



MASTERARBEIT / MASTER THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Entwicklung einer Lerngelegenheit zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘
zur Förderung angemessener Schüler*innenvorstellungen zu ‚Nature of
Scientific Inquiry‘“

verfasst von / submitted by

Stephanie Kolber, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien, 2022 / Vienna 2022

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 199 502 504 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) UF Biologie und
Umweltkunde UF Chemie

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Danksagung und Widmung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, welche mich beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt:

- Frau Prof. Dr. Anja Lembens und Frau Dipl. Ing. Mag. Dr. Brigitte Koliander für die wirklich großartige Betreuung bei dieser Arbeit und für viele Beratungsgespräche.
- Frau Susanne Schmidt, Joana Wimberger, Alexandra Töscher und Anna Wagner für ihre vielen ermutigenden Worte.
- Herrn Mag. Otmar Paugger und Herrn Mag. Peter Greifeneder für sehr flexible Bürozeiten.
- Meinem Mann, der oft unsere Tochter beschäftigt hat, damit diese Arbeit zustande kommen konnte.

Und vor allem möchte ich an dieser Stelle meinem Papa danken. Er hat mich während aller Höhen und Tiefen meines Studiums unterstützt und immer an mich geglaubt. Lieber Papa, diese Arbeit ist Dir gewidmet! Ich wünschte, wir hätten es noch zusammen feiern können.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit ist ein Unterrichtsprojekt zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ konzipiert und Unterlagen einschließlich einer Computersimulation sind dazu erstellt worden. Hauptziel des Unterrichtsprojekts war, das Wissen der Schüler*innen über ‚Nature of Scientific Inquiry‘ zu vertiefen und den Lernenden ein realistisches Bild des naturwissenschaftlichen Arbeitens zu vermitteln. Hierzu ist das von Hodson (2014) erstellte Modell für die Vermittlung von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ gewählt worden (Hodson, 2014, S. 2534 ff.).

Zur Erhebung der Schüler*innenvorstellungen ist zunächst eine Befragung zum Thema ‚Schwermetalle‘ durchgeführt worden. Aufgrund der Ergebnisse dieser Befragung ist der fachliche Rahmen des Projektes konzipiert worden.

Die erstellte Computersimulation besitzt einen motivierenden Charakter, durch den die Schüler*innen für einen Forschungsprozess begeistert werden konnten. Außerdem konnten so Teilbereiche von Forschungsarbeit simuliert werden, die sonst im Unterricht nicht umsetzbar wären. Begleitet worden ist das Unterrichtsprojekt von einem vorstrukturierten Protokoll, das wesentliche Punkte von Hodsons (2014) erstelltem Konzept enthält.

Die erstellten Materialien sind sowohl für die Sekundarstufe I als auch für die Sekundarstufe II entwickelt worden. Wesentliche Unterschiede finden sich in den Protokollheften. Hier ist für die Sekundarstufe I die Aufgabe bezüglich sinnerfassenden Lesens von Artikeln stark vereinfacht worden. Außerdem ist die statistische Auswertung auf die Berechnung des Mittelwertes reduziert und die Beschreibung des Elektronenmikroskops vereinfacht worden.

Die Unterrichtseinheit ist aus Gründen des Zugangs zum Feld nur in der Sekundarstufe I durchgeführt und evaluiert worden. Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Projektes in Bezug auf den Lernzuwachs der Schüler*innen im Punkt ‚Nature of Scientific Inquiry‘ sind Auszüge des von Schwartz et al. (2008) entwickelten VOSI-Fragenbogen genutzt worden (VOSI = ‚Views of Scientific Inquiry‘). Der Fragebogen ist jeweils zu Beginn und am Ende des Projektes ausgegeben worden. Die Auswertung der Befragung hat einen Verständnisszuwachs der Lernenden in den Bereichen ‚Methodenvielfalt in der Naturwissenschaft‘, ‚Unterschied zwischen Experiment und Beobachtung‘, ‚Unterschied zwischen Daten und Belegen‘ und ‚Umgang mit abweichenden Daten‘ gezeigt.

Abstract

This thesis focuses on the design of a classroom project on the topic of 'Heavy metals in the environment'. Therefore, several teaching materials including a Point-and-Click-Adventure have been developed. The main goal of this project was to enhance students' knowledge about 'Nature of Scientific Inquiry' and to give learners a realistic insight on science, or more precisely on how science "works". For this purpose, Hodson's (2014) model about teaching 'Nature of Scientific Inquiry' has been chosen as a basic guideline (Hodson, 2014, p. 2534 ff.).

The teaching material can be used in both Austrian Sekundarstufe I (learners age 10 -14) and Austrian Sekundarstufe II (learners age 15-19). For Sekundarstufe I learners, parts of the project, like scientific literature and statistical evaluation, have been simplified.

The implementation of a computer simulation should be a motivating factor for students. Furthermore, the simulation allows students access to research methods, which would otherwise be hard to realize in school.

To evaluate the developed project and teaching materials and their impact on learners' views of 'Nature of Scientific Inquiry' excerpts of the VOSI questionnaire by Schwartz et al. (2008) have been used as a pre and post survey (VOSI = 'Views of Scientific Inquiry'). The project was realized in Sekundarstufe I.

