Michel 2008). Diese Glucosinolate sind deshalb von Interesse, da das Prinzip der Biofumigation darauf beruht, dass durch enzymatische Hydrolyse die Glucosinolate in flüchtige und toxische Gase, den sogenannten Isothiocyanate, umgewandelt werden, die eine biozide Wirkung auf eine große Anzahl von Bodenorganismen wie Nematoden, Bakterien, phytopathogene Pilze und Unkrautsamen haben (Stich et al. 2005, Matthiessen und Kirkegaard, 2006, Michel 2009).

Senf als Biofumigationsvariante und die praktischen Voraussetzungen

Der Senf sollte, wenn dieser als Frühjahrs-Vorkultur zu Frigo-Erdbeeren eingesetzt wird, bis Ende März/Anfang April ausgesät sein, da der Senf bis zu dem Entwicklungsstadium „kurz vor der Blüte“ 6-8 Wochen benötigt. Für die erfolgreiche Biofumigation ist nach Michel (2009) der Zeitpunkt „kurz vor der Blüte“ deshalb von hoher Bedeutung, da dies der Zeitpunkt ist, zu dem die vorhandene Biomasse die höchsten Glucosinolat-Gehalte aufweist und daher auch den Zeitpunkt der „Ernte“ darstellt. Das Ziel der „Ernte“ besteht darin, die zellularen Strukturen der Biomasse, z. B. mit dem Schlegelmulcher, aufzubrechen, um die Zellinhalte in größtmöglicher Menge freizusetzen (Matthiessen und Kirkegaard 2006, Michel 2008). Um die Verluste der Isothiocyanate durch Verflüchtigungen nach diesem Arbeitsschritt so gering wie möglich zu halten, sollte unmittelbar auf die Zerkleinerung der Biomasse die Einarbeitung, z. B. mit einer Spatenmaschine oder einer Fräse, erfolgen und die Fläche mit einer Walze rückverdichtet werden (Matthiessen und Kirkegaard 2006, Michel 2008). Der nächste Schritt besteht in der Umsetzung der Glucosinolate in die Isothiocyanate, der Feuchtigkeit voraussetzt, weshalb bei trockenen Bodenverhältnissen zusätzlich eine Bewässerung empfohlen wird (Michel 2008). Mit der Pflanzung der Folgekultur sollte, in Abhängigkeit der eingearbeiteten Biomassen-Menge, mindestens eine Woche gewartet werden (Michel 2008) (Abb. 1).

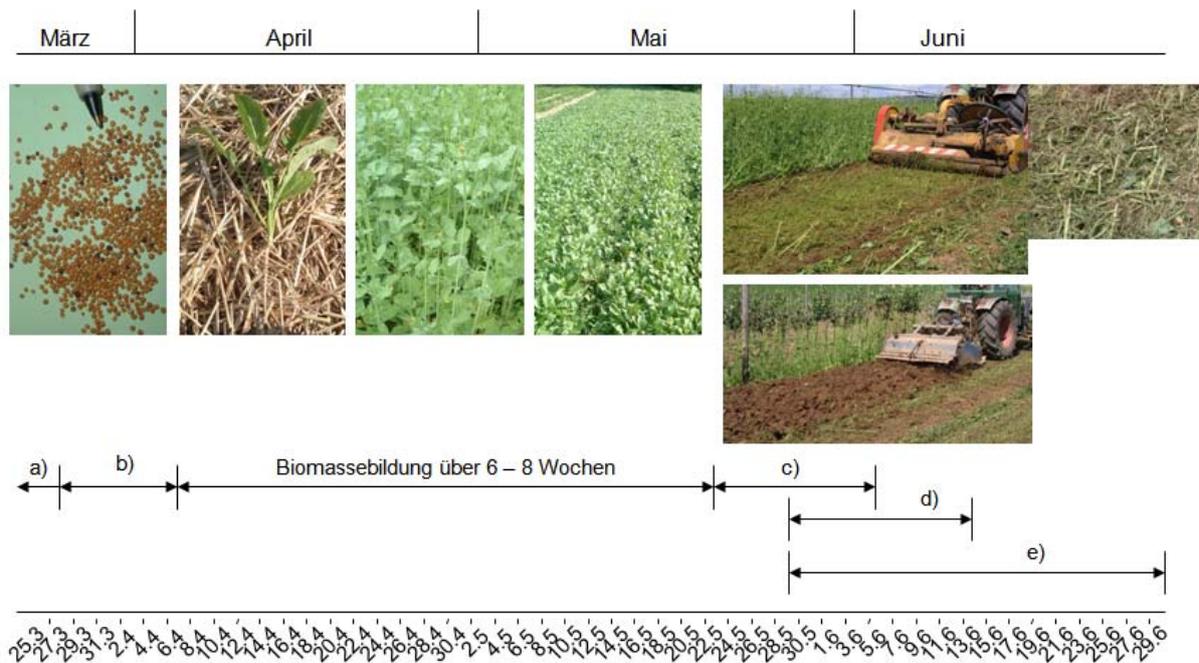


Abb. 1: Zeit- und Arbeitsplan für die Erdbeerpflanzung mit Frigos mit der Biofumigationsvariante *Brassica juncea* (Sareptasenf) als Frühjahrs-Vorkultur. **a**: Saatbeetvorbereitung **b**: Senfaussaat, **c**: wenn der Senf kurz vor der Blüte steht: schneiden, zerkleinern, einarbeiten und rückverdichten, **d**: es sollte mind. 1 Woche zwischen der Einarbeitung und der Pflanzung der Frigos liegen, **e**: Frigo-Pflanzung ist bis Ende Juni möglich.

Biofumigation und mögliche Erschwernisse im praktischen Anbau

Die erfolgreiche Integration der Biofumigation in ein bereits funktionierendes Anbausystem setzt voraus, dass neben den betrieblichen Voraussetzungen auch die zusätzliche Arbeitszeit und das damit verbundene enge Zeitfenster der aufeinander abfolgenden Arbeitsschritte beachtet werden (Abb. 1). Dies kann für den praktischen Anbau durchaus zu einem Problem werden, denn der bereits straffe Ablauf kann durch verschiedene Einflüsse noch straffer ausfallen. Die Abb. 2 zeigt mögliche Erschwernisse, die auftreten können und in dem Freilandversuch, in 2009, während der Senfentwicklung beobachtet wurden.

