

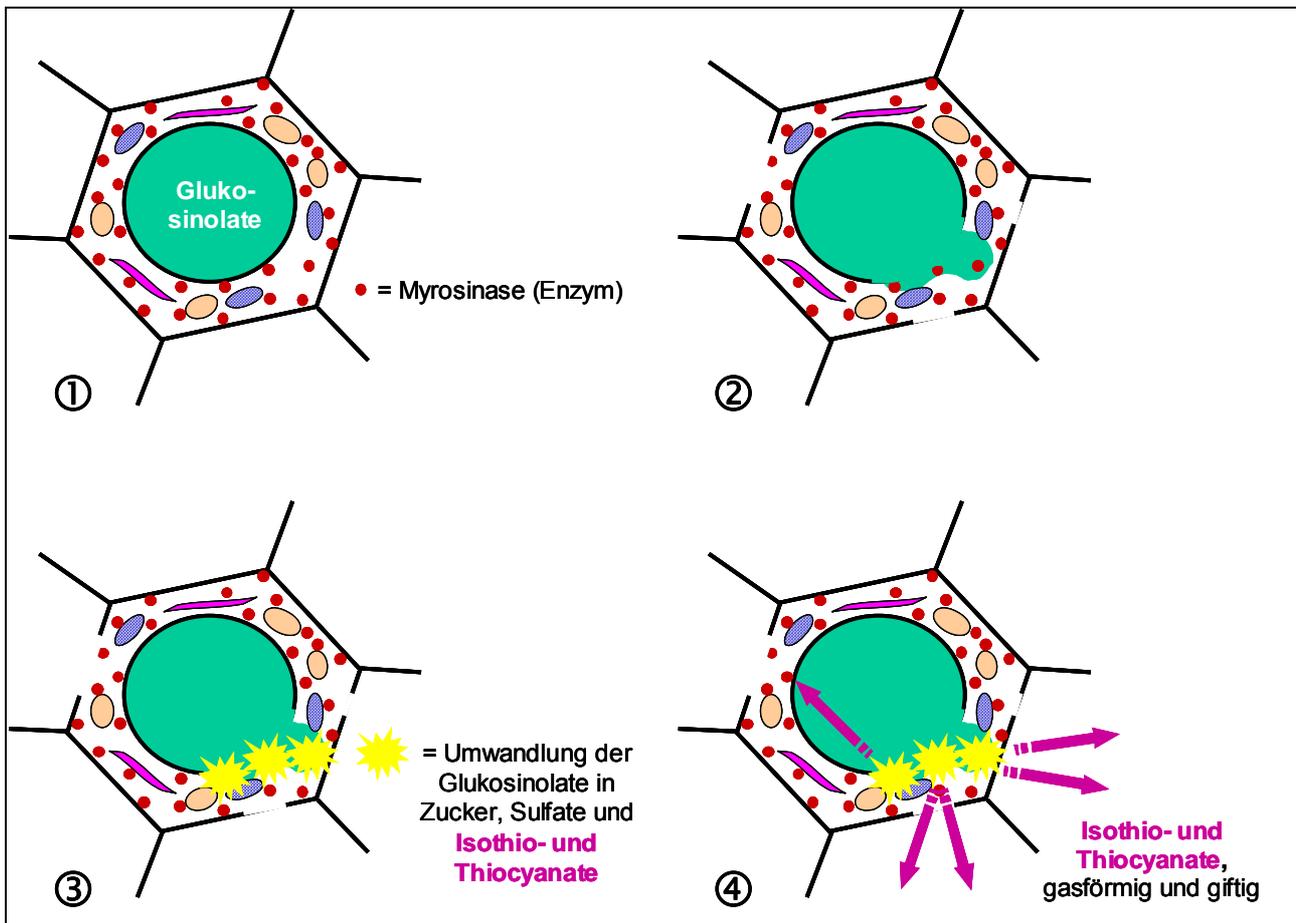
# Biofumigation – Prinzip und Anwendung (4.2.2008)

Autor:  
Vincent Michel, Forschungsanstalt Agroscope Changins-  
Wädenswil ACW

## Einführung

Die Biofumigation ist eine biologische Methode zur Verringerung von Krankheitserregern, Schädlingen und Unkrautsamen im Boden. Sie stützt sich auf die Verwendung von Pflanzen mit einem hohen Gehalt an Glukosinolaten, hauptsächlich Kreuzblütler. Während dem Abbau der Pflanzen werden die Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate umgewandelt. Diese Substanzen sind gasförmig und für gewisse Bodenorganismen giftig.

