

Gemeinsame Sache im Untergrund: Teil 1 – Leguminosen

Dr. Dietmar Rupp Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg



Winterwicke als Kurzzeitbegrünung

Unsere Weinbergböden liefern Nährstoffe und Wasser für die Reben und tragen die Last der gesammelten Weinbautechnik. Sie sind aber mehr nur als Nährstoffspeicher und Fahrbahn. Bereits in einer Handvoll fruchtbarem Oberboden ist die Zahl der Organismen doppelt so groß wie die der gesamten Menschheit. Der „Star“ unter den Bodenlebewesen ist zweifellos der Regenwurm, doch wie

oberhalb der Erde sind es auch unter Tage die vielen Unbekannten, die den Betrieb am Laufen halten. Wie das Schaubild (Abb. 1) deutlich zeigt, sind die kleinen Bodentiere wie Regenwürmer, Asseln, Milben, Enchyträen oder Einzeller keinesfalls zu vernachlässigen. Geht es jedoch nach dem „Lebendgewicht“ dann entfallen 80 % auf im Boden lebende Pilze und Bakterien.

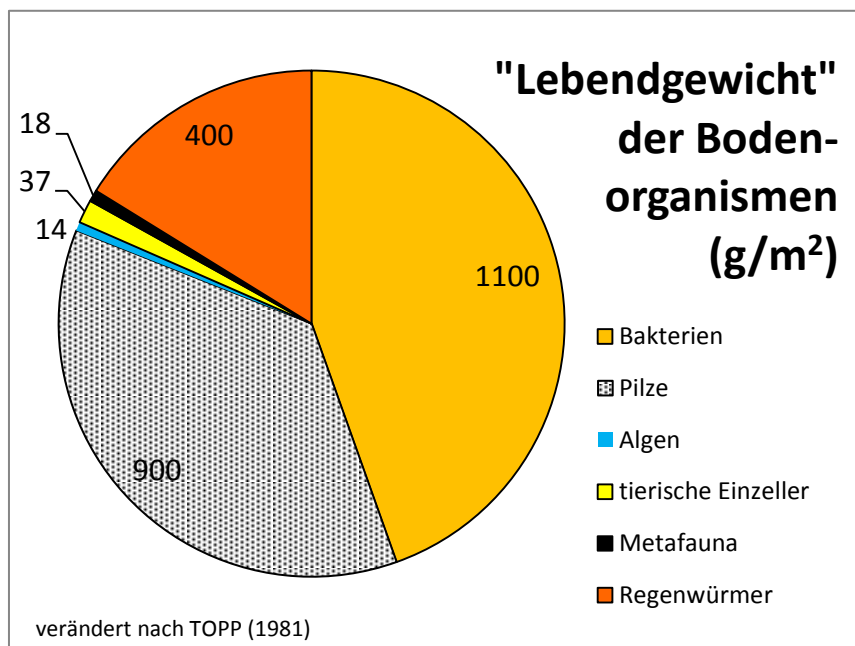


Abb. 1: Bezogen auf das „Lebendgewicht“ und den Stoffumsatz im Boden sind Bakterien und Pilze viel bedeutender als Regenwürmer

Bakterien sind auf Recycling spezialisiert

Unsere Böden sind Bioreaktoren. Organisches Material - Schnittholz, Blätter, oder abgestorbene Wurzeln werden von Bodentieren zernagt und zerkaut, von Mikroorganismen in die Einzelteile zerlegt oder in andere Stoffe umgewandelt. Beim vollständigen Abbau, der Mineralisierung, entstehen lösliche pflanzenverfügbare Nährstoffe. Bei der parallel ablaufenden Humifizierung bilden sich hochmolekulare Fulvo- und Huminsäuren. Mikroorganismen sind im Boden aber nicht gleichmäßig verteilt. In hoher Individuendichte und Artenzahl sind Pilze und Bakterien vor allem im humusreichen Oberboden vorhanden. Ein richtiger „hot-spot“ für Bakterien ist die Umgebung von lebenden Pflanzenwurzeln, die sogenannte Rhizosphäre (Abbildung 2).

