

Sounding Soil – Exkursionsunterlagen

Wissen



Inhalt

1. Bodenwissen	3
1.1. Was ist Boden – Definition	3
1.2. Facts	3
1.3. Bodenbildung	3
1.4. Bodenfunktionen	4
1.5. Bodentiere	6
1.5.1. Funktionen von Bodenorganismen allgemein:	6
1.5.2. Vorstellung einiger Bodenorganismen	7
1.5.3. Übersicht einiger Bodenorganismen	14
1.6. Gefahren	17
1.6.1. Bodenerosion	17
1.6.2. Versiegelung	17
1.6.3. Verdichtung	18
1.6.4. Bodenverschmutzung und – kontamination	18
1.6.5. Pestizideeinfluss	19
2. Handlungsbedarf	20
2.1. Handlungstipps	20
2.1.1. Im und um den Garten oder Balkon	20
2.1.2. Grundsätzliche Handlungstipps	21
2.1.3. Handlungstipps in der Ernährung	22
2.2. Agrarökologie – Zusammenhang Ernährungssystem	23
3. Forschungsstrang	25
3.1. Ökoakkustik als Forschungsfeld	25
3.2. Stand der Forschung	26
Literaturverzeichnis	29

Wenn nicht anders vermerkt, stammen die Informationen von Biovision internen Dokumenten. Ausserdem finden Sie Materialien für den Unterricht im Klassenzimmer auf unserer Webseite.

Wenn nicht anders beschrieben, stammen die Illustrationen von Lena Meier und wurden für Sounding Soil entwickelt.



1. Bodenwissen

1.1. Was ist Boden – Definition

Boden ist die durch Verwitterungsprozesse entstandene belebte oberste Schicht der Erdkruste, die wenige Zentimeter, bis einige Meter dick sein kann. Ein gesunder Boden besteht aus 45 % mineralischen Teilchen, 25% Wasser (und darin gelösten Stoffen), 25% Luft und 5% lebenden und abgestorbenen Lebewesen (organische Substanz) (Abb. 1). Je nach Ausgangsgestein, Vegetation, Klima, Witterung, anthropogenen Einflüssen und Bodenleben teilt sich ein Boden in mehrere Bodenhorizonte auf, die von der Bodenoberfläche bis zum Ausgangsgestein reichen. Bodenpartikel sind so angeordnet, dass ausreichend grosse Zwischenräume, sogenannte Poren, vorhanden sind, die Wasser speichern und Luft zirkulieren lassen. Die Poren können bis zu 50 % des Gesamtvolumens ausmachen.

1.2. Facts

- Ein ungestörter Boden wächst jedes Jahr um 0,1 mm. Es dauert also 1 000 Jahre, bis er 10 cm zugenommen hat! Das heißt, es dauert sehr lange, bis er aufgebaut ist. Mit anderen Worten: Der Boden ist eine wertvolle Ressource. [22]
- In einer Handvoll gesundem Boden leben über eine Milliarde Bodenlebewesen. Im Vergleich dazu: Auf der gesamten Erde leben derzeit „nur“ 6,9 Milliarden Menschen [11: S.13].



Abb. 1 Zusammensetzung des Bodens

1.3. Bodenbildung

Grundsätzlich entsteht ein Boden immer aus einem Ausgangsgestein (Abb. 2). Dieses Gestein wiederum besteht aus Mineralien. Das Gestein wird im Verlauf von tausenden von Jahren durch chemische (zum Beispiel Wasser oder Säuren), physikalische (zum Beispiel Frost oder Reibung) und biologische Prozesse (zum Beispiel Kohlensäure, die aus der Atmung der Lebewesen und Wasser entsteht) zerkleinert (Abb. 2). Dies ergibt die festen Bodenbestandteile Sand, Schluff und Ton (je nach Korngrösse). Der zweite Hauptbestandteil des Bodens sind organische Stoffe, sogenannter Humus. Er entsteht durch die Tätigkeit der Organismen auf und im Boden und ist die Summe der toten organischen Substanz im Boden. Obwohl nur etwa fünf Prozent des Bodens aus Humus bestehen, ist dieser hauptverantwortlich für die Fruchtbarkeit eines Bodens. Gartenböden enthalten meist deutlich mehr Humus, weil dort grössere Mengen organischer Substanz über viele Jahre in Form von Kompost, Ernterückständen und manchmal auch Stallmist oder Gründüngung eingebracht wurden. Je mehr Humus mit mineralischen Komponenten vermischt ist und so Ton-Humus-Komplexe bildet, desto stabiler ist der Boden. Somit trägt Humus als entscheidender Faktor für eine stabile Bodenstruktur bei. Ohne Humus gäbe es kein Leben im Boden, da die meisten Bodenorganismen auf Pflanzenreste angewiesen sind, um sich zu ernähren. Ein biologisch aktiver Boden benötigt Humus. In biologischen Prozessen werden organische Stoffe unter Lufteinfluss zersetzt, oder verfaulen, wenn kein Sauerstoff zur Verfügung steht. Auf beide Arten wird Humus gebildet, der durch die Arbeit von Bodenlebenwesen mit dem Mineralboden vermischt wird. Somit entstehen Ton-Humus-Komplexe und damit ein fruchtbarer Boden [11: S.23-24].

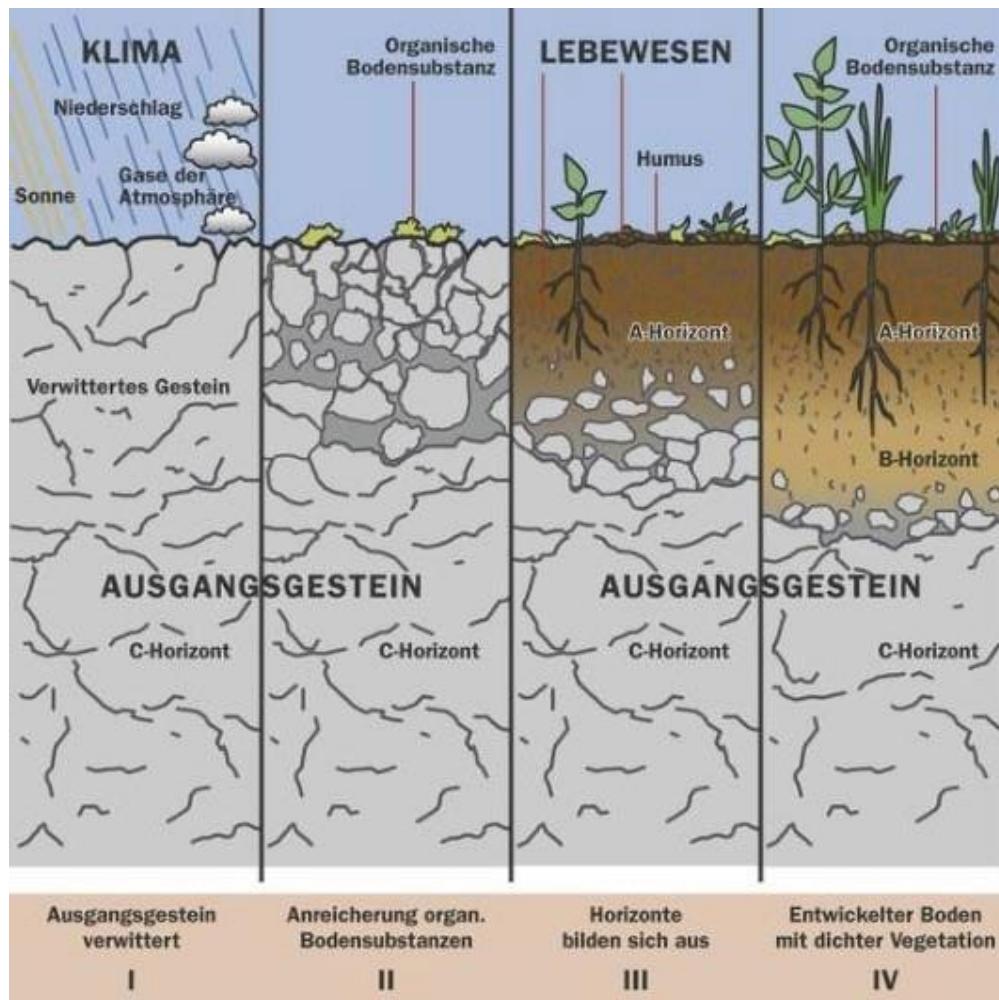


Abb. 2 Bodenbildung (Bildquelle: Breilingerberge.de auf ins-gras-beissen.com, "wie-entstehen-boeden". Zugriff 20.12.2023)

1.4. Bodenfunktionen

Je nach Ausgangsgestein sind Bodenfunktionen unterschiedlich ausgeprägt. Ein Boden mit sehr grossen Körnern, wie beispielsweise ein sandiger Boden, kann weniger Wasser und Nährstoffe halten, während ein Boden mit sehr feinen Bestandteilen, wie ein Tonboden, sehr dicht ist und daher Wasser und Nährstoffe nur schwer weitergibt. Sind alle drei Korngrössen in einem Boden gleichmässig gemischt, wie in vielen Lehmböden, dann hat der Boden sehr gute Eigenschaften . Der Boden ist ein dynamisches Ökosystem, in dem zahllose Umwandlungsprozesse gleichzeitig ablaufen und sich gegenseitig beeinflussen, bei denen Nährstoffe frei oder gebunden werden, auf dem Boden wachsende und absterbende Pflanzen bringen Humus ein und verändern mit ihren Wurzeln die Bodeneigenschaften. Tiere, Bakterien und Pilze bauen Stoffe um und ab und beeinflussen, wie die Pflanzen an der Oberfläche mit dem Boden interagieren können [11: S.21] [27].

Grundsätzlich führt ein gesunder Boden folgende Funktionen aus.

Regulierungsfunktion: Der Boden reguliert den natürlichen Kreislauf von Wasser, Luft sowie organischen und mineralischen Substanzen. Der Boden speichert und wandelt Stoffe um (Filter-, Puffer- und Speicherfunktion) und stellt damit ein wesentliches Glied im permanenten Energie- und Stofffluss des Ökosystems Erde dar.

CO₂-Speicherung: Unter anderem speichert der Boden CO₂: Er speichert 7-mal mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre. Abgestorbene Pflanzenteile gelangen ober- und unterirdisch in den Boden und werden dort von Bodenorganismen über komplexe Nahrungsnetze zu Bodenkohlenstoff ab- und umgebaut (Abb. 3). Den Abbau des Bodenkohlenstoffs zu CO₂, die Mineralisation, übernehmen vor allem die Mikroorganismen [18].



Abb. 3 CO₂ - Speicher

Wasserspeicherung: Der Boden nimmt wie ein Schwamm Wasser auf, welches einerseits zwischen den Bodenpartikel gespeichert wird (Abb. 4). Andererseits sickert das Wasser durch die Bodenschichten durch und wird im Grundwasser gespeichert. Aus diesem Grund sterben Pflanzen in trockenen Perioden nicht gleich ab, sondern können aus dem Grundwasserspeicher Wasser entnehmen. Auch für uns Menschen ist die Wasserspeicherung von besonderer Bedeutung, denn bei starken Niederschlägen nimmt der Boden Wasser auf und schützt somit vor Hochwassern.

