

# Ökosystem Grünlandbetrieb

Der landwirtschaftliche Betrieb kann wie ein Ökosystem gesehen werden. Prozesse, die sich gegenseitig beeinflussen, entstehende Nischen und Möglichkeiten sowie kleine und große Kreisläufe finden hier statt. Je vielfältiger der Betrieb auf allen Ebenen ist, desto anpassungsfähiger wird er auf Umwelteinflüsse reagieren können. Je spezialisierter die Landnutzung ist, desto weniger komplex und stabil sind die Ökosystemprozesse.

Es sind nicht die Lösungen für einzelne Probleme, die wir heute am dringlichsten benötigen, sondern das Verständnis für die Zusammenhänge, der jeweiligen Gebiete, die es zu verknüpfen gilt. Das Ökosystem Grünlandbetrieb reicht von den sozio-kulturellen Strukturen auf Betriebsebene, über die nahen und fernen Wirtschaftsflächen, bis hin zur ganzen Landschaft.

## Inhalte

Ökosystem Grünlandbetrieb	01
Nicht jede Fläche ist gleich	02
Die Unerwünschten	03
Wildtierlebensräume	04
Weidetierlebensräume	05
Boden und Biodiversität	06

# Grundlagen

## 3.1 Ökosystem Grünlandbetrieb

Von Franziska Hanko

*Ökosysteme unterliegen bestimmten Prinzipien, die sich durch die Evolution und ständige Anpassung als resilient und nachhaltig erweisen. Im Prinzip kann der gesamte Grünlandbetrieb als offenes Ökosystem gesehen werden, in dem Menschen, Weidetiere, Wildtiere, Pflanzen, Landschaftselemente genauso wie Klima, Boden und Wasser zusammenwirken. Vor allem in einer standortgerechten Beweidung liegt enormes Potenzial, das gerade im Hinblick des Klimawandels freigesetzt werden sollte.*

### Die Lage ist ernst

Ökosysteme bestehen immer aus mosaikartigen Strukturen verschiedenster Komponenten und Wechselwirkungen. Die Randzonen zwischen den einzelnen Lebensräumen (Ökotone) sind von besonders hoher Artenvielfalt geprägt, wobei auch die Nährstoff- und Energieflüsse enorm hoch sind. Menschliches Handeln hat in den letzten 40 Jahren dafür gesorgt, dass 60 % der Wildtierpopulationen zurückgegangen sind (EU-KOMMISSION 2020). 96 % der Biomasse aller Säugetiere auf diesem Planeten stellen Menschen und ihre Nutztiere dar (IPCC/IP-BES 2019). Es wird höchste Zeit, der Natur ein wenig Raum zurückzugeben

### Die Veränderung als einzige Beständigkeit

Natürliche Systeme sind im dauerhaften Wandel und passen sich stets dynamisch an. Nichts bleibt erhalten so wie es ist, damit auf Umwelteinflüsse auch schnell reagiert werden kann. Je mehr Nischen, Tiere und Pflanzen auf dem Betrieb vorhanden sind, desto schneller und flüssiger ist die fortlaufende Anpassung. Die Vielfalt auf genetischer Ebene ist Grundvoraussetzung der Evolution. Die Artenvielfalt stabilisiert die Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts. Landwirte gehören als treibende Kraft zu diesem Ökosystem dazu. Ihre Ideen, Arbeitsweisen und Methoden können die Vielfalt auf den Betriebsflächen auf dem Hofgelände und auch innerhalb der Vermarktung lenken und erhöhen. Wenn die ökonomischen, ökologischen und sozialen Ressourcen auf dem Betrieb erkannt werden, können Potenziale entfaltet und lokal sowie auch auf Landschaftsebene wirksam werden. Ein Beispiel sind Bäume und Sträucher, die zur Nahrungsmittelgewinnung für Menschen, Nutztiere sowie

Wildtiere geeignet sind. Sie kurbeln gleichzeitig den Nährstoffkreislauf durch Laubstreu an, spenden Schatten und Windschutz, festigen den Boden, bieten Wildtieren einen Lebensraum und liefern Holz als Energieressource. Gehölze im Grünland gehören zu einem komplexen Weide-Ökosystem dazu. Wasser wird nicht nur auf den Flächen gehalten, sondern auch durch Verdunstung vermehrt an die bodennahe Luft abgegeben und verbessert so das Kleinklima für die Weidetiere. Durch die Reduktion von Hitze, Wind und Kälte wird zusätzlich der Stress für die Tiere vermindert, was sich positiv auf die Qualität und Quantität bei Milch- und Fleischprodukten auswirkt.

### Das Potenzial der Grünlandbetriebe

80 % der von landwirtschaftlicher Nutzung abhängigen Biotoptypen gelten als gefährdet (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2017). Besonders Grünlandbetriebe können durch den Einsatz der Weidetiere vielfältige Lebensräume schaffen und gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit verbessern. Vielfältige Wiesentypen entstehen schon alleine dadurch, dass Einstreu für den Stall, Heu für den Winter und Weidefläche in der Vegetationsperiode gebraucht werden. Mist und Kuhfladen bilden die Nahrungsgrundlage vieler Insekten und somit auch der Vögel. Streuobstwiesen, Ställe und Bauerngärten schaffen ebenfalls Lebensräume.

Das Ökosystem Grünlandbetrieb kann unter diesem Blickwinkel zu einer Oase der Vielfalt werden und dabei funktionsfähig innerhalb aktueller und kommender Umwelteinflüsse bleiben.

# Grundlagen

## 3.2 Nicht jede Fläche ist gleich

von Franziska Hanko

*Wirtschaftsflächen müssen vielen Anforderungen gerecht werden. Sie sollen einen guten Ertrag bringen, ein stabiles Pflanzenwachstum gewährleisten, tritt- beziehungsweise schnittverträglich sein, die Bestände ausreichend hohe Futterwerte für die gegebene Tierrasse haben, die Fläche einen gewissen Teil an tiefwurzelnden Pflanzen aufweisen, welche auch in Trockenzeiten noch Wasservorräte erreichen und die Bestände einen bestimmten Artenreichtum vorweisen, um durch Resilienz eine Risikostreuung zu erzielen. Aber nicht jede Fläche muss und kann all diese Kriterien erfüllen. Die unterschiedlichen Qualitäten der verschiedenen Flächen müssen jedoch erkannt werden. Ein vielfältiges Flächenrepertoire schafft betriebliche Resilienz.*

### Flächen nach ihrem Potenzial nutzen

Nicht jede Fläche muss gleich ertragreich sein. Magere Flächen bleiben zum Beispiel eher ertragsstabil bei Trockenheit, auch wenn die Erträge insgesamt geringer sind. Gibt es unterschiedliche Sukzessionsstadien innerhalb der eigenen Grünlandflächen, können diese je nach Gegebenheiten standortgerecht genutzt werden. Daraus entwickelt sich der abgestufte Wiesenbau, der zum Ziel hat, ertragreiche Flächen intensiv zu nutzen und dafür Mager- und Feuchtf Flächen zu erhalten und standortangepasst zu bewirtschaften. Durch diese standortangepasste Bewirtschaftung entstanden unsere vielfältigen Kulturlandschaften, wobei Landwirtschaft und der Erhalt von Biodiversität sich die Hand geben. Grünland (im weitesten Sinne) stellt in Deutschland mindestens 52 % der Pflanzenvielfalt dar. Man fand heraus, dass der menschliche Einfluss und die daraus resultierende Rodung der Wälder und Ausbreitung einer kleinstrukturierten Kulturlandschaft mit Äckern und Weiden zu einem enormen Anstieg der Arten führte. Die höchste Vielfalt an Pflanzen und Tieren ist im extensiven Grünland mit vielen verschiedenen Nutzungsweisen zu finden. Besonders artenreich sind zum Beispiel einschürige Kalkmagerrasen. Wenn wir uns vorstellen, dass hier auf eine Pflanzenart 10 Tierarten kommen, wird der ökologische Wert dieser Lebensräume noch sichtbarer. Auf den Betriebsflächen lässt sich

die Artenvielfalt enorm steigern, wenn die Flächen unterschiedlich intensiv genutzt werden. Dies kann so aussehen, dass einige Flächen ein Jahr lang gar nicht oder erst im Herbst, beziehungsweise im nächsten Frühjahr genutzt, ein anderer Teil maximal 2-bis 3-mal jährlich und nur mit einer Festmistdüngung gedüngt werden und wieder andere Flächen so intensiv genutzt und gedüngt werden, dass genug Futter zur Verfügung steht. Auch die Beweidungstiefe kann unterschiedlich gesteuert werden, das heißt mal tiefer abfressen und mal viel zurücklassen für das Bodenleben und als Verdunstungsschutz. All diese Maßnahmen sind abhängig von der vorliegenden Fläche. In unserem Projekt haben wir gelernt, die unterschiedlichen Qualitäten der Flächen einzuschätzen, um dann, je nach Bedarf der Tiere und der Pflanzen, Eingriffe zu gestalten.

### Wirtschaftsgrünland

Das gesamte Dauergrünland gehört zur Klasse der Grünlandgesellschaften (Molinio-Arrhenatheretea). Die darin enthaltenen Gesellschaften werden anhand von Charakterarten, Differentialarten und konstanten Begleitarten unterschieden (ELLENBERG 1996). Diese Gesellschaften entstanden ursprünglich ausschließlich auf Böden natürlicher Fruchtbarkeit. Mit zunehmender Intensivierung wurden die zahlreichen, lokal unterschiedlich ausgebildeten, artenreichen Wiesen- und Weidetypen durch ein einheitliches Grün verdrängt.

Die ursprünglich angepassten Arten halten der starken Düngung und Nutzung nicht mehr stand. Arten wie Weidelgras, Weißklee, Lieschgras und Löwenzahn breiten sich schließlich massenhaft aus. Viele dieser Arten haben es jedoch in Zeiten bei ansteigenden Temperaturen und längeren Hitzeperioden schwer. Ihr Mangel an tiefen Wurzeln (LICHTENEGGER 1982), das Bedürfnis nach stetigem Stickstoff sowie ein reduziertes Bodenleben schwächt die Resilienz enorm. Im intensiven Dauergrünland bilden Weidelgras, Knautgras, Wiesenrispe, Wiesenlieschgras sowie Weißklee die effektivsten Nährstofflieferanten. Der Wiesenfuchsschwanz ist vor der Blüte ebenfalls ertragreich, wobei er durch die frühe Blüte schnell überständig wird und der Futterwert sinkt (LANDWIRTSCHAFT 2023). Auch der Goldhafer gehört in höheren Lagen dazu. Bedenken, dass große Mengen an Goldhafer Kalzinose verursachen, konnten in einer österreichischen Studie widerlegt werden. Eine Ausnahme besteht bei sehr hohen Anteilen in Beständen auf trockenen Silikatbraunerden, ab 700 hm (FIBL 2018).



Fünfschüriges Intensivgrünland mit Löwenzahn Aspekt im Frühjahr, Foto: Franziska Hanko

Auf trockeneren Standorten intensiverer Nutzungen trägt der Wiesenschwingel zur Ernährung bei, allerdings sinkt hier bei höherer Deckung der Futterwert und auch die Mähbarkeit verringert sich durch einen dichten Filz. Die größeren Tierbestände und die Fütterung mit Kraftfutter erhöhen die Gülle- und Nährstoffmengen auf den Flächen, wodurch es nicht möglich ist, natürlich angepasste Pflanzenbestände zu generieren. (Schmid, Bolzern & Guyer 2007). Im intensiveren Wirtschaftsgrünland steht die Erzeugung von Futter mit 3 oder mehr Nutzungen im Vordergrund. Die Pflanzenartenanzahl liegt durchschnittlich bei 15–25 Arten pro 25m<sup>2</sup>. Nur wenige Pflanzen sind

derart nutzungs-, tritt- und nährstofftolerant, als dass sie dieser Bewirtschaftung standhalten können. Mit zunehmenden Stickstoffmengen nimmt die Artenanzahl ab (ELLENBERG 1996). Das Intensivgrünland ist der häufigste Grünlandtyp in Deutschland. Charakteristisch ist die fast ganzjährig frischgrüne Färbung und die auffallende Blütenarmut. Die Löwenzahnblüte wird mit der ersten Nutzung beendet. Verheerend für die Wiesenbestände sind ebenso Neuansaat mit Futtergräsern und Leguminosen. Immer häufiger sieht man Kunstwiesen mit einer Mischung aus Weidelgras, Weißklee und wenigen anderen Arten. Diese Flachwurzler sind auf eine häufige Düngung angewiesen. Sobald es trockener wird, kommt es zu Problemen, da sie ihren Stickstoffbedarf über die Wasseraufnahme decken müssen (BACA CABRERA, HIRL, SCHÄUFELE, MACDONALD & SCHNYDER 2021). Goldhaferwiesen ersetzen die Glatthaferwiesen in höheren Lagen und gehören schon zu den artenreicheren Wiesen, die nicht mehr als 3-mal jährlich genutzt werden. Bei Gülleausbringung reduziert sich die Vielfalt und es dauert Jahre bis die Nährstoffe einer Applikation wieder entzogen sind. Je höher und nährstoffärmer dieser Wiesentyp ist, desto eher dominieren Mittel- und Untergräser wie der Rot-Schwengel und das Rote Straußgras, wohingegen Wiesenfuchsschwanz deutlich weniger wird (STURM et al. 2018).

### Extensivgrünland

Das Extensivgrünland umfasst 1–3 schürige Heuwiesen aber auch Extensivweiden, wie beispielsweise Bergweiden. Auch sie zählen zum Wirtschaftsgrünland, da sie ohne Bewirtschaftung nicht existieren könnten. Sie werden jedoch deutlich extensiver genutzt und gedüngt. Die Düngung erfolgt hier meist durch schwache Festmistgaben und der erste Schnitt sollte nicht vor Mitte Juni erfolgen, damit das Aussamen der Blütenpflanzen gewährleistet ist. Eine Vornutzung ist gegebenenfalls gut und förderlich. Dies sind die wesentlichen Voraussetzungen für mehr Artenvielfalt im Pflanzenbestand, den davon abhängigen Tieren sowie dem Bodenleben. Mesophile Grünlandbestände (Salbei-Glatthaferwiese, Goldhaferwiese, Dotterblumen-Kohldistelwiese und auch artenreiche Fuchsschwanzwiesen) sollten vor dem 1. Juli gemäht werden, da die zunehmende Deckung

der Obergräser zu einer Lichtarmut un-  
tenstehender Gräser führt. Das schwachwüchsige  
Biotopgrünland (feucht, nass, anmoorig) wird nur  
einmal jährlich gemäht und dient zur Streugewin-  
nung. Durch die hohen Nährstoffeinträge der Land-  
wirtschaft und der Luft verarmen die Bestände,  
wobei sie als Lebensräume verloren gehen  
(SCHMID, BOLZERN & GUYER 2007).

