

Schlussbericht des Forschungsprojektes

Optimierung der Biofumigation zur nicht-chemischen Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger

Zuwendungsempfänger:

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

Aktenzeichen: 28-1-42.020-06

Projektdauer: 01.08.2007 – 30.06.2010

Bearbeiter: Dr. Rita Grosch

Projektpartner:

PD Dr. Johannes Hallmann, Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen, Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppheideweg 88, 48161 Münster

Michaela Schlathölter, P. H. Petersen Saatzucht GmbH & Co. KG, Streichmühler Str. 8a, 24977 Grundhof

Dr. Wolfgang Schütze, JKI, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg

I. Kurzdarstellungen

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Wirkungsgrad und die Wirkungssicherheit der Biofumigation für die Bedingungen gemäßiger Klimaregionen zu optimieren, die Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger unter Praxisbedingungen zu verbessern und den Pflanzenschutzmitteleinsatz zu reduzieren.

Um die genannten Ziele des Vorhabens zu erreichen, wurde:

- an einem vorhandenen Sortiment aussichtsreicher Kruziferenarten und -sorten der Anteil Isothiocyanate-freisetzender Glukosinolate bestimmt,
- durch züchterische Bearbeitung der Glukosinolategehalt in Kruziferenarten und -sorten erhöht,
- durch Optimierung der Anbaumaßnahmen die Glukosinolat-Menge pro Flächeneinheit gesteigert,
- das neu gewonnene Wissen an die landwirtschaftliche und gartenbauliche Praxis adaptiert und transferiert und
- die Wettbewerbsfähigkeit des beteiligten KMU erhöht.

Die Wirksamkeit der Biofumigation wurde am Beispiel pflanzenparasitärer Nematoden (*Ditylenchus dipsaci*, *Heterodera schachtii*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus* spp.) sowie dem phytophagen Pilz *Rhizoctonia solani* untersucht. Der vorliegende Schlussbericht geht ausschließlich auf die Wirkung der Biofumigation gegen pflanzenparasitäre Nematoden ein. Die übrigen Ergebnisse werden in den Schlussberichten der jeweiligen Projektpartner dargestellt.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bodenbürtige Schaderreger gehören zu den am schwersten zu bekämpfenden Schadern von Kulturpflanzen. Die durch diese Erreger bedingten Ertragsverluste haben erheblich an Bedeutung gewonnen. *Rhizoctonia solani* war ein typisches Beispiel eines bodenbürtigen Erregers, deren Überdauerungsstrukturen (Sklerotien) erfolgreich durch den Einsatz von MeBr bekämpft wurden. In den letzten Jahren ist nach Aussagen von Produzenten und Beratern eine Zunahme an Krankheiten, verursacht durch *R. solani*, in der Praxis zu beobachten, insbesondere an der Kartoffel, der Zuckerrübe (Späte Rübenfäule) und Salat (Salatfäule). Aufgrund bisher fehlender Resistenzmerkmale in den entsprechenden Kulturen, biologischen Kontrollverfahren und Wissen zu Fruchtfolgen mit positiver Wirkung, wird in der Praxis ausschließlich eine chemische Bekämpfung des Erregers an der Kartoffel und an Salat mit Fungiziden durchgeführt. Allerdings sind im Kartoffelbau nur drei protektiv und beschränkt wirksame Wirkstoffe verfügbar (Pencycuron im Handelspräparat Monceren, Bayer; Tolclofos-methyl im Handelspräparat Risolex, Sumitomo, Boscalid im Handelspräparat

Signum, BASF). Das Präparat Signum kann ebenfalls zur Bekämpfung der Salatfäule angewandt werden. Mit den verfügbaren Wirkstoffen kann offensichtlich das Auftreten von *R. solani* nicht auf einem vertretbaren Niveau gehalten werden, so dass die Integration von weiteren Elementen des Pathogenmanagements in den Pflanzenbau sinnvoll wären. Die genannten Wirkstoffe sind auch nicht auf die Minimierung des Erreger-Inokulums im Boden gerichtet.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurde die antifungale Wirkung der von der Firma P. H. Petersen Saatzucht Lundsgaard GmbH & Co. KG zur Biofumigation bereitgestellten Sorten bzw. Sortenmischungen gegenüber dem bodenbürtigen Erreger *R. solani* in *in vitro* Versuchen, Gefäß- und Feldversuchen getestet. Unter *in vitro* Bedingungen wurde der Einfluss der Biofumigatate auf das Wachstum von *R. solani*-Myzel und die Aktivität der Sklerotien untersucht, im Gefäßversuch der Einfluss auf das Pflanzenwachstum von Salat sowie die krankheitsunterdrückende Wirkung von *R. solani* an Salat in Abhängigkeit von der applizierten Biofumigatmenge. Unter Feldbedingungen wurde die Biofumigationswirkung der bereitgestellten Sorten auf zwei Standorten, natürlich mit dem Erreger der Salatfäule infiziert, untersucht. Die Wirksamkeit der gegenüber *R. solani* effektivsten Biofumigatate wurde wiederholt im Feld geprüft.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Eine hohe Persistenz der Überdauerungsstrukturen bodenbürtiger Pathogene, der mitunter breite Wirtspflanzenkreis und fehlende Resistenzen in den jeweiligen Kulturpflanzen unterstützen die Akkumulation dieser Erreger im Boden mit den entsprechenden Folgen eines erhöhten Krankheitsauftretens. Diese Prozesse werden außerdem durch eine wenig differenzierte Fruchtfolge unterstützt. Eine wirksame chemische Bekämpfung bodenbürtiger Erreger ist schwierig und stellt ein erhebliches Risiko für die Umwelt und die Gesundheit des Menschen dar. In der Vergangenheit erfolgte die Bekämpfung dieser Pathogene durch Einsatz von Methylbromid (MeBr), deren Anwendung infolge der ozonschädigenden Wirkung seit 2005 nicht mehr erlaubt ist. Im Vergleich zum Einsatz chemischer Bodenbegasungs- und Pflanzenschutzmittel ist die Biofumigation eine umweltfreundliche Alternative hinsichtlich der Unterdrückung bodenbürtiger Erreger (Brown & Mora 1997, Lazzeri & Manici 2000, Kirkegaard & Matthiessen 2004, Lazzeri et al. 2004, Matthiessen & Kirkegaard 2006).

In einer Vielzahl von Studien konnte gezeigt werden, dass die antifungale Wirkung einiger Isothiocyanate ein Potential zur Entwicklung alternativer Bekämpfungsmöglichkeiten von pilzlichen bodenbürtigen Pathogenen bietet (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. (Sawar et al. 1998), *R. solani* (Manici et al. 1997, Cohen & Mazzola 2006), *Verticillium dahliae* (Subbaroa & Hubbard 1996), *Sclerotinia* spp. (Sanchi et al. 2005), *Aphanomyces* sp. (Muehlchen et al. 1990) oder *Pythium irregulare* (Manici et al. 2000) eine signifikante krankheitsunterdrückende Wirkung beobachtet werden. Bisher fehlen jedoch Aussagen zur Wirksamkeit verschiedener Brassica-Sorten hinsichtlich der Unterdrückung von *R. solani* unter Feldbedingungen.

Referenzen

- Brown P.D., Morra M.J. 1997. Control of soilborne plant pests using glucosinolate-containing plants. *Adv. Agron.* 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.
- 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. *J. Agric. Food Chem.* 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 Mang. Sci* 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 Dis.* 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 Dis.* 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. 86: 1303-1310.

II. Eingehende Darstellungen

1 Verwendung der Zuwendung und der erzielten Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Mit der Zuwendung wurden Labor-, Feld- und Gewächshausversuche zur Beantwortung der Versuchsfragen durchgeführt. Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse entsprechend den vorgegebenen Zielen (s. Vorhabenbeschreibung) zusammengefasst.

1.1 Einfluss der Biofumigantien auf *Rhizoctonia solani* AG1-IB *in vitro*

In vitro wurde in verschiedenen bio-assays geprüft, ob die Hydrolyseprodukte der Glukosinolate der entsprechenden Brassica-Sorten (Tab. 1) die Aktivität oder das Wachstums des Myzels und die Keimung der Sklerotien von *R. solani* beeinflussen können.

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

Myzelwachstum: Versuchsgefäße, gefüllt mit 250 ml eines Substrates [Fruhsdorfer Erde Typ P gemischt mit Quarzsand 1:1 (v/v)], wurden mit 15 mit *R. solani* beimpft und für eine Woche bei 25° C inkubiert. Anschließend erfolgte die Einarbeitung der zu untersuchenden Biofumigante (4 g).

Sklerotienkeimung: In diesem Fall werden die Versuchsgefäße vor der Einarbeitung des Pflanzenmaterials mit *in vitro* produzierten Sklerotien von *R. solani* inokuliert.

Nach einer Inkubationszeit von zwei Wochen bei 20° C wurden je Versuchsgefäß entweder 10 Bodenproben oder Sklerotien zur Überprüfung der Vitalität des Myzels und der Sklerotienkeimung auf Wasseragar ausgelegt, um mikroskopisch den Auswuchs von *R. solani* Myzel zu erfassen.