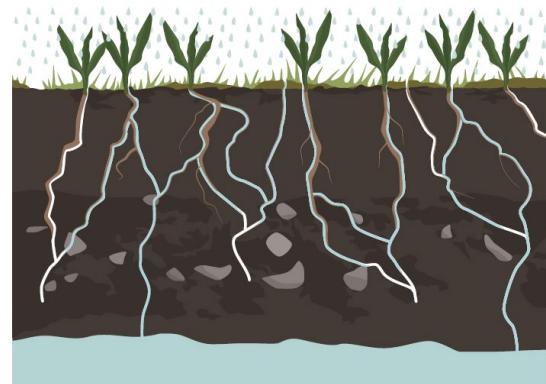


Abb. 4 Wasserspeicher

Filter: Der Boden filtert Wasser, Trüb- & Schadstoffe und Schwermetalle (Abb. 5). Auf Grund der Filterfunktion ist unser Grundwasser in der Schweiz bereits sehr sauber und wir verwenden es als Trinkwasser. Der Abbau von organischen Schadstoffen erfolgt über Mikroorganismen und Pilze.

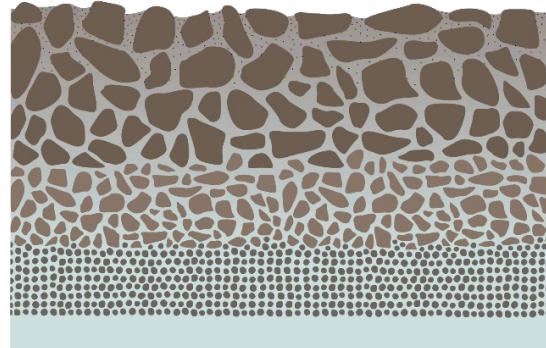


Abb. 5 Bodenfilter

Nährstofflieferant: Über Wurzelhaare nehmen Pflanzen Nährstoffe aus dem Boden auf, die überlebenswichtig für Pflanzen und somit für uns sind (Abb. 6). Nährstoffe gelangen durch Zersetzung von organischem Material und von Gestein in den Boden, wobei Humus aufgebaut und Mineralstoffe freigesetzt werden. Der Boden speichert diese umgewandelten Nährstoffe für Pflanzen.



Abb. 6 Nährstofflieferant

Lebensraums (Habitatsfunktion): Boden dient unzähligen Organismen als Lebensraum. Die Organismen tragen ihrerseits zur Bodenbildung bei, sorgen für fruchtbare Böden und sind Reservoir für pharmazeutische Wirkstoffe [1: S.15].

Produktionsfunktion: Die Fähigkeit des Bodens, Biomasse in Form von Nahrung, Futter, Holz und Fasern zu produzieren (Abb. 7).

Stützfunktion: Fähigkeit des Bodens, als Fundament für Gebäude und Infrastrukturen zu dienen.

Archivfunktion: Fähigkeit des Bodens, Informationen zur Natur- und Kulturgeschichte zu speichern (z.B. archäologische Relikte).

Rohstofffunktion: In und unter den Böden sind Rohstoffe (z. B. Torf, Kies oder Sand) gespeichert.

Für uns Menschen bieten all diese Funktionen einen Nutzen, der als **Ökosystemleistung** bezeichnet wird. All diese Leistungen werden jedoch nur erbracht, wenn wir einen gesunden Boden haben, der nachhaltig genutzt wird. Der Boden ist ein Ökosystem mit Lebewesen, voneinander abhängigen Prozessen und sich gegenseitig beeinflussenden Reaktionen. Viele dieser Abhängigkeiten sind noch nicht erforscht, sodass wir gar nicht abschliessend beschreiben können, wie der Boden genau funktioniert [11].



Abb. 7 Nahrungsmittelproduktion

1.5. Bodentiere

Eine zentrale Rolle dieser Funktionen, leisten Bodenorganismen wie Bakterien, Pilze und Algen, aber auch Milben, Fadenwürmer, Regenwürmer, Tausendfüsser und Insekten (siehe mehr unter Kapitel Vorstellung einiger Bodentiere). Die Anzahl der Mikroorganismen und Tiere ist riesig: So können in einem Kubikmeter Boden mehrere Milliarden Mikroorganismen leben, die zu Tausenden von Arten gehören (Abb. 8) [1].

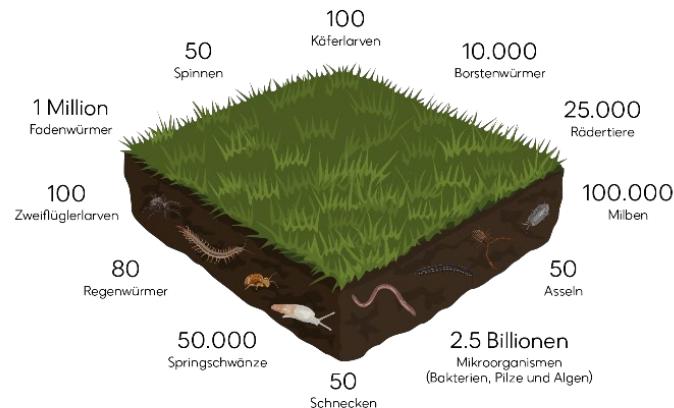


Abb. 8 Anzahl Bodentiere pro 1m³

1.5.1. Funktionen von Bodenorganismen allgemein:

- Bauen pflanzliche und tierische Reststoffe zu Humus ab und um
- Lockern und durchmischen mineralische Bodenbestandteile mit der organischen Substanz, was zu stabilen Ton-Humus-Komplexen sowie Hohlräume für den Wasser- und Lufttransport führt
- Verbessern die Bodenstruktur: Stabilisieren und verkleben die Bodenaggregate durch Schleimstoffe zu Krümeln und senken damit das Erosionsrisiko
- Speichern und mobilisieren Nährstoffe, z.B. Eiweissumbau in Stickstoff durch Bakterien
- Fördern die chemische Verwitterung und Nährstoffnachlieferung aus den Gesteinen
- Speichern Kohlenstoff und stabilisieren die Bodenmatrix

- Bauen organische Schadstoffe ab und halten damit das Grundwasser sauber
- Schützen die Pflanzenwurzeln vor Austrocknung und Krankheitserregern
- Erhöhen die Wasserspeicherkapazität des Bodens und reduzieren so das Hochwasser- und Dürrerisiko

1.5.2. Vorstellung einiger Bodenorganismen

Bodenorganismen sind nach ihrer Körpergrösse in Mikrofauna (<0.2mm), Mesofauna (0.2-4mm) und Makrofauna (4-80mm) eingeteilt. Im folgenden Kapitel ist eine Auswahl von Bodenorganismen aus der Mikro-, Meso- und Makrofauna genauer beschreiben. Allerdings gibt es einerseits davon Untergruppen und andererseits viele weitere noch unerforschte Lebewesen.

Springschwänze (Collembola)

Springschwänze gehören zu den Sechsfüßern und werden zumeist nur 1 – 2 Millimeter lang (Abb. 9). Weltweit sind etwa 5000 Arten bekannt. Diese Insektenordnung besitzt noch keine Flügel, verfügt aber über einen sehr komplex gebauten leistungsfähigen Sprungapparat. Am vierten Ring befindet sich die Sprunggabel, die in der Ruhelage in einer Halterung (Retinaculum) des 3. Rings, nach vorne geklappt befestigt ist. Bei Gefahr wird diese blitzartig nach unten auf den Boden geschlagen, wodurch sich das Tier in die Luft katapultiert. Der Körper vollführt dabei entweder einen Salto nach hinten oder springt nach vorne (bis 25 cm weit). Sie finden sich vor allem in Humusschichten nicht zu trockener Böden. Was die Ernährung betrifft, sind sie recht vielseitig und deshalb wesentlich bei der Humusbildung. Sie ernähren sich vor allen von verrottendem Pflanzenmaterial, Exkrementen oder Aas. Neben diesen Allesfressern gibt es bei den Springschwänzen auch Spezialisten, die nur Algen, Pilze und Pollen fressen oder Mikroorganismen abweiden. Auf einem Quadratmeter Waldboden befinden sich in der Regel 50.000 Springschwänze. Je nach Bodenschicht können Springschwänze Körperfumamente, borstige Haare und Augen besitzen. Je tiefer sie ins Erdreich vordringen, desto kleiner werden ihre Ausmasse. Sie erscheinen farblos, sind blind, verkürzen ihre Antennen und Beine und büßen ihr Springvermögen ein. Einige Arten tragen durch den Verzehr abgestorbener Pflanzenorgane (Blätter, Wurzelhadeln usw.) oder des Kots anderer Wirbelloser zur Zerkleinerung abgestorbener Pflanzenmasse und zur Mineralisierung organischer Stoffe bei. Die Wirkung von Springschwänzen auf die Mineralisierung von organischem Material und die Wiederverwertung von Nährstoffen ist hauptsächlich indirekt, indem sie die Bodenmikroorganismen (Bakterien und Pilze) regulieren [12] [23].



Abb. 9 Springschwanz

Milben (Acarı)

Milben gehören zu den Spinnentieren im Stamm der Gliederfüsser. Diese Ordnung umfasst etwa 50.000 Arten, dennoch wird vermutet, dass es mehr als eine Million Unterarten gibt (Abb. 10). Oribaten, auch bekannt als «Kaumilben», sind in Böden am stärksten vertreten und machen rund 50–80% aller Milben aus. Die meisten Milben befinden sich in den ersten 5 Zentimetern des Bodens, aber sie können durch Wurzelkanäle und Regenwurmgalen bis zu 30 Zentimeter in den Boden vordringen. Die millimeterkleinen Achtbeiner nutzen einen grossen Speisezettel und fressen so ziemlich alles, was noch verdaubar ist. Neben den Raubmilben gibt es solche, die sich von Pflanzen oder Pilzen ernähren, Aas fressen oder von



Abb. 10 Bodenmilbe

abgestorbenem Gewebe leben. Die Räuber unter ihnen fallen durch lange Beine und flotte Laufbewegungen auf. Das Äussere von manchen Abfallfressern ist oft klobig und stark gepanzert. Saugmilben können im Boden freilebend oder parasitisch sein. Die meisten Arten sind räuberisch und leben vollständig im Boden, aber einige verbringen nur einen Teil ihres Lebens im Boden. Dies gilt für Parasiten von Gliederfüssern und Wirbeltieren, die für ihr Leben auf einen oder mehrere Wirte angewiesen sind. Es gibt aber auch die sehr berühmten «roten Spinnen», die übrigens gar keine Spinnen sind, sondern freilebende Milben, welche hauptsächlich auf Pflanzen leben. Durch Schneiden oder Zerkleinern spielen detritivore Milben eine Rolle in den frühen Stadien des Zersetzungsprozesses von Pflanzenmaterial. Sie brechen Pflanzenmaterial auf und machen es für die Mikroorganismen im Boden verfügbar. Einige Arten sind in der Lage, die Dornen und Zweige von Nadelbäumen anzugreifen, was in der Welt der Lebewesen ziemlich selten ist [12] [23].

Pseudoskorpione

Die Pseudoskorpione gehören zu den Spinnentieren und sind nur wenige Millimeter gross (Abb. 11). Sie kommen vor allem im Boden unter der Laubauflage oder in Moosen und an Pilzgeflechten sowie unter der losen Baumrinde vor. Sie leben räuberisch und ernähren sich beispielsweise von kleineren Arthropoden wie Springschwänzen und Milben. Ihre riesigen Mundwerkzeuge fungieren beim Beuteerwerb als imposante Giftspritzen. Mit ihren Scheren können sich gewisse Pseudoskorpione an ein Bein oder Haar eines Fluginsektes heften und so grosse Strecken zurücklegen. Mit stark abgeplatteten Körperrn können die Pseudoskorpione gut in Ritzen und Spalten jagen. Die relativ wenigen Arten kommen in geringen Individuendichten, trotzdem aber regelmässig vor. Diese Tiere muss man im Gegensatz zu Massenarten suchen. Im Kompost, dem Schlaraffenland für viele Bodentiere, sind sie oft leichter zu finden [12] [23].



