



Upgrading the Agricultural Sector  
with Skills in Regenerative Agriculture



**Promoting  
the global transition  
to regenerative food, farming  
and land management**

# **Vorlesung 2**

## **Gründe und Prinzipien der Regenerativen Landwirtschaft**

### **Lektion 1**

#### **Lebendige Böden und Pflanzensymbiosen**

**Projekttitel:** Aufwertung des Agrarsektors durch Qualifizierung  
in regenerativer Landwirtschaft

**Projekt-Akronym:** RegAgri4Europe

**Projektnummer:** 2020-1-DE02-KA202-007660

**Erstellt:** Januar 2022



## Lektion 1: Das Leben im Boden

### 1. Lebendige Böden und Pflanzensymbiosen

#### 1.1. Nahrungsnetz des Bodens

Das Bodenleben ist das eigentliche Herzstück der Regenerativen Landwirtschaft (RegAg-Bewegung). Es gilt als die wichtigste Triebkraft für die Bodenfruchtbarkeit, die Bodengesundheit und das Wachstum und die Gesundheit der Pflanzen. Obwohl dieser Bereich für unsere Augen meist verborgen ist, ist er faszinierend und unglaublich reich und vielfältig, wie dieses winzige Ding auf dem Foto zeigt: Die so genannten Wasserbären sind überall in der Biosphäre der Erde zu finden, von Berggipfeln über die Tiefsee und Schlammvulkane bis hin zu tropischen Regenwäldern und der Antarktis. Bärtierchen oder Tardigrada, so der wissenschaftliche Begriff, gehören zu den bekanntesten widerstandsfähigsten Tieren. Einzelne Arten sind in der Lage, extreme Bedingungen zu überleben - wie extreme Temperaturen, extremer Druck (z. B. im Weltraum), Luftentzug, Strahlung, Austrocknung und Hunger -, die die meisten anderen bekannten Lebensformen schnell töten würden. Und ja, man kann sie auch in unseren Böden finden.



Bärtierchen

Image: <https://www.flickr.com/photos/155639361@N07/27923522139>

In einem Teelöffel gesunder Erde finden wir mehr Mikroorganismen - vor allem Bakterien und Pilze und viele andere mikroskopische Lebewesen, die für unser bloßes Auge unsichtbar sind - als es Menschen auf unserem Planeten gibt. In einem einzigen Gramm gesunder Erde sind Millionen verschiedener Bakterienarten und Tausende von Pilzarten zu finden, die die Nährstoff- und Wasserspeicherung im Boden sowie das Wachstum und die Gesundheit der Pflanzen beeinflussen.

Ein amerikanischer Bodenwissenschaftler sagte kürzlich bei einem Vortrag vor Landwirten: "It's the biology, stupid!", in Anlehnung an den Wahlkampfslogan von Bill Clinton, mit dem er 1992 die Präsidentschaftswahlen in den USA gewann.



*Diese Fotos zeigen einen kleinen Ausschnitt des verborgenen Lebens unter unseren Füßen  
 Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, Orgiazzi, A., Bardgett, R. D. & Barrios, E. Globaler Atlas der biologischen Vielfalt des Bodens zur Unterstützung der EU-Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und der globalen Initiative zur biologischen Vielfalt des Bodens: Erhaltung der Bodenorganismen durch nachhaltige Landbewirtschaftungspraktiken und Umweltpolitik zum Schutz und zur Verbesserung der Ökosystemleistungen. Globale Bodenbiodiversitätsinitiative. (2016)*

Und in der Tat ist der Boden im Grunde genommen ein Gemisch aus organischen und mineralischen Stoffen. Ohne Biologie gibt es also keinen Boden. Es ist tatsächlich die Biologie, die den Boden - die Mineralien - zusammenhält. Es sind die vielen winzigen Lebewesen, die durch ihr Leben, ihre Exkremente und ihr Sterben die Mineralpartikel zusammenkleben und stabile Aggregate bilden.

