
DIE WELT DER REGEN WÜRMER

Regenwurmgesellschaften in ihrer Beziehung zu ihrem Lebensraum als Gestalter der
Bodenfruchtbarkeit



Projektarbeit von Benedikt Sandkühler im Rahmen des Medizinisch /
Landwirtschaftlichen Studienjahres in der Landbauschule Dottenfelderhof

Es muss eine Wissenschaft sein von dem immerfort Werdenden und Sterbenden, die notwendig das Ziel des Landwirts bestimmt. Und seine Kunst besteht dann darin, aus der erlebten Weisheit, der gefühlt-wissenden Wahrheit, durch seine handwerkliche Arbeit die beziehungsvollen Zusammenhänge zu schaffen, durch welche in aller Vielfalt die Kulturpflanzen, die Haustiere und die Kulturböden sich idealtypisch entfalten können.

Manfred Klett

ABSTRACT

SCHLÜSSELMASSNAHMEN ZUR FÖRDERUNG VON REGENWÜRMERN

Die folgenden Maßnahmen fördern Regenwürmer in landwirtschaftlichen Böden:

1. Ausreichendes Nahrungsangebot (Pflanzen material) auf Ackerflächen mit dauerhafter Grünbedeckung (auch im Winter)
- (2. Verzicht auf den Einsatz von Pestiziden, die für Regenwürmer und andere nützliche Bodenorganismen schädlich sind.)
3. Anwenden von schonenden Bodenbearbeitungsverfahren wie reduzierte Bodenbearbeitung und Direktsaat zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und der Bodengare.
4. Vermeiden von Bodenverdichtungen und Fördern von gut strukturierten und belüfteten Böden durch den Einsatz geeigneter, eher leichter Maschinen.
5. Standort- und bedarfsgerechte Düngung, Ausbringung von Gülle nach Möglichkeit nicht in Vermehrungszeit.
6. Kontinuierliche Zufuhr organischer Substanz während der gesamten Fruchtfolge.

INHALT

ABSTRACT	3
<i>Schlüsselmassnahmen zur Förderung von Regenwürmern</i>	<i>3</i>
INTRO UND FRAGESTELLUNG	5
STAND DES WISSENS	6
EINLEITUNG	6
ÖKOLOGISCHE STRATEGIEN ALS LEBENSWEISE VERSCHIEDENER LEBENSFORMTYPEN.....	7
LEBENS-, ENTWICKLUNGS-, UND AKTIVITÄTSZYKLEN.....	8
MORPHOLOGIE UND ALLGEMEINE BESTIMMUNGSMERKMALE.....	10
EINFLUSS LANDWIRTSCHAFTLICHER MAßNAHMEN AUF REGEWURMPOPULATIONEN	12
BEDEUTUNG VON ZWISCHENFRÜCHTEN	13
METHODEN DER PROBENNAHME VON REGENWÜRMERN	14
ZÜCHTUNG.....	14
ZÜCHTUNG VON EPIGÄISCHEN ARTEN:	15
ZÜCHTUNG VON ENDOGÄISCHEN UND ANEKTISCHEN WURMARTEN:.....	16
BEPROBUNG AM DOTTENFELDERHOF	16
ERGEBNISSE UND DISKUSSION	18
PERSÖNLICHES RESÜMEE	19
REFERENZEN.....	21
LITERATURVERZEICHNIS	21
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	23

INTRO UND FRAGESTELLUNG

Meine Projektarbeit im Rahmen des Medizinisch-Landwirtschaftlichen Studienjahres in der Landbauschule Dottenfelderhof e.V. soll sich mit dem Thema „Die Welt der Regen Würmer“ beschäftigen. Meine Motivation ist es mich - eher aus dem gesundheitlichen Blickwinkel kommend – mehr mit einem allgemein landwirtschaftlichen Thema zu beschäftigen. So entdeckte ich die Überschrift „Regenwürmer tragen signifikant zur weltweiten Lebensmittelproduktion bei (Fonte et al., 2023)“ in der Zeitschrift „Nature“ und mein Interesse war geweckt. Erstaunlicherweise haben sich schon Aristoteles und Charles Darwin zu dieser Art geäußert und ihre Wichtigkeit im Ökosystem erkannt: „Es ist wunderbar, wenn wir uns überlegen, dass die ganze Masse des oberflächlichen Humus durch die Körper der Regenwürmer hindurchgegangen ist und alle paar Jahre wiederum durch sie hindurchgehen wird. Der Pflug ist eine der allerältesten und wertvollsten Erfindungen des Menschen; aber schon lange ehe er existierte, wurde das Land durch Regenwürmer regelmäßig gepflügt und wird fortlaufend noch immer gepflügt. Man darf wohl bezweifeln, ob es noch viele andere Tiere gibt, welche eine so bedeutungsvolle Rolle in der Geschichte der Erde gespielt haben wie diese niedrig organisierten Geschöpfe“, schrieb Darwin 1881 in hohem Alter im Buch „Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit des Regenwurms“ (Darwin, 1881). Aus heutiger Sicht kann die Bedeutung der „Pflugaktivität“, der Regenwürmer nur noch mehr wertgeschätzt werden, wenn man bedenkt, dass die konventionelle Art der Bodenbearbeitung und darin das Pflügen jährlich zu einem Verlust etwa 24 t fruchtbarem Ackerboden führt (Montgomery, 2007, p26f).

Regenwürmer (Stamm der Ringel und Gliedwürmer, *Annelida*) sind „ecosystem engineers“ des Bodens (Babu Ojha & Devkota, 2014). Sie spielen eine wichtige Rolle in Bodenentwicklung und Fruchtbarkeit und zeigen zuverlässig den Zustand eines Ökosystems an: einerseits durch ihre Fraß-Aktivität und die damit bewirkte Zerkleinerung, Einarbeitung und Umsetzung von organischer Substanz sind sie maßgeblich am Prozess der Humusbildung beteiligt. Andererseits werden durch Grabe-Aktivität und Losungen, sprich Ausscheidungen, die Bodenstruktur beeinflusst, wodurch die physikalischen Eigenschaften in bedeutendem Umfang verändert werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass unterschiedliche Arten in spezifischer Weise zu dieser Entwicklung beitragen, weshalb eine Untersuchung der Population sich nicht nur auf die Besatzdichte oder Biomasse der vorhandenen Tiere eines Standortes beziehen sollte, sondern eine Bestimmung der einzelnen Lebensstypformen und deren charakteristischer Lebensweise nötig macht (Krück, 2018).

Es ergibt sich hieraus die Fragestellung: Welche Erdwurmart lassen sich bei Stichprobenuntersuchungen auf verschiedenen landwirtschaftlich genutzten- und Vergleichsflächen am Dottenfelderhof finden und welche Schlüsse lassen sich daraus über eine für eine diverse Regenwurmfauna förderliche Bewirtschaftung ziehen.

Außerdem interessiert die Frage wie die Tätigkeit der Regenwürmer im „sich vorschreitend entwickelnden landwirtschaftlichen Organismus“ (Steiner, 1924) zu verstehen ist. Wenn zukünftig vermutlich standortspezifische Mikrobiomforschung stattfinden wird, um das Bodenleben zu fördern, bieten die Regenwürmer eine einfach zu untersuchende Art, um eine Einschätzung über den Zustand des Bodenlebens zu bekommen. Eine Fläche mit einem dauerhaften und diversen Regenwurmbestand ist Bioindikator für insgesamt gute Verhältnisse (Elmer & Palmer, 2012). Landwirtschaftliche Maßnahmen sollten also möglichst großem Maße

darauf bedacht sein, langfristig eine vielseitige Bodenlebewesen-Durchlebung halten zu können. Kam es an Stellen zu einer Beschädigung der Bodenstruktur oder ist ein starker Rückgang zu beobachten, sollte auch über eine Inokulation des Bodens mit gezüchteten Regenwürmern gedacht werden. Hierfür wird die vorhandene Literatur nach der geeigneten Methode durchsucht.

Im „Landwirtschaftlichen Kurs“ von 1924 beschreibt Rudolf Steiner die Regenwürmer als „goldige Tierchen, die den Pflanzen gerade so viel Ätherizität lassen, wie sie für das Wachstum brauchen“. Wie lässt sich ein solcher Hinweis in aktuellen sowohl landwirtschaftlichen als auch wissenschaftlichen Fragestellungen verorten. In welchem Zusammenhang stehen Tiere und Pflanze in Bezug auf Entwicklung und Bodenfruchtbarkeit? Forschungen, zuerst durchgeführt von Bouché (1986) mit ¹⁵N Isotopen, also markiertem Stickstoff zeigten, wie der von Regenwürmern aufgenommene Stickstoff anschließend direkt pflanzenverfügbar, also nach der Ausscheidung direkt assimiliert wird.

Zuletzt soll der Regenwurm als unser Haustier betrachtet werden, der uns Vorbild werden kann für ein unbedingtes „durcharbeiten-wollen“ der uns umgebenden Materie mit der Handlungsrichtung mehr langfristige Lebendigkeit und Lebensdienlichkeit zu erhalten. Die Fragestellung geht in Richtung einer zukünftigen Züchtung und Vermehrung von Würmern aus präventiv-medizinischen Gesichtspunkten.

