

Produzenten und Konsumenten, Zersetzer und Aasfresser, Räuber und Parasiten – Der Boden als Lebensraum

1	Der Boden lebt!	114
2	Die Lebewesen des Bodens	115
	2.1 Bakterien	115
	2.2 Einzeller	118
	2.3 Pilze	118
	2.4 Pflanzen	119
	2.5 Tiere	122
3	Nahrungsnetze und Stoffkreisläufe	128
4	Abbau von Laubstreu durch Bodenlebewesen	129
5	Kompostierung	130
6	Auswirkungen der Eingriffe des Menschen auf die Bodenlebewesen	130





Produzenten und Konsumenten, Zersetzer und Aasfresser, Räuber und Parasiten – Der Boden als Lebensraum

Zum besonderen Charakter des Bodens gehört seine Lebenswelt. Seine unzähligen Bewohner ermöglichen erst viele komplexe Stoffkreisläufe der Natur und tragen durch die Zersetzung organischer und anorganischer Substanzen wesentlich zur Bodenbildung bei. Die Aktivitäten der Bodenlebewesen macht sich der Mensch beispielsweise in der Landwirtschaft und bei der Kompostierung im Garten zunutze, er kann jedoch durch eine ungeeignete Bodenbearbeitung oder den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auch negativ in den Bodenhaushalt eingreifen. Dadurch können nicht nur die Lebensbedingungen der Bodenbewohner, sondern auch die Qualität des von ihm genutzten Bodens beeinträchtigt werden.

1 Der Boden lebt!

Obwohl organische Substanz im Boden einen vergleichsweise geringen Anteil ausmacht und Bodenlebewesen davon wiederum weniger als ein Zehntel der Masse bilden, enthält ein Kilogramm gesunden Bodens mehr Lebewesen, als es Menschen auf der Erde gibt (↗ Tabelle B1). So befinden sich in den obersten 30 cm von einem Hektar Bodenfläche etwa zehn Tonnen Biomasse. Damit gehört der Boden zu den am dichtesten besiedelten Lebensräumen der Erde!

Der Artenreichtum der Bodenlebewesen ist überaus vielfältig. Die meisten Organismen sind jedoch mikroskopisch klein und leben in den wasser- oder luftgefüllten Poren des Bodens bzw. siedeln auf den Oberflächen der Bodenpartikel. Von den Hohlräumen sind allerdings nur kleine Anteile belebt, vorwiegend

diejenigen, die abbaubare organische Substanz enthalten. Unbelebtes, anorganisches Bodenmaterial bildet den mineralischen Bodenkörper, der winzige Lebensräume voneinander abgrenzt, die unterschiedlichen Organismengemeinschaften Leben ermöglichen. In diesen stehen die Lebewesen des Bodens über vielstufige Nahrungsketten und Nahrungsnetze miteinander in einem dynamischen ökologischen Gleichgewicht von fressen und gefressen werden (↗ Kapitel 3).

Besondere Bedeutung haben die Bodenlebewesen für den Abbau organischer Substanzen und deren Mineralisierung (► Modul A „Was ist Boden?“). Während die makroskopische Bodenfauna Streu und andere Stoffe vor allem mechanisch zerkleinert, sorgen Mikroorganismen wie Bakterien und Einzeller

für eine biochemische Umsetzung und Humusbildung. Das abgestorbene Pflanzenmaterial, das zu großen Anteilen aus für die meisten anderen Lebewesen schlecht oder nicht verdaulichen Stoffen wie Lignin (Holzstoff) oder Cellulose besteht, wird dabei durch besondere Enzyme abgebaut. Bodenlebewesen erfüllen damit wichtige Funktionen in den Stoffkreisläufen des Bodens. So fördern einige Bakterien und Pilze die Umwandlung des atmosphärischen Stickstoffs in pflanzen-

verwertbares Ammonium oder Nitrat (→ Stickstofffixierung; ► Modul E Landwirtschaft). Auch auf die Bodenstruktur haben die Bodenorganismen Einfluss: Sie lockern und durchmischen den Boden durch ihre Grabungstätigkeit. Andererseits festigt die Schleimbildung von Kleinstlebewesen die Bodenstruktur. Pilzhyphen und pflanzliche Feinwurzeln stabilisieren den Boden ebenfalls. Pflanzenwurzeln bewirken eine biologische Verwitterung von Gesteinen.

2 Die Lebewesen des Bodens

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft im Boden hängt bezüglich ihrer Arten- und Individuenanzahl sehr stark von Bodentyp, Bodenart, Humusform und von der Bodennutzung ab. Die Bodenlebewesen gehören dabei verschiedensten systematischen Gruppen an. Schätzungen der Biomassenanteile gehen von etwa 16 % Bakterien, 38 % Pilzen, 9 % Algen, 25 % Makrofauna und 12 % Mikrofauna aus. Pro Quadratmeter Bodenfläche beträgt die Biomasse ca. 1 kg (↗ Tab. B1).



B1 | Mikroskopisches Bild eines Bakteriums in 1000-facher Vergrößerung (unten), das aus der Darmmikroflora einer Assel (oben) isoliert worden ist (Lehrstuhl Mikrobiologie, Universität Bayreuth).

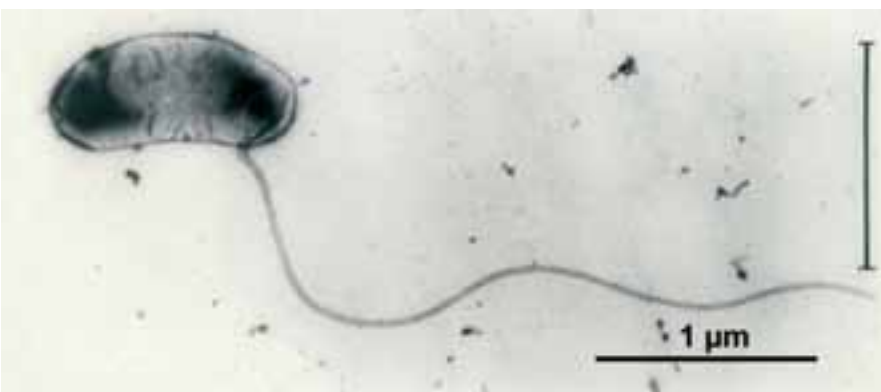
Anzahl der Individuen	Bodenorganismus	Biomasse
10.000.000.000.000	Bakterien	ca. 160 g/m ²
12.000.000.000	Pilze	ca. 380 g/m ²
1.000.000.000	Algen	ca. 90 g/m ²
600.000.000	Einzeller	ca. 115 g/m ²
1.800.000	Fadenwürmer	ca. 4 g/m ²
28.000	Springschwänze	ca. 11 g/m ²
18.000	Milben	ca. 10 g/m ²
10.000	Borstenwürmer	ca. 2 g/m ²
800	Käfer(-larven)	ca. 18 g/m ²
550	Tausendfüßer	ca. 20 g/m ²
320	Ameisen	ca. 2 g/m ²
300	Asseln	ca. 4 g/m ²
240	Fliegenlarven	ca. 26 g/m ²
230	Spinnen	ca. 2 g/m ²
130	Regenwürmer	ca. 145 g/m ²
50	Schnecken	ca. 25 g/m ²
		Gesamtbiomasse ca. 1014 g/m ²

2.1 Bakterien

Bakterien sind einzellige, zellkernlose Lebensformen von 0,5 – 2 µm Größe. Je nach Art sehen sie aus wie Kugeln, gerade oder gekrümmte Stäbchen, langgestreckte Fäden, korkenzieherartig gedreht, stern- oder auch stielartig (↗ B1). Oft dienen Geißeln der Fortbewegung. Die Bakterien besiedeln bevorzugt die Wurzelhaarzone oder den adhesiv an die Bodenteilchen gebundenen Wasserfilm (► Modul D Wasser). Sie machen – bezogen auf die Individuenzahl – den größten Anteil an Organismen im Boden aus: Zu den bodenlebenden Bakterien gehören ins-

Tabelle B1 | Individuenzahlen und Biomasse der verschiedenen Bodenorganismen unter einer Bodenfläche von einem Quadratmeter.

besondere solche der Gattungen *Azotobacter* (bedeutsam für die Stickstofffixierung oder den Celluloseabbau), *Aerobacter*, *Clostridium*, *Mikrococcus* oder *Staphylococcus*.



