

**Gollner Manfred - Freyer Bernhard**

## **Beitrag der arbuskulären Mykorrhiza im Ökologischen Landbau zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit unter Berücksichtigung acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen sowie der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung**

### **1. Problemstellung**

In den letzten Jahren auftretende Umweltbelastungen infolge industrieller landwirtschaftlicher Produktionssysteme, haben das gesellschaftliche Interesse an nachhaltigen Alternativen, wie dem Ökologischen Landbau erhöht (Hooker and Black 1995). Die Prinzipien des Ökologischen Landbaus sind das Streben nach weitgehend geschlossenen Stoffkreisläufen im Betrieb, der schonende Umgang mit nicht erneuerbaren Rohstoff- und Energieressourcen, die Stärkung und Nutzung natürlicher Selbstregulationsmechanismen sowie die Erhaltung und Verbesserung der Vielfalt der Arten und des Landschaftsbildes (Lindenthal et al. 1996). Die Produktivität stützt sich im Ökologischen Landbau auf die Optimierung bodenphysikalischer und bodenchemischer Prozesse sowie der Förderung für die Bodenfruchtbarkeit bedeutende Organismen wie die arbuskuläre Mykorrhiza. Nach gegenwärtigem Stand des Wissens gehen 80% aller bisher untersuchten höheren Landpflanzenarten eine Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen ein, darunter der Grossteil unserer landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. In der Symbiose erhalten die heterotrophen arbuskulären Mykorrhizapilze Assimilate von den mykotrophen Kulturpflanzen. Im Gegenzug fördert die arbuskuläre Mykorrhiza die Nährstoffaufnahme (v. a. Phosphor, P) und die Resistenz gegenüber Trockenheit, phytopathogenen Pilzen und Nematoden, Bodenerosion, Bodenversalzung und Schwermetallbelastung, wodurch eine Wachstumssteigerung der mykotrophen Kulturpflanzen erfolgen kann. Der Ökologische Landbau lässt aufgrund der systemeigenen spezifischen Fruchtfolgen, Düngemassnahmen und Bodenbearbeitung, eine Förderung der Entwicklung der arbuskulären Mykorrhiza und die Kolonisierung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit den daraus folgenden positiven Auswirkungen auf die Nährstoffversorgung und das Wachstum der Kulturpflanzen erwarten (Gosling et al. 2006). Vor dem Hintergrund der Optimierung des Ökologischen Landbaus besteht Interesse, die Beziehungen zwischen spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und der arbuskulären Mykorrhiza zu untersuchen.

## 2. Ziele

Ziel dieses Projektes war die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher acker- und pflanzenbaulicher Massnahmen im Ökologischen Landbau sowie der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf den Mykorrhizabesiedelungsgrad von Getreide sowie die Klärung von Zusammenhängen zwischen dem Grad der Mykorrhizierung der Kulturpflanzen und unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten, Anteilen an Luzerne in der Vorfrucht bzw. in der Fruchtfolge, organischen Düngerarten sowie der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Ein weiteres Ziel war die Untersuchung der Biodiversität der arbuskulären Mykorrhizapilze in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung. Zu diesem Zwecke wurden Feldversuche sowie Gefäßversuche durchgeführt und mittels mikroskopischer und molekularer Methoden untersucht.

