

Regenwurmforscher auf Marsmission

Originale Begegnung und Experimentieren im Biologieunterricht der Unterstufe

Marie Hahn, Liane Flemming, Daniel Dreesmann

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, AG Didaktik der Biologie, Institut für Organismische und Molekulare Evolutionsbiologie (iomE), D- 55099 Mainz, biologiedidaktik@uni-mainz.de

Stichwörter: Regenwürmer, *Dendrobena veneta*, Experimentieren, NaWi-AG, Originale Begegnung, Modellorganismus, Weltraumforschung

Menschliches Leben auf dem Mars ist nur möglich, wenn dort auch Landwirtschaft betrieben werden kann. Um die Bodenfruchtbarkeit zu steigern, haben Wissenschaftler vorgeschlagen, Regenwürmer einzusetzen. Mit dem hier vorgestellten Material können Schülerinnen und Schüler selbst erforschen, ob dies möglich ist. Hierzu beobachten sie das natürliche Verhalten der Würmer in einem selbsterstellten Marsterrarium und werden an die Planung, Durchführung und Auswertung einfacher ökophysiologischer Experimente herangeführt. Dabei erwerben sie zudem grundlegendes Fachwissen zur Biologie der Regenwürmer.

1 Thematische Einführung in den Forschungskontext

Der folgende Beitrag stellt nach einer thematischen Einführung die ersten beiden Doppelstunden der Unterrichtsreihe „Regenwurmforscher auf Marsmission“ vor. In dieser Unterrichtsreihe wird den Schülerinnen und Schülern selbst die Forscherrolle übertragen. In der ersten Doppelstunde wird dabei zunächst Fachwissen zur Biologie des Regenwurms, zu den Methoden der Erkenntnisgewinnung, zum Forschungsprozess und zum zugehörigen Forschungskontext erarbeitet. Als Forschungskontext dient ein aktuelles Projekt der Marsforschung, den Boden auf dem Mars mithilfe von Regenwürmern fruchtbar machen zu können, damit dort Nahrungs- und Nutzpflanzen angebaut werden könnten. Um die Eignung der Regenwürmer in diesem Kontext praktisch zu prüfen, liegt der Schwerpunkt der zweiten Doppelstunde auf der Methode des Experimentierens. Versuche mit dem Modellorganismus *Dendrobena veneta* werden dabei eigenständig durchgeführt und ausgewertet. Die vorgestellten Versuche dieses Artikels beinhalten in diesem Zusammenhang u.a. den Bau eines eigenen „Marsterrariums“ zur Langzeitbeobachtung und eine Reihe von Experimenten zu den Themen Atmungsorgan der Regenwürmer sowie Temperaturempfinden und Fortbewegung der Regenwürmer.

Wenn sich Menschen in Zukunft längerfristig auf dem Mars aufhalten wollen, spielt das Thema Ernährung eine zentrale Rolle. Dabei wird eine möglichst autarke Selbstversorgung durch die Kultivierung von Pflanzen vor Ort angestrebt (vgl. Wamelink et al. 2014). Pflanzen könnten auch für die Produktion von Rohstoffen genutzt werden. Dazu müssten neben Nahrungspflanzen entsprechende Nutzpflanzen für die Herstellung von z.B. Medikamenten, Textilien, Gummi, Kleber, Harzen und Ölen angebaut werden (vgl. Kordell et al. 2014, S. 15).

Das Problem: Marsboden ist steril. Um den Boden für die Pflanzenzucht fruchtbar zu machen, muss dieser gezielt verändert werden.

Eine mögliche Lösung: Regenwürmer könnten den Marsboden fruchtbar machen und damit eine wichtige Grundlage für menschliches Leben auf dem Mars schaffen (vgl. Wamelink et al. 2014).

Ein Zeitungsartikel der Wageningen University, der am 28.11.2017 im Wissensmagazin *scinexx* veröffentlicht wurde (vgl. Wageningen University & Research 2017), berichtet über diesen Zusammenhang und kann für den Unterricht stark gekürzt werden (siehe Abb. 1 bzw. ZM 3).

Forschung- Aktuelles

Überraschend anpassungsfähig: Regenwürmer könnten Astronauten wertvolle Dienste leisten.

Sollen Astronauten künftig längere Zeit auf dem Mars überleben, dann müssen sie die dort vorhandenen Ressourcen nutzen. Das Problem, **Marsboden ist nicht fruchtbar genug**, um darauf Lebensmittel anzupflanzen. Für eine erfolgreiche Pflanzenzucht auf dem Roten Planeten könnten kleine Helfer wichtig werden: **Regenwürmer!**

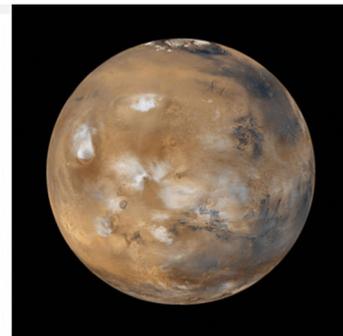


Abbildung 1: Für den Unterricht gekürzter Zeitungsartikel über die Bedeutung der Regenwürmer für das Pflanzenwachstum auf dem Mars. (siehe Zusatzmaterial ZM 3). Foto: Wikipedia: *Der Mars in natürlichen Farben*, computergeneriertes Bild aus Daten des Mars Global Surveyor, 1999.

Forschungsergebnisse I: Pflanzen auf dem Mars brauchen Regenwürmer

Im Jahr 2014 veröffentlichte die Forschergruppe um Wieger Wamelink erste Ergebnisse zum möglichen Pflanzenwachstum auf Mars und Mond. Dabei handelt es sich um das erste großangelegte Experiment zur Untersuchung der Wachstumsfähigkeit von Pflanzen auf simuliertem Mars- und Mondboden. Die größten Herausforderungen für das Pflanzenwachstum sind die geringe Wasserkapazität, die eingeschränkte Mineralstoffverfügbarkeit sowie die chemische Zusammensetzung des Modellbodens. Um diesen zu begegnen, könnten Regenwürmer helfen.

Regenwürmer sind als Destruenten wichtige Akteure im Stoffkreislauf, da durch ihre Verdauung von organischem Material dem Boden wertvolle Stoffe zugeführt werden und so für die Pflanzen verfügbar gemacht werden. So könnten Regenwürmer durch Verdauung von toten stickstofffixierenden Pflanzen den Boden auch für andere Pflanzen mit Stickstoff anreichern (vgl. Bohle et al. 2016, S. 22). Darüber hinaus befördert das Geflecht aus Gängen die Belüftung des Bodens und damit die Sauerstoffversorgung der Wurzeln. Auch die Wasseraufnahmefähigkeit und Wasserkapazität des Marsbodens könnten erhöht werden. Der Ertrag der Pflanzen würde durch die Tätigkeit der Regenwürmer möglicherweise entscheidend gesteigert (vgl. Wageningen University & Research o. J.). Da auf dem Mars keine organischen Abfälle zur Verfügung stehen, müssten diese zunächst von außen zugeführt werden (vgl. Wageningen University & Research o. J.), und in einem nächsten Schritt von Bodenbakterien zersetzt werden, damit der Regenwurm sie zu Humus verarbeiten kann. Der Marsboden müsse deshalb neben der Anreicherung mit organischem Material mit entsprechenden Bodenbakterien für die Wurmhumusproduktion beimpft werden (vgl. Bohle et al. 2016).