B2 | Habitat und elektronenmikroskopische Aufnahmen eines Kohlenmonoxid-oxidierenden Bakteriums (*Oligotropha carboxidovorans* DSM 1227). Dieses Bakterium ist auf die Versorgung mit genügend Kohlenmonoxid (CO) angewiesen und vermehrt sich daher besonders gut in der Deckerde (Boden!) schwelender Kohlenmeiler (z. B. im Fichtelgebirge oder Bayerischen Wald). Isolieren lässt sie sich aber auch aus ungestörtem Boden sowie aus dem Abwasser. Vergrößerung des Bakteriums (unten) im Transmissionselektronenmikroskop (Lehrstuhl für Mikrobiologie der Universität Bayreuth).

Die meisten Bakterien sind heterotroph, was bedeutet, dass sie Nährstoffe zur Energiegewinnung von außen aufnehmen. Dazu geben sie vielfach Enzyme zur Zersetzung organischer Substanz ab. Einige spalten Proteine in Aminosäuren, andere Kohlenhydrate in Zucker. Solche niedermolekularen Bausteine werden durch die Zellmembran in die Bakterienzelle aufgenommen und sind für das Wachstum und die Energiegewinnung wich-

tig. Lithoautotrophe Bakterienformen nutzen das Kohlendioxid der Bodenluft und des Bodenwassers sowie anorganische Energieträger zum Aufbau von Stoffen und benötigen daher kein Sonnenlicht wie photoautotrophe Pflanzen.

Aerobe Bakterien benötigen für ihren Stoffwechsel Sauerstoff (Atmung). Sie oxidieren mit seiner Hilfe beispielsweise Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Schwefel, Sulfid, Sulfit, Nitrit, Ammoniak, Fe^{2+} - oder Mn^{2+} -Ionen. Anaerobe Bakterien gedeihen dagegen unter Luftabschluss, indem sie Nitrat, Schwefel, Sulfat, Kohlensäure, Fe^{3+} - oder Mn^{4+} -Ionen reduzieren.

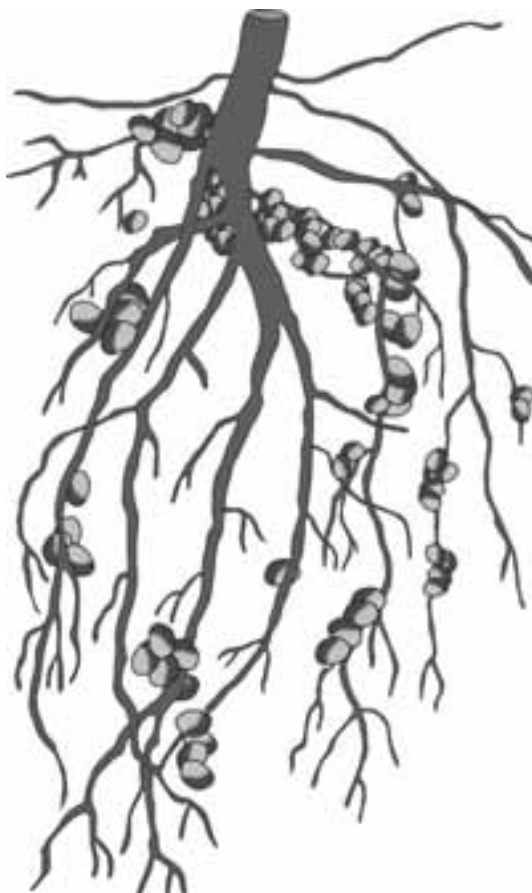
Wegen ihrer, bezogen auf das Körpervolumen, großen Körperoberfläche zeigen Bakterien eine, verglichen mit größeren Organismen, sehr hohe Stoffwechselaktivität: So beträgt die Atmungsrate bei Bakterien etwa 2000 μl Sauerstoff pro mg Trockengewicht im Vergleich zu etwa 5 μl Sauerstoff pro mg Trockengewicht bei tierischen oder pflanzlichen Zellen. Diese hohe Atmungsaktivität ist auch Folge der raschen Vermehrung durch Zellteilung, die bei optimalen Umgebungsbedingungen bei manchen Bakterien alle 20 Minuten erfolgt.


Durch ihre Stoffwechselreaktionen bilden Bakterien die Grundlage für alle wichtigen Stoffkreisläufe im Boden: Sie zerlegen makromolekulare in niedermolekulare Verbindungen und wandeln komplexe organische Moleküle in einfache anorganische Bausteine um, die von anderen Organismen wieder aufgenommen und verwertet werden können. Dieser als \rightarrow Mineralisation bezeichnete Vorgang (\blacktriangleright Modul A „Was ist Boden?“) regelt die Kreisläufe vieler wichtiger Elemente wie die des Kohlenstoffs, Stickstoffs, Sauerstoffs, Schwefels, Phosphors oder verschiedener Metallionen. Eine besondere Rolle im Stickstoffkreislauf spielen die Knöllchenbakterien (*Rhizobium*). Sie bilden um die Wurzeln bestimmter Pflanzen wie Bohnen, Erbsen oder Lupinen knöllchenförmige Strukturen (\nearrow B3, \blacktriangleright Modul E Landwirtschaft), mit denen sie in Symbiose (in gegenseitig nutzbringender Lebensgemeinschaft) leben. Da diese Bakterien die Fähigkeit besitzen, atmosphärischen Stickstoff in Ammoniak um-

zuwandeln (→ Stickstofffixierung), können auf diese Weise pro Hektar und Jahr bis zu 400 kg Stickstoff pflanzenverfügbar gemacht werden. Pflanzen mit Knöllchenbakterien werden daher häufig als Zwischenfrucht zur Stickstoff-Gründüngung angebaut.

Die bakteriellen Ab- und Aufbauprozesse im Boden beeinflussen über ihre Funktion in den Stoffkreisläufen die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen oder für andere Bodenlebewesen. Sie haben aber auch großen Einfluss auf Zusammensetzung und Qualität der Bodenluft und wirken an der Reinigung des Sickerwassers mit. Wichtig ist die Fähigkeit einiger Bakterien, toxische Substanzen unschädlich zu machen. Solche Prozesse nutzt der Mensch beispielsweise gezielt bei der biologischen Reinigungsstufe in Kläranlagen.

Im komplexen System der Bodenmikroflora finden sich auch Bakterien, die den Pflanzen, Tieren und dem Menschen gefährlich werden können. So ist das Bakterium *Clostridium tetani* der Erreger des Tetanus (Wundstarrkrampf), der über Hautverletzungen in den menschlichen Blutkreislauf gelangen kann. In früherer Zeit waren von dieser gefährlichen Erkrankung besonders Bauern und Gärtner betroffen, da diese täglich Kontakt mit dem Boden hatten. Heute gibt es gegen die Tetanuserkrankung vorbeugende Impfungen. Im Boden weit verbreitet ist auch *Clostridium botulinum*. Dieses Bodenbakterium kommt durch den Bodenkontakt oder die Nahrungskette in vielen Gemüse- und Fleischsorten vor und kann durch den Verzehr nicht ausreichend abgekochter und verdorbener Nahrungsmittel schwere Lebensmittelvergiftungen verursachen (Botulismus). Das sich besonders unter Sauerstoffabschluss (Konserven!) gut vermehrende Bakterium gibt für den Menschen unter Umständen tödlich wirkende Giftstoffe (Toxine) ab. Störungen des empfindlichen Gleichgewichts in der Lebensgemeinschaft Boden können zu einer gesundheitsgefährdenden Vermehrung solcher pathogener Bakterien bereits im Boden führen. Dies kann dann bisweilen ein Massensterben von Tieren verursachen, beispielsweise von Tausenden von Seevögeln 1995 an der Wattenmeerküste Schleswig-Holsteins. Der Botulismuserreger



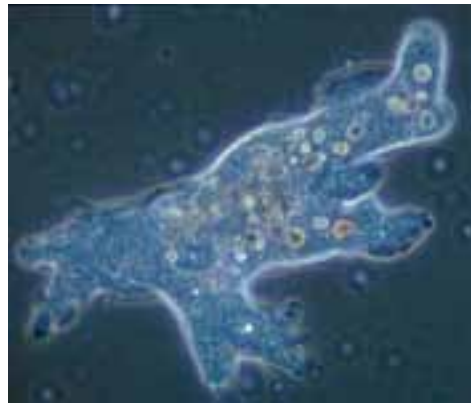
B3 | Knöllchen von Knöllchenbakterien an Pflanzenwurzel. 

hatte sich bei 20°C explosionsartig in dem sauerstoffarmen Meeresschlamm vermehrt und war vermutlich über nur ungenügend geklärte Abwässer eingebracht worden.