Forschung und Entwicklung zur Biofumigation wird v. a. in Ländern durchgeführt, welche nach einem Ersatz von Methylbromid für die Bekämpfung bodenbürtiger Schadenerreger suchen (Australien, Italien, USA). Methylbromid schädigt die Ozonschicht und sein Einsatz ist deswegen seit dem 1.1.2005 in den Industrieländern verboten. In der Schweiz ist die Biofumigation eine interessante Methode zur Bekämpfung von bodenbürtigen Problemen, welche in den Spezialkulturen von zunehmender Bedeutung sind.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Reaktion auf Niveau der Pflanzenzelle, welche zur Bildung der für die Biofumigation notwendigen Gase führt. ① Zelle eines Kreuzblütlers, Glukosinolate sind in der Vakuole (Zentrum) und Myrosinase im Zytoplasma enthalten. ② Beim Abbau der Pflanze werden die Zellwände zerstört und die Glukosinolate treten aus der Vakuole aus. ③ Bei Kontakt mit dem Enzym Myrosinase werden die Glukosinolate in Glukose (Zucker), Sulfate und Isothio- und Thiocyanate umgewandelt. ④ Die Isothio- und Thiocyanate sind gasförmige und giftige Moleküle. Sie entweichen aus der Pflanzenzelle durch die beschädigten Zellwände und verbreiten sich in der Umgebung.

## Prinzip

Die Biofumigation beschreibt grundsätzlich den Einsatz von biologisch gebildeten giftigen Gasen, welche Krankheitserreger (Pathogene), Schädlinge oder Unkräuter abtöten können. Im Gegensatz zu Methylbromid, einem chemischen Gas, welches ein sehr weites Wirkungsspektrum aufweist, sind die durch Biofumigation gebildeten Gase selektiv, d. h. sie wirken nur auf gewisse schädliche Organismen.

Für die Biofumigation geeignet sind verschiedenen Pflanzenarten aber auch gewisse Pilze, welche bei ihrem Abbau die notwendigen Gase freisetzen. Zur Zeit weit verbreitet ist der Einsatz von Kreuzblütlern, vor allem von Senfarten. In den Zellen dieser Pflanzen sind Glukosinolate (auch Senfölglycoside genannt) vorhanden, welche beim Abbau der Pflanze in Isothio- und Thiocyanate umgewandelt werden (Abb. 1).

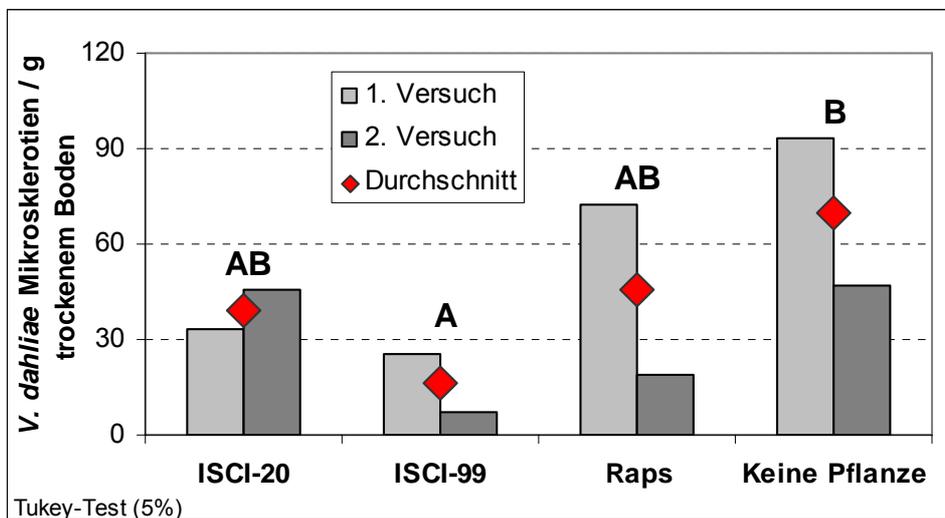
Je nach Pflanzenart, ja sogar nach Sorte, ist die Zusammensetzung der Glukosinolate, welche eine Gruppe von mehreren Molekülen umfasst, verschieden. Je nach Zusammensetzung der Glukosinolate entstehen beim deren Umwandlung unterschiedliche Isothio- und Thiocyanate. Einige Glukosinolate bilden überhaupt keine Isothio- und Thiocyanate.

