



Mikroorganismen als natürliche Helfer im Garten und in der Landwirtschaft

Mikrobiologische Produkte, welche die Fruchtbarkeit des Bodens (Bodenhilfsmittel) und die Gesundheit der Pflanzen (Pflanzenhilfsmittel, Pflanzenstärkungsmittel) auf natürliche Art fördern, haben im Bewusstsein vieler Gartenliebhaber und Landwirte noch keinen festen Platz gefunden. Dies liegt u.a. an der mangelnden Sichtbarkeit der Akteure, aber auch an einem noch begrenzten wissenschaftlichen Verständnis der Prozesse, was wiederum in einem ungenügenden Informationsfluss zum Endverbraucher resultiert. Diesem Informationsdefizit entgegenzuwirken und das Interesse an der großen Wirkung der kleinen Helfer zu wecken, ist das Ziel des folgenden Artikels.

Wussten Sie beispielsweise, dass eine Handvoll guter Humusboden weitaus mehr Lebewesen enthält, als Menschen auf der Erde leben? Alleine in einem Gramm fruchtbaren Acker- oder Wiesenboden leben mehrere Milliarden Bakterien, Millionen

von Pilzen und Tausende von Kleinstlebewesen. Die mittlere Menge an mikrobieller Biomasse beträgt 15 Tonnen Frischmasse pro Hektar. Etwa ein Drittel dieser Biomasse wird von Bakterien gebildet.

Die Beteiligung der Mikroorganismen am Kreislauf der Stoffe

Betrachtet man die Rolle der Mikroorganismen im Kreislauf der Stoffe, wird deutlich, dass ihre Tätigkeit für Menschen, Tiere und Pflanzen überlebenswichtig ist:

1. Die grünen Pflanzen bauen primäre Biomasse wie Blätter, Wurzeln, Stängel, Holz (chemisch: Zucker, Stärke, Cellulose, Lignin, Protein, Fett u.v.a. m.) auf. Für diese Synthese verwenden sie Sonnenenergie, Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft und anorganischen Nährsalze (wie Phosphat und Nitrat), die im Bodenwasser gelöst sind. Die grünen Pflanzen werden daher als **Produzenten** bezeichnet.

2. Die Tiere sind die **Konsumenten**, sie verbrauchen einen großen Teil der primären Bio-

masse als Futter und bauen daraus ihre Körpersubstanz auf.

3. Wenn Tiere und Pflanzen schließlich sterben, muss der Kreislauf der Stoffe geschlossen werden. Hierzu müssen ihre organischen, sterblichen Überreste wieder in mineralische, anorganische Verbindungen überführt werden. Dieser als **Mineralisation** bezeichnete Vorgang wird in erster Linie von Pilzen und Bakterien durchgeführt. Sie fungieren im Naturhaushalt als **Destruenten**. Ohne sie wäre Leben auf der Erde unmöglich.

Betrachtet man ein einzelnes Beispiel der Stoffkreisläufe, z. B. den Kohlenstoffkreislauf, so wird die übergeordnete Bedeutung der Mikroorganismen noch klarer. Alle organischen Verbindungen bestehen zu einem erheblichen Teil aus Kohlenstoff.

Die Mikroorganismen sorgen für die Mineralisierung des durch die grünen Pflanzen in organische Bindungen überführten Kohlenstoffs und damit für die Erhaltung eines sehr delikaten Gleichgewichts. Die atmosphärische Luft enthält



nur wenig mehr als 0,03% Kohlendioxid. Die photosynthetische Leistung der grünen Pflanzen ist aber so groß, dass sich der CO_2 -Vorrat der Atmosphäre innerhalb von etwa 20 Jahren erschöpfen würde, wenn nicht Mikroorganismen dafür sorgen würden, dass die von den Pflanzen gebildete Biomasse wieder in ihre mineralische Form überführt würde. Darüber hinaus wäre nach kurzer Zeit die gesamte Erdoberfläche und die Weltmeere mit den durch die Pflanzen aufgebauten organischen Substanzen bedeckt bzw. gefüllt. Bei den Oxidationsprozessen der Mineralisierung wird der Kohlenstoff letztendlich in Form von CO_2 wieder freigesetzt.

Auch in anderen Stoffkreisläufen (Stickstoff, Schwefel, Phosphor) ist die Rolle der Mikroorganismen ähnlich relevant. So ist z.B. der Stickstoff, der aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren in den Boden gelangt, in einer Form gebunden (Ammonium), die Pflanzen nicht aufnehmen können. Erst die mikrobielle Oxidation zu Nitrat und Nitrit macht den Stickstoff für die Pflanzen wieder verfügbar und schließt somit den Kreislauf.

