

Das Bodenmikrobiom



Autor:innen Birli Barbara, Gorfer Markus, Miklau Marianne, Schwaiger Elisabeth,
Färber Barbara

Lektorat Klara Brandl

Layout Thomas Lössl

Illustration © Umweltbundesamt

Coverfoto © Schwarz

Erstellt im Zuge des Projekts „Bodenmikrobiome und wichtige Ökosystemleistungen“ unter Förderung von DaFNE 2.0

Wien, 2022

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023
Alle Rechte vorbehalten

DAS BODENMIKROBIOM

Lehrmaterialien für landwirtschaftliche Schulen

Birli Barbara
Gorfer Markus
Miklau Marianne
Schwaiger Elisabeth
Färber Barbara



Mit Unterstützung von Bund und dafne.at

 Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus



WIEN 2023

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL 1: GRUNDLAGEN	4
TEIL 2: AUFGABENSTELLUNGEN FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE SCHULEN	10
Aufgabenstellung 1 – Filmsammlung	10
Aufgabenstellung 2 – Präsentation erarbeiten (vier Personen).....	12
TEIL 3: AUFGABENSTELLUNGEN FÜR ANDERE SCHULEN.....	13
Aufgabenstellung 3 – Interviews führen (2 Personen).....	13
Aufgabenstellung 4 – Film kritisch diskutieren	14
GLOSSAR ZU DEM BODENMIKROBIOM.....	15
LITERATURVERZEICHNIS	18
AUFLÖSUNGEN	19

TEIL 1: GRUNDLAGEN

Das Bodenmikrobiom - Kleine Lebewesen von großer Bedeutung

Ähnlich wie Mikroorganismen im Darm für unsere Gesundheit wichtig sind, sind kleine Bodenlebewesen, das Mikrobiom, für das Gedeihen von Pflanzen bedeutend. Dazu zählen u. a. Bakterien, Pilze, Algen und Einzeller.

Sie spielen eine zentrale Rolle für den Stoffkreislauf und die Versorgung mit Nährstoffen – und damit für das Pflanzenwachstum. Pilze und Bakterien leben oft in Symbiose mit ihren Wirtspflanzen (z. B. Knöllchenbakterien mit Hülsenfrüchten) – eine Verbindung von der beide Partner profitieren. Die Kleinlebewesen im Boden tragen auch wesentlich zur Stresstoleranz der Pflanzen und zur Abwehr von Schädlingen bei. Werden sie geschädigt, so werden auch die Pflanzen geschwächt, es kommt zu einer Verarmung des Humus und zur Erosion. Der Erhalt des Mikrobioms und dessen Funktionen in den Böden ist daher essenziell.

Edaphon ist die Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen

Ein Gramm Boden enthält etwa 10^{10} Bakterien mit bis zu 50 000 unterschiedlichen Bakterienarten und bis zu 200 m Pilzfäden. Rund 25 % der Arten auf der Erde leben im Boden. Das sind beispielsweise Bakterien, Pilze, Nematoden (Fadenwürmer), Regenwürmer, Insekten, Spinnentiere und Tausendfüßer. Die Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen wird als **Edaphon** bezeichnet. Die Einteilung des Edaphons in Mikroflora, Mikrofauna, Mesofauna und Makrofauna erfolgt anhand des Körperdurchmessers der Organismen.

Was sind typische Vertreter des Bodenmikrobioms?

Mikroorganismen als Teil des Bodenmikrobioms ...

Zum Bodenmikrobiom zählen die kleinsten Lebewesen mit einer Größe von unter 100 µm Körperdurchmesser, also die Mikroflora und die Mikrofauna. Bakterien, Archaea (Einzeller), Mikroalgen und Pilze sind der Mikroflora zuzuordnen, während Einzeller wie Pantoffeltierchen oder Amöben zur Mikrofauna zusammengefasst werden. Gemeinsam sind sie an den vielfältigen Stoffumsetzungen im Boden beteiligt.

... machen Nährstoffe aus abgestorbenen Pflanzenmaterial wieder verfügbar

Abgestorbenes Pflanzenmaterial wird durch die Makrofauna, beispielsweise Asseln und Tausendfüßer, sowie durch die Mesofauna, wie etwa Springschwänze, zerkleinert. Die Mikroorganismen können dann die Reste weiter abbauen. Pilze können eine große Menge an extrazellulären Enzymen bilden, mit denen komplexe Pflanzenbestandteile, wie Proteine, Zellulose, Hemizellulosen und Lignin, in einfachere Grundbausteine zerlegt werden. Auch schwer abbaubare tierische Substanz, wie das im Horn enthaltene Keratin, kann von Pilzen verwertet werden. Durch diese Prozesse werden in der Biomasse gebundene Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Schwefel wieder für das Pflanzenwachstum verfügbar gemacht. Bakterien und Archaea sind an der Umformung weniger komplexer Substrate (z. B. Zucker, Oligosaccharide,) beteiligt.