The results suggested an increase of students' knowledge in some aspects of 'Nature of Scientific Inquiry' after the project. The learners showed a better understanding about the distinction between data and evidence, the variety of research methods in science and the difference between experiments and observations.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung und Widmung	7
Zusammenfassung.....	8
Abstract	9
Inhaltsverzeichnis.....	10
Einleitung.....	12
Theoretische Grundlagen	15
1 Nature of Scientific Inquiry	15
1.1 Marshall D. Herron: “The nature of scientific inquiry”	17
1.2 Jürgen Mayer: “Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen“	19
1.3 Rodger Bybee: „5E-Modell“	22
1.4 Osborne Jonathan: “Scientific Practices and Inquiry in the Science Classroom”	23
1.5 Derek Hodson: „Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods“	26
2 Fachliche Klärung.....	30
2.1 Schwermetalle, Schwermetallstandorte und Metallophyten	30
Praktischer Teil	42
3 Vorstellungen der Schüler*innen und didaktische Rekonstruktion.....	42
3.1 Vorstellungen der Schüler*innen zu Nature of Scientific Inquiry (NOSI)	42
3.2 Vorstellungen der Schüler*innen zu Schwermetallen.....	46
4 Visionaire – Eine Software zur Erstellung von Point-and-Click-Adventures	52
4.1 Computerunterstützte Lerneinheiten	52
5 Unterrichtsentwicklung	54
5.1 Lehrziele	54
5.2 Aufbau der Stunden / Projektplanung mit Materialien.....	56

5.3	Einstieg – Design und Planungsphase	56
5.4	Durchführungsphase	58
5.5	Reflexionsphase	70
5.6	Veröffentlichungsphase	80
6	Durchführung und Rückmeldungen	82
7	Ergebnisse.....	86
7.1	Entwicklung der Vorstellungen zu NOSI	86
8	Prozessorientierte Beschreibung der Ergebnisse des Unterrichtprojekts	96
8.1	Ergebnisse in Bezug auf die gesetzten Lehrziele	96
Conclusio		99
Literaturverzeichnis.....		104
Anhang.....		111
9	Abbildungsverzeichnis	111
10	Tabellenverzeichnis	113
11	Protokollheft.....	114
12	Literatur	125
13	Gestufte Hilfen zur Literatur.....	140
14	VOSI-Fragebogen	154
15	VOSI-Auswertung - Vorbefragung	158
16	VOSI-Auswertung – Nachbefragung.....	170
17	Studentafeln	182
18	Schüler*innenaussagen zu Schwermetallen	194

Einleitung

Für die Orientierung in einer naturwissenschaftlich geprägten Welt ist das Erreichen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung („Scientific Literacy“) und der damit verbundenen Kompetenzen von grundlegender Bedeutung (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2004, S. 3; Rönnebeck et al., 2013, S. 177).

Gerade in der aktuellen Pandemie-Situation zeigte sich, wie bedeutsam eine naturwissenschaftliche Grundbildung ist. So führte ein Unverständnis darüber, wie Forschung funktioniert, zu einem Vertrauensverlust mancher Personen in die Naturwissenschaften und auch zu einer Skepsis gegenüber medizinischer Grundlagenforschung. Dieses Unverständnis ist auf der Ebene von ‚Nature of Science‘ zu verorten. Es konnte während der Pandemie verfolgt werden, wie neue Gegebenheiten neue Forschungen notwendig machen und vorläufige Erkenntnisse generieren, die wiederum durch neue Daten und deren Interpretation hinterfragt wurden. Erkenntnisse wurden präsentiert sowie diskutiert und mussten von der wissenschaftlichen Community anerkannt werden, bevor sie als gesichert galten. Hier fällt es Personen mit einer unzureichenden naturwissenschaftlichen Grundbildung schwer, einen Unterschied zu erkennen zwischen dem stattgefundenem Forschungsprozess und einzelnen Beobachtungen im persönlichen Umfeld, die keine allgemeinen Schlüsse zulassen.

Zur der in den Schulen zu vermittelnden ‚Scientific Literacy‘ gehört unter anderem die Auseinandersetzung mit Methoden naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und ihren Grenzen. Kompetenzen in diesem Bereich werden sowohl in den Bildungsstandards der berufsbildenden höheren Schulen als auch im Kompetenzmodell der AHS-Oberstufe genannt. Auch im Lehrplan der Sekundarstufe I wird auf die Vermittlung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung verwiesen. (Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2009; Lehrpläne allgemeinbildende höhere Schulen, 2022).

In der fachdidaktischen Literatur in Bezug auf die Kompetenzen in den Naturwissenschaften finden sich beginnend mit den Arbeiten von John Dewey zu Beginn des 20. Jahrhunderts immer wieder Modelle, in denen die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung abgebildet ist. So definiert beispielsweise Hodson (2014) für den naturwissenschaftlichen Unterricht vier Grobziele (Learning Science, Learning about Science, Doing Science, Addressing Socio-scientific Issues), wobei vor allem das Ziel ‚Learning about

Science‘ auf explizite Aspekte von ‚Nature of Science‘ fokussiert. Um Schüler*innen nicht zu überfordern, sollte pro Unterrichtseinheit nur eines dieser Ziele im Mittelpunkt stehen (Hodson, 2014, S. 2535 ff.). Lange galt die Annahme, dass Schüler*innen naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen und somit ein angemessenes Naturwissenschaftsverständnis implizit erwerben können. Hodson (2014) widerspricht diesem Ansatz und hebt hervor, dass das Erlernen eines angemessenen Naturwissenschaftsverständnisses zu bedeutend ist, um es dem Zufall zu überlassen. Er befürwortet in diesem Sinn eine explizite Vorgehensweise. Die Lehrperson sollte hierbei die Schüler*innen durch einen Forschungsprozess begleiten und die charakteristischen Eigenschaften des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses (Scientific Inquiry) hervorheben. Des Weiteren soll das Ziel, nämlich ein besseres Verständnis des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses, klar kommuniziert werden (Hodson, 2014, S. 2534–2553). Auch in einer Untersuchung von Khishfe und Abd-El-Khalick (2002) wird zum Schluss gekommen, dass ein expliziter Zugang nötig ist, um das Verständnis für wissenschaftliche Arbeitsweisen zu vertiefen (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002, S. 551–578).