## 3. Methoden

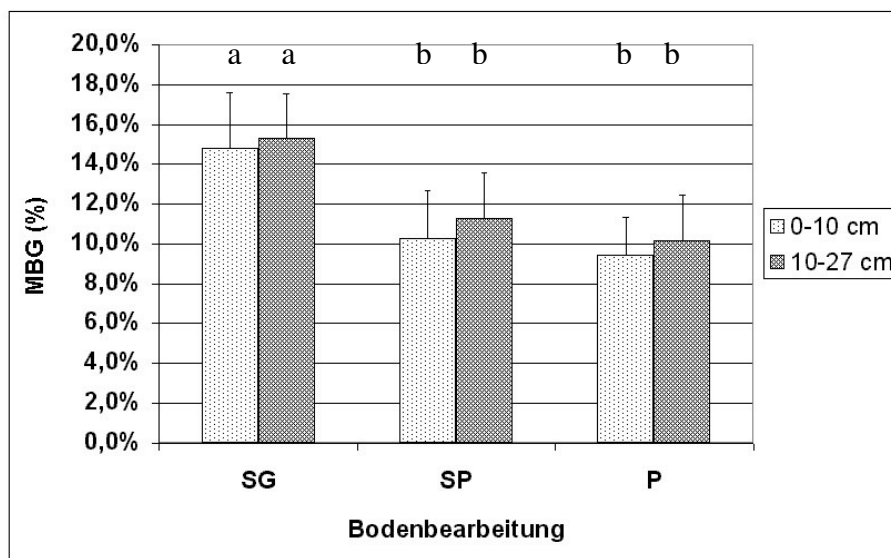
Die Entnahme der Bodenproben zur Untersuchung der Wurzeln erfolgte mit einem  $N_{\min}$ -Bohrstock im Bearbeitungshorizont (Ap) während des Schossens der jeweiligen Getreidearten, da zu diesem Zeitpunkt die Phosphoraufnahme der Versuchspflanzen, bei der die arbuskulären Mykorrhizapilze eine wichtige Rolle spielen, ein Maximum erreicht (Römer and Schilling 1986). Die Pflanzenwurzeln wurden nach der Methode von Vierheilig et al. (1998) gefärbt. Die Bonitur der Wurzellängendichte erfolgte nach Giovannetti and Mosse 1980, der Mykorrhizierungsgrad wurde nach McGonigle et al. (1990) ermittelt. Die Identifikation der arbuskulären Mykorrhizapilze erfolgte anhand morphologischer Merkmale mit Unterstützung von Dr. Chris Walker aus Großbritannien. Die molekularbiologischen Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit Doz. Dr. Josef Strauss, Zentrum für angewandte Genetik, Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Bewirtschaftung der Versuchsfelder musste den Richtlinien des Ökologischen Landbaus entsprechen.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

In keinem Versuch konnten signifikante Abhängigkeit zwischen Ertragsbildung oder Proteingehalt und dem Mykorrhizabesiedelungsgrad festgestellt werden. Dies war im relativ niedrigen Ertragsniveau im Grossteil der Untersuchungen infolge der Trockenheit in den Versuchsjahren 2000 und 2001 sowie durch Krankheits- und Schädlingsbefall sowie Unkrautdruck, bedingt.

### 4.1. Bodenbearbeitung

Die nicht-wendende, lockernde Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber führte zu einer signifikanten Erhöhung des Mykorrhizabesiedelungsgrades im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung mit dem Schichtenpflug oder Pflug (Abb. 1).



SG ... Schichtengrubber, SP ... Schichtenpflug, P ... Pflug

I ... Standardabweichung der Mittelwerte

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test:  $P < 0,05$ ).

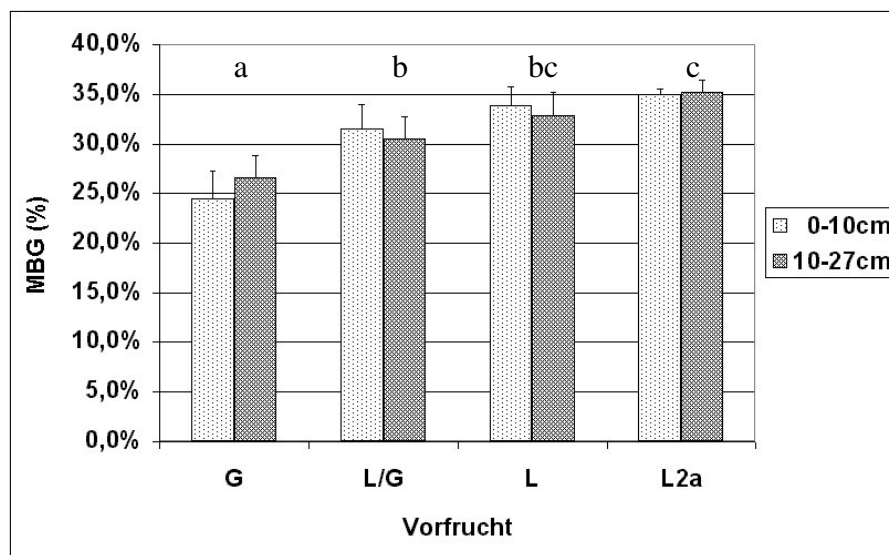
Abbildung 1: **Mykorrhizabesiedelungsgrad von Winterroggen in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenbearbeitungsintensitäten**

Das Ergebnis ist ein deutliches Anzeichen für die Förderung der arbuskulären Mykorrhiza durch konservierende Bodenbearbeitung. Im Ökologischen Landbau enthält die oberste Bodenschicht mehr Sporen als die untere (Douds et al. 1995). Durch die nicht-wendende Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber bleibt im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung die vertikale Verteilung der Sporen der arbuskulären Mykorrhizapilze

erhalten. Die nicht-wendende Bodenbearbeitung scheint außerdem eine verminderte Zerstörung des externen Myzels der arbuskulären Mykorrhizapilze am Standort bewirken, die Pflanzen können sofort nach der Besiedelung das intakte Hyphennetz (= Transportsystem für Nährstoffe) der arbuskulären Mykorrhizapilze nutzen. Die Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber ergab weiters eine deutlich höhere Krümelstabilität, was vermutlich auf die Lebendverbauung durch Mikroorganismen zurückzuführen ist (Hampl et al. 2002), bei der auch arbuskuläre Mykorrhizapilze eine bedeutende Rolle spielen.

