

Lebendigen Boden begreifen

Erlebnisunterricht mit
der Humus-Biobox

Ein Anleitungs-Handbuch
für Pädagogen

Gefördert durch die NRW-Stiftung
für Umwelt und Entwicklung

Dipl. Landschaftsökologe Georg Heinrichs



Impressum:

Autor: Georg Heinrichs

Herausgeber: Umweltforum Münster e.V.
Zumsandestraße 15,
48145 Münster
Tel: 0251/136023
Fax 0251/136024
Mail: umweltforum@versanet.de
Web: www.umweltforum-muenster.de

Layout und
Grafikdesign: badura grafik, Münster www.badura.de

Das Handbuch wurde im Rahmen des Fortbildungskonzepts „Lebendigen Boden begreifen“ erarbeitet und von der NRW-Stiftung für Umwelt und Entwicklung gefördert.

Hauptbestandteil dieses Fortbildungs-Konzepts ist ein Workshop (eintägig, 8 Std. inkl. Bewirtung), bei dem die Teilnehmer das Handbuch und eine Medien-DVD als Arbeitsgrundlage erhalten.

Es ist aber auch möglich, das Handbuch gegen eine Schutzgebühr von 10,- € separat zu erwerben.

Der Workshop ist mit einer Teilnahmegebühr in Höhe von 95,- € über das Umweltforum zu buchen (Mindestteilnehmerzahl: 8 Personen) und wird in der Regel in Münster am Sitz des Umweltforums durchgeführt.

Sämtliche Materialien, die für die Durchführung des Erlebnisunterrichts notwendig sind, können über den Autor, Georg Heinrichs (Freiburger Weg 5, 48151 Münster, Tel: 0251/63456, Mail: heinrig@versanet.de), bezogen werden. Dies gilt auch für den Bezug von Kompostwürmern.

Der Autor kann auch direkt als Durchführender eines Erlebnisunterrichts von Schulen oder Bildungseinrichtungen angefragt werden.

Darüber hinaus kann beim Umweltforum ein hochwertiges Binokular gegen eine Gebühr von 30,- € /Tag sowie gegen eine Kautionsausleihe entnommen werden.

Inhalt

Vorwort	4
1. Definition des Lebensraums Boden	5
2. Entstehung und Entwicklung des Bodenkörpers	6
2.1. Physikalische und chemische Verwitterung	6
2.2. Bodenbildung durch biogene Faktoren	7
3. Bodenkörper und biologische Bodeneigenschaften	8
3.1. Mineralische und organische Substanz	8
3.2. Bodenaufbau und Bodenarten	9
3.3. Der Kreislauf der Stoffe	11
4. Die lebende organische Substanz (Edaphon)	14
4.1. Mikroorganismen	14
4.2. Meso- und Makrofauna	18
4.3. Regenwurm und Kompostwurm	20
5. Humus	24
5.1. Humusbildung und Humuseigenschaften	24
5.2. Die Bildung der Ton-Humus-Komplexe	25
5.3. Humusarten	26
5.4. Humusformen	26
6. Lebensraum (ohne) Boden? - Eine kritische Betrachtung	28
7. Die Humusbiobox	33
7.1. Wie es begann..	33
7.2. Das Prinzip der Wurm-Kompostierung	33
7.3. Der Wurmhumus	33
7.4. Die Ausstattung	34
7.5. Handhabung und Pflege	34
8. Der Erlebnisunterricht	37
Lerneinheit 1: Der Lebensraum des Regenwurms	39
Lerneinheit 2: Der Regenwurmschaukasten	41
Lerneinheit 3: Wir erforschen den Regenwurm	45
Lerneinheit 4: Die Humus-Biobox kennenlernen	50
Lerneinheit 5: Der Bau der Humus-Biobox	52
Lerneinheit 6: Kompostwurm und Regenwurm	54
Lerneinheit 7: Mit der Humus-Biobox in die Klasse	58
Lerneinheit 8: Die Inbetriebnahme der Humus-Biobox mit der Klasse	60
Anhang	
Kopiervorlagen für die Lerneinheiten	63
Baunaleitung für den Regenwurmschaukasten	71
Bauanleitung für Mini-Kompostkiste	72
Gedichte zum Boden	73
Vom Laubblatt zum Humus	75
Literaturverzeichnis	77

Vorwort

Die vorliegende Handreichung ist Hauptbestandteil des Projekts „**Lebendigen Boden begreifen**“, das von der NRW Stiftung für Umwelt und Entwicklung gefördert wurde.

Unter dem Dach des Umweltforums Münster e.V., eines Zusammenschlusses der Umwelt- und Naturschutzverbände in dieser Stadt, hat der Autor ein **Fortbildungskonzept** für Multiplikatoren aus dem schulischen und dem Umweltbildungsbereich entwickelt, das sich mit den Themen **Bodenleben**, **Kompost** und **Humus** befasst.

Ziel dieses Projekts ist es, interessierten Pädagogen sowie Multiplikatoren aus dem Bildungsbereich das notwendige theoretische und praktische Rüstzeug an die Hand zu geben, ebenfalls diesen Erlebnisunterricht mit der Humus-Biobox durchzuführen, um auf diesem Wege das ergiebige umweltpädagogische Potenzial der Kistenkompostierung in die Schulen zu bringen.

Das Fortbildungskonzept umfasst neben dem vorliegenden Handbuch noch eine Medien-CD, die den Multiplikatoren ausgewählte Fotos, Grafiken und Filmsequenzen zur Thematik an die Hand gibt, die sie später im Erlebnisunterricht multimedial einsetzen können.

Handbuch und CD gehören zur Ausstattung eines eintägigen **Workshops**, in dem der Autor das Fortbildungskonzept sowohl theoretisch (anhand einer Präsentation) als auch praxisorientiert und anwendungsbezogen vorstellt und erläutert.

Kontakt- und Anmeldungsunterlagen zum Workshop sind im Impressum des Handbuchs aufgelistet.

Mit diesem Projekt werden vor allem **Offene Ganztags-Grundschulen** angesprochen, die idealerweise noch zusätzlich einen Schulgarten betreiben, da hier die Sachunterrichts-Themen häufig engeren Bezug zu Boden, Pflanzen, Kompostierung und Ernährung haben. Darüber hinaus eignet sich der Erlebnisunterricht auch für **Vorschuleinrichtungen** oder für die **Klassen 5 bis 8 der**

weiterführenden Schulen. Hier liegt es im Ermessen der durchführenden Projektleiter, das Unterrichtskonzept an die altersbedingten Anforderungen der Schüler anzupassen.

In **Einrichtungen der Erwachsenenbildung** wie **Biologische Stationen** oder **Volkshochschulen** kann die vorliegende Thematik ebenfalls ihren Platz finden.

Grundsätzlich hängen Durchführbarkeit und Nachhaltigkeit eines solchen Projekts vom Engagement jener Personen ab, die sich dafür begeistern und den Erlebnisunterricht durchführen wollen.

Das vorliegende Handbuch wird im ersten Teil kurz und selektiv in die allgemeine Bodenthematik einsteigen. Für eine vertiefende Lektüre sei auf das ausführliche Literaturverzeichnis verwiesen.

Zum Inhalt des Handbuchs:

Zuerst werden die für den Erlebnisunterricht relevanten wissenschaftlichen Grundlagen zur Bodenentstehung, zur Humusbildung und zum Edaphon, der Bodenlebewesen-Gemeinschaft, kurz erläutert. Dabei wird auch die Bedeutung der Lebensgrundlage Boden für die gesamte terrestrische Ökosphäre sowie das aktuelle Gefährdungspotenzial dieser dünnen, aber lebenswichtigen Krume angesprochen.

