

UNSICHTBARE NETZWERKE – EIN BLICK IN DIE KOMPLEXE WELT DER BODENORGANISMEN



Dijana Vukovic, Fotograf: Elias Barmettler (Agroscope)

Dijana Vukovic

Dijana Vukovic ist eine Biologiestudentin mit Schwerpunkt auf Pflanzenwissenschaften. Sie forscht an den Interaktionen zwischen Pilzen und Pflanzen in der Forschungsgruppe von Marcel van der Heijden am Agroscope Reckenholz.

In der Erde unter unseren Füßen verbirgt sich eine faszinierende Welt, deren Bedeutung wir oft übersehen. Böden spielen eine essenzielle Rolle für die Nahrungsmittelversorgung, Regulierung von Wasservorräten, Bindung von Treibhausgasen und vieles mehr (1). Die Qualität eines Bodens wird nicht allein durch seine physikalischen und chemischen Eigenschaften bestimmt, sondern auch durch seine Bewohner - den Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen (2). Die verschiedenen Lebensformen interagieren miteinander in einem riesigen unterirdischen Netzwerk, wobei es verschiedene Beziehungsverhältnisse gibt. Sie können vorteilhaft sein, wie es bei Symbiosen der Fall ist, sie können aber auch negativ sein, wie in Konkurrenz- oder Räuber-Beute-Beziehungen. Das Erforschen dieser komplexen Interaktionen kann wichtige Erkenntnisse liefern, die genutzt werden können, um landwirtschaftliche Systeme zu verbessern und nachhaltiger zu gestalten.

BODENLEBEWESSEN

Einen grossen Anteil der unterirdischen Biomasse wird von Pflanzenwurzeln gebildet (3). Pflanzen erfüllen eine Vielzahl von Aufgaben in Ökosystemen. Als Primärproduzenten wandeln sie anorganische Nährstoffe in organische Verbindungen um, welche die Nahrungsgrundlage für zahlreiche Lebewesen darstellen (4). In den Chloroplasten der Pflanzenzellen findet die Photosynthese statt, bei der mithilfe von Sonnenlicht aus Kohlendioxid und Wasser energiereiche Glukose und Sauerstoff produziert wird (4). Ausserdem stabilisiert das unter der Erde verborgene Wurzelgeflecht den Boden und schützt ihn dadurch vor Erosion (5). Pflanzen sind alles andere als nur passive Elemente des Bodennetzwerks. Sie interagieren mit verschiedenen anderen Lebensformen, welche aufgrund ihrer Grösse in vier Gruppen unterteilt werden können: Makrofauna, Mesofauna, Mikrofauna und Mikroflora (6).

Makrofauna (Ø: 2-20 mm)

Zur Makrofauna gehören unter anderem Regenwürmer, Asseln und Termiten (7). Sie zersetzen totes Pflanzenmaterial und düngen mit ihren Exkrementen den Boden (8). Sie tragen ausserdem durch den Bau von Gängen massgeblich zur Verbesserung der Bodenstruktur bei. Diese unterirdischen Labyrinth fördern sowohl die Belüftung der Erde, als auch die Durchlässigkeit für Wasser (8).



Regenwurmkot auf einer Wiese (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope)



Drahtwürmer infiziert mit der Grünen Muskardine - *Metarhizium anisopliae* (Foto: Mario Waldburger, Agroscope)

Auch diverse Käfer nutzen den Boden als Lebensraum, jedoch werden nicht alle gerne gesehen. Einige Arten gelten in der Landwirtschaft als Schädlinge. So zum Beispiel Drahtwürmer, die Larven der Schnellkäfer (9). Diese befallen wichtige Nahrungspflanzen wie Kartoffeln, Mais oder Zuckerrüben (9). Um den Einsatz von synthetischen Pestiziden zu verringern, werden natürliche Feinde dieses Schädlings untersucht. Parasitäre Nematoden

(siehe «Mikrofauna») können diese Larven infizieren und werden daher als eine Form der biologischen Schädlingsbekämpfung angesehen (10). Auch die Verwendung von pathogenen Pilzen zeigt sich vielversprechend. Arten der Gattung *Metarhizium* haben die Fähigkeit verschiedene Insekten zu befallen (10, 11). Diese Pilze dringen in den Körper des Wirtes ein und scheiden dort Enzyme und Toxine aus (12). Nachdem die Larve verendet ist, wird sie vom Pilz als Nahrungsquelle genutzt (12).