Abb. 11 Pseudoskopion

Asseln (Isopoda)

Asseln gehören zu den höheren Krebsen. Die meisten Asseln ernähren sich von abgestorbenen, verrottenden Pflanzenstoffen (Abb. 12). Sie können ihre Ernährung entsprechend den verfügbaren Ressourcen anpassen. So können sie sich von lebenden Pflanzen, Pilzen, Leichen, Exkrementen und sogar von anderen Tieren ernähren. Durch ihr Fressverhalten spielen Asseln eine regulierende Rolle für die Menge an organischem Kohlenstoff, der in den Boden eingebaut wird. Ihr Panzer, der reich an Kalziumkarbonaten und Phosphaten ist, stellt auch ein «Reservoir» dieser Elemente dar, die beim Tod des Tieres «freigesetzt» (für Pflanzen verfügbar gemacht) werden. Die Kiemen zum Atmen befinden sich an den hinteren Beinen. Verschiedene Arten zeigen jedoch unterschiedliche Anpassungsstufen an ein Leben an Land. So gibt es neben der Kiemenatmung bei einigen Arten auch andere Atmungsorgane wie Tracheen oder Lungen. Da die Asseln ihre zarten Kiemenanhänge ständig feucht halten müssen, bevorzugen sie feuchte Habitate. Mit ihren Mundwerkzeugen können sie Falllaub und Totholz anfressen. Mehr als 4000 Arten von Landasseln sind bereits entdeckt worden, dennoch werden jedes Jahr viele neue Entdeckungen gemacht, besonders in tropischen Regionen. Sie sind in der Lage, Bodenstreu in kleine Partikel zu zerlegen, wodurch Mikroorganismen die Zersetzung von organischem Material erleichtert wird. Darüber hinaus enthält ihr Verdauungstrakt symbiotische Bakterien, die den Abbau von Lignin und Zellulose ermöglichen. So tragen die von ihnen abgegebenen Exkremeante zur Stabilisierung der organischen Substanz im



Abb. 12 Assel

Boden bei. Einige Asseln leben in Symbiose mit Termiten oder Ameisen. Sie leben in deren Nestern, welche sie reinigen, indem sie sich von Pilzsporen und verschiedenen Abfallprodukten ernähren.

Da Asseln besonders empfindlich auf die Qualität der Umwelt (Lebensräume, Nahrungsressourcen, Feuchtigkeit) reagieren, sind sie hervorragende Bioindikatoren. Tatsächlich beeinträchtigen landwirtschaftliche Praktiken wie intensives Pflügen ihre Population wahrscheinlich bis zu 200-mal stärker als die anderer Arthropoden. Einige Arten sind resistent gegen Schwermetallbelastungen und werden als Messinstrumente für die Bodenkontamination gebraucht [12] [23].

Regenwürmer (Lumbricidae)

Regenwürmer sind im Erdboden lebende, gegliederte Würmer aus der Gruppe der Wenigborster. Jedes Körpersegment ist mit vier Paar Borsten ausgestattet, womit sich die Regenwürmer im Boden fortbewegen können (Abb. 13). Regenwürmer haben keine Lunge: Der Gasaustausch findet über die Haut statt. Deshalb ist ihr Körper von einer dünnen, hydrophilen Schleimschicht überzogen. Da sie keine Augen und Ohren haben, nehmen Regenwürmer ihre Umwelt über licht-, geruchs- und berührungsempfindliche Zellen wahr, die sich im ersten Ring befinden. Regenwürmer gelten als Ökosystem-Ingenieure: Sie lockern, durchmischen und lüften Böden (=Bioturbation), aktivieren Mikroorganismen und setzen Mineral- und Nährstoffe frei. Beim Fressen vermengen und verdauen sie die Bodenbestandteile und scheiden sie anschliessend als fruchtbare Erde wieder aus. Diese frischeste Erde enthält hochkonzentrierte Nährstoffe und mineralische Elemente, die direkt von der Vegetation aufgenommen werden können. Wurmkompost enthält nämlich wertvolle Ton-Humus-Komplexe und einige Mikroorganismen, welche durch die Darmpassage aktiviert wurden. Wurmreiche Böden sind deshalb stets von besonders guter Qualität [12] [23].

In der Schweiz gibt es rund 40 unterschiedliche Regenwurmarten. Diese werden in drei ökologische Gruppen eingeteilt: die Kompostwürmer, die Horizontalgraber und die Vertikalgraber. [26]



Abb. 13 Regenwurm

- **Kompostwürmer** leben in der Streu, in den Humusschichten und in den allerersten Zentimetern des Bodens. Sie können auch in Dung und im Kompost vorkommen. Sie sind eher klein (zwischen 1 und 5 cm) und sind zum Schutz vor UV-Strahlung rot oder dunkelbraun pigmentiert. Sie haben eine relativ kurze Lebenserwartung, die durch eine hohe Reproduktionsrate und frühe Geschlechtsreife kompensiert wird.
- **Horizontalgraber** leben in den ersten Zentimetern des Bodens und kommen bis zu einer Tiefe von ca. 40 cm vor. Sie sind mittelgross (zwischen 1 und 20 cm) und von blasser Farbe (rosafarben bis gräulich, unpigmentiert), da sie kaum an die Oberfläche kommen. Sie graben temporäre Stollen in horizontaler und sehr verzweigter Weise. Sie haben eine mittlere Lebenserwartung und eine relativ hohe Reproduktionsrate. Darüber hinaus sind sie durch ihre ausschliesslich unterirdische Lebensweise einem geringeren Prädationsdruck ausgesetzt als Kompostwürmer oder Vertikalgraber.
- **Vertikalgraber** leben in permanenten vertikalen Gängen die sie in U-Form graben (bis zu 2 m tief) und welche mit der Bodenoberfläche verbunden sind. Vertikalgraber sind oft grosse Individuen (zwischen 10 und 110 cm) mit einem Farbverlauf (der Kopf ist dunkler als der Schwanz). Sie kommen meist nachts mit dem Vorderteil an die Oberfläche, um abgestorbene Blätter in ihren Gang zu ziehen. Diese Pflanzenresten lassen sie von Pilzen vorverdauen, bevor sie sie selbst verspeisen.

Schnecken

Von den Weichtieren halten sich einige Schneckenarten, von insgesamt ca. 100'000 weltweit bekannten, zeitlebens im Boden und insbesondere in der Laubstreu auf (Abb. 14). Glas-, Schüssel-, Laub- und Haarschnecken bleiben relativ klein, bevorzugen feuchte und kalkreiche Standorte und können unter liegendem Totholz oft in geselligen Beständen beobachtet werden. Auch einige Nacktschnecken sind mit Bestandsabfall als Nahrung völlig zufrieden und gehören nicht wie die großen, hungrigen Wegschnecken zu den gefürchteten Pflanzenfressern. Für die Zersetzungprozesse im Boden spielen Schnecken eher eine untergeordnete Rolle.

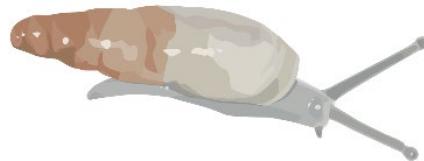


Abb. 14 Schnecke

Doppelfüßer (Diplopoda)

Die Doppelfüßer sind die zweitgrösste Gruppe der Tausendfüßer (Abb. 15). Sie leben im Boden oder in zerfallenem Holz und ernähren sich dort von pflanzlichem Abfall. Mit ca. 12'000 verschiedenen Arten sind die Doppelfüßer wesentlich artenreicher als die Hundert-, Zwerg- und Wenigfüßer. Doppelfüßer verfügen über zwei Beinpaare pro Körperring, zersetzen Falllaub, Totholz und sonstiges organisches Material und produzieren demzufolge auch beträchtliche Mengen an Humus. Somit ist die bodenbiologische Bedeutung der Doppelfüßer vor allem bei hohen Individuendichten gross. Bei Gefahr, in Ruhestellung und bei Trockenheit rollen sich einige Arten zu einem Kringel zusammen. Einmal zusammengerollt ist diese Kugel kaum noch als Tier wahrnehmbar. Mancher Feind kann das glatte Objekt so kaum fressen und ausserdem schützt diese Form wirksam vor Austrocknung. Bei den Doppelfüßern unterscheidet man unterschiedlich funktionale Gruppen, je nach Art und Weise, wie sie sich durch das Erdreich bewegen [12] [23].



Abb. 15 Doppelfüßer

Hundertfüßer (Chilopoda)

Hundertfüßer gehören auch zu den Tausendfüßer und haben nur ein Laufbeinpaar je Körpersegment (Abb. 16). Kennzeichnend sind die bis zu 200 Körperringe und den dazu gehörenden „Füssen“, die den Hundertfüßer ihrem Namen verleihen. Weltweit sind etwa 3'500 Arten von Hundertfüßern bekannt. Hundertfüßer kommen auf allen Kontinenten ausser der Antarktis vor. Ausserdem sind sie lichtscheu und mögen Feuchtigkeit, weshalb ihr bevorzugter Lebensraum zwischen Laub und Bodenschicht, unter Steinen oder im faulen Holz ist. Im Gegensatz zu allen anderen Arten der Tausendfüßer, sind die Hundertfüßer die einzigen, die sich fast ausschliesslich räuberisch ernähren. Ihr giftiger Biss führt rasch zu Lähmungen bei den Beutetieren, wie Springschwänze, Würmer, kleinen Spinnen oder Insekten [6] [21.]



Abb. 16 Hundertfüßer

Pilze

Sie ernähren sich von den Ausserdem binden sie organische Substanz, was dem Boden halt gibt. Der Vegetationskörper der meisten Pilze besteht aus mikroskopisch feinen Fäden (Hyphen), die ein weitverzweigtes Pilzgeflecht bilden und sich in oder auf einem festen Substrat, beispielsweise dem Erdboden, Holz oder anderem lebendem oder abgestorbenem organischem Gewebe, ausbreiten (Abb. 17).



Abb. 17 Pilzfäden

Mykorrhizapilze leben in Gemeinschaft (symbiotisch) mit den Wurzeln von Bäumen. Während der Pilz von der Pflanze Kohlenstoffverbindungen erhält, gibt er der Pflanze Wasser und Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor ab. Einige Pilzarten, wie zum Beispiel der Fliegenpilz, können mit verschiedenen Baumarten vergesellschaftet sein, andere sind nur auf eine Baumart angewiesen [12] [23].

