

Caenorhabditis elegans

LE COUTEAU SUISSE DES LABORATOIRES DE BIOLOGIE
DAS SCHWEIZER TASCHENMESSER DER BIOLOGIELABORS



Dr. Chantal Wicky, Dr. Marie-Pierre Chevron
Dr. Nadine Tardent, Clara Pierson et Hostettler
Lola
26/09/2026

Inhaltsverzeichnis

Einordnung in den Rahmenlehrplan.....	2
A. Benennen heisst Erkennen und Schützen	4
Einleitung: Warum Böden schützen?	4
Caenorhabditis elegans in Kürze.....	6
Experiment 1 : Proben entnehmen und isolieren	7
Experiment 2 : Phänotypische Bestimmung.....	9
Experiment 3 : Sequenzen mit BLAST abgleichen und identifizieren	10
3.1 Versenden der Würmer	10
3.2 Analyse der Sequenzen.....	12
Wie « pickt » man Würmer ?.....	13
Einen eigenen Wurmpicker herstellen	13
Würmer picken	14
B. <i>Caenorhabditis elegans</i> - ein Modell für die Ökotoxikologie	15
Einführung	15
Caenorhabditis elegans in Kürze.....	16
Experiment 1 : Den Modellorganismus erkunden.....	17
Experiment 2 : Auswirkungen von möglichen Bodenschadstoffen auf <i>C. elegans</i> testen ...	20
Ethische Reflexion.....	22
Konzeptkarte: Funktionen des Bodens.....	28
Vorschläge zu interdisziplinärer Erweiterung.....	29
Interesse an einem dieser Praktika?.....	29

Einordnung in den Rahmenlehrplan

Die Reform der gymnasialen Maturität (WEGM) verankert die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE), die Digitalität (DIG), die wissenschaftliche Propädeutik (WP), die Interdisziplinarität (ID) sowie die Entwicklung überfachlicher Kompetenzen (ÜK) im neuen Rahmenlehrplan (RLP). Auch die politische Bildung (PB) kann – insbesondere bei ethischen und gesellschaftlich relevanten Fragestellungen – aufgegriffen werden. Die Berücksichtigung dieser Bereiche wirft eine konkrete pädagogische Frage auf: «Wie können Fachlehrpersonen zu einer echten Zusammenarbeit angeregt werden und wie kann erreicht werden, dass Schülerinnen und Schüler Wissen tatsächlich miteinander verknüpfen, anstatt es lediglich nebeneinanderzustellen?» In diesem Zusammenhang bietet der theoretische Rahmen des *meaningful learning* interessante Denkansätze.

Der Verein AutreSens entwickelt in Zusammenarbeit mit der Universität Freiburg pädagogische Instrumente, um einen Unterricht nach den Prinzipien des *meaningful learning* zu unterstützen. Ziel ist es, Lehrpersonen sowie Schülerinnen und Schüler anzuleiten, indem die Anstrengungen, die in drei Schlüsselmomenten beziehungsweise Säulen des Lernens zu erbringen sind, explizit gemacht werden (Metakognition): das Engagement[1] in der Aktivität, die Strukturierung[2] der Inhalte und der Transfer[3] der erlernten Konzepte auf neue Situationen. Diese drei Säulen beeinflussen sich gegenseitig und tragen dazu bei, das zu entwickeln, was die verschiedenen fächerübergreifenden Bereiche des RLP anstreben: die Verknüpfung fachlichen Wissens und dessen Anwendung bei der Bearbeitung komplexer Problemstellungen.

Konkret schlagen wir im Rahmen des Projekts «Der Boden mit *elegans*» (BNE) experimentelle Protokolle vor, die es ermöglichen, den Modellorganismus *C. elegans* aus Böden unserer Gärten zu isolieren und zu identifizieren und ihn in einem ökotoxikologischen Experiment als Bioindikator einzusetzen. Darüber hinaus haben wir pädagogische Begleitdokumente entwickelt, zum einen zum *meaningful learning* und zum anderen für einen reflektierten Umgang mit Tierversuchen.

Diese Sequenz ermöglicht es einerseits, die Unterrichtsinhalte zu aktualisieren, indem die Frage der Bodenerhaltung (BNE) aufgegriffen wird. Zudem ermöglichen die Planung und Durchführung eines praktischen Experiments den Schülerinnen und Schülern, die Schritte der wissenschaftlichen Methode (WP) zu erarbeiten. Andererseits erlauben die Vielzahl der in der Klasse durchgeführten Tests und die unterschiedlichen Interpretationen der Ergebnisse, den Wissenstransfer einzuüben.

Schliesslich eröffnet die Möglichkeit, die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse in unterschiedlichen Kommunikationsformaten präsentieren zu lassen – beispielsweise als Erfahrungsbericht, Poster, Video, Podcast, Flyer oder Debatte – Chancen für interdisziplinäre und digitale Arbeiten (ID, DIG).

Fusszeile:

[1] Bedeutung von Repräsentationen und Vorstellungen, Aktualisierung der Inhalte, Wecken der Neugier, kognitiver Konflikt etc.

[2] Die Struktur des Wissens wird in einem definierten Kontext verdeutlicht, beispielsweise durch Texte, strukturierte Concept-Maps (Begriffskarten), explizite grafische Darstellungen etc.

[3] Aufeinanderfolgende Transfers ermöglichen eine Generalisierung der Konzepte und die Erarbeitung von Schwellenkonzepten (threshold concepts).

Schwellenkonzepte sind komplexe Konzepte, die zunächst erarbeitet werden müssen und auf zahlreichen Vorstellungen oder Teilkonzepten aufbauen. Sie ermöglichen es, unterschiedliche Wissens- und Fachbereiche miteinander zu verknüpfen, prägen das weitere Verständnis nachhaltig und können den Blick auf ein Fachgebiet oder auf die Welt verändern. Beispiele dafür sind Demokratie, Tragödie oder Leben

A. Benennen heisst Erkennen und Schützen

« Wir wissen mehr über die Bewegung der Himmelskörper als über den Boden unter unseren Füßen»

Leonardo da Vinci

Einleitung: Warum Böden schützen?

Übung

- 1) Lesen Sie den Artikel der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen und formulieren Sie drei Argumente für die Erforschung und den Schutz von Böden.

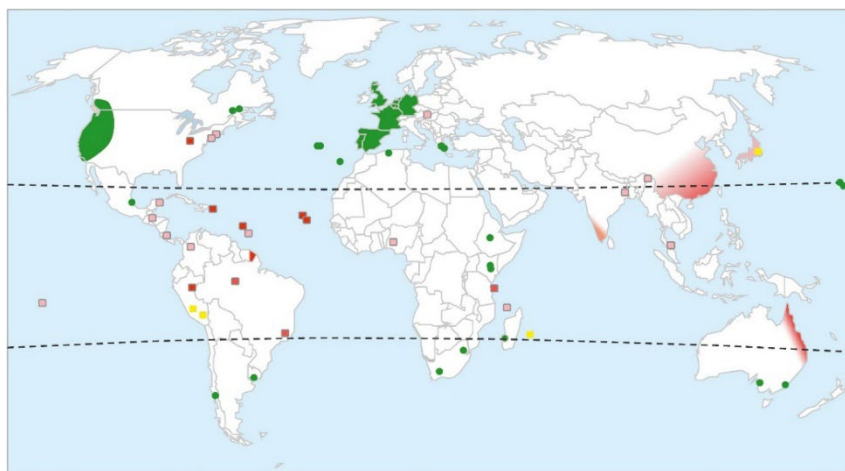
<https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/1309274/>

- 2) Zusammentragen der Resultate: Halten Sie Ihre Argumente an der Tafel fest.