Mesofauna (Ø: 0.2 bis 2.0 mm)

Vertreter der Mesofauna sind beispielsweise Milben, Springschwänze und grössere Nematoden (13). Auch diese Gruppe ist wichtig für die Zersetzung von totem Material, wodurch Nährstoffe für andere Organismen freigesetzt werden (13). Die Rote Samtmilbe gehört zu dieser Grössengruppe. Obwohl sie äusserlich gewisse Ähnlichkeiten mit Zecken aufweist, ist sie alles andere als schädlich für Menschen. Diese winzigen Nützlinge ernähren sich unter anderem von Schneckeneiern und Blattläusen (14). Sogenannte Raubmilben werden immer mehr in Privatgärten, aber auch in der Landwirtschaft zum Pflanzenschutz genutzt. Arten der Gattung *Amblyseius* beispielsweise können Pflanzen von Spinnmilben, der Weissen Fliege oder Thripsen befreien (15).



Die Rote Samtmilbe;
leuchtend rot mit einer dichten Körperbehaarung
(Foto: Mario Waldburger, Agroscope)



Fadenwürmer unter dem Lichtmikroskop
(Foto: Mario Waldburger, Agroscope)

Mikrofauna (Ø < 0.2 mm)

Zur Gruppe Microfauna gehören mikroskopisch kleine Organismen wie Protozoen, Bärtierchen und kleinere Nematoden (16). Diese sind häufig räuberisch und ernähren sich von kleineren Organismen, wie Bakterien und Pilzen (16). Nematoden, auch Fadenwürmer genannt sind sehr weit verbreitete Bodenbewohner (16). Unter den Fadenwürmern gibt es Prädatoren und Parasiten. Die parasitisch lebenden Arten können Pflanzen, Tiere und Menschen infizieren und dort grosse Schäden anrichten (17).

Das Wurzelgewebe von befallenen Pflanzen beispielsweise verliert seine Fähigkeit, effizient Nährstoffe und Wasser aufzunehmen (17). Ausserdem können Pflanzen durch so einen Befall anfälliger auf Infektionen mit anderen Pathogenen werden (17). In der Landwirtschaft kann es dadurch zu grossen ökonomischen Verlusten kommen (17). Je nachdem, welchen Wirt sie befallen, können solche Nematoden aber auch nützlich sein. Einige Arten sind beispielsweise kommerziell erhältlich zur Bekämpfung von Schädlingen wie Trauermückenlarven und Drahtwürmern (siehe «Makrofauna») (18).

Mikroflora (Ø < 0.2 mm)

Die häufigsten Vertreter der Mikroflora sind Bakterien und Pilze. (19). Sie sind entscheidend für den Nährstoffkreislauf (19). Sie wandeln organische Materialien in mineralische Nährstoffe um, welche dann von Pflanzen aufgenommen werden können (19). Mit dem Ausscheiden von Enzymen können sie eine Reihe von schwer zersetzbaren Stoffen abbauen (19). Neben den Zersetzern gibt es auch Pathogene sowie auch mutualistisch lebende Bakterien und Pilze (20). Pflanzen können sehr enge Symbiosen mit gewissen Vertretern der Mikroflora eingehen. Diese Koope-

rationen verbessern die Nährstoffversorgung beider Interaktionspartner. Rhizobien, auch Knöllchenbakterien genannt, oder Mykorrhizapilze sind bekannte Beispiele dafür (20).