Bakterien (Bacteria und Archaea)

Bakterien sind einzellige Organismen ohne echten Zellkern (Prokaryoten) (Abb. 18). Sie können kugelförmig, stäbchen- oder schraubenförmig sein und besiedeln den Boden in grosser Artenvielfalt und Individuendichte. In einem Gramm Boden können über 100 Millionen Bakterien leben. Vorzugsweise leben Bakterien im dünnen Wasserfilm, der die Bodenpartikel umgibt, an Wurzeloberflächen oder im Wurzelraum. Sie können sich aktiv durch Geisseln oder passiv mit dem Bodenwasser bewegen und reagieren empfindlich auf Austrocknung. Die meisten Bakterienarten ernähren sich von abgestorbener organischer Substanz und Ausscheidungen der Lebewesen, sind also heterotroph. Heterotrophe Bakterien bevorzugen leicht abbaubare Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen und zersetzen das Substrat durch die Ausscheidung von Enzymen. Aufgrund ihres grossen Enzym-Spektrums sind sie die wichtigsten Reduzenten beziehungsweise Destruenten. Die Zersetzungsprozesse laufen in der Regel im sauerstoffhaltigen Milieu ab. Es gibt auch Bakterienarten, die organische Substanz unter Sauerstoffarmut zersetzen (Gärungs- und Fäulnisprozesse). Im Hinblick auf die Ernährungsweise lassen sich zwei Gruppen unterscheiden: Autotrophe Bakterien (leben ohne organische Fremdsubstanzen, beziehen Energie aus Sonnenlicht, z.B. Cyanobakterien) und Heterotrophe Bakterien (ernähren sich von organischer Substanz).

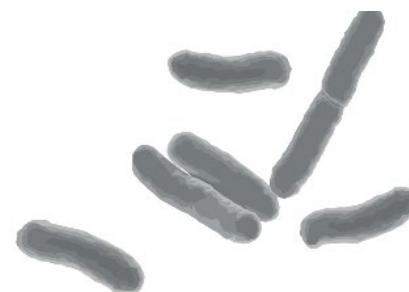


Abb. 18 Bakterien

Zusammengefasst sind Bakterien für die Verbesserung der Bodenstruktur, die Mobilisierung von schwerlöslichem Phosphor und Eisen, die Bildung von Bodenkohlenstoff und die Mineralisierung von Nährstoffen zuständig [23].

Urtierchen (Protozoen)

Protozoen sind aquatische Mikroorganismen. Um zu überleben, brauchen sie immer Feuchtigkeit im Boden. Ist es zu trocken, fallen sie in eine Art Schlaf und können jahrelang auf die Rückkehr des Wassers warten. Protozoen ernähren sich von Bakterien, Pilzen, Algen und den Resten alter Pflanzen. Viele Arten leben parasitisch bei einem Zwischenwirt oder Endwirt. Zu den Protozoen gehören unter Anderem Amöben. Das sind 0.1-0.3mm grosse Einzeller, welche vor allem in Gewässern oder parasitisch im Darm vorkommen (Abb.19).

Protozoen beteiligen sich an der Bildung von Humus (Bodenhumifizierung), indem sie organische Verbindungen aufnehmen und unwillkürlich abbauen. Sie regulieren die Bakterienpopulationen:



Abb. 19 Amöbe als Vertreter der Protozoen

Sobald ein Befeuchtungsprozess beginnt, kommt es zu einem Bakterienausbruch. Die Geschwindigkeit der bakteriellen Vermehrung führt dazu, dass ihre Populationen schnell ihre Nahrung aufnehmen. Die Protozoen, die in Form von Zysten im Boden vorkommen, werden dann reaktiviert und fressen überschüssige Bakterien.

In diesem Stadium beginnen die Bakterienpopulationen abzunehmen und die grösseren Protozoen begeben sich auf die Suche nach Nahrung. Es gibt also eine Rückkopplungsschleife, die ein optimales Niveau an Bakterien für das Gleichgewicht des Bodens aufrechterhält und an den Zersetzungszustand des Materials angepasst ist. Wenn Protozoen nicht vorhanden sind, um die bakterielle Erneuerung zu beschleunigen, wird der Humifizierungsprozess erheblich verlangsamt, da die Sukzession der nützlichen Bakterien erst stattfinden kann, wenn ihre Nahrung verschwunden ist. Da Protozoen eine Nahrungsquelle für räuberische Nematoden sind, begünstigen sie die Dominanz der letzteren und reduzieren so die Anzahl der Nematoden, die Pflanzen befallen (pflanzenparasitische Nematoden) [12][19][20].

Fadenwürmer (Nematoden)

Mit etwa 2000 Arten sind Fadenwürmer bzw. Nematoden im Bodenreich vertreten. Viele Nematodenarten bleiben sehr winzig. Ihre Ernährungsweise ist äusserst variabel. Fadenwürmer fressen alles, was der Boden ihnen bieten kann. Sie gehen an Pflanzenwurzeln, Pilze, Bakterien, verarbeiten organische Reste, leben räuberisch oder parasitoidisch. Bestimmte uns nützliche Fadenwürmer werden zur biologischen Schädlingsbekämpfung gezüchtet. Nematoden sind in allen Böden zu finden, teilweise in sehr hohen Individuendichten mit bis zu 100 Millionen/m² [12].

Bärtierchen (Tardigrada)

Sie gehören zum Tierstamm innerhalb der Häutungstiere, die weniger als 1 mm gross sind. Sie kennzeichnen sich durch ihre tapsigen Bewegungen, leben im Meer aber auch in feuchten Orten an Land. Bei extremen Umweltbedingungen fallen sie in einen todesähnlichen Zustand, welcher lange anhalten kann, aus dem sie aber wieder aufwachen und weiterleben können. Sie ernähren sich meist vegetarisch von Algenzellen oder Flechten. Gewisse Bodenbewohnende Arten ernähren sich räuberisch, indem sie die Lebewesen, wie Protozoen, Räderterchen oder Fadenwürmer anstechen und aussaugen. Außerdem leben Bärtierchen von der Antarktis bis zu den Tropen und sind somit als einziges Lebewesen auf jedem Kontinent repräsentiert. Somit kennzeichnet sie ihre Umweltresistenz, wodurch sie bereits im All überlebt haben. Trotz ihrer hohen Umweltresistenz reagieren sie sehr sensibel auf Umweltgift und sind somit ein wichtiger Indikator für Umweltqualität [23].

Ameisen (Formicidae)

Ameisen gehören zur Insektenordnung der Hautflügler und erscheinen in über 12.000 Arten, wovon 140 Ameisenarten in der Schweiz vorkommen und 8 Arten zur Gruppe der Waldameisen gehören (Abb. 20). Ameisen spielen für den Boden eine wichtige Rolle, da sie mit ihren Gängen den Boden auflockern. Somit wird der Boden durchlüftet, was zur Sauerstoffversorgung des Bodens beiträgt und die Grundlage für das Pflanzenwachstum ist. Die Durchlüftung des Bodens ist auch für Pilze und Mikroorganismen wichtig, welche Nährstoffe zur Verfügung stellen. Somit trägt die Ameise zur Nährstoffverfügbarkeit bei. Zusätzlich durchmischen sie den Boden, indem sie ihre Nester neu- & umbauen. Ausserdem verteilen Ameisen Samen, wodurch neue Pflanzen wachsen können. Ameisen



Abb. 20 Ameise

ernähren sich vielseitig, wie beispielsweise von Pflanzensaften, Früchten, Samen aber auch Insektenlarven, Pilzen, Blattläuse, Zecken, Asseln, Spinnen aber auch Tausendfüssler. Bei räuberischen Tätigkeiten spritzt die Ameise das tödliche Gift, die Ameisensäure, in die Beute.

Das Besondere an Ameisen ist, dass sie sich zu Staaten (von 10 bis 20 Millionen Individuen) organisieren. Durch ihre Spezialisierung und Arbeitsteilung in Arbeiterinnen, Königin und Männchen, können Ameisen langfristig nur in Gemeinschaften überleben. Ausserdem fühlt sich bei einem Angriff oder Gefahr jede Ameise bedroht, und agiert als grosses Lebewesen. Diese Komplexen Verhaltensweisen machen den Ameisenstaat zu einem Superorganismus. Durch die veränderte Landnutzung, Abholzung und intensive Bewirtschaftung werden viele Ameisenarten als gefährdet eingestuft [2] [4] [7] [9] [24].

1.5.3. Übersicht einiger Bodenorganismen

	Name	Funktion	Spannende Facts
Megafauna (> 80mm)	Regenwürmer	Durchlüften den Boden und betreiben Mikrodrainage; Vermischen mineralisches und organisches Material im Boden; Aktivieren Mikroorganismen wie Bakterien	Haben keine Lunge und nehmen Sauerstoff über die Haut auf; Haben weder Augen noch Ohren und nehmen ihre Umwelt über Licht, Geruch und Berührung wahr.
	Schnecken	Ihr Schleim hilft zur Bildung von Bodenkrümmeln; Zersetzen abgestorbenes Pflanzenmaterial und regulieren Pilze im Boden	Fürs Kriechen produzieren sie einen zähflüssigen Schleim; Kommen überall ausser in Wüsten vor; Bevorzugen kalkhaltige Böden, um genügend Kalzium für die Schale zu erhalten.
Makrofauna (4–80 mm)	Doppelfüßer	Ernähren sich von pflanzlichen Resten und räumen so den Boden auf	Haben zwei Beinpaare pro Körpersegment
	Hundertfüsser	Sind Prädatoren und tragen so zum ökologischen Gleichgewicht bei den Beute-Populationen bei	Haben ein Beinpaar pro Körpersegment; Jagen mit Giftbiss
	Ameisen	Lockern, lüften und durchmischen den Boden; Verteilen Samen, wodurch neue Pflanzen wachsen können	Bilden einen Superorganismus: Der Ameisenstaat aus Königin, Arbeiterinnen und Männchen; Für die Paarungszeit wachsen den Männchen und den Jungköniginnen Flügel.
	Asseln	Zersetzen hartes oder erst wenig zersetztes Pflanzenmaterial	Je nach Temperatur tiefer oder weniger tief im Boden

Mesofauna (0,2-4 mm)	Springschwänze	Verzehren abgestorbene Pflanzenreste; Regulieren Bodenmikroorganismen (Bakterien, Algen und Pilze); Stimulieren das Pilzwachstum	Können bis zu 35cm weit springen, haben dafür ein spezielles Organ → Sprunggabel am Bauch. Macht entweder Salto oder springt in eine willkürliche Richtung
	Milben	Schneiden und zerkleinern Pflanzenmaterial; Leben parasitisch auf Pflanzen; Regulieren Pilzpopulationen	Gehören zu den Spinnentieren; Können Tannennadeln effizient zerkleinern
	Pseudeskorpion	Sind Prädatoren und tragen so zum ökologischen Gleichgewicht bei den Beute-Populationen bei	Lauern in kleinen Spalten auf Beute; ernähren sich von kleineren Gliederfüßern, die sie mit ihren giftbewehrten Scheren lähmen und sie aussaugen; Gehören zu Spinnentieren; Unterschied zu richtigen Skorpionen: haben keinen geteilten Hinterleib
Mikrofauna (<0,2 mm)	Pilze	Unterstützen Pflanzen bei der Nährstoffaufnahme; Zersetzen organisches und mineralisches Material	Mykorrhizapilze leben in Symbiose mit Wurzeln: Pilz bekommt Kohlenstoffverbindungen & gibt Pflanze Wasser & Nährstoffe (Stickstoff & Phosphor) Zu viele Pilze ist schädlich für Bakterien; Sind heterotroph
	Urtierchen	Regulieren Bakterienpopulation (fressen überschüssige); Nehmen organische Verbindungen wie z.B. Zellulose auf und bauen diese ab; Bodenhumifizierung;	Sind auf Wasser angewiesen; Können sich durch Teilung fortpflanzen; Machen einen Dornröschen-Schlaf, wenn zu trocken
	Bakterien	Verbessern die Bodenstruktur, mobilisieren schwerlöslichen Phosphor und Eisen; Bilden Bodenkohlenstoff und mineralisieren Nährstoffe.	In 1g Boden können über 100 Millionen Bakterien leben

Sounding Soil

Primärzersetzer, d.h. Organismen mit der Fähigkeit zur Spaltung von Strukturpolysacchariden wie Cellulose, Lignin etc. mittels körpereigenen oder von Symbionten stammenden Carbohydrasen:

- Fadenwürmer
- Schnecken
- Regenwürmer
- Pilze
- Bakterien
- Asseln

Sekundärzersetzer, d.h. solchen, die auf die Vorzersetzung des pflanzlichen Bestandesabfalls angewiesen sind:

- Springschwänze
- Milben
- Urtierchen, Protozoen
- Nematoden

Prädatoren und Aasfresser, zusammengefasst als Zoophage, d.h. Arten, die tierische Substanz fressen:

- Spinnen
- Tausendfüsser
- Hundertfüsser
- Pseudeoskorpione

Auch wenn verschiedene Bodentiere dieselbe Aufgabe übernehmen, reagieren sie z.B. unterschiedlich auf Klima und regulieren durch Ernährung wieder andere Tiere. Deshalb ist für ein funktionierendes Ökosystem jedes Bodentier wichtig (Abb. 21).