Es gibt Arten, die als Zeigerpflanzen den Bestand in  
einen Grünlandwiesentyp kategorisieren können:

Zeigerpflanzen	Standorte
Feld-Hainsimse	Magerweide
Borstgras	Magerweide, trocken
Ferkelkraut	Magerweide, trocken
Gras-Sternmiere	Magerweide
Kleines Habichtskraut	Magerweide, trocken
Mittlerer Wegerich	Magerweide, trocken
Schafgarbe	Magerweide
Knolliger Hahnenfuß	Magerweide, trocken
Zittergras	Magerweide, trocken
Rotschwingel	Magerweide, trocken
Breitwegerich	Intensivweide, hohe Trittbelastung
Wiesen-Schaumkraut	mäßig feucht
Knick-Fuchsschwanz	mäßig feucht
Flutter-Binse	feuchte Weide
Graugrüne Binse	feuchte Weide
Gewöhnliches Rispengras	eher feucht, schwach sauer

Tabelle: Franziska Hanko

Diese Zeigerpflanzen können bei alleinigem Auftre-  
ten keinen Grünlandtyp exakt identifizieren. In grö-  
ßeren Deckungsgraden können sie jedoch den Wie-  
sentyp beschreiben und Bodengegebenheiten ver-  
deutlichen (LICHT 2015).

### Standorte individuell bewirtschaften

Der Standort ist ausschlaggebend für die Art und  
Weise wie eine Fläche bewirtschaftet werden  
sollte. Bei starker Veränderung der Standort-  
bedingungen (wie zum Beispiel Entwässerung) ist  
eine nachhaltige und widerstandsfähige Bewirt-  
schaftung häufig sehr schwierig. Der Standort setzt  
sich immer wieder durch und äußert sich durch  
unerwünschte Pflanzen. Diese machen jedoch le-

diglich auf eine unangepasste Bewirtschaftung  
aufmerksam. Grundwasserbeeinflusste Böden  
anmooriger Standorte und Niedermoore können  
drainiert werden. Dies setzt jedoch große Mengen  
an Kohlenstoffdioxid frei und verändert den  
Pflanzenbestand sehr stark. Das Ökosystem ist  
nicht mehr stabil und kippt aus dem Gleich-  
gewicht. Die dann auftretenden Pflanzen zeigen  
dieses Ungleichgewicht an. Diese kommen mit  
Bedingungen zurecht, bei denen es die anderen  
Arten schwer haben. Es gibt immer Ursachen für  
das Auftreten der Pflanzen und so können ver-  
meintlich unerwünschte Arten Prozesse in  
Richtung „stabiles Ökosystem“ wieder in Gang  
setzen. Diese Standorte sind dann nicht für eine  
intensive Bewirtschaftung geeignet, sondern zum  
Beispiel für eine extensive Streuwiesennutzung  
oder gegebenenfalls für eine Beweidung mit  
leichteren Tieren. Streuwiesen entstanden eben  
genau durch diese Unzugänglichkeit der Flächen.  
Dabei war lediglich ein einmaliger später Schnitt,  
frühestens Ende August oder im September  
möglich. Durch intensive Beweidung oder mehrere  
Überfahrten kommt es sehr schnell zur Ver-  
dichtung des Bodens, wodurch sich Binsen flächig  
ausbreiten.

### Feuchtgrünland erkennen und standortgerecht bewirtschaften

Frische oder feuchte Typen mageren Grünlands  
sind kaum noch vorhanden, da sie leicht aufzudün-  
gen sind. Unerwünschte Pflanzen treten nicht so-  
fort auf, wodurch erst einmal kein Handlungs-  
bedarf entsteht. Wenn Arten wie Wald-Storch-  
schnabel, Wiesensilge, Kohlkratzdistel, Schlangen-  
Knöterich, Kleiner Klee und Kuckucks-Lichtnelke  
auftreten ist die Bewirtschaftung sehr gut an den  
Standort angepasst. Eine 2- bis 3-malige Nutzung  
und schwache Düngung (bestenfalls Festmist oder  
Kompost) ist hier angemessen, damit keine  
unerwünschten Arten auftreten. Das Auftreten des  
großen Wiesenknopfes deutet auf wechselfeuchte  
Tonböden, die idealerweise nur einschürig genutzt  
werden sollten. Die Nutzung sollte erst nach dem  
15. September erfolgen, um den Fortbestand zu  
gewährleisten. Binsen sind Zeiger für extreme  
Verdichtung. Hier ist kein Sauerstoff im Boden-  
gefüge vorhanden. Binsen haben sich an diese  
Sauerstoffarmut mithilfe eines Leitungsgewebes  
angepasst. Wie durch einen Strohhalm transpor-

tieren sie Sauerstoff zu den Wurzeln. Ihr Wurzelwerk bildet Biomasse, welche über Absterbe- und Erneuerungsprozesse in den Boden eingebracht wird. Dieser Prozess ermöglicht, dass sich die Bodenverhältnisse über längere Zeiträume wieder stabilisieren und dadurch das Bodenleben stärken.

Zeigerpflanzen	Standorte
Großer Wiesenknopf	stickstoffarm, feucht
Pfeifengras	stickstoffarm, feucht
Wald-Simse	sauer, feucht
Schachtelhalm	nass, wechselfeucht
Große Sterndolde	kalkhaltige Lehmböden, feucht
Sumpfdotterblume	überschwemmt, wechselfeucht mäßig nährstoffreich
Bach-Kratzdistel	feucht-nass
Kugel-Teufelskralle	mäßig feucht, eher basisch, nährstoffarm
Teufelsabbiss	humos-mager

Tabelle Franziska Hanko

Durch Überfahrten mit schweren Maschinen werden sensible Böden jedoch so zerstört, dass sie nicht regeneriert werden können.



Ungedüngte Feuchtwiese wird bei einmaliger Nutzung ihren Artenreichtum beibehalten. Durch Gülledüngung gehen die Arten verloren, Foto: Franziska Hanko

### Den Wert des trocken-mageren Grünlands sehen

Niedrigere Aufwüchse und ein Mangel an Obergräsern deutet auf magerere Standortvoraussetzungen. In der Hauptblüte kommt ein bunter Artenreichtum zum Ausdruck. Rotklee, Herbstlöwenzahn und Wiesen-Margerite sind noch relativ tolerant gegenüber hohen Nährstoffraten. Sind sie jedoch gehäuft auf der Fläche anzutreffen, kann die Fläche noch nicht überdüngt sein und das Potenzial für eine artenreiche Wiese ist groß. Weitere Zeigerpflanzen dieser Grünlandtypen sind Wiesenflockenblume, Wiesen-Pippau, Wiesen-Storchschnabel, Ackerwitwenblume, Wiesen-Glocken-

blume, Rundblättrige Glockenblume. Nur noch selten gibt es solche Flächen, wodurch deren Förderung umso wichtiger ist. Hierbei geht es nicht nur um den Erhalt der Pflanzenvielfalt, sondern auch um Insekten, Wurzelausscheidungen und mikrobielle Zusammensetzungen im Boden. Viele der Magerzeiger haben sehr lange Wurzelsysteme, da sie an längere Trockenperioden angepasst sind. Die kleine Bibernelle kommt mit langer Trockenheit sehr gut zurecht und ihre Wurzeln können über 3 m tief in den Boden reichen. Auf solche Pflanzen ist in Zukunft vermehrt zu achten, da sie als wichtige resistente Pflanzen den Boden bedecken und langfristig das Bodenleben schützen können. Im optimalen Fall werden diese Flächen 2-bis 3-mal jährlich genutzt. Auch die Kombination von Mahd und Weide eignet sich hier sehr gut. Eine sehr frühe kurze erste Vorweide kann die Obergräser etwas zurückdrängen, so dass der Aufwuchs noch vielfältiger bei gleichbleibender Biomasse ausfällt. Auch eine Nachweide im Herbst kann gezielt so gelenkt werden, dass entweder unerwünschte Reste in den Boden eingearbeitet werden oder ein möglicher dichter Grasfilz reduziert werden kann. Voraussetzung sind angepasste Tiere, die ihren Bedarf dabei decken können. Bei Unternutzung oder Nutzungsaufgabe bildet sich eine dichte Streuschicht und die Artenzahl sinkt rapide ab.



Artenreiche Magerwiese mit wenig horstbildenden Obergräsern, wird zweimal jährlich genutzt und einmal mit Festmist gedüngt. Foto: Franziska Hanko

Auf beweideten Flächen, bildet sich eine natürliche Heterogenität. Auch durch den häufigen Wechsel von Ebenen und Hängen kommt es dazu, dass sich die Tiere unterschiedlich lange auf den jeweiligen Flächen aufhalten. In den Ebenen fällt mehr Mist an und die Nährstoffe sorgen für ein starkes Wachstum der Gräser. An den Hängen fressen sie die Kräuter bis zum Boden ab. Die Entfernung der Biomasse sorgt für magerere Bedingungen und gute Lichtverhältnisse zum Wachstum verschiedener Pflanzenarten. Diese werden auch sehr gerne gefressen und dienen der natürlichen Gesunderhaltung durch Mineralien und Vitamine. Die kleinräumige Vielfalt ist

im Zuge unsicherer klimatischer Verhältnisse von Vorteil, da es durch Risikostreuung keine Totalausfälle gibt. Diese Vielfalt kann auch durch gezieltes Herdenmanagement erzeugt werden. Wenn beispielsweise die Herde partiell mehr abweidet, um lichtere Verhältnisse zu schaffen. Die dortigen verbesserten Lichtverhältnisse sowie der vermehrte Nährstoffentzug fördert viele Arten. Woanders kann wiederum der Boden durch zurückbleibende Biomasse geschützt und aufgebaut werden. Auch das Bodenleben wird durch die Verschiedenartigkeit der Pflanzenwurzeln gefördert, da jede Pflanzenwurzel ein spezifisches Bodenleben mit sich bringt. Außerdem fördern sekundäre Pflanzenstoffe aus verschiedenen Pflanzenarten die Gesundheit der Herde.



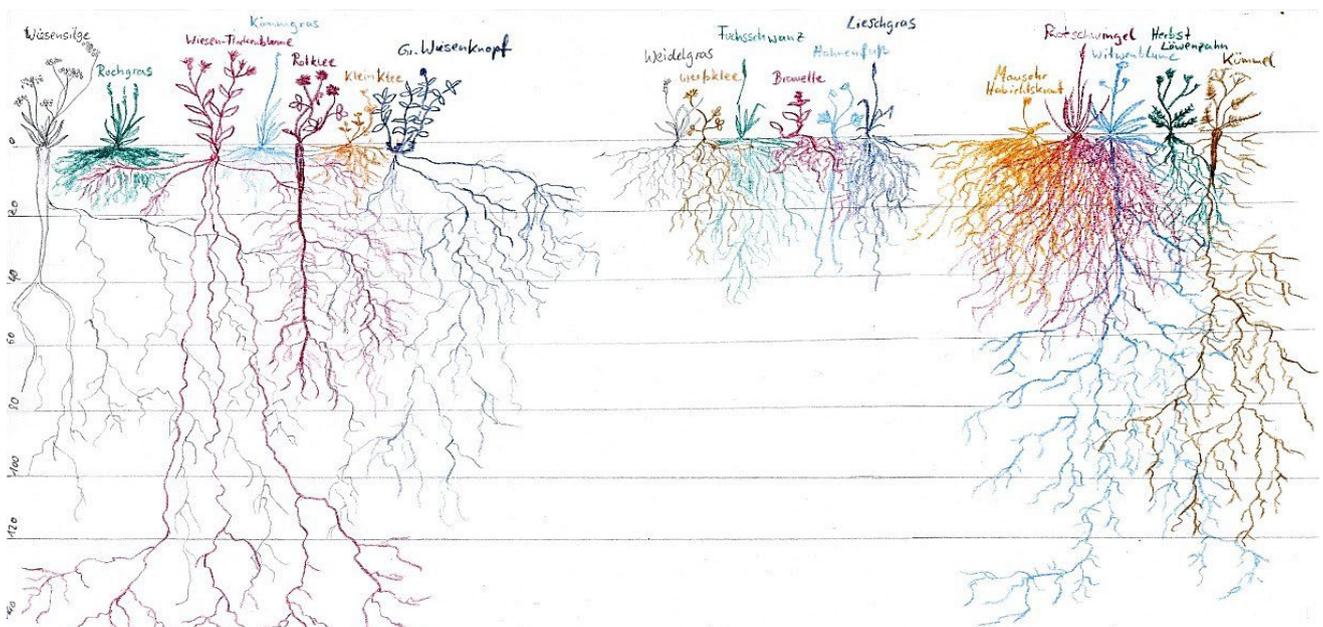
Grünader-Weißling an einer Wiesen-Margerite. Letztere sind relativ nährstofftolerant, verschwinden jedoch bei zu viel Güledüngung, Foto: Franziska Hanko

### Die Herausforderung annehmen

Es ist immer möglich und auch sinnvoll, sich die Vielfalt der eigenen Flächen zu Nutze zu machen! Damit wird das Risiko gestreut, denn es sind dann Pflanzen für verschiedene Szenarien vorhanden, die so manchen Wettertrend besser abpuffern können. Deshalb ist es letztendlich auch wichtig, das eigene Land, die eigenen Flächen lesen zu lernen. Was sagen mir die einzelnen Pflanzen? Wie darf ich hier wirtschaften und wo sollte ich mehr Ruhephasen einhalten? Das Beobachten ist die Grundvoraussetzung für ein angepasstes Management. Nur so werde ich als Teil dieses Ökosystems langfristig und resilient bestehen können.



Mädesüß-Perlmutterfalter an einer Binse. Binsen sind sehr beliebt bei Faltern zum Ausruhen und Übernachten, Foto: Franziska Hanko



Zeichnung der Wurzeltiefen. Frische-feuchte Zeiger, eher mager (links), Intensiv-Zeiger (Mitte), Trocken-Mager-Zeiger (rechts) (Zeichnung: Franziska Hanko nach LICHTENEGGER 1982)

# Grundlagen

## 3.3 Die unerwünschten Pflanzen

von Franziska Hanko

*Auf einem Quadratmeter Boden warten Millionen von Samen auf die für sie geeigneten Keimbedingungen. Die Bodenbeschaffenheit, geprägt durch Standort und Bewirtschaftung, entscheidet darüber, welche Pflanzen zum Zug kommen. Sogenannte „Unkräuter“ sind häufig Pionierpflanzen, die anzeigen, dass kein stabiles Bodenleben vorhanden ist (verdichtet, überdüngt oder humusarm). Die Böden sind dann strikt bakteriendominiert und bieten kaum Vielfalt. Pionierpflanzen produzieren ihre Samen sehr schnell, sind häufig Lichtkeimer und nutzen jede Störung. Ob sie unerwünscht sind oder nicht, bewertet der Mensch. Häufig wurzeln gerade diese vermeintlich „unerwünschten“ Pflanzen besonders tief und haben einen hohen Mehrwert für Insekten.*

### Bedeutung der „Unkräuter“

Vom Menschen unerwünschte Gräser und Kräuter im Wirtschaftsgrünland haben eine Bedeutung für das Ökosystem:

#### Sie...

- ✓ ... bringen Nährstoffe aus dem Unterboden an die Oberfläche, vor allem Spurenelemente, da sie meist tiefreichende Wurzeln haben,
- ✓ ... bedecken offenen Boden,
- ✓ ... lockern den Boden und bereiten gute Voraussetzungen zur Etablierung eines gesunden Mikrobioms,
- ✓ ... neutralisieren den Basen-Säure-Haushalt des Bodens bei Ungleichgewicht,
- ✓ ... nehmen Nährstoffe bei Überschuss auf, entziehen sie dem Boden und speichern sie im Blattmaterial,
- ✓ ... sind teilweise essbar und bieten als Wild-Gemüse hervorragende Alternativen,
- ✓ ... können anzeigen, welches Management angewandt werden soll und
- ✓ ... sind häufig hervorragende Pollen- und Nektarlieferanten für Insekten.