Isothio- und Thiocyanate umfassen eine Gruppe von Molekülen, welche einerseits gasförmig und andererseits giftig sind. Die Zusammensetzung dieser Moleküle ist ausschlaggebend für die erzeugte Wirkung des freigesetzten Gases, da die Giftigkeit der unterschiedlichen

Moleküle verschieden ist. Nebst der potentiellen Giftigkeit des Gases spielt die Empfindlichkeit des Zielorganismus (pilzlicher oder bakterieller Krankheitserreger, Insekt, Nematode, Unkrautsame) eine entscheidende Rolle für die Wirksamkeit der Biofumigation. So ist zum Beispiel die Giftigkeit eines Isothiocyanates, welches in Rapswurzeln vorkommt, über zwanzigmal giftiger gegen Pilze der Gattung *Sclerotinia* als gegen solche der Gattung *Alternaria* (Smith & Kirkegaard, 2002).

## Anwendung

Für die Biofumigation können verschiedenen Senfarten aber auch Ölrettich oder andere, an Glukosinolaten reiche Pflanzenarten verwendet werden. Um eine optimale Wirkung zu erreichen sollten aber am besten speziell für die Biofumigation gezüchtete Sorten benutzt werden, wie zum Beispiel die unter dem Label Bluformula von Cerealtoscana vermarkteten Sorten ([www.bluformula.com](http://www.bluformula.com)). Diese Sorten wurden vom ISCI, einem in Bologna heimischem Forschungsinstitut für Industriepflanzen, gezüchtet und umfassen im Moment drei Sorten an braunem Senf (*Brassica juncea*) und eine Rauke-Sorte (*Eruca sativa*). Für die am Agroscope ACW durchgeführten Versuche wurden die braune Senf-Sorten ISCI-20 und ISCI-99 verwandt. Dabei erwies sich die ISCI-99 mit einem um etwa 25% höheren Glukosinolat-Gehalt als die bessere Sorte für den Einsatz gegen den bodenbürtigen Krankheitserreger *Verticillium dahliae* (Abb. 2). Für den Einsatz in der Praxis wird deshalb der Einsatz dieser Sorte empfohlen. Richtlinien zum Anbau der beiden Sorten befinden sich am Schluss dieses Merkblattes.



**Abb. 2:** Wirkung der beiden braunen Senf-Sorten (*Brassica juncea*) ISCI-20 und ISCI-99 sowie von Raps (Sorte Talent) auf die Anzahl lebender Mikrosklerotien (= Dauerformen, die mehrere Jahre im Boden überleben können) von *Verticillium dahliae*, dem Erreger der Verticilliumwelke.

Erfahrungen zum Anbau von braunem Senf in der Schweiz beschränken sich im Moment auf den Anbau im Frühling oder Sommer, Resultate zur Überwinterung nach einer Herbstsaat liegen zur Zeit noch keine vor. Nach einer Aussaat im Frühling muss mit etwa zwei Monaten gerechnet werden bis die Pflanzen den optimalen Zeitpunkt für das Einarbeiten, das Stadium der **Vollblüte**, erreicht haben. Nach diesem Stadium nimmt der

Glukosinolatgehalt wieder ab. Bei zu langem Zuwarten können zudem die ersten Samen bereits reif sein und zu einem Unkrautproblem in der Folgekultur führen.

Vor dem Einarbeiten müssen die Pflanzen möglichst fein **verkleinert** werden, damit eine grösstmögliche Anzahl an Pflanzenzellen beschädigt werden und die Umwandlung der Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate stattfinden kann. Dazu werden die Pflanzen gemulcht (Abb.

3), wenn möglich mit einem mit Hämmern ausgerüstetes Schlegelmulchgerät. Dies erlaubt es möglichst viele Pflanzenzellen zu zerquetschen und dadurch den Prozess der Biofumigation rasch in Gang zu setzen. Eine andere, bis jetzt allerdings noch nicht getestete Möglichkeit ist der Einsatz eines mit Walzen ausgerüsteten Mähknickzeters, welcher ebenfalls erlaubt eine grösstmögliche Anzahl Zellen zu zerquetschen.



**Abb. 3:** Möglichst feines Zerkleinern der Senfpflanzen vor dem Einarbeiten ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Biofumigation.