Im Hauptteil wird der eigentliche Erlebnisunterricht vorgestellt. Dieser besteht aus insgesamt 8 Lerneinheiten, von denen die ersten 6 im Ganztags- und die letzten beiden im curricularen Klassenunterricht durchgeführt werden.

Im abschließenden Literaturverzeichnis werden die im Handbuch verwendeten Literaturquellen aufgelistet.



3. Bodenkörper und biologische Bodeneigenschaften

3.1. Mineralische und organische Substanz

Das **Bodengefüge** eines unverdichteten mitteleuropäischen Bodens setzt sich aus 45 % mineralischen und 7 % organischen Bestandteilen sowie aus 25 % Bodenluft und 23 % Bodenwasser zusammen.

Die Hälfte des Bodens besteht demnach aus netzartigen, teils mikroporösen wasser- oder luftgefüllten Hohlräumen, was dem Boden eine schwammartige Struktur verleiht.

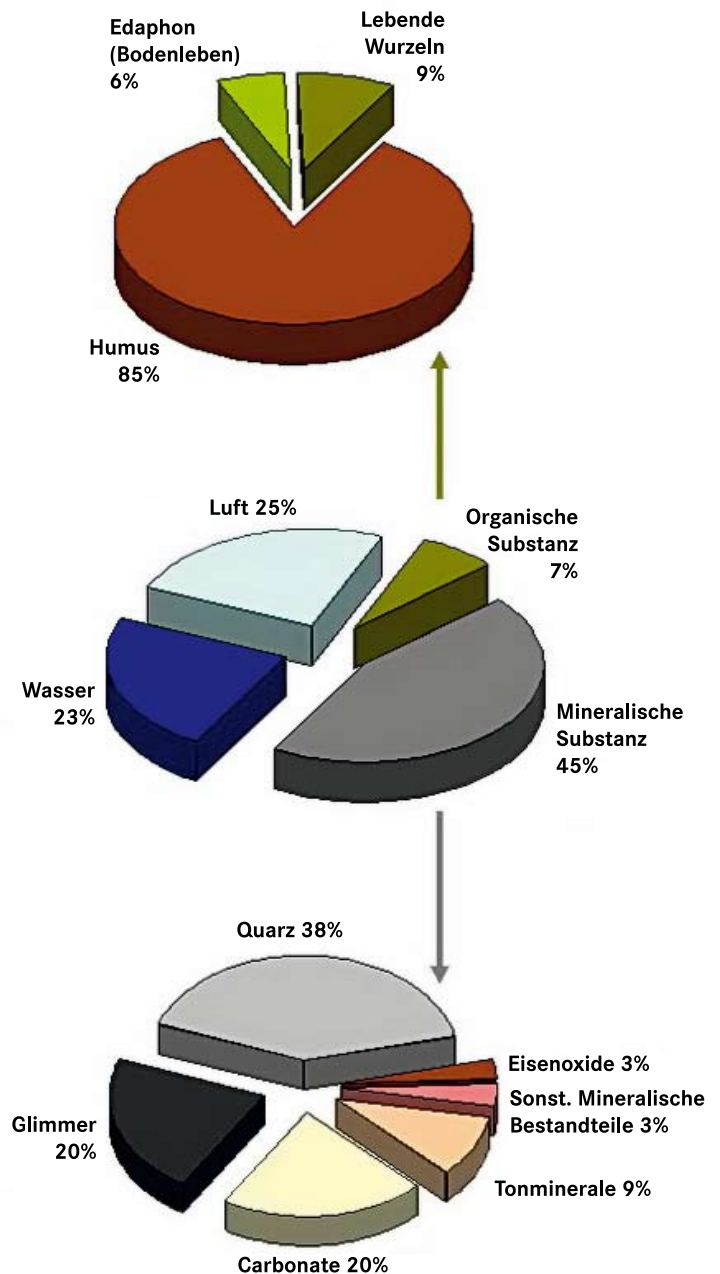
Der Boden ist also kein fester, in sich geschlossener Körper, sondern wegen seiner festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteile ein so genanntes **Drei-Phasen-System**, das unterschiedlich zusammengesetzt ist.

Die **Mineralische Substanz** setzt sich aus den Verwitterungsprodukten des Ausgangsgesteins zusammen, muss mit ihr aber nicht (mehr) identisch sein, da die Minerale durch den Verwitterungsprozess chemisch umgewandelt oder neu gebildet sein können. Je feinkörniger die mineralische Substanz ist, desto besser kann sie von den Pflanzenwurzeln in Form von essenziellen Mineralsalzen aufgenommen werden.

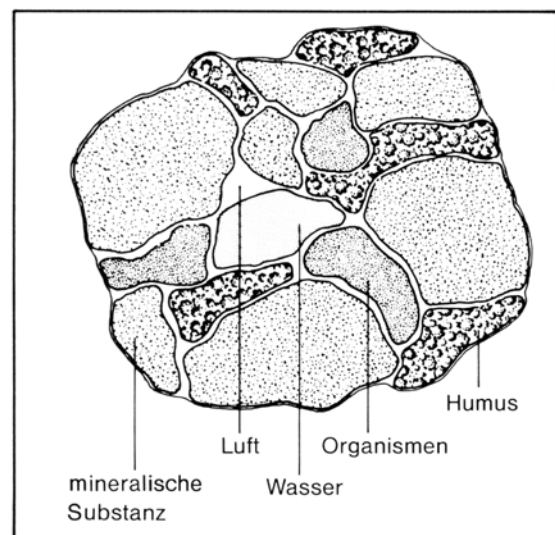
Mit 38 % ist die Quarz-Fraktion am häufigsten vertreten, daneben finden sich noch Carbonate und Glimmer in größerem Umfang. Mit 9 % bilden die **Tonminerale** zwar eine recht kleine Fraktion, ihre herausragende Bedeutung im Zusammenhang mit der Bildung von stabilen, organomineralischen **Ton-Humus-Komplexen** wird später noch eingehend behandelt.

Bei der **organischen Substanz** handelt es sich um Bodenbestandteile, die pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sind. Den größten Anteil (85%) bildet der **Humus** (lat. = feuchter, fruchtbarer Boden), also die abgestorbenen bzw. unbelebten Reststoffe (z.B. Falllaub, Tierkot, Tier- und Baumleichen). Auf die lebenden Pflanzenwurzeln entfallen 10 %, während das **Edaphon**, also die Bodenflora und -fauna, lediglich 5 % der organischen Substanz ausmacht. Wenn man bedenkt, dass somit sämtliche Bodenlebewesen in ca. 0,35 % des Bodens (5 % Edaphon von 7 % organischer Substanz) hineinpassen, überwältigt einen die astronomisch hohe Individuenzahl dieser Lebewesen. Eine Handvoll guten Gartenbodens enthält bereits mehr Lebewesen als die Zahl aller Menschen auf der Erde (etwa 10 Mrd.).

Möglich wird das durch die äußerst komplexe Humusschicht, die auf kleinstem Raum riesige spezifische Oberflächen bereitstellt, welche von Kleinstlebewesen dicht bevölkert ist und von grabenden und wühlenden Bodentieren ständig mit den mineralischen Bestandteilen des Bodens – insbesondere mit den sekundären Tonmineralen – vermischt wird; somit liegen beste Bedingungen für einen intensiven Stoffaustausch und zur Bildung der Ton-Humus-Komplexe vor.