Mikroorganismen und Pflanzenernährung

Man kann also zusammen-

fassend festhalten, dass Mikroorganismen als Destruenten dafür sorgen, dass die Stoffkreisläufe wichtiger Elemente geschlossen sind und damit ein Fortbestehen des Lebens auf der Erde überhaupt ermöglichen. Dadurch, dass sie dafür sorgen, dass in den Boden gelangte organischen Substanzen (Wurzeln, Blätter, Pflanzenreste, Gründüngung, Gülle, Mist, abgestorbene Tiere) in eine anorganische (Stickstoffverbindungen, Kohlendioxid, Mineralien) und damit pflanzenverfügbare Form überführt werden, ermöglichen sie die Ernährung der Pflanzen. Einfach ausgedrückt - die Pflanzen würden verhungern, wenn nicht Mikroorganismen die organische Substanz mineralisieren würden. Denn anders als Tiere und Menschen können Pflanzen keine komplexeren organischen Verbindungen (wie z.B. Zellulose oder Protein) aufnehmen und verdauen, sondern sind auf anorganische Verbindungen (Nährsalze) angewiesen.

Oftmals leiten spezialisierte Mikroorganismen den Abbau ein. Durch die katalytische Wirkung ihrer Enzyme werden jedoch die Substanzen nur bis zu einem bestimmten Grad abgebaut. Die anschließenden Zersetzungs Vorgänge werden dann von anderen sich gegenseitig ablösenden Mikroorganismengruppen weitergeführt, wobei die Milieubedingungen (Temperatur, Feuchte, pH-Wert, Sauerstoffkonzentration etc.) eine wichtige Rolle spie-

len.

Organische Substanzen pflanzlicher sowie tierischer Herkunft sind für die Mikroorganismen teils leicht, teils schwer zersetzbar. Kohlenhydrate (Zucker, Stärke, Cellulose, Hemicellulose, bzw. Polysen, Pektin etc.) und auch Proteine und Proteinderivate lassen sich oftmals mehr oder minder leicht abbauen. Dagegen sind Stoffe wie Lignin, manche Fette, Harze, Wachse, Gummi u.a. sehr schwer angreifbar bzw. zersetzbar. Schwer abbaubare natürliche Stoffe führen im Boden zu einer Ansammlung von Abbauprodukten, die in die Humusbildung eingehen und eine wichtige Rolle für die Bodenfruchtbarkeit spielen. Die Beziehungen zwischen Bodeneigenschaften, Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln nehmen entscheidenden Einfluss auf die Wachstumsmöglichkeiten der Pflanzen und damit auf ihre Produktivität. Eine hohe Fähigkeit der Mikroorganismen, Nährstoffe aufzunehmen und umzusetzen ist Voraussetzung für eine effiziente Nährstoffnachlieferung der Pflanzen.

„Wir haben in unseren Untersuchungen herausgefunden, je diverser die Mikroflora, desto besser die Kohlenstoffverwertung und in der Folge dann die Humusverwertung. Die wiederum ist wichtig für den Erhalt und Aufbau der Boden-



fruchtbarkeit.“ (Paul Mäder, FiBL Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Schweiz)

Wie aber kann man eine hohe Diversität und damit eine hohe Fähigkeit der Mikroorganismen Nährstoffe aufzunehmen und umzusetzen erreichen?

Eine vernünftige Bodenbewirtschaftung mit ausreichender Einbringung von organischem Material ist sicher ein Schritt in die richtige Richtung. Es hat sich gezeigt, dass sich durch Kultivierungsarten wie Fruchtfolge und integrierter Pflanzenbau eine größere natürliche Mikroorganismen-Vielfalt entwickeln kann und sich dadurch die Chancen von phytopathogenen Bodenbakterien deutlich verschlechtern.

Wechselwirkung zwischen Pflanzen und Mikroorganismen

Mikroorganismen besiedeln die oberirdischen Teile der

Pflanzen und gehören zu einem komplexen Ökosystem vergleichbar der natürlichen Flora auf der menschlichen Haut oder den Schleimhäuten.

Mindestens ebenso interessant sind jedoch die Vorgänge unter der Erde.

Die Aufgabe der Pflanzenwurzel besteht darin, Wasser und Nähr Elemente aus dem Boden aufzunehmen. Heute weiß man, dass Wurzeln nicht nur Stoffe aus dem Boden aufnehmen, sondern auch eine Vielzahl von Substanzen wie Zucker, Enzyme oder organische Säuren in die Umgebung der Wurzeln abgeben. Diese Stoffe helfen dabei, Nährstoffe aus dem Boden zu lösen oder dienen als Nahrung für Bakterien und Pilze. Es ist daher nicht überraschend, dass die Anzahl von Bakterien in unmittelbarer Nähe der Wurzeln (1-3 mm), der sogenannten **Rhizosphäre**, um ein Vielfaches höher sein kann als im wurzelfernen Boden.