...mobilisieren mineralische Nährstoffe

Mikroorganismen können jedoch nicht nur organische Substanz umwandeln, sondern können auch mineralische Nährstoffe aus komplexen Verbindungen herauslösen und damit beispielsweise Phosphat verfügbar machen. Besonders

effizient sind hier die sogenannten arbuskulären Mykorrhizapilze (vergl. Beispiel in der Textbox), die in Symbiose mit vielen unserer Kulturpflanzen leben. Der Pilz besiedelt die Wurzeln der Wirtspflanze und wird von ihr mit Kohlenhydraten aus der Photosynthese versorgt. Im Gegenzug kann der Pilz Phosphat und andere mineralische Nährstoffe aus dem Boden mobilisieren und an die Pflanze weitergeben.

Beispiele für mikrobielle Prozesse im Stickstoffzyklus.

Der in großen Mengen in der Luft enthaltene **Stickstoff** kann durch Bakterien und Archaea fixiert werden, d. h. Distickstoff (N_2) wird in Ammonium (NH_4) umgewandelt. Das Ammonium kann dann von anderen Mikroorganismen, aber auch von den Pflanzen verwertet werden.

Die Stickstofffixierung ist ein sehr energieintensiver Prozess, daher fixieren die jeweiligen Mikroorganismen kaum mehr Stickstoff als sie selbst benötigen. Hülsenfrüchte können die Fähigkeit zur Stickstofffixierung der Rhizobien (Knöllchenbakterien) sehr effizient nutzen. In den Wurzelknöllchen leben symbiotische Rhizobien, die von der Pflanze über Kohlenhydrate mit Nährstoffen und Energie versorgt werden. Im Austausch liefern die Knöllchenbakterien Ammonium. Damit können Hülsenfrüchte sehr proteinreiche Biomasse und vor allem sehr proteinreiche Samen (z. B. Bohnen, Linsen, Erbsen) bilden.

Bei einem Überschuss an Ammonium im Boden kann das Ammonium von speziellen Bakterien und Archaea in Nitrat (NO_3^-) umgewandelt werden. Dieser Prozess wird Nitrifizierung genannt **Nitrifizierung** führt, etwa infolge einer unsachgemäßen Düngung, zur Anreicherung von Nitrat im Grundwasser sowie zur Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) von Gewässern. Unter anaeroben Bedingungen kann das Nitrat von Mikroorganismen auch statt Sauerstoff für die Atmung genutzt werden. Es entstehen dabei die gasförmigen Verbindungen Distickstoff (N_2) und Distickstoffmonoxid (Lachgas; N_2O). Beide entweichen in die Atmosphäre und sind damit für die Pflanzen nicht mehr verfügbar. Da mit diesem Prozess ein Verlust von Stickstoff aus dem System Boden einhergeht, wird der Prozess **Denitrifizierung** genannt.

Die Produktion von Methan (CH_4) aus organischer Substanz kann ausschließlich von bestimmten Archaea durchgeführt werden. Da die Methanproduktion ein streng anaerober Prozess ist, findet man ihn in wassergesättigten Böden wie zum Beispiel beim Nassreisbau.

... sind unverzichtbar für den Nährstoffkreislauf

Ohne Mikroorganismen würden alle Nährstoffkreisläufe zum Erliegen kommen, und damit das gesamte Leben auf der Erde!

**... bekämpfen
Krankheitserreger**

Neben ihrer wichtigen Rolle bei den Nährstoffkreisläufen sind viele Mikroorganismen, vor allem die Pilze, aber auch gefürchtete Schadorganismen für Pflanzen. Bodenbürtige Schaderreger (wie *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Geaumannomyces*) können zu massiven Ernteeinbußen in der Landwirtschaft führen. Allerdings sind es häufig auch Mikroorganismen, die diese Schaderreger in Schach halten können. In sogenannten supressiven Böden (krankheitsunterdrückende Böden) können durch die Aktivität bodenbürtiger Mikroorganismen bestimmte Krankheiten verhindert werden. Aus Untersuchungen (Schlatter D, Kinkel L, Thomashow L, Weller D, Paulitz T (2017)) geht hervor, dass etwa bestimmte Bakterien im Boden Antibiotika produzieren, die das Wachstum der Schaderreger hemmen. Zusätzlich wird die Abwehr der Pflanze gestärkt, sodass es selbst bei Anwesenheit des Schaderregers zu keinen Krankheitssymptomen kommt.

**... verbessern die
Bodenstruktur**

Mikroorganismen haben eine entscheidende Rolle für die Bodenstruktur. Mikrobiell gebildete Schleime können Kleinstpartikel zu größeren Aggregaten zusammenschließen, die dann wiederum durch Pilzhyphen, also die fädigen Strukturen der Pilze, untereinander zusammengehalten werden. Dadurch wird eine gute Bodenstruktur gewährleistet, die Wasserhaltefähigkeit verbessert und die Erosion vermindert.