Es gibt die Aussage, dass 98 % des Lebens auf der Erde noch nicht entdeckt worden ist - weil es unter unseren Füßen liegt, so klein, dass wir es ohne starke Mikroskope nicht sehen können. Aber es ist genau dieses Leben, das uns - indirekt - über die Pflanzen ernährt. Lassen Sie uns also tiefer in diese faszinierende Welt eintauchen.

Die oberirdische Biomasse kann in unseren Breitengraden und auf einem Hektar eine große Kuh oder einen Ochsen ernähren. Im Gegensatz dazu ernährt der unterirdische Bereich auf einem Feld derselben Größe etwa 5-10 Tonnen Leben, was diese zusätzlichen Kühe darstellen könnten (siehe Bild unten). Dieses so genannte Edaphon besteht hauptsächlich aus Pilzen und Bakterien - wenn sie noch am Leben sind und die Felder nicht durch den Einsatz verschiedener Pflanzenschutzmittel verarmt sind.





Bild: <https://static.pexels.com/photos/7601/sky-clouds-field-blue.jpg>

Unsere Gemüsegärtner - obwohl sie nur Gemüse anbauen und keine Tiere halten - beanspruchen für sich, auch eine Art von Viehzüchtern zu sein, da sie sich darauf konzentrieren, dass das Bodenleben sich nähren und vermehren kann.

Wenn wir in den Wald schauen, ist der Fall noch faszinierender, denn hier können wir auf einem einzigen Hektar etwa 25 Tonnen Bodenleben zählen. 60 % des Bodenlebens besteht aus Pilzen, 30 % aus Bakterien und nur 10 % aus teilweise größeren Lebensformen, von denen einige, wie z. B. Nematoden oder Wanzen und Spinnen, für unser Auge sichtbar sind.

## 1.2. Mykorrhiza - Symbiose von Pilzen und Pflanzen

Wenn wir in einem gesunden Wald den Boden unter einem Futterabdruck 20 oder 25 Zentimeter tief ausgraben, können wir in dieser kleinen Menge Boden 500 Kilometer Hyphen - die langen, verzweigten Fadenstrukturen eines Pilzes - entdecken. Die Hyphen sind die Hauptform des vegetativen Wachstums und werden als Myzel bezeichnet. Was wir im Allgemeinen als Pilze erkennen, sind nur die fruchttragenden Teile des verborgenen Körpers, vergleichbar mit den Äpfeln, die wir an einem Baum sehen können, während der Baum im Boden verborgen wäre.

Einige Pilze ernähren sich von verrottendem Material. Viele bilden jedoch eine Symbiose, eine Beziehung zum gegenseitigen Nutzen, mit Pflanzen. Diese werden Mykorrhiza genannt - eine Kombination aus dem griechischen Wort für "Pilz" und "Wurzel".

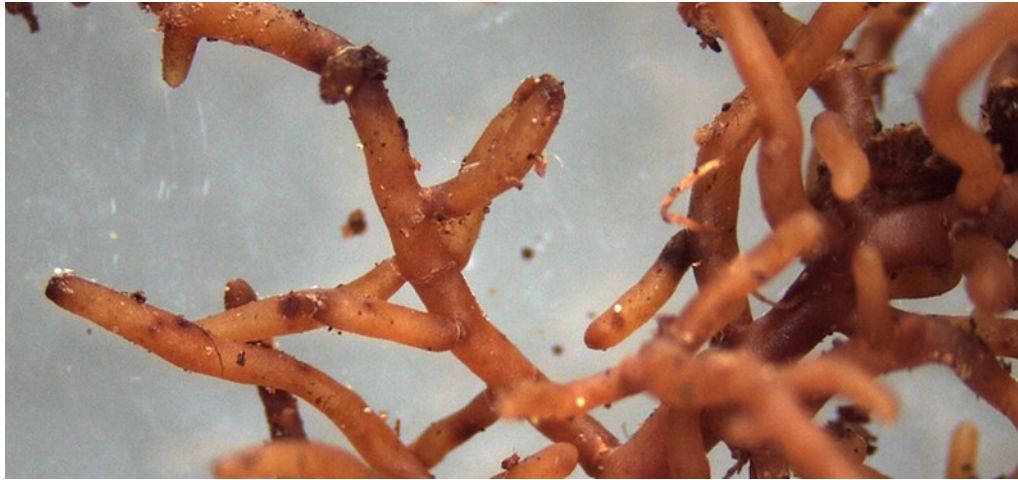
Die Mykorrhiza kann als eine Art Erweiterung des Wurzelsystems der Pflanzen betrachtet werden. Tatsächlich ist diese Symbiose 450 Millionen Jahre alt. Als die Pflanzen aus dem Meer an Land kamen, hatten die Pilze bereits die leere felsige Landoberfläche erobert, um dort Mineralien zu gewinnen. Die Pflanzen entwickelten das Wurzelsystem, um sich am Boden zu halten, arbeiteten aber von Anfang an mit den Pilzen zusammen.