Forschungsergebnisse II: Regenwürmer auf dem Mars

Wamelinks Forschungsgruppe veröffentlichte 2017 erste vielversprechende Ergebnisse zur Lebensfähigkeit von Würmern in simuliertem Marsboden (vgl. Gibbens 2017). Die Forschung befindet sich jedoch noch in der Anfangsphase. Weitere geplante Projekte sollen systematisch untersuchen, ob Regenwürmer auf Marsboden überleben und sich fortpflanzen können. Außerdem soll die Wurmaktivität im simuliertem Marsboden und deren Auswirkung auf das Pflanzenwachstum beobachtet werden (vgl. Wageningen University & Research o. J.).

Bevor Regenwürmer auf dem Mars angesiedelt werden können, müssen die Lebensbedingungen vor Ort analysiert werden. Darüber hinaus ist ein Vergleich mit den Anforderungen der Tiere an ihren irdischen Lebensraum notwendig. Bei Nichtübereinstimmung sind Modifikationsmaßnahmen zur Erschaffung eines geeigneten Lebensraums zu eruieren. Temperatur, Zusammensetzung der Atmosphäre, Licht- und Schwerkraftverhältnisse, Verfügbarkeit von Wasser sowie die Beschaffenheit des Bodens, sind wichtige Schlüsselfaktoren, um zu prüfen, ob der Mars ein geeignetes Habitat für Regenwürmer darstellen könnte. Unter den aktuellen Bedingungen stellt der Mars keinen geeigneten Lebensraum für Regenwürmer und sonstige Lebewesen dar. Durch gezielte Modifikation wäre eine Ansiedlung von Regenwürmern sowie die Etablierung eines autonomen Ökosystems theoretisch möglich.

Motivationale Aspekte des gewählten Kontextes

Die Kontextualisierung der Marsforschung schafft eine Lernumgebung, in welcher der Regenwurm als interessantes Forschungsobjekt entdeckt wird. Dadurch soll von der Interessantheit des Forschungsobjekts über eine situative Interessiertheit ein dauerhaftes, individuelles Interesse bei den Lernenden geweckt werden (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 54f.). Für motiviertes Lernen sollte

der Lerngegenstand von den SuS als bedeutend und sinnvoll anerkannt werden (vgl. Eschenhagen et al. 2010, S. 169). Auch eine professionelle Haltung durch Einnehmen der Rolle als Marsforscher könne dabei helfen, eine Strategie bei der Abwehr von Ekelgefühl gegenüber dem lebenden Modellorganismus zu entwickeln (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 54–56). Ein Forschungsauftrag dient zur Übernahme der Rolle (siehe ZM 4).

2 Thematische Einführung in die Biologie des Regenwurms

2.1 Taxonomie und Morphologie

Durch die charakteristische Segmentierung des Körpers ist die Familie der Regenwürmer (Lumbricidae) eindeutig dem Stamm der Ringelwürmer (*Annelida*) zuzuordnen.



Abbildung 2 A-C: Lebende Exemplare der Regenwurmart *Dendrobena veneta*: (A) Regenwürmer im Freiland, (B) Morphologie des Regenwurms mit caudalem (links) und cranialen Körperende (rechts), (C) kriechender Regenwurm im Freiland, (D) Regenwürmer in der Handfläche (Fotos A-D siehe Zusatzmaterial ZM1). Fotos: L. Flemming

Der langgestreckte, rundliche Leib ist in hintereinander angeordnete Segmente gegliedert (siehe Abb. 2 A-D). Lediglich das Vorder- und Hinterende lassen sich äußerlich von den anderen, gleichartigen Segmenten unterscheiden. Der Körper läuft *cranial* (= zum Kopf hin) spitz zu, in Form des

Prostomiums (Kopflappen). Währenddessen flacht er *caudal* (= zum Schwanz hin) ab und wird durch das Pygidium (Anallappen) abgerundet (siehe Abb. 2B). Ein Regenwurm kann abhängig von seiner Art 90 bis 200 Metamere (Metamere = Segemente) entwickeln und eine Länge zwischen 2,5-30 cm erreichen (vgl. Hellberg-Rode 2002; vgl. Vetter 1996, S. 4f.).

2.2 Physiologie

Viele Eigenschaften des Regenwurms lassen auf aquatisch lebende Vorfahren schließen. Hier ist u.a. die Schleimproduktion zum Schutz vor Austrocknung, oder die Fähigkeit unter bestimmten Bedingungen im Wasser zu überleben, zu nennen (vgl. Meinhardt 1986, S. 6; vgl. Darwin 1882, S. 7f.). Die Versorgung mit Sauerstoff erfolgt sowohl in aquatischen als auch in terrestrischen Lebensräumen durch die **Hautatmung**. Regenwürmer haben kein spezialisiertes Atemorgan wie eine Lunge, Kiemen oder ein Tracheensystem, welches mit optischen Hilfsmitteln identifizierbar wäre. Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid diffundieren durch die feuchte Cuticula und die Epidermis. Die Atmung an Land funktioniert nur, wenn der Wurmkörper stets ein gewisses Mindestmaß an Feuchtigkeit aufweist. Dabei sind die Tiere auf ausreichende Bodenfeuchtigkeit im Bereich von 10 bis 30 Volumenprozent angewiesen (vgl. Vetter 1996, S. 12). Da die Körperoberfläche der Würmer im Verhältnis zum Körpervolumen sehr groß ist, besteht eine große respiratorische Oberfläche. Das starke Druckgefälle zwischen Atmosphäre und Coelomflüssigkeit begünstigt die Sauerstoffdiffusion nach Innen. Durch das stark verzweigte Kapillarsystem wird diffundierter Sauerstoff in das Blutkreislaufsystem aufgenommen und Kohlenstoffdioxid abgegeben. Im Blut bindet Sauerstoff an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin, welcher als Transporter fungiert. Durch die Pumpleistung der fünf paarigen Lateral- oder Seitenherzen wird Sauerstoff über das Gefäßsystem im Körper verteilt (vgl. Edwards und Bohlen 1996, S. 71f.).

2.3 Natürlicher Lebensraum

Der Boden ist der natürliche Lebensraum der Regenwürmer (siehe Abb. 2C). Er wird durch die lokal herrschenden Umweltbedingungen beeinflusst. Faktoren wie Temperatur, Bodenart, Feuchtigkeitsgrad, pH-Wert und Vorhandensein von organischem Material bestimmen die Qualität des Habitats. Im Idealfall bietet lockerer und feuchter Boden, einen pH-Wert zwischen 3,5 und 7,5, Temperaturen zwischen 10 und 15 °C und ausreichend totes organisches Material als Nahrungsquelle (vgl. Vetter 1996, S. 12). Auch die Bodenart an sich entscheidet über die Qualität des Lebensraums. Allgemein bevorzugen Regenwürmer leichte bis mittelschwere Böden, da schwere Böden sie in ihrer Grabfähigkeit einschränken. Neben der Dichte ist auch die Wasserkapazität des Bodens ein entscheidender Faktor, da diese den Feuchtigkeitsgehalt bestimmt (vgl. Edwards und Bohlen 1996, S. 146f.; vgl. Vetter 1996, S. 12). Die höchste Populationsdichte tritt in leichten Sandböden sowie leichten bis mittelschweren Lehmböden auf. In Ton-, Schwemmland- und schweren Lehmböden kommen deutlich weniger Individuen vor (vgl. Bohle et al. 2016).