Bis heute ist nur ein kleiner Teil der Bodenmikroflora wissenschaftlich untersucht. Durch verbesserte (vor allem genetische und molekularbiologische) Untersuchungsmethoden sind zukünftig zahlreiche zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten zu erwarten. So dient schon heute eine gentechnisch veränderte Form des Bodenbakteriums *Agrobacterium tumefaciens* (das am Wurzelhals der Pflanzen Wucherungen hervorruft) als „Genfähre“ zur Übertragung bestimmter Gene auf Nutzpflanzen. Weitere viel versprechende Einsatzmöglichkeiten von Bakterien sind der Abbau umweltgefährdender oder giftiger Substanzen wie Roh- und Maschinenöl, Dioxine, DDT oder die Verwendung in der Schädlingsbekämpfung. Allerdings müssen – wie in anderen Bereichen der Gentechnik auch – vor einer Freisetzung solcher gentechnisch veränderter Organismen auch die Auswirkungen auf die betroffenen Ökosysteme umfassend untersucht werden.

2.2 Einzeller

An das Bodenwasser gebunden und daher sehr empfindlich gegenüber Trockenheit leben vor allem in der Humusschicht Bodenlebewesen, die der Gruppe der Einzeller angehören. Zu diesen Organismen, die sich von den Bakterien u. a. durch den Besitz eines Zellkernes unterscheiden, gehören beispielsweise Ciliaten (Wimperntierchen), Flagellaten (Geißeltierchen) und Amöben (↗ B4). Einzeller ernähren sich von Bakterien, Pilzen und abgestorbenen organischen Partikeln. Ihre Ausscheidungen und sie selbst sind wiederum Nahrung für viele andere Bodenorganismen. Viele Einzeller leben in Symbiosen, beispielsweise mit Bakterien oder im Verdauungstrakt von Bodentieren. Bei ungünstigen, trockenen Umweltbedingungen können sich einige Formen der Bodeneinzeller in einer festen Hülle einkapseln, um dadurch Trockenperioden zu überdauern.



B4 | Bodenlebende Einzeller. *Oben:* Pantoffeltierchen als Vertreter der Ciliaten (ca. 250-fach vergrößert). *Unten:* Amöbe (ca. 300-fach vergrößert).



B5 | Fliegenpilz – Häufiger Symbiosepartner der Nadelbäume und der Birken.

2.3 Pilze

Pilze sind vielzellige, heterotrophe Organismen mit Zellwänden aus Chitin. Nicht alle Formen bilden dabei die bekannten oberirdischen Fruchtkörper wie die Hutpilze aus (↗ B5). Pilze tragen wesentlich zum Zersetzungsprozess organischer Stoffe bei, indem sie diese mit einem dichten Hyphengeflecht (Myzel) durchwachsen. Die Wachstumsgeschwindigkeiten können dabei außerordentlich hoch sein. So entstehen innerhalb eines Tages aus einer Pilzkolonie bis zu 1000 m neues Myzel. In Waldböden finden sich in 1 cm² Boden bis zu 0,1 g Hyphenmasse.

Manche Pilzarten leben parasitisch und verursachen bei Pflanzen unter anderem Wurzelkrankheiten wie die Schwarze Wurzelfäule bei der Tabakpflanze oder den Wurzelbrand bei der Zuckerrübe. Die meisten Pilze allerdings bilden mit den von ihnen bewachsenen Pflanzen Lebensgemeinschaften, bei denen beide Partner voneinander profitieren (► Modul C Waldboden). Eine solche Symbiose ist auch die so genannte Mykorrhiza, die schätzungsweise 80 % aller Pflanzen mit Pilzen eingehen. Man kann dies oft schon daran erkennen, dass einige Pilze nur in der Nähe bestimmter Bäume vorkommen wie beispielsweise der Birkenpilz in der Nähe von Birken, der Steinpilz häufig unter Eichen und

der Lärchenröhrling oft in Gemeinschaft mit Lärchen. Bei der Mykorrhiza umspinnt ein dichtes Hyphengeflecht die Wurzeln der Pflanze. Da Pilzfäden noch wesentlich dünner als pflanzliche Feinwurzeln sind, vergrößert sich dadurch die Oberfläche und die Reichweite einer Pflanze für die Aufnahme von Wasser und der darin gelösten Nährstoffe. Der Pilz zapft dafür die Pflanzenwurzel an und entzieht ihr im Gegenzug die für ihn wichtigen Nährstoffe wie Zucker und Aminosäuren. In gedüngten Böden lässt sich häufig eine Hemmung der Mykorrhiza beobachten, wodurch das Pflanzenwachstum eingeschränkt wird.

Flechten stellen ebenfalls eine Symbiose von Pilzen mit anderen Organismen dar, in diesem Fall mit Algen. Die Lebensgemeinschaft mit dem Pilz ermöglicht es der Alge insbe-

sondere, sich vor Austrocknung zu schützen und unwirtliche Untergründe zu besiedeln. So kommen Flechten besonders häufig auf Felsen, Baumrinden und unfruchtbarem Boden vor. Mit ihren sauren Ausscheidungen greifen Flechten das Gestein an und vermögen Elemente wie Magnesium, Eisen, Mangan aus den Kristallgittern des Gesteins herauszulösen. Sie leisten damit einen ersten bedeutenden Beitrag zur Bodenbildung und gehören daher zu den Pionierorganismen bei der Besiedelung des Gesteinsuntergrundes (► Modul A „Was ist Boden?“).

2.4 Pflanzen

Nahezu alle Pflanzen sind auf den Boden als lebenswichtiges Substrat angewiesen. Gleichzeitig beeinflussen sie wiederum den Boden und seine Entwicklung oder über die in den Boden abgegebenen Stoffe das Wachstum anderer Pflanzen (z. B. Wachsthemstoffe des Walnussbaumes). Manche Pflanzen wie z. B. Raps, Rotklee, Stoppelrüben oder Sonnenblumen werden vom Menschen gezielt zur Bodenverbesserung eingesetzt, indem sie als Zwischenfrüchte angebaut oder zur Gründüngung untergepflügt werden.

Im Boden sind Pflanzen mit ihren Wurzeln verankert. Diese dienen dem Wasser- und Nährstofftransport aus dem Bodensubstrat in die oberirdischen Teile der Pflanze. Die Abgabe von Stoffen, z. B. von CO₂ bei der Wurzelatmung oder von Säuren oder Kohlenhydraten als Stoffwechselprodukte, ermöglicht es den Wurzeln und damit den Pflanzen, Symbiosen unter anderem mit Bakterien und Pilzen einzugehen. Die kräftigen Hauptwurzeln sowie die primären und sekundären Seitenwurzeln durchdringen vorwiegend die Grobporen, die sie durch sekundäres Dickenwachstum aufweiten können, wogegen die Wurzelhaare, durch die der eigentliche Stofftransport erfolgt, auf die groben Mittelporen beschränkt sind. Nach dem Absterben der Wurzeln bilden die dann offenen Wurzelröhren wichtige Wege für versickerndes Wasser und für die kleineren Bodentiere. Die absterbende Wurzelmasse (vor allem die Feinwurzeln) trägt wesentlich zur Bildung von Humus bei (unter Wald: 3.000 bis 10.000 kg pro Hektar und Jahr; unter Grünland: 3.000 bis



8.000 kg pro Hektar und Jahr; unter Acker: 300 bis 3.600 kg pro Hektar und Jahr). Über die von den Wurzeln abgegebenen Säuren und den Wurzeldruck bzw. die → Wurzelsprengung fördern die Wurzeln die Verwitterungsprozesse bei der Bodenbildung (► Modul A „Was ist Boden?“).

Da viele Pflanzen sehr spezifische Ansprüche an den Boden haben, hängt ihr Wachstum von der Beschaffenheit des jeweiligen Bodens bezüglich verschiedener Umweltfaktoren wie Wassergehalt, pH-Wert, Kalkgehalt, Nährstoffgehalt und -zusammensetzung ab. Solche Pflanzen sind als → Zeigerpflanzen wichtige Bioindikatoren für die jeweiligen Eigenschaften des Bodens (↗ Exkurs Zeigerpflanzen).

Zu den Pflanzen gehören als „einfachste“ Gruppe die Algen. Sie besitzen einen einzelligen oder fadenförmig mehrzelligen Aufbau und sind primär Wasserbewohner. Im Boden bewohnen sie daher hauptsächlich die wassergefüllten Hohlräume. Da sie für die Photosynthese Licht benötigen, kommen sie nur in der oberen Bodenschicht, dort allerdings zum Schutz vor Austrocknung meist in Schattelage, vor.

B6 | Wurzeln – Anker im Boden, aber auch wichtiger Nährstoffleiter vom Boden in den Baum.