STAND DES WISSENS

EINLEITUNG

Regenwürmer sind Ökosystemingenieure, die eine wichtige Rolle beim Nährstoffkreislauf, der Bodenfruchtbarkeit und dem Zustand des Ökosystems spielen und wesentlich zur weltweiten Nahrungsmittelproduktion beitragen (Fonte et al, 2023). Obwohl der Rückgang der Insekten weltweit immer besser dokumentiert ist, ist viel über den Status der Bodeninvertebraten nicht bekannt. Einfache Modelle deuten darauf hin, dass der Einsatz von Pestiziden die weltweiten Regenwurmpopulationen verringert haben könnte, aber wie bei vielen anderen wirbellosen Lebewesen waren Daten über die Entwicklung der Regenwurmhäufigkeit nur aus Studien in kleinen Gebieten. Bei der ersten landesweiten Bewertung der Regenwurm-trends wurden fast 100 Jahre an Daten über die Dichte und Biomasse von wirbellosen Bodenlebewesen aus dem gesamten Vereinigten Königreich zusammengetragen. Dabei wurde festgestellt, dass die Regenwurmdichte in den letzten 25 Jahren um 33-41 % zurückgegangen ist, insbesondere auf landwirtschaftlichen Flächen (wahrscheinlich aufgrund der Intensivierung und Industrialisierung der Landwirtschaft) und in Laubwäldern (Maggi & Tang, 2021a). Obwohl diese Daten nicht aus einer systematischen Überwachung stammen, deuten sie darauf hin, dass es in den Böden in dem Fall des Vereinigten Königreichs und möglicherweise auch in anderen Ländern mit ähnlichen landwirtschaftlichen und anderen Landnutzungspraktiken zu einem erheblichen Verlust gekommen ist. Ein solcher Rückgang hätte wahrscheinlich erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit des Bodens, die Struktur und Funktion des Ökosystems und die Bereitstellung von Ökosystemleistungen, mit möglichen Kaskadeneffekten auf die Bodenstruktur, die Artenvielfalt und die Chemie.

Zunächst wird eine Übersicht über den Stand des Wissens und die Methoden der Regenwurmforschung dargestellt:

ÖKOLOGISCHE STRATEGIEN ALS LEBENSWEISE VERSCHIEDENER LEBENSFORMTYPEN

Am Beispiel des Aufbaus der Polderböden in Holland konnte über Jahre gut gezeigt werden, welchen Einfluss eine Besiedlung mit Regenwürmern für das Bodenleben hat. Ein rasches Einarbeiten von Pflanzenteilen oder Streu sorgt für die Stabilisierung von organischer Substanz im Boden. Zusätzlich tragen die Regenwürmer durch ihre Arbeit maßgeblich zur Bildung der so wichtigen Ton-Humus-Komplexe bei. Diese Form der Nährstoff-Rückführung in die Bodenstruktur ist einzigartig und ist nach heutigem Stand des Wissens durch nichts ersetzbar. Auch jenseits von landwirtschaftlichen Flächen ist eine gesunde und resiliente Regenwurmpopulation wichtig, da sie Bodenporen ausbilden, in denen Wasser schnell im Boden aufgenommen kann. Auch der Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre wird so verbessert. Zuletzt sind Regenwürmer für viele unserer Wildtiere eine wichtige Nahrungsquelle (Bieri & Cuendet, 1989).

Seit 1977 durch Bouché werden Erd- oder Regenwürmer in drei ökologische Gruppen unterscheiden:

Streuschichtbewohner, welche oberhalb des Erdbodens, *epigäisch*, leben und sich in der dortigen feuchtwarmen Auflage aus verrottenden Pflanzenteilen, Blättern und Anhäufungen von organischem Material ernähren. Auch im Wurzelfilz von Grasnarben der Grünlandstandorte, sowie in Kompost oder Misthaufen finden epigäische Arten ein Lebensraum. Zu einem erheblichen Anteil sind sie die Zersetzer und Zerkleinerer der Organischen Masse in Zusammenarbeit mit den Pilzen und Mikroorganismen. Aufgrund der tendentiell großen Exponiertheit dieser Gruppe gegenüber Sonnenlicht und Fressfeinden sind sie meist stark pigmentiert, klein und agil in den Bewegungen.

Flachgräber, auch *endogäische* Regenwürmer genannt, legen im oberen Bodenbereich ihre Gänge an. Viele Arten dieser Gruppe erscheinen blass wegen nicht oder kaum vorhandener Pigmentierung. Besonders in den Wintermonaten reichen die Gänge dann bis unter die Frostgrenze. Da aber die Losungen direkt in die, meist horizontal gegrabenen, Gänge ablegen müssen ständig Neue gegraben werden. Die Flachgräber sind Sekundärzersetzer, was bedeutet, dass sie beim Graben große Mengen mineralischer Bodenanteile mit organischer Substanz durchmischen. Hierfür werden Bereiche, die reich an organischer Substanz sind gezielt aufgesucht. Dabei ernähren sich die flachgrabenden Arten von einerseits von der organischen Substanz selbst, aber auch von den auf ihren angesiedelten Mikroorganismen. Dieser Lebensformtyp macht sich besonders dadurch im Oberboden bemerkbar, dass er die physikalischen Eigenschaften günstig beeinflusst: So lockern sich die oberen Schichten auf und bringen Luft- und Wasserzirkulation in Gang. Außerdem bilden sie ebenfalls im Darm stabile organo-mineralische Verbindungen – Ton-Humus-Komplexe – die erheblich zu einer stabilen Krümeligkeit beitragen.

Tiefgräber legen eine einzige tiefe, vertikal ausgerichtete Röhre an. Diese *anektischen* oder *anözischen* Arten leben ihr ganzes Leben in diesen Röhren und bauen sie bis weit über einen Meter tief in die Erde. Die Wohnröhre

hat eine Öffnung zur Bodenoberfläche, da sich sich Tiefgräber, wie die epigäischen Arten als Primärzersetzer, organische Substanz in die Öffnung der Röhre ziehen. Sie sind daher für die Einarbeitung von organischer Substanz in den Boden sehr wichtig und fördern die Umsetzung dieser. Die Wohnröhre wird mit Losung ausgekleidet, was diese einerseits stabil macht und für Wurzeln, Luft und Wasser entscheidende vertikale Makroporen erschafft. Gerade für den zügigen Abfluss von Niederschlagswasser und zur Vermeidung von Erosion tragen diese Arten in riesigem Maße zur langfristigen Bodenentwicklung und Fruchtbarkeit bei. Erkennbar sind anektische Regenwürmartensorten daran, dass ihre vordere Körperhälfte – mit der sie die Röhre zur Partnersuche und um Nahrung zu finden verlassen - stark pigmentiert ist. Das Schwanzende können sie abflachen und sich so in der Röhre festhalten.

Auch wenn diese Einteilung durch weitere Unterkategorien unterteilt werden kann und es auch Überschneidungen gibt, wird sie bis heute mehr oder weniger unverändert verwendet. (zit nach: Krück, 2018)

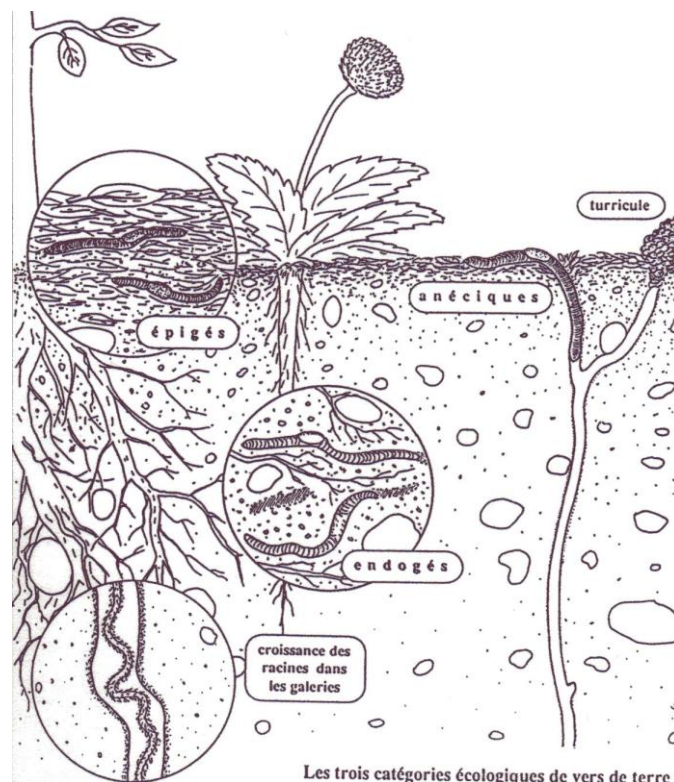


ABBILDUNG 1 G. CUENDET, DIE DREI LEBENSFORMTYPEN EPIGÄISCH-STREUSCHICHTBEWOHNER, ENDOGÄISCH-FLACHGRÄBER UND ANEKTISCH-TIEFGRÄBER