**... mobilisieren in der
Rhizosphäre die
Nährstoffe**

Bodenorganismen kommen in unterschiedlicher Dichte im Boden vor. So haben humusreiche Böden eine größere Menge an Mikroorganismen als verarmte Böden. Außerdem sind nahe der Wurzel die meisten Vertreter des Bodenmikrobioms. Die Wurzeln scheiden Exudate – wie organische Säuren, Aminosäuren, Zucker und Aminozucker – aus, die von den Mikroorganismen als Nährstoffe verwertet werden können. Die hohe mikrobielle Aktivität in der Rhizosphäre, also dem wurzelnahen Bodenraum, fördert die Nährstoffmobilisierung.

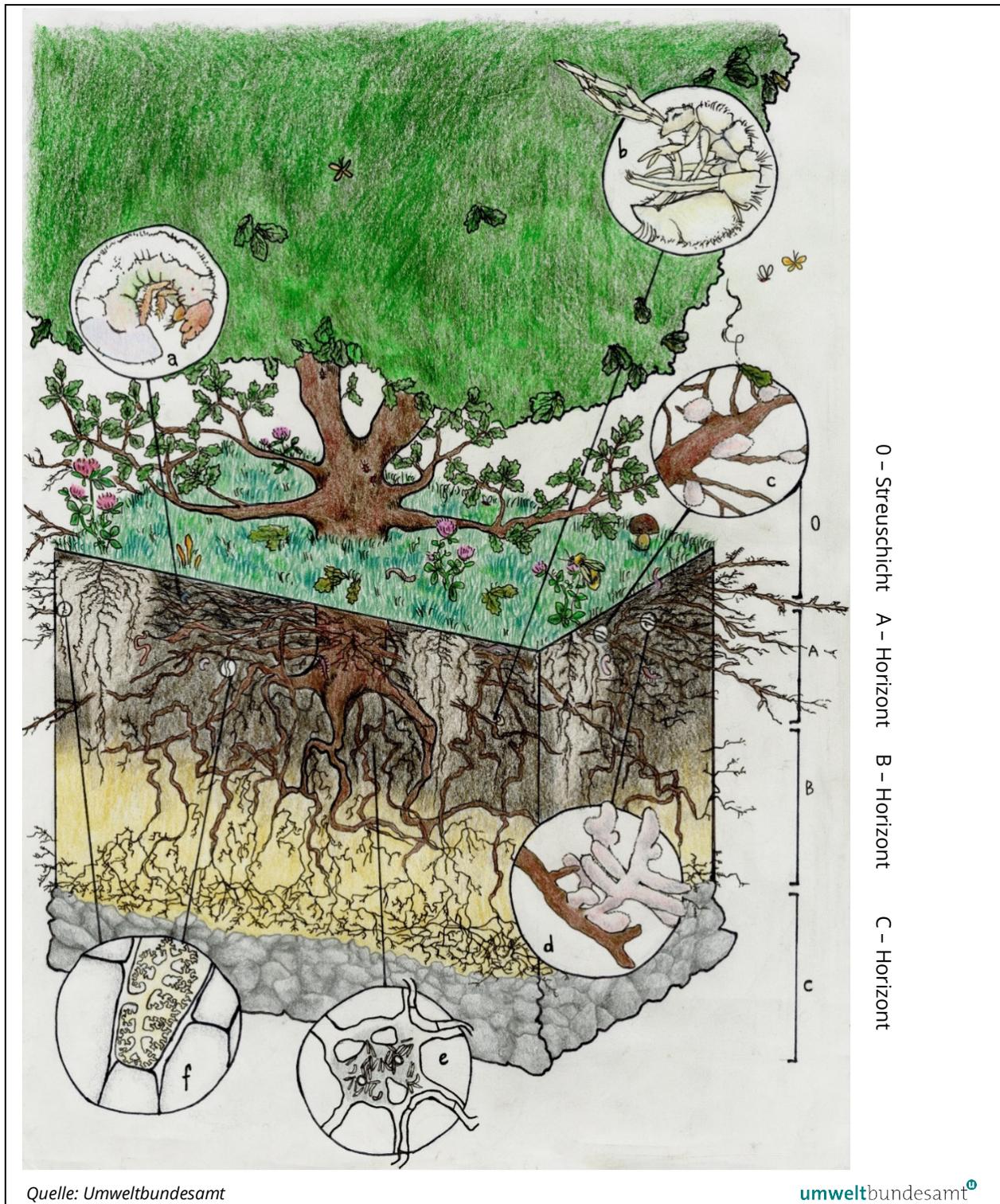
Wie alle anderen Lebewesen, leben auch Mikroorganismen nicht ewig. Abgestorbene mikrobielle Biomasse geht in Humus über. Zu den besonders stabilen Humusfraktionen zählen unter anderem Zellwände von Bakterien und insbesondere von Pilzen.

Das Bodenmikrobiom hilft bei Trockenstress und Krankheitsabwehr

Pilze bilden mit Pflanzen eine Symbiose, die Mykorrhiza. Die Pilzhyphen können die Pflanzen besser mit Wasser und Mineralstoffen versorgen als die nur 0,1 mm langen Wurzelhaare der Pflanze, weil sie auch in die kleinsten Bodenporen vordringen können.