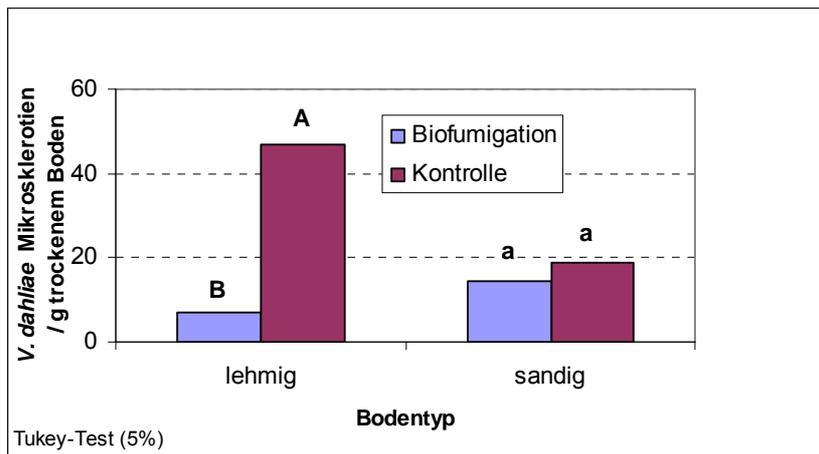
Sofort nach dem Zerkleinern muss der Senf in den Boden **eingbracht** werden. Dies kann auf zweierlei Arten geschehen. Einerseits mechanisch mit Hilfe einer Fräse oder einer Spatmaschine (Abb. 4). Der Einsatz einer Spatmaschine hat den Vorteil, dass der Senf tiefer in den Boden eingearbeitet werden kann (~20 cm) als mit einer Fräse (10 – 15 cm).

Die zweite Möglichkeit ist ein Einwässern der in den Zellen enthaltenen Stoffe in tiefere Bodenschichten durch eine ausgiebige Bewässerung. Ergebnisse australischer Forscher ergaben, dass diese Methode ebenso erfolgreich ist wie ein mechanisches Einarbeiten, zumindest in einer Bodentiefe von 5 – 15 cm (Matthiessen *et al.*, 2004). Voraussetzung dazu sind allerdings ein gutes Zerquetschen der Senfpflanzen sowie eine ausreichende Bewässerung (40 mm oder mehr). Nebst dem Einbringen in tiefere Bodenschichten verbessert das Bewässern zudem die Bedingungen für eine optimale Umwandlung der Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate. Diese biochemische Reaktion benötigt nämlich Wasser, deshalb ist eine gewisse **Feuchtigkeit** des Bodens eine notwendige Voraussetzung für das Abfließen der Biofumigationreaktion. Speziell bei trockenen Bodenverhältnissen ist deshalb eine Bewässerung unabdingbar.



**Abb. 4:** Sofortige Einarbeiten der gemulchten Senfpflanzen entweder mit einer Fräse (oben) oder mit einer Spatmaschine (unten).

Nebst der Bodenfeuchte beeinflusst auch die **Bodentemperatur** die Geschwindigkeit mit welcher die Umwandlung der Glukosinolate in Isothio- und Thiocyanate abläuft. Bei einer Frühlings- oder frühen Sommeraussaat fällt das Einarbeiten auf einen Zeitpunkt, bei dem der Boden warm ist. Bei einer späten Saat im Sommer hingegen ist es möglich, dass die Bodentemperaturen zum Zeitpunkt des Einarbeiten bereits relativ tief sind und dadurch die Biofumigation zu langsam abläuft um die nötige Konzentration an giftigen Gasen zu erreichen. Ein weiteres Risiko bei einer späten Saat ist ein Frühfrost, welcher zu einer Beschädigung der Senfzellen führt. Dadurch findet die Biofumigationreaktion statt bevor der Senf in den Boden eingearbeitet wurde.



**Abb. 5:** Wirkung der Biofumigation (mit der braunen Senf-Sorten ISCI-99 durchgeführt) auf die Anzahl lebender Mikrosklerotien von *Verticillium dahliae* in Abhängigkeit des Bodentypes. Die Bodentextur (% Sand/Lehm/Ton) war: Lehmiger Boden 47,5/44,1/8,4 – sandiger Boden 80,5/14,3/5,2.