LEBENS-, ENTWICKLUNGS-, UND AKTIVITÄTSZYKLEN

Regenwürmer sind zwittrig, sprich sie tragen sowohl den weiblichen als auch den männlichen Geschlechtsapparat und können beide Keimzellen ausbilden. Dennoch findet in den meisten Fällen eine Paarung statt, bei der sich zwei Individuen in entgegengesetzter Richtung annähern und so im "Nebeneinanderliegen" die Samenblasen über Samenleiter in den anderen Partner abzugeben. Das erhaltene Spermium wird aber nicht direkt verwendet, sondern kann bis zur Kokonablage in Samentaschen gelagert werden. Auch die Befruchtung von Ei

und Samen findet nicht im Regenwurm, sondern außerhalb im Kokon statt, welcher durch die Absonderung einer Röhrenförmigen Schleimhülle in der Nähe des Clitellums, einer Art Gürtel um vordere Segmente des Tieres, geschieht. Während dieses Prozesses werden aus Eileiter und Samentasche Eier und aufbewahrtes Sperma in die Schleimhülle gegeben werden. Letztere verschließt sich nach dem Abstreifen über den Kopfbereich und wird sogleich vorne und hinten verschlossen. Im Kokon entwickelt sich dann, ohne ein Larvenstadium zu durchlaufen, der Jungwurm. So ist es Regenwürmern möglich, sich mehr oder weniger kontinuierlich – lebensformspezifisch gibt es hier große Unterschiede – fortzupflanzen. Die Form des Kokons ist ebenfalls, da vom Clitellum gebildet, je nach Größe und Form des Regenwurms unterschiedlich. Maßgeblich für die Häufigkeit der Ablage und somit der Vermehrung sind die Witterungsbedingungen: Bodenfeuchte und Temperatur sind dafür verantwortlich, dass der Aktivitätsmaximum im Frühjahr zu beobachten ist. Sind zusätzlich zu den Bodenfaktoren noch günstige Futterbedingungen vorhanden finden sich die Kokons in den oberen Horizonten des Bodens. Liegen ungünstigere, also trockene Bedingungen vor, werden sie deutlich tiefer im Boden abgelegt. In diesem Fall bleiben die juvenilen Tiere auch länger im Schutz der Kokonhüllen, schlüpfen erst, wenn die Umweltbedingungen wieder geeigneter sind. Die Dauer der Jungtierentwicklung und auch die Anzahl der Nachwuchspopulation variiert folglich mit den Umweltfaktoren stark. Je nach Lebensweise der verschiedenen Arten ergeben sich auch noch große Unterschiede. Tiere die dem Wetter am ungeschütztsten ausgesetzt sind, die epigäischen Würmer, weisen bildeten unter kontrollieren Laborbedingungen zwischen 26 und 40 Kokons in zwei Monaten (Edwards & Bohlen 1996), während tiefgrabende, anektische Arten im gleichen Zeitraum 6 – 20 Kokons abgelegt haben(von O. Graff, 1969). Betrachtet man nun die Brutdauer, so ist diese bei epigäischen Arten, wie bspw. *Eisenia fetida*, dementsprechend kürzer als bei epigäischen oder anektischen Arten. Untersuchungen mit *Eisenia fetida*, zeigten eine durchschnittliche Entwicklungsdauer von bereits zwei bis drei Wochen bis zum Schlüpfen. Andere epigäische Arten schlüpfen nach fünf bis sechs Wochen und endogäische Arten frühestens nach zwei Monaten. Der Trend setzt sich weiter Fort in der Entwicklungsphase vom Schlüpfen bis zur beginnenden Geschlechtsreife: steuschichtbewohnende Regenwürmer benötigen hierfür vier bis sechs Monate, Flachgrabende fünf bis sieben Monate und Anektische sogar mindestens ein Jahr, oft auch drei bis vier Jahre bis das adulte Stadium erreicht ist. Epigäische Arten leben hingegen längstens ein bis zwei Jahre, während Anektische zehn Jahre oder mehr an Lebenszeit erreichen.

TABELLE 1 VERMEHRUNGSRATEN UND ENTWICKLUNG DER LEBENSFORMTYPEN (NACH (EDWARDS & ARANCON, 2022A), P. 49FF; (KRÜCK, 2018), P. 11F)

Lebensformtyp	Epigäisch	Endogäisch	Anektisch
Anzahl Kokons/Jahr	65-106	8-27	3-8
Schlupf nach	2-6 Wochen	8 Wochen	32 Wochen
Geschlechtsreife	4-6 Monate	5-6 Monate	1-4 Jahre

Eine wichtige Komponente zur Erhaltung der Populationen ist, neben den Anpassungsstrategien gegen zu trockene und ausgezehnte Böden, der Blick auf die zahlreichen Fressfeinde der Würmer. Hier sind vor allem Maulwurf, Igel, Fuchs, Vögel, Laufkäferlarven und manche Schneckenarten zu nennen. Werden dann die äußeren Faktoren ungünstig bspw. Im Hochsommer, gehen Regenwürmer über mehrere Wochen in ein Ruhestadium. Sie verweilen spiralig eingerollt und eingeknotet in mit Schleim und Kot ausgekleideten Höhlen und sind so gegen Verdunstung geschützt. Aus diesem Zustand kommen sie erst wieder heraus, sobald die Umweltbedingungen wieder günstiger sind und es an der Oberfläche auch wieder Nahrung zu finden gibt. Die streuschichtbewohnenden Arten haben diese Möglichkeit nicht und sind daher gezwungen in Bereiche mit Laubansammlungen, oder unter der Rinde alter Baumstämme zu gehen um dort Trockenperioden zu überdauern. Es wird angenommen, dass es Arten gibt die sogar nur im Kokonstadium durch lange Trockenzeiten hindurch zu überleben (nach Krück, 2018 & mündl. Mitteilungen Bieri).

MORPHOLOGIE UND ALLGEMEINE BESTIMMUNGSMERKMALE

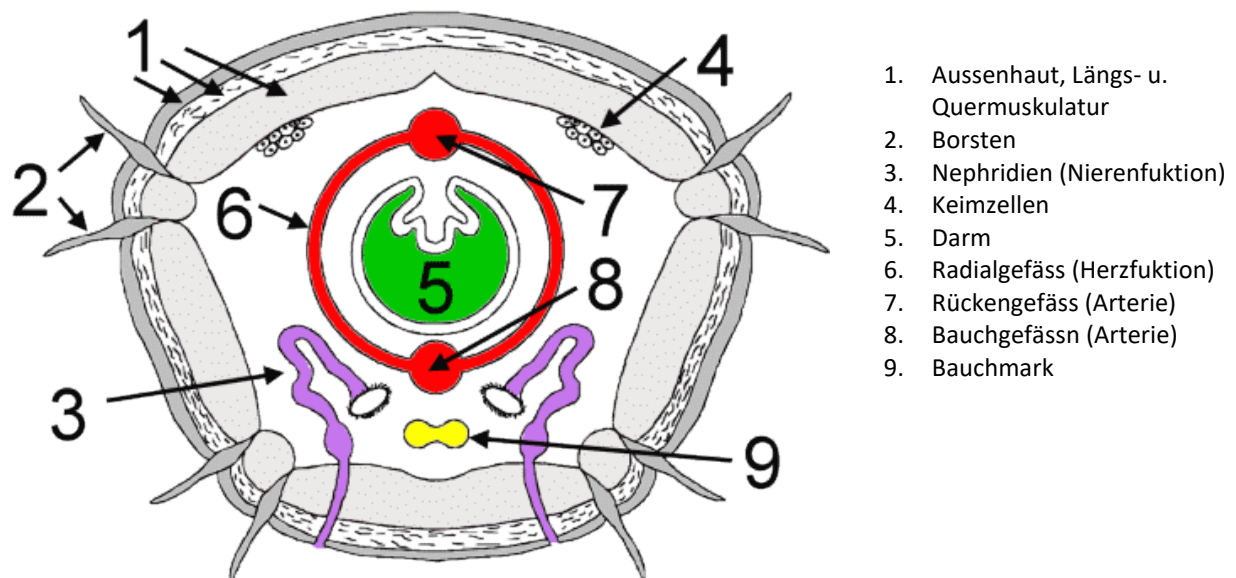


ABBILDUNG 2 QUERSCHNITT REGENWURMKÖRPER

Alle Regenwurmarten erscheinen in ihrem aus aufeinanderfolgenden Segmenten und eher zylindrisch geformten Körperbau im Aussehen. Abgesehen von diesem allgemeinen Aufbau mit ähnlicher funktioneller Organisation variieren die Arten aber in Körperform und Länge deutlich. Innerhalb der Segmente ist der Regenwurm relativ uniform ausgestaltet, was es ihm erlaubt die Segmentzahl zu erhöhen beim Wachsen und sogar ganze Segmente nach einer Verletzung neu zu bilden. Im Querschnitt lässt sich ein Segment durch eine Außenhaut begrenzt darstellen.

An deren Innenseite sind ringsherum Ring- und Längsmuskeln vorhanden die der Wurm alternierend verwendet um sich fortzubewegen. Hierbei spannt er zuerst die Ringmuskulatur an, was zu einer Streckung des gesamten Körpers führt um anschließend die Längsmuskeln zu verkürzen. Die in artspezifischer Weise an der Außenhaut angeordneten Borsten aus Chitin bewirken hierbei, dass sich der Wurm an einer Struktur, bzw. im Boden

festhalten kann. So lässt sich der Regenwurm in drei morphologisch und funktionell verschiedene Bereiche gliedern: Im Kopfbereich mit Mundöffnung befinden sich der Schlund, welcher dann in den, im ganzen Rumpf befindlichen Verdauungsorgan, mündet. Ein mittlerer Bereich enthält sowohl ein Blutgefäßsystem mit fünf paarig angeordneten Herzen. Diese sind Teil eines Gefäßsystems, welches im Bauchbereich Blut in Richtung Ausscheidung transportiert und im Rückenbereich in Richtung Kopf. Außerdem befindet sich im mittleren-vorderen Bereich im Laufe der Geschlechtsreifung das Clitellum, welches über seine Drüsen einen weiß-milchigen Schleim zur Paarung und Kokonbildung abgibt. Im Hinterende befindet sich der Darmausgang, worüber der Regenwurm seine "Losung" in oder auf den Boden abgibt.