An diesem Punkt soll die vorliegende Arbeit ansetzen. Mithilfe einer Computersimulation (Point-and-Click) und einem begleitenden Protokollheft soll ein expliziter Zugang zu Scientific Inquiry geschaffen werden. Als fachliches Thema wurde das Gebiet ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ gewählt, da die Probenahme auf Schwermetallstandorten sowie eine Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop gut in der Computersimulation darstellbar waren.

Zu Beginn dieser Arbeit wurden Leitfragen zur Erstellung der Unterrichtseinheiten formuliert.

Die übergeordnete Leitfrage lautet:

*„Wie kann ein Computersimulation zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ für die Sekundarstufe I und die Sekundarstufe II gestaltet werden, um Schülern*innen einen realistischen Einblick in Forschungsprozesse im Zusammenhang mit dem Thema ‚Toxikologie von Schwermetallen in der Umwelt‘ zu geben?“*

Um diese Leitfrage zu beantworten, wurden folgende Teilfragen definiert:

- Welche Vorstellungen haben Schüler*innen zu Forschungsprozessen (Nature of Scientific Inquiry = NOSI)?
- Welche Vorstellungen haben Schüler*innen zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘?
- Welche Lehrziele betreffend den Forschungsprozess sollen mit der Computersimulation erreicht werden?
- Welche fachinhaltlichen Lehrziele sollen mit dem Lernspiel erreicht werden?
- Inwiefern ändern sich die Vorstellungen der Lernenden zu den oben genannten Bereichen durch das Durchspielen der Computersimulation?

Theoretische Grundlagen

In den folgenden Kapiteln werden die theoretischen Grundlagen des Projektes dargelegt. Hierzu wird zunächst der Begriff ‚Nature of Scientific Inquiry‘ genauer beschrieben und im Anschluss werden einige Konzepte zur Umsetzung von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ im Unterricht besprochen, wovon speziell die Darstellung und Aufarbeitung von Hodson (2014) für diese Arbeit herangezogen wurde. Außerdem wird eine fachliche Klärung zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ gegeben, um den Leser*innen einen Einblick in das zu vermittelnde Stoffgebiet zu ermöglichen.

1 Nature of Scientific Inquiry

Der Begriff ‚Nature of Scientific Inquiry‘ ist vom Begriff ‚Nature of Science‘ abzugrenzen. Nach Lederman et al. (2014) werden durch ‚Nature of Science‘ die Charakteristika der Naturwissenschaften in Abgrenzung zu anderen wissenschaftlichen Disziplinen beschrieben. Bei ‚Nature of Scientific Inquiry‘ (NOSI) wird hingegen der Prozess der naturwissenschaftlichen Arbeit thematisiert, wobei sich die Grenzen dieser Begriffe durchaus überlappen (Lederman et al., 2014, S. 66 ff.).

Folgende Aspekte von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ sind für den naturwissenschaftlichen Unterricht von Bedeutung (Schwartz et al., 2008, S. 4 ff.)

a) Scientific Questions Guide Investigations

Jede naturwissenschaftliche Untersuchung fängt mit einer Frage an. Oft wird die Hypothesenbildung als erster Schritt verstanden. Jedoch muss vor jeder Hypothese der nötige Informationsrahmen abgesteckt werden.

b) Multiple Methods of Scientific Investigations – Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode

Die eine richtige Methode existiert in den Naturwissenschaften nicht. Die Auswahl der Methode bezieht sich auf die gestellte Frage, wobei mehrere Methoden zur Beantwortung derselben Fragestellung herangezogen werden können.

c) Multiple Purposes of Scientific Investigations

Allgemein wird in den Naturwissenschaften versucht, Modelle für nicht klar beobachtbare Vorgänge zu schaffen. Die Fragestellungen können aus verschiedenen Quellen stammen und unterschiedlichen Zwecken dienen.

d) Justification of Scientific Knowledge

Eine naturwissenschaftliche Erklärung muss evidenzbasiert sein und logischen Argumenten folgen. Hierfür ist die Einhaltung wissenschaftlicher Prinzipien sowie die Verwendung von naturwissenschaftlichen Modellen und Theorien unerlässlich.

e) Recognition and Handling of Anomalous Data

Forschungen fußen auf vorhandenem Wissen, daher erwarten Forscher*innen normalerweise gewisse Ergebnisse. Das Erkennen von widersprüchlichen oder unerwarteten Ergebnissen ist Teil des naturwissenschaftlichen Arbeitens. Abweichende Ergebnisse führen zu weiteren Fragen und Untersuchungen und treiben so die Naturwissenschaft voran.

f) Distinctions between Data and Evidence

Daten und Belege dienen unterschiedlichen Zwecken und kommen auf unterschiedliche Weise zustande. So sind Daten Beobachtungen, die während einer Untersuchung gesammelt werden (Zahlenmaterial, Beschreibungen, Fotografien, Audioaufnahmen, Proben). Belege sind Produkte der Datenanalyse und Interpretation und stehen in direkter Verbindung mit der gestellten Forschungsfrage. Wie die Datenanalyse und Interpretation erfolgt, hängt von der Fragestellung und den derzeit anerkannten Durchführungsmethoden ab.

g) Community of Practice

Wissenschaftliche Forschung findet in einer Gemeinschaft statt, die innerhalb der gesamten naturwissenschaftlichen Community in mehrere Teile aufgespalten ist. In diesen Gemeinschaften werden Praktiken und Standards für die Entwicklung und Akzeptanz naturwissenschaftlicher Erkenntnisse etabliert. Kommunikation und Peer-Review beeinflussen, wie die Naturwissenschaft voranschreitet (Schwarz et al., 2008, S.4ff).