Eine Handvoll Erde enthält mehr Lebewesen, als es Menschen auf der Welt gibt. Bereits ein Gramm Boden kann bis zu zehn Milliarden Mikroorganismen beherbergen, die Tausenden verschiedener Arten angehören. Obwohl der Boden zu den artenreichsten Ökosystemen unseres Planeten zählt, bleibt er dennoch weitgehend unerforscht.

Dank seiner biologischen Vielfalt kann der Boden seine zentralen Funktionen erfüllen: Er zersetzt organisches Material, recycelt Nährstoffe, reguliert Wasser- und Kohlenstoffkreisläufe und unterstützt die Pflanzengesundheit. Diese komplexe Organisation bildet die Grundlage für stabile und nachhaltige Ökosysteme – denn ohne Vielfalt fehlt die Widerstandsfähigkeit gegenüber Veränderungen.

Nematoden gehören zu den wichtigsten Organismen für die Funktionsfähigkeit des Bodens. *C. elegans* lebt vor allem in organisch reichen Substraten wie Kompost und wird weltweit in zahlreichen Laboren als Modellorganismus eingesetzt. Trotzdem gibt es bislang nur wenige Informationen über seine natürliche Verbreitung und seine Rolle im Ökosystem, insbesondere in der Schweiz.



Worldwide distribution of *C. elegans*

Lise Frézal Marie-Anne Félix (2015) The Natural History of Model Organisms : *C. elegans* outside the Petri dish eLife 4:e05849.

Wie Vandana Shiva erklärt:

« Benennen bedeutet Macht zu verleihen. Was nicht benannt wird, bleibt unsichtbar und wertlos. »

Staying Alive: Women, Ecology and Development (1989).

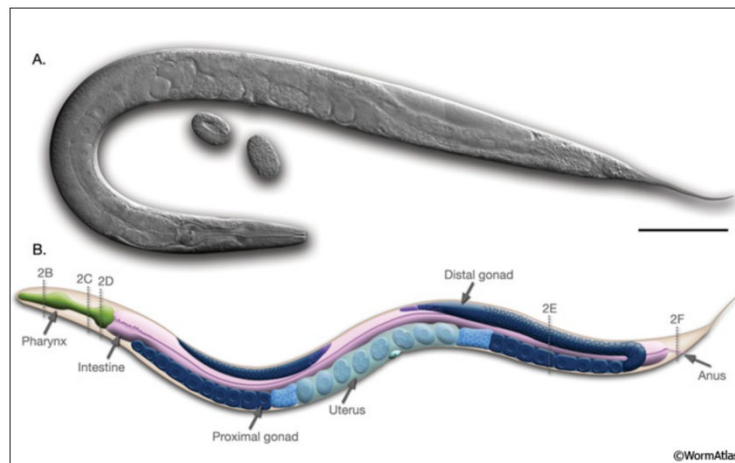
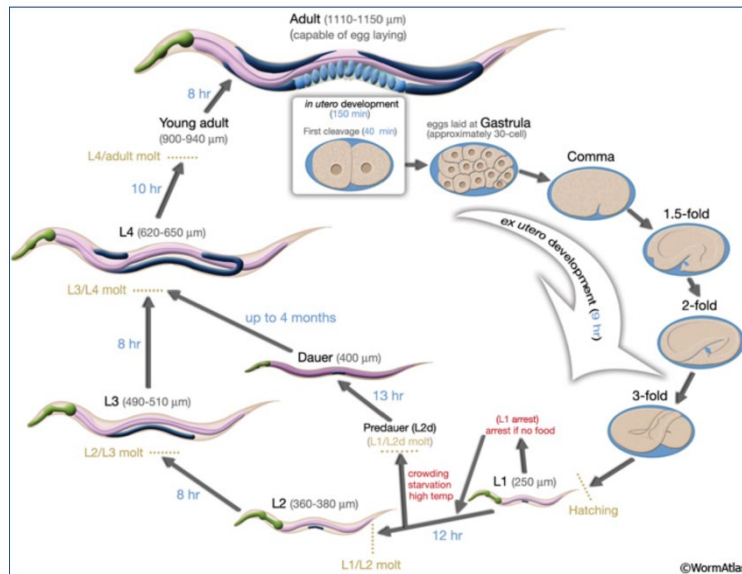
Ohne Namen bleiben Arten unsichtbar: Selbst wenn sie für das Gleichgewicht der Böden unverzichtbar sind, werden sie nicht anerkannt – und können daher nicht geschützt werden.

Geben Sie Ihrem Lernen einen Sinn und werden Sie zu den ersten Forschenden, die die in Schweizer Böden vorkommenden hermaphroditischen Nematoden benennen und ihre Verbreitung bestimmen!

Caenorhabditis elegans in Kürze

Aufbau und Fortpflanzung der Hermaphroditen (=Zwittertiere)

C. elegans ist ein durchsichtiger, circa 1mm langer Wurm. Er kommt natürlicherweise im Boden vor und ernährt sich von Bakterien. Wenn man diesen Wurm in mit Bakterien (der Nahrungsquelle von *C. elegans*) bedecktem Agar kultiviert, kann man seine Fortpflanzung leicht beobachten. Bei Raumtemperatur dauert ein vollständiger Fortpflanzungszyklus etwa 3 Tage. Bei 15 °C verlangsamt sich der Zyklus und ermöglicht die Beobachtung der Generationen von Woche zu Woche¹.



Bei *C. elegans* gibt es Hermaphroditen und Männchen. Einige Nematodenarten, die sich von *C. elegans* unterscheiden, sind gonochorisch: Sie haben zwei getrennte Geschlechter; zur Fortpflanzung müssen daher zwei Individuen zusammenkommen.

¹ Für mehr Details siehe «Fortpflanzung mit elegans».

Experiment 1 : Proben entnehmen und isolieren

Arbeit in Zweiergruppen, 10 Gruppen

Material :

Pro Schüler:in : Ein Zip-Lock-Beutel, 25 NGM-Petrischalen mit Bakterien, Binokular, Spatel, wasserfester Permanentmarker, Mikroskop, 10 Referenz-Petrischalen mit *C. elegans*.

Ziel

Hermaphroditische Nematoden aus dem Boden des eigenen Gartens isolieren.

Protokoll

Teil 1 : Isolieren

1. Sammeln Sie eine Handvoll Erde aus Ihrer Umgebung und geben Sie sie in einen Zip-Lock-Beutel, den Sie in den Unterricht mitbringen. Tipp: Wählen Sie möglichst warmen, nährstoffreichen Boden, z. B. aus einem Kompost oder unter heruntergefallenen Früchten. Äpfel eignen sich dafür besonders gut.

Tag 1 (Woche 1)

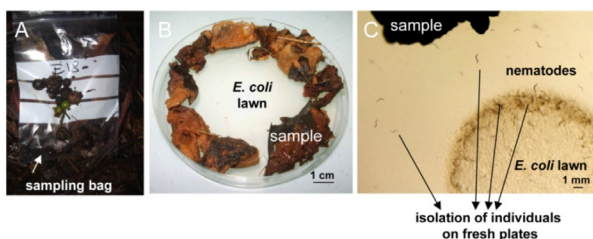
2. Geben Sie mit einem Spatel etwas Erde an den Rand einer NGM-Petrischale und beobachten Sie diese unter dem Mikroskop. Lassen Sie die Platte anschliessend stehen, damit die Würmer aus der Erde herauskommen können.
3. Beobachten Sie währenddessen die Referenzplatte mit *Caenorhabditis elegans*. So sehen die Organismen aus, die sie Sie aus Ihrer Bodenprobe isolieren sollen.
4. Nach einigen Minuten isolieren Sie jeden gefundenen Nematoden in eine neue Petrischale: ein Nematode pro Platte.