Durch eine aktive Förderung eines ausgeglichener Bodenlebens durch eben diese Pflanzen, aber auch durch die Einbringung von Pilzen, verschiebt sich die Bodenbiologie. Bei einem ausgewogenen Bakterien-Pilz-Verhältnis mit den richtigen Protozoen und Nematoden wird es auch zur Verschiebung der Pflanzensammensetzung kommen und die unerwünschten Pflanzen werden verdrängt (SINDHU, KHANDELWAL, PHOUR & SEHRAWWAT 2018). Die Bodenbiologie entscheidet auch, zusammen mit der Art der Bewirtschaftung, über die Intensität der Durchwurzelung.

### Hahnenfuß

Kriechender und Scharfer Hahnenfuß wächst häufig auf frischen, eher verdichteten Standorten. Der Kriechende Hahnenfuß ist ausläuferbildend. Er erreicht mit seinen Wurzeln den Unterboden und gelangt somit an die benötigten Nährstoffe. Durch die Inhaltsstoffe Ranunculol und Anemonin sind Hahnenfußgewächse hautreizend und giftig. Durch diese Stoffe werden auch wurzelzersetzende Mikroorganismen ferngehalten. Dadurch kann der Boden wiederbelebt, Nährstoffe aus tieferen Schichten hervorgebracht und bei ausreichender Regenerationszeit der Boden natürlich gelockert werden. Hahnenfuß ist ein Zeiger für Kalziumarmut und eher niedrigere pH-Werte. An ausgegrabenen Wurzeln haftet kaum Boden, was auf eine geringe mikrobielle Aktivität hinweist. Dies wiederum deutet auf Verdichtung hin, was zu einem gestörten Wasserhaushalt führt. Standorte mit viel Scharfen

oder Kriechenden Hahnenfuß deuten dementsprechend auf Verdichtung und unter Umständen ebenfalls auf Überdüngung hin. Das Bodenleben sollte aktiviert werden. Unbehandelte Gülle verdichtet den Boden passiv, indem er sich zusammenzieht und Pilze verdrängt werden.

### **Jakobskreuzkraut**

Das Kreuzkraut kommt auf feuchteren, verdichteten (Wasser-Kreuzkraut), wie auch auf trockeneren und nährstoffarmen Böden (Jakobskreuzkraut) vor. Ein verdichteter Boden führt dazu, dass Pflanzenwurzeln weniger gut mit Nährstoffen versorgt und gestresst werden. Die Durchwurzelung wird verschlechtert, wurzelfressende Mikroorganismen werden begünstigt, wodurch sich die mikrobielle Vielfalt reduziert. Die giftigen Inhaltsstoffe des Kreuzkrauts (verschiedene Pyrrolizidinalkaloide) werden vom Boden aufgenommen. Diese Gifte haben im Boden eine selektiv antibakterielle Wirkung, die möglicherweise Vorteile, hin zu einem ausgeglichener Bodenleben mit sich bringt.

### **Ampfer**

Der Ampfer ist ein Paradebeispiel dafür, dass Beikräuter (in diesem Fall eher unerwünscht) den Boden regulieren. Häufig will man mit aufwendigen Methoden den Ampfer vernichten. Doch viele wissenschaftliche Studien haben bewiesen, dass diese Bekämpfungsstrategien von kurzfristiger Wirkung sind. Häufig kommt der Ampfer danach wieder und dann sogar stärker als zuvor. Der Ampfer ist eine hervorragende Zeigerpflanze für Versauerung und ein degradiertes Bodenleben. Er profitiert als Lichtkeimer von lückigen Beständen, offenen Bodenstellen und Wühlmausschäden. Da die Samen ebenfalls einen gewissen Säuregrad zum Keimen benötigen, ist er zudem ein Säurezeiger. Säure entsteht durch große Mengen an Gülle und anderen Düngemitteln, die das Bodenleben schädigen und zum Absterben bringen. Durch seine langen Pfahlwurzeln kann er Verdichtungen aufbrechen, weshalb er auch häufig an verdichteten Standorten vorkommt, wo er mit Leichtigkeit andere Pflanzen verdrängt (Stellen mit hoher Trittbelastung, Befahrung mit schweren Maschinen, Befahrung bei Nässe). Hier wirkt er jedoch regenerierend, da er Stickstoff-Verlagerungen an die Oberfläche bringt

und somit pflanzenverfügbar macht. Auch Fäulnisstellen kann er entgiften. Fäulnis entsteht häufig durch das Ausbringen von nicht aufbereiteten Wirtschaftsdüngern, welche das Bodenleben schädigen. Hier tritt der Ampfer bevorzugt auf. Auch der Ampfer ist auf vielen ganzheitlich geplanten Weideflächen deutlich zurückgegangen. Die Verdichtung und Trittschäden waren weniger stark, da die zurückbleibende Biomasse als Bodenschutz dient.

### **Adlerfarn**

Der Adlerfarn kommt eher in Hanglagen am Waldrand beziehungsweise auf Almweiden vor. An diesen Orten ist das Risiko der Unterweidung hoch. Die Kühe sind so effizient wie wir und suchen sich die Flächen aus, die einfach erreichbar sind. Dies führt jedoch dazu, dass die Almweiden partiell überweidet werden sowie durch zu viele Nährstoffeinträge überdüngt und an anderer Stelle durch Unterweidung verbuschen. Eine Behirtung würde die Herde lenken und vor Verlusten schützen. Bei Unterweidung kommt es zuerst zu Vergrasung. Arten wie das Borstgras setzen sich durch. Der Grasfilz wird so dicht, dass die Wiederkäuer dieses vollkommen verschmähen. Zwergsträucher haben nun optimale Wachstumsbedingungen und auch Bäume können keimen. Dies sind auch die Voraussetzungen, die den Adlerfarn begünstigen. Er zeigt eher magere Nährstoffverhältnisse und saure bis neutrale Böden an.

### **Doldenblüter mit Pfahlwurzeln**

Die Wurzelsysteme von Bärenklau, Wiesenkerbel und Behaartem Kälberkropf haben sich an verdichtete Böden angepasst. Ihre langen Pfahlwurzeln wirken einer Verdichtung auflockernd entgegen. Nur diese Art von Wurzeln ist in der Lage feste Bodenhorizonte zu durchdringen. Dünne Feinwurzeln haben hier kaum eine Chance. Diese langen Wurzeln können als Wasserkorridore fungieren. Wenn sie absterben, wird das Wurzelmaterial zersetzt, der Boden an jener Stelle gelockert und somit gute Bedingungen für weiteres Pflanzenwachstum geschaffen. Besonders die weißen Doldenblüter tragen einen wesentlichen Teil zur Ernährung vieler Insekten bei. Sehr häufig sieht man auf ihnen die verschiedensten Käfer- und Schwebfliegenarten.

## Disteln

Die Gemeine Distel wurzelt leicht bis 2 m in die Tiefe. Auch Acker- und Kohlkratzdistel wurzeln derartig tief. Sie öffnen dabei verdichtete Böden, transportieren Nährstoffe und lassen Kapillare für Wasser und Luft entstehen. Sie können ebenfalls anzeigen, dass die Verfügbarkeit von Kalzium nicht besonders gut ist. Besonders Disteln werden von Kühen gemieden, sie bleiben also zurück. Aber nicht umsonst! Ihre Wurzeln halten den Boden bis in die Tiefe und ihr reiches Angebot an Pollen und Nektar ist enorm wichtig für Insekten.

## Zurückbleibende Pflanzen auf der Weide

Evolutionär ist es kein Zufall, dass ausgerechnet die vom Weidetier verschmähten Pflanzen besonders wertvoll für andere Organismen oder Prozesse sind. Häufig beinhalten diese besonders viel Pollen und Nektar, sind hervorragende Raupenfutterpflanzen vieler Schmetterlinge, bieten Schutz und Schlafplätze für Insekten oder wurzeln besonders tief, um den Boden zu halten. Nur durch diese zurückbleibenden Pflanzen bleiben auch Strukturen für die Natur zurück, so dass der Grad der Störung im ausgewogenen Bereich und somit die Stabilität des Ökosystems erhalten bleibt.

## Die Konsequenzen bedenken

Genau die gegenteilige Entwicklung ist im Grasland zu erkennen sobald Maßnahmen wie Kurzrasenrasenweide, Mulchen oder eine Egge Verwendung findet. Bei letzterer wird der Boden zwar oberflächlich gelockert, jedoch das Bodenleben in dessen Zusammensetzung zerstört. Sämtliche Techniken, die zu „ordentlichen“ Homogenisierung der Flächen führen, gehen auf Kosten der Biodiversität und Resilienz des Ökosystems Grünland.



Strukturreiche Weidereste nach 12-stündiger Beweidung,  
Foto: Christine Bajohr

## Entwicklung der Gülleflora

Im 20. Jahrhundert begann die Umstellung von Festmist auf Gülle und auch die Schnitthäufigkeit erhöhte sich enorm. Der Zeitpunkt des ersten Schnittes war damals deutlich später als heute: im traditionellen Heumonat Juli. Die Pflanzenbestände waren damals an diese Bedingungen angepasst. Durch die Bewirtschaftung von was? änderte sich die Artenzusammensetzung schlagartig. Die Kräuter konnten nicht mehr rechtzeitig aussamen und die Gräser zweischüriger Heuwiesen konnten mit ihren langen Regenerationsphasen auch nicht mehr mithalten. Hinzu kommt die Fäulnis-Wirkung der Gülle. Das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N) ist bei Kompost, Festmist und dem Fladen deutlich kohlenstofflastiger und gut durchlüftet (aerob). Hierbei entsteht keine Fäulnis, die Düngung ist geruchsarm und die Stickstoffverbindungen können vom Mikrobiom gut aufgenommen werden. Der Boden bleibt durchlüftet, das Bodenleben wird gefördert und die Nährstoffzufuhr bleibt konstant und nachhaltig ohne große Auswaschraten. Bei Gülle wird Sauerstoff ausgeschlossen und es entstehen Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Methan. Diese wirken als Wurzelgifte und es kommt zur Verunkrautung sowie zur Abnahme von Regenwürmern und Pilzen. Fäulnis ist ein bakterielles Umwandlungsprodukt stickstoffhaltiger Eiweiße. Schadinsekten wie blutsaugende Insekten und Schnellkäfer (wurzelfressende Drahtwürmer) werden angelockt. Der Pflanzenbestand wird zunehmend von horstbildenden Obergräsern (zum Beispiel Knautgras) dominiert und klassische Güllekräuter (zum Beispiel Ampfer) breiten sich aus.

Pflanzenart	Deutung	Folgen	Ernährung
Taubnessel	Stickstoffverluste	Kommt mit vielen Böden zurecht	Entzündungshemmend, blutreinigend
Ehrenpreis	Stickstoffverluste	Hält den Boden zusammen, bedeckt offenen Boden	Bitter, Gut für Lunge und Bronchien, entzündungshemmend
Ampfer	Stark abbauende Tätigkeit des Bodenlebens	Reduktion von Mikronährstoffen	
Ackerkratzdistel	Stark abbauende Tätigkeit des Bodenlebens, dafür besonders wertvoll für oberirdische Insekten	Reduktion von Mikronährstoffen (Fe, Mn, Zn), tiefe Wurzeln bauen Biomasse im Boden wieder auf	
Günsel		Bringt vielfältige sekundäre Inhaltsstoffe, verhindert Nährstoffverluste	Bitter- und Gerbstoffe Antioxidantien, ätherische Öle, Bitterstoffe. Gegen Durchfall, gut für den Magen
Doldenblüter (Bärenklau, Wiesenkerbel, Kälberkropf)	Pflahlwurzel bricht Verdichtung, wenig Feinwurzeln zeigt Verdichtung an, dafür besonders wertvoll für oberirdische Insekten	Bringen Biomasse und sekundäre Inhaltsstoffe in verdichteten Boden, verhindern übermäßige Nährstoffverluste	
Schaumkraut	Magerer, feucht	Frühjahrsblüher	Bitter, enthält viele Mineralstoffe und Vitamine, die wichtig im Frühjahr sind
Schafgarbe	Trockener Boden		Bitter, entzündungshemmend, antiseptisch, verdauungsfördernd, Flavonoide, Mineralstoffe, Natrium
Große Braunelle		Überlebt tiefen Schnitt	Antibakteriell, wundheilend
Spitzwegerich	Tiefe Wurzeln		Blutreinigend, zusammenziehend, antibakteriell, Kieselsäure, Schleimstoffe, Gerbstoffe
Quecke	Kalkmangel, hohe Oxidationsraten, kaliumübersättigt		
Öl- und Gewürzpflanzen (Salbei, Thymian, Dost, Baldrian)	Mager, sonnenexponiert, am Wegrand/Feldrand	Insektenweiden	Antioxidativ, fördern Vielfalt der Bodenpilze
Blutwurz	Trocken-Nährstoffarm, mäßig sauer		Magen-Darm unterstützend, entzündungshemmend

# Grundlagen

## 3.4 Wildtierlebensraum

von Franziska Hanko

*Das Ökosystem Grünlandbetrieb kann durch eine ganzheitliche Betrachtung zu einem vielfältigen Lebensraum werden. Wie schon in vorherigen Kapiteln erwähnt, führt eine hohe Anzahl verschiedenster Strukturen am Ho, sowie auf der Weide zu hohen Artenzahlen, was wiederum diverse Nahrungsbeziehungen mit sich bringt. Nützlinge können gefördert und Schädlinge eingedämmt werden. Je vielfältiger die Arten und ihre Beziehungen im System, desto geringer die Häufigkeit von Krankheitserregern und Parasiten (SCHÄFFER et al. 2018).*

### Eine Entwicklung mit Folgen

In Bayern haben nur zirka 19 % der Rinder Zugang zu Weideflächen. Das bedeutet das mehr als 80 % dauerhaft im Stall stehen (Statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2020). Das ist nicht nur fatal für die Tiergesundheit, sondern auch für die Landschaften. Der Einfluss von Weidetieren ist enorm wichtig für die Verbreitung von Samen und das Überleben zahlreicher Tierarten.

