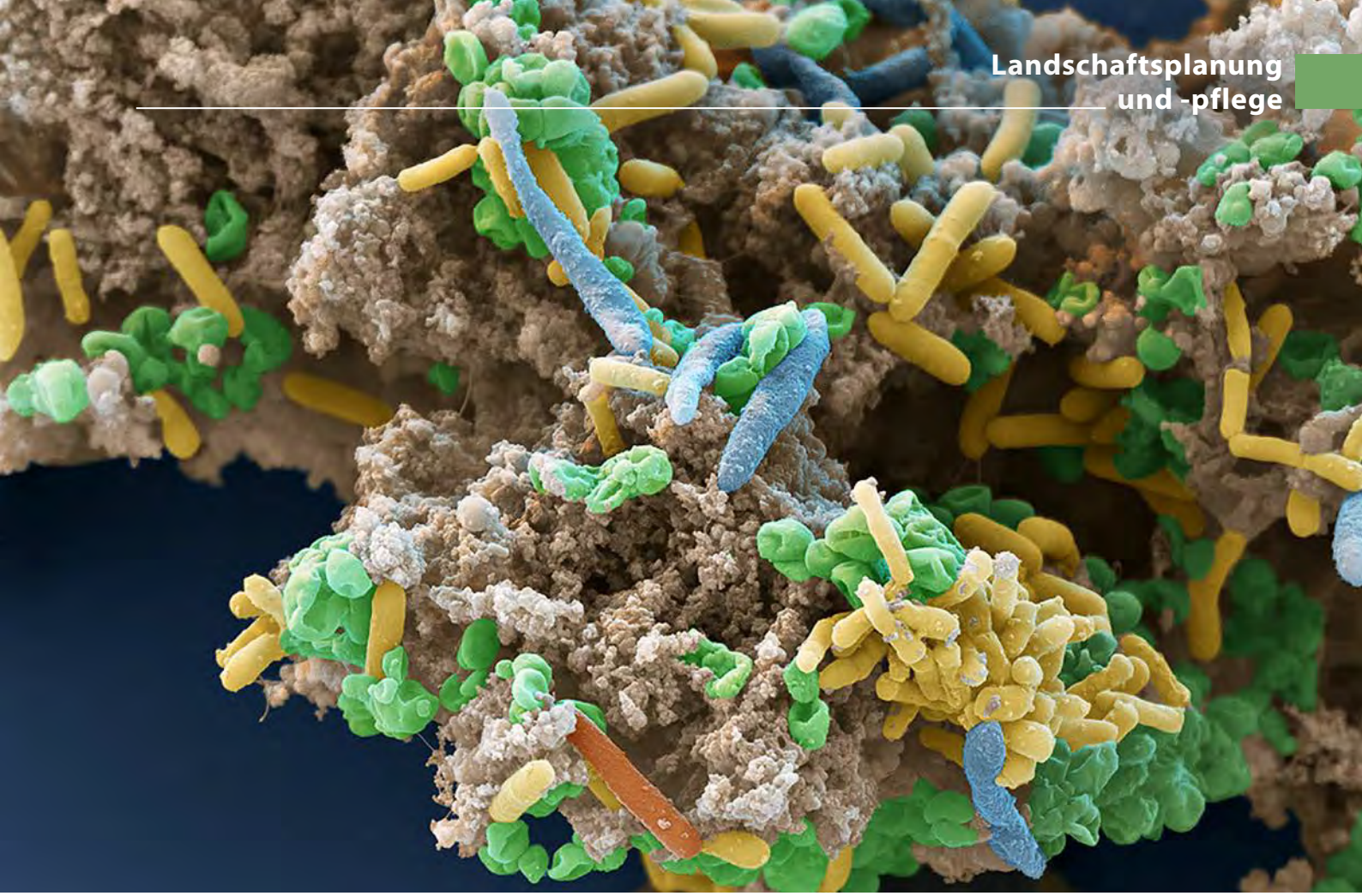

Abbildung 1
Aufnahme einer gemischten Kultur von Bakterien mit dem Rasterelektronenmikroskop (Foto: Andreas Kappler/Eye of Science, Meckes).