Knöllchenbakterien

Rhizobien oder Knöllchenbakterien gehören zur Familie Rhizobiaceae und zeichnen sich durch ihre einzigartige Fähigkeit aus, eine mutualistische Symbiose mit Pflanzen aus der Familie der Leguminosen (Hülsenfrüchtler) einzugehen (21). In den Wurzeln bilden sich Knöllchen, in denen die Rhizobien beheimatet sind (21). Der Sauerstoffgehalt in diesen Geschwülsten ist relativ niedrig, was den perfekten Lebensraum für diese Bakterien bietet (21). Sie können ausserdem organische Kohlenstoffverbindungen von der Pflanze als Energiequelle nutzen (21). Als Gegenleistung binden sie Stickstoff aus der Luft und wandeln ihn in eine für Pflanzen verwertbare Form um, Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen (21). Neben Phosphor und Kalium ist Stickstoff einer der drei wichtigsten Nährstoffe für das Pflanzenwachstum (23). Die Anwesenheit von Rhizobien im Boden führt zu einem reduzierten Bedarf für synthetische Stickstoffdünger im Anbau von Bohnen, Erbsen und Co.



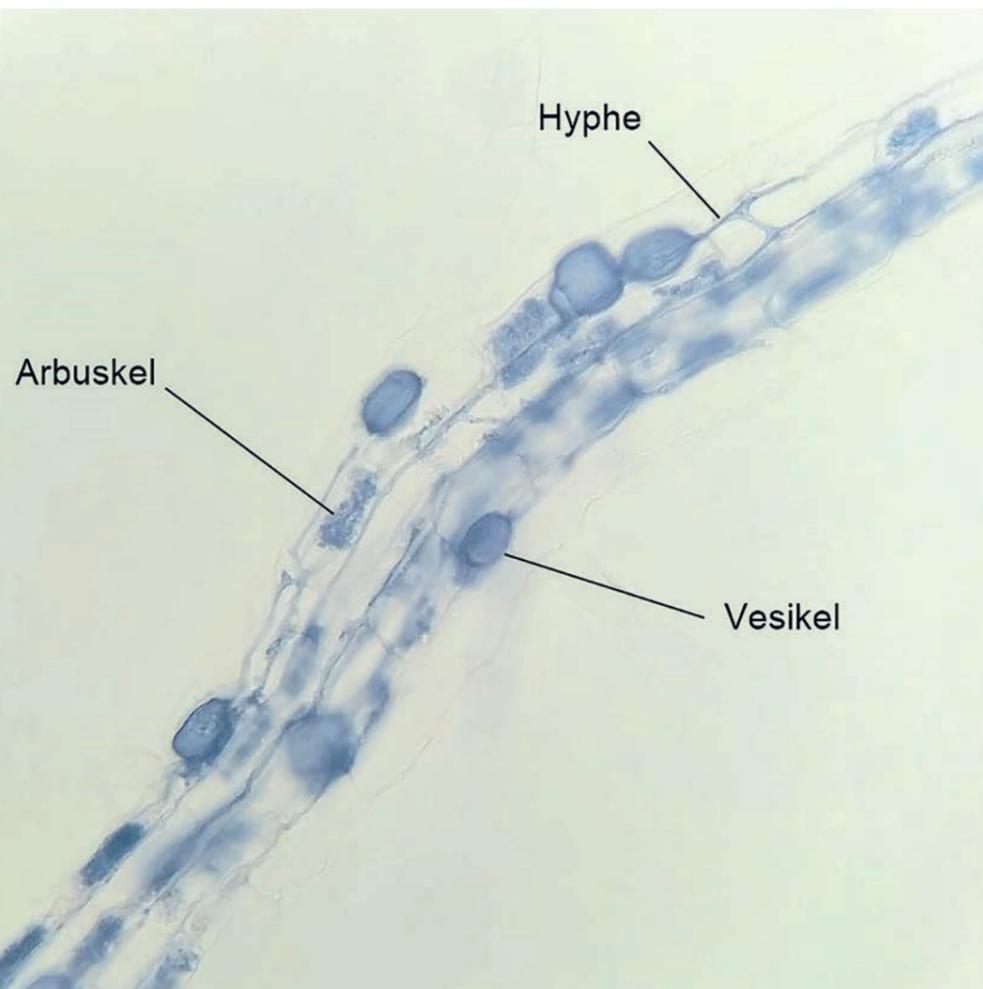
Wurzelknöllchen in Leguminosen
(Foto: © Terraprima/wikimedia.org; CC BY-SA 3.0)