Anleitung zum „Picken“ der Würmer:



C. elegans 101: A Guide to Picking *C. elegans* (YouTube) : [C. elegans 101:](#)

[A Guide to Picking C. elegans - YouTube](#)



Wormbook

5. Beschriften Sie die Unterseite der Petrischalen mit einem wasserfesten Marker: aktuelles Datum, Boden-/Fruchttyp und Ihr Name. Nummerieren Sie anschliessend die Petrischalen.
6. Erstellen Sie eine Beobachtungstabelle mit den Nummern der Petrischalen und den wichtigsten Angaben: Ort und Datum der Probenahme sowie Art des Bodens (oder der Frucht).

7. Inkubieren sie die Petrischalen entweder
- 3 Tage lang bei Raumtemperatur, oder
 - Während einer Woche in der Nähe eines Fensters oder im Keller (bei minimum 16 °C – kältere Temperaturen töten die Würmer ab oder versetzen sie in ein Ruhestadium, den sogenannte Dauerzustand).

Teil 2 : Isolieren

Tag 3 (oder Woche 2)

8. Beobachten Sie die Petrischalen und notieren Sie Ihre Ergebnisse in Ihrer Beobachtungstabelle. Notieren Sie: Beobachtungsdatum, Ergebnisse, Interpretation, behalten vs. entsorgt.

Zwei Ergebnisse sind möglich:

- a. Das Individuum ist allein/ohne Nachkommen gestorben.
- b. Der Wurm hat sich vermehrt.

→ Auf Grundlage Ihres Wissens über die Fortpflanzung von *C. elegans*: In welchem Fall (a oder b) haben Sie möglicherweise einen *Caenorhabditis* isoliert?

9. Übertragen Sie aus jeder Petrischale mit Nachkommen ein einzelnes Individuum auf eine neue Petrischale. Petrischalen ohne Nachkommen werden entsorgt.

10. Inkubieren Sie die neu angesetzten Petrischalen wie zuvor beschrieben.

Tag 6 (oder Woche 3)

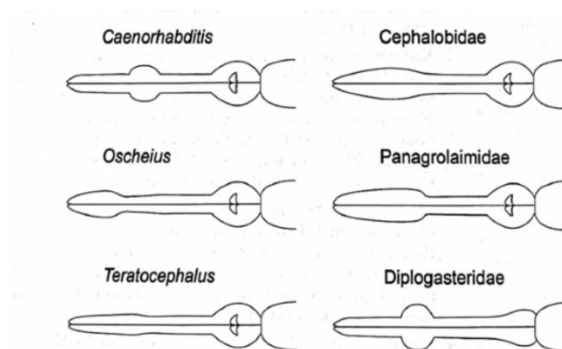
11. Beobachten Sie die Petrischalen, ergänzen Sie ihre Beobachtungstabelle. Auch diesmal sind zwei Resultate möglich:

- a. Das Individuum ist allein/ohne Nachkommen gestorben.
- b. Der Wurm hat sich vermehrt.

→ Wie erklären Sie, dass sich ein Wurm nach dem ersten Picken vermehren konnte, nach dem zweiten jedoch nicht mehr?

Experiment 2 : Phänotypische Bestimmung

1. Geben Sie einen Tropfen Wasser auf einen Objektträger.
2. Wählen Sie mithilfe des Binokulars 10 Individuen von den Platten aus, die potenziell *Caenorhabditis* enthalten, und übertragen Sie sie in den Wassertropfen.
3. Decken Sie den Tropfen mit einem Deckglas ab.
4. Führen Sie den Objektträger kurz durch die Flamme einer Kerze, sodass er sich erwärmt, ohne zu verrussen.
5. Beobachten Sie unter dem Binokular: Die Würmer sollten unbeweglich und gestreckt sein, damit sie gut beobachtet werden können. Falls nicht, erwärmen Sie den Objektträger nochmals leicht.
6. Beobachten Sie die Probe anschliessend unter dem Mikroskop.
7. Um welche Art handelt es sich phänotypisch? Vergleichen Sie mit der allgemeinen Anatomie von *C. elegans* und legen Sie den Fokus insbesondere auf die Pharynxform als wichtiges Bestimmungsmerkmal der häufigsten bodenbewohnenden Nematodenarten..



C. elegans David Biron, Springer

8. Machen Sie Fotos.

Entsorgung

Die Petrischalen und die Objektträger enthalten Würmer, die natürlicherweise in unserem Boden vorkommen. Sie können die Petrischalen in den Hausmüll und die Objektträger in den Glasabfall geben

Resultate

Erstellen Sie für jede isolierte Art eine Datei mit folgendem Inhalt:

1. Name der phänotypisch identifizierten Art inklusive einer kurzen Begründung der Bestimmung.
2. Ort und Datum der Probenahme.
3. Mikroskopaufnahmen des Pharynx.
4. Mikroskopaufnahmen der Embryonen.

Experiment 3 : Sequenzen mit BLAST abgleichen und identifizieren

3.1 Versenden der Würmer

Die Identifizierung eines Organismus durch Sequenzierung beruht darauf, dass seine DNA eine charakteristische genetische Information enthält. Durch die Bestimmung der Reihenfolge der Nukleotide – der vier „Buchstaben“ A, T, C und G – eines ausgewählten Genabschnitts erhält man eine für die jeweilige Art typische molekulare Signatur.

Für die Artbestimmung wird in der Regel ein sogenanntes Barcode-Gen untersucht, beispielsweise die 18S-rRNA bei Nematoden. Solche Gene enthalten sowohl stark konservierte als auch variable Bereiche. Die konservierten Abschnitte ermöglichen es, denselben Genbereich bei unterschiedlichen Arten gezielt zu vervielfältigen, während die variablen Bereiche für die Unterscheidung zwischen Arten genutzt werden können. Die erhaltene Sequenz wird anschliessend mit Sequenzen in internationalen Datenbanken, beispielsweise mithilfe von BLAST, verglichen. So lassen sich Übereinstimmungen mit bereits bekannten Organismen finden und die Art der untersuchten Probe mit hoher Sicherheit bestimmen.

Wenn Sie Ihre phänotypische Artbestimmung durch eine Sequenzierung überprüfen möchten, können Sie uns eine Wurmplatte mit ausreichend Nahrung zusenden. Verschliessen Sie die Platte sorgfältig mit Parafilm, verpacken Sie sie geschützt in Luftpolsterfolie und senden Sie sie per Post an die Pädagogische Hochschule St. Gallen. Nach der Sequenzierung erhalten Sie die resultierende DNA-Sequenz per E-Mail. Diese können Sie anschliessend mit bestehenden Sequenzdatenbanken vergleichen, um die gesammelte Art zu überprüfen.

Bitte legen Sie Ihrer Sendung das folgende, vollständig ausgefüllte Dokument bei.

Absenderadresse

Dr. Claudia Buser-Moser
Pädagogische Hochschule St-Gallen (PHSG)
Notkerstrasse 27
9000 St-Gallen

Datum, Ort

Betreff: Sequenzierung von Nematoden

Wir haben die folgenden Nematoden gesammelt und bitten Sie, eine Sequenzierung durchzuführen.

	Phänotypisch identifizierter Artnamen mit einer kurzen Begründung	Ort und Datum der Probenahme (GPS- Koordinaten)	Mikroskopauf- nahmen des Pharynx	Mikroskopauf- nahmen der Embryonen	Name auf der Petri- schale
1					
2					
...					