Wenn, wie in dem in 2009 durchgeführten Freilandversuch, der Senf als Frühjahrs - Vorkultur zu Frigo Pflanzen eingesetzt wird, kann es durch ungünstige Witterungsentwicklungen, wie zu lang anhaltende Frostperioden oder zu viel Regen, zu einem verspäteten Aussaattermin kommen. Bedingt durch den für die Frigos festgelegten spätesten Pflanztermin, der Ende Juni vorsieht, kann deshalb eine verspätete Aussaat eine zu geringe Biomassenentwicklung

bewirken. Eine zu geringe Biomassenentwicklung kann somit eine ineffiziente Biofumigation zur Folge haben, da die Konzentration der Glucosinolate, bzw. der Isothiocyanate, die zur Reduzierung der Mikrosklerotien benötigt wird, nicht in dem verkürzten Zeitfenster erreicht werden konnten.

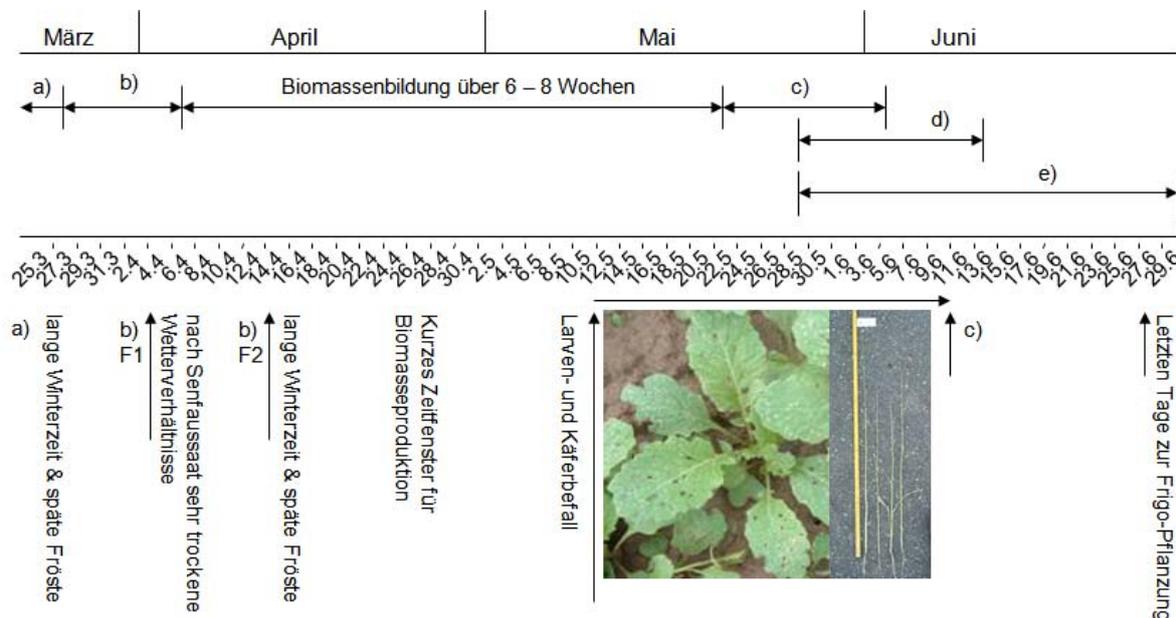


Abb. 2: Zeit- und Arbeitsplan in Kombination mit möglichen praktischen Erschwernissen für die Erdbeerpflanzung mit Frigos mit der Biofumigationsvariante *Brassica juncea* (Brauner Senf) als Frühjahrs-Vorkultur. (**F1**: Fläche 1, **F2**): Fläche 2, **a**: Saatbeetvorbereitung **b**: Senfaussaat, **c**: wenn der Senf kurz vor der Blüte steht: schneiden, zerkleinern, einarbeiten und rückverdichten, **d**: es sollte mind. 1 Woche zwischen der Einarbeitung und der Pflanzung der Frigos liegen **e**: Frigo-Pflanzung ist bis Ende Juni möglich.

Eine weitere Erschwernis stellt die Anfälligkeit des Senfes gegenüber dem Rapserrdfloh und dem Rapsglanzkäfer dar, die ebenfalls zur Reduzierung der erforderlichen Biomasse beitragen und gegen die zum jetzigen Zeitpunkt im ökologischen Anbau keine ausreichende Kontrollmöglichkeit zur Verfügung steht (Böhm 2009) (Abb. 2).

Zusätzlich sollte beachtet werden, dass die Biofumigation mit Senf als Frühjahrs-Vorkultur für Erdbeeranbauer in ein ohnehin sehr arbeitsreiches Zeitfenster fällt. So besteht die Gefahr, dass notwendige Arbeitsschritte, wie die Kontrollgänge zu den Senfbeständen zur Überprüfung der Entwicklungsstadien oder die Maschinenbereitstellung nur unzureichend ablaufen. Sie können auch eine zu starke zusätzliche Arbeitsbelastung darstellen, wodurch die

empfohlene Anwendung der Biofumigation gefährdet wird. Diese Punkte sollte der Anbauer daher beachten, bevor er sein Geld und seine Zeit in das System der Biofumigation einbringt.

Diskussion

Wie Michel (2008) aufzeigt, bringt der Einsatz der Biofumigation viele Vorteile mit sich, wie z.B. die Verbesserung der Bodenstruktur, Stickstoff-Fixierung und die Verringerung der Unkrautsamenaufläufe. Um diese Vorteile jedoch nutzen zu können, ist es nach Matthiessen und Kirkegaard (2006) notwendig, dass das System „Biofumigation“ in das bereits bestehende System ohne große Hindernisse hineinpasst, da ansonsten die angestrebte Wirkung der Biofumigation nicht erreicht werden kann. So braucht in manchen Fällen lediglich die bestehende Gründüngungskultur gegen die Biofumigationskultur ausgetauscht werden (Matthiessen und Kirkegaard 2006). Mit den Frigo-Erdbeeren als Kultur scheint es jedoch, wie der Freiland-Versuch zeigt, nicht so einfach zu sein, wobei die Einhaltung des zeitlichen Arbeitsablaufes das größte Hindernis darstellt (Abb. 2). Als Möglichkeit diesen Zeitplan zu entzerren, könnte zum einen eine andere Senfart aus dem großen Pool der Artenvielfalt der *Brassicaceae* ausgewählt werden (Matthiessen und Kirkegaard 2006). Denn, auch wenn die Senfsorte ISCI-99 durch Michel (2008) empfohlen wurde, so scheint diese Sorte doch eher im mittleren bis südliche Europa ihre Fähigkeiten zu beweisen als im kühleren Süddeutschland, wo die Biomassenproduktion hinter der erwarteten in 2009 erheblich zurückblieb. Eine weitere Möglichkeit der Entzerrung der Arbeitsspitzen würde der Wechsel von Frigos zu Grün- bzw. Topfpflanzen darstellen, die anstatt bis Ende Juni, bis Ende Juli gepflanzt werden können (Schmid 2003). Nachteilig zu beobachten ist dabei jedoch, dass die Beschaffung der Jungpflanzen aus ökologischer Vermehrung in Deutschland zu diesem Zeitpunkt nicht einfach ist und somit nur eine geringe Sortenauswahl besteht. Zusätzlich muss dabei beachtet werden, dass Grün- bzw., Topfpflanzen im Vergleich zu Frigopflanzen erheblich teurer sind, so dass die Frigos zum jetzigen Zeitpunkt, die beliebtere Variante darstellen.