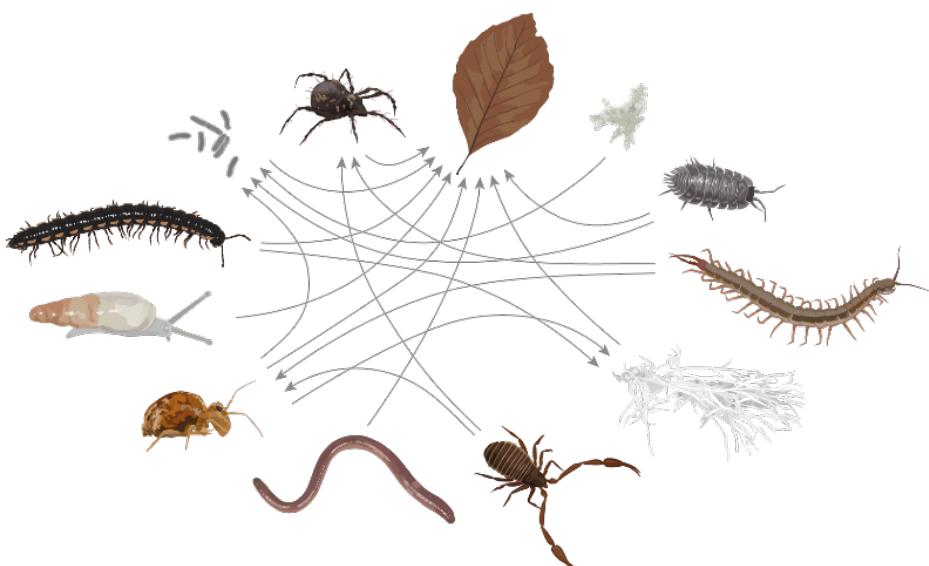


Abb. 21 Nahrungsnetz im Bodenökosystem

Sounding Soil

1.6. Gefahren

Der Lebensraum Boden ist sehr empfindlich und reagiert auf kleine Störungen. Ein einmal zerstörter Boden kann nicht mehr so wiederhergestellt werden, wie er einmal war. Deswegen muss man Böden mit besonderer Sorgfalt behandeln und möglichst wenig in die natürlichen Abläufe im Boden eingreifen, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

1.6.1. Bodenerosion

Bodenerosion beschreibt den Abtrag von Boden (Abb. 22). Bei geringer oder fehlender Vegetation in Kombination mit steilen Geländen, Wind und Starkniederschlag ist die Bodenstruktur geschwächt. Bei heftigen Niederschlägen kann das Wasser nicht mehr im Boden versickern, sondern fliesst oberflächlich ab und reisst auf geneigten Ackerflächen Bodenpartikel mit. Zu besonders starkem Bodenabtrag führen außerdem verdichtete Böden, wasser gesättigte oder ausgetrocknete Ackerböden. Während intensive landwirtschaftliche Nutzung von rutschgefährdeten Hängen Hangrutschungen begünstigt, begünstigen Wurzeln von Bäumen und Sträuchern den Zusammenhalt von Bodenteilen und die Bodenstabilität. Bodenerosion hat zahlreiche negative Folgen, wie die Verringerung der Bodenfruchtbarkeit, Beeinträchtigung von Bodenfunktionen und Schaden an Kulturpflanzen. Außerdem können Düngemittel, Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel, die an die Bodenpartikel gebunden sind, in angrenzende Gewässer und Lebensräume verfrachtet werden und die dortigen Lebensgemeinschaften schädigen. 40 % der Ackerflächen in der Schweiz sind von Bodenerosion betroffen, was fast ein Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Tal- und Hügelgebiet als potenziell stark erosionsgefährdet klassiert. Der Klimawandel führt zu zunehmenden Starkniederschlägen, intensive Bodenbearbeitung erfolgt mit immer schwereren Maschinen und verdichtet den Boden und Ackerflächen werden durch die Ausdehnung des Siedlungsraums in steilere Hanglagen verdrängt, weshalb ein Anstieg von Bodenerosion zu erwarten ist [1: S.31-35] [23].



Abb. 22 Bodenerosion

1.6.2. Versiegelung

Die Versiegelung der Erdoberfläche mit luft- und wasserdichten Materialien, wie Asphalt oder Beton ist die gravierendste Veränderung des Bodens durch den Menschen (Abb. 23). Dies führt zum Verlust der natürlichen Bodenfunktionen als Lebensraum, Speicher und Filter sowie seiner Fähigkeit, Stoffe umzuwandeln und abzubauen. Der Gasaustausch mit der Atmosphäre und Versickerung von Regenwasser wird weitgehend gestoppt, was Überschwemmungen begünstigt. Gleichzeitig werden die Grundwasservorräte nur noch reduziert aufgefüllt. Bodenversiegelung kann nur mit sehr grossem Aufwand, mit hohen Kosten und nicht mehr mit zur gleichen Qualität rückgängig gemacht werden. Das Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum hat in den letzten Jahren zu einer Zunahme von Verkehrsinfrastruktur und Wohnflächen geführt. Dadurch ist die Siedlungsfläche zwischen 1985 und 2009 um 23,4 %

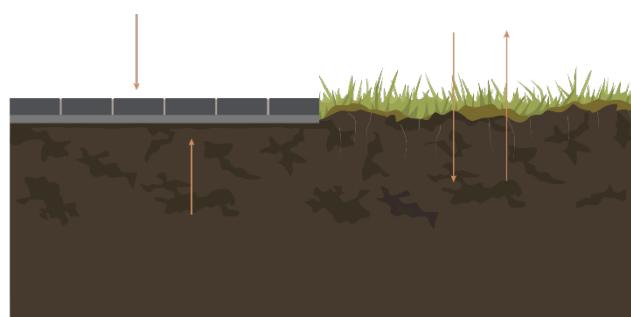


Abb. 23 Versiegelung

Sounding Soil

oder 584 Quadratkilometer gewachsen, was der Grösse des Genfersees entspricht. Im Jahr 2009 bedeckten Siedlungen 7,5 % der Schweiz. Selbst in geschützten Gebieten wie den Landschaften und Naturdenkmälern von nationaler Bedeutung (BNL), Moorlandschaften und Naturpärken hat die Versiegelung in einem bedenklichen Ausmass (zwischen 10 und 14 %) zugenommen [1].

1.6.3. Verdichtung

Bodenverdichtung entsteht, wenn der Boden durch Zusatzgewicht belastet wird: Beispielsweise durch das Befahren des Bodens mit schweren Maschinen in der Land- und Waldwirtschaft sowie auf Baustellen, die Beweidung mit zu schweren Tieren oder durch zu viele Menschen bei Freizeitanlagen und während Freizeitveranstaltungen. Diese Zusatzlast presst die Bodenporen zusammen oder unterbricht die Verbindungen zwischeneinander (Abb. 24). Der Verlust an luftführenden Grobporen beeinträchtigen das Wurzelwachstum und Bodenorganismen massiv. Ausserdem kann es zu Fäulnisprozessen kommen und Pflanzen können weniger Nährstoff- und Wasserreserven erschliessen. Dies führt wiederum zu beträchtlichen Ertragsausfällen in der Landwirtschaft. Je feuchter und höher der Tongehalt eines Bodens, desto Verdichtungsempfindlicher ist er [1]. Ein sichtbares Zeichen für Bodenverdichtung sind vorübergehende Wasseransammlungen auf den Äckern, im Wald und auf Baustellen, weil das Regenwasser in den verdichtenen Böden nicht mehr ausreichend versickern kann. Verdichtungen des Unterbodens können kaum mehr rückgängig gemacht werden [1].

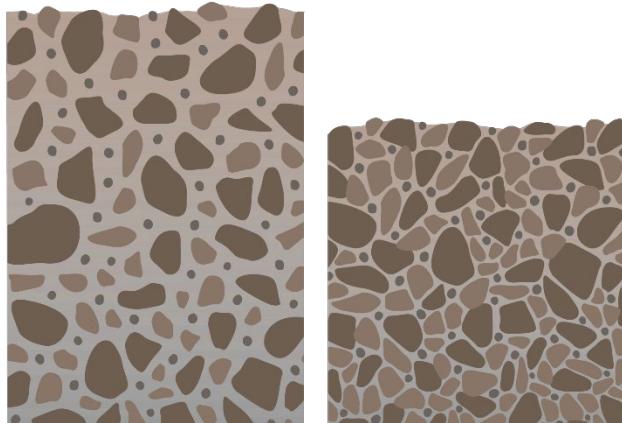


Abb. 24 Verdichtung

1.6.4. Bodenverschmutzung und – kontamination

Praktisch alle Böden enthalten mehr oder weniger hohe Konzentrationen an Schadstoffen. Dazu gehören vor allem Schwermetalle, organische Stoffe, verschmutzte Luft, Rückstände von schwer abbaubaren Pflanzenschutz- und Arzneimitteln und Mikroplastik (Abb. 25). Sie stammen einerseits aus natürlichen Quellen, andererseits aus Aktivitäten des Menschen. Natürliche Quellen für Schwermetalle sind die im Ausgangsgestein enthaltenen Elemente und Mineralien, die durch Verwitterung freigesetzt werden. Außerdem gelangen zusätzliche Schadstoffe aus Industrie, Gewerbe, Verkehr, Landwirtschaft und Privathaushalten früher oder später in den Boden und reichern sich dort an. Pflanzenschutzmittel, Arzneimittel, Weichmacher und diverse Zusätze in Haushalts- und Pflegeprodukten werden durch unsere Industriegesellschaft zunehmend und in grosser Zahl in Umlauf gebracht. Unter anderem ist Mikroplastik ein grosses Problem der grösstenteils vom Reifenabrieb von Autos, Bus und Mofa stammt. In der Schweiz sind zurzeit 18 000 chemische Substanzen in Industrie und Haushalten im Umlauf. Zwischen dem Inverkehrbringen neuer Substanzen, ihrem Auftreten im Boden und der daraus resultierenden Konsequenzen für Mensch, Tier und Umwelt vergehen oft Jahrzehnte bis exakte Auswirkungen ersichtlich sind. Ab einer bestimmten Menge können Schadstoffe das Wachstum und die Vermehrung von Bodenorganismen beeinträchtigen. In diesem Fall



Abb. 25 Bodenverschmutzung

sinkt die Bodenbiodiversität, was zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und zu einer Verschlechterung der Bodenfunktionen führt. Der Verzehr von Pflanzen, welche über Wurzeln schädliche Stoffe aufgenommen haben, kann Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben [1: S.41].