3 Beschaffung und Haltung von *Dendrobena veneta* für die Unterrichtspraxis

Primäres Ziel des Experimentierens mit lebenden Objekten ist die originale Begegnung mit diesen. Dadurch werden biologische Phänomene für die Lernenden durch multiple Sinneskanäle erfahrbar. Bestimmte Lerninhalte wie z.B. Ökologie von Lebensgemeinschaften, natürliches Verhalten, Morphologie und Physiologie werden am lebenden Objekt besonders gut ersichtlich (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 94f.).

Neben der fachgemäßen Arbeitsweise des Experimentierens und Beobachtens wird artgerechtes Halten und Pflegen eingeübt sowie Wertschätzung für das Lebendige gefördert. Der Kontakt mit Lebewesen, vor allem mit Tieren (siehe Abb. 2D), ruft i.d.R. eine emotionale Reaktion bei den Lernenden hervor, diese kann sowohl positiv als auch negativ sein. Lebewesen haben meist einen positiven Effekt auf die Lernmotivation und affektive Lernziele wie Interesse und Einstellung. Dadurch kann die kognitive Lerneffektivität gesteigert werden, wobei der Einsatz von Lebewesen allein keinen Lernerfolg garantiert (vgl. Killermann et al. 2018, S. 156f.).

3.1 Beschaffung

Die Familie der Regenwürmer (*Lumbricidae*) umfasst zahlreiche Gattungen wie z.B. *Dendrobena*. Innerhalb der Gattung *Dendrobena* wird der Modellorganismus der Art *veneta* zugeordnet. International werden sie teilweise als Vertreter der Gattung *Eisenia* und der Art *hortensis* eingeordnet (*Eisenia hortensis*). Im deutschsprachigen Raum sind die Tiere auch als Riesen-Rotwürmer bekannt (vgl. Singh und Singh 2015, S. 24). In Anlehnung an die Gesamtartenliste der Regenwürmer in Deutschland wird in diesem Artikel *Dendrobena veneta* als offizielle Bezeichnung verwendet werden (vgl. Bundesamt für Naturschutz 2013, S. 547f.). Da Gattung und Art für den Inhalt der Unterrichtsreihe nur sekundär relevant sind, wird in den Unterrichtsmaterialien lediglich von Regenwürmern

HINWEISE

- Bevorzugen Sie die Beschaffung von Würmern aus heimischer Zucht. Heimische Tiere können problemlos nach der Unterrichtsreihe wieder in die Natur entlassen werden. Tiere aus dem Ausland lassen sich besser als Angel- oder Futtertiere weitergeben als sie in die heimische Natur zu entlassen.
- Prüfen Sie beim Kauf und vorab die Vitalität der Tiere (da diese stark variieren kann). Von der Vitalität hängt sowohl die Eignung der Würmer für die Versuche als auch die mögliche Dauer ihrer Haltung ab.

gesprochen. *Dendrobena veneta* wurde als Modellorganismus ausgewählt, da diese Regenwurmart für die Unterrichtspraxis prädestiniert ist. Die Würmer sind vergleichsweise groß sowie sehr aktiv und daher für Schülerexperimente optimal. Darüber hinaus zeichnen sie sich durch sowohl einfache als auch kostengünstige Beschaffung, Haltung und Pflege aus (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 95). Die Würmer müssen nicht selbst gesammelt werden (siehe Tab. 2). Dies bietet für die Unterrichtspraxis einen enormen Vorteil, da auch die Vorschriften

der RiSU bezüglich der Entnahme von wildlebenden Tieren aus dem Freiland vernachlässigt werden können (vgl. Kultusministerkonferenz 2016, S. 61).

Tabelle 2: Möglichkeiten der Beschaffung von *Dendrobena* einschließlich Leistungen und Vorteile im Überblick

| Anlaufstelle | Leistung | Vorteile |
|--|---|--|
| Onlineanbieter wie z.B. die Firma „Superwurm“ | 0,5 kg <i>Dendrobena</i> (ca. 315 Individuen) können in einem Set mit Eimer und Wurmerde und zusätzlich Spezialfutter bestellt werden (Kosten insgesamt ca. 30 €) | Ganzjährige Lieferung von großen Mengen. Durch Erde und Spezialfutter können die Würmer lange (etwa 6 bis 10 Wochen) versorgt werden |
| Örtliche Angelgeschäfte, Zoofachgeschäfte und Baumärkte sowie Gartencenter mit Angelbedarf | 1 Dose mit ca. 15 <i>Dendrobena</i> kann vor Ort mitgenommen werden (Kosten ca. 2 €) | Schnelle und kostengünstige Beschaffung. Eignet sich besonders für eine kürzere Dauer des Schulprojekts (etwa 1-2 Wochen) |

3.2 Haltung

Im Idealfall werden die Tiere bei Kellertemperatur gehalten. In einer Schule ist dies z.B. durch Lagerung im Kühlschrank der entsprechenden Sammlung möglich. Das Futter wird wöchentlich in einer dünnen Schicht auf die Erde gestreut, nach drei Wochen sollte die Spezial-Wurmerde erneuert werden. Erfahrungsgemäß nimmt die Vitalität der Würmer nach etwa sechs Wochen Kühlschrankhaltung zunehmend ab. Für die Gestaltung einer mehrwöchigen Unterrichtsreihe ist dieser Zeitraum mehr als ausreichend.

Die Tatsache, dass es sich bei *Dendrobena veneta* um eine heimische Art handelt ist von entscheidendem Vorteil. **Die Tiere können nach Beendigung der Unterrichtsreihe ins Freiland entlassen werden** (vgl. Singh und Singh 2015, S. 24).

4 Schulexperimente mit Regenwürmern

4.1 Erste Doppelstunde

Die Reihe „Regenwurmforscher auf Marsmission“ wird im Rahmen dieses Artikels in zwei Doppelstunden, die jeweils einer Lerneinheit entsprechen, beschrieben. Thema der ersten Doppelstunde und ersten Lerneinheit ist „Der Regenwurm im Kontext der Marsforschung“. Dabei wird auf der Inhaltsdimension ein grundlegendes Fachwissen zu Methoden der Erkenntnisgewinnung und dem Regenwurm gelegt.

Studentyp: Die SuS lernen unterschiedliche Methoden der **Erkenntnisgewinnung** am Beispiel des Regenwurms im Kontext der Marsforschung kennen und wenden einige von diesen an.

Stundenziel: Die SuS erweitern durch Recherche und Expertenbefragung ihr Basiswissen zum Regenwurm. Sie lernen die Langzeitbeobachtung als neue Methode der Erkenntnisgewinnung kennen und bereiten deren Durchführung vor.