### Landschaftsgestaltung und Koevolution

Wildlebende und domestizierte Weidetiere sind zum Schutz sowie zur Förderung der Biodiversität unabdingbar. Besonders größere Pflanzenfresser bilden den zentralen Faktor für Koevolution und kontinuierliche Prozessentwicklungen vieler Arten, Biozönosen und ganzer Ökosysteme. Ursprünglich waren es Auerochse, Wisent, Elch, Großhirsch und Tarpan die die Natur prägten. Mit der Zeit wurde die Landschaftsgestaltung zunehmend von Nutztieren gleichermaßen übernommen. Schweine, Rinder, Schafe, Ziegen und sogar Geflügel waren in der freien Landschaft unterwegs und verbreiteten Samen und Nährstoffe über den Dung und sorgten für halboffene strukturreiche Landschaften. Biodiversitätsfördernde Weideformen zeigen verschiedene Weidetierarten, die sogar bestenfalls behirtet werden. So können die unterschiedlichen Einflüsse der Tierarten über größere Strecken hinweg auf die Landschaft einwirken, ohne dass die Flächen über- oder unternutzt werden. Ein heterogener Aufwuchs mit kurzrasigen und überständigen Beständen sowie fließende Übergänge zwischen Offenland (Weide) und Wald prägen das Bild. Die Stauden, die nicht gefressen werden, bleiben nicht zufällig stehen. Sie sind in den meisten

Fällen wertvolle Nahrungspflanzen für Insekten. Eine partielle Verbuschung ist förderlich, da dornige Sträucher Schutz und Nahrung für Vögel, Kleinsäuger und Reptilien bieten. Verbissene Gehölze werden zu Alt- und Totholz, welches wiederum zahlreichen Organismen eine Lebensgrundlage bereitstellt. Durch die Bewegung der Tiere kommt es zu offenen Bodenstellen (Tritt, Scharren, Wälzen) was zur kleinräumigen Strukturvielfalt sowie guten Keimbedingungen führt. Der Dung von verschiedenen Tieren ist ebenfalls eine enorm große Quelle der Biodiversität, solange er von Antiparasitika unbelastet ist. Er dient als Nahrung, Lebensraum und Mineralstoffquelle vieler Insekten, wovon wiederum prädatorische Insekten, Vögel, bodenlebende Säugetiere, Fledermäuse, Amphibien und Reptilien abhängig sind. Der Verlust der Artenvielfalt (Vegetation, Tiere und Pilze) im Offenland steht im direkten Zusammenhang mit dem Fehlen von Dung auf der Weide.

### Vorhandene Potenziale nutzen

Ökotone (Grenzbereiche zweier Lebensräume zum Beispiel Wiese-Wald) sind geprägt von besonders hoher Biodiversität. Hier treffen verschiedene Ökosysteme aufeinander, wodurch die Vielfalt deutlich erhöht wird. Dies ist beispielsweise bei Hecken, Einzelbäumen und Waldrändern der Fall. Jeder Betrieb kann mit wenig Aufwand kleine Trittsteinbiotope schaffen und so auf Landschaftsebene wirken.

**Weiterführende Informationen und Praxisvorschläge sind im Handbuch Landplanung zu finden.**

# 3.5 Der Weidetierlebensraum

von Franziska Hanko

*Um auf unseren begrenzten landwirtschaftlichen Nutzflächen den Boden und den Pflanzenbestand zu verbessern sowie die Tiergesundheit durch ein möglichst artgerechtes Fressverhalten zu fördern, leiten wir die Herde durch gezielte Zäunung (BUTTERFIELD 1999). In der Natur würde die Wiederkäuerherde umherziehen und jedes Individuum könnte sich die Pflanze aussuchen, die sie aktuell benötigt. Auch die Bewegung durch Behirtung war eine gute Möglichkeit die verschiedenen Bedürfnisse zu decken und gleichzeitig Biotope durch Tritt, Fressverhalten und Samentransport zu verbinden.*

### Die Bedürfnisse decken

Wiederkäuer wissen intuitiv welche Nährstoffe sie brauchen und in welchen Pflanzen sie zu finden sind. Vorausgesetzt, es handelt sich nicht um Hochleistungsrinder, bei denen der Drang nach ausreichend Energie und Eiweiß über dem einer ausgewogenen, nachhaltig gesunderhaltenden Ernährung ist. Auch sollten die Wiederkäuer schon in den frühen Jahren raus auf die Weide und von den Älteren lernen, welche Kräuter besonders wertvoll sind und welche eher nicht. Wenn die jungen Tiere von den älteren oder noch besser den eigenen Müttern gezeigt bekommen, was alles auf der Weide gesund und essbar ist, werden sie sich ihr Leben lang daran erinnern. Der erste Eindruck, die ersten Erfahrungen sind die Wichtigsten (GREEN et al. 1984). Gleichzeitig ist jedes Tier in der Herde wiederum individuell und benötigt zu unterschiedlichen Zeiten und Lebensphasen verstärkt andere Mikronährstoffe und Vitamine. Auch die Fütterung im Stall ist ausschlaggebend dafür, was anschließend auf der Weide vermehrt gesucht werden muss. Wenn sie die fehlenden Nährstoffe in Form von verschiedensten Kräutern draußen nicht finden, fressen sie ineffizient viel und werden trotzdem durch das mangelnde Angebot nicht satt. Das Mikrobiom des Pansens entscheidet über die Futtermittelaufnahme und -verwertung. Wenn es also keine Auswahl gibt, ist mehr Nahrung nötig, um den Bedarf doch irgendwie zu decken. Vergleichbar mit einer für uns nährstoffarmen, einseitigen Ernährung, die uns jedoch nicht wirklich befriedigt oder sättigt. Wir brauchen dann mehr, fühlen uns immer

schlechter, können weniger leisten und werden krank. Bei den Wiederkäuern sendet das Mikrobiom im Pansen Botenstoffe aus, wodurch die Kuh ein Feedback über den Nährgehalt der Pflanze bekommt und anschließend weiß, welche gut für sie ist.

### Die Vorteile

Auf Weiden mit einer hohen Artenvielfalt können die richtigen Mineralstoffe und Vitamine aufgenommen und Defizite ausgeglichen werden (BAZELY 1989; DENTON et al. 1986; KROMP & HARTL 1991). Es konnte herausgefunden werden, dass die verschiedenen sekundären Pflanzenstoffe, zum Beispiel Tannine antiseptisch, antifungal, antibakteriell wirken und auch die Resistenz gegenüber Fadenwürmern deutlich erhöhen. Je höher die Artenvielfalt auf der Weide, desto höher die Abwehrkräfte gegen Pathogene (VILLALBA 2010). Je weniger Vitamine (Chlorophyll, Flavonoide, Carotinoide) und natürliche Mineralstoffe in der Ernährung der Tiere, desto geringer der Geschmack von Milch und Fleisch. Dies kann bis zu einem gewissen Grad mit Gewürzen und Geschmacksverstärkern wieder ausgeglichen werden, jedoch müssen wir dann mehr essen, weil wir nach den echten Phytochemikalien verlangen (CARPINO 2004). Pflanzenfresser suchen natürlicherweise immer nach einer guten Mischung an Pflanzen zum Fressen und wechseln dabei gerne auch die Orte. Sie suchen nach verschiedenen Geschmacksrichtungen, die auf unterschiedliche Nährgehalte hinweisen (LOREAU 2001; PROVENZA 2001).

### Es gibt drei große Vorteile, wenn die Tiere ihre Medizin direkt auf der Weide wählen können.

1. Die individuellen Bedürfnisse jedes Weidetieres können über die Auswahl der spezifischen Pflanzen gedeckt werden.
2. Es ist keine künstliche Medizin notwendig, wodurch auch Resistenzen gegen Parasiten abnehmen.
3. Die Synergien in den verschiedenen Pflanzen funktionieren so wie sie natürlich entwickelt wurden und wirken dadurch effizienter, ganzheitlicher und nachhaltiger als die extrahierte Form im Medikament.

(PROVENZA 2007)

Wenn die Tiere beispielsweise auf einer Fläche nicht ausreichend Mineralstoffe und Vitamine erhalten haben, sind sie nicht zufrieden und wollen auf die nächste Fläche auch wenn es mengenmäßig sehr viel war (BAILEY et al. 2015). Die Tiere wollen auch weiterziehen, da die Aufnahme sekundärer Pflanzenstoffe in Übermengen giftig sein kann. Dieses Feedback für die Kuh sorgt für ein Verhalten, welches sie von einer übermäßigen Aufnahme bestimmter Pflanzen abhält und gleichzeitig dafür sorgt, dass sie abwechslungsreich frisst (PROVENZA 2007).

#### Die Beziehung der Herde zur Landschaft

Die Beziehung zwischen den Landwirten und ihren Herden, die Beobachtung ihrer Tiere und deren Fressverhalten bringt mit Abstand den größten Vorteil für eine resiliente Landschaft. Dies beruht auf der Tatsache der Koevolution von Wiederkäuer und Grasland. Erfahrene Hirten beobachteten ihre Tiere zuerst auf einer kleinen Fläche, um zu erkennen, was an jenem Ort wie gerne gefressen wird. Jungtiere weiden bei älteren, um zu lernen und auch neue Geschmacksrichtungen zu testen (PROVENZA 2015). Beim Umtreiben wurde früher darauf

geachtet, dass die beliebten Pflanzen/Standorte erst später besucht werden, um Enttäuschung oder langes Suchen zu vermeiden. Wichtig war es, den Appetit der Herde fortwährend anzukurbeln und das Futterangebot so vielfältig wie möglich zu halten. So findet jedes Tier die optimale Nahrung. (BALPH 1980). Mit abwechslungsreicher Kost sind nicht komplett unterschiedliche Pflanzengesellschaften gemeint, sondern nur ein heterogenes Angebot verschiedener Weidekräuter, Gräser und Gehölze sowie an überständigem, faserhaltigeren und frischerem Futter. Denn schon der Wechsel von sehr jungem, eiweißhaltigem Futter auf einer frischen Wiese und der Heufütterung im Stall führt zu notwendigen Anpassungen des Pansenmikrobioms. Besonders viele kotabbauende Käfer benötigen faser- und strukturreiche stabile Fladen, die wiederum wichtig für viele Vögel und Fledermäuse sind. Auf extensiveren Weiden mit robusteren, weniger wählerischen Kuhrassen sind solche Fladen noch häufiger. Hier wird das ganze Netzwerk auf allen trophischen Ebenen bedient.

Die Kuh interagiert mit Weidepflanzen in besonderer Weise. Das Abreißen der Blätter führt zu Verwundungen an der Pflanze und zu vermehrter Sonneneinstrahlung auf den Boden. Hinzu kommt der Einfluss des Speichels auf der Blattoberfläche mit all den mikrobiellen Zusammenhängen. Letzterer kann das Pflanzenwachstum stimulieren, Wurzel- und Sprosswachstum stärken und die Biomasse erhöhen (FRAZIER 1974; REARDON et al. 1974). Vor allem für das erneute Wachstum, nach der Einkürzung einer Pflanze führt die Anwesenheit von Speichel zu einer schnelleren Kohlenhydrat-Mobilisierung. Auch die Photosynthesereserven können effizienter mobilisiert und von der Pflanze für ihr eigenes Wachstum genutzt werden. Zahlreiche Prozesse auf molekularbiologischer Ebene finden statt, nachdem der Wiederkäuer an der Pflanze gefressen hat. Diese beruhen hauptsächlich auf der Heilung des abgerissenen Pflanzenorgans, dem erneuten Wachstum nach dem Entfernen von Blättern und der Stimulation von Zellen durch den Speichel (LIU 2012). Auf molekularbiologischer Ebene sind hierbei Signalübertragungswege, Genexpressionen, Proteinstoffwechsel, Hormonsynthese, Zuckertransport und Zellphysiologie mitinbegriffen. In den Unter-

suchungen wurde deutlich, dass der Abriss von Gras durch Wiederkäuer zusammen mit dem Zurückbleiben von Speichel das Wachstum durch zahlreiche Prozesse stimuliert (XIAOXIA 2015).

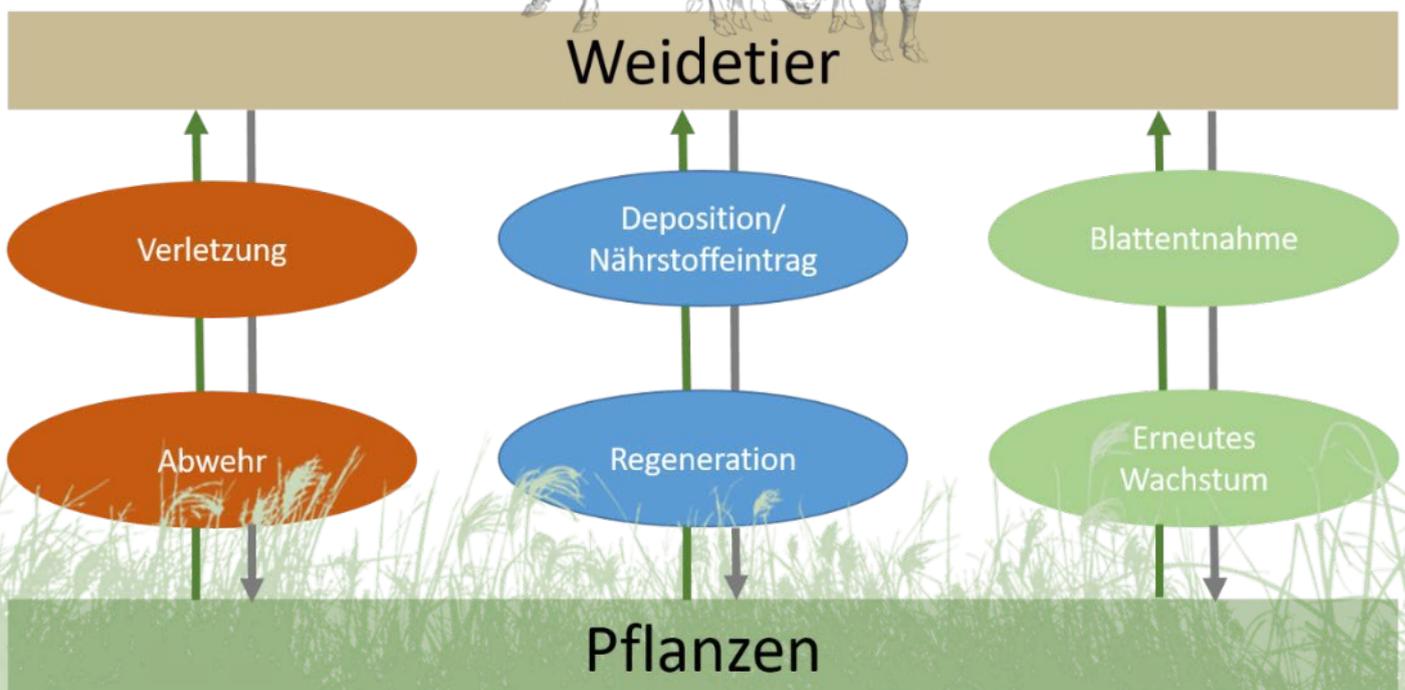
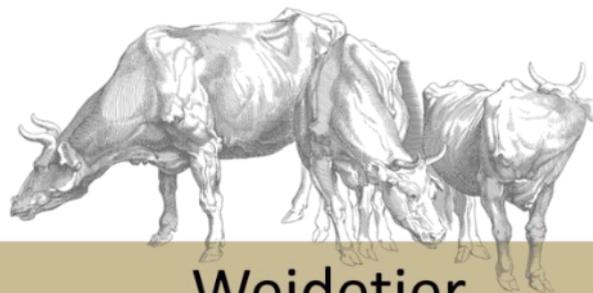
### Vielfältige Weiden gleich gesunde Herde

In der Natur steht alles in Wechselwirkung. So hat die Vielfalt der Pflanzen und Insekten auf der Weide auch einen Einfluss auf die Tiergesundheit. Beim Bestäuben der verschiedenen Blüten übertragen die Falter und Bienen die Kreuzhefe. Diese Kreuzhefe kommt auch im Pansen der Wiederkäuer vor, wo sie eine bedeutsame Rolle in der Eiweißsynthese übernimmt. Aus nichteiweißhaltigen Stickstoffverbindungen baut sie für die Kuh verfügbares Eiweiß auf. Dieser Hefepilz kommt besonders häufig in Korbblütlern, aber auch anderen nektarhaltigen Blütenpflanzen vor, wo er sich in den Nektarien vermehrt. Von dort aus wird er, solange Insekten vorhanden sind, auf der gesamten Weide verteilt.