Bitte senden Sie die erhaltenen Sequenzen an die folgende E-Mail-Adresse:

Freundliche Grüsse

Unterschrift

3.2 Analyse der Sequenzen

Ziel: Die eigene 18S-Sequenz mit bekannten Sequenzen in einer Datenbank vergleichen und so die wahrscheinlichste Artzugehörigkeit bestimmen.

Material: eigene 18S-Sequenz als reiner Text oder im FASTA-Format, Internetzugang

Vorgehen:

1. Öffne die NCBI-BLAST-Webseite: blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi
2. Wähle Nucleotide BLAST (blastn).
3. Kopiere deine Sequenz ins Feld «Enter Query Sequence». Du kannst die Sequenz entweder als reinen Text oder im FASTA-Format einfügen.
4. Wähle als Datenbank Nucleotide collection (nr/nt).
5. Optional kannst du unter «Organism» *Nematoda* eintragen, um die Suche auf bekannte Nematoden-Sequenzen einzugrenzen. Lässt du das Feld leer, kannst du zusätzlich erkennen, ob deine Sequenz möglicherweise zu einem anderen Organismus passt, beispielsweise aufgrund einer Kontamination.
6. Klicke auf **BLAST** und warte auf die Ergebnisse. Die Suche dauert in der Regel etwa ein bis zwei Minuten.
7. Betrachte in der Trefferliste «Descriptions» insbesondere folgende drei Werte:
 - **Query Cover:** Welcher Anteil deiner Sequenz wird durch den Treffer abgedeckt?
 - **Per. Ident (%):** Wie hoch ist die prozentuale Übereinstimmung mit der Referenzsequenz?
 - **E-value:** Wie wahrscheinlich ist es, dass die Übereinstimmung zufällig entstanden ist? Je kleiner der Wert, desto aussagekräftiger ist der Treffer.
8. Der oberste Treffer mit hoher Query Cover, hoher prozentualer Übereinstimmung und einer sehr kleinen E-value liefert in der Regel den besten Hinweis auf die nächstverwandte bereits bekannte Art. .

Auswertung in der Gruppe

Vergleicht eure Resultate: Welche Nematodenarten wurden in den verschiedenen Bodenproben gefunden? Findet ihr überwiegend *C. elegans* oder auch andere *Caenorhabditis*-Arten sowie ganz andere Gattungen?

Welche Gründe könnte es haben, wenn die Übereinstimmung mit einer BLAST Sequenz nicht 100% entspricht?

(mögliche Gründe: Fehler in der PCR, Fehler in der publizierten Sequenz, geringfügige Mutationen, die innerhalb einer Art zu erwarten sind, oder: eine Art, von welcher noch keine Sequenz auf NCBI Blast besteht.)

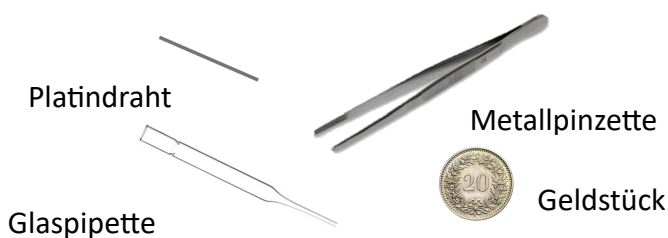
Wie « pickt » man Würmer ?

Um die Würmer dauerhaft zu halten, müssen sie – je nach Inkubationstemperatur – 1–2 Mal pro Woche auf eine neue Kulturplatte übertragen werden (1 Mal pro Woche bei 16 °C, z. B. im Keller, und 2 Mal pro Woche bei Raumtemperatur).

Das Umsetzen der Würmer wird als „picken“ bezeichnet. Dafür kann ein Zahnstocher verwendet werden. Wenn jedoch grössere Mengen an Würmern umgesetzt werden müssen, empfehlen wir, ein spezielles Werkzeug herzustellen.

Einen eigenen Wurmpicker herstellen

Material

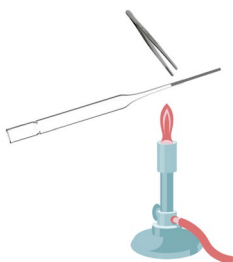


Protokoll

- 1. Platindraht einsetzen**
Setzen Sie den Platindraht mithilfe einer Metallpinzette in die Glaspipette ein.



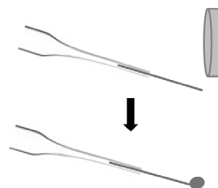
- 2. Den Draht fixieren**
Führen Sie die Pipette mit dem Draht kurz durch die Flamme, um die Konstruktion zu versiegeln.



- 3. Etwas abkühlen lassen**

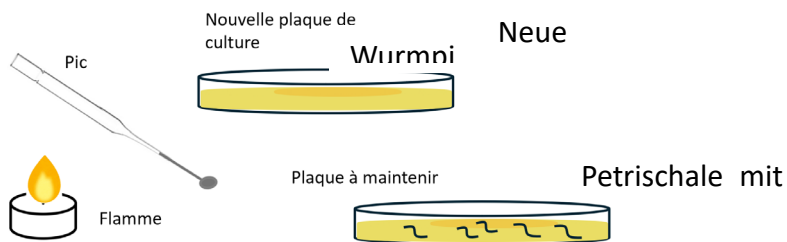


- 4. Spitze formen**
Biegen Sie das Ende des Platindrahts mithilfe einer Münze so, dass eine kleine „Löffelspitze“ entsteht.



Würmer picken

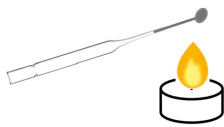
Material



Protokoll

1. Sterilisieren (« Abflammen »)

Flammen Sie den Picker ab, bis er rot glüht und lassen Sie ihn anschliessend einige Sekunden abkühlen.



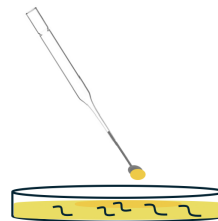
2. Bakterien aufnehmen

Nehmen Sie aus der neuen Petrischale eine kleine Menge Bakterien auf, damit die Picker-Spitze leicht klebrig wird.



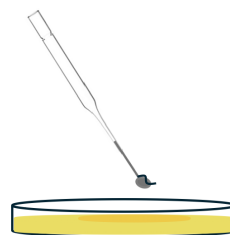
3. Würmer picken

Nehmen Sie die Würmer mit der Unterseite der Löffelspitze auf. Sie können dabei auch mehrere Tiere auf einmal aufnehmen.



4. Würmer transferieren

Berühren Sie mit dem Picker die Oberfläche der neuen Petrischale. Die Würmer lösen sich dabei meist von selbst und bleiben auf der neuen Platte zurück.



B. *Caenorhabditis elegans* - ein Modell für die Ökotoxikologie

Einführung

«Wir wissen mehr über die Bewegung der Himmelskörper als über den Boden unter unseren Füßen.»

Leonardo da Vinci

Der Boden ist weit mehr als nur eine Oberfläche, auf der wir gehen – er ist ein wesentlicher Bestandteil für das Leben auf der Erde, genauso wie Wasser, Luft oder die Sonne. Gemäss der Website des Bundes:

«Die Schweiz bösst durch ihren nicht nachhaltigen Umgang mit Böden Möglichkeiten ein, Nahrungsmittel zu produzieren, sauberes Trinkwasser zu gewinnen, Räume für Freizeitaktivitäten zu nutzen, Treibhausgase zu reduzieren, die Biodiversität zu erhalten oder zunehmenden Hitzebelastungen entgegenzutreten.»