Mikroorganismen produzieren außerdem Substanzen wie z. B. Auxine, Sekundärmetaboliten, Siderophore, die einen positiven Einfluss auf das Pflanzenwachstum oder die Pflanzengesundheit haben. So können Krankheitserreger unterdrückt werden oder Gegenspieler von Krankheitserregern gefördert werden. Das Mikrobiom spielt daher eine Schlüsselrolle für eine Vielzahl biologischer Funktionen in landwirtschaftlichen Anbausystemen.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über das Leben im Boden:



Quelle: Umweltbundesamt

umweltbundesamt[®]

Der Boden lebt. (a) Käferlarve; (b) Springschwanz; (c) Wurzel von Klee mit Wurzelknöllchen, in denen Rhizobien den Luftstickstoff fixieren und damit für die Pflanze verfügbar machen; (d) Wurzeln der Eiche, die mit einem Ektomykorrhizapilz eine Symbiose eingehen, um Nährstoffe auszutauschen – der Fruchtkörper des Ektomykorrhizapilzes Rotfußröhrling ist oberirdisch sichtbar; (e) Bakterienzellen und Pilzhyphen, die die feinsten Bodenpartikel und Poren besiedeln; (f) Arbuskulärer Mykorrhizapilz, der in einer Wurzelzelle die typischen Strukturen zum Austausch von Nährstoffen zwischen den Symbiosepartnern ausbildet.

Was kann der/die Landwirt:in konkret tun, um das Bodenmikrobiom zu fördern?

Veränderungen in der Bodenstruktur, im Wasserhaushalt und in der Sauerstoffversorgung reduzieren die Erträge und verändern das Bodenmikrobiom und dessen Stoffwechsel langfristig.

Folgende Maßnahmen können empfohlen werden:

- Der Anbau von **Zwischenfrüchten** (z. B. abfrostdende Begrünungen,) ist inzwischen in der Landwirtschaft weit verbreitet und leistet einen Beitrag zur Verbesserung des Bodenmikrobioms, der Wasserhaltefähigkeit und des Humusgehaltes des Bodens. Eine Zwischenbegrünung verhindert Nährstoffverluste in einer sonst vegetationsfreien Zeit. Ebenso reduziert die Zwischenbegrünung die Bodenerosion. Ein möglichst ganzjähriger Bewuchs auf den Flächen ist daher für das Bodenleben günstig.
- Eine **vielgliedrige Fruchtfolge** fördert die mikrobielle Vielfalt im Boden, erhöht die Stabilität der Bodenaggregate und verhindert eine Verbreitung von Krankheiten. Je mehr Kulturen auf einem Feld zirkulieren, desto mehr profitieren Böden und Pflanzen. Das Bodenleben und die Boden-nährstoffe werden jedes Jahr unterschiedlich beansprucht. Mit dem Einsatz von Körner-leguminosen werden zusätzlich Knöllchenbakterien in den Boden gebracht, die Luftstickstoff binden können und keine Stickstoffdüngerzufuhr brauchen.
- Eine **ausgewogene Düngung** fördert das Bodenleben und den Pflanzenertrag. Die meisten Bodenorganismen bevorzugen lockere, gut durchlüftete, warme, mäßig saure bis neutrale (pH 5,0–7,0), nährstoffreiche Böden mit einem ausgeglichenen Bodenwasserhaushalt. Eine Bodenuntersuchung gibt Auskunft über die Nährstoffverhältnisse und den optimalen Düngerbedarf. So kann beispielsweise bei einem zu niedrigen pH-Wert eine Kalkung zur Förderung des Bodenlebens durchgeführt werden.
- **Phosphorgaben** und Pflanzenschutzgaben reduzieren. Zu hohe Phosphat- und Pestizidgehalte im Boden wirken den arbuskulären Mykorrhizapilzen entgegen. Arbuskuläre Mykorrhizapilze verbessern nicht nur die Phosphatversorgung der Pflanze, sondern auch deren Resistenz gegen abiotischen (z. B. Trockenheit) und biotischen (z. B. Schaderreger) Stress. Insgesamt sind Böden mit reicheren Pilzgemeinschaften (z. B. Mykorrhizapilzen) besser in der Lage, Nährstoffe zu binden und sie leiden weniger unter Klimawandelauswirkungen, wie Trockenheit.
- Einsatz **schwerer Maschinen** reduzieren, weil bei ungünstigen Bedingungen diese den Boden verdichten und die bodenbiologische Aktivität negativ beeinflussen (z. B. durch schlechtere Durchwurzelung, geringere Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit).
- Eine **reduzierte Bodenbearbeitung, Mulch- und Direktsaat** leistet einen Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit. Der Verzicht auf tiefe und intensive Lockerung schont die Bodenstruktur, das Bodenleben, verhindert den Humusabbau und unterstützt die bodenmikrobiologischen Prozesse.