Doch warum versorgen Pflanzen Mikroorganismen mit Nahrung? Mit dieser Frage haben sich Wissenschaftler seit langer Zeit beschäftigt. Einige Systeme sind

inzwischen recht gut erforscht. Dazu gehört die **Symbiose von stickstofffixierenden Rhizobium Bakterien** und Schmetterlingsblütlern (Leguminosen).

Pflanzen sind nicht in der Lage den reaktionsträgen Stickstoff aus der Luft (N_2) aufzunehmen und zu aktivieren. Sie können Stickstoff nur in Form von Nitrat und Nitrit über die Wurzeln aufnehmen. Viele Bakterien, darunter die Rhizobium Arten können elementaren Stickstoff (N_2) aktivieren. Da Stickstoff und Phosphor für Pflanzen häufig der begrenzende Wachstumsfaktor ist, ist dies aus Sicht der Pflanzen eine äußerst attraktive Fähigkeit. Die Rhizobien infizieren wirtsspezifisch junge Wurzelhaare, bilden einen Infektionsschlauch und wachsen so bis ins innere der Wurzel ein. Hier bilden Pflanze und Bakterium gemeinsam Gewebewucherungen, sogenannte Knöllchen, in denen sich die Bakterien ungestört vermehren. Es handelt sich um eine echte Symbiose. Die Pflanze liefert





als Wirt die Nährstoffe, vorwiegend Zucker, und schafft optimale Lebensbedingungen für die Bakterien. Der von den Bakterien fixierte Stickstoff wird zu 95% in Form von Ammonium-Ionen in das Cytoplasma der Pflanzenzellen abgegeben und somit für die Pflanze verfügbar.

Eine weitere intensiv untersuchte Vergesellschaftung von Mikroorganismen und Pflanzen ist die sogenannte **Mycorrhiza**. Hier gehen Pilze mit Pflanzenwurzeln eine enge Verbindung ein. Man unterscheidet zwischen Ekto-Mycorrhiza und Endo-Mycorrhiza. Bei der Ekto-Mycorrhiza überzieht das Pilzgeflecht die Wurzeln und bildet mit den feinen Pilzhyphe ein die Erde durchziehendes Netzwerk. Dies führt zu einer beträchtlichen Oberflächenvergrößerung, was wiederum eine bis zu 60-fach verbesserte Mineralsalz- und Wasserversorgung der Pflanze mit sich bringt. Die physische Barriere der Pilzhyphe um die Pflanzenwurzeln steigert die Widerstandskraft der Pflanzen gegenüber Krankheiten und Insektenangriffen. Die Pilze ihrerseits profitieren von organischen Substanzen, welche die Pflanzenwurzeln liefern. Cirka 98% aller in Erde wachsender Pflanzengattungen bilden mit einer entsprechenden Vielzahl von Bodenpilzen solche Mykorrhiza-

Symbiosen.

Bei der Endo-Mykorrhiza dringt der Pilz in die Wurzeln ein und bildet Vesikel (Bläschen) und Arbuskel (Verästelungen). In den Vesikeln wird Kohlenstoff gelagert, während in den Arbuskeln der Austausch von Nährstoffen zwischen Pilz und Pflanze stattfindet.

Wechselwirkung zwischen Pflanzen und freien Rhizosphärebakterien

Weit weniger gut erforscht ist die Wechselwirkung zwischen den frei in der Rhizosphäre lebenden Mikroorganismen untereinander und der gastgebenden Pflanze. Die Methoden der klassischen Mikrobiologie waren nicht geeignet, die frei lebenden Bakterien der Rhizosphäre phylogenetisch zu erfassen. Über Kultivierungstechniken lassen sich aus einem Gramm Bodens circa 10 Millionen Bakterienzellen isolieren. Das Mikroskop zeigt jedoch, dass es in einem Gramm 10 bis 100 mal mehr lebensfähige Bakterien gibt. Heute geht man davon aus, dass die kultivierbaren Mikroorganismen im Boden nur 1-5% ausmachen, während 95-99% niemals erfasst und erkannt wurden, da sie auf den üblichen Medien nicht kultivierbar sind. Dies eröffnet völlig neue Perspektiven, und da Vorgänge in der Rhizosphäre auch für die landwirtschaftliche Praxis von großer Bedeutung sind, gewinnt

die Rhizosphäreforschung zunehmend an Bedeutung. Molekularbiologische Methoden kombiniert mit Fluoreszenzmarkierungen machen es inzwischen möglich, einen weit größeren Teil der Bodenmikroorganismen zu erfassen und ihre Eigenschaften zu untersuchen.