Diese Punkte stellen zu dem jetzigen Zeitpunkt jedoch erst die ersten praktischen Erkenntnisse dar, mit denen der Anbauer im Umgang mit der Biofumigation konfrontiert wird. Daher sollte das Themengebiet der Biofumigation unbedingt weiterhin untersucht werden, um in der Zukunft den Anbauern robustere Anbauempfehlungen zur Verfügung stellen zu können und um der weiteren Ausweitung der bodenbürtigen Pathogene, wie der *Verticillium*-Welke, entgegenzuwirken.

Literatur

- Babadoost M. (2001). Verticillium-Wilt of Strawberry. Report on Plant Disease, No.707, (University of Illinois), http://web.aces.uiuc.edu/vista/pdf_pubs/707.pdf (17.11.2009).
- Böhm H. (2009). Kontrollmöglichkeiten für den Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) und den Rapserdflor (*Psylliodes chrysocephala*) in *Brassica juncea*. Persönliche Mitteilung, 27. Oktober 2009. Institut für Ökologischen Landbau, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, 23847 Westerau.
- Matthiessen J.N., Kirkegaard J.A. (2006). Biofumigation and Enhances Biodegradation: Opportunity and Challenge in Soilborne Pest and Disease Management. *Critical Reviews in Plant Science* 25: 235-265.
- Michel V. (2008). Biofumigation - Prinzip und Anwendung. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre de Recherche Conthey, (HTTP://WWW.DB-ACW.ADMIN.CH/PUBS/WA_CMA_08_PUB_10402_D.PDF).
- Michel V. (2009). Biofumigation zur Bekämpfung von *Verticillium dahliae*. In: Majer J., Alföldi T., Leiber F., Dubois D., Fried P., Heckendorn F., Hillmann E., Klocke P., Lüscher A., Riedel S., Stolze M. Strasser R., van der Heijden M., Willer H. (Hrsg.). Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel, Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, ETH Zürich, 11.-13. Februar 2009, Band 1: 374-375.
- Neubauer C. (2005). *Verticillium* an Erdbeeren - Erkennen und Vorbeugen. *Öko-Obstbau* 4: 6-7.
- Schmid A. (2003). Erdbeeren ökologisch angebaut. Bioland Verlags GmbH.
- Stich K., Halbwirth H., Gosch C., Jezik K., Spornberger A., Scheiblauber J., Kummer C., Martin G., Steffek R., Seelmann L., Altenburger J. (2005). Lösungsansätze für Nachbauprobleme im Erdbeeranbau durch bodenbürtige Pathogene. [www.dafne.at/dafne_plus-homepage/index.php?](http://www.dafne.at/dafne_plus-homepage/index.php?http://www.dafne.at/dafne_plus_homepage/index.php?section=dafneplus&content=result&come_from=&&project_id=652)
http://www.dafne.at/dafne_plus_homepage/index.php?section=dafneplus&content=result&come_from=&&project_id=652

AMMONIAK GEGEN PILZE UND NEMATODEN?

REINHARD EDER, JÜRGEN KRAUSS, WERNER HELLER; Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Nematologie, Schloss, CH-8820 Wädenswil, Schweiz; e-mail: reinhard.eder@acw.admin.ch

Ammoniak-Fumigation

Verschiedene Pilze wie z. B. *Chalara* werden schon in geringen Konzentrationen innerhalb kurzer Zeit durch das Zellgift Ammoniak (NH_3) abgetötet. Dies konnte in Laborversuchen der Forschungsanstalt ACW nachgewiesen werden. Durch das Ausbringen von Zucker zusammen mit Harnstoff wird der Sauerstoff in der Bodenluft zu CO_2 veratmet und Ammoniak aus dem Harnstoff freigesetzt. Dieses Ammoniak-Gas steigt in den Bodenporen nach oben und tötet auf dem Weg Pilzsporen ab. Wie sieht das in der Praxis aus und was passiert mit den Nematoden?



Abb. 1: Öffnen des Bodens mit einer Grabenfräse und anschließend Streuen von Zucker und Harnstoff.

Freilandversuch: Kohlhernie bei Weisskohl

In diesem Versuch wurde die NH_3 -Fumigation im Freiland gegen Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*) getestet. Vierzehn Tage vor dem Pflanzen wurden der Harnstoff und Zucker direkt unter den zukünftigen Pflanzreihen ausgebracht. Er wurde in fester Form mit Hilfe einer Grabenfräse auf 40 cm Tiefe appliziert. Als zusätzliches Verfahren wurde als technische Vereinfachung eine Zucker-Harnstoff-Lösung mit Hilfe einer Düngerlanze ebenfalls auf 40 cm Bodentiefe ausgebracht. Die Behandlungen reduzierten die Masse der durch *P. brassicae* hervorgerufenen Wurzelgallen (Hernien) um 65% bis 88%.