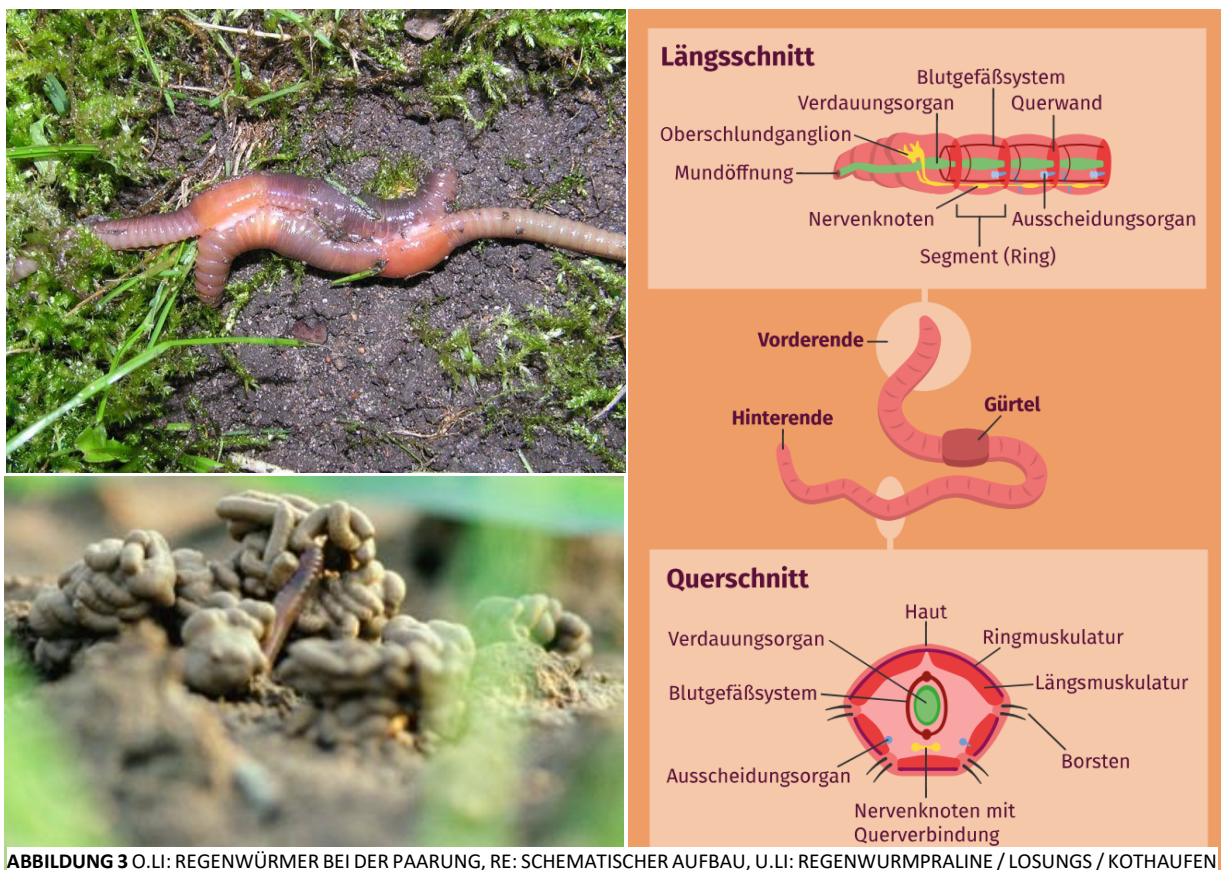


ABBILDUNG 3 O.LI: REGENWÜRMER BEI DER PAARUNG, RE: SCHEMATISCHER AUFBAU, U.LI: REGENWURMPRALINE / LOSUNGS / KOTHAUFEN

Typisch für die Regenwürmer ist, dass sie bei der Nahrungsaufnahme zusammen mit den verrotteten organischen Bestandteilen auch größere Mengen Mineralerde in den Darm aufnehmen. Die Bedeutung der Aufnahme von Mineralerde für den Regenwurm ist bis heute noch nicht geklärt. Hingegen kennt man die Bedeutung der Regenwurmkrümel für die Pflanzenernährung und die Bodenfruchtbarkeit. Genauere Untersuchungen zeigten, dass Wurm Kot reich an austauschbaren Ionen und auch ein guter Ionenaustauscher ist (Graff & Makeschin, 1980). Der gleiche Autor fand in Wurmlosungen eines Wiesenbodens in Mitteldeutschland 137 μg Phosphat pro g trockenen Wurm Kot, während der Umgebungsboden in den obersten 10 cm lediglich 29 μg Phosphat pro g trockener Erde. Phosphate, die sonst in Sedimentgesteinen und in feiner Verteilung in kristallinen Urgesteinen als schwer löslicher Apatit vorkommen werden also von den Regenwürmern wieder pflanzenverfügbar gemacht. Nach Klett (2021, p.442ff) geht es hierbei nicht primär um eine rein stofflich-quantitative Betrachtung, da der Phosphor allgemein nur im Mikrogramm Bereich vorkommt, sondern um eine „Entvitalisierung“, die sich in einer

gesunden Blüten- und Samenbildung zeigt. Dies deckt sich mit Steiners Aussage im Landwirtschaftlichen Kurs zur Tätigkeit der Regenwürmer, die den Pflanzen genau so viel Lebendigkeit geben, wie sie zum Wachstum brauchen (Steiner, 2022). Entvitalisieren bedeutet in diesem Zusammenhang Absterben und in die reine Form übergehen, was physiologisch in mancherlei Hinsicht der Phosphorwirkung zugeschrieben werden kann: Als Bestandteil der Kernsäuren (DNS, RNS) wird die Formqualität weitervererbt. Auch die Phospholipide des Myelin im Gehirn entvitalisieren, gehen also in einen Formstabilen Zustand über, um Bewusstsein zu schaffen. (Gebhard: pers. Mitteilung). Insgesamt kann die jährliche Kotproduktion der Regenwürmer mehrere Tonnen pro ha ausmachen (Maxima im Herbst und Frühjahr). Der Kot wird sowohl an der Bodenoberfläche als auch im Boden selbst deponiert. Stöckli (1928) registrierte in einer Golfwiese bei Zürich eine jährliche oberirdische Regenwurmkotablage von 81 t ha. Graff (1971) berechnete die jährlich anfallende Kotmenge von *L. terrestris* (anektische Art) auf 267 kg pro kg Lebendmasse für Mitteldeutschland. Bouché (1982) schätzt bei vertikal grabenden Arten die jährliche Kotproduktion auf 200 kg pro kg Lebendmasse und bei endogäischen Arten sogar auf 400 kg pro kg Lebendmasse (zit. nach (Bieri & Cuendet, 1989).

EINFLUSS LANDWIRTSCHAFTLICHER MAßNAHMEN AUF REGEWURMPOPULATIONEN

Wie eingangs erwähnt werden Regenwürmer die „Ökosystemingenieure“ genannt, da man weiß, dass sie die Bodenstabilität erheblich durch Bildung und Überführung von Aggregaten, Durcharbeitung von Horizonten und Umsatz der Organischen Masse an der Bodenoberfläche verbessern (Pulleman et al., 2005). Jede Art des mechanischen oder sogar chemischen Eingriffs in den Boden führt also zu einer potentiell förderlichen oder schädlichen Lebensraumveränderung für die Regenwurmpopulation. Allein die Veränderung der Bodentemperatur, Feuchtigkeit, Verfügbarkeit von organischer Masse und Futter wirken sich direkt auf die Population aus. Trotz guter wissenschaftlicher Datenlage zu diesem Thema nimmt die Anwendung des Wissens nur langsam zu. Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) veröffentlichte dazu ein Merkblatt, welches die wichtigsten Erkenntnisse gut aufbereitet. (Pfiffner, 2022)

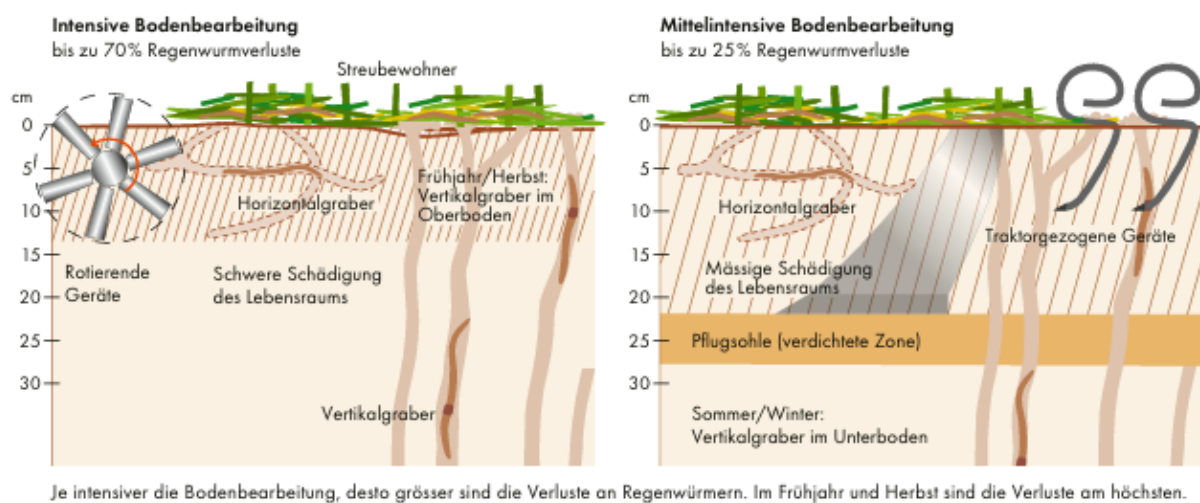


ABBILDUNG 4 AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER BODENBEARBEITUNGEN AUF REGEWURMHABITATE (aus FiBL Merkblatt 1610,2022)