Nach dem Einbringen des gemulchten Senfs erfolgt die Biofumigationreaktion in den folgenden ein bis zwei Tage. Während dieser zwei Tage sollte die notwendige Konzentration an giftigen Gasen erreicht werden. Diese können sich je nach **Bodentyp** mehr oder weniger schnell verflüchtigen. Bei einem an Agroscope ACW durchgeführten Versuch wurde festgestellt, dass in einem Boden mit einem sehr hohen Sandanteil (80%) die Biofumigation keine Wirkung mehr aufwies (Abb. 5). Da in der Literatur kaum Angaben zu Einfluss des Bodentyps zu finden sind, sind weitere Arbeiten zu diesem Thema vorgesehen

**Eine Woche** nach dem Einarbeiten des Senfs kann die Folgekulture gepflanzt oder gesät werden. Bei sehr grossen Mengen an eingearbeitetem Pflanzenmaterial muss möglicherweise länger gewartet werden, da ansonsten der mikrobielle Abbau des Grünmaterials zu einem Sauerstoffmangel führen kann. Dies war bei den am Agroscope ACW durchgeführten Versuchen einmal der Fall, allerdings nur als zusätzlich zum Senf noch Mietenkompost gleichzeitig eingefräst wurde.

### Vor- und Nachteile des Senfanbaus

Der Anbau von Senf hat neben der Biofumigation-Wirkung noch weitere Vorteile. Er verbessert die Bodenstruktur, v. a. die Porosität, und kann durch sein schnelles und tiefes Wurzelwachstum Nitrat fixieren. In Fruchtfolgen ohne Kreuzblütler besitzt er zudem den Vorteil einer Nicht-Wirtspflanze von vielen Krankheiten und Schädlingen andere Kulturpflanzengruppen. Seine Zugehörigkeit zu den Kreuzblütlern ist aber der Nachteil für eine Nutzung in Fruchtfolgen mit Kohlgewächsen, welche typisch für den Gemüsebau in der Schweiz sind. Speziell gefürchtet ist dabei eine Förderung der Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*), Senf- wie auch andere *Brassica*-Arten sind Wirtspflanzen dieser bodenbürtigen Krankheit. Untersuchungen in Neuseeland zeigten allerdings auf, dass die Biofumigation mit Rüben (*Brassica rapa*) in einem mit Kohlhernie verseuchten Boden den Befall der folgenden Rosenkohlkultur durch diese Krankheit verringerte und den Ertrag signifikant erhöhte (Cheah *et al.*, 2006).

### Zusätzlicher Nutzen durch Dammanbau

Ein grundsätzliches Problem bei der Bekämpfung bodenbürtiger Krankheiten ist das relativ geringe Bodenvolumen, in welchem die Anzahl Krankheitserregern verringert werden kann. Dieses beschränkt sich bei der Biofumigation auf die Tiefe, in welche das Pflanzenmaterial eingebracht werden kann, d. h. mit den gängigen Maschinen auf 10 - 20 cm. Eine Möglichkeit, das von Krankheitserregern entseuchte Bodenvolumen zu vergrössern ist der Dammanbau (Abb. 6). Neben der Volumenvergrösserung bringt der Dammanbau zusätzliche Vorteile. So verbessert er die Drainage, was wiederum einen Vorteil in mit Kohlhernie verseuchten Böden ist.