Zeigerpflanzen

Zeigerpflanzen, auch Indikatorpflanzen genannt (lateinisch *indicare*, anzeigen), sind Pflanzenarten, die durch ihre spezifischen Ansprüche an den Standort Hinweise auf die Bodeneigenschaften bzw. die Bodenqualität liefern. Dazu gehören vor allem das Nährstoffangebot (z. B. Stickstoff), die Bodenreaktion (sauer/alkalisch) oder der Wasserhaushalt (trocken/feucht). Der Wert einer Zeigerpflanze ist dabei umso größer, je spezieller ihr Anspruch an den jeweiligen Standort ist. So zeigt beispielsweise das Galmei-Veilchen (*Viola calaminaria*) auf schwermetallhaltige Böden (Kupfer, Zink, Blei) oder ist das vermehrte Auftreten stickstoffliebender (= nitrophiler) Pflanzen (z. B. der Brennnessel) Hinweis auf eine Überdüngung mit Stickstoff.

Aufgrund ihrer Spezialisierung sind Zeigerpflanzen an den für sie weniger günstigen Standorten in aller Regel konkurrenzschwach und werden dort von den angepassten oder gegenüber den Bodenverhältnissen toleranteren Pflanzenarten verdrängt. Dies fördert ihre Verbreitung bevorzugt oder sogar ausschließlich auf Böden mit entsprechend besonderen Eigenschaften.

Kalkzeiger

- Kalkaster
- Alpenveilchen
- Ragwurz
- Mehlprimel
- Aronstab
- Maiglöckchen
- Waldmeister


Säurezeiger

- Rosmarinheide
- Sauerklee
- Heidelbeere
- Rippenfarn
- Waldhainsimse
- Adlerfarn
- Kleiner Sauerampfer

Stickstoffzeiger

- Giersch
- Knoblauchranke
- Klette
- Zaunwinde
- Weiße Taubnessel
- Schwarzer Holunder
- Brennnessel

B7 | von oben nach unten: CD
 Frauenschuh und Maiglöckchen (Basen-/Kalkzeiger),
 Heide (Säurezeiger),
 Geißbart (Feuchtezeiger),
 Goldenes Frauenhaarmoos (Feuchte- und Säurezeiger).

B8 | Beispiele von Kalk- und Säurezeiger. 

Kalkzeiger



Waldmeister



Aronstab



Maiglöckchen

Säurezeiger



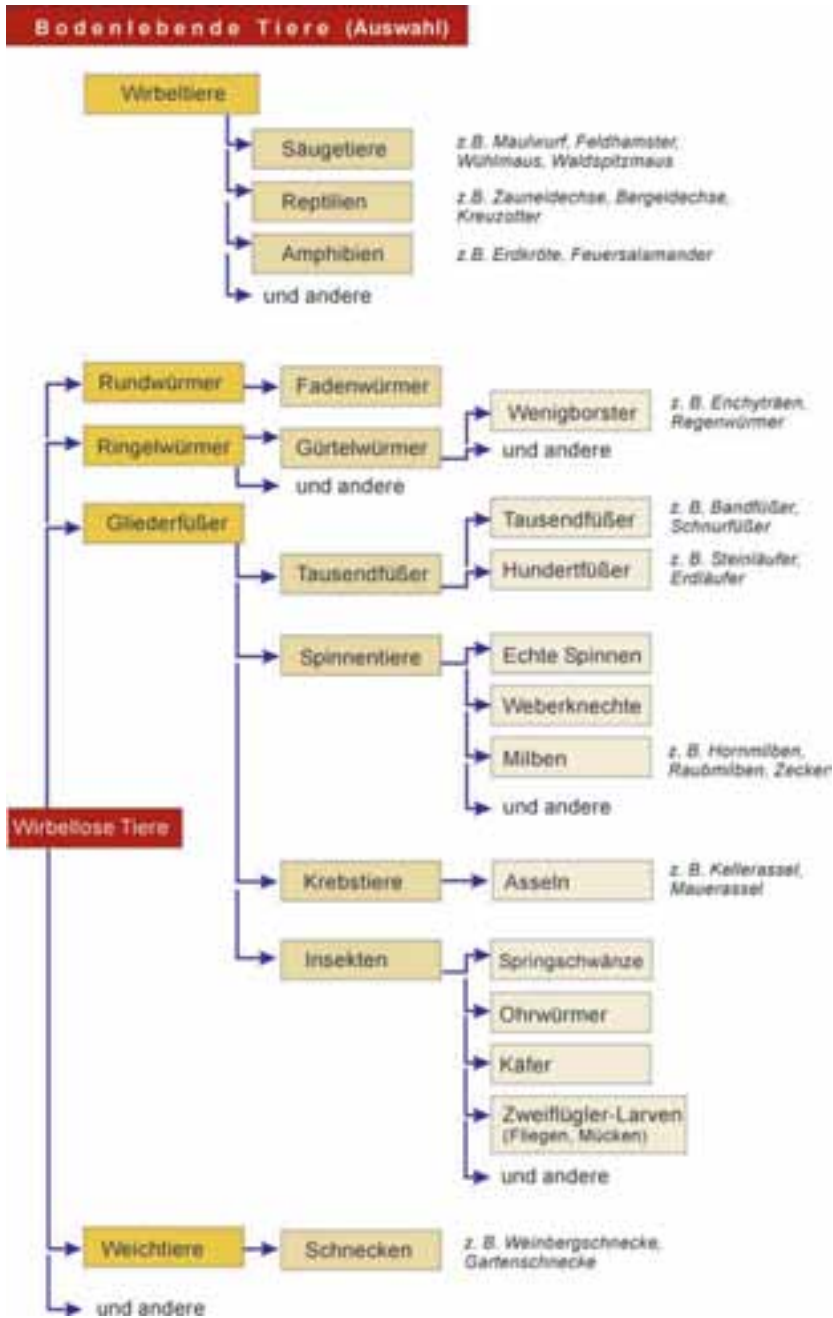
Heidelbeere




aueklee



Rippenfarn



B9 | Übersicht über die wichtigsten bodenlebenden Tiere (vgl. auch Bestimmungsschlüssel „Tiere im Waldboden“, S. 155). 

2.5 Tiere

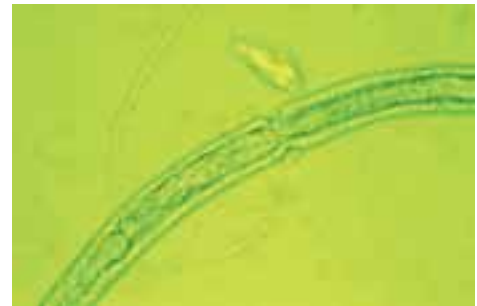
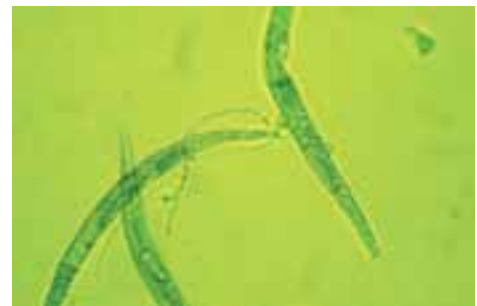
Wirbellose Tiere


Wirbellose Tiere haben nicht nur wegen ihrer großen Individuenzahl eine wichtige Bedeutung für das Bodenleben, sondern tragen auch einen wesentlichen Anteil zur Biomasse im Boden bei (↗ Tabelle B1). Diese Bodenbewohner leben als Pflanzenfresser oder Kleintierjäger, viele sind jedoch Destruenten, zersetzen demnach vorwiegend abgestorbene tierische und pflanzliche Organismenreste. Sie lassen sich den verschiedensten

Stämmen des Tierreichs zuordnen: Rundwürmer (hier vor allem Fadenwürmer bzw. Nematoden), Ringelwürmer, Gliederfüßer und Weichtiere sind im Boden die wichtigsten Organismen.

Rundwürmer

Die weißlich-gelblichen, runden und nur 0,5 bis 1 mm großen Nematoden (Fadenwürmer) gehören zu den Rundwürmern. Sie kommen im Boden mit 10 bis 1000 Tieren pro Gramm überaus häufig vor. Bis heute sind bei diesen Organismen etwa 13.000 Arten bekannt, von denen sich manche „räuberisch“ von Bakterien, Pilzen oder Einzellern ernähren, die meisten jedoch parasitisch leben. Durch ihren Stoffwechsel tragen die Nematoden wesentlich zum Umbau von Stickstoffverbindungen bei.



B10 | Vertreter der am häufigsten im Boden vorkommenden Tiere: Fadenwürmer. Der Lebensraum der Fadenwürmer im Boden ist der an den Bodenpartikeln haftende Wasserfilm. *Oben*: Fadenwurm mit Pilzfaden verklebt. *Mitte*: Pilzfadenschlinge um Fadenwurm. *Unten*: Fadenwurm im mikroskopischen Auflicht. 