Schwerpunkte:

1. Die SuS entdecken den Regenwurm im Kontext der Marsforschung als spannendes Forschungsobjekt und formulieren die Leitfrage der Stunde: Inwiefern können Regenwürmer Astronauten wertvolle Dienste erweisen?
2. Die SuS artikulieren ihr Vorwissen zum Thema Regenwurm.
3. Die SuS nennen unterschiedliche Methoden zur Erkenntnisgewinnung.
4. Die SuS entnehmen Informationen aus Videomaterial, verarbeiten und kommunizieren diese, um grundlegende Erkenntnisse über den Regenwurm zu gewinnen und ihn als nützliches Tier zu begreifen.
5. Die SuS bereiten eine Langzeitbeobachtung nach Anleitung selbstständig vor. Sie übernehmen hierbei Verantwortung für Lebewesen und müssen für diese sorgen.

Methodisches Vorgehen

In der ersten Lerneinheit sollen die SuS zunächst im neuen Lernkontext der Reihe ankommen. Dazu wird das Vorwissen der SuS aktiviert und kommuniziert, um die Gruppe auf einen homogenen Wissensstand zu bringen. Die Kontextualisierung der Marsforschung schafft eine Lernumgebung in dem der Regenwurm als interessantes Forschungsobjekt entdeckt wird. Dadurch soll von der Interessantheit des Forschungsobjekts über eine situative Interessiertheit ein dauerhaftes, individuelles Interesse bei den Lernenden geweckt werden (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 54f.). Für motiviertes Lernen sollte der Lerngegenstand von den SuS als bedeutend und sinnvoll anerkannt werden (vgl. Eschenhagen et al. 2010, S. 169).

Einstieg: Der methodische Unterrichtsbeginn ist das Vorlesen eines kurzen Rätsels durch die Lehrperson (siehe Tab. 2). Es soll die Aufmerksamkeit der SuS fokussieren. Das Rätsel (Rätsel: siehe ZM 2) führt die Lernenden spielerisch an das Thema heran, weckt Assoziationen und aktiviert das Vorwissen. Nebenbei werden erste inhaltliche Aspekte zum Thema Regenwurm vermittelt. Das Rätsel ist für den Einstieg besonders gut geeignet, da es sehr kurz ist und ein motivierendes Erfolgserlebnis verspricht. Als nächstes wird durch einen frageninduzierenden Zeitungsausschnitt zur Problemstellung hingeführt (gekürzter Zeitungsausschnitt: siehe ZM 4). Der Zeitungsausschnitt wurde hinsichtlich Umfangs und Sprache didaktisch stark reduziert und basiert auf einem Artikel der Wageningen University, der am 28.11.2017 im Wissensmagazin scinexx veröffentlicht wurde (vgl. Wa-

geningen University & Research 2017). Auf dessen Grundlage soll im Klassengespräch die Fragestellung „Warum können Regenwürmer Astronauten wertvolle Dienste erweisen“ von den SuS selbstständig entwickelt werden. Thema und Fragestellung werden an der Tafel festgehalten (siehe Abb. 3).

Tabelle 2: Übersicht über Phasen und Inhalte der ersten Doppelstunde. Hinweis: Die hier angeführte Vorgehensweise wurde unterrichtspraktisch erprobt und dient als Muster, das nach Bedarf verändert, ergänzt oder gekürzt werden kann.

| Zeit | Sachaspekt | Sozialform | Medien |
|---------------------------------|---|--|---|
| Einstieg (10 min.) | <ul style="list-style-type: none"> • Rätsel zur Aktivierung des Vorwissens • Zeitungsausschnitt zur Entwicklung der Fragestellung: „Wie können Regenwürmer Astronauten wertvolle Dienste erweisen?“ (siehe Abb.1) | LV (Lehervortrag), KG (Klassengespräch) | Beamer, Tafel, Zeitungsausschnitt |
| Problemerarbeitung (15 min.) | <ul style="list-style-type: none"> • Mind-Map zum Thema Regenwurm • Sammlung der vier Methoden der Erkenntnisgewinnung | EA (Einzelarbeit) , KG | Smartboard (Mind-Map), Tafel (Methoden) |
| Erarbeitung 1 (15 min.) | <ul style="list-style-type: none"> • Exemplarisch: Video „Rudi Regenwurm“ | EA, PA (Partnerarbeit) | Beamer (Video) |
| Präsentation 1 (5 min.) | F: Warum sind Regenwürmer heimliche Stars? A: Regenwürmer machen Erde fruchtbar. F: Geht das auch auf dem Mars? | KG | Tafel |
| Erarbeitung 2 (40 min.) | <ul style="list-style-type: none"> • Experten befragen anhand des Expertenberichts. • Erstellen eines Marsterrariums für die Langzeitbeobachtung | EA, GA (Gruppenarbeit) | Expertenbericht, Tafel, Materialien für das Marsterrarium |
| Präsentation 2 (5 min.) | <ul style="list-style-type: none"> • Ableitung: Regenwürmer könnten dabei helfen, Marserde fruchtbar zu machen. • Hausaufgabe: Langzeitbeobachtung | KG | Tafel |

Problemerarbeitungsphase: Die Lernenden sollen in Einzelarbeit drei Minuten frei zum Thema Regenwurm assoziieren. Anschließend werden die Begriffe aus den individuellen Clustern im Klassengespräch in einer Mind-Map zusammengeführt und nach Kategorien geordnet. Diese Mind-Map soll vorzugsweise am Smartboard erstellt werden, da dies die Möglichkeit bietet diese zu speichern und auszudrucken. Das ausgedruckte Exemplar soll anschließend im Klassenraum in Form einer Wandzeitung veröffentlicht werden, die im Laufe der Unterrichtsreihe stetig erweitert wird, um den Lernzuwachs der SuS sichtbar zu machen.

Als nächstes wird auf der Inhaltsdimension ein grundlegendes Fachwissen zu unterschiedlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung und zum Regenwurm gelegt (siehe Abb. 3). Dies stellt das essenzielle fachwissenschaftliche Fundament dar, auf welchem beide Lerneinheiten aufbauen. Die SuS lernen vier Methoden der Erkenntnisgewinnung kennen: *Recherche*, *Experten Befragen*, *Beobachten* und *Experimentieren*. Dieses Wissen gibt den Lernenden unterschiedliche Möglichkeiten an die Hand selbstständig Informationen zu sammeln, um Fragen zu beantworten.