Folgende Punkte werden nach Ledermann et al. (2014) bezüglich des Verständnisses von NOSI nach der Auswertung vieler Studien weiter präzisiert:

- Alle naturwissenschaftlichen Untersuchungen beginnen mit einer Fragestellung, aber nicht alle Untersuchungen testen eine Hypothese.
- Das gleiche Forschungsverfahren bzw. die gleiche Methode muss nicht zu den gleichen Ergebnissen führen.
- Die Forschungsmethode beeinflusst die Ergebnisse.

Zu ‚Nature of Scientific Inquiry‘ und der Umsetzung von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ im naturwissenschaftlichen Unterricht wurden Modelle erstellt, von denen einige hier in Folge erläutert werden. Außerdem sollen im folgenden Abschnitt die vorgestellten Modelle in Bezug auf ihre Umsetzbarkeit für das vorliegende Projekt betrachtet werden. Die Auflistung der Modelle erfolgt in chronologischer Reihenfolge nach deren Erscheinungsdatum der jeweiligen Artikel.

1.1 Marshall D. Herron: “The nature of scientific inquiry”

Herron (1971) beschreibt das herkömmliche Fünf-Schritte-Inquiry-Modell als zu simpel und damit unzureichend, um einen wirklichen naturwissenschaftlichen Prozess für Schüler*innen gut abzubilden.

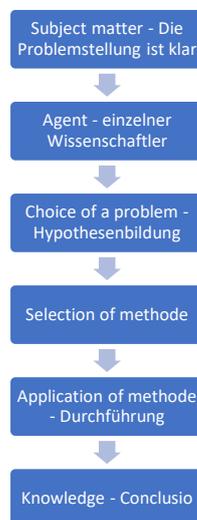


Abb. 1.: Übliches Fünf- bzw. Sechs-Schritte-Modell von SI, vgl. Herron 1971, S. 183

Andere Modelle von ‚Scientific Inquiry‘ erscheinen jedoch zu komplex für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein passendes Inquiry-Modell soll laut Herron spezifisch, aber auch flexibel genug gehalten werden, um die verschiedenen Forschungsmodi der unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen abzubilden. Hierzu lehnt er die Suche nach einer allgemeinen Struktur von ‚Scientific Inquiry‘ in der naturwissenschaftlichen Fachliteratur aufgrund ihres oftmals zu eng gesetztem Fokus ab. Als Alternative übernimmt

Herron (1971) einige vergleichende Ansätze naturwissenschaftlicher Philosophen (,Philosophers of Science') und erarbeitet so die Gemeinsamkeiten bzw. allgemeingültige Kriterien (,Commonplaces') der naturwissenschaftlichen Disziplinen für ,Scientific Inquiry'.

Wobei diese ,Commonplaces' nicht den reinen Ablauf eines Forschungsprozesses darstellen, sondern ineinander und miteinander verwobene Akteure, Eckpunkte und Abläufe sind, die naturwissenschaftliches Lernen stattfinden lassen. Herron (1971) trifft dabei folgende Einteilung:

1. ,Agent': (Welche Eigenschaften und Kompetenzen benötigt der Schüler oder die Schülerin, um das Problem mit einer gewissen Methode zu lösen?)
 - a. Fähigkeiten (kognitive)
 - b. Probleme mit Vorwissen (und Fehlvorstellungen), Befangenheit oder kulturellen Grenzen (,cultural limits')
 - c. Kommunikation, Konsens und Uneinigkeit (,Disagreement')
2. Methoden (kognitive und nicht kognitive Handlungen des ,Agents', anhand dessen Wissen abgeleitet werden kann)
 - a. Startpunkte (Prinzipien, Fakten, Konzepte, Selbsterklärendes, Probleme)
 - b. Beobachtungen und Beobachtbarkeit (,Sense and sensed')
 - c. Überprüfungen und Entdeckungen
 - d. Denkweisen (,Movement')
 - e. Experimentelle Interferenzen mit den Phänomenen
3. ,Scientific Data', Fakten und die Frage, was als Fakten zählt
 - a. Relevante und irrelevante Daten (Ausschlussprinzipien festlegen)
 - b. Wiederholbarkeit und Einzigartigkeit eines Phänomens
 - c. Stabilität, Variabilität, Zufall (des untersuchten Objekts)
 - d. Basisdaten und sekundäre Daten
4. Fachliches Wissen (,Scientific Knowledge')
 - a. Relation zum bereits Bekannten
 - b. Kohärenz und Differenzierung eines Phänomens
 - c. Vorhersehbarkeit und ihre Limits
 - d. Erkennen und Rechtfertigen von nicht beobachtbaren bzw. direkt erfahrbaren Komponenten
 - e. Form des Wissens und Form der Welt

5. Revisionsdynamik

a. Stabilität, Vollständigkeit und Überprüfung des Wissens und der inhaltlichen Strukturen

Wie bereits erwähnt, soll diese Auflistung dynamisch betrachtet werden. In Abbildung 1 wird das von Herron kritisierte übliche statische Modell gezeigt, das die naturwissenschaftliche Wirklichkeit nur unzureichend abbildet. Der Vorteil des ‚Commonplace-Modells‘ nach Herron (1971) liegt in seiner Anpassungsfähigkeit auf alle naturwissenschaftlichen Disziplinen und Problemstellungen.