Die Rhizosphäre stellt für Mikroorganismen eine Art „Futteroase“ in ansonsten nährstoffarmen Böden dar. Die Rhizosphärebakterien können der Pflanze bei der Mobilisierung von Nährstoffen aus dem Boden helfen, die Wurzeln vor Krankheitserregern schützen oder pflanzliche Wachstums-hormone (Cytokinine, Auxine, Gibberelline) abgeben, die das Pflanzenwachstum fördern. Es ist bereits mehrfach gelungen, Mikroorganismen mit derartigen Eigenschaften aus der Rhizosphäre zu isolieren und im Labor zu vermehren. Diese nützlichen Mikroorganismen könnten als biologische Düngemittel oder Bodenhilfsstoffe eingesetzt werden. In Versuchen konnte bereits gezeigt werden, dass Pflanzen, die mit künstlich vermehrten Rhizosphärebakterien beimpft wurden, wesentlich besser wuchsen als nicht beimpfte Kontrollen. Derartige Technologien könnten dazu beitragen, den Einsatz von Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft und im Gartenbau zu reduzieren.



Seit den 90er Jahren wurde beispielsweise an der Isolierung nützlicher Rhizosphärenbakterien von Zuckerrüben gearbeitet. Inzwischen ist es gelungen geeignete Stämme zu isolieren, ihre Haltbarkeit zu sichern und die Kulturen mit geeigneten Trägermaterialien an den Samen der Zuckerrüben zu fixieren. Das fertige Produkt wird in Kürze auf dem Markt erwartet.

In der Rhizosphäre leben nicht nur gutartige Bakterien, sondern auch Erreger von Pflanzenkrankheiten, welche die Gesundheit der Pflanze bedrohen. Diese wiederum werden von „Kontrollorganismen“ daran gehindert, sich ungebührlich auszubreiten. In der Rhizosphäre findet also eine organisierte „biologische Kontrolle“ statt.

Neuere Ergebnisse der mikrobiellen Forschung zeigen, dass Rhizosphärenbakterien sogar untereinander Kommunikation betreiben können. Ihre Sprache ist dabei chemischer Natur. Mit bestimmten Signalmolekülen (N-Acyl-Homoserinlactone) können sie z.B. die Ausprägung bestimmter Gene in Abhängigkeit der Dichte einer Bakterienpopulation „absprechen“ oder eine Antibiotikaproduktion zur Abwehr von ungeliebten Nachbarn steuern (biologische Kontrol-

le). In der Rhizosphäre vieler Pflanzen gibt es offensichtlich viele Bakterien, die diese chemische Sprache beherrschen und die erwähnten Signalmoleküle produzieren.

Inzwischen ist es auch gelungen, die Reaktion einer Pflanze (Tomate) auf die Signalmoleküle eines Bakteriums (*Serratia liquefacies*) nachzuweisen. Wir können also davon ausgehen, dass ein reger Informationsaustausch zwischen Pflanzen und Rhizosphärenbakterien einerseits und Bakterien untereinander andererseits stattfindet.

Berücksichtigt man neuere Forschungsergebnisse, stellt sich das Niveau der Kommunikation noch wesentlich höher dar. Auch Einzeller wie Amöben oder höhere Tiere wie Insekten, die als Fraßfeinde für die Pflanzen eine Rolle spielen, sind in der Lage zu kommunizieren. Wenn beispielsweise Amöben Mikroorganismen an einer Wurzel abfressen, reagiert die Pflanze auch an Blättern oder Wurzeln, die weit entfernt sind. Oder ein anderes Beispiel für die extrem komplexen Zusammenhänge: Frisst eine Larve an den Blättern einer Pflanze, ändert sich die Zusammensetzung der Mikroorganismen an der Wurzel.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Bedeutung der Mikroorganismen für das Ökosystem Boden und die darin verwurzelten Pflanzen enorm groß ist. Man weiß mit Sicherheit, dass Bodenmikroorga-

nismen einen positiven Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen, ihr Wachstum, ihre Widerstandsfähigkeit gegen Krankheitserreger und die Bodenfruchtbarkeit haben.

Die wissenschaftlichen Bemühungen, diese Wirkungen im Einzelnen zu verstehen und erklären zu können, befinden sich trotz phantastischer neuer Methoden noch im Anfangsstadium.

Es besteht die berechtigte Hoffnung, dass mit Hilfe dieses Wissens in der Zukunft der Einsatz von klassischen Pflanzenschutzmitteln und mineralischem Dünger reduziert und die Bewirtschaftungsformen des Bodens verbessert werden können.

Bereits heute gibt es eine erfreulich hohe Anzahl mikrobiologischer Produkte, die dem Gärtner und Landwirt zur Verfügung stehen und eine äußerst empfehlenswerte natürliche Alternative bzw. Ergänzung zu herkömmlichen Mitteln darstellen. Das Prinzip der Biotechnologie, mit den sauberen und raffinierten Methoden der Natur, künstliche und oft belastende chemische Methoden zu ersetzen, hält auch in der Landwirtschaft und den Gärten seinen Einzug.