B11 | Der bekannteste Bodenbewohner: der Regenwurm. **Links oben:** *Allolobophora chlorotica*; dieser Regenwurm kommt besonders in sandigen, steinigen Böden mit viel Rohhumus vor. **Rechts oben:** *Octolasion cyaneum*, der blaue Regenwurm, lebt überwiegend in Ackerböden. **Unten links:** *Allolobophora smaragdina* (Smaragdgrüner Regenwurm), ein selten vorkommender Regenwurm in Buchenlaub-rohumus des Gebirges. **Unten rechts:** *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) ist der größte bei uns vorkommende Regenwurm. Er kann bis zu 30 cm lang werden und hat dann einen Durchmesser von etwa 7 – 8 mm. Dieser Regenwurm kann bis zu 10 g wiegen. **CD**

Ringelwürmer

Die wichtigsten Ringelwürmer des Bodens sind die Enchyträen und die Regenwürmer. Wegen der regelmäßig an ihren gleichmäßig gegliederten, beinlosen Körper angeordneten Borstenpaaren gehören Enchyträen und Regenwürmer innerhalb der Ringelwürmer zu den so genannten Wenigborstern. Die Enchyträen sind bis 40 mm lang und gelblich-weiß gefärbt. Sie saugen die für sie wichtigen Nährstoffe vorwiegend aus den Wurzelhaaren der Pflanzen. Von ihren nahen Verwandten, den Regenwürmern, gibt es in Mitteleuropa etwa 35 Arten. Zu ihnen gehören der Gemeine Regenwurm wie auch der Mistwurm. Regenwürmer können bei uns bis zu 30 cm lang werden, in Australien gibt es jedoch auch Regenwurmart von bis zu 3 m Länge! In guten Böden kommen bis zu 300 Regenwürmer unter einem Quadratmeter Bodenfläche vor. Sie zeigen allerdings sehr unterschiedliche Ansprüche an ihre Lebensumgebung.

Da Regenwürmer vollständig an das Leben im Boden angepasst sind, benötigt ihre

dünne, feuchte Haut keinen Verdunstungsschutz, was ihnen die Hautatmung erleichtert. Ebenso fehlen der Haut vor Licht schützende Pigmente, so dass Regenwürmer meist typisch rötlich-fleischfarben erscheinen (➔ B11). Im Boden orientieren sich Regenwürmer vor allem durch ihren Tastsinn, besitzen jedoch auch einen undifferenzierten Lichtsinn über Lichtsinneszellen, die über die gesamte Körperoberfläche verteilt sind. Diese Zellen ermöglichen es dem Regenwurm, das für ihn schädliche Sonnenlicht zu vermeiden (► Schüleraktivität B4).

Regenwürmer fressen abgestorbenes Pflanzenmaterial, Tierkot und andere organische und mineralische Bestandteile des Bodens. Dabei ziehen sie z. B. die Laubstreu bevorzugt nachts durch ihre Röhren in tiefere Bodenschichten (bis zu 20 Blätter pro Wurm und Nacht). In ihrem Darm erfolgt eine Durchmischung, wobei unverdaute organische Stoffe vermengt mit anorganischen wieder ausgeschieden werden. Dies fördert im Boden die Bildung von → Ton-Humus-Komplexen, die für die Stabilität des Bodengefüges und die Spei-

DVD | Die Rolle des Regenwurms im Boden.



B12 | Regenwürmkot mit seinem hohen Gehalt an noch verwertbaren Stoffen ist eine wichtige Nahrungsquelle für kotfressende Organismen. CD

cherung von Nährstoffen wichtig sind. Über ihre Ausscheidungen tragen Regenwürmer wesentlich zur Rückführung von Nährstoffen aus tieferen Bodenschichten in Oberflächennähe und beim Anlegen ihrer Gänge zu einer Durchmischung der Bodenschichten bei (▶ Schüleraktivität B4 und ▶ DVD). Innerhalb der Nahrungskette dienen Regenwürmer aber auch selbst als Nahrung vieler Tiere, z. B. von Vögeln oder Lurchen.

Bis in Tiefen von etwa zwei, manchmal sogar acht Metern durchziehen Regenwürmer den Boden mit einem umfangreichen Röhrensystem, das sie bei mechanischen Erschütterungen oder Staunässe nach starken Regenfällen verlassen. Zeiten mit ungünstigen Lebensbedingungen wie Kälte oder Trockenheit verbringen Regenwürmer dagegen in schleimausgekleideten Höhlen, meist in größerer Bodentiefe. Durch das Graben der Röhren tragen Regenwürmer zu einer ständigen

Lockerung des Bodens bei. Diese → Makroporen haben darüber hinaus große Bedeutung für die Belüftung des Bodens und das Eindringen von Wasser. Der Boden erhält dadurch die nötige Feuchtigkeit, gleichzeitig wird die Gefahr von oberflächlichen Abflüssen und Bodenerosion verringert (▶ Modul D Wasser). Das Röhrensystem der Regenwürmer wird aber auch von anderen Tieren sowie von den Pflanzenwurzeln genutzt.

Gliederfüßer

Gliederfüßer erkennt man an ihrem gegliederten Chitinpanzer mit ebenfalls gegliederten Extremitäten. Sie lassen sich in vier systematische Klassen unterteilen: Tausendfüßer, Spinnentiere, Krebstiere und Insekten.

Trotz ihres Namens besitzen **Tausendfüßer** zwar keine tausend Füße, weisen jedoch eine zumindest sehr große Anzahl an Beinpaaren an ihrem gegliederten Körper auf. Zu den Tausendfüßer gehören die Hundertfüßer mit einem Beinpaar je Körpersegment (z. B. Steinläufer, Erdläufer, Zwergfüßer) und die eigentlichen Tausendfüßer mit zwei Beinpaaren je Körpersegment (z. B. Bandfüßer, Schnurfüßer, Saftkugler). Ihre Größe reicht von 2 bis über 60 mm. Viele Arten wie der Saftkugler ernähren sich von modernem Laub und anderen abgestorbenen Pflanzenteilen, manche Arten wie der Steinläufer leben räuberisch von Insekten, Asseln oder anderen Tausendfüßern.




B13 | Verschiedene Tausendfüßer. Als überwiegende Nahrung dient diesen Tieren abgestorbenes Pflanzenmaterial, das sie als Humusstoffe wieder ausscheiden. CD



B14 | Spinne.

Systematisch gehören zu den **Spinnentieren** die Echten Spinnen, Weberknechte und Milben sowie Skorpione und Pseudoskorpione. Für den Boden sind auf Grund ihrer Anzahl vor allem die Milben von großer Bedeutung. Diese bis zu 2 mm großen, farblos-weißlich bis braunen Gliedertiere besitzen wie die anderen Spinnentiere vier Beinpaare.



B15 | Hornmilben. Links: *Tectocepheus spec.* – Diese Hornmilbe kann ihre Beine unter dem Schutzschild rechts und links an den Körper anlegen. Rechts: *Oppia spec.*, Länge 0,25 mm. 



B16 | Die bekannteste parasitär lebende Milbe: die Zecke (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme ► www.zecken.de).

Viele Milben ernähren sich von abgestorbenen Pflanzen (wie die Hornmilbe) oder von Pilzen. Raubmilben mit meist längeren Beinen und scharfen Mundwerkzeugen jagen Fadenwürmer, Springschwänze, Fliegenlarven, Enchyträen oder andere Milben. Sie sind auf Grund ihrer Spezialisierung auf bestimmte Beutetiergruppen gute Bioindikatoren für die Bodenverhältnisse. Parasitische Milben erkennt man an den oft verkürzten Gliedmaßen. Der bekannteste Vertreter hiervon ist die Zecke.

Die meisten **Krebstiere** sind wegen ihrer Kiemenatmung an das Wasserleben gebunden. Eine Ausnahme stellen die Asseln dar. Diese Gliedertiere, zu denen Kellerassel, Mauerasassel, Kugel- oder Rollassel gehören, sind 3 bis 15 mm groß und besitzen segmentierte, abgeflachte, länglich-ovale Körper mit meist grauer Farbe. An den sieben freien Brustsegmenten sitzt jeweils ein Paar Laufbeine. Asseln ernähren sich von Pflanzenresten und sind dazu überwiegend nachts und meist unter Steinen oder morschem Holz aktiv, um ihre Wasserverluste zu reduzieren (► Schüleraktivität B5).