Es ist wie bei einem Handel oder einem Basar, bei dem eine Sache gegen eine andere getauscht wird. In diesem Fall sind es Kohlenhydrate und Stärke gegen Mineralien und Wasser. Nur Pflanzen können durch Photosynthese Kohlenhydrate aus frischer Luft erzeugen. Etwa 20-60 % dieser Zucker oder komplexeren Produkte, die die Pflanze produziert, werden von der Pflanze in die Wurzeln und als so genanntes Wurzelexsudat in die Rhizosphäre geschoben. Dies ist ein Festmahl für Bakterien und Pilze. Aber nichts ist umsonst - Bakterien und Pilze versorgen die Pflanzen im Gegenzug mit Mineralien und Wasser.

Tatsächlich gehen 92 % aller bekannten Pflanzen eine solche Beziehung zu den Pilzen ein. Bei den 8 % der Pflanzen, die nicht bereit sind, mit Pilzen zusammenzuarbeiten, handelt es sich meist um Pionierpflanzen, die sich entwickelt haben, um Terrain zu erobern, das noch nicht reich an Bodenleben ist.

Mykorrhizen werden gemeinhin in Ektomykorrhizen und Endomykorrhizen unterteilt. Die beiden Arten werden dadurch unterschieden, dass die Hyphen von Ektomykorrhizapilzen nicht in einzelne Zellen der Wurzel eindringen, während die Hyphen von Endomykorrhizapilzen die Zellwand durchdringen und in die Zellmembran eindringen.

Die ultrafeinen Hyphen können viel besser als die relativ dicken Wurzeln in die feinsten Risse in Bodenaggregaten und Felsen eindringen und dort Nährstoffe lösen oder Wasser gewinnen, wodurch sich die Wurzeloberfläche um das 10-100fache und die gesamte Wurzelbiomasse um das bis zu 1000fache vergrößert.



*Das dicke Ding hier ist eine feine Wurzel*

*Bild: <https://pixabay.com/photos/mycorrhiza-ectomycorrhiza-mushroom-782466/>*

Das dicke Ding hier ist eine Feinwurzel; die dünnen "Fäden" sind die Pilzhyphen, was wiederum den Größenunterschied und die Fähigkeit der Hyphen, sich in viel feinere Risse des Bodens zu graben, verdeutlicht.

Während der Nutzen für die Pilze und Bakterien eindeutig in der lebensspendenden Energie in Form von Kohlenhydraten liegt, profitiert die Pflanze direkt und indirekt in vielerlei Hinsicht von der Zusammenarbeit.

Natürlich ist die Versorgung mit Nährstoffen und Wasser für die Pflanzen entscheidend. Sie erhält aber nicht nur reine Mineralien, sondern auch Aminosäuren und Proteine, die von Pilzen und Bakterien produziert werden. Dies kann die Widerstandskraft der Pflanzen gegen Schädlinge erhöhen, da sie zum Beispiel einen dickeren Blattschutz (Cuticula) bilden und insektenabweisende Stoffe einbauen können. Die Pflanze entwickelt eine höhere Stresstoleranz, da sie ständig mit Wasser und wichtigen Mineralien versorgt wird. Die Pflanze weist eine höhere Nährstoffdichte auf, da durch die Zusammenarbeit eine kontinuierliche Versorgung mit Nährstoffen gewährleistet ist. Wenn die Pilze wachsen, entwickeln sie eine Art Klebstoff, Glomalin genannt, der den Pilzen hilft, luftgefüllte Räume in den Aggregaten zu überbrücken. Dieser Klebstoff klebt die Bodenpartikel zusammen und stabilisiert den Boden. Und dieser Klebstoff, das Glomalin, besteht zu einem hohen Prozentsatz aus Kohlenstoff und hilft so, Kohlenstoff im Boden zu speichern oder zu binden.