Für diese Arbeit ist Herrons Kritik an den statischen Systemen oder Modellen des naturwissenschaftlichen Unterrichts von Bedeutung. Die Schüler*innen sollen im Rahmen dieses Projektes einen realistischen Einblick in die naturwissenschaftliche Forschung erhalten. Hier ist es bedeutend, die vielfältigen Vorgehensweisen der unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen zu betonen und auch einige Unterschiede, aber ebenso Gemeinsamkeiten zu verdeutlichen. Im Unterricht sollten die von Herron herausgearbeiteten Gemeinsamkeiten aufgegriffen und anhand einiger Beispiele verdeutlicht werden.

1.2 Jürgen Mayer: „Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen“

Mayer (2007) baut sein Modell zu ‚Nature of Scientific Inquiry‘ auf Resultaten aus der Problemlöseforschung auf. Als Rahmenkonzept definiert er drei Dimensionen:

- Praktisches Arbeiten
- Wissenschaftliche Erkenntnismethoden
- Charakteristika der Naturwissenschaften

Diese Dimensionen setzt er unter Berücksichtigung dreier kognitionspsychologischer Konstrukte systematisch in Verbindung. Als Kompetenzkonstrukte beschreibt er manuelle Fertigkeiten, naturwissenschaftliches Denken sowie Wissenschaftsverständnis.



Abb. 2: Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (Mayer, 2007, S. 178)

Im Sinne der Problemlöseforschung definiert er den naturwissenschaftlichen Prozess der Erkenntnisgewinnung als einen „relativ komplexen, kognitiven, wissensbasierten Problemlöseprozess“, der durch „spezifische Prozeduren“ charakterisiert ist. Dieser Problemlöseprozess findet sich in den oben genannten Rahmenkonstrukten unter dem Begriff „wissenschaftliches Denken“ (Abbildung 2). Mayer (2007) erläutert, dass die Qualität der Problemlösung sowohl von Prozessvariablen als auch von Personen- und Situationsvariablen abhängig ist.

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, versteht Mayer (2007) unter Prozessvariablen das Formulieren naturwissenschaftlicher Fragestellungen, das Generieren von Hypothesen, das Planen der Untersuchung sowie die Datenanalyse und Schlussfolgerungen. Die Personenvariablen werden zum einen als die kognitiven Fähigkeiten der Schüler*innen und zum anderen als deren Methodenverständnis und konzeptuelles Vorwissen definiert. Hier sieht Mayer eine Diskrepanz zwischen der Beobachtung und Erklärung und der Verknüpfung mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen. Die Lernenden stellen hier eher eine Verbindung zu Alltagsvorstellungen her (Ziemek et al. 2005, zitiert nach Mayer, 2007, S. 182). Außerdem fällt es Schüler*innen schwer, in konkreten Problemlösesituationen auf problemrelevantes Wissen zurückzugreifen. Ein gutes Methodenverständnis wirkt sich laut Mayer (2007) positiv auf die Problemlösekompetenz der Lernenden aus.

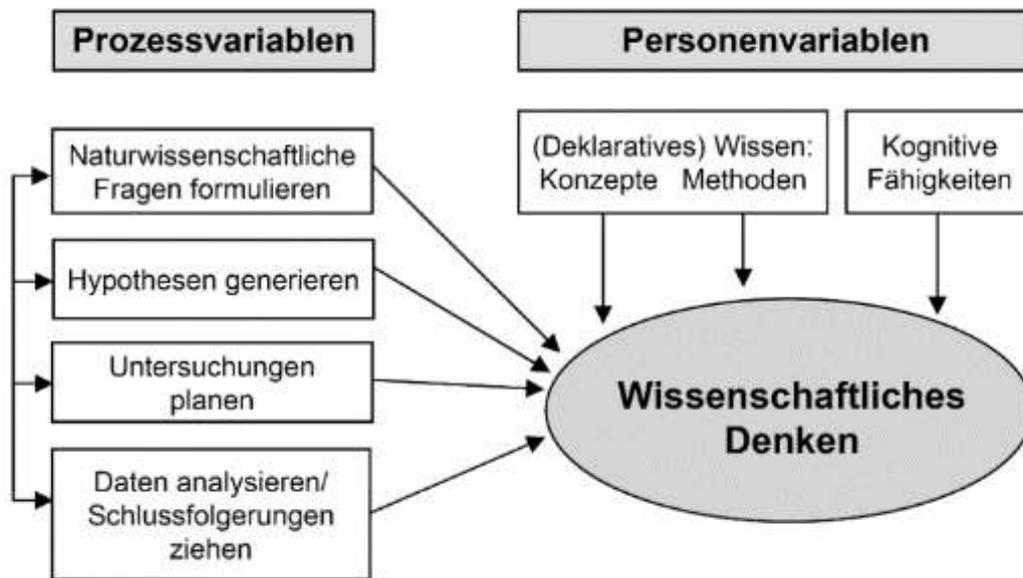


Abb. 3: Mayer Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken (Mayer, 2015, S. 181)

Unter Situationsmerkmalen werden die Art der Problempräsentation sowie der soziale Kontext der Wissensgemeinschaft und die Offenheit der Problemlösesituation verstanden. Hier zeigen sich vor allem in Experimentiersituationen mit zunehmender Offenheit der Aufgabenstellung auch zunehmende Probleme beim Problemlösen seitens der Schüler*innen.