1.6.5. Pestizideinfluss

In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ist die Umwelt Pflanzenschutzmitteln ausgesetzt (Abb. 26). Es besteht ein Risiko für die Bodenbiodiversität und damit für die Bodenfruchtbarkeit. In der Schweiz sind rund 250 Wirkstoffe zugelassen. Auf den einzelnen landwirtschaftlich genutzten Standorten der Nationalen Bodenbeobachtung NABO werden im Durchschnitt jährlich 10 Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln ausgebracht. Eine NABO-Pilotstudie hat gezeigt, dass von 80 Wirkstoffen 73 % auch längere Zeit nach der Anwendung im Boden nachweisbar sind. In heutigen



Abb. 26 Pestizideintrag

Bodenproben sind nach wie vor Spuren von Schädlingsbekämpfungsmittel gegen Insekten, Schadpilzen und Milben aus den 1950er Jahren, nachweisbar, obwohl sie bereits lange aus Umweltgründen verboten. Die Abbauprodukte von Pestiziden sind aber chemisch sehr stabil können daher noch nach Jahrzehnten im Boden nachgewiesen werden [1: S.57] [10].

2. Handlungsbedarf

2.1. Handlungstipps

Mit einem nachhaltigen Umgang mit dem Boden können wir die Bodengesundheit fördern und die Funktionen des Bodens aufrechterhalten. Bodenschutz geht über den eigenen Garten hinaus: So kann man sich auch auf politischer und Ernährungsebene für den Boden einsetzen.

2.1.1. Im und um den Garten oder Balkon

Vielfalt und Saisonalität

Haben Sie ein Maximum an verschiedenen einheimischen Pflanzen und lassen Sie etwas Beikraut wachsen. Wichtig ist, dass der Boden möglichst über das ganze Jahr mit Pflanzennährstoffen versorgt wird (Abb. 27). Deshalb empfiehlt es sich auf die saisonale Variation einheimischer Pflanzenarten zu achten. Einheimische Pflanzen sind an die Bodeneigenschaften unserer Böden angepasst und können deshalb optimal wachsen. Unter einheimisch oder nicht? finden Sie für Ihren Standort angepasste Pflanzen. Beispiele zu einheimischen Pflanzen sind auch unter Bienenfreundliche_Pflanzenliste zu finden.



Abb. 27 Vielfalt im eigenen Garten

Bodenbedeckung

Decken Sie den Boden immer ab, ob mit Pflanzen, Mulch, Pflanzenresten usw (Abb. 28). Wenn Sie zum Mulchen Stroh oder anderes Material verwenden, das sehr «holzig» ist, dann sollten Sie mit Stickstoff düngen, beispielsweise mit Hornspanen. Denn die Mikroorganismen, die die organische Substanz umsetzen, brauchen für ihre Tätigkeit Stickstoff, der dem Boden und damit den Pflanzen fehlt. Sie erkennen Stickstoffmangel an einer gelblichen Verfärbung der Blätter. Tragen Sie nur so viel Mulch auf, dass der Boden unter dem Mulch noch Luft bekommt. Auch sollte das Material bereits angetrocknet sein, damit es nicht zu Fäulnis unter der Mulchsicht kommt. Eine Schicht von ein paar Zentimetern ist völlig ausreichend, auch wenn dann Beikraut eventuell nicht vollständig unterdrückt, wird [11: S.43-44].



Abb. 28 Bodenbedeckung durch organischen Mulch

Bodenschonender Umgang im Garten

Motorfräse und Motorhacke machen die Arbeit zwar leicht und sorgen dafür, dass der Boden fein und krümelig wird. Allerdings schreddern sie alle grösseren Bodenlebewesen wie Regenwürmer und Asseln, sodass diese fehlen, um den Boden mit Humus zu versorgen und organische Substanz einzuarbeiten. Deshalb empfehlen wir Gartenarbeiten mit möglichst wenig Maschinen, welche tief in den Boden eingreifen oder den Boden umkehren.

Mehr grün

Legen Sie möglichst wenig Stein- oder Betonwege an und lassen Sie so viel Pflanzen wachsen und Erde entstehen. Pflanzen liefern dem Boden wertvolle Nährstoffe, und ermöglichen die Bodenfunktionen. Auch auf dem Balkon oder auf der Fensterbank können Sie Pflanzen halten, um die Biodiversität zu fördern.

Natürliche Schädlingsbekämpfung statt giftiger Pestizide

Pestizide werden insbesondere als Pflanzenschutzmittel im Allgemeinen direkt in die Umwelt ausgetragen. Dabei wird von den eingesetzten Pestiziden ein Teil in den Boden oder über Abdrift in benachbarte Flächen eingetragen, bevor die Zielorganismen erreicht werden. Ein weiterer Teil gelangt später von den Zielorganismen in Böden und Gewässer, z. B. bei Regenfällen. Je nach Einsatztechnik und Situation unterscheiden sich diese ungewollten Verluste stark. Oft sind für den Eigengebrauch Pestizide zugelassen, welche in der Landwirtschaft schon lange verboten oder stark reguliert sind. Deshalb empfehlen wir biologische Schädlingsbekämpfung wie z.B. Marienkäfer gegen Blattläuse zu verwenden und Gifte zu vermeiden (Abb. 29) [10].



Abb. 29 Natürliche Schädlingsbekämpfung

Torffreie Erde

Die meisten herkömmlichen Sackerden in den Gartencentern enthalten Torf. Dies nicht ohne Grund, denn das organische Sediment kann Wasser, Luft und Nährstoffe wie ein Schwamm aufnehmen. Doch so gut Torf als Pflanzerde funktioniert, so schädlich ist dessen Gewinnung. Für den Torfabbau müssen Moore trockengelegt werden, was ökologisch wertvolle Ökosysteme zerstört und zum Verlust von Biodiversität beiträgt. Dazu sind Moore gigantische CO₂-Speicher. Der Torf-Abbau ist in der Schweiz zwar schon lange verboten, nicht aber dessen Import. Achten Sie deshalb beim Kauf von Sackerde auf torffreie Bio Erde [25].

2.1.2. Grundsätzliche Handlungstipps

Richtige Abfalltrennung und Kompostieren

Werfen Sie Ihren Abfall niemals ins Gras oder auf die Strasse. So tragen sie mit dem Einsammeln von Abfall beispielsweise im öffentlichen Raum oder Wald zur Bodengesundheit bei. Zusätzlich ist auch die korrekte Abfalltrennung wichtig, sodass keine Schadstoffe in den Boden gelangen. Gerade wenn elektronische Geräte, welche Schadstoffe enthalten, nicht richtig entsorgt werden, gelangen sie über den Abfall in den Boden. Wichtig ist auch das Kompostieren, denn unseren Bioabfall können wir zu wertvollem Humus umwandeln. Wie das geht finden Sie unter ökologisch kompostieren [26].

Wiederverwenden und tauschen

Je weniger neu produziert werden muss, desto weniger Ressourcen müssen aus dem Boden verwendet werden. Deshalb empfehlen wir, Dinge möglichst zu reparieren, zu tauschen oder aus dem Second Hand Laden zu beziehen.

2.1.3. Handlungstipps in der Ernährung

Verwenden Sie, was Sie gekauft haben

Leider landet ca. 1/3 unserer Lebensmittel bei uns zu Hause im Abfall. Kaufen Sie deshalb nur das, was Sie wirklich brauchen. Denn bei weggeschmissenen Lebensmittel wurden Ressourcen bei der Produktion und Transport verbraucht. Dies führt dazu, dass in der Landwirtschaft trotz Foodwaste intensiver produziert werden muss, obwohl wir mit den bereits produzierten Lebensmitteln die Welt mehrfach ernähren könnten.

Kauf Sie saisonal, regional und vielfältig ein

Wie bereits erwähnt, ist ein grosses Risiko für den Boden zum Beispiel die Verdichtung, die durch das Fahren zur falschen Zeit mit einer schweren Maschine entsteht. Dies hängt unter anderem vom gesamten Agrar- und Ernährungssystem, das die Landwirtnnen dazu drängt, die Produktion zu maximieren. Dabei ist es wichtig, Produkte aus der Region und am besten von Erzeugern zu wählen, die Sie kennen und die ihren Boden nicht zu einer ungünstigen Zeit zum Produzieren zwingen. Ausserdem fördern mit dem Einkauf an vielfältigen Gemüsen der Biodiversität auf dem Feld. Wichtiger Punkt: Der Überlaufeffekt ist, dass nur 60% dessen, was wir konsumieren, in der Schweiz produziert wird. Das bedeutet, dass wir eine enorme Menge an Land im Ausland ausbeuten und schädigen, ohne zu wissen, wie der Boden dort bewirtschaftet wird.

Ernähren Sie sich vorwiegend pflanzlich

Im Zusammenhang mit dem Überlauf-Effekt, werden derzeit rund 200'000 Hektaren Land im Ausland benötigt, um hauptsächlich Kraftfutter für Schweine, Geflügel und Intensivrinder zu produzieren. Ein Grossteil des fruchtbaren Landes (43%) in der Schweiz wird für die Produktion von Futtermitteln (Getreide, Silage, Grünmais, Soja etc.) verwendet. Diese intensiv bewirtschafteten Flächen könnten direkt für die menschliche Ernährung genutzt werden, was viel effizienter wäre: beispielsweise direkter Verzehr von Soja in Form von Tofu, anstatt Geflügel, welches mit Soja gefüttert wurde. Ausserdem hat die Nutztierhaltung für tierische Produkte einen negativen Einfluss auf den Klimawandel. Die fehlende Pflanzenvielfalt auf Nutztierflächen begünstigt ausserdem Bodenerosion.

Wählen Sie Produkte mit Nachhaltigkeitslabel (Bio oder Fair Trade)

Das Label Bio garantiert, dass giftige Produkte (wie etwa chemisch synthetische Pestizide) für Fauna und Flora vermieden werden. Dies hat einen positiven Effekt auf die Bodenfruchtbarkeit. Ausserdem gehören eine möglichst grosse natürliche Vielfalt auf dem Hof, besonders artgerechte Tierhaltung und möglichst schonende Verarbeitung der Lebensmittel zu den Standards von Bio Suisse. Ausserdem müssen Bio-Landwirt:innen Kompensationsflächen für die Erhaltung der Biodiversität erstellen. Allerdings kann auch in der Bio-Landwirtschaft intensiv bewirtschaftet werden, was den Boden und Bodentiere durch die Bearbeitung mit schweren Maschinen belastet. Am besten ist der Kauf direkt bei Bauern und Bäuerinnen.

Setzen Sie sich bewusst mit dem Thema Essen auseinander

Unsere Tipps helfen Ihnen, beim Einkaufen bewusste Entscheidungen zu treffen. Nehmen Sie sich auch beim Kochen Zeit und geniessen Sie Ihr Essen bewusst. Damit bringen Sie den Nahrungsmitteln mehr Wertschätzung entgegen, denn ihre Ernährung beeinflusst die Bodengesundheit und weitere Umweltaspekte. Unverarbeitete Produkte sind nicht nur gesünder, sondern meistens auch umweltschonender. Mit einem Gemüse-Abo bei einem Bio-Betrieb wissen Sie genau, woher Ihre Lebensmittel kommen und fördern die Bodengesundheit. Damit erhalten Sie auch ein Gespür für die Saisonalität von Gemüse, Früchten und Obst.