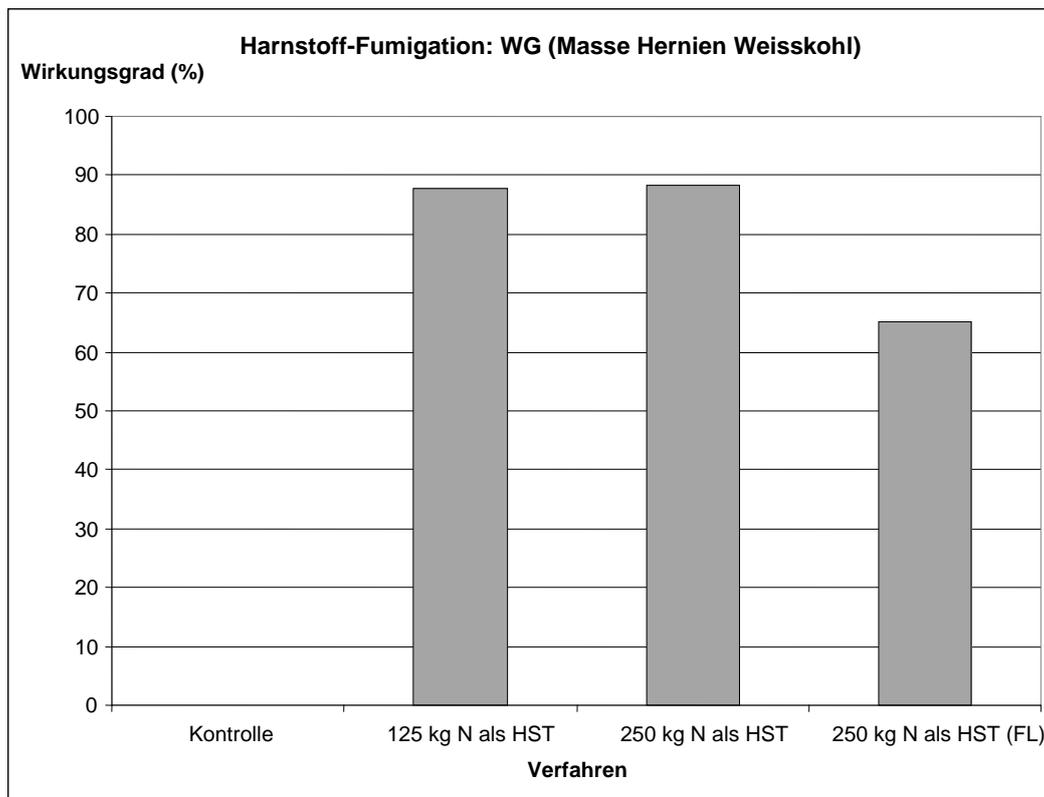


Abb. 3: Wirkungsgrad der Harnstoff-Fumigation des Freilandversuches.

Gewächshausversuche: Korkwurzelkrankheit und Wurzelgallennematoden bei Tomaten

Im Gewächshaus wurde die NH_3 -Fumigation mit dem Düngerlanze-Verfahren gegen die Korkwurzelkrankheit (*Pyrenochaeta lycopersici*) und den Wurzelgallennematoden (*Meloidogyne* spp.) getestet. In einem 40 cm x 40 cm Raster wurde die Zucker-Harnstoff-Lösung 40 cm tief ausgebracht. Gegen Korkwurzelkrankheit zeigte sich eine gewisse Wirkung. Die Pilzentwicklung war in der Kontrolle weiter fortgeschritten als in der behandelten Variante. Bei den Wurzelgallennematoden zeigte sich in einer Parzelle eine um

61% reduzierte Vermehrungsrate. In der anderen Parzelle konnte hingegen kein Unterschied zur Kontrolle festgestellt werden.



Abb. 4: Vorbereiten der Zucker-Harnstoff-Lösung und Ausbringen mit der Düngerlanze.

Offene Fragen:

- Ausbringung fest (Grabenfräse) oder flüssig (Düngerlanze)?
- Menge Harnstoff?
- Menge Zucker?
- Verhältnis Harnstoff zu Zucker?

Zusammenfassung

Erste Versuche in der Praxis zeigen Erfolge bei der Bekämpfung von Kohlhernie mit Hilfe der Ammoniak-Fumigation. Ob damit auch andere Pilze und Nematoden bekämpft werden können, muss noch genauer untersucht werden.

ATTEMPTED BIOFUMIGATION OF CARROT FIELDS WITH *BRASSICA JUNCEA* PELLETS AND LEEK MATERIAL

KAI GREVSEN; Faculty of Agricultural Sciences, Dept. of Horticulture, Aarhus University, Kirstinebjergvej 10, DK-5792 Aarslev, Denmark; e-mail: kai.grevsen@agrsci.dk

Introduction

Biofumigation denotes the use of plant material to treat fields infected with diseases or nematodes (Kierkegaard & Matthiessen 2004). The plants are usually *Brassica* species like *B. juncea*, *Sinapis alba* or *Raphanus sativus*, but also *Allium* species have been used (Arnault et al. 2006). The principle in biofumigation is that the plant material is macerated and incorporated in the soil where it releases toxic substances. In *Brassica* species, this is mostly isothiocyanates liberated from glucosinolates by an enzymatic process. In *Alliums*, the toxic substances are various sulphides liberated after maceration and incorporation. In carrot fields in Denmark there can be a problem with build up of soil borne diseases and nematodes. The diseases are mostly soil borne diseases like *Sclerotinia*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Rhexocercosporidium*, *Mycocentrospora*, *Streptomyces* and on the organic soils the nematodes are carrot-cyst nematodes (*Heterodera carotea*). The aim of this work was to test if biofumigation could be used to reduce the number of nematodes as well as the incident of disease attacks on cool stored carrots.

Material and Methods

Experiments were performed on two farms (Lammefjord: 55°46'; 11°25' and 55°47'; 11°25', respectively) with fields infected with carrot-cyst nematodes and also various soil borne fungal diseases. The soils are reclaimed sea bed and high in organic matter (5-10% humus). The treatments were application of 3 t/ha of 'Biofence' (pellets of dried *Brassica juncea*, company CRA –ISCI, Italy) and 100 t/ha of chopped leek (*Allium porrum*) material. The treatments were applied in the beginning of April. Control plots were left as bare soil and all treatments were performed with or without black plastic film covering just after incorporation. The plastic film was sealed with soil around the edges of the plots. The leek material (whole freshly harvested leeks) was chopped in a wood chip machine (LOMA, Denmark) just before spreading on the plot area. The experimental area (10 x 17 = 170 m²) was set up in beds (1.65 m wide) and the individual plot area was 5.0 x 1.60=9.0 m². The leek and Biofence material were incorporated with a rotovator (Fobro, Switzerland) and the

control plots were also rotovated. Temperature in 5 cm depth in the soil was recorded by data loggers (Tinytag). The Statistical design was in blocks with three replicates (2 x 2 x 3 = 12 plots). The nematode concentrations in the soil were recorded by soil samples (20 cm deep) before treatment and 2 weeks after treatment. After 2 weeks of treatment the plastic covering was removed and carrots (var. 'Bolero') were sown over the whole plot area. At harvest of carrots in the beginning of November the plot soil was again analyzed for nematodes. About 80 kg of carrots from each plot were cool stored (1°C and > 95% Rh) in wooden crates until March the following year. In March the degree of fungal storage diseases were assessed as well as the degree of visual nematode attacked carrots.