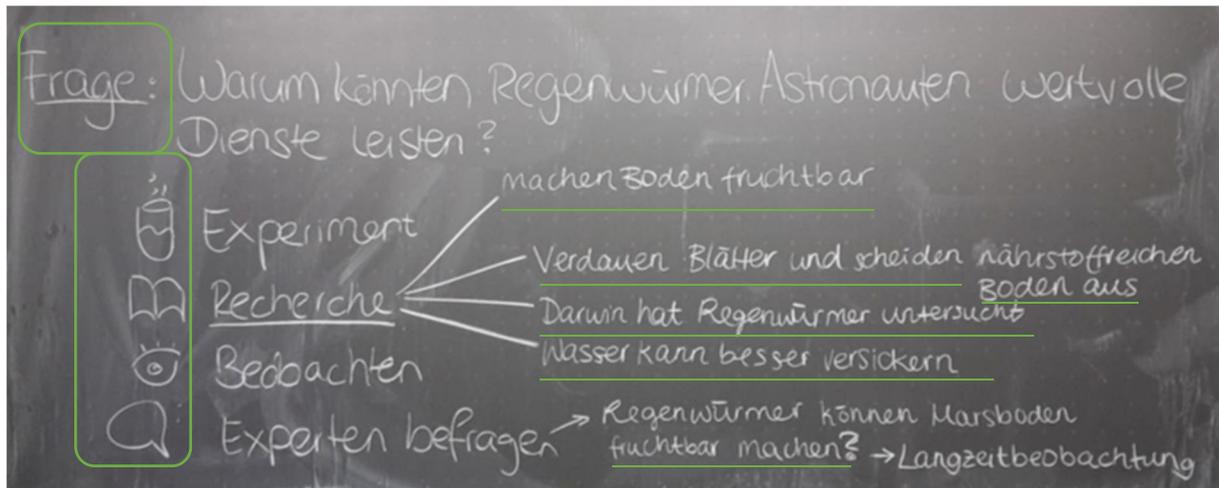


Abbildung 3: Im Laufe der ersten Doppelstunde entwickeltes Tafelbild mit der **Fragestellung**, den **vier Methoden** der Erkenntnisgewinnung und den **gewonnenen Erkenntnissen** aus der Erarbeitungsphase 1 und 2. Foto: M. Hahn

Erarbeitungsphase 1: In der anschließenden Erarbeitungsphase eins soll die *Recherche* als Erkenntnismethode exemplarisch an einem kindgerechten Kurzfilm angewendet werden. Das Video „Rudi Regenwurm“ aus der Reihe Planet Wissen des Westdeutschen Rundfunks Köln (WDR) ist zum Beispiel eine Möglichkeit, um in kurzer Zeit ein grundlegendes Fachwissen über den Regenwurm zu vermitteln. Neben Informationen über den Regenwurm stellt der Film Charles Darwin als bedeutenden Regenwurmforscher vor. Durch die positive Darstellung des Regenwurms als „fleißigen“ Nützlichling wird das Sympathieempfinden verstärkt und dem Ekelgefühl entgegengewirkt (vgl. Eschenhagen et al. 2010, S. 327–329). Auch andere Videos oder Artikel über den Regenwurm können an dieser Stelle geeignet sein.

Präsentationsphase 1: In der nachfolgenden Präsentationsphase werden die erstellten Lernprodukte im Klassengespräch diskutiert. Die Ergebnisse werden an der Tafel festgehalten (siehe Abb. 3). Das übergeordnete Fazit „Regenwürmer machen Erde fruchtbar“ wirft mit Hinblick auf die Anfangsproblematik die Frage auf, ob dies auch auf dem Mars möglich sei. Dieser Frage wird in der zweiten Erarbeitungsphase nachgegangen.

Erarbeitungsphase 2: Durch die Projektion des Gelernten auf den Kontext der Marsforschung werden sich die SuS ihres eigenen Lernzuwachses bewusst und können diesen erproben. Auf der Suche nach Informationen wenden die Lernenden die Erkenntnismethode der *Expertenbefragung* an. Da eine direkte Expertenbefragung (abgesehen von der Befragung der Lehrperson) im Unterricht nur schwer realisierbar ist, wird dabei methodisch auf einen Expertenbericht zurückgegriffen.

Bei dem Bericht handelt es sich um einen hinsichtlich Umfangs und Sprache didaktisch stark reduzierten Artikel (gekürzter Expertenbericht: siehe ZM 5), welcher von der Wageningen University am 28.11.2017 im Wissensmagazin *scinexx* veröffentlicht wurde (vgl. Wageningen University & Research 2017).

Bau eines Marsterrariums

Anschließend wird in Anlehnung an das Forschungsprojekt des Experten Wieger Wamelink eine Langzeitbeobachtung vorbereitet (Anleitung: siehe Arbeitsmaterial M1). Die Kriterien einer wissenschaftlichen Überprüfung der Forschungshypothese Wamelinks können aus finanziellen und unterrichtspraktischen Gründen jedoch nicht erreicht werden. Ein erschwingliches, dem hawaiianischen Vulkansand vergleichbares Marsbodenäquivalent konnte leider nicht zur Verfügung gestellt werden. Als umsetzbares Vorgehen eignet es sich, den Fokus auf die Fruchtbarmachung des Bodens durch die Regenwürmer zu legen. Dafür wird ein Regenwurmkriechglas mit abwechselnd Sand- und Erdschicht und oben aufliegenden organischen Abfällen angelegt (siehe Abb. 4). Dies hat den Vorteil, dass die SuS die Grabtätigkeit und die Verwertung von organischen Abfällen beobachten können. Die Glasöffnung wurde mit einem Fliegengitter und einem Gummiring verschlossen, damit die Regenwürmer nicht aus dem Glas kriechen, die Sauerstoffzufuhr jedoch weiterhin gewährleistet war.



Abbildung 4: Fertiggestelltes Marsterrarium mit einer Schichtung aus Erde und grobem Spielsand (links) und besiedeltes und abgedecktes Marsterrarium (rechts). Fotos: M. Hahn

Um den SuS ein Verständnis für wissenschaftliches Arbeiten zu vermitteln, werden für die Regenwurmkriechgläser identische Gläser verwendet, um die Versuchsergebnisse nicht zu beeinflussen. Die Wahl fiel auf ein 788 ml Rundglas mit Schraubdeckel, das einen Durchmesser von 94 mm und eine Höhe von 145 mm hatte. Das Glas erschien sehr geeignet, da bei gegebener Höhe eine hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Tiere an der Glaswand bestand. Dennoch ist die Öffnung groß genug, um Erde und Sand einfach einzufüllen und mit der Hand festzudrücken. Unter finanziellen Gesichtspunkten können die SuS in der Schulpraxis auch zum Sammeln von geeigneten Gläsern aufgefordert werden. Das Einfüllen soll durch Einfülltrichter und Dosierschaufeln aus dem Haushaltsbereich erleichtert werden.

An drei Stationen werden die Materialien bereitgestellt, an denen die SuS in Gruppenarbeit ihre „Marsterrarien“ befüllen. An jeder Station stehen folgende Materialien bereit, eine Kiste mit Erde und eine mit Sand, mit jeweils zwei Dosierschaufeln. Eine Materialkiste mit schwarzem Pappkarton,

einer Schere, einer Rolle Tesafilm, Fliegengitter, einem Einfülltrichter und mit entsprechender Anzahl an Gläsern, Deckeln und Gummiringen. Die Kisten können vorbereitet werden und müssen zu Beginn des Unterrichts nur noch im Raum platziert werden (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Baumaterialien für das Marsterrarium.
Foto: M. Hahn



Abbildung 6: Durchführung im Unterricht (Station 1).
Foto: M. Hahn

Sobald die SuS ihr Marsterrarium fertig gebaut haben dürfen sie zur zweiten Station übergehen (siehe Abb. 6). Dort wird der Boden des Marsterrariums mit Hilfe einer Spritzflasche angefeuchtet und die oberste Schicht mit organischen Abfällen wie Zwiebelschalen, Kaffeesatz, alten Blätter und Rasenschnitt bedeckt. Da sich die Regenwürmer bevorzugt am Boden des Wurmeimers aufhalten ist es empfehlenswert die Würmer samt Erde in einen zweiten Eimer umzuschütten. So liegen die Regenwürmer an der Oberfläche und sind für die SuS leicht zugänglich. Als letztes sollen die Gläser mit je drei Regenwürmern bestückt werden. Durch die originale Begegnung mit dem Regenwurm wird die affektive Ebene miteinbezogen und positiv verstärkender Teil der Lernerfahrung (vgl. Killermann et al. 2018, S. 97). Für Kinder, die sich noch nicht trauen einen Regenwurm mit der Hand anzufassen, werden Handschuhe bereitgestellt.