[Boden: Das Wichtigste in Kürze](#) BAFU 10.11.2025

«Die Auswirkungen vieler Schadstoffe im Boden sind häufig unzureichend erforscht oder nur teilweise bekannt. Schadstoffe können das Bodenleben beeinträchtigen, die Bodenfruchtbarkeit verringern und Wachstumsstörungen bei Pflanzen verursachen.»

[Chemische Bodenbelastungen](#) BAFU 10.11.2025

Die Untersuchung der Toxizität von Substanzen auf Ökosysteme wird als Ökotoxikologie bezeichnet.

In der Ökotoxikologie ist es oft notwendig, die Komplexität von Ökosystemen zu vereinfachen, um die Wirkungsmechanismen von Umweltschadstoffen besser zu verstehen. Die Verwendung eines Modellorganismus im Labor ermöglicht es, unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen, wie eine Substanz Lebewesen beeinflusst, ohne dass Störungen durch die vielfältigen Wechselwirkungen in der Natur auftreten.

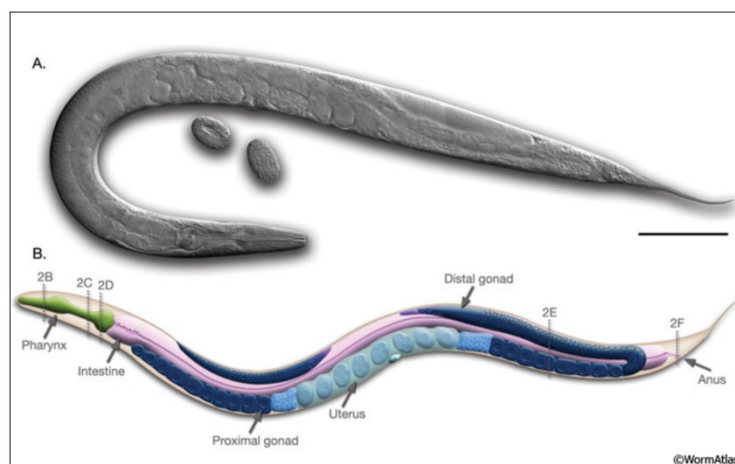
Beispielsweise kann *C. elegans*, ein natürlich in unseren Böden vorkommender Fadenwurm (= Nematode), als Bioindikator verwendet werden. Das bedeutet, dass die an diesem Organismus beobachteten Auswirkungen von Schadstoffen, sei es auf sein Wachstum, sein Überleben oder sein Verhalten, Aufschluss über die potenziellen Auswirkungen auf Lebewesen geben.

Dieser experimentelle Ansatz ist ein wesentlicher Schritt im Prozess der Bewertung der Gesamtrisiken, die mit dem Vorhandensein bekannter oder potenzieller Schadstoffe in der Umwelt verbunden sind.

Im Rahmen dieser praktischen Arbeit lernen Sie den Modellorganismus *Caenorhabditis elegans* kennen und entwickeln einen Versuchsaufbau, um die Umweltauswirkungen bestimmter Alltagsstoffe zu bewerten

Aufbau und Fortpflanzung der Hermaphroditen (=Zwittertiere)

The diagram illustrates the life cycle of the nematode *Caenorhabditis elegans*. The cycle begins with an **Adult** (1110-1150 µm) capable of egg laying. The **Young adult** (900-940 µm) stage follows, leading to **L4** (620-650 µm) and then **L3/L4 molt**. The **L3** stage (490-510 µm) is followed by **L2/L3 molt**, leading to **L2** (360-380 µm). The **L1/L2 molt** leads to **L1** (250 µm), which can enter an **L1 arrest** if there is no food, crowding, starvation, or high temperature. The **L1** stage leads to **Hatching**, which results in a **3-fold** increase in size. The **ex utero development** phase (1-1.5 hr) includes **1.5-fold**, **2-fold**, and **3-fold** increases in size. The **Dauer** stage (400 µm) can persist for **up to 4 months**. The **Predauer (L2d)** stage (L1/L2 molt) leads to the **Dauer** stage. The **Dauer** stage leads to **L3/L4 molt**, which results in the **Young adult** stage, which then leads to the **Adult** stage.



16

Verhalten – Swimtest

Ein häufig verwendeter Test zur Bewertung des Verhaltens von *C. elegans* in Gegenwart toxischer Substanzen ist ein Bewegungstest, der sogenannte Schwimmtest.



[Caenorhabditis elegans swimming](#)

Experiment 1 : Den Modellorganismus erkunden

Ziel :

- Die verschiedenen Entwicklungsstadien des Wurms in seinem Nährmedium beobachten
- Das Verhalten des Wurms im Wasser beobachten (Swimtest)

Zu statistischen Zwecken führt jede:r Schüler:in das folgende Protokoll individuell durch.

Material

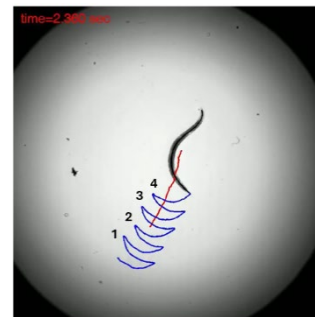
- 1 Platte mit Wildtyp-Würmern (N2, Wildtyp (wt))
- 1 Eppendorf-Tube gefüllt mit destilliertem Wasser
- 1 Picker oder ein Zahnstocher.
- 1 Binokular
- 1 Schale
- 1 Mikropipette (P200) mit Spitzen
- 1 Stoppuhr

Protokoll

1. Nehmen Sie eine Platte mit Würmern und legen Sie sie unter das Binokular.
2. Erkunden Sie die unterschiedlichen Entwicklungsstadiums des Wurms.
3. Geben Sie 200 µL destilliertes Wasser in die Schale.
4. Nehmen Sie (mit dem Picker oder dem Zahnstocher) 5-7 lebende adulte Würmer aus der Platte und transferieren Sie sie in die Schale.
5. Lassen Sie die Würmer 1 - 2 Minuten akklimatisieren. Bereiten Sie währenddessen den Schwimmtest vor.
6. Wählen Sie einen Wurm aus. Der Test beginnt, sobald Sie die Stoppuhr starten. Zählen Sie die « thrashes » während 30 Sekunden.

Definition eines « thrash » : ein vollständiger Zyklus links-rechts-links (oder rechts-links-rechts). Tipp : Zählen Sie nur, wenn der Körper die Position « rechts » durchläuft.

7. Testen Sie insgesamt 2 Würmer einzeln und tragen Sie die Resultate in die gemeinsame Tabelle ein.



Resultate

Gemeinsame Tabelle zum Ausfüllen.

Durchschnittliche Anzahl thrashes während 30 Sekunden für die gesamte Klasse:

.....

Potenzielle Schadstoffe testen

Hintergrund: Sie sind eine Forschungsgruppe des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Sie müssen einen ersten Untersuchungsbericht über die potenziell toxische Wirkung der folgenden Substanzen auf die Umwelt erstellen: in der Landwirtschaft verwendete Produkte, Zigarettenstummel/weggeworfene Snus-Beutel. Bei ihrer Herstellung oder Verwendung können diese Substanzen das Wasser verunreinigen und in den Boden und das Grundwasser gelangen.

Zunächst teilt sich die Gruppe in Untergruppen auf, die sich jeweils mit der Untersuchung der Auswirkungen eines einzelnen Stoffes befassen.

Die Überlegungen der Untergruppen werden anschliessend zusammengetragen und mit der Laborleitung (Lehrperson) besprochen, um eine Gesamtstrategie für die Untersuchung festzulegen.