Durch die Einarbeitung von Biofumigat in das Substrat, durchwachsen mit *R. solani* Myzel, wurde die Häufigkeit des Myzelauswuchses in allen geprüften Varianten innerhalb von zwei Woche signifikant reduziert. Die Sareptasensorten 'Energy' und 'Terraplus' sowie die Gelbsensorten 'Luna', 'Accent' und 'Adagio' bewirkten eine Reduzierung der Myzelaktivität von *R. solani* Myzel von mehr als 50 % (Tab. 2).

Eine deutliche Beeinträchtigung der Sklerotienkeimung war in den Varianten mit den Sareptasensorten 'Energy' und 'Terraplus' sowie der Gelbsensorte 'Luna' zu beobachten (Tab. 2). Im Vergleich zur Aktivität der Sklerotien wurde die Aktivität des Myzels in den Varianten mit 'Adagio' und 'Accent' stärker durch die Biofumigation reduziert. In der Biofumigationswirkung zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Sorten. Die Ergebnisse weisen je-

doch keine übereinstimmende Tendenz oder Rangfolge der Sorten bei Vergleich des Einflusses auf die Keimung der Sklerotien bzw. der Aktivität des Myzels. Der Einfluss auf die Sklerotien und das Myzel wurde nicht mit dem gleichen Pflanzenmaterial der Kreuzifersorten durchgeführt, daher können Unterschiede in der Biofumigationswirkung allein infolge unterschiedlicher Glukosinolatgehalte des eingearbeiteten Pflanzenmaterials bedingt sein. Die Versuche sollten jedoch zeigen, ob durch Einarbeitung von Biofumigantien in den Boden eine Wirkung auf die Sklerotien und das Myzel von *R. solani* gegeben sein kann und damit eine Reduzierung des Inokulums im Boden.

Tabelle 2. Biofumigationswirkung der Brassica-Sorten auf die Keimung der Sklerotien (SK) und die Aktivität des *Rhizoctonia solani* Myzels (AM) 14 bzw. 25 Tage nach der Einarbeitung der Biofumigantien (4 kg Frischmasse/m²) in das Substrat und Inkubation bei 20° C.

Sorte	SK [%]	SK [%]	AM [%]
	14 d	25 d	14 d
Kontrolle	66,7 a	88,9 a	100,0 a
Terraplus	22,2 a	29,6 a	40,0 b
Energy	38,9 a	25,9 b	40,0 b
Terratop	72,2 a	66,7	50,0 b
Terrafit	66,7 a	55,6 a	66,7 a
Defender	55,6 a	63,0 a	60,0 b
Adagio	55,6 a	59,3 a	26,7 b
Accent	66,7 a	40,7 a	23,3 b
Luna	11,1 b	25,9 b	40,0 b

Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant nach dem Dunnett-Test ($P = 0,1$) im Vergleich zur Kontrolle

1.2 Myzelwachstum von *R. solani* auf PDA

Vor der Einarbeitung der im Feld angebauten Kreuzifersorten (siehe Abschnitt 2.4, Versuch 2009, Standort Großbeeren) wurden randomisiert Pflanzenproben der angebauten Kreuzifersorten von der Versuchsfläche entnommen und unmittelbar bei -25°C eingefroren. Dieses Material wurde gefriergetrocknet und zu Pulver zermalen, welches zur Prüfung der antifungalen Wirkung gegenüber *R. solani in vitro* verwendet wurde.

Eine Petrischale (Ø 9 cm) mit Kartoffeldextrose-Agar (PDA, VWR, Berlin, Germany) wurde mit jeweils einer Agarscheibe (Ø 5 mm) bewachsen mit *R. solani* beimpft. Das gefriergetrocknete Pflanzenmaterial (0,1g oder 0,5 g) wurde in den Deckel der Petrischale appliziert.

Die Petrischalen wurden bei 25°C bis zu acht Tagen inkubiert und täglich der Koloniedurchmessers der Pilzkulturen gemessen. Jede Variante umfasste fünf Wiederholungen.

Nach einer Inkubationszeit von drei Tagen waren die Petrischalen in beiden Versuchen in der Kontrollvariante bereits mit *R. solani* voll bewachsen. Keine antifungale Wirkung der Hydrolyseprodukte der Kruziferen-Sorten 'Defender', 'Adagio', 'Accent' und 'Luna' waren wiederholt sowohl nach Applikation von 0,1 g als auch 0,5 g Biofumigat zu verzeichnen, während bei allen Sareptasensorten nach Applikation von 0,1 g und 0,5 g ein signifikant verzögertes Myzelwachstum und bei 0,5 g eine signifikante Wachstumshemmung zu beobachten waren. Nach Applikation von 0,1 g Biofumigat waren jedoch auch die Petrischalen in den Varianten mit den Sareptasensorten nach acht Tagen voll bewachsen. Eine 10%ige Wachstumshemmung war in der Variante mit Terraplus (0,5 g) gegeben.

1.3 Anfälligkeit der Biofumigantien gegenüber *R. solani* AG1-IB

Der Erreger *Rhizoctonia solani* kann neben Wirtspflanzen auch andere Pflanzenarten infizieren. Daher wurde *in vitro* und *in vivo* geprüft, ob die bereit gestellten Kruziferensorten von im Pflanzenbau relevanten *R. solani* Anastomosegruppen (AG) der AG 3 (Erreger der Schwarzfäule an Kartoffel), der AG 2-IIIB (Erreger der Späten Rübenfäule) und der AG 1-IB (Erreger der Salatfäule) infiziert werden können.

In vitro: Es wurden sechs oberflächen-sterilisierte Samen (0,5 % NaOCl für 1 min) auf Wasser Agar (1,5 %) in Petrischalen (Ø 9 cm) ausgelegt und nach zwei Tagen mit 7 Tage alten PDA-Kulturen von *R. solani* (Ø 5 mm) beimpft. Nach einer Inkubationszeit von acht Tagen bei 20°C wurde die Symptomausprägung bonitiert [Bonitur: 0 = keine Symptome, 1 = geringe Verfärbungen des Hypokotyls, 2 = Verfärbungen und kleine (>1 mm) nekrotische Läsionen am Stängel, Hypokotyl oder Wurzel, 3 = Verfärbungen und große (1 mm) nekrotische Läsionen am Stängel, Hypokotyl oder Wurzel, 4 = Sämlinge abgestorben] (Carling et al. 1999).

In vivo: *In vitro* zeigte sich lediglich eine Sensitivität der Sämlinge gegenüber *R. solani* AG 1-IB, daher wurde in einem Gefäßversuch unter Einbeziehung von drei AG 1-IB Isolaten (H10, 7/14, 2/31) die Sensitivität der Brassica-Sorten unter Gewächshausbedingungen getestet. Die Kruziferensamen wurden direkt in Töpfe (4 Samen je Topf, Ø 20 cm x 15 cm) ausgesät und bis zum 1-2-Blattstadium bei 15/13°C kultiviert und weiter bei 20/15°C (Tag/Nacht). Jede Variante umfasste vier randomisiert angeordnete Wiederholungen. Drei Wochen nach der Aussaat erfolgte in den Varianten mit *R. solani* die Erregerinokulation. Einmal wöchentlich wurde das Auftreten von Symptomen an den Pflanzen bonitiert und nach einer Kulturdauer von 11 Wochen wurde die Frischmasse der Kruziferen ermittelt.

In vitro zeigten die Sämlinge aller Kruziferenarten keine Anfälligkeit gegenüber *R. solani* AG3 und AG2-IIIB, während bei allen Sämlingen der untersuchten Brassica-Arten Läsionen

durch *R. solani* AG1-IB zu beobachten waren (Abb. 1). Die wiederholte Prüfung der Anfälligkeit von Sämlingen gegenüber der AG1-IB (Isolat 7/3/14) unter Einbeziehung von zwei weiteren Isolaten (H10 und 2/3/31) bestätigte diese Beobachtung (Abb. 2). Leichte Verbräunungen traten vereinzelt an Sämlingen der Sorten `Accent` und `Luna` nach Inokulation der AG3 auf.

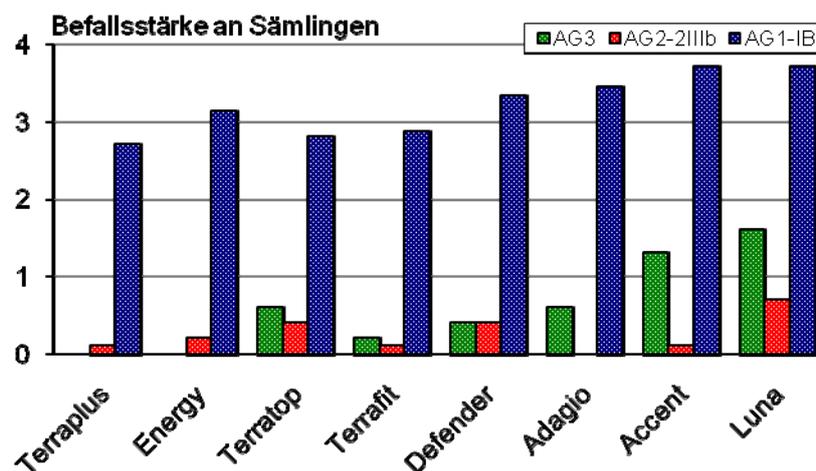


Abb. 1. Befallsstärke an Sämlingen verschiedener Kruziferensorten nach Inokulation mit *Rhizoctonia solani* AG3, AG2-2IIIb und AG1-IB nach einer Inkubationszeit von acht Tagen bei 20°C *in vitro*.