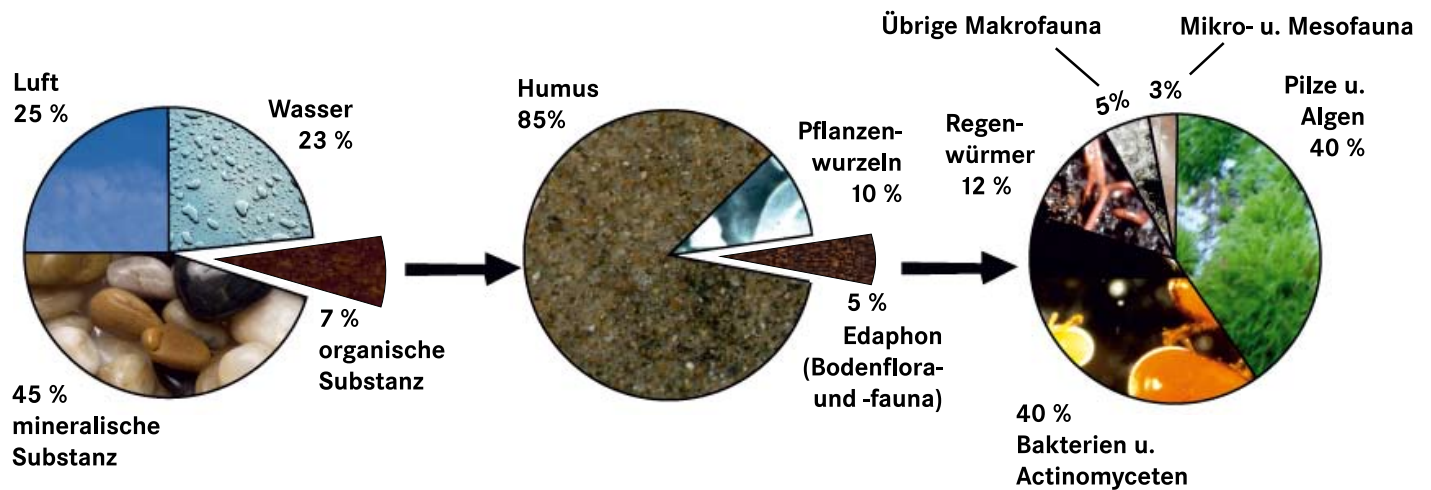


Zusammensetzung des Bodenkörpers



Optimales Krümelgefüge mit etwa 1 - 10 mm Durchmesser.

Quelle: Buch, Gartenböden, 1989, Seite 38



Zusammensetzung des Bodens, SCHROEDER, D. (1992), S. 13/36

3.2. Bodenaufbau und Bodenarten

Das **Bodenprofil** eines klassischen Waldbodens gibt die Abbildung wieder.

Natürliche (Wald-)Böden in unseren Breiten haben eine charakteristische Bodenschichten-Gliederung:

- Die Streuschicht (auch L-Schicht genannt, von engl. = Litter) als oberste Bodenauflage besteht aus dem jährlichen Laubfall und abgestorbenen Pflanzenteilen. Zersetzung hat noch kaum stattgefunden, weil die Reststoffe nicht ständig feucht sind.
- Darunter folgt die oberste Bodenschicht, der O-Horizont, eine organische Schicht, die größtenteils aus Humus besteht und auf dem Mineralboden aufliegt.
- Ab dem A-Horizont (auch Oberboden) beginnt erst der eigentliche Mineralboden, der in dieser Schicht dank der wühlenden Tätigkeit der Bodentiere noch mehr oder weniger stark mit Humus aus dem O-Horizont angereichert ist.
- Im B-Horizont, dem mineralischen Unterboden, finden sich neben geringen Mengen organischer Substanz auch angereicherte Mineralstoffe aus dem Oberboden, die sich durch Verlagerungs- oder Verwitterungsprozesse abgesetzt haben. Dazu gehören z.B. Ton, Eisen und Aluminium.
- Darunter befindet sich der C-Horizont, das unverwitterte Ausgangsgestein, aus dem in der Regel der darüber befindliche Boden entstanden ist.

Die Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Substanz bestimmt im wesentlichen die Bodenart und die Bodeneigenschaften. Grobkörnige Böden wie Sandböden sind locker gelagert, der Sandanteil macht bis zu $\frac{3}{4}$ der mineralischen Fraktion aus. Der Bodenluft-Anteil ist hoch (30 – 40 %), sie vermögen aber kaum Wasser und Nährstoffe zu binden, weil diese durch die groben Sandkörner schnell versickern. Wegen ihrer groben Struktur und ihrer hohen Erosionsanfälligkeit geben sie nur wenigen Pflanzen und Tieren Lebensraum und Nahrung. Sandböden erwärmen sich schnell, kühlen aber auch schnell wieder aus. Aufgrund dieser Merkmale sind diese Böden für die Landwirtschaft zwar leicht zu bearbeiten, aber wenig ertragreich.

Pilze

Pilze bilden neben den Bakterien die wichtigste Reduzenten-Fraktion und sind damit maßgeblich an der Humusproduktion beteiligt. Sie bilden neben den Pflanzen und Tieren ein eigenständiges Reich. Sie sind eukaryotische (mit einem Zellkern ausgestattete) Lebewesen, die sowohl als Einzeller (wie die Backhefe) wie auch als Vielzeller (Schimmelpilze wie der Pinselschimmel *Penicillium*, und Ständerpilze wie der Fliegenpilz) vorkommen.

Wie die Pflanzen sind sie mit Zellwänden ausgestattet., die jedoch – wie bei Insekten – aus Chitin anstatt aus Zellulose bestehen.

Die Körpergrundstruktur der Pilze besteht aus einem fadenförmigen Geflecht, dem **Mycel**, das mehrere Meter lang werden kann. Die Vermehrung geschieht bei den Vielzellern über mikroskopisch kleine Sporen. Deren vegetative Wachstumsformen sind längliche, fadenförmig angeordnete Zellstränge, die als Pilzfäden oder **Hyphen** bezeichnet werden.

Sie beanspruchen ein aerobes, neutrales bis saures Milieu. Ihre Ernährungsweise ist wie die der Tiere heterotroph, sie sind also auf organische Nährstoffe anderer Organismen angewiesen, die sie sich meist enzymatisch erschließen. Für uns wichtig sind zwei Ernährungsgruppen:

- **saprophytische Pilze**, die sich von abgestorbenen organischen Substanzen ernähren und Proteine, Zellulose und Lignin zersetzen.
- **Mykorrhiza-Pilze**, die mit Baumwurzeln in Symbiose (Lebensgemeinschaft) leben.

Dank dieser Ernährungsweise sind Pilze neben bestimmten Bakterien (Actinomyceten) als einzige Lebewesen in der Lage, das Lignin, eine schwer zersetzbare Verbindung aus komplexen, langkettigen Zuckerverbindungen von verholzten Zellwänden, aufzuspalten. Das gleiche gilt für weitere Stoffe wie Zellulose, Hemizellulose und Keratin (Hornsubstanz).

Von der Individuenzahl her sind die Bakterien um ein Vielfaches stärker vertreten; die Biomasse der Pilze (sie durchzieht faktisch den gesamten Boden) ist dagegen viel höher und kann bis zu 1 kg/m² betragen.

Strahlenpilze (Actinomyceten)

Diese einzelligen Organismen sind eher den Bakterien zuzuordnen, weil sie wie diese ebenfalls stäbchen- oder kugelförmige Zellen ausbilden, mit der sie – ähnlich wie bei Pilzen – eine Art Mycel ausbilden können.