Präsentationsphase 2: Nach dieser Doppelstunde können die SuS ableiten, dass Regenwürmer dabei helfen könnten, Marserde fruchtbar zu machen. Auch dieses Ergebnis wird an der Tafel festgehalten (siehe Abb. 3). Die Langzeitbeobachtung wird begleitend zum Regenwurmprojekt über einen Zeitraum von drei Wochen von den SuS als Hausaufgabe durchgeführt. Dadurch wird das Erkenntnismethodenspektrum erweitert und die Beobachtungskompetenz geschult. Die im Kurzfilm präsentierten Informationen werden für die Lernenden durch eine originale Begegnung erfahrbar und methodisch überprüfbar. Das Erleben der Natur am originalen Objekt verspricht einen erhöhten Lernerfolg (vgl. Killermann et al. 2018, S. 96-99). Weiterhin übernehmen die SuS Verantwortung für ein Lebewesen und müssen für dieses sorgen. Falls die Schule über eine entsprechende Kamera verfügt, könnte ergänzend eine Zeitraffervideografie durchgeführt werden.

4.2 Zweite Doppelstunde

Thema der Doppelstunde ist das „Experimentelle Erforschen der Überlebensfähigkeit des Regenwurms auf dem Mars“. Hierbei steht neben theoretischem Grundlagenwissen zum Forschungsprozess die Handlungsdimension, das angeleitete Experimentieren als naturwissenschaftliche Erkenntnismethode im Vordergrund.

Ausgang eines jeden Experiments ist eine Fragestellung. Diese kann auf Grundlage bestehender Theorien sowie alltäglicher und wissenschaftlicher Erfahrungen entstehen. Im zweiten Schritt muss eine entsprechende Hypothese formuliert werden, die es zu verifizieren bzw. zu falsifizieren gilt. Als nächstes erfolgt die Planung, welche den Versuchsaufbau, die benötigten Materialien und das Vorgehen umfasst. Es folgt die Durchführung, wobei die Beobachtungen sachgerecht dokumentiert werden. Diese werden anschließend ausgewertet und stellen die Grundlage für die Formulierung des Ergebnisses dar.

Studentyp: Die SuS lernen Experimentieren als Methode der Erkenntnisgewinnung am Beispiel der Lebensfähigkeit des Regenwurms auf dem Mars kennen.

Stundenziel: Die SuS erfahren Experimentieren als Methode der Erkenntnisgewinnung. Sie lernen die einzelnen Arbeitsschritte des Forschungsprozess kennen und üben diese durch angeleitetes Experimentieren ein.

Schwerpunkte:

1. Die SuS formulieren die Leitfrage der Stunde: Wie können Regenwürmer auf dem Mars überleben?
2. Die SuS können die einzelnen Arbeitsschritte des Forschungsprozess in die richtige Reihenfolge bringen.
3. Die SuS kennen die Regeln zum Umgang mit lebenden Objekten und wenden diese an.
4. Die SuS entnehmen Informationen aus leicht erschließbaren Texten und stellen auf Grundlage dessen Biologische Fachfragen und formulieren Hypothesen.
5. Die SuS führen Experimenten nach Anleitung selbstständig durch und protokollieren diese sachgerecht.
6. Die SuS kommunizieren eigene Kenntnisse und Arbeitsergebnisse ihrer Experimente.

Lerngegenstand

Der Lerngegenstand der zweiten Lerneinheit baut auf dem fachwissenschaftlichen Fundament der ersten Stunde auf und knüpft an dieses an. Um die selbst generierte Frage „Ob bzw. Wie Regenwürmer auf dem Mars überleben können“ beantworten zu können, werden die vier Methoden der Erkenntnisgewinnung (Recherchieren, Experten Befragen, Beobachten und Experimentieren) zur Festigung noch einmal wiederholt (vgl. Eschenhagen et al. 2010, S. 38 206f.). Das Experimentieren wird als einzige bisher noch nicht angewandte Methode anschließend ins Zentrum gerückt, mit den Themen: Atmung, Temperaturempfinden und Fortbewegung. Auf der der Inhaltsebene werden davor die einzelnen Schritte des Forschungsprozess: Forscherfrage entwickeln, Hypothese aufstellen, Experiment planen, Experiment durchführen, Beobachtung aufschreiben, Ergebnis formulieren und Ergebnis veröffentlichen, thematisiert. Diese stellen die theoretische Grundlage des naturwissenschaftlichen Arbeitens dar (vgl. Gropengießer et al. 2017, S. 76f.).

Methodisches Vorgehen

Tabelle 3: Übersicht über Phasen und Inhalte der zweiten Doppelstunde. Hinweis: Die hier angeführte Vorgehensweise wurde unterrichtspraktisch erprobt und dient als Muster, das nach Bedarf verändert, ergänzt oder gekürzt werden kann. Abkürzungen: siehe Tab. 2.

| Zeit | Sachaspekt | Sozialform | Medien |
|-----------------------------|---|-------------|-------------------|
| Einstieg (5 min.) | Stummer Bildimpuls führt zur Fragestellung: <i>(Wie) Können Regenwürmer auf dem Mars überleben?</i> | KG | Beamer, Tafel |
| Problemerarbeitung (5 min.) | Murmelfase: <i>Können Regenwürmer auf dem Mars überleben?</i> Danach Erstellung des Stimmungsbildes <i>Wie könnten wir Informationen sammeln?</i> | PA, KG | Tafel |
| Erarbeitung 1 (12 min.) | Schritte des Forscherprozesses ordnen | PA | AB |
| Präsentation 1 (3 min.) | Vergleich der richtigen Reihenfolge des Forscherprozesses | KG | Tafel |
| Erarbeitung 2 (50 min.) | <ul style="list-style-type: none"> Regeln zum Umgang mit lebenden Tieren Aufgabenstellungen besprechen Durchführen und Dokumentieren der Experimente | LV, KG, GA, | Beamer, Stationen |
| Präsentation 2 (15min.) | <ul style="list-style-type: none"> Präsentation der Ergebnisse Ableitung: Ohne Veränderung der Verhältnisse auf dem Mars können Regenwürmer nicht überleben | KG | Tafel |

Einstieg: Der Einstieg kann mit der Methode des stummen Bildimpulses gestaltet werden. Das Bild wird mit Hilfe eines Beamers in Farbe präsentiert. Es eignet sich eine bearbeitete Zeichnung eines Marsastronauten. Dabei steckt ein Regenwurm in einem Weltraumanzug und steht auf dem Mars. Der Cartoon problematisiert die Überlebensfähigkeit des Regenwurms auf dem Mars und knüpft an das Vorwissen aus der letzten Stunde an. Auf Grundlage des frageninduzierenden Cartoons soll im Klassengespräch die Leitfrage der Stunde „(Wie) können Regenwürmer auf dem Mars überleben?“ formuliert und an der Tafel gesichert werden.