Für die vorliegende Arbeit ist besonders Mayers (2007) Input zur Problempräsentation relevant. Er erwähnt unter anderem, dass die Darstellung und Bearbeitung einer Aufgabe oder einer Problemstellung mittels Computer einen Einfluss auf das Problemlöseverhalten der Schüler*innen hat, da unzureichende EDV-Kenntnisse die Lernenden an einer Problemlösung hindern könnten. Da sowohl die Simulation als auch die Datenanalyse des Projektes computerabhängig ist, muss im Vorfeld erhoben werden, inwieweit die Lernenden mit Computer und den Verarbeitungsprogrammen (z.B.: Excel) umgehen können.

1.3 Rodger Bybee: „5E-Modell“

Das 5E-Modell ist ein konstruktivistisch orientiertes Unterrichtsmodell für Forschendes Lernen, das darauf ausgerichtet ist, dass Schüler*Innen aus ihren Erfahrungen ein eigenes Verstehen und neue Ideen generieren. Bybee (2009) beschreibt das 5E-Modell als eine Ordnungs- bzw. Rahmungshilfe für Unterrichtseinheiten und Unterrichtssequenzen. Jede der fünf Phasen erfüllt hierbei eine spezifische Funktion und trägt zu einem besseren Verständnis der Schüler*innen in Bezug auf naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung bei. Das 5E-Modell besteht aus folgenden Phasen: ‚Engage‘, ‚Explore‘, ‚Explain‘, ‚Elaborate‘ bzw. ‚Extend‘ und ‚Evaluate‘(Abbildung 4).

In der ‚Engage‘-Phase wird das Interesse der Schüler*innen an einer Problemstellung geweckt und eine fragende Haltung erzeugt. Die Lehrperson soll in dieser Phase auch das Vorwissen der Schüler*innen erfassen und eine Verbindung zwischen bereits gelernten und aktuellen Inhalten schaffen (Bybee, 2009, S. 5). Es sollen hierbei Fragen, Vermutungen und Beobachtungen diskutiert und Ziele definiert werden. Um in die nächste Phase übergehen zu können, muss in der ‚Engage‘-Phase mindestens eine konkrete Frage formuliert werden.

In der ‚Explore‘-Phase steht die praktische Durchführung im Fokus. Die Lernenden können in dieser Phase ihr Wissen und ihre Fähigkeiten testen und neue Vorgehensweisen in Bezug auf naturwissenschaftlich Arbeitsweisen kennenlernen. Es sollen Erkenntnisse zur Beantwortung der in der ‚Engage‘-Phase gestellten Frage gewonnen werden. Die Vorgehensweise kann hier je nach Problemstellung bzw. Fragestellung variieren. So können Experimente und Beobachtungen aber auch Literaturrecherchen oder andere Forschungsmethoden zur Beantwortung der Fragestellung führen.

Die ‚Explain‘-Phase dient zur Reflexion und Erklärung der durchgeführten Schritte der ‚Explore‘-Phase. Die Schüler*innen sollen in dieser Phase, Vermutungen und Fragen aus der ‚Engage‘-Phase auf Basis ihrer Erkenntnisse beantworten. Bybee (2009) beschreibt diese Phase als eine Gelegenheit, neuen Input seitens der Lehrperson einzuführen, um den Schüler*innen ein tieferes Verstehen der Materie zu ermöglichen.

In der ‚Extend‘- oder ‚Elaborat‘-Phase werden Verknüpfungen zu neuen Fragestellungen hergestellt und gewonnene Kenntnisse vertieft und offene Fragen aus den vorangegangenen Phasen bearbeitet.



Abb. 4: 5E-Modell (Hofer et al., 2016, S. 4)

Über die vier bereits besprochenen Phasen wird die ‚Evaluate‘-Phase gespannt. Neben einem Feedback über die entwickelten Fertigkeiten seitens der Lehrperson ist auch die Selbsteinschätzung der Schüler*innen ein bedeutsamer Punkt (Bybee, 2009, S. 8).

Das 5E-Modell eignet sich gut als übergeordnete Strukturierungshilfe für die geplanten Unterrichtseinheiten. So muss zunächst das Vorwissen der Schüler*innen über Schwermetalle erhoben werden, um einen adäquaten Einstieg in das Thema zu finden. Außerdem wird mithilfe eines stummen Impulses das Interesse der Lernenden geweckt. Hier sollen sie im Sinne der ‚Engage‘-Phase unter Bezugnahme auf ihre Beobachtungen und Vermutungen zu einer Forschungsfrage geführt werden.

1.4 Osborne Jonathan: “Scientific Practices and Inquiry in the Science Classroom”

Osborne (2014) schreibt, dass Schüler*innen neben dem Faktenwissen auch Wissen über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen erlernen müssen, um sich kritisch eine eigene Meinung zu naturwissenschaftlichen Aktivitäten und Erkenntnissen sowie Veröffentlichungen bilden zu können. Er beschreibt auch einen wichtigen Unterschied zwischen Naturwissenschaft und naturwissenschaftlichem Unterricht (Science Education). In der Naturwissenschaft wird neues Wissen über unsere Welt generiert. Dabei müssen die Fragen „Woher wissen wir das?“ und „Wie können wir uns sicher sein?“ beantwortet werden.