Mykorrhiza

Die Symbiose zwischen Landpflanzen und Mykorrhizapilzen hat in den letzten Jahren zunehmend an Interesse gewonnen. Diese besonderen Bodenpilze besiedeln das Wurzelsystem der Pflanzen und bilden so eine Lebensgemeinschaft, in der beide profitieren (24). Durch die langen fadenförmigen Hyphen sind die Mykorrhizapilze in der Lage, effektiv Wasser und darin gelöste Phosphate und Nitrate von einem grösseren Bodenvolumen aufzunehmen, als es für die Wurzeln alleine möglich wäre (24). Diese Nährstoffe werden an die Pflanzen weitergegeben, was ihr Wachstum positiv beeinflusst (24). Im Gegenzug erhalten die Pilze lebensnotwendige Kohlenhydrate von ihrem Wirt (24). Auch andere Vorteile lassen sich auf diese Symbiose zurückführen. Die Pflanzen zeigen beispielsweise grössere Resistenzen gegenüber

verschieden Arten von Pathogenen (24). Die Mykorrhizapilze werden aufgrund ihrer Struktur und Funktionsweise in vier Gruppen unterteilt: Arbuskuläre Mykorrhiza, Ektomykorrhiza, Orchideen-Mykorrhiza und Ericoide Mykorrhiza (24). Für die Landwirtschaft sind vor allem die Arbuskulären Mykorrhizapilze von Bedeutung (25). Diese Gruppe bildet sogenannte Arbuskeln, baumartige Strukturen innerhalb der Wurzelzellen (24). Dort findet der Austausch von Nährstoffen statt (26). Bei den meisten Landpflanzen findet man diese Art von Symbiose, jedoch haben landwirtschaftliche Praktiken einen negativen Einfluss darauf. Das Pflügen zerstört das unterirdische Pilznetzwerk und der Einsatz von synthetischen Pestiziden und Düngern schadet ebenfalls diesen wichtigen Pilzen (24).

Die Strukturen der Arbuskulären Mykorrhizapilze innerhalb der Wurzel einer Erbsenpflanze (Foto: Miguel Lopez-Gomez - Agroscope)