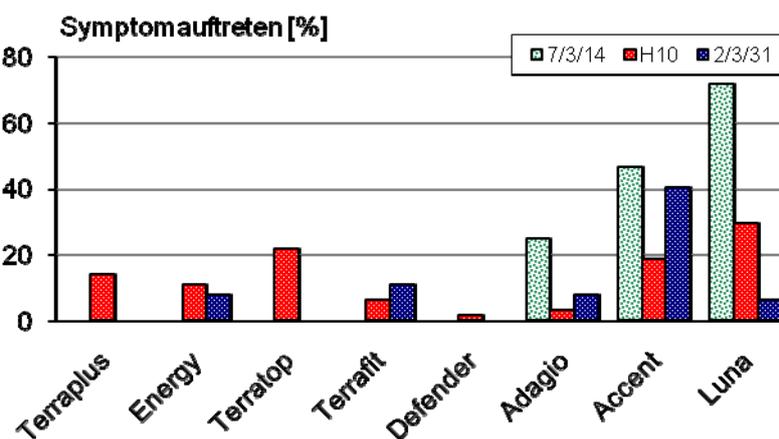


Abb. 2. Symptomaufreten an verschiedenen Kruziferensorten vier Wochen nach Inokulation mit *Rhizoctonia solani* AG1-IB (Isolate: 7/3/14, H10, 2/3/31) unter Gewächshausbedingungen (20/15°C Tag/Nacht).

In vivo waren in alle Kontrollvarianten (ohne Pathogeninokulation) keine Symptome zu verzeichnen. In den Pathogenvarianten konnten in Abhängigkeit von dem AG1-IB Isolat und der

Kruziferensorte leichte Nekrosen an der Stängelbasis beobachtet werden. So zeigten sich die Sorten `Adagio`, `Accent` und insbesondere `Luna` empfindlich gegenüber dem Isolat 7/3/14, während bei allen Sareptasensorten und dem Ölrettich `Defender` keine Symptome durch dieses Isolat verursacht wurden. Mit Ausnahme der Gelbsensensorten traten vier Wochen nach Inokulation mit *R. solani* an den Kruziferensorten Symptome nur zu einem geringen Prozentsatz auf (Abb. 2). In den Varianten `Accent` und `Luna` führte die Inokulation mit *R. solani* AG 1-IB zu einem Symptomaufreten von ca. 35 % bei beiden Sorten.

Aus den Ergebnissen kann jedoch nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die untersuchten Kruziferenarten, bei denen Symptome durch *R. solani* zu beobachten waren, nicht als Biofumigantien geeignet sind. Denkbar ist z.B., dass diese gegenüber *R. solani* mehr empfindlichen Sorten die Dauerorgane des Erregers zum Keimen anregen und bei Einarbeitung des Pflanzenmaterials als Biofumigat sogar effektiver auf die Dauerorgane (Sklerotien) wirken.

1.4 Krankheitsunterdrückende Wirkung der Biofumigantien im Gefäßversuch

Die krankheitsunterdrückende Wirkung der Biofumigantien wurde im Gefäßversuch an Salat nach Inokulation mit dem Erreger *R. solani* AG 1-IB geprüft. In das mit Myzel von *R. solani* durchwachsene Substrat wurde zerkleinertes Pflanzenmaterial der Brassica-Arten oder von Salat (unbehandelte Kontrolle und Pathogenkontrolle) eingearbeitet und für zwei Wochen bei 25° C inkubiert. Anschließend erfolgte die Pflanzung der Salatjungpflanzen (cv. Tizian) im 1-2-Blattstadium in die entsprechenden Versuchsgefäße (1 Pflanze pro Topf, 10x10x10 cm). Die krankheitsunterdrückende Wirkung der Biofumigat wurde nach einer Kulturdauer von vier Wochen (nach der Pflanzung) bei 22/15° C anhand der Trockenmasse von Salat ermittelt. Die Wirkung der Biofumigantien wurde in Abhängigkeit von der applizierten Frischmasse der Brassica-Arten (4 und 8 g entspricht 4 kg/m² und 8 kg/m²) untersucht.

Durch den Erreger *R. solani* wurde das Wachstum von Salat signifikant (Dunnett-Test $P = 0,1$) um 30 bis 35 % in der Pathogenkontrolle im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle reduziert (Tab. 4). In den drei durchgeführten Versuchen waren in den Biofumigations-Varianten, inokuliert mit dem Erreger *R. solani*, höhere Trockenmassen von Salat im Vergleich zur Pathogenkontrolle (*R. solani*) zu beobachten. Nach Einarbeitung von 4 g Biofumigat war jedoch nur in der Variante `Energy` eine der unbehandelten Kontrolle vergleichbare Biomasse bzw. eine signifikant erhöhte Trockenmasse im Vergleich zur Pathogenkontrolle gegeben. In den übrigen Biofumigations-Varianten war die Biomasse von Salat im Vergleich zur Pathogenkontrolle um 12 bis 23 % erhöht nach Applikation von 4 g Biofumigat. Nach Einarbeitung von 8 g Biofumigat war, mit Ausnahme der Sorte `Accent` (Versuch 1 und 2) und `Terraplus` (Versuch 2), das Wachstum von Salat im Vergleich zur Pathogenkontrolle in beiden Versuchen signifikant verbessert (Tab. 3). Im Versuch 1 war bei den Sareptasensor-

ten 'Terraplus', 'Energy' und 'Terratop' sogar eine im Vergleich zur Kontrolle signifikant erhöhte Biomasse zu verzeichnen.

In den Versuchen 1 und 2 war die Befallshäufigkeit (BH) in allen Biofumigations-Varianten im Vergleich zur Pathogenkontrolle nur leicht vermindert (Tab. 3). Die BH von Salat mit *R. solani* variierte in den Varianten der einzelnen Versuche.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Infektion des Salates mit *R. solani* durch die Biofumigation nicht verhindert, die Krankheitsentwicklung jedoch verzögert werden konnte. Die Biofumigationswirkung war deutlich von der eingearbeiteten Menge an Biofumigat beeinflusst. Schwankungen in den Ergebnisse, bei Vergleich von wiederholt und in gleicher Weise durchgeführten Versuchen, können durch variierende Glukosinolatmengen bedingt sein. In allen Varianten (einschließlich der Kontrollvarianten) wurde die gleiche Masse an organischem Pflanzenmaterial eingearbeitet, um daraus bedingte Wachstumseffekte auf den Salat auszuschließen. Daher ist davon auszugehen, dass die in den Biofumigations-Varianten beobachteten Effekte auf das Wachstum von Salat auf die Biofumigationswirkung (Unterdrückung der Erreger- bzw. Krankheitsentwicklung) zurückzuführen sind.

Tabelle 3. Wirkung der Biofumigantien gegen *R. solani* an Salat 'Tizian' in Abhängigkeit von der eingearbeiteten Biofumigatmenge (4 kg/m² und 8 kg/m²), ermittelt anhand der Trockenmasse (TM) und der Befallshäufigkeit (BH) nach einer Kulturdauer von vier Wochen bei 22/15°C (Tag/Nacht).

Sorte	4 kg/m ² TM [%]	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 1	Versuch 2
		8 kg/m ² TM [%]	8 kg/m ² TM [%]	8 kg/m ² BH [%]	8 kg/m ² BH [%]
Kontrolle	100 a	100 a	100 a	0	0
<i>R. solani</i> (R.s.)	71 b	75 b	56 b	67 a	80 a
Terraplus + R.s.	83 ab	141 c	84 ab	33 a	60 a
Energy + R.s.	98 a	143 c	101 a	58 a	80 a
Terratop + R.s.	93 ab	144 c	105 a	25 a	75 a
Terrafit + R.s.	83 ab	120 a	111 a	75 a	60 a
Defender + R.s.	83 ab	116 a	97 a	67 a	45 a
Adagio + R.s.	88 ab	114 a	106 a	75 a	55 a
Accent + R.s.	93 ab	87 ab	82 ab	25 a	75 a

Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant nach dem Dunnett-Test ($P = 0,1$) im Vergleich zur Kontrolle und Pathogenkontrolle.