Osborne (2014) unterscheidet für den naturwissenschaftlichen Unterricht nach Ryle (1949) zwischen „knowing how“, „knowing that“ und „knowing why“. Hier geht es um den Unterschied zwischen dem Erlernen von Prozessen der Naturwissenschaft („knowing how“) und den zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Regeln („knowing that“). Es wird beschrieben, dass diese naturwissenschaftlichen Grundregeln wie zum Beispiel Fehlerminimierung und Standards explizit unterrichtet werden müssen. Unter „knowing why“ versteht Osborne epistemisches Wissen, also das Wissen darüber, warum bestimmte Arbeitsweisen, Modelle und Werte in der Naturwissenschaft verwendet und gerechtfertigt werden.

Osborne (2014) kritisiert vor allem die Anwendung von „hands-on“-Versuchen als Bestätigung bereits bekannter Fakten. Mit dieser Vorgehensweise können Schüler*innen keinen tieferen Einblick in Forschungsprozesse erlangen („knowing that“ und „knowing why“).

Er beschreibt außerdem das Vorgehen zur Beantwortung einer Forschungsfrage, einerseits auf Basis des ‚National Research Councils‘ (2000) und andererseits auf Basis des ‚Framework for K-12 Science Education‘.

Osborne (2014) bezieht sich weiters auf PISA* (2015), eine internationale Vergleichsstudie, in der das wissenschaftliche Interpretieren von Daten als eine der drei Kernkompetenzen von ‚Scientific Literacy‘ genannt wird. Diese Kernkompetenz kann nur erreicht werden, wenn die Schüler*innen entweder ihre eigenen Daten erheben und interpretieren oder bereits vorhandene Werte verwenden, um diese zu analysieren und im Anschluss die beste Interpretation zu finden.

Ebenfalls wird mathematisches und rechnerisches Verständnis als Grundlage für naturwissenschaftliches Verständnis erläutert. Schüler*innen sollen in der Lage sein, mithilfe von Daten und Zahlenmaterial Modelle und Erkenntnisse zu kommunizieren. Osborne schreibt hier, dass dieser Punkt im Unterricht oft übergangen wird, obwohl Mathematik als Grundlage aller Naturwissenschaften eine wesentliche Basis des Unterrichts und auch des Verständnisses der Lernenden ist.

*PISA = Programme for International Student Assessment (Programm zur internationalen Schülerbewertung)

Ein weiterer bedeutsamer Punkt des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die wissenschaftliche Kommunikation. Osborne beschreibt hier die fünf Teilbereiche der wissenschaftlichen Kommunikation: ‚Reading Science‘, ‚Writing Science‘, ‚Talking Science‘, ‚Representing Science‘ und ‚Doing Science‘. Hierbei wird speziell erwähnt, dass ‚Doing Science‘ nur ein Fünftel der Aktivitäten ausmacht.

Osborne (2014) kritisiert das Fehlen von Literaturarbeit in naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern. Lehrpersonen ist die zentrale Rolle von Fachliteratur im naturwissenschaftlichen Unterricht oft nicht bewusst. Das Bearbeiten von Fachliteratur soll eine Erweiterung des naturwissenschaftlichen Unterrichts sein (Person et al., 2010, zitiert nach Osborne, 2014). Es ist wichtig, dass Schüler*innen an das (oft fachspezifische) Vokabular herangeführt werden und die naturwissenschaftliche Sprache („Academic Language“) kennenlernen. Den Lernenden fällt es oft schwer, naturwissenschaftliche Texte zu interpretieren bzw. kritisch zu lesen (Schleppergrell, 2004, zitiert nach Osborne, 2014).

Für die vorliegende Arbeit wird besonders Osbornes Kritik an der fehlenden Implementierung von Fachliteratur im naturwissenschaftlichen Unterricht aufgenommen. Gerade in der aktuellen pandemiegeprägten Situation mit einer Flut an naturwissenschaftlicher und weniger naturwissenschaftlicher Literatur ist es für die Lernenden relevant, den Umgang mit Fachliteratur zu üben. Sie sollen lernen, Texte zielgerichtet zu lesen und Kernaussagen zu erkennen. Außerdem sollen sie verlässliche Quellen und Merkmale naturwissenschaftlicher Texte erkennen. Hierfür werden den Schüler*innen ‚echte‘ Fachliteratur sowie Lesehilfen ausgegeben. Für die Sekundarstufe I wurden die Texte gekürzt und etwas vereinfacht, um die Lernenden nicht zu überfordern.

1.5 Derek Hodson: „Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods“

Hodson (2014) beschreibt in seinem Artikel „Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods“ vier unterschiedliche Kategorien beziehungsweise Zielsetzungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Hodson (2014) betont die Relevanz eines expliziten Unterrichtens naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse, wohingegen die inhaltliche Komponente auch implizit unterrichtet werden kann. Beim Unterrichten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnungsprozesse ist, je nach Schwierigkeitsgrad der Problemlage oder des konzeptuellen Prozessverständnisses unter Bezugnahme der gesetzten Lehrziel und der Unterrichtsplanung, Begleitung und Anleitung durch die Lehrperson notwendig.