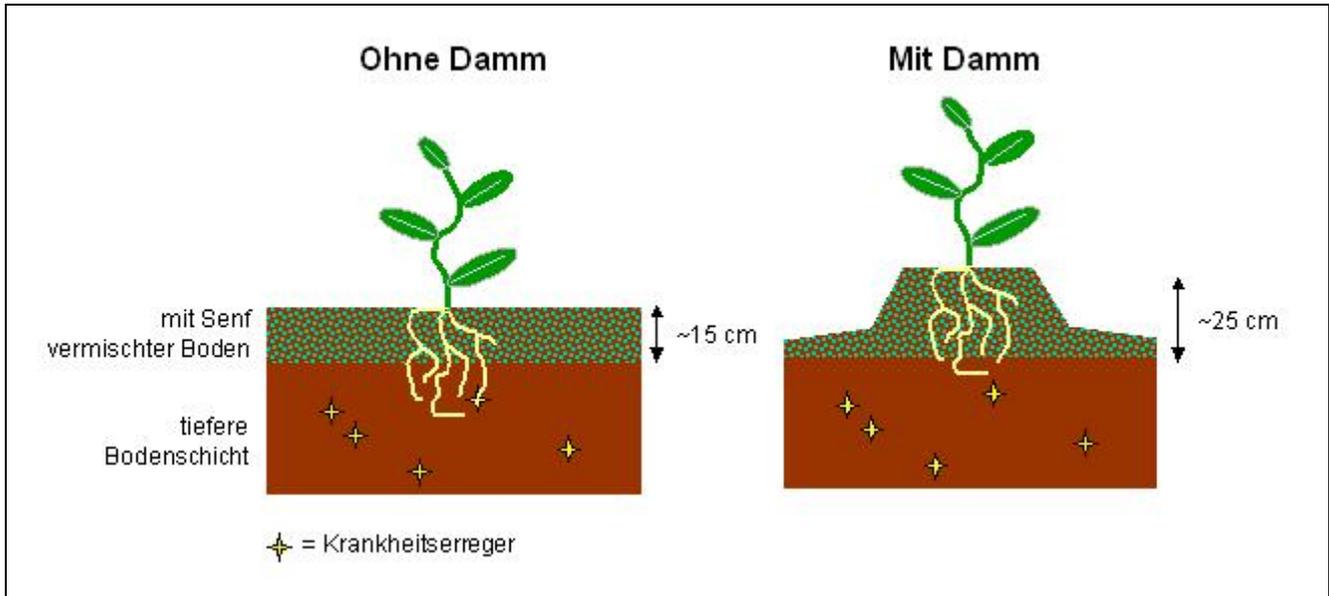
### Biofumigation: Die wichtigsten Punkte

- ▶ Für die Biofumigation gezüchtete Sorten verwenden ([www.blufomula.com](http://www.blufomula.com), [www.terraprotect.com](http://www.terraprotect.com))
- ▶ Bei Vollblüte einarbeiten
- ▶ Vor Einarbeiten möglichst fein zerkleinern, besser noch verquetschen
- ▶ Sofort und möglichst tief einarbeiten, ev. durch ausgiebige Bewässerung einwässern (> 40 mm)
- ▶ Bewässerung nach Einarbeiten, v. a. bei trockenen Bedingungen, verbessert die Wirkung
- ▶ Einarbeiten während der warmen Jahreszeit
- ▶ 1 Woche Wartefrist bis zur Pflanzung oder Saat

Um die **Beschaffung** von **Biofumigation-Saatgut** zu erleichtern, wird eine Sammelbestellung in Zusammenarbeit mit schweizerischen Saatgutfirmen organisiert. Sie beschränkt sich im Moment auf die **Sorte ISCI-99** (brauner Senf), welche in **5 kg** Säcken vertrieben wird. Sollten Sie am Kauf von solchem Saatgut **interessiert** sein, dann schicken Sie bitte Angaben zu den benötigten Mengen an folgende Adresse (Anmeldeschluss: 15. März 2008)

Vincent Michel  
 Agroscope ACW Forschungszentrum Conthey  
 1964 Conthey  
 Fax: 027 346 30 17  
 E-mail: [vincent.michel@acw.admin.ch](mailto:vincent.michel@acw.admin.ch)

### Copyright



**Abb. 6:** Die Bildung von Dämmen mit der obersten Bodenschicht, in welche der Senf eingearbeitet wurde, vergrößert das durch die Biofumigation behandelte Bodenvolumen. Der Anteil der Wurzeln, der den mit Krankheitserregern verseuchten Boden durchwächst nimmt dadurch ab und die Möglichkeit einer Infektion der Wurzeln verringert sich.

### Nachgewiesene Wirksamkeit

In der Folge sind Krankheitskomplexe (Kultur und Krankheit) bei denen eine mit *Brassica*-Arten durchgeführte Biofumigation zu signifikant besseren Erträgen in Feldversuchen geführt hat. Die Quelle, aus welcher diese Daten stammen, wird ebenfalls aufgeführt.

Karotten – Auflaufkrankheit (*Rhizoctonia solani*), Villeneuve *et al.*, 2004.

Kartoffel – Kartoffelschorf (*Streptomyces scabiei*), Gouws & Wehner, 2004.

Kartoffel – Verticilliumwelke (*Verticillium dahliae*), McGuire, 2004.

Lilien – Zwiebelfäule (*Rhizoctonia solani*), van Os *et al.*, 2004.

Rosenkohl – Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*), Cheah *et al.*, 2006

Tomate – Korkwurzelkrankheit (*Pyrenochaeta lycopersici*), Amenduni *et al.*, 2004.