1.5 Einfluss der Biofumigation auf das Krankheitsauftreten im Feld

Salat/Rhizoctonia solani: Zur Einschätzung der Biofumigationswirkung verschiedener Brassica-Sorten auf *R. solani* (Tab. 1) unter Feldbedingungen wurden 2009 und 2010 Versuche auf den Standorten des IGZ in Großbeeren (Abb. 3) und Golzow 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 (Großbeeren: 30 m x 1,80 m; Golzow: 18 m x 1,50 m) in 6 bzw. 5 Reihen (Reihenabstand 30 cm) ausgesät. Als Kontrollvariante dienten brach liegende Parzellen. Jede Variante umfasste drei randomisiert verteilte Wiederholungen bzw. Parzellen auf der jeweiligen Versuchsfläche. Vor der Aussaat erfolgte eine Düngung der Flächen mit 80 kg/ha Stickstoff und 60 kg/ha Patentkalk. Die Brassica-Arten wurden mittels Umkehrfräse zum Zeitpunkt der Blüte in den Boden eingearbeitet. Vor der Einarbeitung in den Boden wurde die Frischmasse (FM/m²) der Brassica-Arten aus jeder Wiederholung ermittelt und Proben zur Bestimmung des Glukosinolatgehaltes entnommen. Zehn Tage bis zwei Wochen nach der Einarbeitung der Brassica-Sorten wurde die Wirtspflanze Salat (cv. Tizian) im 2-3-Blattstadium auf den entsprechenden Versuchsflächen per Hand gepflanzt. Vor der Pflanzung wurden die Flächen nochmals mit 50 kg/ha Stickstoff gedüngt. Unmittelbar nach der Pflanzung wurde der Salat künstlich begregnet und während der Kultur nach dem Software-Programm 'BEREST', welches die natürlichen Niederschläge und den Bodentyp berücksichtigt. 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). Aus jeder Wiederholung wurden 96 Pflanzen aus 6 Kernparzellen mit jeweils 16 Pflanzen ausgewertet.

In der Saison 2009 wurde die Biofumigationswirkung von allen in Tabelle 1 aufgeführten Brassica-Arten geprüft, während 2010 die Brassica-Sorten 'Energy', 'Defender' und 'Adagio' auf den gleichen Versuchsparzellen von 2009 wiederholt angebaut wurden. Um die Biofumigationswirkung besser einschätzen zu können, wurde zusätzlich eine Kontrollvariante mit Phacelia in die Untersuchungen einbezogen. Desweiteren wurde die Einarbeitungsweise der Biofumigate in den Boden variiert, indem auf der einen Hälfte der Parzellen die Biofumigate unmittelbar eingearbeitet (UE) und auf der anderen Hälfte vor der Einarbeitung für eine Woche auf der Bodenoberfläche belassen (EW) wurden.

Zum Zeitpunkt der Einarbeitung der Biofumigantien wurde die Biomasse der einzelnen Sorten auf beiden Versuchsstandorten ermittelt. Im Versuchsjahr 2009 wurde die höchste durchschnittliche Biomasse von den Sorten 'Defender' (5,37 kg/m²), 'Adagio' (3,64 kg/m²) und 'Energy' (3,28 kg/m²) erbracht und entsprechend in den Boden eingearbeitet. Auf dem Standort Großbeeren war 2009 nach einer Kulturdauer von 47 d eine durchschnittlich gerin-

gere Biomasse der Brassica-Sorten im Vergleich zum Standort in Golzow mit einer Kulturdauer von 40 d gegeben. Im Versuchsjahr 2010 benötigten die Brassica-Sorten bis zur Blüte eine Kulturdauer von 61 d (Großbeeren) bzw. 69 d (Golzow). In Golzow war, mit Ausnahme der Sorte 'Energy', ebenfalls eine höhere Biomasse der Sorten 'Defender' und 'Adagio' zu verzeichnen.



Abb. 3: Einarbeitung der Biofumigantien (links) und Anbau der nachfolgenden Wirtspflanze Salat (rechts) auf dem Versuchsstandort Großbeeren.

Versuchsjahr 2009

Sowohl auf die Trockenmasse von Salat als auch auf die Befallsstärke (BS), verursacht durch den Salatfäuleerreger, war ein Einfluss der Biofumigantien zu beobachten (Abb. 4). Auf beiden Versuchsstandorten war die Trockenmasse von Salat signifikant in den Varianten mit den Sorten 'Energy' und 'Adagio' erhöht ($P = 0,1$). Die Trockenmasse von Salat war außerdem signifikant beeinflusst in den Varianten mit 'Terrafit' in Golzow und 'Defender' in Großbeeren (Abb. 4A).

Die BS der Salatfäule war in allen Biofumigations-Varianten signifikant ($P < 0,05$) im Vergleich zur Kontrolle ohne Biofumigation auf beiden Standorten reduziert (Abb. 4B). Zwischen den Biofumigations-Varianten waren keine Unterschiede in der BS zu verzeichnen.

Versuchsjahr 2010

Im Vergleich zur Kontrolle „Brache“ (Großbeeren: TM Salat 24,8 g/Pflanze; Golzow: TM Salat 25,0 g/Pflanze) war durch den Anbau von Phacelia Großbeeren: TM Salat 28,6 g/Pflanze; Golzow: TM Salat 25,8 g/Pflanze) als Vorkultur kein signifikanter Einfluss auf die Biomasse von Salat zu verzeichnen ($P = 0,1$, Dunnett-Test). Die Einarbeitungsweise der Biofumigantien hatte auf beiden Standorten keinen Einfluss auf die nachfolgend angebaute Biomasse von Salat ($P = 0,073$ Großbeeren, $P = 0,56$ Golzow, Fischer's F-Test). Desweiteren zeigte

die statistische Analyse, dass keine Wechselwirkung zwischen Einarbeitungsweise und den Brassica-Sorten einschließlich der Variante mit Phacelia gegeben war ($P = 0,84$ Großbeeren, $P = 0,82$ Golzow, Fischer's F-Test). Die Trockenmasse (TM) von Salat war jedoch in den Varianten mit der Vorkultur 'Energy', 'Defender' und 'Adagio' im Vergleich zur Variante mit der Vorkultur Phacelia auf beiden Standorten signifikant erhöht ($P = 0,1$, Dunnett-Test) (Abb. 5).

Tabelle 4. Untersuchte Brassica-Sorten für die Biofumigation und eingearbeitete Biomasse auf den Versuchsstandorten Großbeeren (GB) und Golzow (OB)

Sorte	Biomasse GB/09 [kg/m ²]	Biomasse OB/09 [kg/m ²]	Biomasse GB/10 [kg/m ²]	Biomasse OB/10 [kg/m ²]
Kontrolle Phacelia	-	-	3,08	2,69
Terraplus	2,84	3,57	-	-
Energy	2,32	4,25	5,67	4,45
Defender	5,08	5,67	5,13	6,97
Terratop	2,42	4,08	-	-
Adagio	3,96	3,33	3,44	7,52
Terrafit	2,24	2,78	-	-
Accent	2,73	2,92	-	-
Luna	1,91	2,87	-	-

Auch in der Befallsstärke (BS) der Salatfäule zur Ernte war kein signifikanter Unterschied in den Kontrollvarianten „Brache“ (Großbeeren: DS 6,3; Golzow: BS 4,4) und Phacelia (Großbeeren: BS 6,4; Golzow: BS 4,2) zu beobachten. Bedingt durch die höhere durchschnittlich gegebene Temperatur (GB 21,3°C; OB 18,7°C) war auf dem Standort Großbeeren im Vergleich zum Standort in Golzow im Durchschnitt der Kontrollvarianten eine relativ hohe BS gegeben. In beiden Feldversuchen war jedoch in allen Biofumigationsvarianten die BS im Vergleich zur Kontrolle Phacelia signifikant reduziert, unabhängig von der Einarbeitungsweise der Biofumigantien ($P < 0,05$, Kruskal-Wallis Test) (Abb. 6).