## 4.2. Fruchtfolge

Der Mykorrhizabesiedelungsgrad von Winterweizen (*Triticum aestivum*) verhielt sich direkt proportional zum Anteil von Luzerne (*Medicago sativa*) in der Vorfrucht bzw. in der Fruchtfolge (Abb. 2).



G ... Gemenge aus je 25% Glatthafer, Rot-, Schaf- und Wiesenschwingel

L/G ... 80% Luzerne, 20% Grasgemenge (siehe G), Angaben in Flächenprozenten

L, L2a... Luzerne (*Medicago sativa*) einjähriger sowie zweijähriger Bestand

I ... Standardabweichung der Mittelwerte

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test:  $P < 0,05$ ).

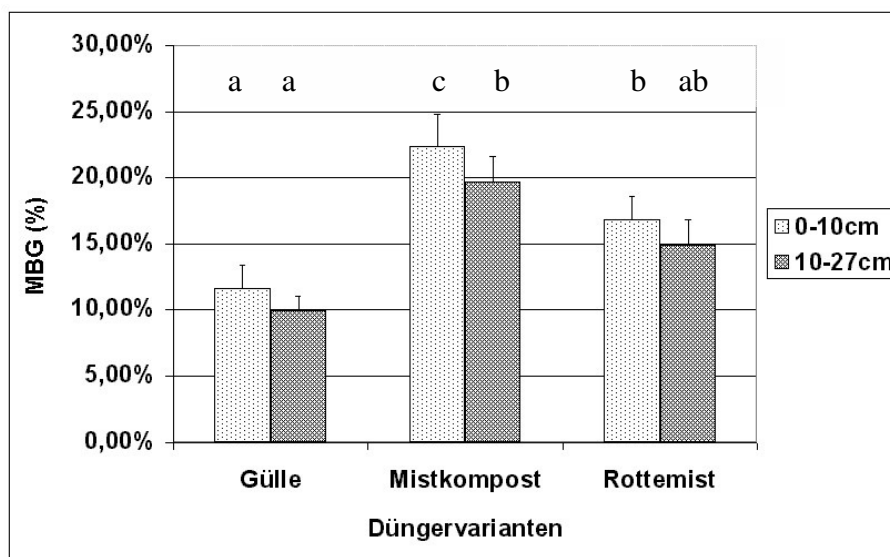
Abbildung 2: **Mykorrhizabesiedelungsgrad von Winterweizen in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne in der Vorfrucht bzw. Fruchtfolge**

Jakobsen und Nielsen (1983) konnten eine höher ausgeprägte Abhängigkeit von Leguminosen von ihren arbuskulären Mykorrhizapilzen als Gräser (Graminaceen) beobachten. Die Ausbildung einer effizienten arbuskulären Mykorrhiza hilft den Leguminosen den hohen Phosphorbedarf bei der Stickstofffixierung zu decken (Barea et al. 1994). Infolge dieser Abhängigkeit von ihren arbuskulären Mykorrhizapilzen hinterlassen Leguminosen im

Vergleich zu Gramineen daher im allgemeinen nachfolgenden Feldfrüchten ein höheres Kolonisationspotenzial in Form von extraradikale Hyphen und Sporen von arbuskulären Mykorrhizapilzen. Der gemessene höhere Mykorrhizabesiedelungsgrad von Winterweizen nach Luzerne im Vergleich zu Winterweizen nach dem Grasgemenge resultiert aus der ausgeprägten Abhängigkeit von Luzerne von arbuskulären Mykorrhizapilze im Vergleich zum Grasgemenge. Schwarzbrache führte im Ewigroggenversuch Groß-Enzersdorf zu einem tendenziell niedrigerem Mykorrhizabesiedelungsgrad beim Winterroggen (*Secale cereale*) in Rotation. Nach Allen et al. (2001) senkt Schwarzbrache das Infektionspotenzial der arbuskulären Mykorrhizapilze im Boden, wodurch eine geringere Mykorrhizierung der nachfolgenden mykotrophen Kulturpflanze erfolgt. Zur Erhaltung eines hohen Kolonisationspotentials durch arbuskuläre Mykorrhizapilze muss nach einer nicht-mykotrophen immer eine mykotrophe Kulturpflanze folgen.