- **Erosionsschutzmaßnahmen** verhindern den Bodenabtrag und leisten somit in weiterer Folge einen Beitrag zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der bodenmikrobiologischen Aktivität.

TEIL 2: AUFGABENSTELLUNGEN FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE SCHULEN

Aufgabenstellung 1 – Filmsammlung

Wählen sie aus der Filmliste einen der vorgeschlagenen Filme aus, lesen sie in Ruhe die Aufgabenstellung und führen sie die Aufgabe durch:

1. Gesundes Obst - worauf es wirklich ankommt! Mikrobiom fördern durch regenerative Landwirtschaft
<https://www.youtube.com/watch?v=qcEKLi08960>
2. Mikroben statt Dünger. Geht das, Samuel?
https://www.youtube.com/watch?v=AE_UctAwCck
3. MicrobiomeSupport (dt)
<https://www.youtube.com/watch?v=sRLhEQjk7AQ>
4. MicrobiomeSupport(en)
<https://www.youtube.com/watch?v=ECZqyxMxHA>

- zu 1)** Sehen sie sich den Film „**Gesundes Obst - worauf es wirklich ankommt**“ an. Dieser Film beschreibt die Möglichkeiten zur Nutzung des Bodenmikrobioms für den Obstbau in Form eines Interviews.

<https://www.youtube.com/watch?v=qcEKLi08960>

In welcher Reihenfolge werden folgende Begriffe genannt?

Reihenfolge der Nennung	Begriff
	Monokultur
	geopolitische Frage
	Klimawandel
	Konkurrenz minimieren
	Pilznetzwerk
	Bodenmikrobiom
	Standort
	Obstanlage
	Kompost

- zu 2.)** Sehen sie sich den Film „**Mikroben statt Dünger. Geht das, Samuel?**“ an. In diesem Film begleiten sie Samuel Kroll, Science Slamer und Wissenschaftler, zum Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln.

https://www.youtube.com/watch?v=AE_UctAwCCK

In welcher Reihenfolge werden folgende Begriffe genannt?

Reihenfolge der Nennung	Begriff
	Petrischale
	Ernte
	Bodenschicht
	Diversität
	Phosphormangelbedingungen
	Profil
	Stressbewältigung

- zu 3)** Sehen sie sich den Film „**MicrobiomeSupport**“ an. Dieser Film handelt vom Zusammenhang zwischen Landwirtschaft, Mensch und dem Mikrobiom und zählt die Leistungen, die das Mikrobiom für den Menschen erbringt auf.

<https://www.youtube.com/watch?v=sRLhEQjk7AQ>

In welcher Reihenfolge werden folgende Begriffe genannt?

Reihenfolge der Nennung	Begriff
	mikrobielle Mischungen
	Herausforderungen
	Lebensmittelkette
	Fermentieren
	Erde

- zu 4)** Sehen sie sich den Film „*MicrobiomeSupport*“ an. Dieser Film in englischer Sprache, handelt vom Zusammenhang zwischen Landwirtschaft, Mensch und dem Mikrobiom und zählt die Leistungen, die das Mikrobiom für den Menschen erbringt, auf.

<https://www.youtube.com/watch?v=ECZqyxMcxHA>

In welcher Reihenfolge werden folgende Begriffe genannt?

Reihenfolge der Nennung	Begriff
	Food fermentation
	Nutrition
	Challenges
	Soil
	Scientists

Aufgabenstellung 2 – Präsentation erarbeiten (vier Personen)

Lesen sie den Text der Lehrmaterialien, Seite 4 bis 7 oder sehen sie sich mindestens zwei der Filme aus der Filmliste an. Überlegen sie welche Auswirkungen die Beachtung des Boden Mikrobioms für den/die Landwirt:in hat. Dabei kann der familiäre Betrieb oder ein fiktiver Betrieb herangezogen werden.

Bilden sie eine Kleingruppe von vier Personen, sie führen gemeinsam einen Betrieb. Legen sie Größe und Ausrichtung fest (konventionell/nach Bio Richtlinien). Gerne kann der familiäre Betrieb herangezogen werden.

- Wie könnten sie das im Film/Text vermittelte Wissen am besten im eigenen Betrieb umsetzen?
- Welche Vorteile, welche Nachteile ergeben sich?

Diskutieren sie in der Kleingruppe und erstellen sie im Anschluss eine Power Point Präsentation mit dem Titel „*Nutzung des Bodenmikrobioms für den eigenen Betrieb*“.

TEIL 3: AUFGABENSTELLUNGEN FÜR ANDERE SCHULEN

Aufgabenstellung 3 – Interviews führen (2 Personen)

In dieser Aufgabe nimmt eine Person die Rolle des/der landwirtschaftlichen Berater:in ein und eine andere Person die Rolle eines/einer Landwirt:in, der/die bei der Beratungsstelle anruft, um das aktuelle Wissen rund um Bodenmikrobiome abzufragen.

- Was würden sie dieser Person raten, wovon würden sie abraten?