Hier können wir sehen, wie das Eindringen des Pilzes in die Wurzel und die Zellen der Pflanze aussieht.  
Bild: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mycorhizes-01.jpg>

Was wir sehen, sind die Zellen der Pflanzen und der Pilz, der in die Pflanzenzellen eingewachsen ist und mit der Pflanze kommuniziert und Kohlenhydrate, Nährstoffe und Aminosäuren austauscht.

80-90% der Nährstoffaufnahme der Pflanze wird mikrobiologisch vermittelt. Und da sprechen wir nicht nur von den sogenannten essentiellen Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor, sondern - wie für uns Menschen auch - von den vielen Mikronährstoffen wie Bor, Zink oder Mangan, die für ein gesundes Wachstum der Pflanze wichtig sind.

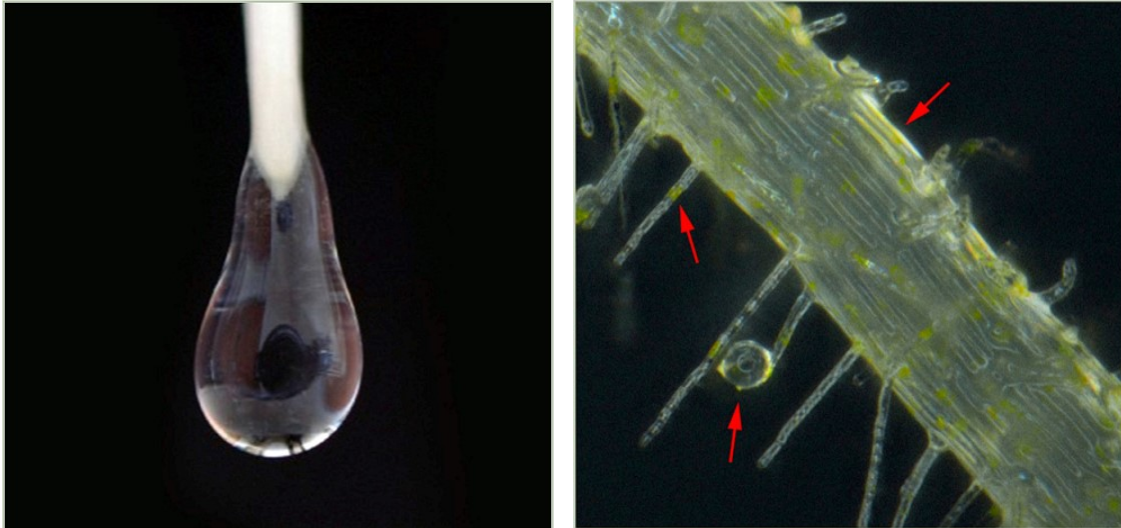
Ob Mykorrhiza vorhanden sind oder nicht, macht den Unterschied bei den Wurzeln aus. Offensichtlich verschafft diese Zusammenarbeit der Pflanze massive Vorteile, wenn diese Pilze vorhanden sind und die Anbauform das Wachstum dieser Symbiose zulässt.

Ein Baum arbeitet mit Pilzen zusammen - in den meisten Fällen geht eine einzelne Pflanze oder ein Baum sogar eine Verbindung mit vielen Pilzen ein. Stellen Sie sich vor, woher ein Baum seine Nährstoffe und sein Wasser beziehen kann - und wenn er nicht die Möglichkeit hätte, sich mit den Pilzen zu verbinden, wie viel weniger nahrhaft wäre dieser Baum schließlich.