Das wichtigste ist die Minimierung von tiefer und vor allem rotierender Bodenbearbeitung. Der Einsatz von Pflügen im Ackerbau kann eine Verlustrate von 25% der Population bedeuten. Bei schnell rotierenden Geräten ist die Rate sogar bei bis zu 70%. Wird hingegen bei trockenem und kaltem Boden bearbeitet, schädigt dies die Population erheblich weniger, da sich gerade die anektischen Arten in die tieferen Schichten zurückgezogen haben. Die dennoch notwendige Bodenbearbeitung sollte mit nicht wendenden und flachen Bearbeitungstiefen möglichst außerhalb der Hauptbewegungszeiten der Regenwürmer im Frühjahr und Herbst gemacht werden. Eine konservierende oder reduzierte Bodenbearbeitung erhöht die Dichte und Biomasse der Regenwürmer und der mit ihnen zusammenarbeitenden Bodenmikroorganismen.

BEDEUTUNG VON ZWISCHENFRÜCHTEN

Zwischenfrüchte sind Pflanzen, die zwischen den Hauptkulturen angebaut werden, um den Boden ständig bedeckt zu halten. Typischerweise werden dafür Leguminosen wie Klee, Wicke und Luzerne sowie Nicht-Leguminosen wie Getreide (z.B. Roggen, Gerste, Hafer) oder Kreuzblütler (z.B. Senf, Rübsen) verwendet. Die Wahl der Zwischenfrucht richtet sich nach dem angestrebten Zweck.

Leguminosen können Luftstickstoff binden und diesen durch Einarbeitung ihrer Biomasse der nächsten Kultur zur Verfügung stellen. Nicht-Leguminosen nehmen überschüssigen Stickstoff auf und verhindern dessen Auswaschung in niederschlagsreichen Zeiten außerhalb der Wachstumsperiode (Constantin et al., 2011; Macdonald et al., 2005). Besonders effektiv sind Mischungen aus beiden Gruppen, da sich ihre Eigenschaften ergänzen und für einen stabileren Pflanzenbestand sorgen. Durch Anpassung der Mischungsverhältnisse lässt sich der Stickstoffgehalt und dessen Verfügbarkeit für die Folgekultur gut steuern (Tosti et al., 2012).

Zwischenfrüchte dienen verschiedenen Zielen:

- Bodenschutz: Sie verringern Erosion durch Wind und Wasser, indem sie den Boden dauerhaft bedecken (Lal et al., 1991).
- Bodenverbesserung: Langfristig verbessern sie Bodenstruktur, -fruchtbarkeit und Wasserinfiltration.
- Unkraut- und Schädlingskontrolle: Durch erhöhte Biodiversität werden unerwünschte Pflanzen, Schädlinge und Krankheitserreger unterdrückt.

Förderung nützlicher Mikroorganismen: Sie begünstigen die Ansiedlung von arbuskulärer Mykorrhiza (Bärberi, 2002). Der Anbau von Zwischenfrüchten ist besonders wichtig für die Nachhaltigkeit von Agrarsystemen, vor allem bei reduzierter Bodenbearbeitung (Lal et al., 1991). In der ökologischen Landwirtschaft und bei reduzierter Bodenbearbeitung sind sie ein wichtiges Instrument des präventiven Stickstoffmanagements, beispielsweise durch den Anbau von Leguminosen in der Fruchtfolge und von (Winter)Zwischenfrüchten (vgl. (Thorup-Kristensen et al., 2003). Angesichts steigender Düngemittelpreise und wachsenden Umweltbewusstseins gewinnen Zwischenfrüchte auch in der konventionellen Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung (Salmerón et al., 2011).

METHODEN DER PROBENNAHME VON REGENWÜRMERN

Um die aktuelle Situation der Regenwürmer in einem Ökosystem feststellen zu können, ist eine Einschätzung der Artenvielfalt, Häufigkeit und Biomasse wichtig. Die Vielzahl an vorhandenen Methoden um die Regenwürmer aus dem Boden zu bekommen wird hier kurz vorgestellt. Bouché (1972) zeigt verhaltensorientierte Methoden vor die durch Reize wie Licht, Hitze und Vibrationen auszutreiben versucht. Des Weiteren existiert die sogenannte „Oktett-Methode“ funktioniert nur auf unbearbeitetem Boden mit ausreichender Feuchte. (Edwards & Arancon, 2022b, p. 92). Außerdem können die Regenwürmer durch chemische Substanzen an die Oberfläche getrieben werden. Hierbei werden bspw. Formalin oder Kaliumpermanganat an die Oberfläche getrieben werden. Dabei ist Formalin ein sehr häufig verwendetes Mittel, das als effizient und wirkungsvoll gilt. Trotzdem ist zu beachten, dass die Effizienz eingeschränkt ist, wenn nicht alle Würmer in ihren Gängen erreicht werden und bspw. bei Kälte und Dormanz die Reizung nicht ausreicht (Bouché, 1997). Da Formalin eine toxische und karzinogene Wirkung auf Regenwürmer und andere Bodenlebewesen hat ist es auf ökologisch bewirtschafteten Flächen ohnehin nicht zugelassen. (vgl. Verordnung 834/2007, o. J.). Als Alternative zu Formalin steht Senf und der darin enthaltene Stoff Allylthiocyanat (AITC) zur Verfügung. Er hat die gleiche irritierende Wirkung auf die Regenwürmer und lässt sich daher äquivalent verwenden. Zu beachten ist, dass die AITC-Gehalte in Senfsaat je nach Anbau und Region variieren (Valckx et al., 2011 p.21). Als übliches Entnahmeverfahren für kleinere Umfänge gilt die passive oder händische Entnahme, bei der zufriedenstellende Ergebnisse zu erwarten sind. Da die Artzusammensetzung eines Standorts vergleichsweise artenarm anzunehmen ist, reicht eine kleine Anzahl an Proben um die Zusammensetzung zu bestimmen. (Valckx et al., 2011, p. 36). Als nachteilig bei der Handlese erweist sich der hohe Arbeits- und Zeitaufwand, insbesondere in nassen, schweren oder felsigen Böden und einer hohen Probenzahl. Auch ein enges Wurzelnetz erschwert die Handlese. Soll der untersuchte Standort ungestört bleiben, ist die Methode ungeeignet. Anektisch lebende Würmer können durch das Ausweichen in tiefere Bodenschichten der Probennahme entgehen. Kokons und juvenile Tiere werden leicht übersehen, was zu einem verfälschten Ergebnis führen kann. Laut Singh et al. (2016) ist diese Methode nur für Tiere über 0,2g FM zufriedenstellend. Waschen und Sieben des Bodens könnte eine erweiterte Möglichkeit sein, jedoch ist das sehr zeitintensiv und bedeutet einen hohen Wasserbedarf. Hinzu kommt die erhöhte Verletzungsgefahr für die Regenwürmer und Kokons (Edwards & Arancon, 2022b, p.91).

ZÜCHTUNG

Trotz der seit Jahrzehnten vorhandenen Erkenntnisse über lässt sich ein globaler Trend im Rückgang der Populationen weltweit registrieren, dessen Konsequenzen sehr schwer abzuschätzen sind. (Maggi & Tang, 2021b). Daher wird sich die Arbeit im Folgenden mehr mit den Möglichkeiten einer Reintegration von Regenwurmpopulationen in landwirtschaftliche Flächen beschäftigen. Wie können wir den Regenwurm in seinen mannigfaltigen Artausprägungen bewusst zu unserem Haustier machen? Es stellt sich die Frage nach Züchtung. Da sich die Arten in ihrer Lebensweise sehr unterscheiden müssen sie unterschiedlich gezüchtet werden.