Dort sind sie durch Wurzelabscheidungen (Zucker, organische Säuren) oder frisch abgestorbenes Wurzelgewebe bestens versorgt. Bei der Aufnahme von Nährstoffen können Bakterien manchmal zur Konkurrenz werden oder unter Umständen durch toxische Ausscheidungen das Wurzelwachstum hemmen („Bodenmüdigkeit“). Dennoch

überwiegen ihre wuchsfördernden Eigenschaften wie die Synthese von stimulierenden Hormonen oder die Mithilfe bei der Nährstofffreisetzung.

Als man daran ging, die Bodenbakterien in einzelne Gruppen einzuteilen, hat sich deren Lebensweise und speziell das Prinzip ihrer Energieversorgung als gutes Unterscheidungsmerkmal gezeigt. Zu großen Gruppe der „Oxidierer“, die ihren Energiebedarf aus der Bildung von Sauerstoffverbindungen ziehen, gehören zum Beispiel die wichtigen Gattungen Nitrobacter und Nitrosomonas (Nitratbildner) sowie die Schwefel- und Eisenbakterien. Vom Abbau kohlenstoffhaltiger Substanzen leben neben Bakterien auch die bakterienähnlichen Actinomyceten („Strahlenpilze“). In zwei weitergehenden Kategorien lassen sich die auf „Futter“ angewiesenen Kohlenstoff-heterotrophen Bakterien noch nach der Art ihrer Stickstoffbeschaffung unterscheiden. So sind etliche Gattungen ebenso wie Pflanzen auf das Nitrat oder Ammonium in der Bodenlösung angewiesen. Selbstversorger in Sachen Stickstoff sind die freilebenden Cyanobakterien („Blaualgen“) sowie Azotobacter und Clostridien.

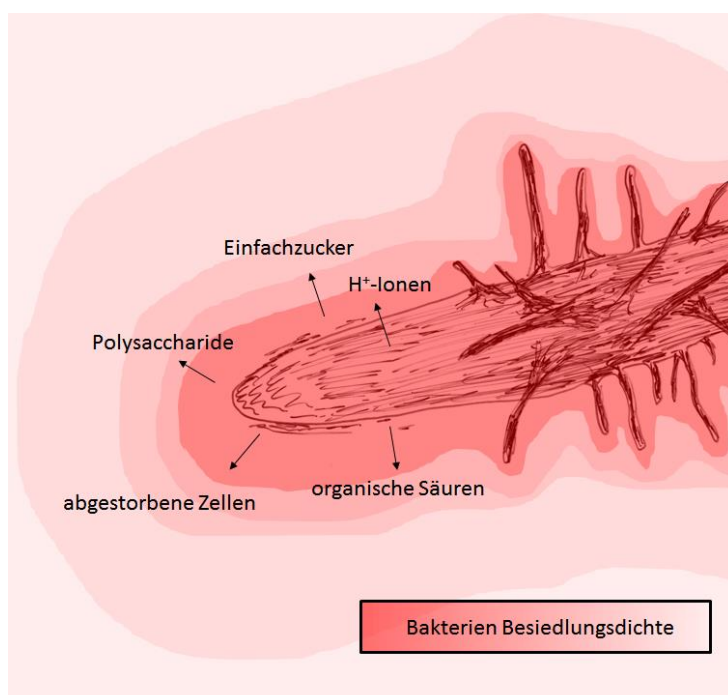


Abb. 2: In der Umgebung von Pflanzenwurzeln leben sehr viele Bakterien. Sie ernähren sich von Wurzelabscheidungen und abgestorbenen Zellen (Skizze schematisch).

Stickstoff kommt aus der Luft

Das Nährelement Stickstoff, der „Motor des Lebens“, ist für die Bildung von Eiweiß und Erbsubstanz unerlässlich.

Bodenbildende Gesteine enthalten so gut wie keinen Stickstoff, das eigentliche Stickstoffreservoir für Organismen ist der 78 %-ige N_2 -Anteil der Atmosphäre. Zum Aufbau und für den Fortbestand des Lebens muss etwas von diesem Stickstoff in den Boden kommen. Falls nicht durch Blitzschlag schon in der Atmosphäre Stickoxide entstehen, kann molekularer Stickstoff (N_2) anderweitig geknackt werden, um mit Wasserstoff (H) verbunden in Aminosäuren eingebaut zu werden. Viele Bakterien beherrschen diesen Prozess, doch er ist kompliziert und benötigt viel Energie (Tabelle 1). Technisch gibt es die Ammoniakgewinnung aus Luftstickstoff erst seit rund 100 Jahren.