Auf artenarmen Wiesen und Weiden, wo weder Blüten- noch Insektenvielfalt herrscht, wird auch der Pilz nicht in den Pansen der Kühe gelangen.

Die Folgen sind Mangelerscheinungen im Stoffwechsel, die bis hin zur Unfruchtbarkeit führen können. Dies sollte Motivation allein sein, artenreiche Wiesen und Weiden zu erhalten (LIPPERT 1953, FINK 2017).

Häufig ist zu beobachten, wie die Kühe die Randstreifen, welche keine Düngung erfahren und somit mager und artenreich sind, besonders tief und gern abfressen. Hier ist eine Fülle an sekundären Pflanzenstoffen für sie vorhanden, die sie gesund erhalten. Diese Randstreifen sind also besonders wertvoll und erhaltenswert, sowohl für die Weidetiere, als auch für die Insekten. Wenn die Randstreifen auch nur um wenige Meter verbreitert werden würden, könnte dies schon einen erheblichen Mehrwert bedeuten.



# TIPPS

## Wie man vorgehen kann, um seine Grünlandflächen diverser zu gestalten

An allererster Stelle stehen die Beobachtung sowie die Begutachtung der vorhandenen Ressourcen und Flächen. Auch im Projekt KUHproKLIMA wurden den ersten Begehungen auf den Betrieben die bestehenden Lebensräume, Flächen, Strukturen sowie die lokalen Standortfaktoren beobachtet.

Neben der Gehölzplanung wurden auch biodiversitätsrelevante Strukturen aufgenommen und Erweiterungen, Verbesserungen sowie Potenziale zur Neuanlage erarbeitet.

Vor diesem Hintergrund konnten die einzelnen Maßnahmen fachgerecht geplant und gemeinsam mit den Landwirten auf Betriebsebene angepasst werden. Bis dann letztendlich die Einzelmaßnahmen kalkuliert und vorbereitet, wurden.

Die Hauptziele, die mithilfe des Planungskonzeptes erreicht werden sollen sind:

- ✓ **Schutz vor Erosion in Hanglage**
- ✓ **Wind- und Sonnenschutz für Weidetiere**
- ✓ **Verbesserte Wasserinfiltration durch tiefgreifendes Wurzelwerk**
- ✓ **Erhöhung der kleinräumigen Strukturvielfalt auf den Flächen**
- ✓ **Verbindung von Lebensräumen, wie zum Beispiel einen Biotopverbund in Form von Korridoren und Trittsteinen**
- ✓ **Schaffung von Rückzugsorten für Wildtiere**
- ✓ **Erhalt von Nahrungspflanzen für Wild- und Weidetiere**
- ✓ **Etablierung vielfältiger Räuber-Beute-Beziehungen**

Die in diesem Leitfaden beschriebenen Betriebe beweideten einige Teile ihrer Flächen vom frühen Frühjahr bis in den späten Herbst und einige von ihnen auch im Winter.

Die Gesundheit der Herde ist für die teilnehmenden Landwirte von größter Bedeutung. Gerade deshalb achten die Landwirte auf einen artgerechten Lebensraum mit ausreichend Schatten und Feuchtigkeit. Nur so können die Weidetiere auch in trockeneren Sommern draußen grasen.

Weiterführende Informationen sind im Handbuch „Landplanung“ nachzulesen. Die Landplanung ist ein wesentlicher Teil der gesamtbetrieblichen Planung und bildet die Voraussetzung für eine zukunftsfähige Landwirtschaft.





Magere Hänge mit offenem Boden und Abbruchkanten bieten vielen Insekten den optimalen Lebensraum. Die Pflanzenvielfalt ist durch diese abwechslungsreiche Weidelandschaft besonders artenreich, Foto: Franziska Hanko

### Der Fladen macht den Unterschied

Ohne den Dung der Weidetiere im Grünland würden ganze Lebensgemeinschaften aussterben. In Naturschutzgebieten können sogar bis zu 33 verschiedene Dungkäfer und 50 verschiedene Käferarten vorkommen. Ohne all diese zersetzenden Käfer wäre der Nährstoffkreislauf nicht geschlossen. Erst sie sorgen dafür, dass die Nährstoffe pflanzenverfügbar gemacht werden. Auch sind sie durch ihre wühlenden Tätigkeiten dafür verantwortlich, dass die Pflanzenreste, Nährstoffe und ausgeschiedene Samen in den Boden gelangen. Dort durchlüften sie und schaffen gute Lebensbedingungen für andere Organismen. Ein Kuhfladen auf der Weide sorgt über ein vielfältiges System trophischer Ebenen für das Überleben zahlreicher Vögel und Fledermäuse. Die Ergänzung weiterer Weidetiere erhöht die Biodiversität um ein Vielfaches. Je nach Standortbedingungen können unterschiedliche Arten und Rassen eingesetzt werden. Hierbei profitiert nicht nur der Pflanzenbestand durch unterschiedliche Weideformen, Tritteinfluss und Futterpräferenz, auch der Dung und die davon lebenden Organismen. Im Dung von Konik-Pferden in der Döberitzer Heide konnten beispielsweise 4.300–9.000 Käfer pro Haufen gefunden werden. Eine hohe Artenvielfalt besonders von Käfern wird durch eine lange Weidesaison, bestenfalls einer Ganzjahresbeweidung geschaffen, da die Käfer zu unterschiedlichen Zeiten im Jahr aktiv sind. Untersuchungen konnten belegen, dass ein Rind

mit zirka 600 kg Körpergewicht in einem Jahr gute elf Tonnen Dung auf einer Weide hinterlässt. 120 Kilogramm Insektenlarven finden darin ihre Nahrungsgrundlage. So erhält jedes Rind auf einer extensiven Ganzjahresweide eine Masse an Insekten, die 25 % seines eigenen Körpergewichts entspricht.



Lebensraum Kuhfladen, Foto: Franziska Hanko

Je höher, faltiger und stabiler der Fladen ist, desto mehr Insekten finden ihre Nahrungs- und Brutgrundlage darin. Der Fladen muss eine bestimmte Mindestgröße und Stabilität haben, um eine ausreichende Artenvielfalt zu beherbergen. Dann ist es möglich auch schon mal 4.000 Insekten in einem drei Tage alten Fladen zu finden (BR 2020). Je mehr Vielfalt, desto schneller die Zersetzung und Einarbeitung des Dungs. Das bedeutet, dass die Nährstoffe durch unterschiedliche Wühltätigkeiten in verschiedene Bodentiefen gebracht werden, um dort die Pflanzen vielfältig zu versorgen. Dungkäfer spielen zusätzlich eine entscheidende Rolle in der Belüftung des Oberbodens. Sehr dünnflüssige, flache Fladen trocknen schnell aus und bieten kaum einen Lebensraum für Insekten, wodurch die Gesamtvielfalt stark reduziert ist. Diese Form des Dungs zeugt von eiweißreichem Futter, Silage oder Kraftfuttereinsatz. Sehr hohe und stabile Fladen halten lange feucht und fördern das Bodenleben. Faserreiche Nahrung mit viel Cellulose, verschiedenen Kräutern und einem Anteil an überständigen Gräsern fördert diese Fladenstruktur ebenso wie die Gesundheit der Kühe.

# Grundlagen

## 3.6 Böden und Biodiversität

von Francisco Telles Varela und Franziska Hanko

*Um auf unseren Wiesen und Weiden gesunde Lebensmittel oder Futtermittel zu erzeugen, ist ein gesunder Boden erforderlich und ein angemessenes Weidemanagement ist der Schlüssel zu diesem Ziel. Aber was ist ein gesunder Boden? Ein gesunder Boden ist ein lebendiger Boden. In diesem Kapitel schauen wir in die faszinierende Welt der Bodenmikroorganismen und ihre symbiotischen Beziehungen mit Pflanzen, mit einem besonderen Schwerpunkt auf unsere Grünlandökosysteme. Denn wenn wir sie zukünftig besser unterstützen wollen, müssen wir mehr über sie wissen.*

### Die Rolle des Bodens – ein Grundstein des Lebens

Der Boden ist viel mehr als nur ein Medium für das Pflanzenwachstum. Er ist ein komplexes Ökosystem, das eine Vielzahl von Lebewesen beherbergt, darunter Bakterien, Pilze, Nematoden, Regenwürmer und Insekten. Diese Organismen spielen eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Gesundheit und Produktivität der Ökosysteme unseres Planeten, indem sie organisches Material abbauen, Nährstoffe freisetzen und das Pflanzenwachstum fördern. Sie tragen auch dazu bei, die Struktur des Bodens zu verbessern, indem sie ihn poröser machen und ein besseres Eindringen von Wasser und Luft ermöglichen, während sie gleichzeitig eine entscheidende Rolle bei der langfristigen Kohlenstoffbindung spielen.



Ein Teelöffel Boden enthält mehr lebende Organismen als es Menschen auf der Erde gibt (Quelle: Matteo Sala; FAO 2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Reproduced with permission.

Ein lebendiger Boden spielt auch eine entscheidende Rolle für die Gesundheit von Tieren und Menschen. Viele der Lebensmittel, die wir essen, wie Obst, Gemüse, Getreide und das Gras, mit dem unsere Kühe gefüttert werden, werden im Boden angebaut. Die Gesundheit des Bodens wirkt sich direkt auf den Nährstoffgehalt dieser Lebensmittel und Futtermittel aus, was wiederum Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen und Tiere hat, die sie verzehren.

### Das Bodenökosystem

In einem gesunden Bodenökosystem arbeiten die Bodenorganismen in einem empfindlichen Gleichgewicht zusammen, wobei Primärproduzenten wie Pflanzen Energie und organisches Material für Zersetzer bereitstellen, die wiederum Nährstoffe für die Pflanzen und andere Organismen freisetzen. Dieser Nährstoffkreislauf ist für das Funktionieren von Landökosystemen unerlässlich, da er die Übertragung von Energie und Nährstoffen durch das Nahrungsnetz ermöglicht und letztlich das Wachstum von Pflanzen und Tieren fördert<sup>1-3</sup>.

### Die Rhizosphäre – Ein komplexes Netzwerk mit doppeltem Nutzen

Die Rhizosphäre ist der Bereich des Bodens, der die Pflanzenwurzeln unmittelbar umgibt und in dem es von Leben wimmelt. Diese Zone gilt als einer der Orte mit der größten Artenvielfalt auf unserem Planeten, was auf die komplexen Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und den Mikroorganismen zurückzuführen ist, die im Boden um ihre Wurzeln herum leben<sup>4,5</sup>.

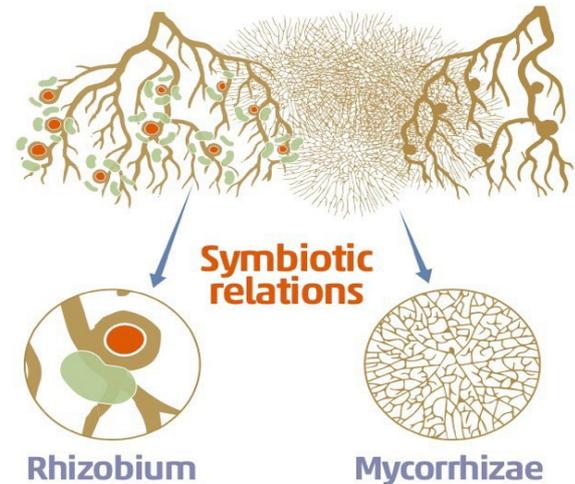
Eine der wichtigsten Interaktionen in der Rhizosphäre ist der Austausch von Nährstoffen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen – und seit kurzem gibt es wissenschaftliche Belege dafür, dass Pflanzen sogar die Zusammensetzung ihres Mikrobioms steuern können<sup>6</sup>. Über ihre Wurzeln geben die Pflanzen Verbindungen ab, die als Exsudate bezeichnet werden und eine Energiequelle (meist Kohlenhydrate/Zucker) und Nährstoffe für die Mikroorganismen darstellen. Im Gegenzug helfen die Mikroorganismen, organisches Material abzubauen und Mineralstoffe aus dem Boden in pflanzenverfügbare Formen umzuwandeln, so dass den Pflanzen Nährstoffe zur Verfügung stehen. Dieser Nährstoffaustausch schafft ein empfindliches Gleichgewicht, das für die Erhaltung der Gesundheit und Produktivität der Rhizosphäre unerlässlich ist<sup>7</sup>.

### Symbiose Pflanze – Mykorrhiza

Ein gutes Beispiel für Symbiosen in der Rhizosphäre ist die Beziehung zwischen Pflanzen und Mykorrhizapilzen. Mykorrhizapilze sind eine Art von Bodenmikroorganismen, die mit Pflanzenwurzeln eine symbiotische Beziehung eingehen. Die Mykorrhizapilze versorgen die Pflanze mit Nährstoffen wie Phosphor oder Wasser, die aus tiefen kleinen Poren im mineralischen Bodenprofil stammen, in die die Wurzeln nicht eindringen können. Die Pflanze dagegen versorgt die Mykorrhizapilze im Austausch mit Kohlenhydraten (Energie). Dieser gegenseitige Austausch ist für das Wachstum und das Überleben sowohl der Pflanze als auch des Pilzes unerlässlich.

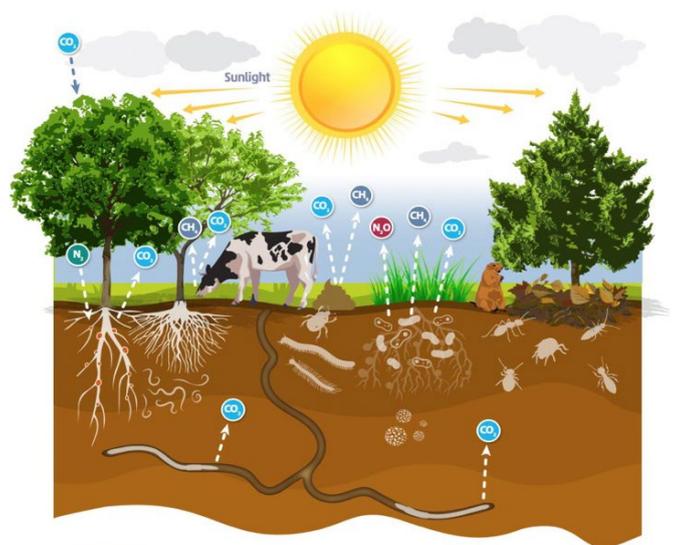
### Symbiose Pflanze – Bakterien

Ein weiteres Beispiel für diese Symbiose ist die Beziehung zwischen dem Bakterium Rhizobium und den Wurzeln von Leguminosen. Bei dieser Partnerschaft besiedelt das stickstofffixierende Bakterium die Wurzeln der Pflanze und bildet Knöllchen. In diesen Knöllchen wandelt das Bakterium atmosphärischen Stickstoff ( $N_2$ ) in eine Form um, die von der Pflanze als Stickstoffquelle genutzt werden kann. Dieser Stickstoffaustausch ist für beide Partner von Vorteil, da das Bakterium im Gegenzug von der Pflanze eine Kohlenstoffquelle erhält, die es ihm ermöglicht, in seiner symbiotischen Beziehung zu gedeihen<sup>8</sup>.