Bernhard Hoiss

Mikroorganismen: Ökosystemfunktionen und Naturschutz

Mikroorganismen sind die häufigsten, vielfältigsten und funktional wichtigsten Organismen der Erde (Shoemaker et al. 2017). Sie spielen eine zentrale Rolle für fast alle Funktionen im Ökosystem. So beeinflussen sie die menschliche, aber auch die pflanzliche Gesundheit, sind verantwortlich für wichtige Stoffkreisläufe oder fördern die Produktivität von Ökosystemen. Dabei können die Funktionen meist nur im Zusammenspiel mehrerer unterschiedlicher Arten oder Gilden wahrgenommen werden. Zusammensetzung und Vielfalt der Mikroorganismen spielen eine wichtige Rolle, um die vielfältigen Ökosystemfunktionen aufrechtzuerhalten. Einige Untersuchungen zeigen, dass sie sehr empfindlich auf Umwelteinflüsse reagieren. Daher sollten Mikroorganismen in der Ökosystemforschung und im Naturschutz eine wichtigere Rolle spielen, als dies bisher der Fall war.

Mikroorganismen bilden keine einheitliche systematische Gruppe, sondern umfassen mikroskopisch kleine ein- bis wenigzellige Lebewesen aus unterschiedlichen Gruppen. Dazu gehören Bakterien, Archaea, einzellige Pilze, Mikroalgen und Protozoen. Lange wurden Mikroorganismen sowohl in der Biodiversitätsforschung als auch im praktischen Naturschutz kaum beachtet. So sind auch die Einflussfaktoren für die Diversität von Mikroorganismen in vielen Bereichen noch unbekannt oder spekulativ (Shoemaker et al. 2017). Wir kennen noch nicht einmal einen Bruchteil der mikrobiellen Arten. Kürzlich wurde in einer Studie die Anzahl der weltweit existierenden Arten auf etwa eine Billion hochgerechnet (Locey & Lennon 2016). Davon sind aktuell nur rund 16.000 Bakterienarten

beschrieben. Weniger als 10.000.000 Arten wurden bis 2016 anhand von Gensequenzen katalogisiert (Locey & Lennon 2016). Um Arten von Bakterien und ihre Eigenschaften abzugrenzen, werden sie klassischerweise in Kulturmedien verschiedenster Art gezogen. Das ist zeitaufwendig und die meisten Arten lassen sich nur schwierig oder gar nicht kultivieren. Aufgrund neuer genetischer Methoden (next generation sequencing, kurz NGS) gibt es jedoch seit ein paar Jahren immer mehr Daten und Erkenntnisse zu ökologischen Funktionen, Biodiversitäts- und Abundanzmustern von Mikroorganismen und den Auswirkungen von Umwelt- oder Nutzungsänderungen auf diese Muster. NGS ermöglicht die gleichzeitige Erfassung von Teilen des Genoms vieler Individuen. Über eine Analyse der Ähnlichkeit der untersuchten DNA-Sequenzen werden sogenannte OTUs (operative taxonomische Einheiten) ermittelt. Das Pendant für Arten im Bereich der Mikroorganismen. Anhand dieser OTUs lässt sich dann auch die „Artenvielfalt" oder Diversität des Mikrobioms errechnen.

Abbildung 2 Cyanobakterien, die durch den Wind an einem Gewässerrand konzentriert wurden. Durch zu viele Nährstoffe kann es in Stillgewässern zu einer Blaualgenblüte kommen. Dann wird die Menge dieser Bakterien so groß, dass sie auch makroskopisch sichtbar werden. Da einige Arten Toxine produzieren, sollte man hier nicht mehr baden gehen (Foto: Christian Fischer, CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons).

Menschliche Gesundheit

Eine wichtige Argumentationshilfe für den Naturschutz sind die Ökosystemleistungen von einzelnen Arten(gruppen) oder Lebensräumen für den Menschen. Die menschliche Gesundheit spielt dabei eine wichtige Rolle. Direkte Auswirkungen von Diversität auf die Gesundheit sind jedoch schwierig nachzuweisen. Am besten gelingt dies für die innerliche mikrobielle Diversität (Hough 2014).