Results and discussion

The daily temperature in the soil (5 cm depth) during treatment with the biofumigants was between 9 – 18° C and there were only minor differences between covered and non covered plots. The results of the analysis of number of nematodes in soil samples showed no significant effects of the biofumigation treatments or plastic covering (Fig 1a,b). The number of viable eggs concentration in soil samples before treatment, two weeks after treatment and again at harvest of the carrots showed no statistical differences of 'Biofence' or 'leek material' when compared with the control. The variation in the number of nematodes in the field area was very large. For example, the number of viable eggs in control plot samples taken within two weeks did not show a significant correlation. The reasons for that are not known but might be affected by both sample technique and nematode analysis or heterogeneous distribution of the nematodes within the experimental plots.

In the results of the degree of fungal disease attack in cool stored carrots there were also no significant effects of the biofumigation treatments or plastic covering (Fig. 2a,b). The stored carrots were also assessed for visual nematode attack and this result was also not significant regarding the biofumigation treatment (Fig. 2a,b).

The reason for the failing effect of our biofumigation treatments could be the high content of organic carbon in the fields (Humus 5-10%). High organic carbon tends to absorb the liberated isothiocyanates according to Gimsing & Kirkegaard (2009) and this may also be the case with the sulphides liberated from leek. Again there could be a soil-type dependant effect of the biofumigation principle like shown in the results by Michel (2008) in experiments with *Verticillium dahliae* where the clay content of the soil had significant effects on the result.

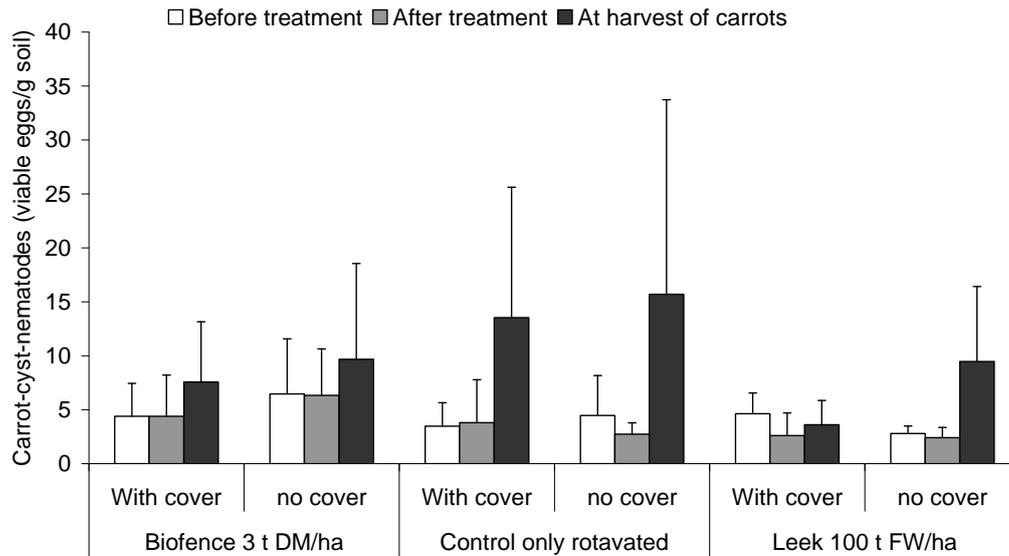


Figure 1a: Carrot-cyst-nematodes in soil on Farm A. The numbers of viable eggs in soil samples were assessed in May before treatment, two weeks after biofumigation and at harvest of carrots in November. Bars are SE (n=3).

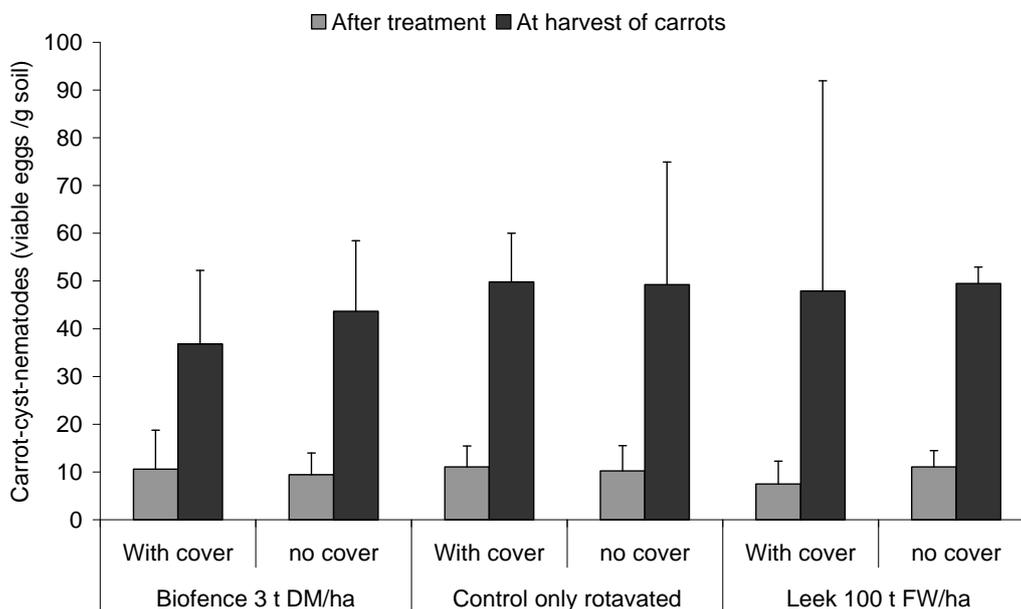


Figure 1b: Carrot-cyst-nematodes in soil on Farm B. The numbers of viable eggs in soil samples were assessed two weeks after biofumigation and at harvest of carrots in November. Bars are SE (n=3).