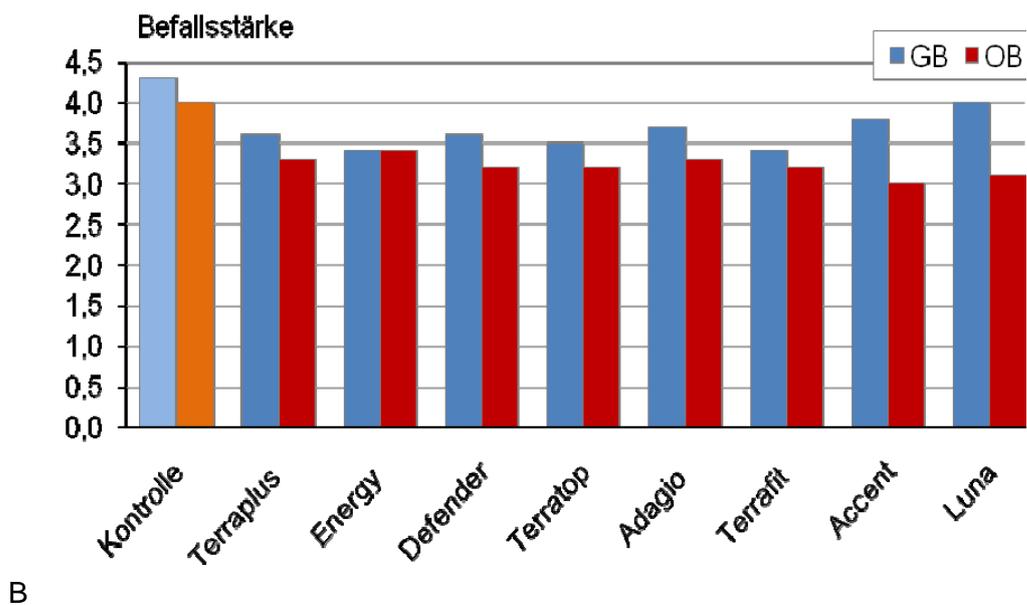
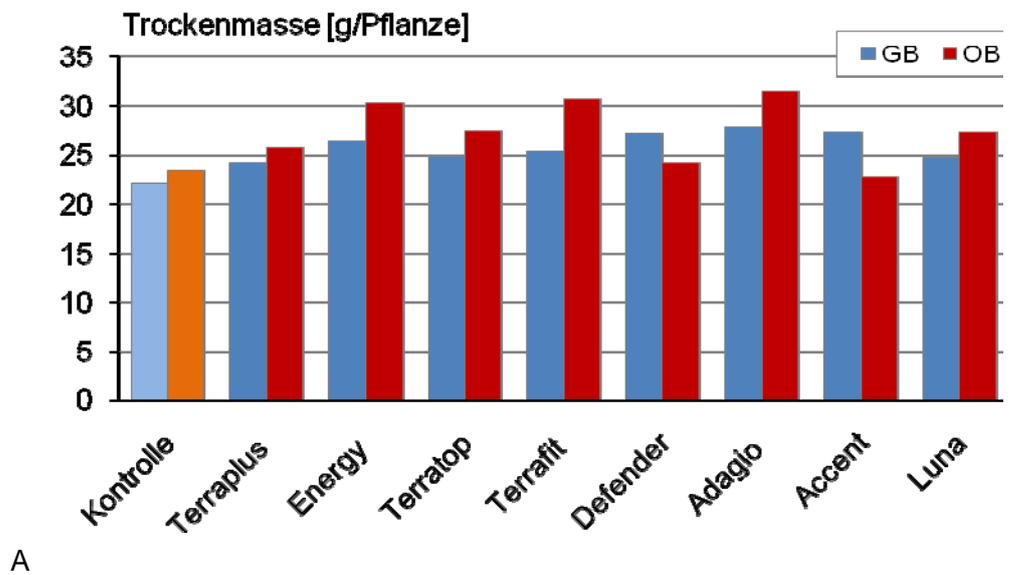


Abb. 4. Einfluss der Vorkultur (Biofumigat) auf die Trockenmasse (A) von Salat (cv. Tizian) und Befallsstärke (B) von *R. solani* auf den Versuchsstandorten Großbeeren (GB) und Golzow (OB) nach einer Kulturdauer von 5-6 Wochen.

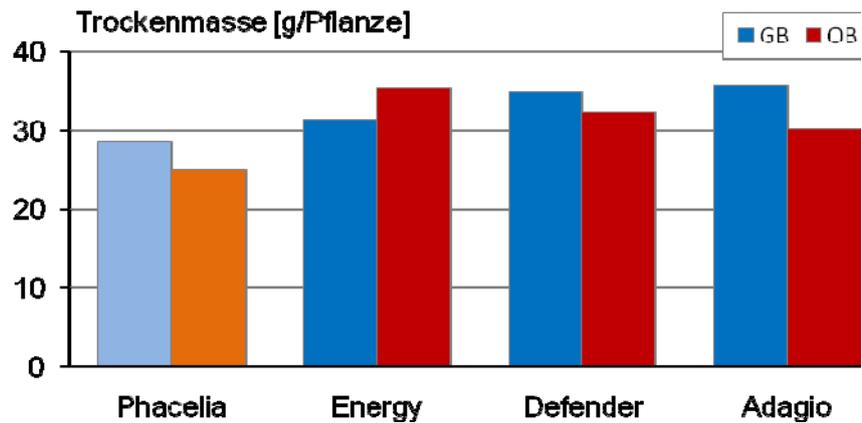


Abb. 5. Einfluss der Vorkultur (Biofumigat) auf die Trockenmasse von Salat (cv. Tizian) auf den Standorten Großbeeren (GB) und Golzow (OB) nach einer Kulturdauer von 6-7 Wochen.

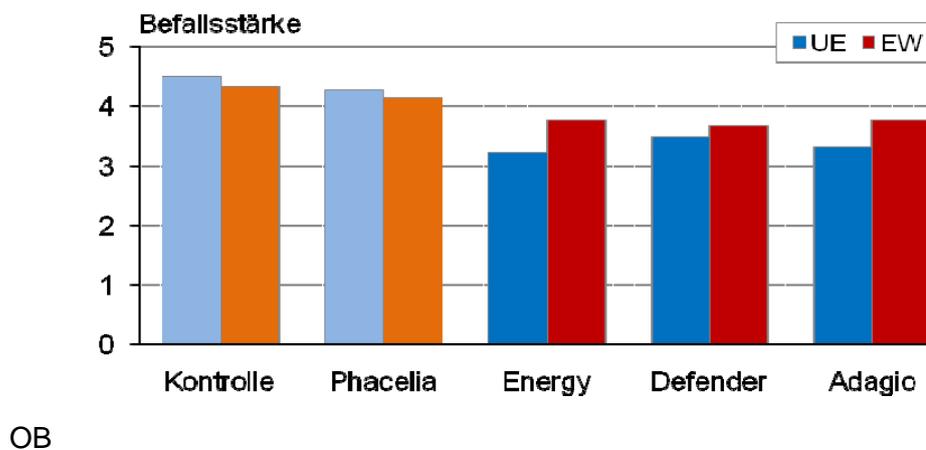
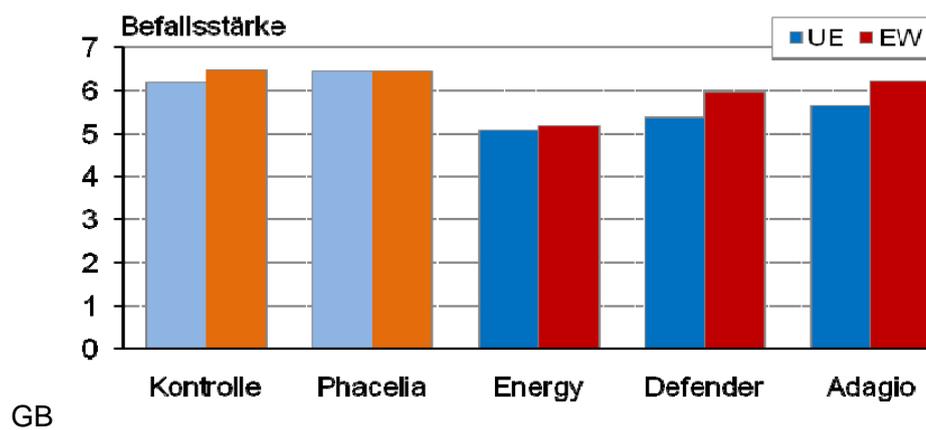


Abb. 6. Einfluss der Vorkultur (Biofumigat) auf die Befallsstärke von Salat (cv. Tizian) auf den Standorten Großbeeren (GB) und Golzow (OB) nach einer Kulturdauer von 6-7 Wochen.

Bohne/Sclerotinia sclerotiorum: Auf dem Versuchsstandort in Golzow stand ebenfalls eine natürlicherweise mit dem Erreger *Sclerotinia sclerotiorum* infizierte Fläche (ca. 100 m x 25 m) zur Verfügung, auf der die Biofumigations-Wirkung der in Tabelle 1 aufgeführten Brassica-Sorten gegen *S. sclerotiorum* an Bohne geprüft wurde. Die Brassica-Sorten wurden in dreifacher Wiederholung auf Parzellen (1,50 m x 20 m) ausgesät und zur Blüte in den Boden eingearbeitet. Zwei Wochen nach der Einarbeitung der Brassicaceen erfolgte die Aussaat der Bohnen (cv. Paulista). Nach einer Kulturdauer von acht Wochen wurde der Befall mit *S. sclerotiorum* bonitiert und die Trockenmasse der Bohnen ermittelt.

Durch die Einarbeitung der Biofumigantien war kein Einfluss auf den Auflauf der Bohnen zu beobachten. Zu Versuchsende war in allen Biofumigationsvarianten eine durchschnittlich höhere Trockenmasse der Bohne gegeben, die sich in den Varianten mit der Sorte `Energy`, `Terratop`, `Accent` und `Luna` signifikant (Dunnett-Test, $P = 0,05$) von der Kontrollvariante unterschied (Abb. 7). In allen Biofumigationsvarianten war eine signifikant ($P = 0,05$) geringere Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Bohne mit *S. sclerotiorum* im Vergleich zur Kontrolle zu verzeichnen (Abb. 7). Während in der Kontrollvariante eine Befallshäufigkeit der Bohnen mit *S. sclerotiorum* von 31 % ermittelt wurde, war in den Biofumigationsvarianten eine Befallshäufigkeit von ca. 2 % (`Energy`) bis 14 % (`Adagio`, `Terrafit`) gegeben.