Zu einer der größten Gruppen im Tierreich zählen die **Insekten**. Sie sind auch im Boden mit zahlreichen Arten vertreten, von denen viele nur einen Teil ihres Lebens im Boden verbringen. So leben vor allem die Larven von Fliegen, Mücken und Käfern in den oberen Bodenschichten und ernähren sich dort von anderen Insekten oder Insektenlarven (z. B. der Drahtwurm, die Larve des Schnellkäfers) oder auch von Pflanzenwurzeln (z. B. der Engerling, die Larve des Maikäfers). Zu den wichtigsten im Boden lebenden Insekten gehören die Springschwänze, die Ameisen und die Ohrwürmer.

Springschwänze gehören nicht nur zu den am häufigsten vorkommenden Insekten überhaupt, sondern stellen auch im Boden die größte Individuenzahl aus dieser Organismengruppe. So kann man 500 bis 1000 Tiere in einem Liter Humus finden. Sie besitzen einen länglichen, weißen Körper mit einer Sprunggabel am Ende des letzten Hinterleibsegments, die ihnen bei Gefahr ein Hochschnellen erlaubt (► B17). Tiefer im Boden lebende Formen sind wurmförmig. Da sie



B17 | Springschwänze. *Links: Onychiurus spec.* – ein Springschwanz, für den ein kurzer Schwanz sowie verkürzte Antennen und Beine charakteristisch sind. Dieser Springschwanz besiedelt die Boden Hohlräume. *Rechts: Sminthuride (Kugelspringer)* – ein Springschwanz mit pigmentierten Augen, langem Springschwanz, langen Antennen und langen Beinen. Dieses Tier lebt überwiegend auf der Bodenoberfläche. CD

blind sind, besitzen sie an den Extremitäten hochempfindliche Tastaare. Springschwänze ernähren sich von Pilzen und zerfallenen Pflanzenteilen.

Durchmischung des Bodens bei. Mit der Beseitigung von Tierleichen und Pflanzenresten erfüllen sie wichtige Aufgaben als Schädlingsbekämpfer und „Gesundheitspolizei des Waldes“.

B18 | Rote Waldameisen bauen nicht nur imposante Ameisenhügel. Ihre Wohnbauten gehen meist ebenso tief in den Boden hinein. CD



Ameisen wie die Rote Waldameise oder die Wiesenameise sind 0,2 bis 12 mm große Insekten, die meist in Staaten von wenigen Dutzend bis zu einer Million Individuen leben. Viele Ameisenarten bauen an der Bodenoberfläche oder dicht darunter teilweise sehr umfangreiche Wohnburgen. Die Ameisenhaufen der Großen Roten Waldameise können mehrere Meter Höhe erreichen und sich bis zu zwei Metern in den Boden erstrecken (➔ B18). Durch die rege Bautätigkeit und das ständige Einbringen organischen Materials (Tierleichen, Pflanzenreste) tragen diese Ameisen intensiv zur Durchlüftung und



B20 | Wichtigster Vertreter der Weichtiere im Boden: die Schnecke.

Weichtiere

Die wichtigsten im und auf dem Boden lebenden Weichtiere sind die Schnecken. Insbesondere Eiablage und Überwinterung erfolgt bei diesen Tieren im Boden. Nacktschnecken und Gehäuseschnecken ernähren sich je nach Art von Pflanzenteilen, Algen, Pilzen, Aas oder Kot. Manche Arten leben räuberisch. Wichtigstes Werkzeug für die Nahrungsaufnahme der Schnecken ist ihre Raspelzunge. Da nicht alle Arten einen wirksamen Schutz vor Austrocknung besitzen, bevorzugen Schnecken schattige und feuchte Plätze oder sind nachtaktiv. Sie stellen eine wichtige Nahrungsgrundlage für andere Tiere dar.

B19 | Gemeiner Ohrwurm (Oben: adultes Männchen. Unten: adultes Weibchen).



Wirbeltiere


Von den Wirbeltieren nutzen viele den Boden als Versteck, Wohnraum (z. B. Fuchs, Wildkaninchen, Feldhamster, Mäuse) oder Winterquartier (z. B. Erdkröte, Zauneidechse, Murmeltier oder Dachs). Manche Arten graben dafür selbst Höhlen, andere nutzen vorhandene Höhlen anderer Tiere. Nur wenige Arten leben wirklich dauerhaft im Boden bzw. unter der Erdoberfläche wie der Maulwurf.

Der **Maulwurf** besitzt einen walzenförmigen Körper mit einem spitzen Kopf und einem glatten Fell ohne Strich. Seine Extremitäten haben sich zu Grabbeinen mit einem zusätzlichen Knochen, dem Sichelbein, umgewandelt. Winzigen Augen stehen ein sehr feiner Gehör- und Geruchssinn gegenüber. Dies alles sind Anpassungen an ein dauerhaftes Leben „unter Tage“. Obwohl der Maulwurf zur Ordnung der Insektenfresser gehört, ernährt er sich neben Insekten und Insektenlarven jedoch auch von Regenwürmern und anderen Tieren des Bodens bis hin zu Mäusen. Täglich nehmen Maulwürfe mindestens ihr Eigengewicht an Nahrung auf, oft aber auch bis zur doppelten Menge. Bei ausreichender Versorgungssituation legen sie Vorräte an, indem sie beispielsweise Regenwürmer durch einen Biss ins Vorderende lähmen und zu mehreren Hunderten in „Vorratskammern“ einlagern. Zu einem typischen Maulwurfsbau gehören umfangreiche Gangsysteme mit zahlreichen „Jagdgängen“, den charakteristischen Maulwurfshügeln und einer zentralen Wohnhöhle. Da Maulwürfe zahlreiche Feinde wie Greifvögel, Marder, Störche, Rabenvögel oder Füchse besitzen, verlassen sie ihre schützenden Gänge nur selten, am ehesten nachts. Im Winter verlagern sie ihren Aufenthaltsschwerpunkt in frostfreie Tiefen. Durch die ständige Erweiterung ihres Gangsystems tragen Maulwürfe zu einer gründlichen Bodendurchmischung und einer gleichmäßigen Belüftung des Bodens bei.

Wühlmäuse sind Nagetiere und reine Pflanzenfresser. Da sie die Wurzeln von Nutzpflanzen anfressen und ihre Gänge dicht unter der Erdoberfläche im Bereich der stärksten Durchwurzelung anlegen, sind sie bei Gärtnern sehr unbeliebt und werden als Schädlinge in vielen Gärten sogar mit Gift verfolgt.




Feldhamster gehören ebenfalls zu den Nagetieren. Sie sind aus den östlichen Steppengebieten nach Mitteleuropa eingewandert und leben heute vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit lehmig-tonigen Böden. Als Einzelgänger legen sie bis zu 2 m tiefe Erdbau mit bis zu 10 m langen Gängen, Vorrats- und Schlafkammer an. Durch diese große Grabtiefe wird sehr viel humoses Material tief in den Boden transportiert und unterstützt dadurch in Verbindung mit Klima- und Vegetationsfaktoren die Bildung mächtiger, humoser Oberböden (vgl. die Schwarzerden Osteuropas). Feldhamster ernähren sich von Samen und anderen Pflanzenteilen, verschmähen aber auch Regenwürmer, Insektenlarven und kleinere Wirbeltiere nicht. In ihren Backentaschen transportieren sie Körnervorräte in die eigens dafür angelegten unterirdischen Vorratskammern, um bei Unterbrechungen ihres Winterschlafs ausreichend mit Nahrung versorgt zu sein.

B21 | Oben: Feldhamster.
Unten: Waldspitzmaus – mit 5 – 8 cm Länge und einem Gewicht von 4 – 15 g gehört sie zu den kleineren Spitzmäusen. Sie ernährt sich überwiegend von Insekten, Würmern und Spinnen, die in der Streuschicht des Waldbodens leben, verschmäht aber auch Aas nicht. 