Symbiotische Beziehungen in der Rhizosphäre (Quelle: FAO 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Reproduced with permission).

Darüber hinaus schafft dieser gegenseitige Austausch von Nährstoffen und anderen Verbindungen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen einen weiteren gegenseitigen Nutzen, wie zum Beispiel die Förderung des Wachstums und den Schutz des Immunsystems. So können Mikroorganismen beispielsweise dazu beitragen, Pflanzen vor Krankheitserregern zu schützen, indem sie um Platz und Ressourcen konkurrieren, während Pflanzen wiederum dazu beitragen können, Mikroorganismen vor Umweltstressfaktoren wie Trockenheit zu schützen<sup>5,6</sup>.



Interaktionen im Nahrungsnetz des Bodens und Gesundheit des Ökosystems (Quelle: FAO 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Reproduced with permission).

Diese Interaktionen bilden den Eckpfeiler des vielfältigen Netzwerks der biologischen Vielfalt im Boden und spielen eine entscheidende Rolle für die Gesundheit der gesamten Ökosysteme. Von Mikroben bis hin zu Insekten trägt jede Art zum Funktionieren des Bodenökosystems und zur Gesundheit des Ökosystems im Allgemeinen bei.

### **Biodiversität im Boden**

Alle Makro- und Mikroorganismen spielen eine Rolle bei der Erhaltung der Gesundheit und Fruchtbarkeit des Bodens und sind integrale Bestandteile des Ökosystems im weiteren Sinne.

**Bakterien** sind Einzeller, die zur Gruppe der Prokaryoten gehören. Sie waren die ersten Lebensformen, die Milliarden von Jahren vor den Pflanzen und Tieren auf der Erde entstanden. Bakterien sind unglaublich anpassungsfähig und können in einer Vielzahl von Umgebungen gefunden werden. Sie können auch andere Organismen besiedeln, darunter Pflanzen, Tiere und Menschen, und zwar in verschiedenen Funktionen als Krankheitserreger, Symbionten oder Mitglieder einer Lebensgemeinschaft. Man schätzt, dass es auf der Erde etwa  $2,5 \times 10^{30}$  Zellen<sup>30</sup> von Bakterien gibt, deren Gesamtkohlenstoffgehalt mit dem aller Pflanzen auf der Erde vergleichbar ist und deren Stickstoff- und Phosphorgehalt höher ist als der aller Pflanzen zusammen<sup>2</sup>. In terrestrischen Ökosystemen ist die Heterotrophie der vorherrschende trophische Modus, und Bakterien dominieren in der Regel die basalen Schichten der Nahrungsnetze.

### **Bakterien = Wichtige Ökosystemfunktionsdienstleister**

- Sie können Umweltschadstoffe abbauen und komplexe, widerspenstige Verbindungen durch das Nahrungsnetz zirkulieren lassen, was sie für die Bioremediation (biologische Sanierung) von kontaminierten Ökosystemen nützlich macht.
- Sie beeinflussen die Bodenstruktur und -funktionalität durch verschiedene Mechanismen, wie die Sekretion von Exopolysacchariden und anderen organischen Verbindungen, die den Zusammenhalt und die Struktur des Bodens verbessern können.
- Sie sind an der Bildung und Reifung von Bodenaggregaten beteiligt, die für die Bodenstabilität, das Wasserhaltevermögen und den Nährstoffkreislauf von wesentlicher Bedeutung sind.

- Sie können dazu beitragen, den pH-Wert des Bodens zu regulieren und den Nährstoffkreislauf zu fördern, indem sie organische Verbindungen mineralisieren und anorganische Verbindungen in verwertbare Formen umwandeln.
- Sie sind wichtige Motoren des Stoffumsatzes und der biogeochemischen Kreisläufe, sie treiben den Kreislauf von Elementen wie Stickstoff, Schwefel, Eisen und anderen voran und beeinflussen die Bodenfruchtbarkeit in verschiedenen Arten von Ökosystemen.
- Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Umwandlung von Luftstickstoff in für Pflanzen verwertbare Formen.
- Die von Bakterien dominierten Bodenumgebungen weisen in der Regel einen höheren pH-Wert und Stickstoffgehalt auf, was das Pflanzenwachstum und die Bodenstabilität fördert.

Diese winzigen Organismen sind also für eine Vielzahl von Funktionen verantwortlich, die für die Bodengesundheit und für das Leben auf der Erde unerlässlich sind<sup>9-15</sup>.

### **Bakterien**

- ✓ Photoautotrophe B. nutzen Lichtenergie und atmosphärisches CO<sub>2</sub>, um organische Verbindungen herzustellen, die von anderen Organismen genutzt werden können.
- ✓ Chemoautotrophe B. nutzen atmosphärisches CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle, gewinnen aber Energie aus der Oxidation anorganischer Verbindungen wie Ammoniak, Eisen und Schwefel, die sie zur Bindung von CO<sub>2</sub> und zur Herstellung organischer Verbindungen nutzen.
- ✓ Heterotrophe B. nutzen organische Materialien sowohl als Energie- als auch als Kohlenstoffquelle, ähnlich wie Tiere. Sie spielen eine Schlüsselrolle bei der Kohlenstoffumwandlung und dem Nährstoffkreislauf, verbessern die Bodenfruchtbarkeit und regulieren die Bodenstruktur, was zum Schutz der Pflanzen vor Krankheitserregern beiträgt und die Ernteträge erhöht.

**Pilze** sind eine äußerst vielfältige Gruppe von Organismen, die einen bedeutenden Teil der biologischen Vielfalt der Erde ausmachen. Mit bisher über 100.000 dokumentierten Arten und Schätzungen, die auf eine Gesamtzahl von 0,8 bis 3,8 Millionen Arten hindeuten, ist klar, dass Pilze ein breites Spektrum an Formen und ökologischen Nischen besetzen<sup>16,17</sup>. Es ist bekannt, dass die meisten Pilzarten zumindest einen Teil ihres Lebenszyklus im Boden verbringen, wo sie als Zersetzer, Gegenspieler oder Krankheitserreger von Pflanzen und Tieren fungieren. Sie treiben den Kohlenstoffkreislauf an und vermitteln die Mineralienversorgung sowohl in natürlichen als auch in vom Menschen veränderten Ökosystemen. Als heterotrophe Organismen, die auf photosynthetischen Kohlenstoff als Nahrung angewiesen sind, haben Pilze sowohl direkte als auch indirekte Wechselwirkungen mit Pflanzen, die einen wichtigen Teil ihrer Ökologie darstellen. Das Klima ist der beste Prädiktor für den Pilzreichtum und die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaft auf globaler Ebene, gefolgt von edaphischen und räumlichen Variablen<sup>18</sup>.

#### **Pilze besetzen wichtige Schlüsselfunktionen**

Pilze bieten wertvolle Möglichkeiten zur Bewältigung einiger der größten globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Mit ihren Schlüsselfunktionen bei der Kohlenstoffumwandlung, dem Nährstoffkreislauf, der Bildung von Bodenstrukturen und der biologischen Regulierung sind sie entscheidende Akteure im Kampf gegen den Klimawandel, der Bodendegradation und der Bekämpfung gefährlicher Krankheitserreger<sup>19</sup>. Pilze sind ein wesentlicher Bestandteil der Nahrungsnetze im Boden und können viele komplexe Stoffe abbauen und sind beteiligt an

- der Kohlenstoffumwandlung und -bindung durch Pflanzen. So stammen beispielsweise bis zu 70 % des Kohlenstoffs in den Böden borealer Wälder aus Pflanzenwurzeln und wurzelassoziierten Pilzen<sup>20</sup>,
- der Zersetzung von Streu und abgestorbenem Pflanzenmaterial, Stickstofffixierung und Phosphormobilisierung (Saprotrophe Pilze) und der Kohlenstoffstabilisierung und am Nährstoff-/Wassertransport und -verfügbarkeit (Mykorrhizapilze)<sup>21</sup> sowie

- folgendem Prozess: Die physikalischen Kräfte der Hyphen verschränken kleinere Bodenteilchen zu größeren Aggregaten, während Substanzen, die nach dem Zerfall der Hyphen im Boden zurückbleiben, wie das mit Glomalin verwandte Bodenprotein, zur Bodenstruktur beitragen<sup>22,23</sup>.

#### **Arbuskuläre Mykorrhizapilze**

Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMF) sind wichtiger Bestandteil terrestrischer Ökosysteme. Sie gehen eine symbiotische Beziehung mit den Wurzeln der Wirtspflanzen ein, was zu einem besseren Pflanzenwachstum und einer besseren Nährstoffaufnahme führt. Die Vielfalt der AMF-Gemeinschaften ist positiv mit der Pflanzenvielfalt und -produktivität korreliert, wobei die Vielfalt und Abundanz der AMF-Gemeinschaften von der Jahreszeit, der Bodentiefe und der umgebenden Vegetation beeinflusst wird. AMF sind anfällig für vom Menschen verursachte Störungen, wie Bodenbearbeitung und Bodenverdichtung, und die Erhaltung der AMF ist für die Aufrechterhaltung wichtiger Ökosystemleistungen wie Bodenfruchtbarkeit, Bodenbildung und -pflege, Nährstoffkreislauf und Dynamik der Pflanzengemeinschaften von wesentlicher Bedeutung.

Die AMF-Pflanzen-Symbiose spielt bei mehreren Mechanismen eine entscheidende Rolle. Die AMF erhöhen das Bodenvolumen, das von der Wirtspflanze genutzt werden kann, was zu einer verbesserten Wasser- und Nährstoffaufnahme führt, insbesondere in phosphorarmen tropischen Böden. Die AMF sind auch an der Nährstoffumwandlung durch die Wirkung von Enzymen wie Phosphatasen und Stickstoffreduktasen beteiligt. Darüber hinaus spielen die AMF eine Rolle bei der Bildung und Erhaltung der Bodenstruktur und erhöhen den Kohlenstoffeintrag in den Boden durch die Produktion der Verbindung Glomalin. Glomalin bindet sich an den Boden und bildet Aggregate, die Nährstoffe und Wasser zurückhalten und das Eindringen der Wurzeln erleichtern (FAO 2020).

**Protisten** sind ein wichtiger, aber wenig erforschter Teil der biologischen Vielfalt im Boden. Diese eukaryotischen Einzeller, die keine Pflanzen, Tiere oder Pilze sind, spielen eine entscheidende Rolle bei den Bodenfunktionen und Ökosystemprozessen. Zu den Bodenprotisten gehören Amöben, Wimpertierchen und Geißeltierchen (Protozoen). Ihre Zahl kann Hunderttausende pro Gramm Boden erreichen, was ihre große Bedeutung für das Ökosystem Boden belegt.

### **Protisten sind Räuber, die wichtige Prozesse in Gang halten**

Protisten haben einen erheblichen Einfluss auf die Kohlenstoffumwandlung, insbesondere in Lebensräumen mit geringer Pflanzendecke, wo phototrophe Protisten (Algen) in Verbindung mit Pilzen in Flechten zur CO<sub>2</sub>-Fixierung beitragen. Diese phototrophen Protisten sind in diesen Lebensräumen oft die wichtigsten Primärproduzenten. Indirekt können die Protisten auch einen tiefgreifenden Einfluss auf die Kohlenstoffumwandlung haben, indem sie die mikrobielle Aktivität stimulieren und das Pflanzenwachstum verändern. Durch die Anregung der mikrobiellen Aktivität steigern die Protisten den Abbau und die Freisetzung von Nährstoffen aus organischem Material. Gleichzeitig stimulieren sie durch die Steigerung der Pflanzenleistung die Aufnahme von Kohlenstoff in die Pflanzenbiomasse und tragen zur Gesamtkohlenstoffbilanz im Bodenökosystem bei<sup>24,25</sup>. Die Rolle der Protisten im Nährstoffkreislauf ist ebenfalls ein wichtiger Forschungsbereich. Eines der bekanntesten Konzepte auf diesem Gebiet ist der mikrobielle Kreislauf, der besagt, dass durch die Prädation von Protisten Nährstoffe wie Stickstoff von Bakterien für die Pflanzenaufnahme freigesetzt werden. Dieses Konzept unterstreicht die entscheidende Rolle, die Protisten im Nährstoffkreislauf und bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit spielen<sup>26</sup>. Schließlich sind Protisten auch wichtige Regulatoren der Bodenbiologie. Es hat sich gezeigt, dass die Prädation von Protisten die Zusammensetzung von Bakteriengemeinschaften im Boden beeinflusst. Neuere Forschungen deuten darauf hin, dass verschiedene Protisten-Taxa spezielle Nahrungspräferenzen haben, die das Bodenmikrobiom wahrscheinlich auf artspezifische Weise strukturieren. Daher wurden Protisten als potenzielle Biokontrollmittel

vorgeschlagen, um die Häufigkeit von Pflanzenpathogenen zu verringern und die Pflanzengesundheit zu verbessern. Es sind jedoch weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um spezifische Protisten zu identifizieren, die für die Biokontrolle eingesetzt werden können, und um ihre Rolle in der biologischen Regulierung des Bodens vollständig zu verstehen<sup>24,27,28</sup>.

Protisten spielen eine entscheidende Rolle bei den Bodenfunktionen und Ökosystemprozessen. Ihre Auswirkungen auf die Kohlenstoffumwandlung, den Nährstoffkreislauf und die biologische Regulierung sind allerdings noch nicht ausreichend bekannt. Es wird deutlich, wie wichtig die weitere Forschung in diesem Bereich ist.

**Nematoden**, auch bekannt als Spulwürmer, sind eine der am häufigsten vorkommenden Tiergruppen auf unserem Planeten und machen etwa 80 % aller Tiere auf der Erde aus. Sie kommen in einer Vielzahl von Lebensräumen vor, unter anderem in Böden, Gletschern und Wassersedimenten, mit einer geschätzten weltweiten Population von 4,40 x 1.020 Individuen allein in Böden. Diese kleinen, dünnen und unsegmentierten Tiere sind bei nicht-parasitären Arten oft nur 0,3 mm bis 3 mm lang und damit für das bloße Auge fast unsichtbar. Trotz ihrer geringen Größe spielen Nematoden eine wichtige Rolle im Ökosystem, da sie eine Vielzahl von trophischen Funktionen im Boden erfüllen, zum Beispiel als Bakterienfresser und/oder Pilzfresser (englisch auch Grazer = Weidegänger), Räuber anderer Nematoden und kleinerer Tiere, Pflanzenfresser, Allesfresser und Parasiten, sowohl von Tieren als auch von Pflanzen<sup>29,30</sup>. Im Laufe der Jahre haben Forscher Nematoden eingehend untersucht, was zur Entwicklung von Bodenqualitätsindizes auf der Grundlage der Zusammensetzung ihrer Gemeinschaften geführt hat. Die Zusammensetzung von Nematodengemeinschaften kann direkte Informationen über den Zustand des Bodens liefern, der traditionell mit Hilfe von Mikroskopietechniken ermittelt wurde. Mit den Fortschritten der molekularen Techniken hat sich jedoch eine Verlagerung hin zur Erstellung von Profilen molekularer Gemeinschaften vollzogen. Diese Verlagerung birgt das Potenzial, die Profilerstellung in etablierte Bodenqualitätsindizes zu integrieren, erfordert jedoch zu-

nächst eine Kalibrierung. Mit den jüngsten Fortschritten in der Methodik wird die Entwicklung von benutzerfreundlichen Bodenqualitätsbewertungen mit Nematoden immer realistischer<sup>31</sup>.