Bereiten sie die Inhalte vor und stellen sie das Gespräch im Klassenzimmer nach.

alternativ dazu: Stellen sie sich vor, sie wären ein/eine Expert:in für Bodenmikrobiome und ein/eine Schüler:in ruft sie an, weil er/sie ein Bodenmikrobiomprojekt macht.

- Was würden sie dem/der Schüler:in raten?
- Was ist das Wichtigste, das er/sie über Bodenmikrobiome wissen muss?
- Wo kann er/sie sich weiter informieren?

Bereiten sie ein Gespräch (in Interviewform) zwischen Schüler:in und Expert:in vor und stellen sie dieses in der nächsten Einheit im Klassenzimmer nach. Nennen sie mindestens drei Quellen, die sie zur Vorbereitung des Gesprächs verwendet haben (Internetrecherche, Filme, Zeitschriften ect.).

Aufgabenstellung 4 – Film kritisch diskutieren

Sehen sie sich den Film „*Der Boden ist ein lebender Organismus*“ an. In diesem Film werden die Zusammenhänge zwischen Wurzeln, Nährstoffaufnahme und landwirtschaftlichen Praktiken dargestellt.

<https://www.youtube.com/watch?v=X60K8ShN9E4>

In welcher Reihenfolge werden folgende Begriffe genannt? Tragen sie die richtige Reihenfolge ein. (1,2,3,4,5)

Reihenfolge der Nennung	Begriff
	Batterie
	Interaktion
	schwere Maschine
	Bodenleben
	Chlorophyll

- Was fällt ihnen an diesem Film auf?
- Was sehen sie kritisch, welche Aspekte sind zu befürworten?
- Was würden sie, wenn sie einen Lehrfilm produzieren würden, gegebenenfalls anders machen?

GLOSSAR ZU DEM BODENMIKROBIOM

Biomasse	Mit dem Begriff Biomasse wird die Stoffmasse von Lebewesen (Pflanzen, Tieren) bezeichnet. Als Menge dieser Stoffgemische gilt ihre Masse (Einheit: Kilogramm).
Bodenfruchtbarkeit	Die Bodenfruchtbarkeit ist die Fähigkeit eines Bodens, Frucht zu tragen, d. h. den Pflanzen als Standort zu dienen und nachhaltig regelmäßige Pflanzenerträge von hoher Qualität zu erzeugen. Synonym dazu werden die Begriffe Ertragsfähigkeit oder Produktivität des Bodens verwendet. Gemessen wird die Bodenfruchtbarkeit am Ertrag. Auf Naturböden ist das Maß für diesen Ertrag der jährliche Zuwachs an organischer Substanz der Vegetation, ergänzt um Angaben zu ihrer Vielfalt.
Bodenleben	Aktivität der Bodenlebewesen, die in pflanzliche (Bodenflora) und tierische (Bodenfauna) unterschieden werden. Mögliche Zusammensetzung der Bodenlebewesen (Edaphon): 40 % Bakterien, insbesondere Actinomyceten, 40 % Algen und Pilze, 12 % Regenwürmer, 5 % übrige Makrofauna: Polychaeten, Gastropoda, Arachnida etc. 3 % übrige Mikrofauna: Nematoden, Milben, Collembolen etc.
Bodenstruktur	Das Bodengefüge (auch Bodenstruktur) beeinflusst maßgeblich den Wasser- und Lufthaushalt, die Durchwurzelbarkeit sowie die Verfügbarkeit der Nährstoffe. Allgemein gilt: Je gröber das Gefüge eines Bodens und/oder je dichter gepackt die einzelne Gefügeeinheit ist, desto ungünstiger sind dessen Bodeneigenschaften. Günstiges Aggregat - vor allem „Krümelgefüge“ entsteht nur in humosen Oberböden mit starker biologischer Aktivität. Zusätzlich kann Kalk (Kalziumkarbonat; CaCO_3), als Kitt- und Stützsubstanz stabilisierend wirken.
Durchlüftung	Versorgung des Bodens mit Luft, abhängig von Porenvolumen, Porenverteilung und Wassergehalt des Bodens.
Erosion	Abtrag von Gestein und Boden durch Wind, Wasser, Eis etc.
Erosionsanfälligkeit	Als erosionsanfällig bezeichnet man Böden mit folgenden Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> • geringe Porenvolumina für gute Wasserversickerung, • Neigung zur Oberflächenverdichtung und geringe Stabilität des Bodenkörpers, • Bodenart - da diese die Erosionsanfälligkeit des Bodens beeinflusst. Sandige und schluffige Böden weisen eine erhöhte Erosionsanfälligkeit auf. Das Relief wirkt auf die Geschwindigkeit und Menge des abfließenden Wassers: <ul style="list-style-type: none"> • je größer die Hangneigung, desto schneller fließt das Wasser ab und die Erosionswirkung wird stärker,