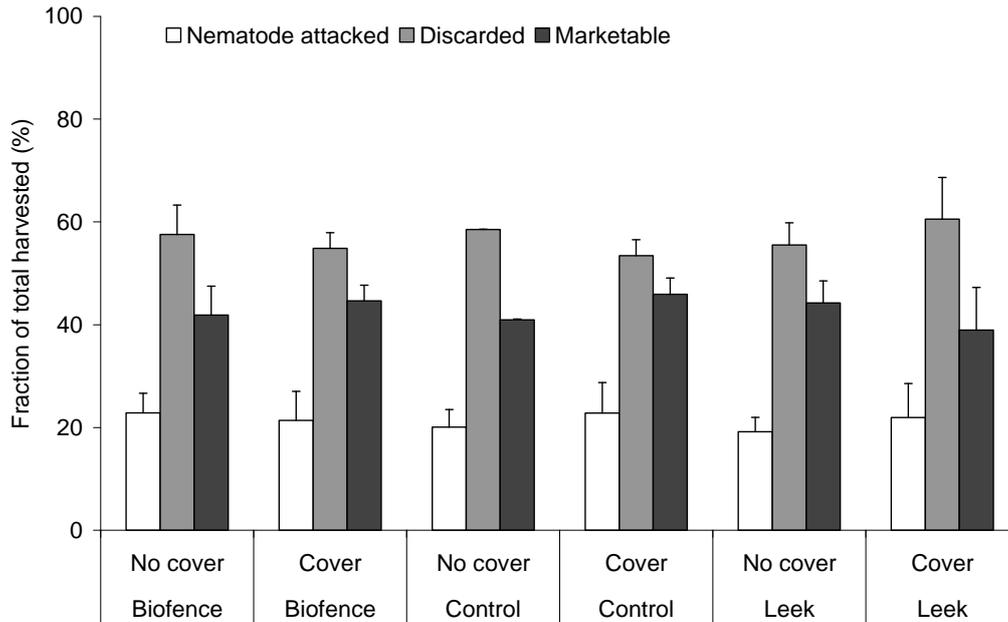


Figure 2a: Carrot fungal diseases and nematode attack on Farm A. Quality grading of carrots stored 5 month until March the following year. Bars are SE (n=3).

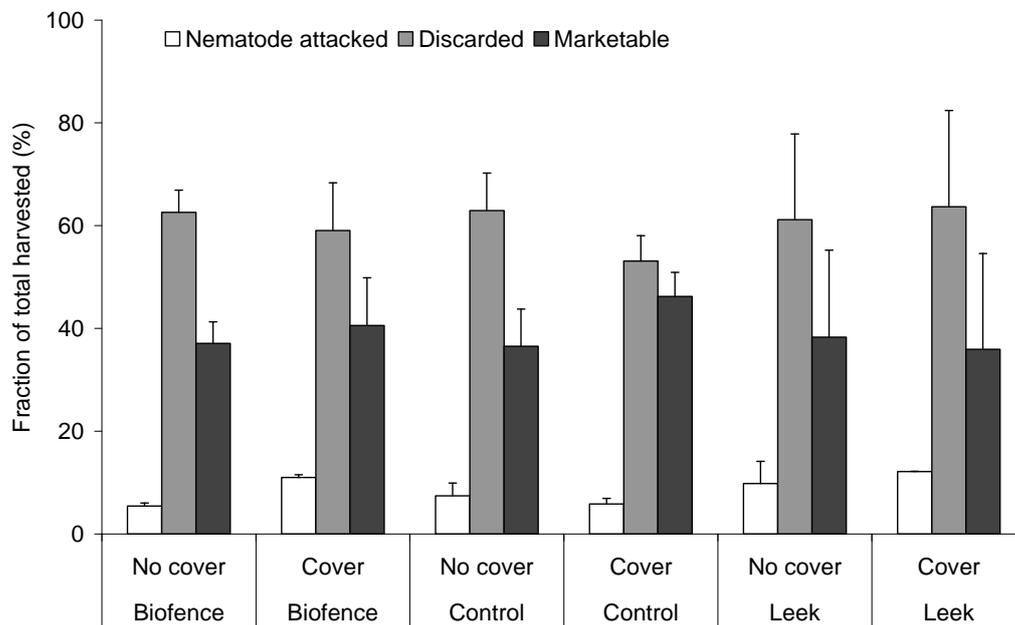


Figure 2b: Carrot fungal diseases and nematode attack on Farm B. Quality grading of carrots stored 5 month until March the following year. Bars are SE (n=3).

The soil temperature during our biofumigation treatment was relatively low (daily between 9-18°C) and this slows down the enzymatic process of liberating isothiocyanates from the *B. juncea* pellets. According to Springett & Adams (1989) and Schütze (pers. communication) the optimum temperature for myrosinase activity is over 30°C. If the average temperature of about 14°C in our experiment is critically low for myrosinase activity, then the more Northern countries have a challenge with biofumigation. The experimental area was not irrigated after incorporation of the biofumigation material, but the water content in the spring soil was near field capacity.

Conclusion

No significant effect of the biofumigation treatment with either 'Biofence' or 'leek material' on the number of carrot-cyst-nematodes in soil samples nor fungal disease attacks in carrots after storage could be detected. The reasons for the failing effects have to be investigated in future experiments.

References

- Arnault I., du Fretay G., Vey F., Tissier A., Fleurance C., Auger J. (2006). Soil fumigation with *Allium sulfur* volatiles and allium byproducts, Proceedings, Second biofumigation conference, Moscow, USA 26-29 June 2006.
- Gimsing A.L., Kirkegaard J.A. (2009). Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochem Review* 8: 299–310.
- Kirkegaard J.A., Matthiessen J.N. (2004). Developing and refining the biofumigation concept. *Agroindustria* 3: 233–239.
- Michel V. (2008). Biofumigation – Prinzip und Anwendung. www.acw.admin.ch
- Springett, M., Adams, J. (1989). Properties of Brussel spouts thioglucosidase. *Food Chemistry* 33: 173–186.