### **Nematoden, die Kohlenstoffexperten**

Nematoden spielen eine entscheidende Rolle bei der Kohlenstoffumwandlung, da sie schätzungsweise über ein monatliches Kohlenstoffbudget von 139 Millionen Tonnen verfügen. Fast 110 Millionen Tonnen dieses Kohlenstoffs werden veratmet, was 15 % des aus fossilen Brennstoffen freigesetzten Kohlenstoffs entspricht<sup>30</sup>. Der Klimawandel stellt jedoch eine Bedrohung für die Nematodenpopulationen dar, da ihre Zahl mit steigenden Temperaturen abnimmt<sup>32</sup>. Als Räuber sind Nematoden wichtige Bindeglieder für den Kohlenstofffluss von Mikroben und zersetzenden Stoffen zu Tieren der höheren Trophiestufe und sie dienen als wichtige Nahrungsquelle für Mikroarthropoden. Sie spielen auch eine entscheidende Rolle im Nährstoffkreislauf, indem sie größere Mengen an Stickstoff zurückhalten, als sie benötigen, und ihn in Form von pflanzenverfügbaren Stickstoffformen ausscheiden<sup>33–35</sup>.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Nematoden wichtige Bestandteile des Ökosystems Boden sind und eine wichtige Rolle bei der Kohlenstoffumwandlung, dem Nährstoffkreislauf und sogar der Bodenstruktur spielen. Mit dem kontinuierlichen Fortschritt der molekularen Techniken und unserem Verständnis der Nematoden wird die Entwicklung benutzerfreundlicher Bodenqualitätsbewertungen wertvolle Informationen über den Zustand des Bodens und seines Ökosystems liefern.

**Regenwürmer** sind faszinierende Lebewesen, die eine entscheidende Rolle für die Gesundheit und Fruchtbarkeit des Bodens spielen. Sie gehören zum Stamm der Ringelwürmer (Annelida), der Klasse Clitellata und der Ordnung Crassiclitellata, von denen bisher etwa 6.000 Arten beschrieben wurden. Regenwürmer sind segmentierte Tiere, die sich von abgestorbenen organischen Stoffen und dem Boden ernähren, was sie zu saprophagen oder detritivoren Tieren macht. Auch sie spielen eine wichtige Rolle bei der Kohlenstoffumwandlung im Boden, dem Nährstoffkreislauf und der Bodenstruktur. Es ist bekannt, dass Regenwürmer große Mengen an Boden und organischem Material aufnehmen, um ihre physiologischen Bedürfnisse wie Nahrung, Belüftung, Unterschlupf und Fort-

pflanzung zu befriedigen. Der jährliche Bodenumsatz kann hohe Werte erreichen, zum Beispiel 1.250 t/ha in der Elfenbeinküste, was einer Bodendicke von 8 bis 10 cm entspricht. Diese intensive Wühl- und Fraßtätigkeit hat tiefgreifende Auswirkungen auf die umgebende Umwelt und führt zu deutlichen Veränderungen der biologischen Vielfalt und der Funktionen des Bodens. Aus diesem Grund werden Regenwürmer als "Ökosystemingenieure" des Bodens betrachtet. Der von Regenwürmern veränderte Boden, die sogenannte Drilosphäre, besteht aus Höhlen, Gängen und Mulden, die wichtige Funktionsbereiche im Boden darstellen<sup>2</sup>.

### **Dem Regenwurm-Ingenieur ist nichts zu schwör..**

Regenwürmer haben zwei wesentliche Auswirkungen auf die Kohlenstoffumwandlung im Boden: Sie zersetzen einerseits die aufgenommene organische Substanz, bauen sie andererseits aber auch wieder ein beziehungsweise vermischen sie mit dem Boden.

Die Verdauung organischer Stoffe im Regenwurm-Darm beruht auf einer wechselseitigen Interaktion mit Mikroorganismen in ihrem Verdauungstrakt. Im Darm liefern die Regenwürmer einen energiereichen Schleim und Wasser an Mikroben, die aufgenommenes organisches Material zersetzen und Kohlenstoff und Nährstoffe freisetzen können, die von den Regenwürmern assimiliert werden. Regenwürmer assimilieren einen kleinen Teil des aufgenommenen Kohlenstoffs, der Rest wird in Ablagerungen ausgeschieden. In Gülle beispielsweise wird organische Substanz von Mikroorganismen weiter abgebaut. Allerdings mit abnehmender Geschwindigkeit, so dass die Zersetzungsrate nach einigen Tagen niedriger ist als im Mutterboden. Der physische Schutz der organischen Substanz in den Exkrementen verhindert ihre Mineralisierung, aber die langfristigen Auswirkungen der Regenwürmer auf die Zersetzung der organischen Substanz im Boden sind noch umstritten. Anökische Regenwürmer, die sich von der organischen Substanz an der Bodenoberfläche ernähren, bauen Kohlenstoff in die Tiefe des Bodens ein und produzieren in ihren Eingeweiden auch Kalziumkarbonatgranulat, das mit dem anorganischen Kohlenstoff im Boden interagiert<sup>1,2</sup>.

Die Zersetzung von organischem Material in den Eingeweiden und Ausscheidungen der Regen-

würmer führt zur Mineralisierung und Freisetzung von Nährstoffen, die für Pflanzen und Mikroben verfügbar werden. Regenwürmer erhöhen den Stickstoffumsatz, wobei große Mengen mineralischen Stickstoffs, wie Ammonium und Nitrat, freigesetzt werden. Die Freisetzung von Stickstoff und anderen Elementen verbessert im Allgemeinen das Pflanzenwachstum und kann den Wettbewerb zwischen den Pflanzen im Zwischenfruchtanbau hemmen. Die jüngste Untersuchung bestätigt, dass Regenwurmkot viel fruchtbarer ist als der Boden<sup>36-38</sup>.

Die Aktivitäten des Wühlens, der Bodenaufnahme und der Kotscheidung führen bei Anwesenheit von Regenwürmern zu einer tiefgreifenden Veränderung der Bodenstruktur. Die Auswirkungen hängen davon ab, ob die Gemeinschaft von anökischen Würmern (Regenwürmer, die in semi-permanenten, meist vertikalen Röhren leben) oder von endogenen Würmern (Regenwürmer, die sich in den Boden eingraben und die Röhren mit ihrem Kot füllen) dominiert wird. Die Aktivität der Regenwürmer wirkt sich sowohl auf die Aggregation als auch auf die Porosität des Bodens aus, was erhebliche Auswirkungen auf den Fluss von Wasser, Nährstoffen und Gasen sowie auf die Erodierbarkeit des Bodens hat. Kürzlich wurden Indikatoren für die Bioturbation durch Regenwürmer vorgeschlagen, die sowohl Höhlen als auch Abdrücke berücksichtigen, um die Bodenstruktur und -fruchtbarkeit zu bewerten<sup>2</sup>.

**Käfer** (Coleoptera) sind eine vielfältige Gruppe von Insekten, die eine entscheidende Rolle für das Funktionieren von Bodenökosystemen spielen. Sie werden durch mehrere Familien repräsentiert, die jeweils einzigartige Ernährungsgewohnheiten haben, was sie zu wichtigen Zersetzern von organischem Material macht. Diese Insekten ernähren sich von einer Vielzahl von Materialien, darunter Dung, Aas, Pflanzenwurzeln, verrottendes Pflanzenmaterial und Fruchtkörper von Pilzen. Die Staphyliniden (Staphylinidae) gehören zu den räuberischen Käferarten, die im Boden zahlreich vorkommen. Einige von ihnen sind sogar an das Leben in den tieferen Bodenschichten angepasst, wo sie sich von anderen Mikroarthropoden ernähren.

Euedaphische Arten hingegen ähneln Collembolen, Proturanen oder anderen Mikroarthropoden und haben längliche, reduzierte Körper ohne Augen und kurze Beine.

Dungkäfer (mehrere Familien innerhalb der Überfamilie Scarabaeoidea) sind spezialisierte Detritivoren, die sich vom Dung von Pflanzenfressern ernähren. Diese Insekten spielen eine wichtige Rolle für die Bodengesundheit, indem sie den noch energiereichen Dung im Boden vergraben, um ihn als Nahrung für ihre Larven zu nutzen. Dies trägt zur Wiederverwertung der organischen Substanz im Dung und zur Zersetzung und Wiederverwertung toter organischer Substanz bei.

#### **Ohne sie ist alles „großer Mist“**

Käfer tragen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei, indem sie den Boden belüften und die Abfälle gleichmäßig verteilen, wodurch die Ansammlung schädlicher Krankheitserreger verringert und die Verfügbarkeit von Nährstoffen für andere Bodenorganismen und Pflanzen erhöht wird. Außerdem spielen Mistkäfer eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung von Schädlingen wie Fliegen, die sich in tierischen Abfällen wie Kuhfladen vermehren, und verringern so die Ausbreitung von Krankheiten.

Eine andere Gruppe von Käfern, die Aaskäfer oder Totengräber (Familie Silphidae und andere), sind saprophag und ernähren sich von toten Tierkörpern. Sie spielen eine wichtige Rolle in den Bodenökosystemen, indem sie die toten Körper, selbst solche von der Größe kleiner Säugetiere, vergraben und zur Zersetzung und Wiederverwertung toter organischer Stoffe beitragen. Die Larven mehrerer Käferfamilien, darunter Scarabaeidae, Lucanidae, Elateridae, Curculionidae und Chrysomelidae, sind als weiße Engerlinge oder Drahtwürmer bekannt und ernähren sich von Pflanzenwurzeln oder verrottendem, organischem Material.

Der Boden beherbergt auch andere soziale Insekten wie Ameisen, Termiten, Bienen, Hummeln und Wespen, die zur Bodengesundheit beitragen. Darüber hinaus können auch andere Insektenordnungen wie Heteroptera, Psocoptera und Blattodea in ihren unreifen Formen im Boden vorkommen und das Ökosystem des Bodens weiter bereichern<sup>1,3</sup>.

## Literaturangaben

- ALLAN, E., WEISSER, W., FISCHER, M., SCHULZE, E., WEIGELT, A., ROSCHER, C. et al. (2013): A comparison of the strength of biodiversity effects across multiple functions. – *Oecologia*, 173: 223–237.
- BACA CABRERA, J., HIRL, R., SCHÄUFELE, R., MACDONALD, A. & SCHNYDER, H. (2021): Stomatal conductance limited the CO<sub>2</sub> response of grassland in the last century. – *BMC Biology*.
- BAILEY, D. et al. (2015): Effect of Resource and Terrain Heterogeneity on the Feeding Site Selection and Livestock Movement Patterns. – *Animal Production Science* 55: 298–308.
- BALPH, E. G. (1980): An Aspect of Feeding Behavior and Its Importance to Grazing Systems. – *Journal of Range Management* 33: 426–427.
- BARDGETT, R. M. (2014): Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. – *Trends in Ecology and Evolution* 29: 692–699.
- BAUR, B. & ERHARDT, A. (1995): Habitat fragmentation and habitat alterations: principal threats to most animal and plant species. – *Gaia*: 221–226.
- BAZELY, D. R. (1989): Carnivorous Herbivores: Mineral Nutrition and the Balanced Diet. – *Trends in Ecology*: 55–156.
- BODENATLAS (2015): Bodenatlas – Daten und Fakten über Acker, Land und Erde. – Heinrich-Böll-Stiftung, Hrsg.
- BR (2020): Ökohotspot Kuhfladen – Weiderinder als Naturschützer. – 11.06.2020, Redakteurin Ursula Klement; [www.br.de/nachrichten/bayern/oeko-hotspot-kuhfladen-weiderinder-als-naturschuetzer,S1Q1bWn](http://www.br.de/nachrichten/bayern/oeko-hotspot-kuhfladen-weiderinder-als-naturschuetzer,S1Q1bWn).
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2017): Agrar-Report 2017. – Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft.
- BUTTERFIELD, A. S. (1999): Holistic Management: A New Framework for Decision-Making. – Island Press, Washington D.C.
- CALLAHAN, P. S. (1995): Paramagnetism: Rediscovering Nature's Secret Force of Growth. – University of Wisconsin-Madison.
- CANE, J., GARDNER, D. & HARRISON, P. (2011): Nectar and pollen sugars constituting larval provisions of alfalfa leaf-cutting bee (*Megachile rotundata*) (Hymenoptera: Apiformes: Megachilidae). – *Apidologie* (42): 401–408.
- CARPINO, S. E. (2004): Composition and Aroma Compounds of Ragusano Cheese: Native Pastures and total mixed rations. – *Journal of Dairy Science* 87.
- CRIDER, F. (1995): Root growth stoppage resulting from defoliation of grass. – U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin 1102.
- DENTON, D. et al. (1986): Physiological Analysis of Bone Appetite (Osteophagia). – *Bioessays* 4.
- EISENHAUER, N. L. (2017): Root biomass and exudates. – *Scientific Reports*, 7(1).
- EISENHAUER, N., BEßLER, H., GLEIXNER, G., HABEKOST, M., MILCU, A. & PARTSCH, S. (2010): Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. – *Ecology* 91 (2):485–496.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Aufl., Stuttgart.
- EU-Kommission (2020): EU-Biodiversitätsstrategie für 2030. – Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM, 380 final.
- FIBL (2018): Nachhaltige Grünlandbewirtschaftung durch abgestuften Wiesenbau. – ARGE abgestufter Wiesenbau.
- FINK, M. (2017): Bestäubungstätigkeit – Die Kreuzhefe oder Nektarhefe – Meisterarbeit für Imkerei. – Bio Austria Mitgliederinformation 2: S. 14.
- FRAZIER, W. A. et al. (1974): Properties and specificity of binding sites for 125I-nerve growth factor in embryonic heart and brain. – *Journal of Biological Chemistry* 249: 5918–5923.
- GEOWISSENSCHAFTEN (2022): Wurzelexudation. – [www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/wurzelexudation/18405](http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/wurzelexudation/18405).
- GOPAL, M. et al. (2016): Microbiome selection could spur next-generation plant breeding strategies. – *Frontiers in microbiology*, 7: S. 1971.
- GREEN, G. et al. (1984): Long-Term Effects of Early Experience to Supplementary Feeding in Sheep. – *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 15.
- HILBERT, D., SWIFT, D., DETLING, J. & DYER, M. (1981): Relative growth rates and the grazing optimization hypothesis. – *Oecologia*(51): 14–18.
- HOOPER, D. U., CHAPIN III., F. S., EWEL, J. J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., LAVOREL, S. et al. (2005): Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. – *Ecological Monographs*, 75: 3–35.
- HUSSON, O. (2013): Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. – *Plant and Soil* 362: 389–417.
- IDEL, A. (2022): Die Kuh ist kein Klima-Killer! Wie die Agrarindustrie die Erde verwüstet und was wir dagegen tun können. – 9. Aufl., Metropolis.
- IPCC/IPBES (2019): Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services. – Summary for policymakers.
- KLAPP, E. (1942): Entwicklung, Wurzelbildung und Stoffspeicherung von Futterpflanzen. – Pflanzenbau, Nr. 18.
- KLAPP, E. (1971): Wiesen und Weiden – 4. Auflage, Parey Verlag Berlin.
- KROMP, B. & HARTL, W. (1991): Untersuchung ökologischer Wechselbeziehungen zwischen agrarlandschaftlichen Strukturelementen und Ackerflächen. – Studie i. A. der MA 22, L. Boltzmann-Institut für biologischen Landbau und angewandte Ökologie, Wien.
- LANDWIRTSCHAFT (2023): LfL Grünland. – [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/023636/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/023636/index.php) (Abruf: 25.09.2023).
- LICHT, W. (2015): Zeigerpflanzen erkennen und bewerten. – Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim.
- LICHTENEGGER, E. (1982): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanze, – Band 1: Monocotyledoneae.
- LINEHAN, P. (1947): Output of pasture, Farming 1. – International Grassland Congress 2.
- LIPPERT, F. (1953): Vom Nutzen der Kräuter im Landbau.
- LIU J, W. L. (2012): Plants can Benefit from Herbivory: Stimulatory Effects of Sheep Saliva on Growth of *Leymus Chinensis*. – *PLoS ONE* 7.
- LOREAU, S. N. (2001): Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. – *Science*, 294: 804–808.
- MAAREL, E. (1993): Some remarks on disturbance and its relations to diversity and stability. – *Journal of Vegetation Science* 4(6):733–736.
- MCAUGHTON, S. (1976): Serengeti migratory wildebeest: Facilitation of energy flow by grazing. – *Science* 191: 92–94.