Problemerarbeitungsphase: In der Problemerarbeitungsphase sollen die SuS in einer kurzen Murmelphase mit ihrem Sitznachbarn individuelle Vorstellungen und Hypothesen in Bezug zur Fragestellung entwickeln. Durch den gegenseitigen Austausch werden alle SuS aktiviert und haben die Möglichkeit ihr Vorwissen und ihre Meinung zu artikulieren. Durch ein anschließendes Stimmungsbild können unterschiedliche Vorstellungen und Einstellungen aufgedeckt und das Bedürfnis nach Klärung geweckt werden.

Erarbeitungsphase 1: In der ersten Erarbeitungsphase werden die einzelnen Schritte des Forschungsprozess und damit eine Anleitung für das spätere Experimentieren erarbeitet. Dazu dient ein Arbeitsblatt mit einem kurzen Info Text und der Aufgabe die einzelnen Schritte auszuschneiden und in eine logische Reihenfolge zu bringen (Arbeitsblätter zum Forschungsprozess: siehe M2, Lösung: siehe ZM 7). Die Arbeitsschritte sind mit einem repräsentativen Symbol versehen und beschreiben Darwins Vorgehen zur Untersuchung des Riechvermögens von Regenwürmern (vgl. Darwin 1882, S. 16–18). Diese wurden bewusst formuliert, dass für die SuS eine logische Reihenfolge erkennbar wird. Charles Darwin fungiert an dieser Stelle als Identifikationsfigur für die SuS. Zunächst sollen die Schritte in Einzelarbeit richtig angeordnet werden, damit alle in ihrem individuellen Arbeitstempo den Prozess verstehen. Um ein fehlerfreies Lernprodukt zu garantieren, soll die Anordnung vor dem Aufkleben mit dem Sitznachbarn verglichen werden.

Präsentationsphase 1: Anschließend werden die Ergebnisse in der Präsentationsphase im Klassengespräch verglichen. Dazu wurden die einzelnen Arbeitsschritte mit den repräsentativen Symbolen auf querhalbierten Din A4 Blätter ausgedruckt und laminiert. Mit Hilfe von Magneten können die Schritte an der Tafel von den SuS sortiert und bei Diskussionsbedarf verschoben werden.

Erarbeitungsphase 2: Nachdem die theoretische Grundlage gelegt und gesichert wurde, kann dieser Lernzugewinn in der zweiten Erarbeitungsphase erprobt werden. Bevor die SuS mit den Würmern experimentieren, erhalten sie durch einen Lehrervortrag eine Einführung in die Regeln zum Umgang mit Regenwürmern und Stresssymptome (siehe ZM 6). Im Anschluss wird die Aufgabenstellung und das Hilfekartensystem im Klassengespräch geklärt. Alle Experimente werden nach dem gleichen Aufgabenschema bearbeitet und die SuS durchlaufen dabei die einzelnen Schritte des Forschungsprozess. Als erstes sollen die SuS auf Grundlage eines frageninduzierenden Informationstexts eine sinngemäße Forscherfrage formulieren und dazu passende Hypothesen aufstellen. Abschließend soll ein Ergebnis formuliert und der Bezug zur Ausgangsfrage der Stunde hergestellt werden. Durch Anwendung des Gelernten auf die Problemstellung wird den SuS der Lernzuwachs bewusst.

Versuche mit Regenwürmern

Hinweise für alle Versuche: Bei allen Versuchen werden die Regenwürmer in einer mit feuchtem Küchenpapier ausgelegten Plastikwanne transportiert und zwischengelagert. Vor jedem Versuch sollten die Würmer mit der Spritzflasche kurz abgespült werden. Dadurch werden sie von Erde befreit und besser beobachtbar, außerdem schien dies einen vitalisierenden Effekt auf die Würmer zu haben. Nach dem Versuch sollen die Würmer zur Befeuchtung erneut abgespült und danach in die Wurmbox zurückgesetzt werden (Regeln zum Umgang mit Regenwürmern im Unterricht: siehe ZM 6). Alle für den Versuch benötigten Materialien werden in einer Kiste bereitgestellt.

Atemorgan der Regenwürmer Die SuS sollen z.B. die Forscherfrage formulieren: Welches Atemorgan haben Regenwürmer? Eine naheliegende Hypothese wäre, dass Regenwürmer Hautatmer sind. Als erstes sollen die SuS drei Regenwürmer mit einer Lupe auf äußerlich sichtbare Atemorgane: Kiemen und Tracheen untersuchen. Um die Tiere von allen Seiten betrachten zu können, sollen sie in eine Petrischale gesetzt werden. Regenwurmhaut können die SuS den feuchten Schleim haptisch wahrnehmen und dadurch einen ersten Hinweis auf die Hautatmung erhalten (Anleitung: siehe M 3).

Um die Lungenatmung auszuschließen werden die Würmer in einem zweiten Versuch für drei Minuten in eine mit frischem Leitungswasser befüllten Plastikwanne gesetzt, währenddessen und danach sind keine Stresssymptome beobachtbar.



Abbildung 7: Materialbox für das Experiment Atemorgan der Regenwürmer. Box von vorne (links) und von oben (rechts). Inhalt der Box: siehe Material 3. Fotos: M. Hahn.



Abbildung 8: Materialbox mit Inhalt für das Experiment Temperaturempfinden. Inhalt der Box: siehe Material 4. Foto: M. Hahn

Temperaturempfinden der Regenwürmer

Dieser Versuch soll die Forscherfrage klären, wie Regenwürmer auf extreme Temperaturen reagieren (Anleitung: siehe M 4). Eine mögliche Hypothese wäre, dass Regenwürmer keine hohen oder niedrigen Temperaturen bevorzugen. Im ersten Versuchsteil werden die Regenwürmer mithilfe einer Pipette mit Wasser verschiedener Temperaturen betropft. Durch die Beobachtung von Stressreaktionen bei hohen und niedrigen Temperaturen und das Hintergrundwissen aus dem Info Text können die SuS schließen, dass Regenwürmer weder extrem hohe noch extrem niedrige Temperaturen tolerieren und bei herkömmlichen Bedingungen auf dem Mars nicht überleben können.

Im zweiten Versuchsteil wird die Reaktion der Regenwürmer auf extreme Bodentemperaturen untersucht. Als Versuchsboden wurde die gleiche Anzucherde wie für die Marsterrarien verwendet. Zunächst müssen in vier 400 ml Bechergläsern vier verschiedene Temperaturbereiche eingestellt werden: gefroren, gekühlt, raumtemperiert und erhitzt. Mit dem Wissen aus dem Info Text und den Beobachtungen kommen die SuS zu dem Schluss, dass Regenwürmer weder extrem hohe noch extrem niedrige Temperaturen tolerieren und daher unter herkömmlichen Bedingungen auf dem Mars nicht überleben können. Um die Regenwürmer nicht unnötig zu stressen, sollten diese nach Auftreten der Stresssymptome aus dem Becherglas entnommen werden.