ABSCHLIEßENDE BEWERTUNG

JOHANNES HALLMANN; Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppeideweg 88, 48161 Münster; e-mail: johannes.hallmann@jki.bund.de

In dem Fachgespräch wurden verschiedenste Aspekte der Biofumigation vorgestellt und diskutiert. Neben je einem Beitrag zu den chemischen Grundlagen der Biofumigation sowie den züchterischen Möglichkeiten zur Optimierung dieses Verfahrens, wurde in 11 Präsentationen die Wirkung der Biofumigation gegen bodenbürtige Schaderreger dargestellt. Darunter waren sieben Beiträge mit Ergebnissen zu pflanzenparasitären Nematoden (*Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Rotylenchus* sp.) und sieben Beiträge zu pflanzenpathogenen Pilzen (*Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae* etc). In neun Beiträgen wurden Biofumigations-Kulturen (Sareptasenf, Ölrettich, Weißer Senf) im Freiland angebaut und zur Blüte eingearbeitet und in drei Beiträgen wurden Pellets zur Biofumigation eingesetzt (MICHEL, EDER UND ROTH, GREVSEN).

Untersuchungen zur Wirkung der Biofumigation gegen pflanzenparasitären Nematoden zeigten in vier Beiträgen eine Reduzierung (DAUB ET AL., RAU, EDER UND ROTH, NITT UND GOLECKI), in vier weiteren Beiträgen keine Wirkung bzw. sogar eine Zunahme bestimmter pflanzenparasitärer Nematoden (THODEN ET AL., KORTHALS ET AL., NITT UND GOLECKI, GREVSEN). Vergleichbar wurden in den Untersuchungen zu bodenbürtigen Pilzen in zwei Fällen positive Effekte festgestellt (GROSCH ET AL., MICHEL), in zwei anderen Fällen keine Wirkungen (FRIED, GREVSEN).

Damit stellt sich die Frage nach den Ursachen für die recht unterschiedlichen Wirkungen? Leider können die Versuche hierauf keine klare Antwort geben, da sie unter völlig verschiedenen methodischen Ansätzen und Umweltbedingungen in unterschiedlichsten Wirt-Pathogen-Systemen durchgeführt wurden und somit nicht miteinander verglichen werden können. Teilweise waren die Versuchsbedingungen bekanntermaßen nicht ideal, in anderen Fällen wurde aber auch unter vermeintlich optimalen Bedingungen keine Wirkung erzielt. Viele die Biofumigation beeinflussenden Faktoren wurden zwar intensiv unter wärmeren Klimaregionen (Australien, USA, Italien) untersucht, doch für gemäßigte Klimabedingungen gibt es bis heute kaum entsprechende Untersuchungen. Dies gilt für den Einfluss von

Bodenfaktoren (pH, organische Substanz, Kalkgehalt), Klimafaktoren (Temperatur, Feuchte) als auch Anbaufaktoren (Sortenwahl, Nährstoffversorgung, Pflanzenaufschluss und Einarbeitung) auf die Wirkung der Biofumigation. Einen guten Überblick verschiedenster Einflussfaktoren und Möglichkeiten für deren Optimierung hat Vincent Michel in seinem obigen Beitrag (Tab. 2, S. 65) gegeben.

Aus der Praxis wird auch immer wieder auf Schwierigkeiten bei der Durchführung der Biofumigation hingewiesen, wie zum Beispiel:

- Zu geringe Biomasse, d. h. zu geringe Wirkstoffmenge/ha
- Schlechter Aufwuchs infolge von Nährstoffmangel (N, S), Trockenheit etc.
- Einarbeitung bei zu kühler Witterung (Herbst)
- Unbefriedigende Zerkleinerung der Biomasse, schlechte Einarbeitung
- Fehlende Möglichkeit der Bewässerung

Jeder einzelne dieser Faktoren kann Ursache von schwankenden Wirkungsgraden sein. Deshalb sollte man sich vor Beginn der Biofumigation genauestens überlegen, ob dieses Verfahren unter den vorhandenen Bedingungen fachgerecht durchgeführt werden kann.

Durchführung der Biofumigation

Ein jeder, der Biofumigation durchführen möchte, sollte sich vorab gründlich über dieses Verfahren informieren. Eine Unterdrückung bodenbürtiger Schaderreger ist, wenn überhaupt, nur bei ordnungsgemäßer Durchführung der Biofumigation möglich. Hierzu zählt unter anderem auch die genaue Kenntnis der primär schädigenden bodenbürtigen Schaderreger, die bekämpft werden sollen. Da bodenbürtige Schaderreger recht verschieden auf unterschiedliche Biofumigations-Kulturen reagieren, sollte die Kulturart bzw. -sorte so gewählt werden, dass der primäre Schaderreger möglichst umfassend erfasst wird. Die entscheidenden Schritte zur Durchführung der Biofumigation sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abb. 1: Entscheidende Schritte zur Durchführung der Biofumigation

Chancen der Biofumigation

Auch wenn die bisherigen Ergebnisse zur Wirkung der Biofumigation unter gemäßigten Klimabedingungen wenig überzeugend sind, so hat dieses Verfahren durchaus auch Chancen bei der Fruchtfolgengestaltung, vor allem durch:

- (teilweise) Unterdrückung bestimmter bodenbürtiger Schaderreger
- Auflockerung der Fruchtfolge
- Nutzung der positiven Wirkung von Zwischenfrüchten
- Potential zur Wirkungssteigerung, da es noch ein junges Verfahren mit Entwicklungsmöglichkeiten darstellt
- Einsatz im Ökolandbau und

- Einsatz im Gewächshaus.

Langfristig und in Kombination mit anderen Maßnahmen kann die Biofumigation durchaus dazu beitragen, unerwünschte Schaderreger zurückzudrängen und das Bodenleben zu stimulieren. Bei der Biofumigation werden ähnlich einer Gründüngung oder der Applikation von Kompost bzw. Stallmist hohe Mengen (bis zu 30 t/ha) an organischer Biomasse in den Boden eingebracht. Dies führt zu einer temporären Förderung des Bodenlebens, insbesondere von Bakterien, Pilzen und freilebenden Nematoden (Collins et al. 2006).

Grenzen der Biofumigation

Eines scheint sicher, eine Bekämpfung aller bodenbürtigen Schaderreger mit Biofumigation wird auch in Zukunft nicht möglich sein. Weder in Bezug auf Wirkungshöhe, Wirkungsspektrum und Wirkungssicherheit kann die Biofumigation nicht mit einer einmaligen Applikation chemisch-synthetischer Bodenentseuchungsmittel mithalten. Damit stellt die Biofumigation auch keine Alternative zum Einsatz von Methylbromid, Basamid, Metam-Natrium oder anderen Bodenentseuchungsmitteln dar, wie es in verschiedenen Medien häufig induziert wird. Darüber hinaus wurden die Grenzen der Biofumigation bereits in vielen der zuvor verfassten Kurzbeiträge aufgezeigt, wie:

- Fehlende bzw. zu geringe Wirkung
- Vermehrung von Schaderregern während der Kulturdauer
- Starker Einfluss der Umwelt auf Wirkungshöhe und Wirkungssicherheit
- teils schlecht in bestehende Fruchtfolgen zu integrieren
- zusätzliche Kosten und
- zeitliche Kollision mit anderweitigen Arbeitsspitzen innerhalb des Betriebes.