Wenn wir noch ein bisschen weiter herauszoomen, sehen wir, dass all diese Pflanzen ein dichtes Netz unter der Erde bilden, das ihnen hilft, miteinander in Kontakt zu treten und in Verbindung zu bleiben. Eigentlich steht die Abkürzung "WWW" für "Wood Wide Web", würde man sagen. Das erklärt auch, wie Mutterbäume ihre Kinder in der Nähe mit Nahrung versorgen können. Und Bäume, die sich in der Nähe eines anderen Baumes befinden, an dem Insekten oder eine Giraffe knabbern, wissen im Voraus, dass "Gefahr" im Anmarsch ist, und



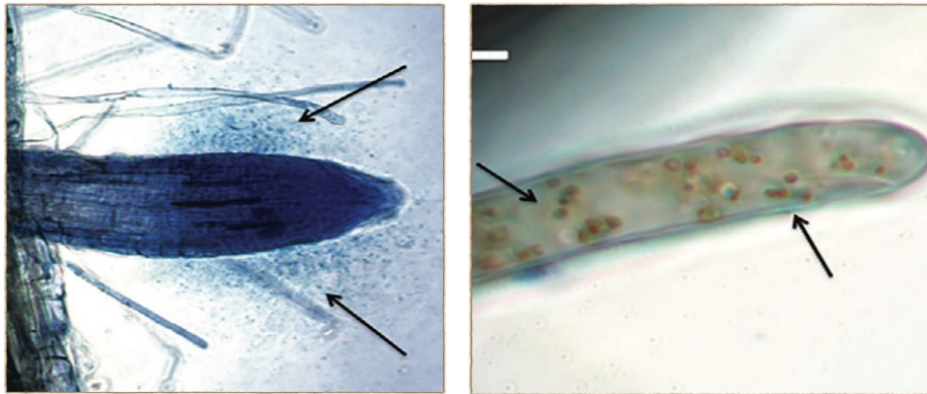
bereiten sich darauf vor, indem sie zum Beispiel schlecht schmeckende Enzyme in den Blättern speichern.



### 1.3. Symbiose von Bakterien und Pflanzen

Diese Tropfen sind eine Art "Energydrink" - gefüllt mit Zuckern, Stärke und Aminosäuren. Der Tisch ist sozusagen gedeckt für Bakterien und Pilze im Boden, die auf diese lebenserhaltenden Inhaltsstoffe angewiesen sind.

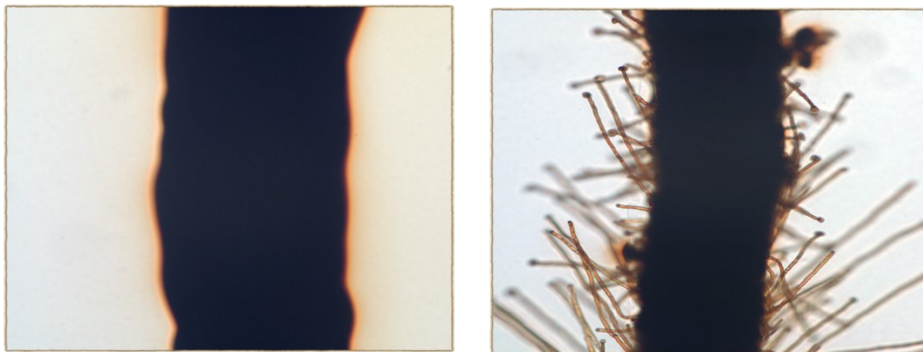
Wenn Bakterien und Pilze ausscheiden, leben und sterben, wird diese Biomasse langsam in den Boden eingebaut. Wenn wir also über Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffbindung sprechen, sollten wir über die Fütterung von Pilzen und Bakterien sprechen und weniger darüber, organische Substanz auf dem Boden zu belassen - obwohl dies eindeutig zum Schutz des Bodens und zur Ernährung der Würmer beiträgt.