ZÜCHTUNG VON EPIGÄISCHEN ARTEN:

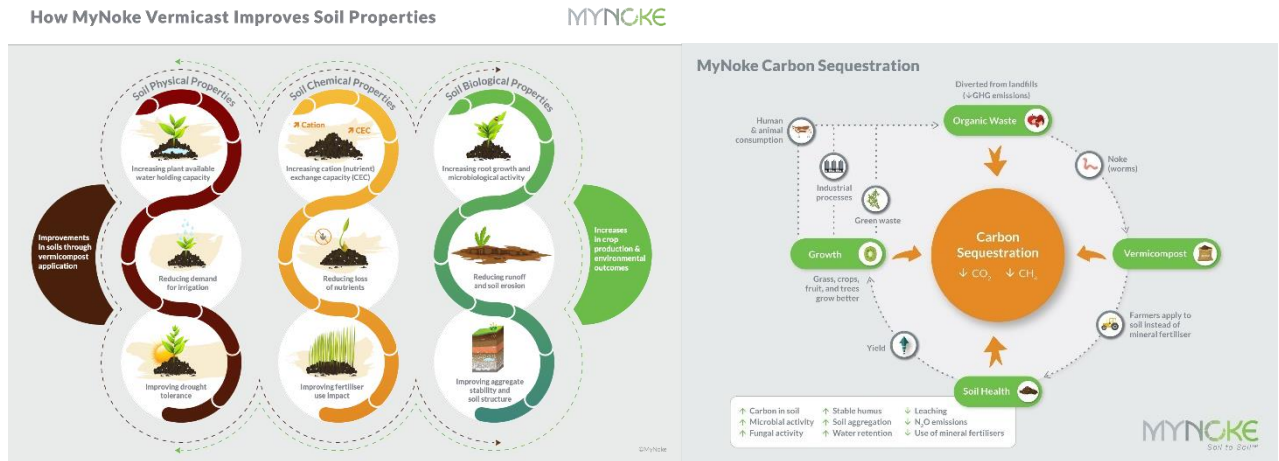


ABBILDUNG 5 Kommerzielle Werbung für Wurmkompost „Mynoke Vermicast“, NZ; Quelle: <https://www.mynoke.co.nz/brochures-and-documents>

Aus dem der Beschäftigung mit Regenwürmern kam ich in Kontakt mit Dr. Markus Bieri, welcher lange Zeit an der ETH Zürich im Institut für Pflanzenschutz und in vielen anderen Projekten die Regenwürmer beforstete und u.a. Erfahrung mit Abfallverwertung durch Kompostwürmer hat. Von ihm stammt die nachfolgend beschriebene Idee einer einfach selbst zu konstruierenden Regenwurmkompostierungsanlage.

Epigäische Arten zeichnen sich, wie oben erwähnt, durch eine hohe Reproduktionsrate, einen schnellen Umsatz und Nitrifikation von organischem Material aus. Zielsetzung des Baus ist es, eine möglichst durchluftete, aerobe und gleichmäßige Umgebung zu schaffen, in der die Würmer ein gutes, diverses Nahrungsangebot haben. So sollte eine gesunde Population entstehen und erhalten bleiben. Gleichzeitig entsteht sehr wertvoller Wurmkompost, der an entscheidenden Stellen für Bodenfruchtbarkeit und Düngung verwendet werden kann. Ein weiterer Gedanke zu der Nutzbarkeit der Anlage ist die Verwertung und Nitrifikation von landwirtschaftlichem „Nutzwasser“ bestehend aus Regenwasser mit leichtem Gülleanteil vom Laufhof des Stalls oder nicht mehr veredelbare Molke.

Mit diesen Grundgedanken und der Erfahrung von Markus Bieri entstand die Idee einer Trommel, die in regelmäßigen Abständen rotiert und so die Kompostmasse inklusive der Würmer bewegt. Entlang der Längsachse ist ein Teil der Trommel nach oben geöffnet und ermöglicht eine gute Sauerstoffzufuhr. An beiden Stirnseiten besteht die Möglichkeit die Trommel zu öffnen und das kompostierte Material zu entnehmen.

Dieses Konzept befindet sich derzeit in eine Prototypenphase und wird zusammen mit einem Lehrling des Hofes und mit großer Unterstützung von Bieri weiterentwickelt.

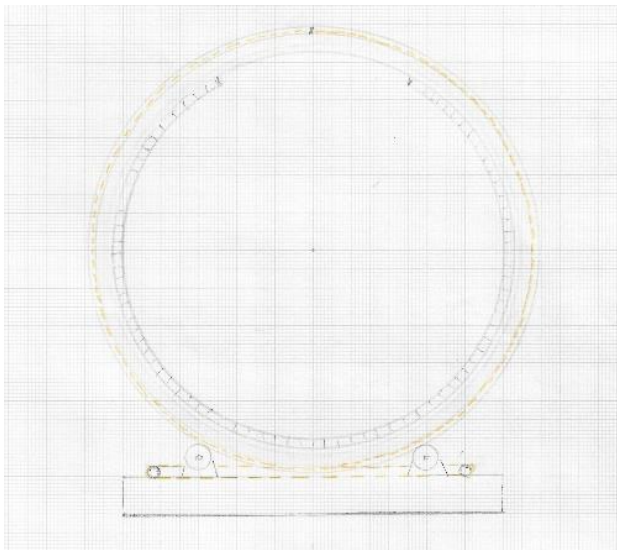


ABBILDUNG 6 QUERSCHNITT KOMPOSTTROMMEL FÜR WURMKOMPOST MST 1:20, MARKUS BIERI; LOGO DES INTERNATIONALEN WURMKOMPOST SYMPOSIUMS 2023

ZÜCHTUNG VON ENDOGÄISCHEN UND ANEKTISCHEN WURMARTEN:

Erfolgreiche Laborzüchtung von Flach- und Tiefgräbern ist sehr zeitaufwändig und erfordert ein hohes Maß an Pflege und Kontrollen um sicherzustellen, dass die richtigen Bedingungen über die Zeit gegeben sind. Sollte beispielsweise ein Faktor wie die Nahrungsverfügbarkeit zu sehr variieren, oder die Temperatur zu sehr schwanken, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Züchtung stark beeinflusst wird. Trotzdem ist der Aufwand notwendig, um überhaupt über eine bloße Vermehrungszüchtung hinaus zu verstehen, wie verschiedene Arten miteinander und mit unterschiedlichen Bedingungen zurechtkommen. Für die meisten Tiefgräber existieren so gut wie keine Daten über deren lebensstypischen Konditionen, auch wenn für einzelne auch unbekanntere Arten wie dem *Homogaster elisae* Untersuchungen im Labor angestellt wurden (Valle et al., 1998). Insgesamt kommen die Autoren der verfügbaren Studien zu dem Ergebnis, dass möglich und nötig ist, Regenwürmer zu kultivieren und zu untersuchen um daraus Erkenntnisse für Ökologie und andere Wissensgebiete zu ziehen (Lowe & Butt, 2005).

Da gerade die Züchtung der Tiefgräber mindestens ein Jahr Zeit benötigt, bis die Tiere im Mittel im adulten Zustand sind, wurde im Rahmen dieser Arbeit kein Versuch unternommen.

BEPROBUNG AM DOTTENFELDERHOF

Um ein Bild der Regenwurmpopulation am Dottenfelderhof zu bekommen wurden im Rahmen des Jahreskurses immer wieder Einzelexemplare in allen Lebenszyklen gefunden. Zur Systematischen Erfassung schlägt die wissenschaftliche Literatur wie oben beschrieben verschiedene Methoden vor. Die einfachste und schönste ist die Lebendausgrabung und Handauslese. Tendenziell werden dabei die tiefgrabenden Regenwurmarten unterschätzt, da diese sich bei Erschütterung schnell in den Unterboden zurückziehen können. Eine Möglichkeit wäre, sie mit Allylisothiocyanat (AITC), einem Bestandteil von Senfesaat, zu irritieren und so aus den Röhren zu

locken. Da dies zwar zugelassen, aber dennoch ein aufwändiges und nicht wirklich bodenschonendes Verfahren ist, wurde darauf verzichtet. Stattdessen sollte eine Lebendausgrabung nach Protokoll von Junge (2019) mit Bestimmung bis Artniveau erfolgen. Sofern die Tiere noch im juvenilen Stadium sind, kann die Art nicht bestimmt werden (Krück, 2018). Nach Aussage von Bieri und Junge ist der beste Erfassungszeitpunkt nach Sonnenuntergang. Die beprobten Flächen befinden sich teilweise an unterschiedlichen Stellen der Fruchtfolge und bieten daher nur eine Momentaufnahme der Situation. Ein direkter Vergleich ergibt aus diesem Grund auch keinen Sinn.

Nach Čejka, T., Zehetner, K., Bruckner, A., Watzinger, A., Meyer, E., 2008. Efficacy and side effects of five sampling methods for soil earthworms (Annelida, Lumbricidae). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 71, 552-565. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.08.002>
 Krück, S., 2018. Bildatlas zur Regenwurmbestimmung: mit einem Kompendium der Regenwurmfaua des Nordostdeutschen Tieflands. Natur+Text, Rangsdorf.
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Eds.), 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung: mit 103 Tabellen und 31 Listen, 5., verbesserte und erweiterte Auflage. ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart

- 1) Bodenziegel 20x20x30 cm ausstechen
- 2) Erfassung der Regenwurmanzahl durch Handlese via Wanne (+Sieb)
- 3) Einteilung in Adulte und Juvenilen Stadien (Clitellum)
- 4) Anzahl x 25 = Regenwürmer /m²

Bestimmung über Schlüssel von Krück (2018)

Vorsicht:
Tendenzielle Unterschätzung der tiefgrabenden Arten.