Ein Beispiel, wie frei lebende Mikroorganismen die menschliche Gesundheit beeinflussen können, sind Cyanobakterien in Seen. In den letzten 100 Jahren fand hier eine Homogenisierung der Artenzusammensetzung zwischen verschiedenen Seen in der Schweiz statt (Monchamp et al. 2017). Das heißt, die Artengemeinschaften in den Seen werden sich immer ähnlicher. Der Anteil seltener Arten geht kontinuierlich zurück, während einige Arten immer häufiger werden und die Artengemeinschaften dominieren. Unter diesen Cyanobakterien finden sich besonders viele mit für den Menschen toxischen Stoffwechselprodukten. Ähnlich wie bei vielen tiefgreifenden Veränderungen im Makrobiom sehen die Autoren der Studie die Gründe für ihre Beobachtungen zum einen in steigenden Temperaturen und zum anderen in der Überdüngung der Gewässer (Monchamp et al. 2017).

Funktion, Zusammensetzung und wichtige Einflussfaktoren

Mikroorganismen haben eine Vielzahl an essenziellen Funktionen, etwa bei der Bereitstellung von Nährstoffen oder in den Stoffkreisläufen der wichtigsten Elemente (Bender et al. 2016). Dabei überlappen sich die Funktionen der einzelnen Arten von Bakterien und Pilzen und führen so zu sehr komplexen Systemen. Von diesem Zusammenspiel vieler Arten hängt etwa das Gleichgewicht zwischen Abbau von organischem Material und der Festlegung von Kohlenstoff im Waldboden ab (Lladó et al. 2017). Extreme Trockenzeiten, verlängerte Vegetationsperioden oder erhöhte Stickstoffeinträge verändern die Zusammensetzung und die Diversität der Mikroorganismen. Wie stark der Einfluss verschiedener Umweltparameter auf das Mikrobiom ist, zeigt auch eine Studie, die im Rahmen des Projektes „Biodiversitäts-Exploratorien" in Deutschland durchgeführt wurde (Richter et al. 2018). Die mikrobielle Biomasse und auch die Zusammensetzung der Artengemeinschaft im Waldboden wurde hier vor allem von Umgebungsvariablen wie der Feuchtigkeit, der Bodenstruktur, dem Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff, aber auch der Bodenreaktion bestimmt. Veränderungen in diesen Parametern können wiederum dramatische Änderungen in den Kohlenstoffflüssen in den Böden mit globalen Auswirkungen verursachen. So verringert etwa zusätzlicher Stickstoff in Waldböden den mikrobiellen Abbau der organischen Bodenbestandteile (Lladó et al. 2017).

In ungenutzten Ökosystemen stellen stickstofffixierende Bakterien 95 % des pflanzenverfügbaren Stickstoffs bereit. Doch ändert sich die Diversität und Aktivität der stickstofffixierenden Bakterien dramatisch nach Stickstoffeinträgen

(Lladó et al. 2017). Generell zeigen mehrere Studien, dass mehr verfügbarer Stickstoff die Biomasse sowohl von Pilzen als auch von Bakterien um bis zu 50 % reduziert und auch die Diversität dieser Artengruppen sinkt (Lladó et al. 2017). Die intensive landwirtschaftliche Nutzung von Böden reduziert auch die Vielfalt der im Boden lebenden Organismen beziehungsweise der funktionellen Gruppen und führt zu vereinfachten Nahrungsnetzen (Bender et al. 2016). In solchen intensiv genutzten Böden ist die Vielfalt der Mikroorganismen teilweise so niedrig, dass auch die Aktivität in zentralen Stoffwechselvorgängen eingeschränkt ist (Bender et al. 2016). Besonders unter Stress, etwa ausgelöst durch extreme Wetterbedingungen, funktionieren die Nahrungsnetze im Boden dann nicht mehr. Darunter kann dann auch die Produktivität der angebauten Pflanzen leiden.