Beim um 1910 entwickelten HABER-BOSCH-Verfahren wird Stickstoff unter Druck (250 bar) und bei hohen Temperaturen ($500^\circ C$) mit Wasserstoff vereinigt. Das entstehende Ammoniak (NH_3) ist anschließend Grundstoff für eine Vielzahl stickstoffhaltiger Düngemittel. Als Lieferant für Energie und Synthesegas (Wasserstoff) nutzten die Stickstofffabriken ursprünglich Steinkohle, heute wird Schweröl oder Erdgas eingesetzt. Als Faustzahl gilt, dass mit einem Liter Diesel etwa ein Kilo Ammonium-N gewonnen werden kann (Tabelle 1). Die freilebenden stickstofffixierenden Bakteriengattungen Azotobacter und Clostridium beziehen ihre Energie ebenfalls aus der Veratmung von Kohlenstoffverbindungen. Quasi CO_2 -neutral arbeiten die Cyanobakterien. Sie enthalten Chlorophyll und können ihren Energiebedarf durch die Photosynthese decken. Pro Hektar und Jahr können Azotobacter & Co etwa 20 kg N aus der Luft in den Boden bringen.

Tabelle 1: Ob technisch oder auf natürlichem Weg: die Bildung von Ammonium aus Luftstickstoff verbraucht viel Energie. Die symbiontisch lebenden Knöllchenbakterien versorgen sich CO_2 -neutral mit Sonnenlicht.

Energieaufwand zur Bildung von 1 kg NH_3 -Stickstoff aus Luftstickstoff (N_2)

| | Energiebedarf MJ ³⁾ / kg N | Kohlendioxid- freisetzung kg CO_2 / kg N |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| symbiontische N-Fixierung (Leguminosen) | 19 | 4,2 ¹⁾ |
| technisch (Synthesegas und Energie aus Erdgas) | 28 | 1,6 ²⁾ |
| technisch (Synthesegas und Energie aus Schweröl) | 35 | 2,7 ²⁾ |
| technisch (Synthesegas und Energie aus Kohle) | 45 | 4,2 ²⁾ |

1) lediglich rechnerische Größe. Da die Leguminosen die energieliefernden Kohlenhydrate mit Hilfe von Sonnenlicht erzeugen, ist die Netto CO_2 -Freisetzung in Wirklichkeit gleich Null

2) hinzuzurechnen wären die CO_2 -Komponenten für Gewinnung und Transport von Rohstoffen und Dünger sowie der Errichtung der Anlagen

3) MJ=Mega-Joule, Dieselmotorkraftstoff hat z.B. einen Energieinhalt von 45 MJ / Liter

Geben und Nehmen: die Leguminosensymbiose

Eine weitaus höhere Effizienz haben die Rhizobien. Diese Bakterien sammeln den Stickstoff aber nicht mehr als freilebende Einzelgänger, sondern sind in den Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütler (Leguminosen) als große Bacteroid-Kolonien zu finden (Abb. 3). Damit bilden sie zusammen mit den höheren Pflanzen eines der bekanntesten Beispiele für eine vollkommene Symbiose. Im Gegensatz zum Räuber-Beute- oder Parasit-Wirt-Verhältnis, das in der Natur häufiger vorkommt, gleicht das Zusammenleben von Rhizobien und Leguminosen dem Ideal einer guten Ehe, in der jeder Partner vom jeweils anderen unterstützt wird. Allerdings beginnt das Zusammenleben von Bakterien und Pflanze dann doch eher ausbeuterisch. Schon gleich nach der Infektion der Wurzelrinde nutzen die Bakterien den Kohlenhydratvor

Leguminose, erst nach und nach kommt es zum Geben und Nehmen.



Abb. 3: Bohnenpflanze mit Wurzelknöllchen (Bildausschnitt)

Bakterieneigene Stoffwechselprodukte veranlassen zunächst die Gestaltveränderung der Wurzelzellen. Es bilden sich typische Verdickungen und Ausbeulungen (Abbildung 4). Im Inneren dieser „Knöllchen“ folgt eine vielfache Vermehrung der eingedrungenen Bakterien und die Arbeit kann beginnen. Ernährt und versorgt von den Kohlenhydraten der Partnerleguminose entnehmen die Rhizobien gasförmigen Stickstoff aus der Bodenluft und bauen ihn in Ammoniak, beziehungsweise nachfolgend in Aminosäuren ein. Obwohl auf engstem Raum angesiedelt, müssen die einzelnen chemischen und biochemischen Prozesse dennoch streng voneinander getrennt ablaufen. Insbesondere das „Stickstoffeinbau-Enzym“, die Nitrogenase, ist stark sauerstoffempfindlich. Andererseits braucht die in den Bakteroiden auf Hochtouren laufende Atmung eine regelmäßige Sauerstoffzufuhr. Ein Grund für die gute Stickstofffixierung durch Leguminosen vor allem auf gut durchlüfteten Böden.