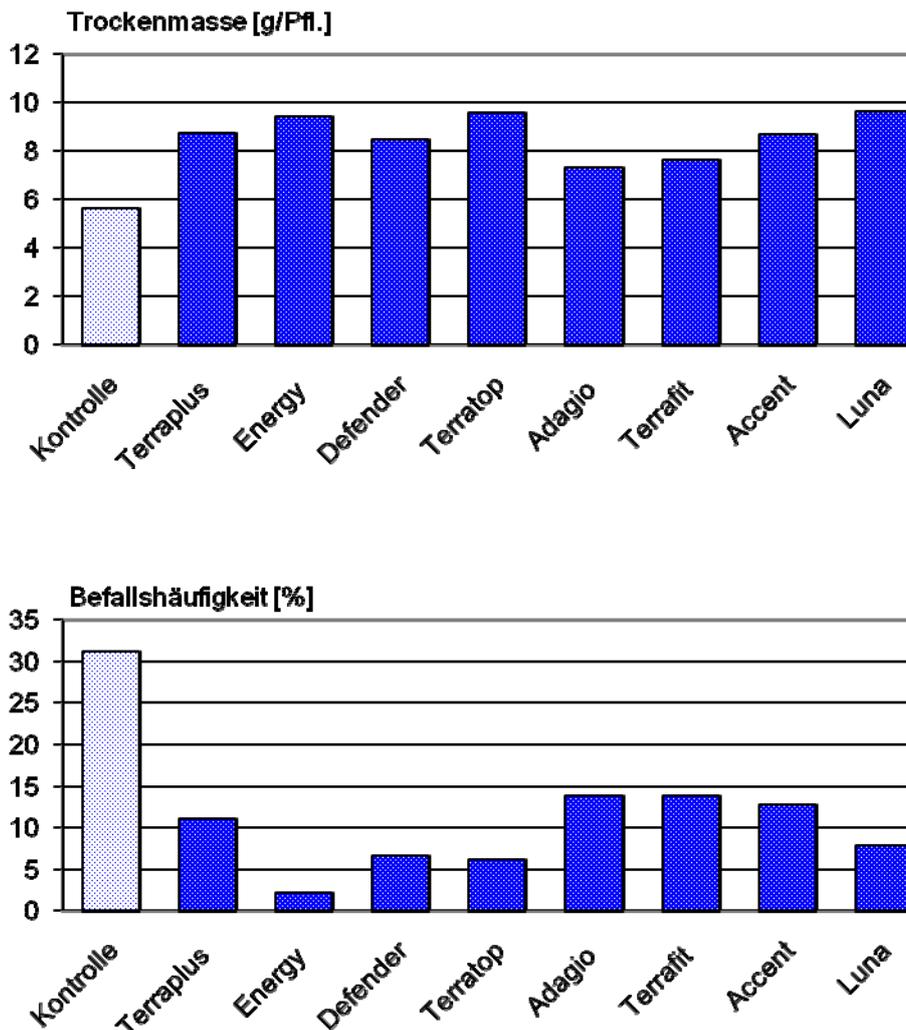


Abb. 7. Trockenmasse der Bohne (cv. Paulista) sowie Befallsstärke mit *S. sclerotiorum* in Abhängigkeit von der eingearbeiteten Vorkultur (Biofumigat) auf dem Versuchsstandort Golzow nach einer Kulturdauer von neun Wochen.

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 bzw. die Befallshäufigkeit von *S. sclerotiorum* an der Bohne in allen Varianten vergleichbar reduziert. Neben einer Verminderung der Aktivität von *R. solani* und *S. sclerotiorum* sind auch andere Effekte, wie Erhöhung der Pflanzengesundheit durch verbesserte Nährstoffverfügbarkeit oder eine erhöhte mikrobielle Aktivität und eine damit verbundene gewisse suppressive Wirkung gegen bodenbürtige Pathogene denkbar. Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch, dass Biofumigation als Teil des Pflanzenschutzmanagements gegen bodenbürtige 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.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die projektbezogenen Ausgaben sind dem Verwendungsnachweis VNZA sowie der Belegliste zu entnehmen.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten hatten das Ziel, zu klären, ob direkte Effekte der Biofumigantien insbesondere auf den bodenbürtigen Erreger *R. solani* nachweisbar sind. Zur Klärung dieser Fragen waren die durchgeführten *in vitro* und *in vivo* Untersuchungen erforderlich und ihrem Umfang angemessen. Jedoch waren insbesondere die Feldversuche nicht allein durch die bewilligten Personalmittel sicherzustellen. Die Feldversuche wurden am IGZ in Anlehnung an die praxisübliche Vorgehensweise bzw. Kultivierungsweise angelegt. Der Anbau von Biofumigantien als Zwischenfrucht ist insbesondere auf die Unterdrückung des bodenbürtigen Erregerinokulums gerichtet. Der quantitative Nachweis z.B. einer Reduzierung des Bodeninokulums war im Rahmen des Projektes nicht möglich, doch konnte gezeigt werden, dass durch den Anbau von Biofumigantien die Befallsstärke durch *R. solani* an der Wirtspflanze reduziert werden kann. Der Praxis kann die Biofumigation als ein Kompartiment des Krankheitsmanagements gegen bodenbürtige pilzliche Erreger empfohlen werden, die es jedoch im weiteren zu optimieren gilt (z.B. durch Schaffung einer ausreichenden Bodenfeuchte nach Einarbeitung der Biofumigantien, Steigerung der Glukosinolatgehalte durch optimierte N- und S-Düngung, möglichst feine Zerkleinerung des Pflanzenbestandes).

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Kurz- und mittelfristig werden die Erfolgsaussichten als hoch eingestuft, da aufgrund weltweit zunehmender Verbote bzw. Einschränkungen beim Einsatz von Bodenbegasungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln alternative Bekämpfungsverfahren für bodenbürtige Schaderreger dringend erforderlich sind. Dies zeigt auch das hohe Interesse der Anwender an der Biofumigation. International ergeben sich neue Absatzmärkte für die Biofumigation u. a. in Regionen, in denen bisher chemischer Pflanzenschutz durchgeführt wurde (z. B. USA, Kanada). Darüber hinaus bietet die Biofumigation weitere Vorteile. Aufgrund der kürzeren Standzeit gegenüber einer herkömmlichen Zwischenfrucht wird mit der Biofumigation ein Zwischenfruchtanbau z. B. auch in den Getreidefruchtfolgen Norddeutschlands möglich (Flächenpotential ca. 500.000 ha), wo sie angesichts zunehmender Probleme mit pflanzenparasitären Nematoden und Fußkrankheiten eine zusätzliche Bekämpfungsmöglichkeit darstellt. Weitere Einsatzgebiete national sind Fruchtfolgen mit Zuckerrüben und Mais in Mittel- und Süd-

deutschland mit zunehmenden *Rhizoctonia*- und Nematodenproblemen (Flächenpotential rund 50.000 ha), ökologischer Landbau (Flächenpotential ca. 200.000 ha), Spezialkulturen wie Gemüseanbau und Baumschulen (Flächenpotential rund 50.000 ha) sowie der Unter-
glas-Anbau.

5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Neben der klassischen Einarbeitung von frischem Pflanzenmaterial stehen heute Pellets (BioFence, Fa. Triumph Italia) aus getrockneten Kreuzblütlern bzw. fein vermahlene Samen von Sareptasenf zur Verfügung. Ein Vorteil von Pellets bzw. Saatmehl ist, dass die Zeit zur Kultivierung der Zwischenfrüchte entfällt, womit auch im Gewächshaus eine Biofumigation möglich ist. Entsprechende Versuche hierzu wurden u. a. an der Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, in Wädenswil, Schweiz sowie der Faculty of Agricultural Sciences, Dept. of Horticulture, Aarhus University, Aarslev, Dänemark, durchgeführt. Desweiteren laufen verschiedene Versuche zur Biofumigation in Italien (Giovanna Curto, Sezione di Nematologia del Servizio Fitosanitario Regione Emilia-Romagna). Mit den Ansprechpartnern der jeweiligen Arbeitsgruppen besteht ein enger wissenschaftlicher Austausch. In den Niederlanden läuft am PPO in Lelystad ein Forschungsvorhaben zur Biofumigation. Ergebnisse dieses Projektes wurden unter anderem am 20. Mai 2008 beim 60th International Symposium on Crop Protection in Gent („Evaluation of biofumigation crops in the control of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae*“) sowie auf dem 2^e Nationale Bodemgesondheidsdag am 10. September 2008 in Vredepeel, NL, vorgestellt. Schwerpunkte und Methodik des niederländischen Projektes ergänzten den eigenen Versuchsansatz.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben wurden auf verschiedenen Tagungen vorgestellt bzw. in diversen Fachzeitschriften veröffentlicht:

- Daub, M., Schlathölter, M., Schütze, M., Grosch, R., Hallmann, J. 2008. Effect of biofumigation on population dynamics of *Pratylenchus* spp. 5th International Congress of Nematology, 13.-18. Juli, Brisbane, AUS, 278.
- Daub, M., Schlathölter, M., Schütze, M., Grosch, R., Hallmann, J. 2008. Effect of biofumigation on different plant-parasitic nematodes. 3rd International Biofumigation Symposium, 21.-25. Juli, Canberra, AUS, 46.
- Daub, M., Schlathölter, M., Schütze, M., Grosch, R., Hallmann, J. 2008. Development of biofumigation as a non chemical control method against plant-parasitic nematodes and soil-borne diseases in temperate climates. 3rd International Biofumigation Symposium, 21.-25. Juli, Canberra, AUS, 24.
- Daub, M., Grosch, R., Hallmann, J., Schlathölter, M., Schütze, M. 2008. Optimizing biofumigation varieties and blends for non chemical control method against plant-parasitic nematodes and soil-borne diseases in temperate climates. 3rd International Biofumigation Symposium, 21.-25. Juli, Canberra, AUS, 55.
- Daub, M., Hallmann, J., Schlathölter, M., Schütze, M., Grosch, R. 2008. Optimierung der Biofumigation zur nicht-chemischen Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger – Ergebnisse und Erfahrungen aus der ersten Projektphase. *Matt. a. d. Julius Kühn-Institut*, H. 417: 217-218.