### Literatur

- Amenduni M., D'Amico M., Coltella C., Citrulli M., 2004. Effect of *Brassicaceae* greenmanures and soil-solarization on corky root of tomato. *Agroindustria* 3, 303-307.
- Cheah L. H., Gowers S., Marsh A. T., 2006. Clubroot control using Brassica break crops. *Acta Horticulturae* 706, 329-332.
- Gouws R., Wehner F. C., 2004. Biofumigation as alternative control measure for common scab on seed potatoes in South Africa. *Agroindustria* 3, 309-312.
- Matthiessen J. N., Warton B., Shackleton M. A., 2004. The importance of plant maceration and water addition in achieving high *Brassica*-derived isothiocyanate levels in soil. *Agroindustria* 3, 277-280.
- McGuire A. M., 2004. Mustard green manures replace fumigant and improve infiltration in potato cropping system. *Agroindustria* 3, 331-333.
- Smith B. J., Kirkegaard J. A., 2002. *In vitro* inhibition of soil microorganisms by 2-phenylethyl isothiocyanate. *Plant Pathology* 51: 585-593.
- van Os G. J., Bijman V., van Bruggen S. S., de Boer F. A., Breeuwsma S., van der Bent J., de Boer M., Lazzeri L., 2004. Biofumigation against soil borne diseases in flower bulb culture. *Agroindustria* 3, 295-301.
- Villeneuve F., Raynal-Lacroix C., Lempire C., Maignien G., 2004. Possibility of using biofumigation in vegetable crops for controlling soilborne pathogens. *Agroindustria* 3, 395-398.

## **Anbautechnik für *Brassica juncea* ISCI-20** {gilt auch für ISCI-99}

(Originaltext von L. Lazzeri, ISCI, Bologna, Italien. **Blauer Text: Anmerkungen von V. Michel**)

### **Feines Saatbeet** {wie für Rapsanbau}

#### **Aussaat**

**Saatzeitpunkt:** Zwei Wochen vor Krambe- (*Crambe abyssinica*) Aussaat {**Ende März/Anfangs April**}

**Saadichte:** 250 Pflanzen / m<sup>2</sup>, 6 kg Saatgut/ha. Bei einem ersten Anbau wird angeraten eine grössere Menge an Saatgut zu verwenden (7-8 kg/ha)

**Saatart:** Drillsaat mit 15-20 cm Reihenabstand, mit einer Weizensähmaschine.

**Tiefe:** max. 3 cm

#### **Dünger** {**Düngernorm von Frühlingsraps**}

**N:** 120 kg/ha, davon 50% zur Saat und 50% im Rosettenstadium

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:** 60 kg/ha, vor der Aussaat

**K<sub>2</sub>O:** 95 kg/ha, vor der Aussaat

**MgO:** 15 kg/ha, vor der Aussaat

**Wir schlagen vor schwefelhaltige Dünger zu verwenden**

#### **Unkrautbekämpfung**

**Chemisch:** Trifluralin (1,2 kg/ha) vor der Aussaat, nur in stark verseuchten Böden {**in der Schweiz ist kein Herbizid für den Senfanbau zugelassen**}

#### **Pflanzenschutz**

Keine Massnahmen vorgesehen {**in der Schweiz sind keine Fungizide für den Senfanbau zugelassen. Blattläuse können vermehrt in Senfkulturen auftreten. In der Schweiz sind mehrere Insektizide gegen Blattläuse im Gemüsebau allgemein zugelassen**}

#### **Bewässerung**

Nicht nötig {**auf leichten Böden bei trockener Witterung empfohlen, um ein gutes Wachstum zu erhalten**}

#### **"Ernte"** (d. h. der Moment des Einarbeitens)

Im Stadium der Vollblüte: Ungefähr zum gleichen Zeitpunkt wie bei Raps

Mechanisierung: Häckseln und einarbeiten durch zweimaliges Bearbeiten mit der Bodenfräse (Rototiller) auf 20 cm Tiefe {**Häckseln mit Schlegelmulchgerät und Einarbeiten mit Spatmaschine, ansonsten wird das Pflanzmaterial nicht genügend fein zerkleinert und nicht genügend tief eingearbeitet. Bei trockenen Bedingungen muss nach dem Einarbeiten bewässert werden (30 – 40 mm). Nach Einarbeiten 1 Woche warten bis zur Aussaat oder Anpflanzen**}