Mögliche Risiken der Biofumigation

Bei der Biofumigation wird das Pflanzenmaterial vor der Einarbeitung fein gehäckselt, wodurch die Glucosinolate zu Isothiocyanaten abgebaut werden. Über die Umweltwirkung der Isothiocyanate auf das Bodenleben ist bisher wenig bekannt. Insgesamt werden Isothiocyanate rasch gebildet und ebenso schnell abgebaut. Nach 5 bis 30 Stunden sind sie in der Regel nicht mehr nachweisbar (Gimsing et al. 2006 a,b). Auf schweren Böden erfolgt der Abbau schneller als auf leichten (sandigen) Böden. Hohe Humusgehalte fördern die Sorption der Isothiocyanate, die damit biologisch unwirksam werden. Bestimmte Isothiocyanate wirken immer auch nur gegen bestimmte Bodenorganismen, können andere Organismen aber

auch fördern bzw. verhalten sich neutral (Smith 2001). *In vitro* Untersuchungen zeigten, dass z. B. *Trichoderma* gegenüber 2-Phenylethyl-Isothiocyanat ca. 50mal toleranter ist als *Gaeumannomyces*. Andere *in vitro* Studien zeigten aber auch, dass Senfsorten mit hohen Glucosinolatgehalten die Aktivität entomopathogener Nematoden (Nützlinge) negativ beeinflussen können (Henderson et al. 2006) und z. B. Benzyl-Isothiocyanat die Überlebensrate von Springschwänzen (*Folsomia fimetaria*) reduziert (Hafez & Sundararaj 2006). Inwieweit vergleichbare Effekte im natürlichen Boden auftreten, bedarf jedoch weiterer Untersuchungen. Insgesamt scheinen die positiven Aspekte der Biofumigation zu überwiegen. Zumindest wurden aus der landwirtschaftlichen Praxis seit Anwendung der Biofumigationstechnik Mitte der 1990er Jahre bisher keine negativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt berichtet.

Natürlich gilt auch für den Einsatz der Biofumigation, dass die Gute Fachliche Praxis einzuhalten ist. So sollte die Einarbeitung der Biofumigations-Kultur zu Zeiten erfolgen, in denen kein Bienenflug stattfindet. Um eine Nährstoffauswaschung nach Biofumigation über Winter zu vermeiden, sollte noch im Herbst eine Folgekultur (bzw. überwinternde Gründüngung etc) angebaut werden. Auch die Frage, ob durch Anbau von *Brassica* spp. für die Biofumigation es zu einem verstärkten Auftreten von Kohlhernie (*Plasmodiophora brassica*) in Kohl-reichen Fruchtfolgen kommt, kann für die jeweiligen Landwirte von großer Bedeutung sein.

Schlussfolgerungen

In dem Fachgespräch wurden verschiedenste Anwendungen der Biofumigation unter gemäßigten Klimabedingungen vorgestellt und diskutiert. In den vorgestellten Präsentationen reichte die Wirkung der Biofumigation gegenüber bodenbürtigen Pilzen und pflanzenparasitären Nematoden von nicht vorhanden über eine geringe Reduzierung bis hin zu einer deutlichen Bekämpfung der Schaderreger. Insgesamt war die Wirkung aber eher unbefriedigend. Die hohe Erwartungshaltung an dieses Verfahren bei der Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger konnte bislang nicht erfüllt werden. Die Biofumigation ist sicherlich kein Allheilmittel zur Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger und in Bezug auf Wirkungshöhe, Wirkungssicherheit und Wirkungsspektrum auch keine Alternative zu chemisch-synthetischen Verfahren der Bodenentseuchung. Als Bestandteil des Integrierten Pflanzenschutzes kommt der Biofumigation aber durchaus Bedeutung zu, sei es direkt über die Unterdrückung bestimmter Schaderreger oder auch indirekt über die Förderung des

Bodenlebens. Letztendlich muss ein jeder Praktiker die Chancen und Grenzen der Biofumigation für seine individuelle Situation abwägen. Für die gemäßigten Klimaregionen ist die Biofumigation noch ein sehr junges Verfahren. Es gibt noch viele offene Fragen. In deren Beantwortung durch entsprechende Forschungsaktivitäten liegt die Chance, dieses Verfahren für die Zukunft effizienter zu machen. Hierzu mag auch die weitere Optimierung des Verfahrens im Bereich Züchtung, Anbauverfahren und Fruchtfolgegestaltung mit beitragen.

Literatur

- Collins H.P., Alva A., Boydston R.A., Cohran R.L., Hamm P.B., McGuire A., Riga E. (2006). Soil microbial, fungal, and nematode responses to soil fumigation and cover crops under potato production. *Biology and Fertility of Soils* 42: 247-257.
- Gimsing A.L., Sorensen J.C., Strobel B.W., Halkier B.A., Hansen H.C.B. (2006a). Glucosinolate degradation I soil. In: *Proceedings of the 2nd International Biofumigation Symposium*. June 25-29 2006, Moscow, ID, U.S.A.
- Gimsing A.L., Strobel B.W., Hansen H.C.B. (2006b). Sorption and degradation of benzyl and 2-propenyl isothiocyanates in soil. In: *Proceedings of the 2nd International Biofumigation Symposium*. June 25-29 2006, Moscow, ID, U.S.A.
- Hafez S., Sundararaj, P. (2006). Two decades of green manure crop research in Idaho for nematode management – an overview. In: *Proceedings of the 2nd International Biofumigation Symposium*. June 25-29 2006, Moscow, ID, U.S.A.
- Henderson D., Ramires R., Brown J., Riga E., Snyder W.E. (2006). Effect of mustard green manure amendment on the infectivity and mortality of two entomopathogenic nematode genera, *Steinernema* and *Heterorhabditis*. In: *Proceedings of the 2nd International Biofumigation Symposium*. June 25-29 2006, Moscow, ID, U.S.A.
- Smith B. (2001). A complex mode of action for biofumigation? *Horticulture Biofumigation Update* 13:1.