Literaturverzeichnis

- (1) Jónsson, J.Ö. and Davíðsdóttir, B. (2016) „Classification and valuation of Soil Ecosystem Services“, *Agricultural Systems*, 145, pp. 24–38.
- (2) Vries, F.T. and Wallenstein, M.D. (2017) „Below-ground connections underlying above-ground food production: A framework for optimising ecological connections in the rhizosphere“, *Journal of Ecology*, 105(4), pp. 913–920.
- (3) Bar-On, Y.M., Phillips, R., Milo, R. (2018) „The biomass distribution on Earth“, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), pp. 6506–6511.
- (4) Coombs, J. (1985) „Chapter 1 – Measurement of Plant Biomass and net Primary Production“, in *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Oxford: Pergamon Press.
- (5) Gysels, G. et al. (2005) „Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A Review“, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 29(2), pp. 189–217.
- (6) Zagatto, M.R. et al. (2020) „Mesofauna and macrofauna in soil and litter of mixed plantations“, *Mixed Plantations of Eucalyptus and Leguminous Trees*, pp. 155–172.
- (7) Sofo, A., Mininni, A.N. and Ricciuti, P. (2020) „Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in Fruit Orchard Agrosystems“, *Agronomy*, 10(4), p. 456.
- (8) Medina-Sauza, R.M. et al. (2019) „Earthworms building up soil microbiota, a review“, *Frontiers in Environmental Science*, 7.
- (9) Barsics, F., Haubruge, E. and Verheggen, F. (2013) „Wireworms“ Management: An overview of the existing methods, with particular regards to agriotes spp. (Coleoptera: Elateridae)“, *Insects*, 4(1), pp. 117–152.
- (10) Ansari, M.A., Evans, M. and Butt, T.M. (2009) „Identification of pathogenic strains of entomopathogenic nematodes and fungi for wireworm control“, *Crop Protection*, 28(3), pp. 269–272.
- (11) Reinbacher, L. et al. (2021) „Preventive field application of metarhizium brunneum in cover crops for Wireworm Control“, *Crop Protection*, 150, p. 105811.
- (12) Schrank, A. and Vainstein, M.H. (2010) „Metarhizium anisopliae enzymes and toxins“, *Toxicon*, 56(7), pp. 1267–1274.
- (13) Castanho, C.T., Lorenzo, L. and de Oliveira, A.A. (2012) „The importance of mesofauna and decomposition environment on leaf decomposition in three forests in southeastern Brazil“, *Plant Ecology*, 213(8), pp. 1303–1313.
- (14) Chen, P.-R. et al. (1994) „allothrombium pulvinumewing (Acari, Trombididae), an important early-season natural enemy of aphid gossypiglover (Hom., Aphididae) in Cotton“, *Journal of Applied Entomology*, 117(1–5), pp. 113–121.
- (15) Messelink, G.J. et al. (2009) „Pest species diversity enhances control of spider mites and whiteflies by a generalist phytoseiid predator“, *BioControl*, 55(3), pp. 387–398.
- (16) „Microfauna“ (1996) in *Methods in soil biology*. Berlin: Springer.
- (17) Mendoza-de Gives, P. (2022) „Soil-borne nematodes: Impact in agriculture and Livestock and sustainable strategies of prevention and control with special reference to the use of nematode natural enemies“, *Pathogens*, 11(6), p. 640.
- (18) Platt, T., Stokwe, N.F. and Malan, A.P. (2020) „A review of the potential use of entomopathogenic nematodes to control above-ground insect pests in South Africa“, *South African Journal of Enology and Viticulture*, 41(1).
- (19) Talwar, H. K., & Chatli, A. (2018). „Microflora of Soil: A Review“, *International Journal of Advanced Research*, 6, 1502-1520.
- (20) Nishiguchi, M. K. et al. (2008). „Deciphering Evolutionary Mechanisms Between Mutualistic and Pathogenic Symbioses“, *Vie Milieu*, 58(2), 87-106.
- (21) Wheatley, R. M. et al. (2020). Lifestyle Adaptations of Rhizobium from Rhizosphere to Symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117, 23823–23834.
- (22) Rutten, P.J. and Poole, P.S. (2019) „Oxygen regulatory mechanisms of nitrogen fixation in rhizobia“, *Advances in Microbial Physiology*, pp. 325–389.
- (23) Jiaying, M. et al. (2022) „Functions of nitrogen, phosphorus and potassium in energy status and their influences on rice growth and development“, *Rice Science*, 29(2), pp. 166–178.
- (24) Heijden, M.G. et al. (2015) „Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future“, *New Phytologist*, 205(4), pp. 1406–1423.
- (25) Thirkell, T.J., Pastok, D. and Field, K.J. (2019) „Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration“, *Global Change Biology*, 26(3), pp. 1725–1738.
- (26) Wang, W. et al. (2017) „Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis“, *Molecular Plant*, 10(9), pp. 1147–1158.