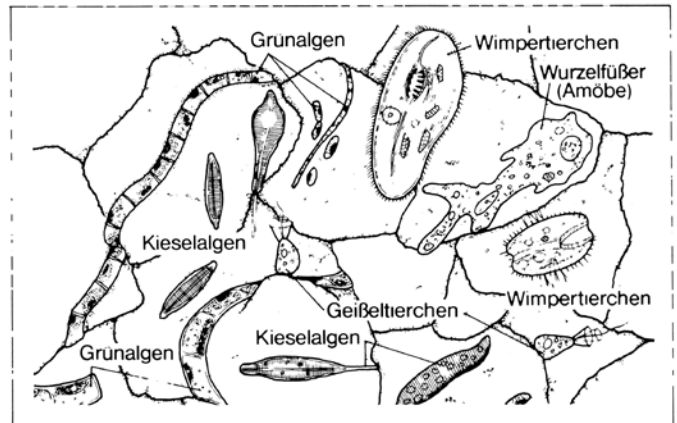
Strahlenpilze sind – wie Bakterien – auf allen organischen Substraten zu finden, sind aerob, heterotroph und ernähren sich saprophytisch (von toter organischer Substanz). Auch sie gehören wie die Pilze zu den Ernährungsspezialisten und verdauen u.a. Lignin, Chitin und Stärke.

Ihr Lebensraum sind die obersten Bodenschichten im Wald; sie sind hauptsächlich für den typischen Walderdegeruch verantwortlich.

Algen

Algen sind Überlebenskünstler und besiedeln entweder als Einzeller oder als kolonienbildende Organismen als erste die Gesteine. Meist sind es Grünalgen und Kieselalgen, die – wie die höheren Pflanzen – Photosynthese betreiben und somit zu den Primärproduzenten gehören.

Gemeinsam mit einem Schlauchpilz leben Grünalgen in Symbiose – es sind die Flechten, die ebenfalls als Erstbesiedler auf Gesteinen und an feuchten Standorten vorkommen.



Gesunde Böden zeichnen sich durch eine hohe Besiedelungsdichte mit Mikroorganismen aus.

Quelle: Buch, 1989, Seite 47

4.2. Meso- und Makrofauna

Mesofauna

Hierzu zählen **Rädertiere, Fadenwürmer, Springschwänze, Milben** und **Strudelwürmer**. Ihre Körpergröße von 0,2 – 2 mm lässt bereits ihre Beobachtung mit einer Lupe oder gar mit dem bloßen Auge zu. Meist leben sie saprophytisch oder auch schon als Räuber. Die Gliederfüßer unter ihnen (Springschwänze, (6 Beine), und Milben, (8 Beine)) verfügen über Mundwerkzeuge, womit sie die organische Substanz mechanisch zerkleinern können. Bei der Untersuchung von Böden und Kompost sind diese Vertreter neben den Ringelwürmern die häufigsten (und vielfach auch die einzigen) Bodentiere, die im Unterricht erforscht werden können.

Makrofauna

Diese „großen“ Bodentiere mit einer Körpergröße von 2 - 20 mm sind den meisten Menschen bereits bekannt. Zu ihnen zählen Schnecken, Spinnen, Asseln, Tausendfüßer, Hundertfüßer, Käfer, Zweiflügler, viele andere Insekten und Enchyträen (kleine weiße Ringelwürmer). Ihre Lebensweise spielt sich hauptsächlich auf der Bodenoberfläche ab, ihre Ernährungsweise ähnelt dem der Vertreter

der Mesofauna, wobei neben den saprophytischen Arten (Asseln, Springschwänze, Milben) auch zunehmend räuberische Arten (Spinnen, Hundertfüßer, Ameisen) und Konsumenten (Schnecken) anzutreffen sind.



Milben

Grafik: Fuhlrott, Essen; in: Dr. Gerhard Laukötter: Boden will leben, NUA, S.17



Mikrofauna (0,002 – 0,2 mm)



Mesofauna (0,2 – 2 mm)



Makrofauna (1 – 20 mm) Megafauna (> 20 mm)



4.3. Regenwurm und Kompostwurm

Diese beiden für das Bodenleben und für die Humusproduktion äußerst wichtigen Tierarten sind vom Körperbau her ganz an ihre wühlende Tätigkeit im Erdreich angepasst. Sie sind die Lieblingstiere in jedem Praxisunterricht zum Thema Boden. Sowohl Regenwürmer als auch Kompostwürmer gehören zur Klasse der Gürtelwürmer und zum Stamm der Ringelwürmer. Es sind entwicklungsgeschichtlich sehr einfache Lebensformen, ihr Gehirn besteht lediglich aus einem dickeren Nervenknotten, dem Oberschlundganglion.

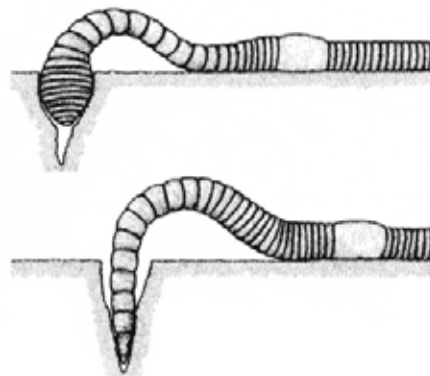
Obschon es so aussieht, dass sie sich direkt von Blättern und frischen Organika ernähren, sind es vielmehr die Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze und Algen, die erst auf den Oberflächen der Substrate einen Lebend-Film bilden und anschließend von den Würmern mithilfe ihrer kräftigen Saugmünder abgeweidet werden.

Beide Wurmart haben im vorderen Körperdrittel eine heller farbige Verdickung, den sogenannten **Gürtel (Clitellum)**. Er ist das Merkmal der Geschlechtsreife, und da sie Zwitter sind, ist schnell ein Partner gefunden. Beide Familien legen Kokons, aus denen lebende Jungwürmer schlüpfen.

Ihr Körper ist – je nach Art – in 70 bis 200 Muskelsegmente unterteilt. Jedes Segment besitzt 4 Borstenpaare (zwei an den Bauchseiten und zwei an den seitlichen