1. Teilen Sie sich zu zweit oder dritt in folgende Gruppen ein :

Substanz	Glyphosat/Roundup (Herbizid)	Anti-Schnecken Körner (Molluksizid)	Snus (Tabak)	Bordeaux-Brühe (Antimykotikum)
Schüler:in				

2. Ihr Projekt muss alle folgenden Punkte enthalten, die dem typischen wissenschaftlichen Ansatz entsprechen :

a. Recherchieren Sie zu Ihrem Produkt.

- Erstellen Sie eine Liste der Substanzen, die in dem Produkt enthalten sind, das Sie an *C. elegans* testen.
 - Welche möglichen Auswirkungen hat Ihr Produkt auf die Fortpflanzung, das Überleben oder das Verhalten des Wurms?
- ➔ Formulieren Sie unter Berücksichtigung der obigen Punkte eine präzise Forschungsfrage.

b. Eine Hypothese aufstellen

Was ist Ihre Arbeitshypothese, was erwarten Sie?

c. Experimentieren

Skizzieren Sie einen Versuchsaufbau um Ihre Hypothese überprüfen zu können – so können Sie den Versuchsaufbau später mit der ganzen Gruppe besprechen.

d. Beobachten

Welche Ergebnisse erwarten Sie, wie können Sie sie messen und quantifizieren?

Sie können im Internet recherchieren und die Künstliche Intelligenz (KI) fragen.

3. Präsentationsformat: eine Folie mit der Forschungsfrage, der Hypothese, dem Versuchsaufbau und den erwarteten Ergebnissen, die sie mündlich kommentieren (max. 3 Min. pro Gruppe). Jede Gruppe präsentiert ihr Projekt, die anderen Gruppen diskutieren mit der Laborleitung über die Stärken und Schwächen jedes Projekts, um eine gemeinsame Strategie festzulegen.

Experiment 2 : Auswirkungen von möglichen Bodenschadstoffen auf *C. elegans* testen

Experiment 2.1 Direkter Kontakt der Würmer mit Schadstoffen und Swimtest (akute Wirkung)

Ziel

Beobachtung der Auswirkungen verschiedener Schadstoffe auf das Überleben und die Fortbewegung von *C. elegans* bei direktem Kontakt.

Material

Pro Schüler:in:

- 1 Platte mit Wildtyp-Würmern (N2, wt)
- 1 Eppendorf-Tube gefüllt mit destilliertem Wasser
- 5 Falcon-Tubes (für die Klasse)
- Permanentmarker
- Mikropipetten
- 1 Picker oder ein Zahnstocher.
- 1 Binokular
- 1 Schale
- 1 Mikropipette (P200) mit Spitzen
- 1 Stoppuhr

Vorbereitung der Testsubstanzen

Zu Beginn des Experiments bereitet die Lehrperson für die gesamte Klasse eine Lösung jedes Stoffes vor. Beachten Sie die Gebrauchsanweisung der Substanzen auf der Verpackung.

Snus

1. 5 Beutel Snus in einen Falcon geben und mit destilliertem Wasser auf 10 ml auffüllen.
2. **24h** ruhen lassen.
3. Entnehmen Sie mit der P1000 Pipette 1 ml Snus-Saft und geben Sie es in ein leeres Falcon-Tube.
4. Füllen Sie den Rest mit 9 mL destilliertem Wasser auf.
5. Testen Sie einmal den konzentrierten und einmal den verdünnten Snus-Saft.

Bordeaux-Brühe

1. Erstellen Sie eine gesättigte Lösung in einem Falcon-tube entsprechend der Anleitung auf der Verpackung.
2. Zentrifugieren Sie das Röhrchen für 5min bei 5000rpm in einem Falcon-tube und nehmen Sie den Überstand für den weiteren Versuch. Achten Sie darauf die Zentrifuge auszutarieren.
Falls sich das Granulat gut absetzt ist ein Zentrifugieren nicht nötig.

Anti-Schnecken Körner

1. Erstellen Sie eine gesättigte Lösung in einem Falcon-tube indem Sie ausreichend Körner in 10 mL Wasser mischen (circa 1-2 Esslöffel).
2. Die Lösung absetzen lassen. Nehmen Sie den Überstand für den weiteren Versuch.

RoundUP

1. Pipettieren Sie 200 µL RoundUp mit der P1000 Pipette und geben Sie es in ein leeres Falcon-Tube.
2. Füllen Sie bis zu 10 mL mit destilliertem Wasser auf.
3. Testen Sie einmal konzentriertes RoundUp und einmal verdünntes RoundUp.

Protokoll

Tragen Sie Laborkittel, Nitrilhandschuhe und eine Schutzbrille und waschen Sie sich nach dem Praktikum die Hände.

1. Nehmen Sie eine Platte mit Würmern.
2. Geben Sie 200 µL destilliertes Wasser in eine Schale.
3. Nehmen Sie (mit der Wurmpicker oder dem Zahnstocher) 5-7 lebende adulte Würmer aus der Platte und transferieren Sie sie in die Schale.
4. Lassen Sie die Würmer 4 min akklimatisieren, es sei denn Sie beobachten direkt, dass sie sterben. Bereiten Sie währenddessen den Swimtest vor.
5. Wählen Sie einen Wurm. Der Test beginnt sobald Sie die Stoppuhr starten. Sie können nun die « thrashes » während 30 Sekunden zählen.
Definition eines « thrash » : ein vollständiger Zyklus links-rechts-links (oder rechts-links-rechts). Tipp : Zählen Sie nur, wenn der Körper die Position « rechts » durchläuft.
6. Testen Sie jeweils 2 Würmer (pro Substanz) und tragen Sie die Resultate in der gemeinsamen Tabelle ein.
7. Wiederholen Sie den Vorgang für jede weitere Substanz.
8. Versorgen Sie das Material.

Entsorgung

Sammeln Sie die Lösungen zunächst in einem Sammelbecher und entsorgen Sie sie anschließend im Chemieabfall.

Resultate

Gemeinsame Tabelle zum Ausfüllen.

Interpretation der Resultate

Nehmen Sie Ihre Rolle als Forscher:innen beim BAFU wieder auf, interpretieren Sie die Ergebnisse und formulieren Sie eine Empfehlung für eine Einstufung der potenziellen Toxizität der verschiedenen getesteten Substanzen für die Umwelt (Auswirkung: stark, mittel, gering).

Ethische Reflexion

Kontext

Bevor ein neuer Tierversuch durchgeführt werden darf, muss geprüft werden, ob er wissenschaftlich notwendig und ethisch vertretbar ist. In der Schweiz beurteilen die zuständigen kantonalen Stellen Tierversuche unter Berücksichtigung des **wissenschaftlichen Nutzens**, der **Belastung der Tiere**, der **gesetzlichen Vorgaben** und der **3R-Prinzipien: Replace, Reduce, Refine**.

Würde euer Experiment bewilligt werden?

Prüft euer Experiment anhand der folgenden Fragen. Nutzt dazu die erhaltene Broschüre über Tierversuche. Überlegt auch, ob ihr euren Versuchsaufbau anpassen müsst.

Das Experiment verstehen

1. Was ist das wissenschaftliche Ziel des Experiments?

.....
.....

2. Welche lebenden Organismen werden verwendet?

.....
.....

3. Welchen Belastungen sind die Organismen durch das Experiment ausgesetzt?

.....
.....

4. Meines Erachtens verursacht dieses Experiment:

- ☐ keine Belastung
- ☐ geringe Belastung
- ☐ mittlere Belastung
- ☐ grosse Belastung

Begründet eure Einschätzung:

.....
.....
.....

Analyse nach den 3R-Prinzipien

Replace: Können die Tiere ersetzt werden?

Gibt es eine alternative Methode, mit der dieselbe wissenschaftliche Frage beantwortet werden könnte? (Simulation, Zellen, Organoide usw.)