- Daub, M., Hallmann, J., Schlathöler, M., Schütze, W., Grosch, R. 2010. Biofumigation zur biologischen Bekämpfung von pflanzenparasitären Nematoden. *Journal für Kulturpflanzen* 62: 353.
- Hallmann, J., Schlathöler, M., Grosch, R., Schütze, W., Daub, M. 2008. Optimierung der Biofumigation zur nicht-chemischen Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger. *Innovationstage*, 15.-16. Mai 2008, Bonn, 20-21.
- Daub, M., Schlathöler, M., Grosch, R., Schütze, W., Hallmann, J. 2010. Chances and limitations of biofumigation to control plant-parasitic nematodes under temperate climate conditions. *Proceedings of the 30th International Symposium of the European Society of Nematologists*, Vienna, Sept. 19-23, 2010, 38.
- Grosch, R., Schlathöler, M., Schütze, W., Daub, M., Hallmann, J. 2010. Biofumigation – ein Baustein des integrierten Pflanzenschutzes von pilzlichen bodenbürtigen Erregern? *Julius Kühn-Archiv* 428: 284.
- Hallmann, J., Dahlin, P., Daub, M., Schlathöler, M., Schütze, W., Grosch, R. 2008. Untersuchungen zur Biofumigation in Deutschland. *Nachrichtenblatt des Dt. Pflanzenschutzdienstes* 60: 141.
- Hallmann, J., Daub, M., Schlathöler, M., Schütze, W., Grosch, R. 2008. Einfluss der Biofumigation auf die Abundanzdynamik von *Pratylenchus* spp. *Mitt. a. d. Julius Kühn-Institut*, H. 417: 389.
- Hallmann, J., Daub, M., Schütze, M., Schlathöler, M., Buck, H., Rau, F., Grosch, R. 2009. Biofumigation gegen pflanzenparasitäre Nematoden: Chancen und Grenzen. *Journal für Kulturpflanzen* 61: 262.
- Hallmann, J., Buck, H., Rau, F., Daub, M., Schütze, W., Grosch, R., Schlathöler, M. 2009. Chancen und Grenzen der Biofumigation für die Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden. In: Mayer, J., Alföldi, T., Leiber, F., Dubois, D., Freid, P., Heckendorn, F., Hillmann, E., Klocke, P., Lüscher, A., Riedel, S., Stolze, M., Strasser, F., van der Heijden, M. und Willer, H. (Hrsg.). *Werte – Wege – Wirkungen*, Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. 11.-13.02.2009, Zürich, 366-369.
- Hallmann, J., Daub, M., Schlathöler, M., Schütze, W., Grosch, R. 2010. Mit Biofumigation pflanzenparasitäre Nematoden bekämpfen? *Julius Kühn-Archiv* 428: 414.
- Schütze, W., Daub, M., Grosch, R., Hallmann, J., Schlathöler, M. 2008. Biofumigation – Eine Möglichkeit des biologischen Pflanzenschutzes. *Mitt. a. d. Julius Kühn-Institut*, H. 417: 421-422.
- Schütze, W., Daub, M., Grosch, R., Hallmann, J., Schlathöler, M. 2010. Optimierung der Biofumigation – ein Beitrag der Analytik zum biologischen Pflanzenschutz. *Julius Kühn-Archiv* 428: 434.
- Hallmann, J., Keßler, J., Grosch, R., Schlathöler, M., Rau, F., Schütze, W., Daub, M. 2010. Biofumigation als Pflanzenschutzverfahren: Chancen und Grenzen. *Beiträge des Fachgespräches vom 5. Mai 2010 in Bonn-Roleber*. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut*, Heft 155, 103 Seiten (im Druck).

III. Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms

A) Allgemeine Ziele

1. Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit: Durch Bereitstellung von Sorten für die Biofumigation konnte der Zwischenfrucht-Spezialist P.H. Petersen Saatzucht GmbH & Co. KG die Produktpalette um eine wichtige Komponente erweitern. Dies stärkte die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.
2. Stärkung der wirtschaftlichen Innovationskraft: Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden zahlreiche neue Pflanzenherkünfte aus der Genbank Gatersleben hinsichtlich ihrer Biofumigationswirkung getestet (siehe Schlussbericht P.H. Petersen Saatzucht). Basierend auf diesem Material konnte die Züchtung intensiviert bzw. gestärkt werden. Weiterhin wurde vorhandenes Pflanzenmaterial hinsichtlich biofumigationsrelevanter Inhaltsstoffe weiter gezüchtet. Mit entsprechend verbesserten Sorten ist in naher Zukunft zu rechnen.
3. Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen: Durch das Forschungsvorhaben ist die Nachfrage nach Saatgut für die Biofumigation deutlich gestiegen. Dadurch konnten vorhandene Arbeitsplätze bei der KMU gesichert werden. Für die Schaffung neuer Arbeitsplätze ist der Markt derzeit aber noch zu klein.
4. Schonung natürlicher Ressourcen: Durch Einsatz der Biofumigation werden das Bodenleben und die Bodengesundheit gefördert. Über einen reduzierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln werden die natürlichen Ressourcen (antagonistisches Potential im Boden, Biodiversität etc) geschont. Eine Störung der natürlichen Ressourcen durch die Biofumigation ist derzeit nicht erkennbar. Bei der Biofumigation wird das Pflanzenmaterial vor der Einarbeitung fein gehäckselt, wodurch die Glukosinolate zu Isothiocyanaten abgebaut werden. Über die Umweltwirkung der Isothiocyanate auf das Bodenleben ist bisher nur 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). Die physikochemischen und biologischen Eigenschaften der ITCs bestimmen deren unterdrückende Wirkung gegenüber pilzlichen Pathogenen (Manici et al. 1997). Eine toxische Wirkung gegen pilzliche Pathogene zeigten die ITCs der Glukosinolate Glucoiberin, Glucoerucin, Glucocheirolin und Glucotropaelin *in vitro*. Erreger wie *P. irregulare* und *R. solani* zeigten in bisherigen Untersuchungen eine sehr hohe Sensitivität gegenüber den ITCs (Manici et al. 1997). Inwieweit diese Effekte im natürlichen Boden auftreten, bedarf weiterer Untersuchungen. Insgesamt überwiegen jedoch die

positiven Aspekte der Biofumigation deutlich. Zumindest wurden aus der landwirtschaftlichen Praxis seit Anwendung der Biofumigationstechnik Mitte der 1990er Jahre bisher keine negativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt berichtet.

5. Verbesserung der Arbeitsbedingungen: Dieser Aspekt war nur indirekt relevant. Durch Einsatz der Biofumigation kann die Anzahl an Pflanzenschutzmittelapplikationen bzw. die Aufwandmenge von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden, so dass sich daraus ein verbesserter Anwenderschutz bzw. verbesserte Arbeitsbedingungen für den Landwirt ergeben.

Spezifische Ziele im Rahmen der Züchtung von Kulturpflanzen

1. Mit Pflanzen neue Märkte erschließen: Der Einsatz von Kruziferen zur Biofumigation stellt einen neuen Markt dar, der innerhalb der Projektlaufzeit national wie auch international (z. B. USA) weiter erschlossen werden konnte.
2. Die Qualität zu verbessern und den Anteil erwünschter Inhaltsstoffe zu erhöhen: Die Gehalte an Glukosinolaten bzw. Myrosinase konnte im Zuchtmaterial weiter optimiert werden.
3. Den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren: Die Biofumigation trägt zu einer verbesserten Bodengesundheit und einer Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger bei. Dadurch kann der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden.
4. Den Technologie- und Wissenstransfer umzusetzen: Die entwickelten Erkenntnisse wurden kontinuierlich in die Praxis umgesetzt und von der Praxis auch angenommen. Dies drückte sich u.a. in einer erhöhten Nachfrage an Saatgut für die Biofumigation aus.

Darüber hinaus berücksichtigt das Forschungsvorhaben folgende förderpolitische Ziele der Bundesregierung:

1. Biologische Pflanzenschutzverfahren zu optimieren und neue integrierte Pflanzenschutzverfahren zu erschließen und praktisch zu nutzen,
2. mit Pflanzen (für die Biofumigation) neue Märkte zu erschließen,
3. den Anteil erwünschter Inhaltsstoffe (Glukosinolate) zu erhöhen,
4. den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und
5. den Technologie- und Wissenstransfer umzusetzen.