ABBILDUNG 7 BESTIMMUNG DER REGENWURMABUNDANZ MIT HILFE DER HANDAUSLESE PROTOKOLL NACH S. JUNGE, UNIVERSITÄT KASSEL

Bezeichnung	Kultur und Fruchtfolge	Beurteilung Boden / Bemerkungen
Lehmkaute	Kartoffeln, Mais in Dammkultur	Schwerer Toniger Boden, matschige Auflage, darunter schwer durchdringbar, trocken
Oberfeld	Klee gras 2. Jahr	Krümelige Bodenstruktur, feucht,
Schwindacker	Gerstenstoppelfläche Bearbeitung vor 4 Wochen	Klebrige Auflage, dann feucht und fest
Himmelacker Straße	Getreidestoppel gewalzt	Krümelig, feucht, gut durchlüftet
Himmelacker Kirschberg	Klee gras mit frischem Dünger (Gülle)	Teils steinig, trocken, krümelig

TABELLE 2 BEURTEILUNG DER FLÄCHEN IN DER FRUCHTFOLGE

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In der Nacht vom 7. August 2024 nach geringem Niederschlag am Vormittag die Beprobungen durchgeführt. Insgesamt wurden auf vier Schlägen des Dottenfelderhofes je 4-5 Einzelproben genommen um einen Mittelwert

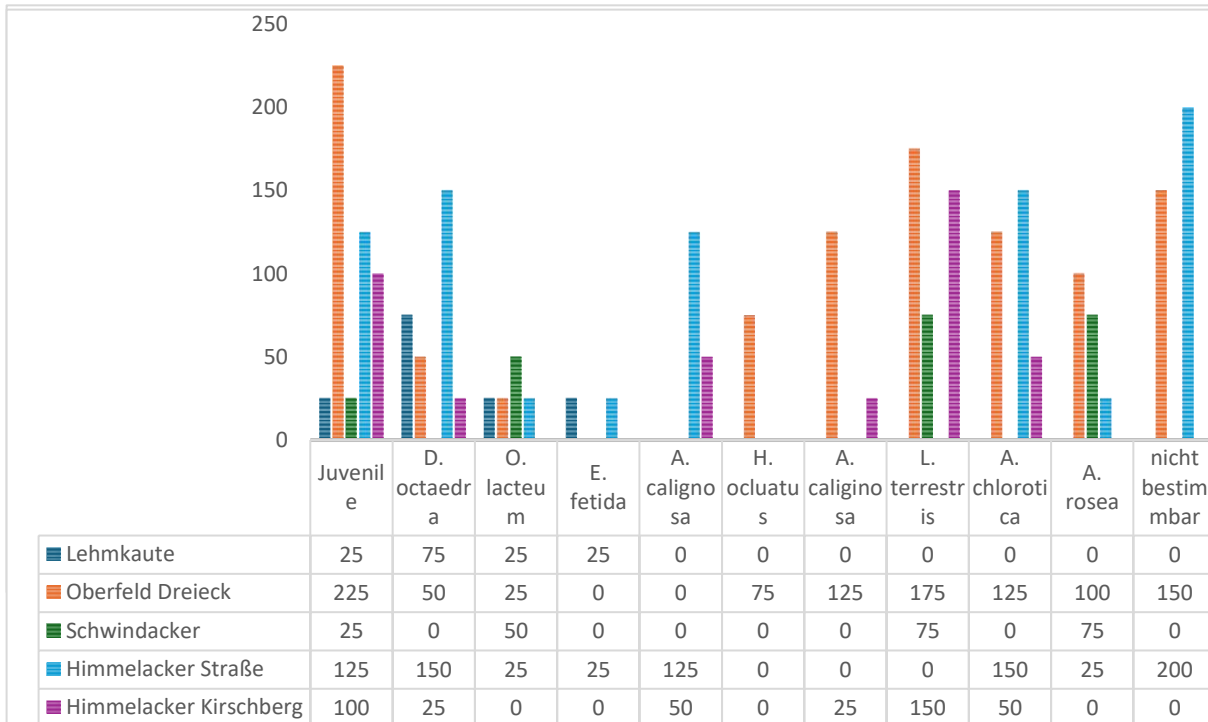


ABBILDUNG 8 BESTIMMUNG NACH SCHEMA VON KRÜCK 2018

zu bestimmen. Dieser wurde zur Berechnung der Abundanz (Besatzdichte) verwendet. Die Besatzdichte variiert zwischen 37,5 Individuen pro Quadratmeter auf der „Lehmkaute“ und 262,5 Individuen auf dem „Oberfeld“ (siehe Abb. 6). Auf Ackerflächen in Mitteleuropa sind zwischen 75 und 300 Tiere pro Quadratmeter anzunehmen (Edwards & Arancon, 2022b, p 122). Zwei Proben auf Lehmkaute und Schwindacker sind unterhalb des Erwartungshorizonts. Die in Abbildung 7 und 8 gezeigten Artzusammensetzungen sind die typischen, im Ackerland zu erwartenden Arten. Schön ist, dass die Anzahl der Tiefgrabenden Art *L. terrestris* einen guten Anteil der Population ausmacht.

Die Populationen in den Klee gras / Luzern grasflächen sind wie zu erwarten am höchsten, da sie dort am meisten Zeit zur ungestörten Entwicklung hat (Schmidt et al., 2001). Der Zeitpunkt der Probenentnahme war nicht ganz ideal, da die Aktivitätsmaxima der Regenwürmer im Herbst und Frühling sind. Es ist also anzunehmen, dass sich noch deutlich mehr Tiere in den Flächen befinden, diese aber während der Sommerhitze tiefer als 30 cm im Boden verharren. Zahlreiche gut etablierte Regenwurm röhren wurden beobachtet und unterstützen diese Annahme. Die Flächen, auf denen die Besatzdichte sehr gering ist, müssen weiter beforscht werden, und ggf. ist eine Inokulation mit gezüchteten Regenwürmern zu diskutieren. Auf dem Schwindacker spielt vermutlich die zuvor durchgeführte Bodenbearbeitung dazu, dass der Oberboden nicht sehr stark mit Regenwürmern belebt war. Eine Einzelbeobachtung fand unter einer Stelle wo viele organische Erntesterne liegengelassen waren mehr Individuen als im umgebenden Acker, woraus sich wieder schließen lässt, dass es eine bessere Abundanz und Vielfalt gibt, als die Daten zeigen.

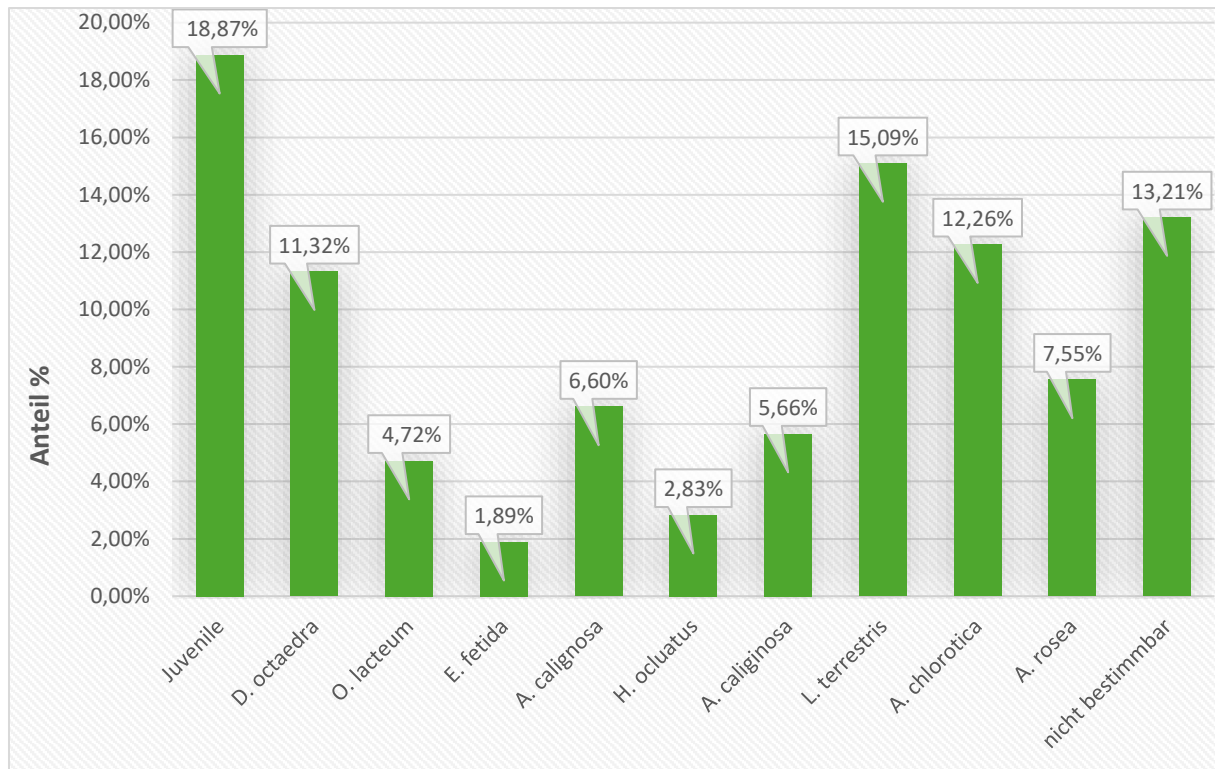


ABBILDUNG 10 PROZENTUALER ANTEIL DER ARTEN AUF ALLEN BEPROBTEN FLÄCHEN

Insgesamt zeigt die Bestimmung der Arten, dass die typischen Arten, die auch in der Literatur für vergleichbare Flächen angegeben werden gefunden wurden. Die Art *L. rubellus* ließ sich bspw. bei einer ähnlichen Beprobung noch zusätzlich bestimmen. In diesem Versuch könnte sie sich gut unter den noch juvenilen Individuen vertreten sein und noch nicht zu bestimmen. Dies müsste in weiteren Probenentnahmen bestätigt werden.