	<ul style="list-style-type: none"> • bei langen Hängen und bei Oberflächenformen, bei denen sich das Wasser mehrerer Hänge sammelt, erhöht sich die Menge des Abflusses. <p>Je geringer die Bodenbedeckung ist, desto größer ist die Erosionsanfälligkeit.</p>
Eutrophierung	Der Begriff „eutroph“ stammt aus dem Griechischen (eu trophos) und bedeutet „gut ernährt“. Ausgelöst wird Eutrophierung durch menschliche Aktivitäten die zu einer Anreicherung von Nährstoffen in ursprünglich nährstoffarmen Gewässern führen. Algen und Wasserpflanzen können dann übermäßig wachsen und entziehen anderen Pflanzenarten, vielen Kleinlebewesen und Tieren die Lebensgrundlage.
Metabolisierung	Dabei wandelt ein Organismus chemische Stoffe in Zwischenprodukte (Metaboliten).
Mineralisierung	Der natürliche Abbau von organischem Material in chemische Elemente. Der Abbau organischen Materials in der Natur erfolgt in zwei Schritten: Auf die grobe Zersetzung durch Mikro-, Meso- und Makrofauna folgt die komplette Aufspaltung - Mineralisierung - der kohlenstoff-, sauerstoff- und wasserstoffhaltigen Substanzen durch Mikroorganismen (biologische Oxidation). Nach vielen Zwischenstufen entstehen schließlich Kohlenstoffdioxid (CO ₂), Wasser (H ₂ O), sowie Ammonium (NH ₄ ⁺), Phosphat (PO ₄ ²⁻), Nitrit (NO ₂ ⁻), Nitrat (NO ₃ ⁻) und weitere anorganische Verbindungen. (wikipedia)
mikrobielle Aktivität	Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen.
Mikroflora	Lebewesen mit einer Größe von unter 100 µm Körperdurchmesser, etwa Bakterien, Archaea, Mikroalgen und Pilze.
Mikrofauna	Bodenlebende Tiere, die kleiner als 0,2 mm sind.
Makrofauna	Bodenlebende Tiere, die im Größenbereich von 0,2 mm bis 20 mm liegen.
Mykorrhiza	Bezeichnet die symbiotische Verbindung des Pilzgeflechtes mit den Feinwurzeln der Bäume, wodurch der Austausch von Wasser und Nährstoffen zwischen den beiden Organismen unterstützt wird. Pflanzen erhalten mehr Wasser über die Pilzhyphen und die Pilze erhalten im Gegenzug Zucker von den Pflanzen.
Nährstoffmobilisierung	Nährstoffe werden freigesetzt, diese können von Pflanzenwurzeln aufgenommen oder ins Grundwasser ausgewaschen werden.
Nährstoffnachlieferung	Die Fähigkeit eines Bodens Nährstoffe für die Pflanzen zur Verfügung zu stellen, hängt u. a. vom Ausgangsmaterial der Bodenbildung, der Bodenart, der biologischen Aktivität, den Wasser- und Temperaturverhältnissen ab.
Naturhaushalt	Der Naturhaushalt ist die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen allen Bestandteilen der Umwelt und der Natur. Die Bestandteile der Umwelt werden grob in abiotische Schutzgüter (Boden, Wasser, Luft/Klima) und biotische Schutzgüter (Mensch, Pflanzen, Tiere, Biotope und Biozönosen) unterteilt.
Resilienz	Widerstandsfähigkeit eines Ökosystems gegenüber Störungen.

Ökosystem	Ökosystem bedeutet einen dynamischen Komplex von Gemeinschaften aus Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen sowie deren nicht lebender Umwelt, die als funktionelle Einheit in Wechselwirkung stehen.
Ökosystemleistungen	Fruchtbarer Boden, sauberes Trinkwasser oder Schutz vor Naturgefahren. Ökosystemleistungen sind Leistungen der Natur und werden vom Menschen genutzt, um sein Wohlergehen zu gewährleisten und seine Lebens- und Ernährungsgrundlage zu sichern. Viele dieser Ökosystemleistungen sind öffentliche Güter ohne Märkte und Preise.
Pilzhyphen	Es handelt sich um mikroskopisch dünne, fadenähnliche Geflechtsstrukturen, welche der Ausbreitung des Pilzes dienen. Diese durchziehen meist schon den gesamten Boden, bevor der Pilz dann austritt und an der Oberfläche als Fruchtkörper sichtbar wird.
Symbiose	Symbiose bedeutet das Zusammenleben von Individuen verschiedener Arten zum gegenseitigen Nutzen bzw. in gegenseitiger Abhängigkeit. Symbiosen können auftreten zwischen verschiedenartigen Tieren, verschiedenartigen Pflanzen, Pflanzen und Tieren, Pflanzen und Bakterien. Unter Symbiose im weiteren Sinne versteht man nach dem Botaniker und Mykologen Anton de Bary (1831-1888) „das Zusammenleben ungleicher Organismen“. Nach dieser Definition sind sowohl „Nützlinge“ wie „Schädlinge“ eines Organismus „Symbionten“. Jeder Organismus lebt unter natürlichen Bedingungen stets in Symbiose mit andern Organismen. Die Grenze zwischen „Nützlich“ und „Schädlich“ (Parasitismus) ist oft fließend.
Ton-Humuskomplexe	Ton-Humus-Komplex bezeichnet die Aggregatbildung von organischen Fragmenten wie Huminstoffen mit anorganischen Partikeln wie Tonmineralen.
Wasserspeicherfähigkeit	Fähigkeit des Bodens Wasser aufzunehmen und zu halten und wieder abzugeben. Ist u. a. abhängig von Bodenart und Humusgehalt.