Eine Möglichkeit, die derzeit diskutiert und teilweise schon angewandt wird, ist die ökologische Intensivierung von Böden (Bender et al. 2016). So sollen etwa Pflanzensorten eingesetzt werden, die in der Lage sind, das Mikrobiom in ihrem Wurzelbereich zu beeinflussen. Bei der Saat beziehungsweise Zucht von Pflanzen können dann funktionelle Bakterien mit ausgebracht werden. Werden etwa Sojabohnen gemeinsam mit stickstofffixierenden Bakterien angesät, so kann auf eine zusätzliche Düngung komplett verzichtet werden (Bender et al. 2016).

Wenn die pflanzliche Diversität zunimmt, dann steigt die Biomasse von Mikroorganismen im Boden und die Zusammensetzung ändert sich. Dies zeigt das inzwischen seit mehr als 15 Jahren laufende Jena-Experiment (Weisser et al. 2017). Damit wird deutlich, dass Änderungen der oberirdischen Diversität auch die Prozesse im Boden stark beeinflussen. Im Experiment war beispielsweise die Produktion von fungiziden Substanzen im Boden durch Mikroorganismen dort am höchsten, wo auch die Artenvielfalt der Pflanzen am höchsten war. Die erhöhte Produktion von Fungiziden kann wiederum eine erhöhte Resistenz der Pflanzengesellschaft gegenüber Krankheitserregern mit sich bringen. Ein weiterer Beitrag der Mikroorganismen für nachhaltige und umweltfreundliche Landwirtschaft.

Dass die Produktivität von Bäumen auch von der Diversität oberirdisch lebender Mikroorganismen beeinflusst wird, legt eine Studie aus Kanada nahe (Laforest-Lapointe et al. 2017). Die Diversität von Mikroorganismen auf den Blättern der Bäume hängt deutlich von der Diversität der Bäume in der näheren Umgebung ab. Unabhängig von der pflanzlichen Vielfalt scheint wiederum die mikrobielle Diversität den Biomassezuwachs junger Bäume zu fördern. Grund dafür könnte eine erhöhte Resistenz der Bäume gegenüber Pathogenen oder auch eine erhöhte Stickstofffixierung durch die Bakterien auf den Blättern sein (Laforest-Lapointe et al. 2017).

Sogar der Bestäubungsvorgang von Pflanzen wird von Mikroorganismen beeinflusst. In einem Versuch mit Hummeln zeigte sich, dass diese Blüten bevorzugten, auf denen die Dichte der Bakterien

Abbildung 3
Die Thekamöben der Gattung *Euglypha* zählen zu den häufigen Bewohnern in Waldböden. Sie gehören zu den Protisten und haben im Gegensatz zu den Bakterien einen Zellkern (Foto: Eugen Lehle/http://bodenlabor.de (CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons).

Abbildung 4 Eine Erdhummel streckt ihren Rüssel aus, um Nektar aus dem tiefen Kelch des Lerchensporns zu saugen. Dieser Reflex wird immer dann ausgelöst, wenn die Antennen Kontakt mit Zuckerwasser haben. Wenn sich darin allerdings zu viele Bakterien tummeln, dann unterbleibt der Reflex und die Blüte wird auch nicht bestäubt (Foto: Bernhard Hoiß).

möglichst gering war (Junker et al. 2014). Bakterien können auf diesem Wege also die Fortpflanzung von Pflanzen negativ beeinflussen. Offen ist, welche Faktoren die Dichte der Bakterien in Blüten beeinflussen.