- MICHENER, D. (2007): *Bees of the world.* – 2nd Edition, The Johns Hopkins University Press.
- MOELLER, D. (2004): *Facilitative interactions among plants viashared pollinators.* – *Ecology*(85): 3289–3301.
- MÜLLER, A., DIENER, S., SCHNYDER, S., STUTZ, K., SEDIVY, C. & DORN, S. (2006): *Quantitative pollen requirements of solitary bees: Implications for bee conservation and the evolution of bee-flower relationships.* – *Biol. Conservation*(130): 604–615.
- OESTERHELD, M. & MCNAUGHTON, S. (1991): *Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing.* – *Oecologia*(85): 305–313.
- Owen, D. F. & Wiegert, R. (1976): *Do consumers maximize plant fitness?* – *Oikos* 27: 488–492.
- PAEGER, J. (2020): *Das Zeitalter der Industrie: Das sechste Aussterben – Die Vielfalt des Lebens geht verloren.*
- PLEASANTS, J. (1981): *Bumblebee responses to variation in nectar availability.* – *Ecology*(62): 1648–1661.
- POTT, R. (2013): *Biodiversitätskrise und das sechste Artensterben.*
- POTTS, S., VULLIAMY, B., DAFNI, A. O., ROBERTS, S., WILLMER, P. & NE'EMAN, G. E. (2005): *Role of nesting resources in organ-ising diverse bee communities in a Mediterranean landscape.* – *Ecological Entomology*(30): 78–85.
- POTTS, S., VULLIAMY, B., DAFNI, A. O. & WILLMER, P. (2003): *Linking bees and flowers: How do floral communities structure pollinator communities?* – *Ecology*: 2628–2642.
- PROVENZA, D. E. (2001): *Food Flavor and Nutritional Characteristics Alter Dynamicsof Food Preference in Lambs.* – *Journal of Animal Science* 79.
- PROVENZA, J. J. (2007): *Self-Medication and Homeostatic Endeavor in Herbivores: Learning about the Benefits of Nature's Pharmacy.* – *Animal* 1.
- PROVENZA, M. M. (2015): *When Art and Science Meet: Integrating Knowledge of French Herdris with Science of Foraging Behavior.* – *Rangeland Ecology and Management*: 1–17.
- REARDON, P., LEINWEBER, C. & MERRILL, L. (1974): *Response of sideoats grama to animal saliva and thiamine.* – *Journal od Range Manangement* 27: 400–401.
- RICKETS, T., REGETZ, D., CUNNINGHAM, S., KREMEN, C. et al. (2008): *Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?* – *Ecology Letters* 11: 499–515.
- RÖHRIG, E. B. (2006): *Waldbau auf ökologischer Grundlage.* – UTB, Stuttgart.
- SCHÄFFER, A. et al. (2018): *Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes.* – *Nationale Akademie der Wissen-schaften Leopoldina, Artenrückgang in der Agrarlandschaft: Was wissen wir und was können wir tun? Diskussion Nr. 16.*
- SCHMID, W., BOLZERN, H. & GUYER, C. (2007): *Mähwiesen – Ökologie und Bewirtschaftung – Flora, Fauna und Bewirtschaftung am Beispiel von elf Luzerner Mähwiesen.* – Kanton Luzern.
- SCHMID-EGGER, D. C. (2018): *Rettet die Wiesen – Landwirtschaft & Artenvielfalt.* – *Expertenforum der Deutschen Wildtier Stiftung.*
- SINDHU, S., KHANDELWAL, A., PHOUR, M. & SEHRAWAT, A. (2018): *Bioherbicial potential of rhizosphere microorganisms for ecofriendly weed management.* – *Role of Rhizopheric Microbes in Soil*: 331–376.
- STATISTISCHEN ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2020): *Landwirtschaft im Wandel – erste Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2020.*
- STEINBEIß, S. (2006): *Kohlenstoffspeicherung in Böden durch pflanzliche Artenvielfalt – Einfluss der Biodiversität von Pflanzen auf die Speicherung von Kohlenstoff in Böden und auf den Austrag von gelöstem organischem Kohlenstoff.* – *Friedrich-Schiller-Universität, Jena (Dissertation): Verlag, Dr. Müller.*
- STURM, P., ZEHR, A., BAUMBACH, H., v. BRACKEL, W., VERBÜCHELN, G., STOCK, M. & ZIMMERMANN, F. (2018): *Grünlandtypen – Erkennen, Nutzen, Schützen.* – *Quelle & Meyer; [www.anl.bayern.de/publikationen/weitere\\_publikationen/gruenlandtypen.html](http://www.anl.bayern.de/publikationen/weitere_publikationen/gruenlandtypen.html).*
- VILLALBA, F. D. (2010): *The Role of Natural Plant Products an Modulating the Immune System: An Adaptable Approach for Combating Disease in Grazing Animals.* – *Small Ruminant Research* 89: 39–131.
- VOISIN, A. (1958): *Die Produktivität der Weide.* – BLV Verlagsgesellschaft.
- VOISIN, A. (1959): *Gass Productivity – An Introduction to Rational Grazing.*
- WASER, N. & REAL, L. (1979): *Effective mutualism betweensequentially flowering plant-species.* – *Nature*(281): 670–672.
- WEIBULL, A. et al. (2003): *Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management.* – *Biodiversity Conservation*: 1335–1355.
- WEISSER, W. W. (2017): *Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions.* – *Basic and applied ecology*, 23: 1–73.
- WESTRICH, P. (1990): *Die Wildbienen Baden-Württembergs.* – Ulmer, Stuttgart.
- WILCOVE, D., MCELLELLAN, C. & DOBSON, A. (1986): *Habitat fragmentation in the temperate zone.* – *Conservation biology, SinauerAssociates, M. S. Hrsg.:* 237–256.
- WILLIAM HAMILTON III, E. & FRANK, D. (2001): *Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? – Evidence from a grazing tolerant grass,* *Ecology*(82(9): 2397–2402.
- XIAOXIA, L. E. (2015): *A Study of Molecular Interface of Grass-Herbivory Interaction in Grasslands.* – *University of Kentucky, Theme 4. Biodiversity, conservation and genetic improvement of range and forage species Sub-Theme 4.1 Plant genetic resources and crop improvement.*
- ZHOU, Y. C. (2020): *The preceding root system drives the composition and function of rhizosphere microbiome.* *Genome Biology* 21(1): S. 89.

### Kapitel 3.7 Boden und Biodiversität

<sup>1</sup> ORGIAZZI, A., BARDGETT, R. D. & BARRIOS, E. (2016): *Global soil biodiversity atlas.* – *Glob. soil Biodivers. atlas*: 84–87.

<sup>2</sup> FAO, I. G. S. & E. STATE OF KNOWLEDGE OF SOIL BIODIVERSITY (2020): *– Status, challenges and potentialities.* – *State Knowl. soil Biodivers, Status, challenges potentialities; doi:10.4060/CB1928EN.*

<sup>3</sup> ARTZ, R. et al. (2010): *European Atlas of Soil Biodiversity.* – *Eur. Atlas Soil Biodivers., EUR 24375 EN: 128 p.; doi:10.2788/94222.*

<sup>4</sup> EGAMBERDIEVA, D. et al. (2008): *High incidence of plant growth-stimulating bacteria associated with the rhizosphere of wheat grown on salinated soil in Uzbekistan., Environ. Microbiol.* 10: 1–9.

- <sup>5</sup> MENDES, R. et al. (2011): Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. – *Science* (80)332: 1097–1100.
- <sup>6</sup> BERENDSEN, R. L., PIETERSE, C. M. J. & BAKKER, P. A. H. M. (2012): The rhizosphere microbiome and plant health. – *Trends Plant Sci.* 17: 478–486.
- <sup>7</sup> BAIS, H. P., WEIR, T. L., PERRY, L. G., GILROY, S. & VIVANCO, J. M. (2006): The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. – *Annu. Rev. Plant Biol.* 57: 233–266.
- <sup>8</sup> VAN DER HEIJDEN, M. G. A., BARDGETT, R. D. & VAN STRAALEN, N. M. (2008): The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. – *Ecol. Lett.* 11: 296–310.
- <sup>9</sup> MADIGAN, T. M. et al. (2018): *Brock Biology of Microorganisms*. – 5th Ed., Pearson.
- <sup>10</sup> Graham, E. B. et al. (2016): Microbes as engines of ecosystem function: When does community structure enhance predictions of ecosystem processes? *Front. Microbiol.* 7: 214.
- <sup>11</sup> MYERS, B., WEBSTER, K. L., MCLAUGHLIN, J. W. & BASILIKO, N. (2012): Microbial activity across a boreal peatland nutrient gradient: The role of fungi and bacteria. – *Wetl. Ecol. Manag.* 20: 77–88.
- <sup>12</sup> STEFFAN, S. A. & DHARAMPAL, P. S. (2019): Undead food-webs: Integrating microbes into the food-chain. – *Food Webs* 18; e00111.
- <sup>13</sup> STEFFAN, S. A. et al. (2015): Microbes are trophic analogs of animals. – *Proc. Natl. Acad. Sci., U. S. A.* 112: 15119–15124.
- <sup>14</sup> SUN, H. et al. (2014): Bacterial diversity and community structure along different peat soils in boreal forest. – *Appl. Soil Ecol.* 74: 37–45.
- <sup>15</sup> JANKOWSKI, K. J., SCHINDLER, D. E. & HORNER-DEVINE, M. C. (2014): Resource Availability and Spatial Heterogeneity Control Bacterial Community Response to Nutrient Enrichment in Lakes. – *PLoS One* 9; e86991.
- <sup>16</sup> BLACKWELL, M. (2011): The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? – *Am. J. Bot.* 98: 426–438.
- <sup>17</sup> HAWKSWORTH, D. L. & LÜCKING, R. (2017): Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiol. Spectr.* 5.
- <sup>18</sup> TEDERSOO, L. et al. (2014): Global diversity and geography of soil fungi. – *Science* (80): 346.
- <sup>19</sup> NAGY, L. G. et al. (2017): Six Key Traits of Fungi: Their Evolutionary Origins and Genetic Bases. – *The Fungal Kingdom* 35–56; doi:10.1128/9781555819583.CH2.
- <sup>20</sup> CLEMMENSEN, K. E. et al. (2013): Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. – *Science* 339: 1615–1618.
- <sup>21</sup> AZCÓN-AGUILAR, C. & BAREA, J. M. (2015): Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. – *J. soil Sci. plant Nutr.* 15: 372–396 (2015).
- <sup>22</sup> LEHMANN, A., ZHENG, W. & RILLIG, M. C. (2017): Soil biota contributions to soil aggregation. – *Nat. Ecol. Evol.* 1: 1828.
- <sup>23</sup> RILLIG, M. C. (2004): Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. – *Can. J. Soil Sci.* 84: 355–363.
- <sup>24</sup> GEISEN, S. et al. (2018): Soil protists: a fertile frontier in soil biology research. – *FEMS Microbiol. Rev.* 42: 293–323.
- <sup>25</sup> SEPPEY, C. V. W. et al. (2017): Distribution patterns of soil microbial eukaryotes suggests widespread algivory by phagotrophic protists as an alternative pathway for nutrient cycling. – *Soil Biol. Biochem.* 112: 68–76.
- <sup>26</sup> CLARHOLM, M. (1985): Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. – *Soil Biol. Biochem.* 17: 181–187.
- <sup>27</sup> GAO, Z., KARLSSON, I., GEISEN, S., KOWALCHUK, G. & JOUSSET, A. (2019): Protists: Puppet Masters of the Rhizosphere Microbiome. – *Trends Plant Sci.* 24: 165–176.
- <sup>28</sup> SCHULZ-BOHM, K. et al. (2017): The prey's scent - Volatile organic compound mediated interactions between soil bacteria and their protist predators. – *ISME J.* 11: 817–820.
- <sup>29</sup> KIONTKE, K. & FITCH, D. H. A. (2013): Nematodes. – *Curr. Biol.* 23.
- <sup>30</sup> VAN DEN HOOGEN, J. et al. (2019): Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. – *Nat.* 2019 5727768 572: 194–198.
- <sup>31</sup> SIERIEBRIENNIKOV, B., FERRIS, H. & DE GOEDE, R. G. M. (2014): NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. – *Eur. J. Soil Biol.* 61: 90–93.
- <sup>32</sup> BARRETT, J. E., VIRGINIA, R. A., WALL, D. H. & ADAMS, B. J. (2008): Decline in a dominant invertebrate species contributes to altered carbon cycling in a low-diversity soil ecosystem. – *Glob. Chang. Biol.* 14: 1734–1744.
- <sup>33</sup> FERRIS, H. (2010): Contribution of Nematodes to the Structure and Function of the Soil Food Web. – *J. Nematol.* 42: 63.
- <sup>34</sup> HEIDEMANN, K. et al. (2014): Free-living nematodes as prey for higher trophic levels of forest soil food webs. – *Oikos* 123: 1199–1211.
- <sup>35</sup> FERRIS, H., VENETTE, R. C., VAN DER MEULEN, H. R. & LAU, S. S. (1998): Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: Verification and measurement. – *Plant Soil* 203: 159–171.
- <sup>36</sup> LAVELLE, P. & MARTIN, A. (1992): Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. – *Soil Biol. Biochem.* 24: 1491–1498.
- <sup>37</sup> Vos, H. M. J. et al. (2019): Large variations in readily-available phosphorus in casts of eight earthworm species are linked to cast properties. – *Soil Biol. Biochem.* 138: 107583.
- <sup>38</sup> WU, J., ZHANG, W., SHAO, Y. & FU, S. (2017): Plant-facilitated effects of exotic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on the soil carbon and nitrogen dynamics and soil microbial community in a subtropical field ecosystem. – *Ecol. Evol.* 7: 8709–8718.