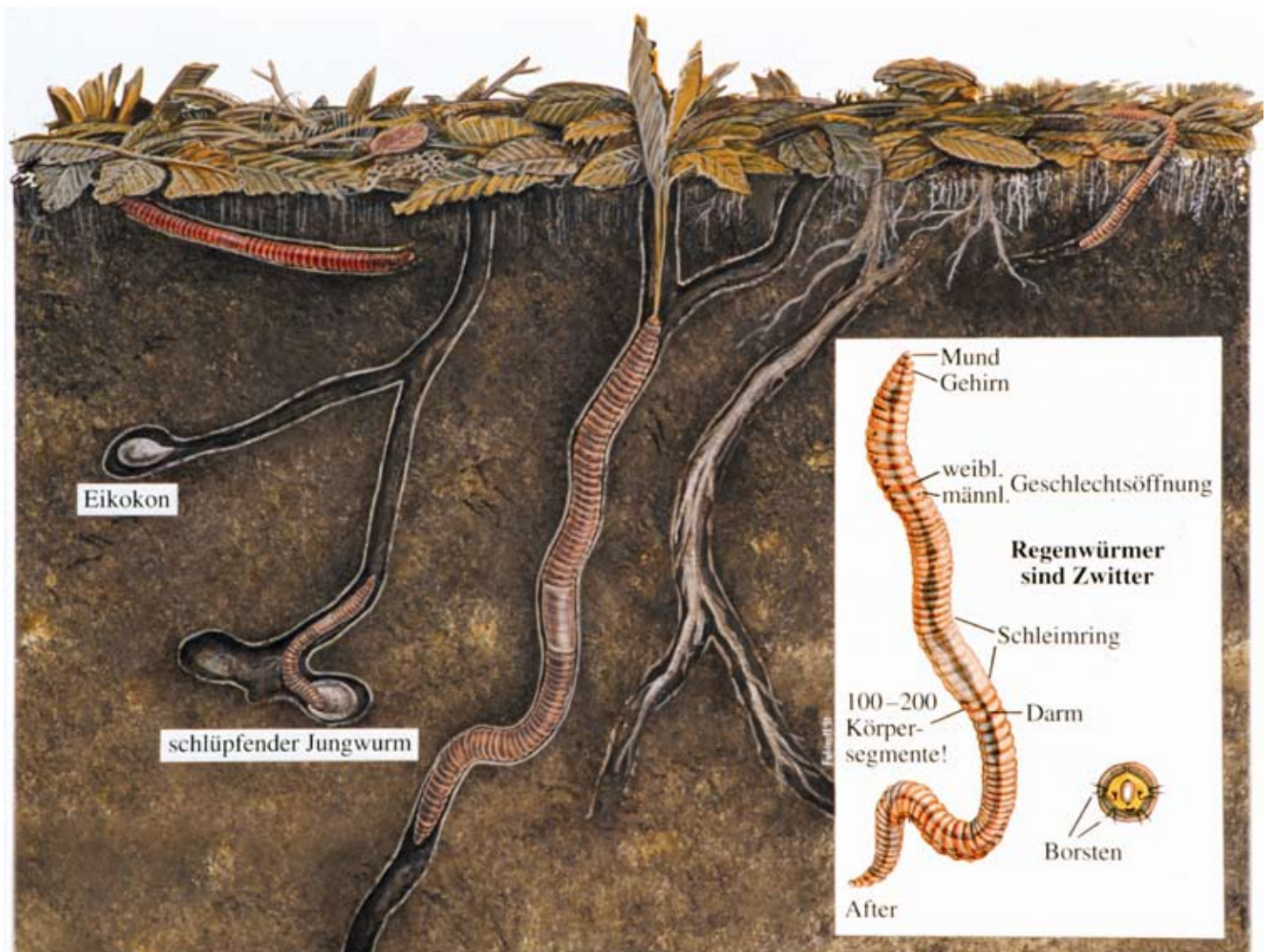
Rückenseiten), die die Würmer muskulär ein- und ausfahren können und mit denen sich die Würmer an glatten Oberflächen oder in ihren senkrechten Röhren wie mit kleinen Widerhaken festhalten können. Amseln schaffen es oft nicht, einen Regenwurm komplett aus seiner Röhre zu ziehen, weil er sich mit diesen Borsten festhakt.

Die Gesamtheit der Körpersegmente bildet einen zweischichtigen, äußeren Muskelschlauch – eine untere Längsmuskel- und eine obere Ringmuskelschicht. Die Längsmuskeln verkürzen und verdicken den Wurm bei ihrer Kontraktion, die Ringmuskeln machen ihn lang und dünn. Die abwechselnde, segmentweise Kontraktion dieser beiden Muskelapparate bewirkt die kriechende Fortbewegung, wobei die Borsten als Verankerung beim Vorschieben oder beim Eingraben ins Erdreich fungieren.



Vordringen des Regenwurms in den Boden

(Abbildung aus BUCH 1986, S.13)
aus: hypersoil





Der Regenwurm

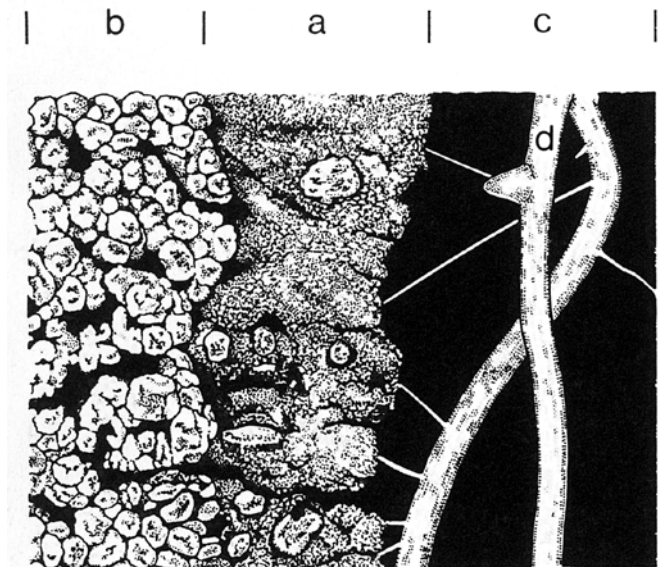
Die meist nachtaktiven Regenwürmer (Lumbriciden) sind neben den Säugetieren nicht nur die größten Vertreter der Bodenfauna, ihre große Biomasse (bis zu 400 g/m²) und ihre herausragende Funktion im Ökosystem Boden macht sie zu den bedeutendsten Bodentieren.

Für den Namen „Regenwurm“ gibt es zwei plausible Erklärungen. Einmal wird der Name damit in Zusammenhang gebracht, dass sie während oder nach einem Regen auch tagsüber die Würmer an die Oberfläche kommen. Des weiteren wird auf den deutschen Namensursprung zurückgegriffen; früher hieß er „reger Wurm“, weil er sich bei Berührung ruckartig hin und her schlängelt.

In Deutschland sind die Lumbriciden mit 35 Arten vertreten. Einige Arten können 20 cm und länger werden. Wenn sie nicht einem Fressfeind zum Opfer fallen, was oft genug vorkommt, können sie bis zu 5 Jahre alt werden. Unter ihnen gibt es flachgrabende und tiefgrabende Arten, wobei letztere deutlich größer und muskulöser gebaut sind, um genügend Kraft zu haben, bis zu 3 m tiefe Röhren und Gangsysteme zu graben.

Ihre Ernährung besteht zum einen darin, dass sie beim Graben durch das Erdreich ständig Bodenpartikel aufnehmen, durch ihren Verdauungstrakt schleusen und die verwertbaren, organischen Bestandteile daraus filtern; gleichzeitig reichern sie bei der Darmpassage die mineralischen Bestandteile mit organischen Verdauungsrückständen an, vermischen sie innig und scheiden die so fruchtbare Wurmlösung aus. Zum anderen ziehen sie mit ihrem Mund verrottete Pflanzenreste wie Laubblätter oder Grashalme in ihre Röhren hinein. Die Röhren selber sind mit Regenwurmkot ausgekleidet, der stark mit Mikroorganismen angereichert ist. Diese besiedeln die in die Röhren eingezogenen Pflanzenreste und sorgen beim Regenwurm für stets nachwachsende Nahrung.

Die Regenwurmröhren selber erfüllen nicht nur die wichtige Aufgabe der Durchlüftung bzw. Sauerstoffversorgung, der Wasserdurchlässigkeit und der Durchmischung des Bodens, sie sind auch bevorzugte Wachstumsschneisen für Pflanzenwurzeln, die hier einen optimalen, hochkonzentrierten, pflanzenverfügbaren Nährstoffvorrat erschließen können.



Ausschnitt aus der Röhre des Tauwurms.

- a = Lösungstapete der Röhrenwand
- b = gewachsener Boden
- c = Innendurchmesser der Röhre
- d = eingedrungene Wurzeln

Der Regenwurm besitzt keine Atmungsorgane wie Lungen oder Kiemen, sondern nimmt den Sauerstoff über seine empfindliche Haut direkt aus der Luft auf, wo die Sauerstoff-Moleküle durch die feuchte Schleimschicht gebunden und durch die poröse Oberhaut (Cuticula) an feine Blutgefäße weitergeleitet werden. Hier nehmen die roten Blutkörperchen den Sauerstoff auf. Die Wurmhaut muss daher stets feucht gehalten werden, damit die Sauerstoffaufnahme gesichert ist.