PERSÖNLICHES RESÜMEE

Die Projektarbeit war eine wertvolle Erfahrung, wie ich mich als Laie mit der vorhandenen Forschung auseinandersetzen durfte und mithilfe von einem Experiment in der Landwirtschaft das theoretische Wissen in der Praxis anwenden konnte. Eindrucksvoll war dabei für mich, wie viele gute und präzise Versuchsergebnisse und Beschreibungen sich finden lassen, inklusive mehrere Bände Bücher zu allen Regenwurmthemen, und trotzdem ein massiver Rückgang an Diversität und Artenvielfalt - eben auch was den Besatz an „regen Würmern“ angeht – zu sehen ist. Mir ist es daher ein Anliegen geworden, mich mehr darauf zu fokussieren in konkreten Fällen die Maßnahmen zu ergreifen für eine Nachzucht der Vielfalt zu sorgen. Denn diese hängt im weitesten Sinne mit den Fragen der Ernährungssicherheit, Fruchtbarkeit und Gesundheit im Gesamten zusammen. Wie eingangs erwähnt wurde sind die landwirtschaftlichen Erträge direkt abhängig vom Vorhandensein eines guten Besatzes an Bodenlebewesen. Die LandwirtInnen und LandschaftsgestalterInnen sollten gesellschaftlich darin bestärkt werden sich um ideale Verhältnisse bemühen zu können, die mehr dem Leben im Allgemeinen – unserer Erde und uns Menschen – fördern und nicht nur „Produzenten von Nahrungsmitteln“.

Mit dem Zeitmanagement hätte ich mich schneller ins Experimentieren trauen sollen, da ich schlussendlich nur zu einem nicht ganz idealen Zeitpunkt proben genommen habe. Im Frühjahr wäre es vermutlich besser möglich gewesen ein vollständiges Bild der Population auf den Böden des Dottenfelderhofs zu bekommen.

Besonders möchte ich mich bei meinen Betreuern und Beratern Markus Bieri, Anna van der Laan und Martin von Mackensen für die Unterstützung bei meinem Vorhaben bedanken. Und zu guter Letzt auch bei den Menschen und Lebewesen des Dottenfelderhofs in dessen Grenzen ich diese Arbeit schreiben konnte.

Bad Vilbel, 14.08.2024

Benedikt Sandkühler

REFERENZEN

LITERATURVERZEICHNIS

- Babu Ojha, R., & Devkota, D. (2014). Earthworms: „Soil and Ecosystem Engineers“ – a Review. *World Journal of Agricultural Research*, 2(6), 257–260. <https://doi.org/10.12691/wjar-2-6-1>
- Bieri, M., & Cuendet, G. (1989). Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. In Schweiz. Landw. Fo. Recherche agronom. en Suisse (Bd. 28, Nummer 2).
- Bouché, M. B. (o. J.). Relations entre les structures spatiales et fonctionnelles des écosystèmes illustrées par le rôle pédobiologique des vers de terre. 187–209.
- Bouché, M. B. (1972). Lombriciens de France. *Ecologie et systématique*. 72–2(HS), 671 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02859798>
- Bouché, M. B., & Al-Addan, F. (1997). Earthworms, water infiltration and soil stability: Some new assessments. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(3–4), 441–452. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00272-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00272-6)
- Constantin, J., Beaudoin, N., Laurent, F., Cohan, J.-P., Duyme, F., & Mary, B. (2011). Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant and Soil*, 341(1–2), 137–154. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0630-9>
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022a). *Biology and Ecology of Earthworms: Fourth Edition*. *Biology and Ecology of Earthworms: Fourth Edition*, 1–567. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3>
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022b). *Biology and Ecology of Earthworms: Fourth Edition*. In *Biology and Ecology of Earthworms: Fourth Edition*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3>
- Elmer, J., & Palmer, A. F. (2012). Functional Biomaterials Biophysical Properties of *Lumbricus terrestris* Erythrocrucorin and Its Potential Use as a Red Blood Cell Substitute. *J. Funct. Biomater*, 3, 49–60. <https://doi.org/10.3390/jfb3010049>
- Fonte, S. J., Hsieh, M., & Mueller, N. D. (2023). Earthworms contribute significantly to global food production. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41286-7>
- Graff, O. (1971). Stickstoff, Phosphor und Kalium in der Regenwurmlosung auf der Wiesenversuchsfläche des Sollingprojektes. *Ann. zool.- ecol. anim*, 503–511.
- Graff, O., & Makeschin, F. (1980). Beeinflussung des Ertrags von Weidelgras (*Lolium multiflorum*) durch Ausscheidungen von Regenwürmern dreier verschiedener Arten¹). *Pedobiologia*, 20(3), 176–180. [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)03529-1](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)03529-1)

- Graff, O. von. (1969). Regenwurm-tätigkeit im Ackerboden unter verschiedenem Bedeckungsmaterial, gemessen an der Lösungsablage. *Pedobiologia*, 9(1), 120–127. [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)00505-X](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)00505-X)
- Klett, Manfred. (2021). Von der Agrartechnologie zur Landbaukunst : Wesenszüge des biologisch-dynamischen Landbaus : eine Landwirtschaft der Zukunft. Verlag am Goetheanum. <https://goetheanum-verlag.ch/produkt/von-der-agrartechnologie-zur-landbaukunst/>
- Krück, S. (2018). Bildatlas zur Regenwurmbestimmung: mit einem Kompendium der Regenwurmfauna des Nordostdeutschen Tieflands. Natur + Text.
- Lal, R., Regnier, E., & Eckert, D. J. (1991). Expectations of cover crops for sustainable agriculture. *Cover Crops for Clean Water, Soil and Water Conservation Society Publication (1991)*, 1–11.
- Lowe, C. N., & Butt, K. R. (2005). Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia*, 49(5), 401–413. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.04.005>
- Macdonald, A. J., Poulton, P. R., Howe, M. T., Goulding, K. W. T., & Powlson, D. S. (2005). The use of cover crops in cereal-based cropping systems to control nitrate leaching in SE England. *Plant and Soil*, 273(1–2), 355–373. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0193-3>
- Maggi, F., & Tang, F. H. M. (2021a). Estimated decline in global earthworm population size caused by pesticide residue in soil. *Soil Security*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100014>
- Maggi, F., & Tang, F. H. M. (2021b). Estimated decline in global earthworm population size caused by pesticide residue in soil. *Soil Security*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100014>
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268–13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Pfiffner, L. (2022). Regenwürmer-Baumeister fruchtbarer Böden Bedeutung und Empfehlungen für ihre Förderung in der Landwirtschaft. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7022532>
- Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y., & Jongmans, A. G. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2004.10.003>
- Salmerón, M., Isla, R., & Caverro, J. (2011). Effect of winter cover crop species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 123(2), 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.006>
- Schmidt, O., Curry, J. P., Hackett, R. A., Purvis, G., & Clements, R. O. (2001). Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat–clover intercropping systems. In *Ann. appl. Biol* (Bd. 138).

- Singh, J., Singh, S., & Vig, A. P. (2016). Extraction of earthworm from soil by different sampling methods: a review. *Environment, Development and Sustainability*, 18(6), 1521–1539. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9703-5>
- Steiner, Rudolf. (2022). Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft Landwirtschaftlicher Kurs. Koberwitz bei Breslau 1924, und ein Vortrag, Dornach 1924.
- Stöckli, A. (1928). Studien über den Einfluss des Regenwurmes auf die Beschaffenheit des Bodens. ETH.
- Darwin, C. (1881). The Formation of Vegetable Mould, by Charles Darwin. <https://www.gutenberg.org/files/2355/2355-h/2355-h.htm>
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Jensen, L. S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones (S. 227–302). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79005-6)
- Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Pace, R., Tei, F., Guiducci, M., & Thorup-Kristensen, K. (2012). Green manuring effect of pure and mixed barley – hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. *European Journal of Agronomy*, 43, 136–146. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2012.06.004>
- Valckx, J., Govers, G., Hermy, M., & Muys, B. (2011). Optimizing Earthworm Sampling in Ecosystems (S. 19–38). https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_2
- Valle, J. V., Moro, R. P., Garvín, M. H., Trigo, D., & Díaz Cosín, D. J. (1998). Growth in the laboratory of *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae). *Applied Soil Ecology*, 9(1–3), 111–114. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00064-X)
- Verordnung - 834/2007 - EN - EUR-Lex. (o. J.). Abgerufen 10. August 2024, von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32007R0834>

ABBILDUNGS-UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1 G. Cuendet, die drei lebenformtypen epigäisch-Streuschichtbewohner, endogäisch-flachgräber und anektisch-tiefgräber	8
Abbildung 2 Querschnitt Regenwurmkörper	10
Abbildung 3 o.Li: Regenwürmer bei der Paarung, re: schematischer Aufbau, u.li: Regenwurmpraline / Losungs / Kothaufen.....	11
Abbildung 4 Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungen auf Regenwurmhabitate (aus FibL Merkblatt 1610,2022)	12
Abbildung 5 Kommerzielle Werbung für Wurmkompost „Mynoke Vermicast“, NZ; Quelle: https://www.mynoke.co.nz/brochures-and-documents	15
Abbildung 6 Querschnitt Komposttrommel für Wurmkompost MSt 1:20, Markus Bieri; Logo des Internationalen Wurmkompost Symposiums 2023	16

Abbildung 7 Bestimmung der Regenwurmabundanz mit Hilfe der Handauslese Protokoll nach S. Junge, Universität Kassel	17
Abbildung 8 bestimmung nach Schema von Krück 2018	18
Abbildung 9 Anzahl Individuen/m ² ; n=662,5	18
Abbildung 10 Prozentualer Anteil der Arten auf allen beprobten Flächen	19
Tabelle 1 Vermehrungsraten und Entwicklung der Lebensformtypen (nach (Edwards & Arancon, 2022a), p. 49ff; (Krück, 2018), p. 11f)	9
Tabelle 2 Beurteilung der Flächen in der Fruchtfolge	17