.....

Reduce: Kann die Anzahl der Tiere reduziert werden?

Wie könnte die Anzahl der benötigten Organismen verringert werden, ohne die Aussagekraft des Experiments wesentlich zu beeinträchtigen?

.....

Refine: Kann man die Belastung mindern?

Wie könnten der Versuchsaufbau, die Haltung oder die Durchführung verbessert werden, damit das Leiden für die Tiere möglichst gering bleibt?

.....

Ethische Diskussion

1. Ist der erwartete wissenschaftliche Nutzen des Experiments ausreichend bedeutend?

- ☐ ja
- ☐ nein
- ☐ teilweise

Warum?

.....

2. Haltet ihr das Experiment insgesamt für ethisch vertretbar?

- ☐ ja
- ☐ nein
- ☐ unter bestimmten Bedingungen

Begründe deinen Standpunkt:

.....

Eure Entscheidung

- ☐ Experiment kann bewilligt werden
- ☐ Experiment kann unter bestimmten Bedingungen bewilligt werden
- ☐ Experiment sollte nicht bewilligt werden

Begründung der Entscheidung

Formuliert eure abschliessende Beurteilung. Bezieht dabei den wissenschaftlichen Nutzen, die Belastung der Tiere, mögliche Alternativen und die 3R-Prinzipien mit ein.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

SCHÜLERBROSCHÜRE

TIERVERSUCHE: VERSTEHEN, UM ANDERS ZU ENTSCHEIDEN

Warum wir Tiere verwenden? Was sind die Regeln in der Schweiz? Wie begrenzen wir ihr Leiden? Klare Antworten, um gemeinsam nachzudenken.



DIE WISSENSCHAFT SCHREITET VORAN, DIE ETHIK LEITET.

1 WARUM VERWENDET MAN TIERE IN DER FORSCHUNG?

Tiere werden manchmal verwendet, um das Lebendige besser zu verstehen und die menschliche, tierische Gesundheit oder die Umwelt zu schützen.



Medikamente vor Versuchen am Menschen testen



Krankheiten verstehen, z.B. Alzheimer, Krebs...



Toxizität von Substanzen bewerten, z.B. Schadstoffe, Pestizide...



Umwelt und Biodiversität untersuchen

Warum nicht nur tierfreie Methoden verwenden?

Alternative Methoden machen grosse Fortschritte, aber bei bestimmten komplexen Fragen reagiert der ganze Organismus auf eine Weise, die man im Labor oder am Computer noch nicht reproduzieren kann.

→ Tiere zu verwenden, impliziert grosse Verantwortung.



2 DIE 3R: EIN ESSENTIELLES ETHIKPRINZIP

Seit 1959 müssen Wissenschaftler die 3R respektieren. Diese Regeln sind die ethische Basis jeder Forschung, die Tiere einbezieht.



REPLACE
Ersetzen



Tierfreie Methoden verwenden, wann immer möglich.
Beispiele: Zellkulturen, Organoide, Computermodelle, künstliche Intelligenz...



REDUCE
Reduzieren



So wenig Tiere wie möglich verwenden, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.
Beispiele: statistische Berechnungen, Datenaustausch, besser geplante Experimente...



REFINE
Verfeinern



Leiden verringern und das Wohlergehen der verwendeten Tiere verbessern.
Beispiele: Anästhesie, Analgesie (Schm), bessere Lebensbedingungen, vorzeitiger Abbruch des Experiments bei Bedarf...

Die 3R sind keine Optionen: Sie sind gesetzliche und moralische Verpflichtungen.

3 WIE REGELT DIE SCHWEIZ TIERVERSUCHE?



Obligatorische Genehmigung – Jedes Experiment an einem Wirbeltier oder Kopffüsser muss von den kantonalen Behörden genehmigt werden.



Ethische Bewertung – Das Projekt wird von einer kantonalen Ethikkommission geprüft, die prüft:
• seinen wissenschaftlichen Nutzen
• die 3R
• den Grad des zugefügten Leidens.



Schweizer Tierschutzgesetz (TSchG) – Es verlangt, dass tierisches Leiden nur dann zulässig ist, wenn der Nutzen des Projekts höher ist und keine Alternative besteht.



Kontrollen und Transparenz – Die Labore werden regelmässig kontrolliert. Die Zahlen der Experimente werden jedes Jahr veröffentlicht.

Welche Tiere sind geschützt?

In der Schweiz schützt das Gesetz hauptsächlich **WIRBELTIERE** und bestimmte **KOPFFÜSSER**.



Andere Organismen wie *C. elegans* sind durch dieses Gesetz nicht abgedeckt.

4 Schweregrade: Die Schweizer Klassifizierung

Jeder Versuch wird nach der Belastung (Schmerz, Leiden, Beeinträchtigung der Integrität, Angst...) eingestuft, die dem Tier zugefügt wird.

Grad	Beschreibung	Merkmale	Beispiele
0	Keine Belastung	• Das Tier wird keiner Belastung ausgesetzt und nicht beeinträchtigt.	• Das Tier wird keiner Belastung ausgesetzt.
1	Geringe Belastung	• Kurze und einfache Manipulationen.	• Schmerz oder Stress sehr gering und von kurzer Dauer.
2	Mittlere Belastung	• Mässiger Schmerz oder Stress.	• Geringe und reversible Beeinträchtigung der Integrität.
3	Schwere Belastung	• Bedeutende und anhaltende Schmerzen, Leiden oder Ängste.	• Schwere Beeinträchtigung der Integrität.



Je höher der Grad, desto strenger die Bewertung.

- l'évaluation est stricte
- les justifications doivent être solides
- les mesures de protection doivent être renforcées



Das Ziel ist immer, das Leiden auf ein Minimum zu begrenzen und den Versuch nur durchzuführen, wenn der erwartete Nutzen bedeutend ist.



5 Die Fähigkeit, Schmerz zu empfinden: Was die Wissenschaft

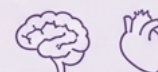
Schmerz wird je nach Tierart nicht auf die gleiche Weise empfunden. Viele Tiere können jedoch leiden. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse entwickeln sich ständig weiter.

Organismus	Fähigkeit, Schmerz zu empfinden	Einfache Erklärungen	Potenzielles Schmerzniveau*
C. elegans (Fadenwurm)	Sehr begrenzte Fähigkeit, Schmerz zu empfinden.	Es besitzt einfache Neuronen, aber kein zentrales Nervensystem. Keine Schmerzsignale wie bei komplexeren Tieren.	Sehr gering ☆
Zebrafisch	Nachgewiesene Fähigkeit, Schmerz zu empfinden.	Komplexes Nervensystem, Fluchtverhalten, Reaktionen auf Schmerz, Schmerzgedächtnis.	Mässig ★★
Maus	Nachgewiesene Fähigkeit, Schmerz zu empfinden.	Säugetier: Nervensystem ähnlich dem unseren, verhaltensbiologische und physiologische Reaktionen auf Schmerz.	Hoch ★★★
Kaninchen	Nachgewiesene Fähigkeit, Schmerz zu empfinden.	Sehr empfindliches Säugetier. Kann Stress, Angst, akute und chronische Schmerzen empfinden.	Hoch ★★★

* Diese Bewertung bezieht sich auf die Fähigkeit, Schmerz zu empfinden, nicht auf den "Wert" des Tieres.

Zur Kenntnis

Die Forschung sucht, tierische Schmerzen besser zu verstehen, um sie besser vorzubeugen und zu behandeln. Das wissenschaftliche Wissen entwickelt sich ständig weiter.