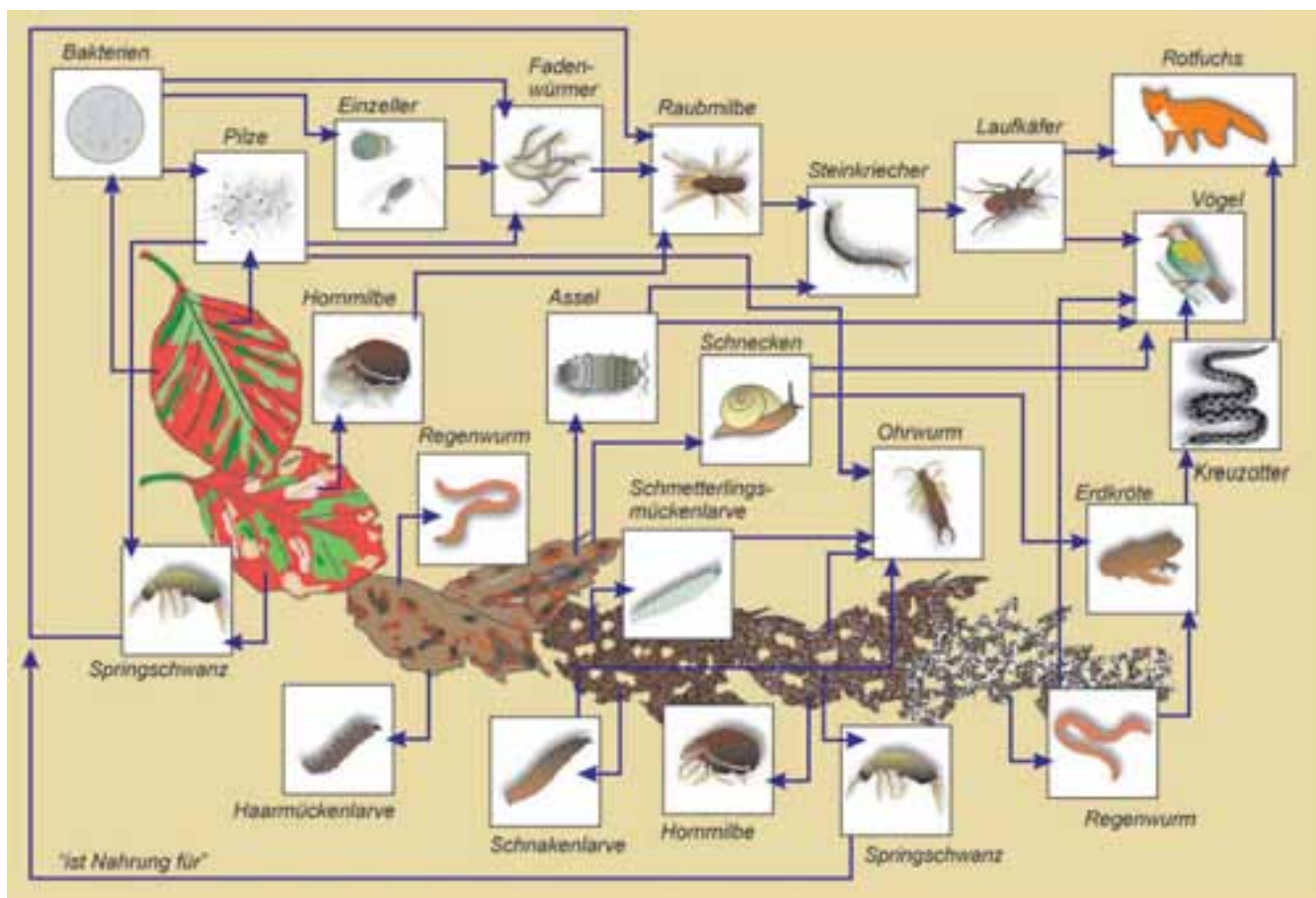
3 Nahrungsnetze und Stoffkreisläufe

Alle Lebewesen des Bodens sind miteinander über Nahrungsketten und Nahrungsnetze verknüpft. Als Produzenten bauen grüne Pflanzen durch Photosynthese in ihren Chloroplasten aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser Biomasse in Form von Kohlenhydraten (z. B. Glucose oder Stärke) auf und setzen dabei Sauerstoff frei (► Modul C Waldboden). Dazu benötigen sie bestimmte Mineralsalze, die sie mit dem Wasser aus dem Boden aufnehmen. Die von den Pflanzen produzierte Biomasse dient den Konsumenten verschiedener Ebenen (Pflanzenfresser = Primärkonsumenten, Fleischfresser = Sekundär- oder Tertiärkonsumenten usw.) unter anderem als Grundlage für ihr Wachstum und zur Energiegewinnung. Bei der Atmung setzen diese wiederum das gebundene Kohlendioxid und Wasser frei. Die Biomasse abgestorbener Organismen landet in der Regel wieder auf dem bzw. im Boden.

mehrstufige Abbauprozesse durch die Destruenten (= Zersetzer), meist Kleinstlebewesen im Boden, aus abgestorbener tierischer und pflanzlicher (organischer) Substanz freigesetzt (► Modul A „Was ist Boden?“). Sie werden damit wieder in die Stoffkreisläufe eingeschleust (z. B. den des Stickstoffs, ► Modul E Landwirtschaft). So bildet sich auch im Boden ein sensibles und dynamisches ökologisches Gleichgewicht aus Konkurrenzverhältnissen, Räuber-Beute-Beziehungen, symbiontischem und parasitischem Zusammenleben sowie anderen gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren aus (↗ B22, ► Schüleraktivität C7). Die Hauptfunktionen der Bodenorganismen sind dabei der Abbau der organischen Substanz und ihre Umwandlung in anorganische Stoffe (→ Mineralisierung) sowie teilweise die Bindung von Luftstickstoff (→ Stickstofffixierung). Sie tragen dadurch wesentlich zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei. Im Winter speichern die Bodenorganismen größere

B22 | Nahrungsnetze im Boden (Beispiele). Dazu ► Schüleraktivität C7. 

Wasserlösliche und pflanzenverfügbare anorganische Stoffe werden jedoch erst durch



Mengen an Nährstoffen in ihrem Körper. Dadurch wird auf natürlichem Wege eine Auswaschung der bodeneigenen Nährstoffe durch die Niederschläge und das Sickerwasser verhindert. Die Aktivität der Bodenorganismen ist abhängig von Temperatur, Feuch-

tigkeit und Nahrungsangebot, kann aber auch durch menschliche Eingriffe von außen gestört werden (→ Kapitel 6). Mit einer Einschränkung ihrer Tätigkeit ist nachweislich auch eine Verringerung der Erträge auf dem jeweiligen Boden verbunden.

4 Abbau von Laubstreu durch Bodenlebewesen

Abgestorbene Pflanzenreste wie Blätter, Knospschuppen, Äste, Zweige und Früchte bilden die Laubstreu auf Waldböden (► Modul C Waldboden). Sie fällt jährlich in ungeheuren Mengen an: etwa 0.15 bis 30 Tonnen pro Hektar in Kiefern- und Fichtenwäldern und 0.40 Tonnen pro Hektar in Laubmischwäldern.


Der Abbau der Streu erfolgt aerob durch → Atmosphärien und verschiedenste Gruppen von Bodenorganismen in drei Phasen: In der *Initialphase* werden hochpolymere organische Verbindungen zu niedermolekularen Stoffen abgebaut. Auf der Oberseite eines abgeworfenen Laubblatts bauen in dieser Phase so genannte Zuckerpilze Kohlenhydrate ab. In der *Zerkleinerungsphase* werden die Streustoffe von den Bodentieren zerbissen. Dabei beginnen Hornmilben und Springschwänze das Blatt seitlich anzufressen (Fensterfraß). Insektenlarven, Asseln und Tausendfüßer vergrößern diese Löcher (Lochfraß).

Ohrwürmer, Asseln, Tausendfüßer und Schnecken fressen schließlich die weichen Blattteile bis auf die Blattadern heraus (Skelettfraß). Die Zerkleinerung vergrößert die Oberfläche der organischen Substanz um das Tausendfache und erhöht damit die Angriffsfläche für mikrobielle Abbauenzyme. Regenwürmer verlagern die Streureste und sogar ganze Blätter in tiefere Bodenschichten. Vom Kot der verschiedenen Tiere ernähren sich wiederum weitere Arten wie Springschwänze und Milben. In der *Abbau- und Umbauphase* zerlegen Pilze und Bakterien die schwer verdaulichen Rückstände wie Cellulose oder Lignin und wandeln sie in andere organische Substanzen, z. B. amorphe, hochmolekulare (vielfach aromatische oder polymere) Huminstoffe um (→ Humifizierung). Sie werden schließlich als anorganische



Stoffe, wie z. B. Kohlendioxid, Wasser, Ammonium, Nitrat, Nitrit oder Phosphat wieder für die Aufnahme durch die Pflanzen verfügbar gemacht (→ Mineralisation).

Die am Zersetzungsprozess der organischen Substanz im Boden beteiligten Pilze und Bakterien dienen gleichzeitig selbst als Nahrung für andere Bodenorganismen. Räuberische Bodentiere regulieren wiederum die Populationen der streu-, pilz- oder bakterienfressenden Organismen. So ist ein komplexes System von Organismen in der Lage, die organische Substanz erst mechanisch zu zerkleinern und schließlich biochemisch vollständig abzubauen. Gleichzeitig werden durch die Aktivität der Bodenlebewesen die Pflanzenteile bzw. ihre Inhaltsstoffe in tiefere Bodenschichten verlagert, was zu einer Durchmischung der Bodenbestandteile und zu einer Verbesserung der Humusbildung in den oberen Bodenschichten führt.