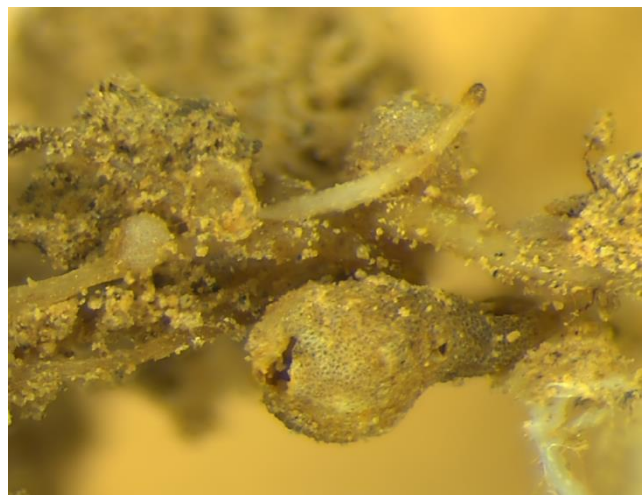


Abbildung 4: Knöllchen an Luzernewurzel. Vordergrund: aufgeplatztes Knöllchen, Bildmitte links: neu gebildetes Knöllchen

Bis zu 250 kg N sind möglich

Mit ihrem eigenen, solarbetriebenen Stickstoffwerk haben Leguminosen wie Klee, Wicke, Bohne, Erbse, Luzerne oder Lupine gegenüber anderen Pflanzen einen großen Vorteil. Sehr deutlich sieht man dies auf extensiven Grünflächen, an Böschungen oder der Liegewiese im Freibad. Wo humusarme Böden keine Stickstoffdüngung erhalten dominiert der Weißklee. Die stickstoffsammelnden Knöllchenbakterien werden von der Leguminose versorgt, diese nutzt den gewonnenen Luftstickstoff. Erst wenn die Bacteroide in den Knöllchen, die Wurzeln mit den Knöllchen oder gar die ganze Leguminose absterben und zersetzt werden, können andere Pflanzen wie etwa die Rebe den bakteriell gewonnen Stickstoff nutzen. Natürlicherweise setzt das Absterben der Knöllchen zum Ende

der Leguminosenblüte ein. Durch das Walzen oder Mulchen von Leguminosenbeständen werden einzelne Wurzelbereiche von Klee oder Wicke nicht mehr so gut versorgt und es kann ein gewisser Anteil des eingenommenen Stickstoffs freigesetzt werden. Hohe Stickstofffreisetzungen sind aber erst nach dem vollständigen Umbruch von Leguminosen zu erwarten. Schwer abzuschätzen ist die Flächenleistung der Stickstofffixierung durch Leguminosen, da diese von den Wuchsbedingungen und auch der Standzeit einer Leguminoseneinsaat abhängt. Werden etwa im September gesäte Winterwicken bereits Anfang März umgebrochen, darf man keine große N-Lieferung erwarten. Gut gewachsene Reinbestände können mehrere hundert kg N/ha liefern (Wicken und Erbsen 150 kg N/ha, Luzerne 250 kg N/ha).

Glossar:

| | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| heterotroph | Kohlenstoff-heterotrophe Organismen (Tiere, Pilze, viele Bakterien) sind auf Kohlenhydrate angewiesen. Grüne Pflanzen sind C-autotroph (= selbsternährend) |
| Fulvosäuren | entstehen wie Huminsäuren beim Abbau von organischem Material |
| Clostridien | freilebende, anaerob lebende Bakterien die Stickstoff sammeln können |
| Rhizobien | stickstoffsammelnde Bakterien |
| Nitrogenase | Enzym, mit dessen Hilfe gasförmiger Stickstoff in pflanzliche Substanz eingebaut wird |
| Bacteroid | Rhizobien in den Leguminosenknöllchen |