Eine wichtige ethische Frage

Ab wann gilt ein Organismus als schützenswert? Das geltende Recht unterscheidet zwischen Wirbeltieren und bestimmten Kopffüssern von anderen Organismen wie C. elegans.

6 Ständige Fortschritte ... und eine kollektive Verantwortung



Die Forschung schreitet voran

Jedes Jahr werden neue tierfreie Methoden entwickelt: Zellkulturen, 3D-Organoiden, Computermodelle, künstliche Intelligenz... Das Ziel: Tiere durch Fortschritte für die Wissenschaft und Respekt für das Lebendige zu ersetzen.



Jeder hat eine Rolle

Forscher, Behörden, Bürger, Schüler... Wir alle sind davon betroffen, wie die Wissenschaft Tiere behandelt. Informieren, hinterfragen und den Dialog pflegen ermöglicht es, Praktiken voranzubringen.



Reflektieren, hinterfragen, handeln

Die Herausforderungen verstehen ermöglicht es, sich eine fundierte Meinung zu bilden und für eine ethischere, verantwortungsbewusstere und respektvollere Zukunft für das Lebendige zu handeln.



Die Wissenschaft braucht Ethik. Die Ethik braucht jeden von uns.

QUELLEN

- Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV)
- Swiss 3RCC – Schweizer Kompetenzzentrum 3R
- swissuniversities – Das Prinzip der 3R
- National Research Council (US) – Erkennung und Linderung von Schmerzen bei Labortieren, 2009

- Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen swissuniversities (BLV)
- National Research Council (US) – Erkennung und Linderung von Schmerzen bei Labortieren, 2009
- Sneddon, L.U. (2019) Schmerz bei Fischen – Fortschritte Biology

- Sneddon, L.U. (2019) Schmerz bei Fischen – Fortschritte und Herausforderungen. Journal of Experimental Biology, 227-138.
- Aspöck, L.U. (2019) Schmerz Animal Behaviours. Journal of Experimental Biology, 3663, 677-136.



Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV)
Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV)

swissuniversities

Journal of Experimental Biology

swiss 3RCC
Schweizer Kompetenzzentrum 3R für Labortiere (3R)

National Research Council
Our Nation's Best Laboratory Practices

Applied Animal Behaviour Science

Hinweis: Die wissenschaftlichen Erkenntnisse entwickeln sich weiter. Diese Broschüre stellt den aktuellen Stand des Wissens (2024) dar.

Swim Test Tabelle (leer)

In Excel

Ökotoxikologischer Swim Test

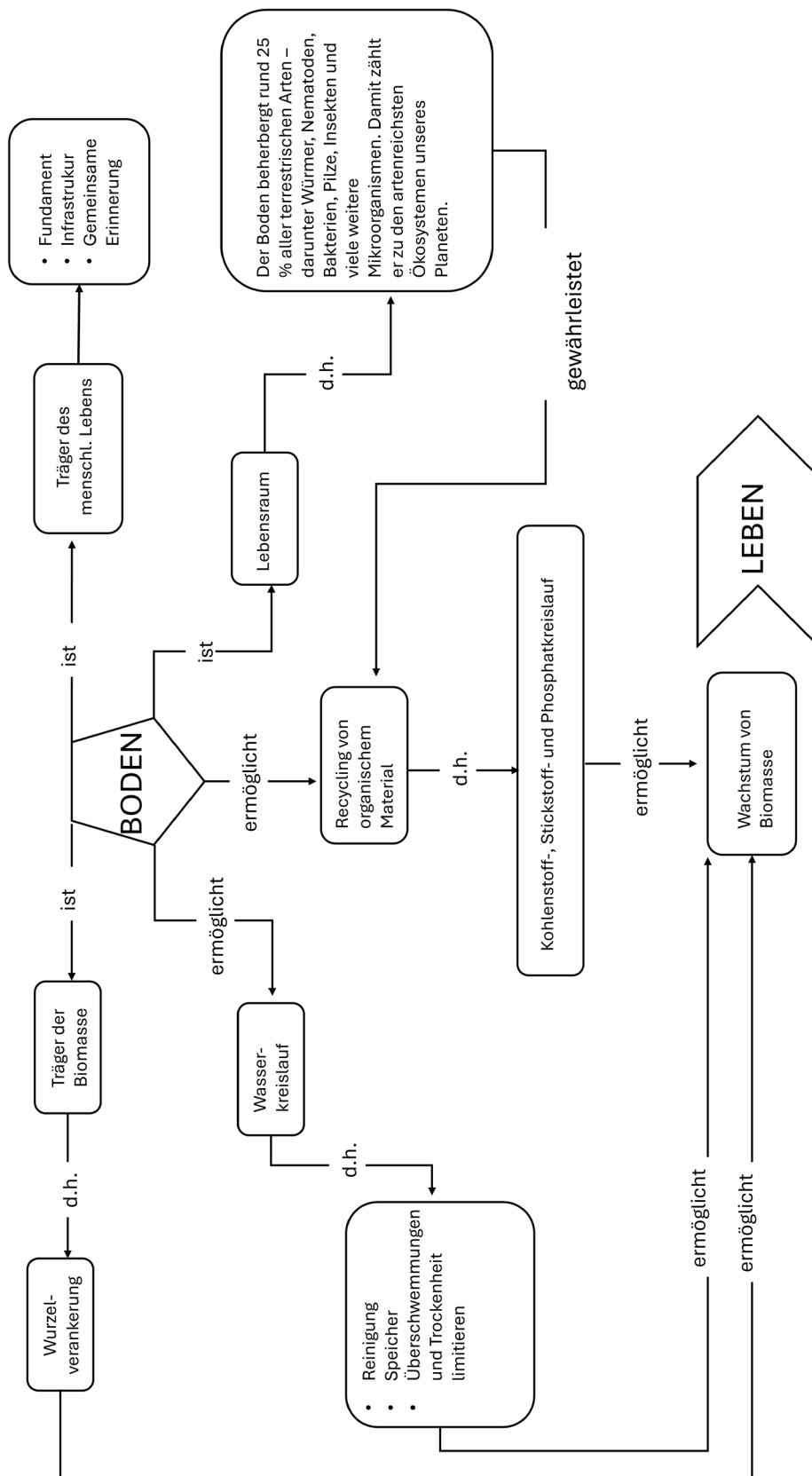
Klasse

Datum

Wurm N2, WT

Testsubstanz/Behandlung:	
Wurm	Anzahl thrashes in 30s
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
Durchschnitt	

Konzeptkarte: Funktionen des Bodens



Vorschläge zu interdisziplinärer Erweiterung

1) Deutsch

Verfassen Sie einen detaillierten Bericht zuhänden des BAFU, in dem Sie das Experiment, die Resultate sowie Ihre Schlussfolgerung darstellen. (ID, BNE, BfKA)

2) Französisch / Englisch

Erstellen Sie einen Flyer zum Bodenschutz auf Französisch oder Englisch – passend zur Mehrsprachigkeit der Schweiz. (ID, BNE)

3) Bildnerisches Gestalten:

- Erstellen Sie eine Ergebnisdatei zur Einsendung an die UNIFR im Rahmen einer zukünftigen partizipativen Studie (ID)
- Gestalten Sie ein Poster, das das Experiment und die Ergebnisse präsentiert (ID)
- Verfassen Sie einen Flyer zur Sensibilisierung für den Schutz der Böden (ID, BNE)
- Produzieren Sie ein Video (z. B. Kurzreportage, Erklärvideo etc.)

Interesse an einem dieser Praktika?

- Material bestellen : chantal.wicky@unifr.ch

- Weitere Protokolle: *Genetik mal anders*, *Fortpflanzung mit elegans*, uvm.... auf www.autresens.ch