B23 | Wichtige Destruenten im Wald: Pilze. Ihr Fadengeflecht (Myzel) durchdringt sehr schnell abgestorbenes Holz und verändert es innerhalb weniger Jahre so, dass es für die eigentlichen Holzzerstörer wie Fadenwürmer, Springschwänze, verschiedene Milbenarten und Enchyträen zugänglich wird. 

5 Kompostierung

Kompost, das „schwarzes Gold des Gärtners“, ist das Verrottungsprodukt verschiedener organischer Substanzen. In Haushalten und Gärten ist Komposterde durch die Bereitstellung wichtiger Hauptnährstoffe und Spurenelemente sowie durch die Förderung des Bodenlebens ein wichtiger Bodenverbesserer. Kompost aus dem eigenen Garten ist aber auch eine preiswerte Alternative zu Torf, der in käuflicher Blumenerde verwendet und meist mit negativen ökologischen Folgen aus Moorflächen gewonnen wird.

B24 | Das „Gold“ des Gärtners: humusreiche Komposterde.



Bei der Kompostierung werden unter Wärmeabgabe durch Bakterien, Pilze, Würmer und andere Kleintiere Verbindungen aus Ton- und Humuspartikeln (→ Ton-Humus-Komplexe)

gebildet und die Ausgangsmaterialien mineralisiert. Wie beim Abbau der Laubstreu schließen Bakterien das organische Material auf und Bodentiere zerkleinern es. Sowohl deren Ausscheidungen als auch das zerkleinerte Material dienen der Bodenflora und -fauna als Nährboden.

Die Abbaubarkeit organischer Verbindungen ist sehr unterschiedlich: Zuckermoleküle werden besser als Stärke, diese wiederum besser als Proteine umgesetzt, Cellulose wird dagegen schlechter als Eiweißstoffe, jedoch besser als Holzstoff (= Lignin) abgebaut, während viele Kunststoffe überhaupt nicht zersetzt werden (► Schüleraktivität B2). Neben der Zusammensetzung der Stoffe (vor allem auch dem Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff) haben verschiedene Umweltfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und Sauerstoffversorgung einen großen Einfluss auf den Kompostierungsprozess. So bildet sich Kompost nur bei ausreichender Feuchtigkeit und Sauerstoffversorgung sowie Temperaturen zwischen 20 °C und 40 °C. Unter anaeroben Bedingungen verfault das organische Material dagegen. Es wird dabei unter Freisetzung von Schwefelwasserstoff und anderen giftigen Verbindungen nur unvollständig zersetzt, viele Bodenorganismen werden dadurch in ihrer Aktivität gehemmt. Fäulnisprozesse sollten daher beim Kompostieren, auch im Hinblick auf eine Geruchsbelästigung und die Qualität des Komposts, unbedingt vermieden werden, beispielsweise durch verringerte Feuchtigkeit und gute Belüftung (Umschichtung).

6 Auswirkungen der Eingriffe des Menschen auf die Bodenlebewesen

Der Eingriff des Menschen in den Boden kann für dessen Lebewesen gravierende Folgen haben (► Modul E Landwirtschaft). Bereits die Bodenbearbeitung mit einfachsten Mitteln stellt einen Eingriff in das ökologische Gleichgewicht des Lebensraums Boden dar. So kann sich das Wasserhaltevermögen des Bodens verändern. Als Folge davon werden feuchtigkeitsliebende Bodenorganismen zurückge-

drängt und die Ausbreitung anderer Formen begünstigt, die mit resistenten Dauerstadien auch Trockenzeiten überstehen können (z. B. Fadenwürmer oder Einzeller). Bei steigender Intensität der Bodenbearbeitung nimmt die Anzahl der Bodentiere deutlich ab (↗ B25 oben). Ihre Artenzusammensetzung und Individuenzahl kann häufig ein direkter Hinweis auf den Zustand der Böden sein (↗ B25 unten).

Die Ernte bedeutet für den Boden durch die Abfuhr von Nutzpflanzen einen Nährstoff- und Mineralstoffentzug. Diesem gilt es im Rahmen der Düngung zeit- und bedarfsgerecht zu begegnen. Auch durch den Wegfall der schützenden Pflanzendecke wird insbesondere der Wasserhaushalt des Bodens beeinflusst, indem die fehlende Beschattung und die Verdunstung infolge von Luftzug seine verstärkte Austrocknung fördert. Andererseits erhöht der Verlust der Verdunstung durch die Pflanzen den ungehinderten Zutritt von Wasser in den Boden. Dieses kann als Folge der Bodenverdichtung meist nicht rasch genug versickern und bedingt eine für viele Bodenorganismen schädliche Stau-nässe. Früher war das Abbrennen der Vegetation weit verbreitet, um den Böden über Asche Mineralstoffe zuzuführen. Zwar bedeutete das Abbrennen einen starken Mineralstoffeintrag, doch tötete es gleichzeitig zahlreiche Organismen direkt ab. Zudem förderte es Arten wie die Brennnessel, die nährstoffreiche Verhältnisse benötigen und schließlich als „Unkräuter“ wieder in Konkurrenz zu Nutzpflanzen treten.

Eingriffe des Menschen in den Lebensraum Boden sollten bestehende Stoffkreisläufe und Organismennetzwerke möglichst wenig beeinträchtigen. Beiträge dazu leistet eine Bewirtschaftung nach den Grundsätzen der → guten fachlichen Praxis, beispielsweise durch Gründüngung oder den Anbau von Zwischenfrüchten (► Modul E Landwirtschaft). Der Mensch wirkt insbesondere durch die Anreicherung von Luftschadstoffen, Schwermetallen, organischen Verbindungen, Salzen oder radioaktiven Substanzen auf die Lebensumwelt der für den Boden und unseren Naturhaushalt außerordentlich wichtigen Bodenlebewesen ein (► Modul F Schadstoffe, ► Modul C Waldboden). Entsprechende Maßnahmen zum Schutz und Erhalt des Lebensraums Boden sind daher unbedingt erforderlich.

B26 | Landwirtschaft greift vielfach in das Bodenleben ein. Doch versucht die moderne Landwirtschaft, das Bodenleben möglichst zu schonen und die biologische Aktivität zu fördern. Dies sind die besten Voraussetzungen zur Erhaltung der Fruchtbarkeit unserer Böden.



B25 | *Oben:* Einfluss geringer und starker Bodenbearbeitung auf die Bodenfauna. **CD**
Unten: Zeigerfunktion der Bodenfauna in landwirtschaftlich genutzten Böden. **CD**



Weiterführende Literatur (Auswahl):

- Bergstedt, C. (1998): Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik: Boden. – Berlin.
- Bruckner, G., Kalusche, D. (1990): Boden und Umwelt. Bodenökologisches Praktikum. – 2. Aufl., 264 S. Wiebelsheim (Quelle & Meyer Verlag, Biologische Arbeitsbücher, Band 19).
- Dittmann, J., Köster, H. (2004): Die Becherlupenkartei: Tiere in Kompost, Boden und morschen Bäumen. – Verlag an der Ruhr, Mülheim 2004 (Karteikarten mit Begleitheft).
- Ehrnsberger, R. (1989): Bodentiere und Bodenfruchtbarkeit. – In: Unterricht Biologie, Heft 144, S. 34 – 37, Seelze.
- Faltermeier, R. (1996): Praktischer Unterricht Biologie: Lebensraum Boden. – Stuttgart u. a.
- Filser, J. (1997): Der Boden lebt. – In: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.): Böden – verletzliches Fundament. – mensch + umwelt, 11. Ausgabe: S. 43 – 49, Neherberg.
- Hartmann, A. (1997): Verborgene Welt im Kleinen. – In: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.): Böden – verletzliches Fundament. – mensch + umwelt, 11. Ausgabe: S. 50 – 56, Neherberg.
- Köhler, K.H., Gruber, W., Klautke, S. (1999): Biologische Abbaubarkeit von Materialien. – In: Unterricht Biologie, Heft 159: S. 43 – 49, Seelze.
- Köhler, K.H., Klautke, S. (1993): Umwelterziehung praktisch: Kompostierung organischer Abfälle. – In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, Heft 1/93: S. 38-42.
- Lammert, F.-D. (1989) (Hrsg.): Tiere im Boden. – In: Unterricht Biologie, Heft 144, Seelze.
- Mühlenberg, M. (1989): Freilandökologie. – Heidelberg, Wiesbaden.
- Topp, W. (1981): Biologie der Bodenorganismen. – 224 S., Heidelberg (Uni-TB; Quelle & Meyer-Verlag).
- Westheide, W., Rieger, R.M. (2003): Spezielle Zoologie Band 1 – Einzeller und Wirbellose Tiere. – Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)
Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)