#### 4.3. Düngung

Die Düngung mit Stallmistkompost bewirkte einen signifikant höheren Mykorrhizabesiedelungsgrad von Sommerroggen (*Secale cereale*) als die Düngung mit Rottemist oder Gülle (Abb. 3).



I ... Standardabweichung der Mittelwerte

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test:  $P < 0,05$ ).

Abbildung 3: **Mittlerer Mykorrhizabesiedelungsgrad (MBG) von Sommerroggen in Abhängigkeit von den Düngervarianten und der Bodentiefe**

Mistkompost erhöht im allgemeinen die mikrobielle Aktivität des Bodens infolge einer höheren Trockenmasse an Organischer Substanz welche als Substrat für die Entwicklung der Bodenmikroorganismen dient (Berner et al 1997). Der niedrigere Mykorrhizabesiedelungsgrad von Sommerroggen bei Gülledüngung ist vermutlich auf den relativ hohen Gehalt an Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) in der Gülle zurückzuführen. Mistkompost hingegen enthält nach der Kompostierung kaum  $\text{NH}_4^+$  (Finck 1991). Bei einer erhöhten Aufnahme durch die Pflanze wird  $\text{NH}_4^+$  hauptsächlich in der Wurzel Einbau in Assimilate (z. B. Proteinbildung) detoxifiziert. Hohe Düngergaben an Ammonium führen deshalb zu einer Assimilatunterversorgung der arbuskulären Mykorrhizapilze, wodurch es zu einem Rückgang in der Aktivität der Symbiose infolge der Konkurrenz um die Assimilate zwischen den mykotrophen Kulturpflanzen und den arbuskulären Mykorrhizapilzen kommt (Marschner 1995).

#### **4.4. Dauer der ökologischen Bewirtschaftung**

Ertragsdepressionen treten im Ökologischen Landbau besonders in der Umstellungsphase auf. Erst mit zunehmender Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung und einer ansteigenden bodenbiologischen Aktivität, kommt es zu einer Überwindung dieser Ertragsdepression. Zur Auswirkung der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die arbuskuläre Mykorrhiza wurde ein Gefäßversuch mit Bodenproben von fünf ausgewählten Betrieben mit unterschiedlicher Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung, gleichem Bodentyp und gleicher Vorfrucht verwendet. Als Versuchspflanzen wurden in allen Töpfen die gleiche Sorte Winterweizen (Capo) in üblicher Saatstärke angesetzt. Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse kann ab einer Umstellungsdauer von ca. 10 Jahren von einer ausreichenden Kolonisation mit effizienten autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilze ausgegangen werden. In zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen konnten die positiven Auswirkungen der Ökologischen Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenfruchtbarkeit bzw. auf die Belebung des Bodens festgestellt werden (FIBL Dossier Nr. 1, etc.).

#### **4.5. Biodiversität**

Die Biodiversität der arbuskulären Mykorrhizapilze in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung zeigte eine tendenziell höhere Vielfalt an morphologisch unterscheidbaren Sporen von arbuskulären Mykorrhizapilzen in den länger ökologisch bewirtschafteten Flächen. Durch die große Ähnlichkeit der Sporen von arbuskulären Mykorrhizapilzen und die dadurch schwierige Identifikation derselben, ist keine gesicherte

Aussage über die Biodiversität an arbuskulären Mykorrhizapilzen in den untersuchten Proben möglich. Die große Ähnlichkeit der Sporen von arbuskulären Mykorrhizapilzen in den untersuchten Proben könnte durch eine Querkontamination während des Wachstums im Glashaus bzw. im Freiland bedingt sein. Ein an die Bedingungen in den Topfkulturen gut angepasster autochthoner Vertreter der *Glomus*-Gruppe könnte durch seine Konkurrenzkraft alle anderen Vertreter der arbuskulären Mykorrhizapilze verdrängt haben. Ein identisches Ergebnis lässt sich aus der molekularbiologischen Identifizierung ableiten, wenn auch aus der Praxis bekannt ist, dass *Glomus mosseae* in ackerbaulich genutzten Böden dominiert und dort mengenmäßig meist mehr als 90% der Population an arbuskulären Mykorrhizapilzen stellt (Helgason et al. 1998).