Sounding Soil

Fazit

Es ist sowohl individuell als auch kollektiv notwendig, eine tiefgreifende Veränderung des Ernährungssystems anzustreben, um unsere Böden besser zu schützen. Dies erfordert auch politisches Handeln (z.B. nationale Kartierung, Unterstützung von Massnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität etc.).

2.2. Agrarökologie – Zusammenhang Ernährungssystem

Gesunde Böden sind unverzichtbar und erbringen für die Umwelt und Ernährungssicherheit wichtige Leistungen. Da der Grossteil unsere Nahrungsmittel vom Boden stammt, besteht ein grosser Zusammenhang zwischen Bodengesundheit und Ernährungssystem. Nur nachhaltig bewirtschaftete Böden können sich den Herausforderungen des Klimawandels stellen und gleichzeitig dabei helfen, Treibhausgase zu reduzieren. Deshalb setzt sich Biovision mit agrarökologischen Methoden für ein nachhaltiges Ernährungssystem von der Produktion bis zum Teller ein.

In einer Welt, in der immer mehr Menschen vom Klimawandel, dem Verlust der Artenvielfalt sowie Mangel- und Fehlernährung bedroht sind, erweist sich **Agrarökologie** zunehmend als der wegweisende Ansatz für eine nachhaltige Ernährungszukunft. Denn die Idee von Agrarökologie ist das Schaffen von gerechten Ernährungssystemen im Einklang mit der Natur. Agrarökologie und dessen Definitionen variieren je nach Quelle und Perspektive. Die Essenz von allen ist eine Ausrichtung des Ernährungssystems auf eine verbesserte Ressourceneffizienz, stärkere Widerstandsfähigkeit und soziale Gerechtigkeit. Dazu gehören drei sich ergänzende Bereiche:

- **Praxis** – vom Acker bis zum Teller: Als ganzheitliche und nachhaltige landwirtschaftliche Praxis nimmt Agrarökologie gleichermaßen Rücksicht auf ökologische, soziale und wirtschaftliche Aspekte. Ihre Praxis zielt auf eine regenerative Nutzung natürlicher Ressourcen ab und verbindet traditionelles Wissen mit Erkenntnissen der modernen Wissenschaft.
- **Interdisziplinäre partizipative Forschung**: Als spezifischer Forschungszweig konzentriert sich Agrarökologie auf nachhaltige Landwirtschaft und bezieht über akademische Grenzen hinweg das Wissen und die Bedürfnisse von Bäuerinnen und Bauern und von anderen wichtigen Akteur:innen im Ernährungssystem mit ein.
- **Gesellschaftspolitische Bewegung**: Die agrarökologische Bewegung ist weltweit in vielen Regionen aktiv und besteht aus lokalen Gruppen und Initiativen, zum Beispiel von Bäuerinnen und Konsumenten und indigenen Völkern, die sich selbstorganisiert für gerechte Landwirtschafts- und Ernährungssysteme einsetzen.

Agrarökologie ist also nicht einfach eine besonders nachhaltige Form der Produktion wie Bio-landbau, Permakultur oder regenerative Landwirtschaft. Und es ist auch kein neues Label für nachhaltige Lebensmittel, das im Supermarkt neben der BioSuisse-Knospe oder dem IP-Marienkäfer zu finden ist. Agrarökologie verbindet traditionelles Wissen mit modernen An-sätzen, fördert biologische Diversität und Resilienz in Anbausystemen und strebt eine har-monische Interaktion zwischen Menschen und Umwelt an. Da sich agrarökologische Me-thoden in der Praxis an die regionalen Verhältnisse (Klima, Boden, Technik, Finanzierungs-möglichkeiten etc.) sowie an das Wissen und die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung an-passen, begegnen wir ihr in den unterschiedlichsten Ausprägungen und Gesichtern. Diese Vielseitigkeit ist eine der grossen Stärken der

Sounding Soil

Agrarökologie. Sie ist deshalb auf einmalige Weise geeignet, unsere komplexen und regional unterschiedlichen Ernährungssysteme nachhaltiger und gerechter zu gestalten.

3. Forschungsstrang

Während die bisherigen Inhalte sich auf die Wissensvermittlung in Exkursionen beziehen, wird im Folgenden die Hintergründe zur Forschungsfeld von Bodentönen und die Funktion dessen erklärt. Grundsätzlich wird die Bodenaktivität durch Temperatur, Saison, Biodiversität der Oberfläche, Form und Intensität der Bewirtschaftung, sowie allfällige chemische Einträge, beeinflusst. Im Unterkapitel Stand der Forschung wird vertieft darauf eingegangen.

3.1. Ökoakustik als Forschungsfeld

Das Forschungsfeld der Ökoakustik ist relative jung und verwendet Tonaufnahmen, um Beziehungen in der Umwelt zu untersuchen. Fast alle Organismen produzieren Schallwellen durch ihre Bewegung und Kommunikation miteinander. Anhand von diesen Tönen werden Prozesse und ökologische Beziehungen in der Natur untersucht und miteinander verglichen.

Bodenakustik

Die Bodenakustik unterscheidet sich grundlegend von der Atmosphärenakustik. Die meisten Böden haben eine sehr heterogene Struktur, die sich aus organischen, mineralischen, gasförmigen und flüssigen Komponenten zusammensetzt. Im Allgemeinen weisen Bodenstrukturen starke Dämpfungseffekte auf Schallwellen auf. Die Schalldämpfung in Böden wird durch die poröse Struktur verursacht, die jede Schallwelle, die sich durch die Bodenmatrix bewegt, streut, reflektiert, bricht und beugt (Bourbié et al. 1987). Außerdem ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Böden vom Wassergehalt und der Dichte der Bodenstruktur abhängig (Lu und Sabatier 2009). Daher ist die Bandbreite der zu untersuchenden Signale viel schmäler als bei der Aufnahme mit Mikrofonen in der Luft. Es reicht vom Infraschall-Spektrum (0-20 Hz) bis zu den unteren Teilen des hörbaren Bereichs. Hochfrequenz- oder sogar Ultraschallsignale (über 20 KHz) können ebenfalls erfasst und gemessen werden, allerdings nur lokal in der Nähe der eingesteckten Sonden. Für den Menschen hörbare Töne liegen im Bereich von **20 bis 20.000 Hz**. Oberhalb von 20 kHz und unterhalb von 20 Hz sind Töne im Allgemeinen nicht mehr für das Ohr wahrnehmbar.

Biophonie

Die häufigsten Geräusche von Bodentieren sind **Bewegungs- und Fressgeräusche** der Meso- und Makrofauna. Die Frequenzen dieser physiologischen Geräusche (Krabbeln, Kauen, Graben usw.) variieren je nach **Körpergrösse**, Morphologie und spezifischem Verhalten der in einem Boden vorhandenen Tiere (Mankin et al. 2011). Neben Bewegungsgeräuschen sind auch Kommunikationsgeräusche zwischen Bodentieren hörbar, was das Abhören des Bodens zu einem überraschenden und faszinierenden Erlebnis macht. Diese Töne werden durch die Reibung zwischen Beinen oder anderen beweglichen Körperteilen, auch Stridulation genannt, von Bodeninsekten erzeugt. Beispielsweise kommunizieren Ameise mit diesen Signalen ihre aktuelle Position ihren Artgenossen (Markl 1965). Weiter können sie damit auch Nestgefährten für die Nahrungssuche rekrutieren (Baroni-Urbani et al. 1988). Andere Studien belegen, dass Heuschrecken und Blatthüpfer vibrierendes **Substrat** (Pflanzen, Boden) als **Kommunikationsmittel** für die Paarung nutzen.

Aufbau Bodenmikrofon

Die Sensoren bestehen aus einer einfachen **piezoelektrischen Membran** (15 mm Durchmesser) (Sensor), an die eine vergoldete Kupfernadel (1 mm dick und 10 cm lang) angebracht wurde. Die Nadel fungiert als Wellenleiter für akustische Wellen, um Schallereignisse im Boden zu erfassen, und überträgt diese Wellen dann an das piezoelektrische Element, welches die Schwingungen in eine elektrische Spannung umwandelt. **Diese Signale sind sehr schwach und werden deshalb um 1000 Fach (+60 dB) verstärkt**. So sind die Töne im Umkreis von 1m³ um die eingesteckte Sonde hörbar. Dazu kommt Luftschall, welcher über diesen Raumhinaus hörbar ist, bspw. entfernter Fluglärm.

Sounding Soil

Weitere Hinweise zum Gebrauch des Bodenmikrofons finden Sie in der beigelegten Anleitung.

3.2. Stand der Forschung

Mit dem acoustic complexity index (ACI) wurde der Zusammenhang zwischen der Vielfalt an Geräuschen und der Biodiversität gemessen. Der ACI untersucht die Diversität von Bodentönen. Je unterschiedlicher die Bodentöne sind, desto mehr unterschiedliche Bodentiere befinden sich im Boden und je diverser ist die Bodenoberfläche. Dabei wurde eine Korrelation zwischen ACI und Biodiversität in Saisonalen und Tagesschwankungen festgestellt. Außerdem wurde ein Zusammenhang zwischen akustischen Frequenzen und Bodenorganismen festgestellt: grössere Tiere sind mit niederfrequenten Signalen (tieferen Tönen, bspw. Doppelfüßer) verbunden. Während hochfrequente Signale eher kleinen Bodentieren zugeordnet werden können (hohe Töne, Springschwanz). Die wichtigsten Erkenntnisse der aktuellen Forschung sind in der untenstehenden Zusammenfassung aufgeführt. Weitere Informationen finden Sie in den [Publikationen von Markus Maeder \[13\] \[15\]](#).

Zusammenfassung des Papers (Maeder et al. 2022):

Die zeitliche und räumliche Dynamik in der Boden-Bioakustik und ihr Zusammenhang mit der Diversität der Bodenfauna.

Ziel / Forschungsfragen:

Können acoustic complexity index (ACI) Messungen auf Systeme im Boden angewendet werden, um tägliche und saisonale Dynamiken in Bodengeräuschkulisse zu identifizieren? Können diese in Zusammenhang gebracht werden mit den Dynamiken in mikroklimatischen Gegebenheiten, Bodenbiodiversität und Vergesellschaftung?

Methode: Messungsort war Pfynwald im Kanton Wallis auf einem Versuchsfeld der WSL, welches seit 2003 besteht. Dabei sind sowohl in bewässerten als auch in nicht mehr bewässerten und in natürlichen Gebieten/Versuchsbereichen Messungen gemacht worden. Dadurch konnte in verschiedene mikroklimatische Bereiche gemessen werden.

Besonderes:

- zum ersten Mal sind akustische und räumliche Methoden genutzt worden um die räumlichen, täglichen und saisonalen Dynamiken von Geräuschkulissen im Boden zu erforschen.
- Nach unserem Wissen ist es die erste Studie, die versucht die zeitlichen Dynamiken von Boden-Geo- und Biophonie zu untersuchen. Außerdem den ACI der Bodengeräusche mit dem Auftreten und der Diversität von wichtigen funktionalen Gruppen von Bodenfauna zu verbinden.

Ergebnisse:

- Signifikante tägliche und saisonale Muster des ACI, welche teilweise auf mikroklimatischen Konditionen zurückgezogen werden können.
- Das Reichtum an Bodentieren (Taxareichtum genannt) hat am besten den ACI vorausgesagt, danach war die Korrelation mit der Taxazusammenstellung am besten.
- Die akustische Diversität stand signifikant im Zusammenhang mit den gefundenen Vergesellschaftungen. Wobei die stärkste Korrelation zwischen Taxa Reichtum und ACI am stärksten kurz vor der Probennahme der Taxa war.