2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Die Untersuchungen haben sowohl die Chancen, als auch die Grenzen der Biofumigation zur Bekämpfung bodenbürtiger pilzlicher Pathogene aufgezeigt. Die erzielten Ergebnisse zur Wirkung der Biofumigation zeigten, dass eine gewisse unterdrückende Wirkung gegen pilzli-

che Pathogene unter gemäßigten Klimabedingungen zu beobachten ist und bei langfristiger Anwendung eine Senkung des bodenbürtigen Inokulums erwartet werden kann. Das Verfahren bietet jedoch auch weitere Chancen durch:

- 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 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).

Eine sichere Bekämpfung aller bodenbürtigen Schaderreger wird mit der Biofumigation aber auch in Zukunft nicht möglich sein. Weder in Bezug auf Wirkungshöhe, Wirkungsspektrum und Wirkungssicherheit kann die Biofumigation mit einer einmaligen Applikation chemisch-synthetischer Bodenentseuchungsmitteln 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 dargestellt wird. Die Grenzen der Biofumigation zeigen sich insbesondere wie folgt:

- 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.

Zudem wird aus der Praxis 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.

Was aber ist die Ursache für die schwankende Wirkung der Biofumigation? Generell wird die Biofumigation in der Praxis unter völlig verschiedenen Umweltbedingungen und mit verschiedenen methodischen Ansätzen durchgeführt, so dass ein Vergleich der erzielten Ergebnisse, sprich eine Fehlersuche, kaum möglich ist. Aber auch unter vermeintlich idealen Bedingungen wird teilweise keine Wirkung erzielt. Während die Einflussfaktoren der Biofumigation in wärmeren Klimaregionen (Australien, USA, Italien) intensiv untersucht wurden, stehen entsprechende Untersuchungen für die gemäßigten Klimabedingungen noch aus. Dies gilt insbesondere für Untersuchungen zum Einfluss von Bodenfaktoren (pH, organische Substanz, Kalkgehalt), Klimafaktoren (Temperatur, Feuchte) als auch Anbaufaktoren (Sortenwahl, Nährstoffversorgung, Pflanzenaufschluss und Einarbeitung) auf die Wirkung der Biofumigation.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Siehe Schlussbericht des KMU-Partners P.H. Petersen Saatzucht GmbH & Co. KG.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Grundsätzlich konnten für die zu Beginn des Forschungsvorhabens gestellten Fragestellungen Lösungen erarbeitet werden. Andererseits wurden während des Forschungsvorhabens aber auch neue Fragen aufgeworfen, wie zu den Einflussfaktoren der Biofumigation und den Möglichkeiten einer weiteren Optimierung der Biofumigation durch anbautechnische Veränderungen (z. B. Düngung, Saat-/Umbruchzeit, Einarbeitung). Diesbezüglich besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse des Vorhabens sind frei zugänglich. Weitere Informationen sowie Material für Präsentationen werden von den Projektpartnern auf Anfrage gerne zur Verfügung gestellt.

6. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die angestrebten Untersuchungen konnten im verfügbaren Zeit- und Kostenrahmen durchgeführt werden.

Referenzen

- 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 in 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.
- Manici L.M., Lazzeri L., Palmieri S. 1997. In vitro antifungal activity of glucosinolates and their enzyme derived products towards plant pathogenic fungi. *J. Agric. Food Chem.* 45: 2768-2773.
- Smith B. 2001. A complex mode of action for biofumigation? *Horticulture Biofumigation Update* 13: 1.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN ----	2. Berichtsart Schlussbericht
3. Titel Optimierung der Biofumigation zur nicht-chemischen Bekämpfung bodenbürtiger Schaderegner	

<p>3. Autoren</p> <p>Dr. Rita Grosch¹</p> <p>Dr. Johannes Hallmann²</p> <p>Michaela Schlathölder³</p> <p>Dr. Wolfgang Schütze⁴</p> <p>Dr. Matthias Daub⁵</p>	<p>5. Abschlussdatum des Vorhabens</p> <p>30.06.2010</p>
<p>8. Durchführende Institutionen</p> <p>¹Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Theodor Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren</p> <p>²Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik, Toppheideweg 88, 48161 Münster</p> <p>³P. H. Petersen Saatzucht GmbH & Co. KG, Streichmühler Str. 8a, 24977 Grundhof</p> <p>⁴JKI, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg</p> <p>⁵JKI, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Dürener Straße 71, 50189 Elsdorf</p>	<p>6. Veröffentlichungsdatum</p> <p>30.12.2010</p>
<p>12. Fördernde Institution</p> <p>Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)</p> <p>53107 Bonn</p>	<p>7. Form der Publikation</p> <p>Interner Bericht</p>
<p>16. Zusätzliche Angaben</p> <p>-----</p>	<p>9. Ber. Nr. Durchführende Institution</p> <p>----</p>
<p>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</p> <p>----</p>	<p>10. Förderkennzeichen</p> <p>PGI-06.01-28-1-42.020-06</p>
<p>18. Kurzfassung</p> <p>Die Biofumigation ist ein Verfahren zur Bekämpfung bodenbürtiger Schaderreger basierend auf den in Brassicaceen enthaltenen Glukosinolaten. Bei diesem Verfahren werden Kruziferen mit hohen Glukosinolatgehalten angebaut und zum Zeitpunkt der Blüte, wenn die Glukosinolatgehalte am höchsten sind, zerkleinert und in den Boden eingearbeitet. Durch enzymatische Hydrolyse der Glukosinolate entstehen im Boden nematizid und antifungal wirkende Isothiocyanate. In wärmeren Regionen (z. B. USA, Australien, Italien) wird dieses Verfahren bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Über dessen Wirkung auf bodenbürtige pilzliche Pflanzenpathogene in gemäßigten Klimaregionen gibt es bisher aber nur wenige Untersuchungen unter Feldbedingungen.</p>	<p>11. Seitenzahl</p> <p>20</p>
<p>13. Literaturangaben</p> <p>18</p>	<p>14. Tabellen</p> <p>4</p>
<p>15. Abbildungen</p> <p>7</p>	

Im vorliegenden Forschungsvorhaben (Programm zur Innovationsförderung) wurde untersucht, inwieweit die Biofumigation für die Unterdrückung bodenbürtiger Schaderreger im gemäßigten Klima geeignet ist. Ziel war es, (1) an einem vorhandenen Sortiment aussichtsreicher Kruziferenarten und –sorten die Anteil Isothiocyanate-freisetzender Glukosinolate zu bestimmen, (2) durch züchterische Bearbeitung der Glukosinolategehalt in Kruziferenarten und –sorten zu erhöhen, (3) durch Optimierung der Anbaumaßnahmen die Glukosinolat-Menge pro Flächeneinheit zu steigern, (4) das neu gewonnene Wissen an die landwirtschaftliche und gartenbauliche Praxis zu adaptieren und zu transferieren und (5) die Wettbewerbsfähigkeit des beteiligten KMU zu erhöhen.

Im vorliegenden Teilprojekt wurde im Rahmen von Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen die Wirkung der Biofumigation insbesondere auf *R. solani* an Salat untersucht. Die Wirkung der Biofumigantien gegenüber dem Myzel und den Dauerorganen (Sklerotien) von *R. solani* wurde in bioassays *in vitro* ermittelt. In Gefäßversuchen und im Feld wurde die Wirkung eines Sortiments aussichtsreicher Kruziferenarten und –sorten (Sareptasenf, Ölrettich und Weißer Senf) bei Anbau als Biofumigation auf *R. solani* untersucht.

Die Untersuchungen *in vitro* zeigten, dass die geprüften Kruziferenarten und –sorten die Aktivität der Sklerotien und des Myzels von *R. solani* im Boden reduzieren können, wobei der Einfluss auf das Myzel signifikant war. Die Ergebnisse der Gefäßversuche bestätigten die Beobachtungen *in vitro*. Durch die Wirkung der Biofumigantien konnte die Infektion des Salates mit *R. solani* im Gefäßversuch nicht verhindert, die Krankheitsentwicklung jedoch verzögert werden. Die Biofumigationswirkung wurde deutlich von der eingearbeiteten Menge an Biofumigat beeinflusst. Unter Feldbedingungen war eine erhöhte Trockenmasse von Salat insbesondere in den Biofumigations-Varianten mit `Energy`, `Defender` und `Adagio` zu beobachten. Auch unter Feldbedingungen konnte eine Infektion von Salat mit *R. solani* nicht verhindert, die Krankheitsentwicklung jedoch signifikant verzögert werden. Vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der krankheitsunterdrückenden Wirkung wurden unter Feldbedingungen für *Sclerotinia sclerotiorum* an der Bohne erzielt.

Während *in vitro* deutlichere Unterschiede zwischen den Brassica-Sorten zu verzeichnen waren, wurde unter Feldbedingungen die Befallsstärke der Salattfäule 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 bodenbürtige Pathogene denkbar. Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch, dass Biofumigation Teil des Krankheitsmanagements von bodenbürtigen pilzlichen Erregern

sein kann. Bisher wenig untersucht ist die Wirkung eines wiederholten und langjährigen Einsatzes der Biofumigation auf die Krankheitsentwicklung von bodenbürtigen Erregern.

19. Schlagwörter

Biofumigation, bodenbürtige pilzliche Erreger, Glukosinolate, Isothiocyanate

20. Verlag

21. Preis