LITERATURVERZEICHNIS

- BIRLI B., BOUSLAMA-WEISS S., HAAS A., HÖRHAGER G., KERSCHHOFER K. UND SCHWARZ S., 2015. *BodenReich - Lehrmaterialien für Jugendliche*. Forum Umweltbildung, ISBN: 978-3-900717-82-7. Österreich
- COBAN O., DE DEYN G. B. UND VAN DER PLOEG M., 2022. *Soil microbiota as game-changers in restoration of degraded lands*. *Science* 375, eabe 0725. DOI: 10.1126/science.abe0725.
- EUROPEAN COMMUNITIES - GARDI C. UND JEFFERY S. 2009. *Soil Biodiversity*. JRC Scientific and Technical Reports. ISBN: 978-92-79-11289-8. Luxembourg.
- FLIESSBACH A., OBERHOLZER H.-R., GUNST L. UND MÄDER P., 2007. *Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007) 273-284.
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (FIBL) – HEGGLIN D., CLERC M. UND DIERAUER H., 2014. *Reduzierte Bodenbearbeitung. Umsetzung im biologischen Landbau*. Merkblatt im Rahmen des Projektes „Boden- und klimaschonender Bio-Ackerbau“, Schweiz.
- GORFER, M. UND SESSITSCH A., s.a. *Soil Health. A child-centric microbiology education framework*, AIT Austrian Institute of Technology, Center for Health & Bioresources, Bioresources Unit, Tulln, Austria.
- JÖRG J., 2016. *Das Mikrobiom, Hygiene und Antibiotika – Unterrichtsmaterialien und Experimente für die Schule*. Diplomarbeit. Innsbruck.
- RUSSEL D. J., s.a. *Die guten Geister im Untergrund. Organismen im Boden*. Präsentation. Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz. Görlitz.
- SCHLATTER D, KINKEL L, THOMASHOW L, WELLER D, PAULITZ T (2017) *Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome*. *Phytopathology* 107: 1284-1297. doi: 10.1094/phyto-03-17-0111-rvw.
- THIELE-BRUHN S., DE VRIES F., KALBITZ K., AND C. WAGG, 2012. *Linking soil biodiversity and agricultural soil management*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2012.
- TROGNITZ F. UND SESSITSCH A., s.a. *The Plant Microbiome. A child-centric microbiology education framework*, AIT Austrian Institute of Technology, Center for Health & Bioresources, Bioresources Unit, Tulln, Austria.
- VAN DER HEJIDEN M. UND SCHLÄPPI K., 2018. *Das Bodenmikrobiom und seine Funktion steuern*. Präsentation. Eidgenössisches Department für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Schweiz.

Links

[Pflanzenforschung.de](https://pflanzenforschung.de)

AUFLÖSUNGEN

Auflösung Film 1 „Gesundes Obst - worauf es wirklich ankommt“
<https://www.youtube.com/watch?v=qcEKLi08960>

Reihenfolge der Nennung	Begriff
2	Monokultur
9	geopolitische Frage
7	Klimawandel
4	Konkurrenz minimieren
5	Pilznetzwerk
3	Bodenmikrobiom
6	Standort
1	Obstanlage
8	Kompost

Auflösung Film 2 „Mikroben statt Dünger. Geht das, Samuel?“
https://www.youtube.com/watch?v=AE_UctAwCCK

Reihenfolge der Nennung	Begriff
4	Petrischale
1	Ernte
3	Bodenschicht
6	Diversität
5	Phosphormangelbedingungen
2	Profil
7	Stressbewältigung

Auflösung Film 3 „Mikrobiom Support“ (de)
<https://www.youtube.com/watch?v=sRLhEQjk7AQ>

Reihenfolge der Nennung	Begriff
3	mikrobielle Mischungen
4	Herausforderungen
5	Lebensmittelkette
2	Fermentieren
1	Erde

Auflösung Film 4 „Mikrobiom Support“ (en)
<https://www.youtube.com/watch?v=ECZqyxMxHA>

Reihenfolge der Nennung	Begriff
3	Food fermentation
4	Nutrition
5	Challenges
2	Soil
1	Scientists

Auflösung Film 5 „Der Boden ist ein lebender Organismus“ (Aufgabenstellung 4)
<https://www.youtube.com/watch?v=X60K8ShN9E4>

Reihenfolge der Nennung	Begriff
5	Batterie
3	Interaktion
2	schwere Maschine
1	Bodenleben
4	Chlorophyll

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2023
Alle Rechte vorbehalten