Sounding Soil

- Die signifikante Beziehung zwischen ACI und Bodenvergesellschaftung lässt vermuten, dass räumlich-zeitliche Dynamiken von Bodenfauna durch Überwachung von Bodengeräusche eingefangen werden können.
- Die Dynamiken des ACI standen nahe im Zusammenhang zu denen der Mikroklimas wobei täglich steigende Oberflächentemperatur den stärksten Effekt auf den ACI hatte. Steigende Bodentemperatur in 10cm Tiefe führte zu einem Anstieg in Aktivität und Diversität von Meso- und Makrofauna in den obersten Bodenschichten.
- Es ist eine signifikante Korrelation zwischen ACI und Bodentierdiversität gefunden worden. ACI und Taxadiversität waren höher korreliert zueinander je näher der Zeitpunkt der Bodenprobe und der ACI Messung beieinander lagen.
- Der ACI konnte am besten erklärt werden durch Taxareichtum und Vergesellschaftungszusammenstellung. Das deutet darauf hin, dass das Auftreten unterschiedlicher Taxa am wichtigsten ist für die Komplexität der Bodengeräuschkulisse. Verschiedene Taxa produzieren höchst wahrscheinlich unterschiedliche Geräusche und Töne.
- Scheinbar nimmt der ACI auch die seltenen Taxa auf. Dies vergrößert die Wichtigkeit und das Interesse diese Methode für Überwachungsprogramme zu nutzen, die die Bodenstruktur und den Boden an den jeweiligen Orten erhalten wollen.
- Ergebnisse lassen vermuten, dass zeitliche und räumliche Dynamiken der Diversität und Vergesellschaftung von Bodenorganismen durch den ACI von Bodengeräusche bestimmt werden können. Dies eröffnet die Möglichkeit die Bodengeräusche-Analyse als eine einfache und nicht invasive Methode zur Beobachtung der Bodendiversität zu nutzen.

Saisonale Muster

- Saisonale Muster im ACI waren am auffälligsten in Frühling und Sommer und weniger stark in Herbst und Winter. Dies passt gut zusammen mit den bisher bekannten saisonalen Mustern von Bodenorganismen.
- Im Herbst waren die Dynamiken schwächer und im Winter gar nicht zu hören. Das scheint im Zusammenhang zu stehen mit der inaktiven Phase von Bodenorganismen im Herbst und Winter.
- Die Saison hat keine Einflüsse auf den Taxareichtum. Wobei saisonale Unterschiede in dominant auftretenden Taxa sichtbar waren.

Tägliche Muster

- Im Frühling und Sommer ist der tägliche Zyklus des ACI am auffälligsten und stärksten ausgeprägt.
- Der tägliche ACI war am Nachmittag am höchsten und in der Nacht am niedrigsten.
- ACI war am höchsten in Frühling und Sommer besonders am Mittag
- Starkes tägliches Muster mit geringsten Messungen zwischen 6 Uhr - 12 Uhr und 18 Uhr - 24 Uhr. Die höchsten Messungen wurden am Nachmittag zwischen 12 Uhr und 18 Uhr gemessen.

Mikroklima

- Höhere tägliche Variabilität im ACI in Frühling und Sommer könnte höhere Variabilität in Mikroklimakonditionen zeigen.
- Hoher mikroklimatischer Einfluss auf ACI im Sommer.

Sounding Soil

- Beim Vergleich von Mikroklimatischen Parameter ist besonders das stark positive Verhältnis von ACI und positiver Oberflächentemperatur aufgefallen. Eine direkte Verbindung zur Bodenfeuchte konnte bisher nicht gefunden werden. Bodentemperatur hatte allerdings einen negativen Effekt auf den ACI.
- Es scheint, dass sobald die Bodentemperatur eine bestimmte Temperaturschwelle erreicht hat, fliehen die Bodentiere in tiefere (für uns nicht mehr hörbare), kühleren und feuchteren Schichten. Der ACI ist weniger stark.

Einschränkungen

- Wetter wie zum Beispiel Regen beeinflussen oder verunmöglichen Aufnahmen von Bodengeräuschen. Untersuchungen sollten deswegen über mehrere Stunden oder Tage gemacht werden.
- Direkter Vergleich von Geräuschkulisse und gefunden Taxa in Bodenproben sind in gewisser Weise eingeschränkt, weil gerade grössere Organismen wie Käfer vor der Bodenbeprobung fliehen können.
- Es wird vermutet, dass eine noch nähere Beziehung zwischen Vergesellschaftungsangaben gefunden worden wären, wenn die Messungen an die Aktivität und nicht die Dichte der Bodentiere festgemacht worden wäre.
- Spezifische Tiere mit einzelnen Frequenzen zu evaluieren wäre ein spannender nächster Schritt - z.B. automatische Erkennung durch ein Programm von einzelnen Spezies und Arten.

Literaturverzeichnis

- [1] BAFU Bundesamt für Umwelt (Hrsg.) (2017). Boden in der Schweiz. Zustand und Entwicklung Stand 2017. Umwelt-Zustand Nr. 1721. Bern.
- [2] BAFU, Unser Wald (n.d.) *Rote Waldameise: Zuckermäuler des Waldes*. Webseite. <https://www.wald-vielfalt.ch/walderlebnis/rote-waldameise/detail>. (Zugriff 06.12.2023).
- [3] Baroni-Urbani, C., Buser, M.W. & Schilliger, E. (1988). Substrate vibration during recruitment in ant social organization. *Ins. Soc* 35, S. 241–250.
<https://doi.org/10.1007/BF02224057>.
- [4] Baier, T. Süddeutsche Zeitung (12.11.2015). *Ameisenstaaten: Der Superorganismus*. Webseite. <https://www.sueddeutsche.de/wissen/ameisenstaaten-der-superorganismus-1.2732052>. (Zugriff 06.12.2023).
- [5] Bayer, S. (n.d.). Grundlagen zum Thema Einzeller – das Wechseltierchen (Amöbe). Sofatutor. Webseite. <https://www.sofatutor.ch/biologie/videos/einzeller-das-wechseltierchen-amoebe> (Zugriff 06.12.2023).
- [6] Bayer, S. (n.d.). Grundlagen zum Thema Tausendfüsser und Hundertfüsser. Sofatutor. Webseite. <https://www.sofatutor.ch/biologie/videos/tausendfuesser-und-hundertfuesser> (Zugriff 06.12.2023).
- [7] Beratungsstelle Ameisenschutz beider Basel (n.d.) Ameise ist nicht gleich Ameise. Ameisenzeit. Webseite. <https://www.ameisenzeit.ch/waldameise/>. (Zugriff 06.12.2023).
- [8] Bourbié, T., Coussy, O., and Zinszner, B. *Acoustics of porous media*, Gulf Publishing Co., Houston, TX. 1987.
- [9] Bundesamt für Naturschutz. (n.d.). Ameisen – Nützliche Helfer. Naturdetektive. Webseite. <https://naturdetektive.bfn.de/lexikon/zum-lesen/tiere/insekten-spinnen/ameisen-nuetzliche-helfer.html> (Zugriff 06.12.2023)
- [10] Guntern, J., Baur, B., Ingold, K., Stamm, C., Widmer, I., Wittmer, I. & Altermatt, F., (2021) Pestizide: Auswirkungen auf Umwelt, Biodiversität und Ökosystemleistungen. Scnat, Swiss Academies factsheets Vol. 16 (2), 12 S.
- [11] Kilousek, T., von Relowski, S. & Wagner, T. (2020). *Der Boden lebt!: Bodenschutz im Kleingarten*. Office International du Coin de Terre et des Jardins Familiaux.
- [12] Laukötter, Dr. G., (2004): *Wir beleben die Böden in NRW: Begleitinformationen zum NUA Poster*. Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes Nordrhein-Westfalen (NUA) (Hrsg.) 2. Ausgabe, 4 S.
- [13] Lu, Z. & Sabtier, J.M. (2009). Effects of Soil Water Potential and Moisture Content on Sound Speed. National Center for Physical Acoustics. The University of Mississippi. 73 (5). S.1615-1625.
- [14] Maeder M, Gossner MM, Keller A, Neukom M. (2019). Sounding soil: An acoustic, ecological artistic investigation of soil life. *Soundscape Journal.*; 18, S. 005–014.
- [15] Maeder M, Guo X, Neff F, Schneider Mathis D, Gossner MM (2022) Temporal and spatial dynamics in soil acoustics and their relation to soil animal diversity. PLOS ONE 17(3): e0263618. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263618>
- [16] Mankin, R. W., Hagstrum, D. W., Smith, M. T., Roda, A. L., Kairo, M. T. K. (2011). Perspective and Promise: a Century of Insect Acoustic Detection and Monitoring, *American Entomologist*, Volume 57, Issue 1, Spring 2011, Pages 30–44, <https://doi.org/10.1093/ae/57.1.30>.

Sounding Soil

- [17] Markl, H., (1965). Stridulation in Leaf-Cutting Ants. *Science*. Science. 149 (3690). S. 1392-1393. DOI:10.1126/science.149.3690.1392.
- [18] Mäder, P., Steffens, M., Krauss, M., Fliessbach, A., Krausse H., Skinner, C., Lori, M., Bongiorno, G., Klais, M., Arncken, C., Dierauer, H., Bünemann, E., Müller, A., Niggli, U. & Gattinger, A. (2020). *Boden und Klima: Klimawirkungen der biologischen Bodenbewirtschaftung*. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL (Hrsg.). Faktenblatt Nr. 2517. 8 S.
- [19] Minol, K. (n.d.) Protozoen. Planzenforschung.de. Webseite. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/protozoen-641>. (Zugriff 06.12.2023).
- [20] Onmeda-Redaktion (11.05.2022). Protozoen. Webseite. <https://www.onmeda.de/krankheiten/parasiten/protozoen-id200429/> (Zugriff 06.12.2023).
- [21] Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz (n.d.) Hundertfüsser (Chilopoda). Webseite. <https://boden-tier-hochvier.de/erleben/hundertfuessler/> (Zugriff 06.12.2023).
- [22] SWISSOIL (2023). Was ist ein Boden?. Webseite. <https://wp.unil.ch/swissoil/introduction/#:~:text=Le%20sol%20est%20%C3%A9galement%20une,sol%20de%20seulement%2010%20cm%20!> (Zugriff : 06.12.2023).
- [23] Walser, M., Schneider Mathis, D., Köchli, R., Stierli, B., Maeder, M. & Brunner, I., (2021). Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen. Eidg. Forschungsanstalt WSL (Hrsg.). 2. überarbeitete Aufl. Merkbl. Prax. 60. 12 S.
- [24] Verbands Schweizer Waldameisen-Schutz in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Waldameisen der Stadt Zug (n.d.) Ameise ist nicht gleich Ameise. Webseite: <http://www.waldameisen.ch/home.html> (Zugriff 06.12.2023).
- [25] Torffreie Erde Oecoplan Universalerde 40L kaufen bei JUMBO erhältlich unter: <https://www.jumbo.ch/de/pflanzen-anzucht/erden-substrate/outdoorerde/universalerden/oecoplan-universalerde-40l/>
- [26] Gartentipps: So wird aus Abfall Kompost - NABU unter: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/balkon-und-garten/pflege/duengung/>.
- [27] Pfiffer, L. (07.03.2012). Regenwürmer – Baumeister fruchtbare Böden. Webseite. www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/pflanzenbau-allgemein/boden/allgemein/regenwurm (Zugriff 15.12.2023).