Fazit

Die Forschung zur Biodiversität und Funktion von Mikroorganismen steht noch am Anfang. Nach wie vor gibt es viel Forschungsbedarf, um etwa auch für Mikroorganismen die wichtigsten „ökologischen Regeln" zu untersuchen. Trotzdem lassen die ersten Erkenntnisse erahnen, wie zentral ihre Rolle ist. Sie sind die unsichtbaren Regulatoren der makroökologischen Welt. Veränderungen in der Umwelt geben sie verstärkt an Pflanzen und Tiere weiter. Ihre essenziellen Funktionen für das Ökosystem müssen dringend erhalten bleiben. Einige der vorgestellten Beispiele zeigen, wie eng Makrobiom und Mikrobiom voneinander abhängen und miteinander interagieren. Der menschliche Einfluss auf Nährstoffe, aber auch auf den Feuchtigkeitshaushalt, haben beispielsweise auch großen Einfluss auf die Mikroorganismen und die von ihnen maßgeblich aufrechterhaltenen Stoffkreisläufe. Als unglaublich diverser und funktional wohl wichtigster Bestandteil der Natur sollten Mikroorganismen in der Naturschutzarbeit daher stets mitgedacht werden. So wäre es beispielsweise denkbar, bei der Anlage von Ausgleichsflächen nicht nur Pflanzen anzusäen, sondern auch für den Lebensraum typische Mikroorganismen über entsprechende Wasser- oder Bodenproben zu übertragen. Die Entwicklung und Anwendung solcher Methoden steht allerdings noch am Anfang.

Autor

Bernhard Hoiß,
Jahrgang 1981.
Studium der Biologie in Regensburg. Nach kurzer Zeit in einem Planungsbüro Promotion und wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten Bayreuth und Würzburg zum Themenkomplex Pflanzen-Bestäuber-Interaktionen. Anschließend bei der Regierung von Schwaben als Biodiversitätsbeauftragter beschäftigt. Seit 2016 an der ANL mit den Schwerpunkten Biodiversität und Öffentlichkeitsarbeit.

Bayerische Akademie für Naturschutz
und Landschaftspflege (ANL)
+49 8682 8963-53
bernhard.hoiss@anl.bayern.de

Literatur

Bender, S. F., Wagg, C. & van der Heijden, M. G. A. (2016): An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. – Trends in Ecology & Evolution 31(6): 440–452.

Hough, R. L. (2014): Biodiversity and human health: evidence for causality? – Biodiversity and Conservation 23(2): 267–288.

Junker, R. R., Romeike, T., Keller, A. & Langen, D. (2014): Density-dependent negative responses by bumblebees to bacteria isolated from flowers. – Apidologie 45(4): 467–477.

Laforest-Lapointe, I., Paquette, A., Messier, C. & Kembel, S. W. (2017): Leaf bacterial diversity mediates plant diversity and ecosystem function relationships. – Nature 546(7656): 145–147.

Lladó, S., López-Mondéjar, R. & Baldrian, P. (2017): Forest Soil Bacteria: Diversity, Involvement in Ecosystem Processes, and Response to Global Change. – Microbiology and molecular biology reviews: MMBR 81(2).

Locey, K. J. & Lennon, J. T. (2016): Scaling laws predict global microbial diversity. – Proceedings of the National Academy of Sciences 113(21): 5970–5975.

Monchamp, M.-E., Spaak, P., Domaizon, I., Dubois, N., Bouffard, D. & Pomati, F. (2017): Homogenization of lake cyanobacterial communities over a century of climate change and eutrophication. – Nature Ecology & Evolution 2: 317–324.

Richter, A., Schöning, I., Kahl, T., Bauhus, J. & Ruess, L. (2018): Regional environmental conditions shape microbial community structure stronger than local forest management intensity. – Forest Ecology and Management 409: 250–259.

Shoemaker, W. R., Locey, K. J. & Lennon, J. T. (2017): A macroecological theory of microbial biodiversity. – Nature Ecology & Evolution 1(5): 0107.

Weisser, W. W., Roscher, C., Meyer, S. T., Ebeling, A., Luo, G., Allan, E. et al. (2017): Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. – Basic and Applied Ecology 23: 1–73.

Zitiervorschlag

Hoiss, B. (2018): Mikroorganismen: Ökosystemfunktionen und Naturschutz. – ANLiegen Natur 40(1): 61–64, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Anliegen Natur

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: 40_1_2018

Autor(en)/Author(s): Hoiss Bernhard

Artikel/Article: Mikroorganismen: Ökosystemfunktionen und Naturschutz 61-64