Der hohe Anteil an Stickstoff und Wasser bedeutet für die Kistenbewohner „paradiesische Zustände“. So ist auch die enorme Individuendichte in der Humus-Biobox zu erklären.

Bei der Umwandlung in Wurmhumus ist aufgrund der o.g. Zusammensetzung der Küchenreste eine beachtliche Volumenreduzierung um ca. 85 % zu beobachten. So hoch ist auch die Mineralisierungsrate, also die Umwandlung in CO₂ und H₂O, die der intensive Rotteprozess mit sich bringt. Im Durchschnitt werden 7 – 15 Tage benötigt, bis



die Küchenreste – je nach der biochemischen Zusammensetzung der einzelnen Reststoffe – in Wurmhumus umgewandelt sind. Somit lässt sich auch nachvollziehen, warum es Monate dauert, bis die Humus-Biobox mit Wurmhumus angefüllt ist.

Trotz der hohen Individuendichte ist der Artenreichtum in der Humus-Biobox nicht so groß wie im Waldhumus. Das liegt u.a. daran, dass wegen der leichten Zersetzbarkeit der Organika nicht so viele „Spezialisten“ gebraucht werden, die ansonsten für die schwerer verdauliche Kost zuständig sind.

Folgende Organismen sind typische, häufige Kistenbewohner und lassen sich noch mit bloßem Auge erkennen:

- Kompostwürmer
- Enchyträen (weiße Ringelwürmer)
- verschiedene Springschwanz-Arten
- verschiedene Milben-Arten
- Afterskorpione

Diese Tiere lassen sich mit einem Mikroskop (20 – 60fache Vergrößerung) sehr gut beobachten, und erfahrungsgemäß sind die Reaktionen (nicht nur) der Schüler sehr eindrucksvoll. Beim Präparieren des Objektträgers ist es ratsam, die Tiere nicht separat unter das Mikroskop zu legen, weil sie versuchen werden, dem Mikroskop-Licht zu entfliehen. Geeignet sind Probenstücke frischer Organika, die bereits von den o.g. Tieren besiedelt wurden.

7.4. Die Ausstattung

Die bereits im leeren Zustand ca. 20 kg schwere Humus-Biobox besteht aus 20 mm starken, unbehandelten Rauspundholz-Brettern mit Nut und Feder, damit eine gewisse Dichtigkeit erreicht wird. Die einzelnen Wandsegmente sind über Holzlatten miteinander verschraubt. Die Spaxschrauben für das Bodenteil sind aus Korrosionsschutzgründen aus Edelstahl.

Mit 100 x 44 x 40 cm (Länge x Breite x Tiefe) und mit Doppellenkrollen ausgestattet ist die Kiste mobil und gut zu handhaben. Sie bietet ausreichend Platz für ein Milliardenheer verschiedenster Bodenorganismen. In der Frontseite ist eine durchsichtige Acrylglasscheibe als Sichtfenster eingelassen, um auch von außen einen Blick auf das Geschehen zu werfen. Da das Edaphon vor Tageslicht flüchtet, ist das Sichtfenster mit einer abnehmbaren Blende aus Birkenperrholz versehen.

Der Kistendeckel lässt sich per Hanfseilgriff öffnen, eine metallene Deckelkette verhindert, dass der Deckel nach hinten wegklappt. An zwei stabilen, seitlichen Klappgriffen lässt sich die auf Dauer ziemlich schwere Kiste (bis zu 50 kg) gut anheben.

Im Inneren ist die Humus-Biobox im Übergang Boden – Wandteile mit Acryldichtmasse abgedichtet; das gleiche gilt für die Einfassung des Sichtfensters. Damit wird sichergestellt, dass überschüssiges Sickerwasser nicht aus der Kiste tropft, sondern durch die Holzwände nach außen diffundieren kann.



Die Haltbarkeit des Kistenholzes und damit die Lebensdauer der Humus-Biobox hängt entscheidend davon ab, dass zwischen dem Kisteninnenraum und der Umgebung das oben erwähnte Diffusionsgefälle vorhanden ist. Nur so kann das Holz „arbeiten“ und unterliegt selbst kaum einer Zersetzung. Erst nach 6 – 10 Jahren beginnt das Holz an den Innenwänden allmählich etwas dünner zu werden. Auf diese Weise lässt sich eine Lebensdauer von 10 – 15 Jahren erreichen.

7.5. Handhabung und Pflege

Die Handhabung ist recht einfach, es gilt nur wenige, wichtige Regeln zu beachten.

Welche Organika in die Humus-Biobox hinein dürfen und welche nicht, ist integraler Bestandteil der 8. Lerneinheit; eine entsprechende Auflistung liegt sowohl als Kopiervorlage als auch als PDF-Datei vor.

Obschon der Kompostierungsprozess an sich geruchlos ist, lässt sich bei den stickstoffhaltigen Küchenresten eine leichte Geruchsentwicklung nicht ausschließen. Diese wird aber nicht als unangenehm empfunden und gehört einfach zur Rotte dazu.

Generell, aber insbesondere in den ersten Wochen nach Inbetriebnahme, gilt es, auf eine ausgewogene, fein dosierte Wasserversorgung des Kisteninhalts zu achten. Die vorher zerkleinerten und auf die Kisten-Innenfläche verteilten Organika werden mit einer Pump-Sprühflasche mit einigen Pumpstößen kurz benetzt, so dass die Oberflächen der Organika nass sind, aber das Wasser noch nicht herunterläuft. Es muss vermieden werden, dass das Wasser auf dem Kistenboden steht!

Andererseits darf es auch nicht zu trocken werden; denn nur über einen Wasserfilm können die Mikroorganismen zu den frischen Organika gelangen und ihr Werk verrichten. Trocknet die Oberfläche oder die Wollfilzmatte ab, gerät die Rotte ins Stocken.

Die Wollfilzmatte, die ständig den gesamten Inhalt abdeckt, muss dagegen stets nass gehalten werden. Sie darf nicht austrocknen. Bevor (im Optimalfall) täglich frische Organika eingefüllt werden, sollte erst das alte Substrat kurz benetzt werden. Nach dem Einfüllen wird das Gleiche mit dem frischen Substrat gemacht.

Das Endprodukt dieser Intensiv-Kaltrotte, der Wurmhumus, ist sehr nährstoffreich und muss wie konzentrierter Dünger gehandhabt werden. Er ist daher nicht in reiner Form an die Pflanzen zu geben, sondern muss stets mit anderen Substraten verdünnt werden – je nach Nährstoffbedarf der Pflanzen im Verhältnis 1:4 bis 1:8.

Nähere Einzelheiten zur Pflege der Humus-Biobox finden Sie in der ausführlichen Pflegeanleitung, die beim Erwerb einer Humus-Biobox mitgeliefert wird.



8. Der Erlebnisunterricht

Der Erlebnisunterricht mit der Humus-Biobox eröffnet unabhängig von den Jahreszeiten ganz neue umwelpädagogische „Einblicke“ (Sichtfenster) in die Themen Boden, Bodenleben, Kompost und Humus. Er ist als Ganztags-Projekt angelegt, wobei seine Dauer auf 8 Lerneinheiten (LE) konzipiert ist, von denen 6 LE zu je 90 – 120 Minuten im Ganztags (zwischen 14 und 16 Uhr) und die letzten beiden LE im curricularen Unterricht (verlän-

gerte Doppelstunde oder Projekttag) stattfinden. Erfahrungsgemäß ist es sinnvoll, die einzelnen LE an einem festen, wöchentlichen Termin durchzuführen. Alternativ wäre es auch möglich, den Stoff gebündelt im Rahmen einer Projektwoche anzubieten. In diesem Fall wäre es u.U. erforderlich, die LE inhaltlich neu aufzustellen und den curricularen Teil im Anschluss an die Projektwoche abzuhalten.