Abbildung 9: Versuchsaufbau. Versuchsansätze mit feuchter Erde (1), Erde mit feinem Sand gemischt (2), grober und feuchter Sand (3), feiner und trockener Sand (4). Foto: L. Flemming

Fortbewegung der Regenwürmer

Bei diesem Versuch soll die Forscherfrage, ob Regenwürmer im Marsboden überleben können, beantwortet werden (Anleitung: siehe M 5). Eine naheliegende Hypothese wäre, dass sie nicht im Marsboden überleben können. Bei diesem Versuch wird die Reaktion der Würmer auf unterschiedliche Bodenarten untersucht. Im Vergleich stehen vier Bodenarten (siehe Abb. 9). Die vier Bodenarten werden in vier entsprechenden Behältern zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe von Haushaltsdosierräufeln können die SuS die Bodenarten leicht in die vier 400 ml Bechergläser umfüllen. Anschließend wird jeweils ein Regenwurm auf einen Versuchsansatz gesetzt und sein Verhalten beobachtet (siehe Abb.10). Der Verlauf dieses Experiments ist in einem Video dargestellt (Link zum Video: siehe ZM 9).

5 Fortführung der Unterrichtsreihe „Regenwurmforscher auf Marsmission“

Die im Rahmen einer Masterarbeit entwickelte Reihe mit dem Titel „Regenwurmforscher auf Marsmission“ umfasst insgesamt vier Doppelstunden, welche auf drei Lerneinheiten aufgeteilt sind. Die Reihe sieht von Lerneinheit zu Lerneinheit eine didaktische Steigerung vor.

Die dritte und abschließende Lerneinheit ist in diesem Artikel nicht beschrieben. Sie kann als möglicher Anknüpfungspunkt dienen, die Unterrichtsreihe noch weiter fortzuführen. Die abschließende Lerneinheit, die sich über zwei Doppelstunden erstreckt, gibt den SuS Raum das erlernte Fachwissen anzuwenden und selbstständig Experimente zu planen und durchzuführen. Das Thema der Lerneinheit ist das „Selbstständige, experimentelle Erforschen des Regenwurms“ und baut inhaltlich und methodisch auf den Vorgängerstunden auf. Diese abschließende Lerneinheit stellt den Höhepunkt der didaktischen Steigerung dar. Die SuS sollen selbstständig forschen und die Stufen des Forschungsprozesses durchlaufen.



Abb. 10: Aufnahme während des Versuchs: Die Regenwürmer in Versuchsansatz 1 (Erde) und 2 (Erde mit feinem Sand gemischt) sind beide fast vollständig im Boden vergraben, der Regenwurm in Ansatz 3 (grober und feuchter Sand) liegt dem Sand auf und kann sich nicht vergraben, der Regenwurm aus Ansatz 4 (feiner und trockener Sand) beginnt damit, Stresssymptome zu zeigen und wird daraufhin dem Versuchsgefäß zu seinem Schutz entnommen. Foto: L. Flemming

Abschließend kann gesagt werden, dass die SuS durch die Unterrichtsreihe ihr Methodenspektrum erweitern. Weiterhin bekommt der Regenwurm ein neues Gesicht und wird zum spannenden Forschungsobjekt. Sie begreifen die bedeutungsvolle Rolle des Regenwurms für Erde und Mars, die Charles Darwin und Wieger Wamelink erkannt haben.

Dank

Wir danken den Schülerinnen und Schülern von Schulen im Rhein-Main-Gebiet, die an der Erprobung des Unterrichtsmaterials teilgenommen haben.

6 Literaturverzeichnis

- Bohle, Shannon, H. Saul Perez Montaño, Matt Bille, und Doug Turnbull. 2016. A&G Volume 57 Issue 2, Full Issue. *Astronomy & Geophysics* 57 (2): ASTROG. doi: 10.1093/astrogeo/atw04410.1093/astrogeo/atw071.
- Bundesamt für Naturschutz. 2013. *Rote Liste und Gesamtartenliste der Regenwürmer (Lumbricidae et Criodrilidae) Deutschlands*.
- Darwin, Charles. 1882. *Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Würmer: mit Beobachtung über deren Lebensweise*, 2. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart.
- Edwards, Clive A., und Patrick J. Bohlen. 1996. *Biology and ecology of earthworms*, 3. Aufl. London: Springer Science & Business Media.
- Eschenhagen, Dieter, Karla Etschenberg, Ulrich Kattmann, Roland Bühs, und Ute Harms. 2010. *Fachdidaktik Biologie: Die Biologiedidaktik*, 8. Aufl. Köln: Aulis.
- Gibbens, Sarah. 2017. Erste Vermehrung von Regenwürmern in simuliertem Marsboden gelungen. <https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/2017/12/erste-vermehrung-von-regenwuermern-simuliertem-marsboden-gelungen>. Zugegriffen: 12. September 2018.
- Gropengießer, Harald, Ulrich Kattmann, und Dirk Krüger. 2017. *Biologiedidaktik in Übersichten*, 3. Aufl. Seelze: Aulis.
- Hellberg-Rode, Gesine. 2002. Projekt Hyper-Soil: Lern- und Arbeitsumgebung zum Themenfeld „Boden“ im Unterricht. <https://hypersoil.uni-muenster.de/index.html>. Zugegriffen: 06.08.19.
- Killermann, Wilhelm. 1998. Research into biology teaching methods. *Journal of Biological Education* 33 (1): 4–9.
- Killermann, Wilhelm, Peter Hiering, und Bernhard Starosta. 2018. *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik*, 17. Aufl. Augsburg: Auer.
- Kordell, Steven, Daniel Fitzgerald, und Shawn Ferrini. 2014. Phobos First: A Mission to Settle Mars. https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031714-152126/unrestricted/Phobos_First_Final_Paper_Draft_March_17_2014.pdf. Zugegriffen: 12.09.18.
- Kultusministerkonferenz. 2004. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. München.
- Kultusministerkonferenz. 2016. Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht: RiSU.
- Meinhardt, Ursula. 1986. *Alles über Regenwürmer*. Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung.
- Singh, Manish Kumar, und Priyanka Singh. 2015. *Handbook on vermicomposting: Requirements, methods, advantages and applications*. Hamburg: Anchor Academic Publishing.
- Vetter, Fredy. 1996. *Regenwurm Führer zur Ausstellung*. Luzern: Natur-Museum.
- Wageningen University & Research. o. J. Wormen op Mars. <https://crowdfunding.wur.nl/project/earthworms-for-mars>. Zugegriffen: 11.09.18.

Wageningen University & Research. 2017. Regenwürmer gedeihen auch in Mars-Boden: Würmer könnten Gewächshäuser von Mars-Astronauten fruchtbarer machen. <https://www.sci-nexx.de/news/biowissen/regenwuermer-gedeihen-auch-in-mars-boden/>. Zugegriffen: 27.02.19.

Warmelink, G.W. Wieger, Josep Y. Frissel, Wilfried H.J. Krijnen, M. Rinie Verwoert und Paul W. Goehart. 2014: *Can plants grow on Mars and the moon: a growth experiment on Mars and moon soil simulants*. PloS one 9 (8): e103138. Doi: 10.1371/journal.pone.0103138.