## 5. Schlussfolgerungen

Um die Leistungsfähigkeit der Symbiose zwischen den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und den autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilzen am Standort optimal zu fördern, sind die oben genannten landwirtschaftlichen Kulturmassnahmen möglichst einzuhalten. Um fundierte, abgesicherte Aussagen zu den Auswirkungen der Fruchtfolgegestaltung auf die arbuskuläre Mykorrhiza tätigen zu können, wäre eine längere Untersuchungsdauer (mindestens zwei ganze Rotationen) erforderlich, um v. a. unterschiedliche Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren in der Interpretation berücksichtigen zu können. Weiters müssen zur Abdeckung der Breite der offenen Fragen in der landwirtschaftlichen Praxis mehrere unterschiedliche Fruchtfolgen in unterschiedlichen Klimaräumen in die Untersuchung einbezogen werden. Für ein weitgehendes Verständnis der Auswirkungen ackerbaulicher und pflanzenbaulicher Kulturmassnahmen auf die arbuskuläre Mykorrhiza sind die Untersuchungen auf weitere Kulturarten und im Ökologischen Landbau zugelassene Düngemittel und Pflanzenschutzmittel auszudehnen. Neben der Ausbildung einer effizienten arbuskulären Mykorrhiza spielen aber auch andere Faktoren wie die Versorgung mit Stickstoff und Wasser in der Ertragsbildung und dem Proteingehalt im Korn von Getreide eine bedeutende Rolle. Zur Auswirkung der unterschiedlichen Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die arbuskuläre Mykorrhiza liegen zur Zeit noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

## 6. Literatur

- Allen BL, Jolley VD, Robbins CW and Freeborn LL (2001). Fallow versus wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrhizal colonization, yield, and plant nutrition of dry bean and sweet corn. *Journal of Plant Nutrition* 24: 921-943.
- Barea JM, Azcon R and Azcon-Aguilar C (1994). Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen-fixing systems. In: Norris JR, Read D, Varma AK: *Techniques for Mycorrhizal Research. Methods in Microbiology*. Academic Press Inc., San Diego. ISBN 0-12-521490-1, p. 851-877.
- Berner A, Scherrer D and Alföldi T (1997). Stickstoffeffizienz von unterschiedlich aufbereiteten Misten in einer Ackerfruchtfolge auf Lösslehm. Posterbeitrag zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Douds DD, Galvez L, Janke RR and Wagoner P (1995). Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52: 111-118.
- FIBL Dossier Nr. 1 (2001). Erkenntnisse aus 21 Jahren DOK-Versuch. BIO fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt. 3. Auflage.
- Finck A (1991) *Dünger und Düngung*. 2. Auflage, VCH Verlag, Weinheim.
- Giovannetti M and Mosse B (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- Gosling P, Hodge A, Goodlass G and Bending GD (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 17-35.
- Hampl U (2002). Projektübersicht, Wetter und Ertragsdaten, Bodenbearbeitung und Bodengesundheit. Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Nr. 13: 13-24.
- Helgason T, Daniell TJ, Husband R, Fitter AH and Young JPW (1998). Ploughing up the wood-wide web? *Nature* 394: 431.
- Hooker JE and Black KE (1995). Arbuscular mycorrhizal fungi as components of sustainable soil-plant systems. *Critical Reviews in Biotechnology* 15: 201-212.
- Jakobsen I and Nielsen NE (1983). Vesicular-arbuscular mycorrhiza in field-grown crops I. Mycorrhizal infection in cereals and peas at various times and soil depths. *New Phytologist* 93: 401-413.
- Lindenthal T, Vogl CR and Hess J (1996). Forschung im Ökologischen Landbau. Sonderausgabe der Zeitschrift "Förderungsdienst" 2c/1996. 92 S.
- Marschner H (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Edition. Academic Press, London.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL and Swan JA (1990) A new method which gives an objective measure of colonisation of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115: 495-501.
- Römer W and Schilling G (1986). Phosphorous requirements of wheat plant in various stages of life cycle. *Plant and Soil* 91: 221-229.
- Vierheilig H and Piche Y (1998). A modified procedure for staining arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161: 601-602.

### Autoren:

#### Gollner Manfred und Freyer Bernhard

Institut für Ökologischen Landbau, Department für nachhaltige Agrarsysteme,  
Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Strasse 33, A-1180 Wien

[Manfred.gollner@boku.ac.at](mailto:Manfred.gollner@boku.ac.at), Tel ++43-1-47654-3755, fax ++43-1-47654-3792