*Diese Fotos zeigen die Exsudate der Wurzeln*

*Auf der linken Seite ziehen Wurzelexsudate, die meist in der Nähe der Wurzelspitzen entstehen, große Mengen von Bakterien an. Einige von ihnen können, wie das Bild rechts zeigt, schließlich in die Wurzeln eindringen. White, J. F. et al. Review: Endophytische Mikroben und ihre möglichen Anwendungen im Pflanzenbau. Pest. Manag. Sci. 75, 2558-2565 (2019).*

Dies ist ein weiterer faszinierender Teil der unterirdischen Welt. Wir haben viel über Pilze gesprochen. Aber Bakterien sind eigentlich genauso wichtig für die Gesundheit der Pflanze. Und was hier geschieht, ist wirklich ein weiteres Wunder. Man hat erst vor kurzem entdeckt, dass Pflanzen in der Lage sind, Bakterien sozusagen zu verdauen. Wie wir auf dem linken Foto sehen können, ziehen die bereits erwähnten Wurzelexsudate, die meist in der Nähe der Wurzelspitzen entstehen, große Mengen an Bakterien an. Einige von ihnen können, wie auf dem rechten Bild zu sehen, schließlich in die Wurzeln eindringen. Dort werden die Zellwände der Bakterien mit Hilfe von Superoxid aufgelöst, wodurch wichtige Nährstoffe freigesetzt werden, die nun für die Pflanze verfügbar sind, die Bakterien aber nicht abgetötet werden. Während die Pflanze diese Nährstoffe verdaut, ermöglicht der sichere Raum in der Wurzel den Bakterien, sich zu vermehren.



*Diese Fotos zeigen den Unterschied zwischen dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Mikroben im Boden. Der Unterschied ist deutlich sichtbar und zeigt, wie wichtig die Bakterien nicht nur für das Wachstum der Pflanze sind, sondern auch für das Wachstum der feinen Wurzelhaare - die die Grundlage für das gesunde Wachstum der Pflanze sind.*

*White, J. F. How Plants Use Soil Microbes to Improve Growth and Obtain Nutrients. (2021).*

Pflanzen reichern ihre Samen mit Bakterien an, die den Samen in den ersten Tagen und Wochen und während ihres gesamten Lebens helfen sollen. Wie kommen sie von den Wurzeln in die Samen? Das wissen wir noch nicht, aber die Wirkung ist eindeutig: Links sehen wir die Wurzel eines Samens, der zuvor streng desinfiziert wurde; rechts wurde derselbe Samentyp mit *Pseudomonaden fluorescens*-Bakterien auf zuvor desinfizierte Samen inokuliert.

Erstaunlich ist, dass dieses einzige Bakterium das Wachstum der feinen Pflanzenhaare völlig verändert!

#### 1.4. Schlussfolgerung

Wir haben jetzt schon viel über Bakterien und Pilze und ihre Bedeutung für die Pflanzen gesprochen. Wenn wir uns die natürlichen Systeme ansehen, stellen wir fest, dass es zwischen gestörten oder noch nicht entwickelten Böden - z. B. nach einem Erdbeben oder in unproduktiven Umgebungen - und dem Höhepunkt der Natur in vielen Regionen der Welt, dem Wald, ein Gefälle im Verhältnis von Bakterien zu Pilzen gibt: Je weniger entwickelt der Boden ist, desto mehr Bakterien dominieren ihn; je mehr entwickelt der Boden ist, desto mehr Pilze sind vorhanden.

Unsere landwirtschaftlichen Felder sind hauptsächlich von einjährigen Unkräutern, gestörten Landschaften und schlecht entwickelten Böden geprägt. Das ist ein Problem, denn bakteriendominierte Böden treiben auf natürliche Weise bestimmte Samen zur Keimung an, weil diese eine bestimmte Funktion haben - vor allem, den Boden zu bedecken und als Pioniere, die sie sind, mit dem Aufbau des Bodens zu beginnen.

Um effizienter mit der Natur zusammenzuarbeiten, müssten wir das Verhältnis zwischen Bakterien und Pilzen mehr in Richtung eines Gleichgewichts verschieben, was hier durch den Zustand "mehrjährige Unkräuter und Gräser" dargestellt wird. Dieses ausgewogenere Verhältnis würde auf natürliche Weise das Wachstum bestimmter Unkräuter unterdrücken und den Kulturen ein stabileres und gesünderes Wachstum ermöglichen.