Lerneinheiten

Bei den Lerneinheiten im Ganztags muss im Vorfeld geklärt werden:

- welche Lehrkraft für das Projekt und über das Projekt hinaus für einen längeren Zeitraum (mindestens bis zum Beginn des darauf folgenden Schuljahres) verantwortlich ist und ob Ganztags-Personal zur Durchführung der LE einbezogen werden kann
- in welcher Klasse die Humus-Biobox, die im Laufe des Projekts erstellt wird, für mindestens diesen Zeitraum gepflegt werden kann
- ob die teilnehmenden Kinder aus einer Jahrgangsstufe kommen oder – wie im Ganztags meist üblich – eine jahrgangsübergreifende Gruppe bilden (wegen der unterschiedlichen Anforderungen) und ob mindestens 2 – 3 Schüler aus der Klasse am Projekt teilnehmen, in der die Humus-Biobox nachher betrieben wird
- ob die für die Durchführung des Erlebnisunterrichts erforderliche technische Ausstattung (Videorecorder bzw. Beamer, Mikroskope, Werkzeug) an der Schule vorhanden ist
- ob geeignete Räumlichkeiten in der Schule vorhanden sind, wo es auch möglich ist, einen Werkunterricht durchzuführen; optimal wäre ein Werkraum, der auch im Ganztags benutzt werden kann
- wie die Sitzverteilung in den Räumlichkeiten gestaltet werden kann; erfahrungsgemäß ist die Bildung von Kleingruppen (2 oder 3 Kinder) bzw. die Bildung von Runden effektiver als Frontalunterricht
- dass die Kinder mit Bastel-, Zeichen- und Schreibutensilien ausgestattet sind und dass Sammel- und Aufbewahrungsgefäße vorhanden sind (siehe unter „Materialien“ bei den einzelnen Lerneinheiten)
- ob bei der ersten LE ausnahmsweise – in Absprache mit den Eltern der Schüler – ein Zeitrahmen von 2 ½ Stunden angesetzt werden kann, falls das Außengelände nicht in unmittelbarer Nähe liegt (Gehzeiten berücksichtigen).

Die Ganztagsgruppe sollte aus praktischen Erwägungen im Optimalfall 6 – 8 Schüler umfassen. Sollten es größere Gruppen sein, so wird es ab der 2. LE nötig sein, die Schüler in entsprechende Kleingruppen aufzuteilen. Für die Durchführenden bedeutet dies, dass für jede Teilgruppe Möglichkeiten der parallelen Beschäftigung vorhanden sein sollten, was dann auch einen höheren Personalaufwand bedeutet.

Die Praxis-Gruppenprojekte der jeweiligen LE (Bau eines Regenwurmschaukastens, Beobachtung mit dem Binokular, Bau der Humus-Biobox) sind so zu regeln, dass jede Teilgruppe paritätisch daran beteiligt ist.

Bei den Ausflügen ins Außengelände (in LE 1 + 2) sollten aus Sicherheitsgründen ebenfalls neben der durchführenden Person noch 1 – 2 weitere Aufsichtspersonen dabei sein, sobald die Gruppengröße mehr als 6 Schüler umfasst.

Das Erlebnis-Unterrichtskonzept sieht vor, dass die teilnehmenden Schüler während der Projektdauer eine **Projektmappe** anlegen, in der sämtliche angefertigten und namentlich gekennzeichnete Zeichnungen, Hintergrundinformationen, Fotos und ausgefüllte Fragebögen bzw. Forscherbögen chronologisch gesammelt werden. Somit ist eine nachhaltige Reflexion des Projekts möglich, insbesondere auch in Bezug auf mögliche Aufarbeitung und Vertiefung der Thematik im curricularen (Sach-)Unterricht.

Grundsätzlich bietet das Thema Boden gut aufgearbeiteten Wissensstoff für Monate bereit. Hier wird ganz bewusst von Anfang an der Fokus auf die Destruenten-Fraktion der Bodenlebewesen sowie die Humusbildung gesetzt, um gezielt auf den späteren Einsatz der Humus-Biobox im Klassenverband hinzuarbeiten.

Am Ende jeder Lerneinheit sind mehrere **Fragen** und deren stichwortartige Beantwortung aufgelistet. Diese Fragen sind erst einmal an die Projektleitung gerichtet und sollen in erster Linie inspirieren und lediglich eine Auswahl aus einem enormen Fundus darstellen. Sie erheben daher keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit; vielmehr sollen sie anregen, weitere Fragen bzw. neue Aufgaben zu kreieren bzw. flexibel auf Fragen und Wünsche der Schüler einzugehen.

Tipps zur Durchführung:

- ⇒ Die einzelnen LE sollten unbedingt mindestens eine Woche vorher fertig durchgearbeitet und organisiert sein, insbesondere, was terminliche Abstimmungen und die Zusammenstellung der nötigen, teils lebenden Materialien betrifft.
- ⇒ Die Betreuer bzw. Begleiter des Erlebnis-Unterrichts sollten während der LE sowohl die Arbeitsschritte als auch die Ergebnisse **fotografisch festhalten**, um die besten Bilder anschließend in die Projektmappe der Schüler zu integrieren. Gleichzeitig liegt somit auch eine Foto-Dokumentation des Projekts vor.
- ⇒ Zu den Lerneinheiten sollten alle Gegenstände (z.B. Laubblätter) und Lebewesen (z.B. Regenwürmer) erst dann an die Kinder ausgeteilt werden, **nachdem** dazu eine **Einweisung** erfolgt sind. Die Handhabung bzw. der Umgang mit beispielsweise einem Mikroskop oder einer Becherlupe sollte **vorab** im Beisein der gesamten Gruppe exemplarisch vorgeführt werden.
- ⇒ Ein Vorschlag für die **Gestaltung des Covers der Projektmappe**: dies könnte ein(e) zeichnerisch versierte Schüler(in) übernehmen. Das Motiv könnte so aussehen, dass auf einem Hintergrund mit Blättern und Waldboden sämtliche Dinge, die in den LE behandelt wurden, dort wiederzufinden sind (Regenwurm, Schaukasten, Humus-Biobox, andere Bodentiere etc.).

Aufgaben der Projektleitung:

- ⇒ Bereits 3 - 4 Wochen vor Beginn des Erlebnis-Unterrichts ist eine **Mini-Kompostkiste anzufertigen**, die Kompostwürmer zu bestellen und die Kiste in Betrieb zu nehmen, damit:
 - ⇒ bereits im Vorfeld praktische Erfahrungen im Umgang mit der Wurmkompostierung gesammelt werden können
 - ⇒ zur 4. Lerneinheit schon genügend kleine Bodenlebewesen für die Beobachtung durchs Mikroskop vorhanden sind (den Bauplan zur Mini-Kompostkiste finden Sie auf Seite 72)
- ⇒ Der komplette Inhalt der Mini-Kompostkiste wird dann in der 8. und letzten LE dazu verwendet, gemeinsam mit dem Klassenverband die große Humus-Biobox zu bestücken.
Die Mini-Kompostkiste kann anschließend für andere Zwecke verwendet werden, z.B. als Utensilienbox. Zu einem späteren Zeitpunkt kann sie für eine Wiederholung des Kompost-Projekts genutzt werden.



Mini-Kompostkiste

Der Regenwurmschaukasten

In der **zweiten LE** wird mit dem bereits vorbereiteten Material gemeinsam mit den Schülern im Schulgebäude ein Regenwurmschaukasten zusammengebaut, die in der 1. LE gesammelten Regenwürmer werden eingesetzt und bei Bedarf mit weiteren Regenwürmern (direkt aus dem Schulgarten oder aus der näheren Umgebung) ergänzt.

Dabei wird am praktischen Beispiel Wissen über die Regenwürmer und ihre tierischen Nachbarn vermittelt, die Schüler werden angehalten, aus ihrem eigenen Umfeld zu berichten, was sie bislang zum Thema Kompostierung erfahren haben.

Auf einem Rundgang (Schulgarten (welches Laub, welche Grashalme)) wird parallel Futter für die Regenwürmer gesammelt und zum Schluss in den Schaukasten gelegt.

Lernziel

Die Schüler sollen:

- aufbauend auf die Erfahrungen der 1. LE sich mit dem Regenwurm vertiefend beschäftigen
- durch die aktive Beteiligung am Bau des Schaukastens erste handwerkliche Fähigkeiten kennenlernen
- anhand der Bestückung des Regenwurmschaukastens mit den unterschiedlichen Substraten einen kleinen Einblick bodenkundlicher Aspekte bekommen und weiter mit der Lebensweise des Regenwurms vertraut gemacht werden.

Vorbereitung

- Materialien für den Regenwurmschaukasten anfertigen, zusammenstellen und mitbringen
- Infos zum Regenwurm + Forscherbögen kopieren und den Schülern mitbringen
- abklären, ob und in welcher Anzahl Schraubendreher und anderes Werkzeug für den Bau des Regenwurmschaukastens vor Ort vorhanden ist



Materialien



- Große flache Schale für die Auslese der Regenwürmer aus der Holzkiste (siehe LE 1)
- Regenwurmschaukasten (vorgebohrte Acrylscheiben, Holzrahmen und Holzgestell, Tesamoll-Dichtungsband, Schrauben, einige Schraubendreher) Bauanleitung Anhang Seite 69.
- Sprühflasche mit Wasser zum Anfeuchten der Bodensubstrate beim Befüllen des Regenwurmschaukastens
- Trichter oder schmale Schaufel für das Befüllen des Regenwurmschaukastens (kann auch ein Blatt Papier sein)
- kleinere Gefäße bzw. Tüten zum Sammeln der Regenwurmnaehrung (feuchte, modrige Blätter)
- Becherlupen (für jeden Schüler) oder größere Handlupen (falls vorhanden)



Zeitablauf



Vorgehensweise / Zeitablauf:

Arbeitsschritte	Zeitaufwand
Wiederholung: ➔ Kurz die letzte LE ansprechen, was vermittelt wurde etc.; noch offene Fragen werden beantwortet	10 min
Gruppenarbeit: ➔ Bildung von Teilgruppen (4 – 6) Schüler, falls die Gruppenstärke größer ist; jede Teilgruppe sollte am Bau paritätisch beteiligt werden, die andere Teilgruppe fertigt Detailzeichnungen vom Regenwurm an (siehe unten) oder sammelt feuchtes, welkes Laub (Regenwurmfutter) in der näheren Umgebung. ➔ Erde und Würmer aus dem Aufbewahrungsgefäß in große, flache Schale schütten, vorsichtig die Würmer heraussuchen, befeuchten und (am besten mit großen Handlupen) beobachten	15 min
Bau des Regenwurmschaukastens: ➔ für alle gemeinsam: Einführung in die Benutzung von Werkzeugen / Sicherheits-Erklärung ➔ Während des Baus werden den Schülern einige Infos und Geschichten zum Regenwurm erzählt; diese sollten unmittelbaren Bezug zur aktuellen Tätigkeit haben und die Sinneserfahrungen kognitiv vertiefen.	60 min
Individuelle Tätigkeiten: ➔ Detailliertes Zeichnen der Regenwürmer mit konkreten Aufgabestellungen: Segmente, Borsten, Darm, Bewegungsabläufe, Clitellum (Gürtel) etc.	60 min (parallel)

Vorgehensweise / Zeitablauf:

Arbeitsschritte	Zeitaufwand
Befüllung des Regenwurmschaukastens: (Bauanleitung im Handbuch) ➔ Dies sollte wieder in der Gesamtgruppe geschehen. In ca. 5 cm dicken Schichten werden abwechselnd Sand und dunklerer Garten- bzw. Waldboden in den Kasten eingefüllt. Dabei werden die Substrate ständig mit der Sprühflasche angefeuchtet (nicht zu nass werden lassen). ➔ Nach der Befüllung werden obenauf die welken Blätter hineingelegt, der Kasten wird mit einem möglichst lichtdichten Tuch zugehängen. ➔ Für den Regenwurmschaukasten wird ein exponierter Standort (z.B. in der Klasse) ausfindig gemacht und mit den Schülern gemeinsam dort abgestellt.	20 min



Erfahrungsgemäß wird der praktische Teil (Kastenbau) sowie das Heraussuchen der Regenwürmer aus der Erdkiste und das Sammeln welcher Blätter als Regenwurmfutter für den Schaukasten die volle zur Verfügung stehende Zeit beanspruchen. Daher soll die anschließende LE hauptsächlich dazu benutzt werden, Wissen zum Regenwurm und seiner Lebensumgebung zu vermitteln.

Fragen

- **Wo leben die Regenwürmer?**
(dort, wo es feucht und Futter (Pflanzenreste) vorhanden ist)
- **Warum heißen die so?**
(Reger Wurm, kommen an Regentagen hoch)
- **Wovon leben die Regenwürmer?**
(Bakterien, Pilze, Algen, angetrottete Pflanzenreste)
- **Wie vermehren sich die Würmer?**
(Zwitter, legen Kokons)
- **Kann man die Geschlechtsorgane sehen?**
(Gürtel (Clitellum))
- **Wie bewegen sie sich?**
(Ring- und Längsmuskulatur, Borsten)
- **Warum brauchen sie die Borsten?**
(zum Kriechen, um sich festzuhalten, wenn sie Laub in die Gänge ziehen oder wenn ein Vogel sie packt)
- **Warum ziehen Regenwürmer Laub in ihre Röhren?**
(Laub muss schon stark verrottet sein; Bakterien und Pilze, die auf dem Laub leben, werden abgeweidet)
- **Was bewirken die Regenwürmer mit ihrer Anwesenheit im Boden?**
(Humusbildung, Vermischung von Mineralien mit Humus, Bodenfruchtbarkeit, Durchlüftung, Wasserdurchlässigkeit, Röhren sind Wachstumsstrassen für Pflanzenwurzeln)
- **Wo fühlen sich Regenwürmer am wohlsten?**
(Obstwiese mit viel Falllaub und Fallobst, Garten mit mehreren Laubhaufen und Flächenmulch)
- **Was mögen Würmer überhaupt nicht?**
(Kunstdünger, Gülle, Gift, große Maschinen (Bodenverdichtung))
- **Welche Fressfeinde hat der Regenwurm? Und wie stellen sie dem Regenwurm nach?**
(Vögel, Igel, Maulwurf, große Käfer, Kröten, Wildschweine)
- **Kann der Regenwurm sich wehren? Warum gibt es überhaupt noch Würmer, wenn so viele Tiere davon leben?**
(nachtaktive Tätigkeit, lebt tief im Boden, hohe Vermehrung)