Bei Hodson(2014) werden vier ‚Inquiry‘-Levels von Banchi und Bell (2008) genannt:

- ‚Confirmation Inquiry‘: Schüler*innen sollen anhand einer vorgegebenen Fragestellung und vorgegebener Methode bereits gelerntes Wissen bestätigen oder das Sammeln von Daten und das richtige Protokollieren üben.
- ‚Structured Inquiry‘: Die Fragestellung und Methode werden durch die Lehrperson vorgegeben. Die Schüler*innen versuchen, selbstständig mit den vorgegebenen Mitteln und gesammelten Daten die Fragestellung zu beantworten.
- ‚Guided Inquiry‘: Die Fragestellung ist durch den Lehrer vorgegeben. Die Schüler*innen entwickeln eine eigene Methode zur Datengewinnung und versuchen, die vorgegebenen Fragen zu beantworten.
- ‚Open Inquiry‘: Fragestellung, Methode, Protokollierung und Auswertung sowie Kommunikation der gewonnenen Daten werden durch die Schüler*innen entwickelt.

(Banchi & Bell, 2008, S. 26 ff)

Allerdings beinhaltet nur das vierte Level (‚Open Inquiry‘) alle von Hodson (2014) aufgelisteten Kriterien des ‚Doing Science‘-Aspekts.

In Hodsons (2014) Modell zu ‚Scientific Inquiry‘ soll die Stundenplanung auf einzelne bzw. wenige Ziele fokussiert werden, um Schüler*innen nicht zu überfordern und gezielt unterstützen zu können. Bezugnehmend auf die Lehr-/Lernziele unterscheidet Hodson (2014) vier Grobziele:

„Learning Science“: das Aneignen und Entwickeln von konzeptuellem und theoretischem Wissen

„Learning about Science“: Die Schüler*innen entwickeln ein Verständnis für die Charakteristika von Naturwissenschaften, die Rolle und den Status des generierten Wissens sowie die sozialen und intellektuellen Umstände der Entstehung von bedeutenden naturwissenschaftlichen Theorien. Außerdem sollen die Schüler*innen einen Einblick in die naturwissenschaftliche Praxis erhalten und deren Arbeitsmethoden (Etablierung und Kontrolle von ‚good/best Practise‘) kennenlernen sowie die Zusammenhänge zwischen Naturwissenschaft, Technologie, Gesellschaft und Umwelt erkennen.

„Doing Science“: Die Schüler*innen sammeln Erfahrungen mit naturwissenschaftlichen Problemlösungsprozessen und im naturwissenschaftlichen Arbeiten.

„Adressing socio-scientific Issues“ (SSIs): Die Schüler*innen erlangen Kompetenzen im Umgang mit persönlichen, sozialen, ökonomischen und moralisch-ethischen Aspekten von naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesse.

Da der Aspekt meiner Arbeit vor allem den Teilbereich ‚Learning about Science‘ betrifft, möchte ich diesen Punkt hier genauer ausführen. Hodson (2014) fasst unter diesem Punkt Nature of Science (NOS)- und Nature of Scientific Inquiry-Aspekte (NOSI) zusammen, gibt aber dann in den Umsetzungsmöglichkeiten insbesondere Vorschläge für die Auseinandersetzung mit NOSI. Eine Möglichkeit, die Tätigkeiten von Naturwissenschaftler*innen zu erfassen und bedeutsame Punkte herauszuarbeiten, ist laut Hodson (2014) ein „anthropologischer“ Zugang. Schüler*innen sowie Lehrer*innen könnten das Umfeld, die Arbeitsweisen und Fachsprache von Naturwissenschaftler*innen wie Anthropolog*innen untersuchen und so über naturwissenschaftliches Arbeiten lernen. Allerdings würde dies eine Vielzahl an Methoden und viel Zeit in Anspruch nehmen. Hodson (2014) stellt klar, dass die Komplexität des naturwissenschaftlichen Arbeitens bzw. der Naturwissenschaften zu groß ist, um Schüler*innen dieses Gebiet alleine durch den ‚Doing Science‘-Ansatz näher zu bringen. Um die tägliche Arbeit von Naturwissenschaftler*innen für Schüler*innen zugänglich zu machen, sollen folgende vier Teilaspekte explizit im Unterricht thematisiert werden:

- 1) Design- und Planungsphase (‚Design and Planning Phase‘): Hier sollen Forschungsfragen und Hypothesen formuliert werden bzw. Ziele abgesteckt und Methoden (zur Datensammlung und Analyse) ausgewählt werden.

- 2) Durchführungsphase („Performance Phase“): aktive Datensammlungs-/Analysephase
- 3) Reflexionsphase („Reflection Phase“): Die gesammelten Daten sollen nun bewertet und interpretiert werden und unter Einbeziehung der Theorie sowie bereits vorhandenen Forschungen sollen Schüsse gezogen und begründet werden.
- 4) Veröffentlichungsphase („Recording and Reporting Phase“): Hier sollen der Arbeitsablauf, die gesammelten Daten sowie die Interpretation und die Conclusio festgehalten und aufgezeichnet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Aufzeichnungen überprüfbar gestaltet werden und gewissen Standards entsprechen.

Je nach geplanter Unterrichtseinheit und den dazugehörigen Lehrzielen kann unter Punkt 1 ‚Design und Planungsphase‘ auf die Eigenheiten der verschiedenen naturwissenschaftlichen Subdisziplinen eingegangen werden. Einzelne Beispiele können vorgestellt und fachspezifische Eigenheiten besprochen und verglichen werden. Diese fachspezifischen Unterschiede in der Arbeitsweise verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen erfordern ein aktives Erleben und Kennenlernen eben dieser Arbeit, um den Schüler*innen das Zustandekommen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse nachvollziehbar zu machen.

In der Durchführungsphase wird der Fokus auf die Datengewinnung und Datengewinnungstechniken gesetzt. Hier sollen Schüler*innen auf die technischen Möglichkeiten aufmerksam gemacht werden, die das Generieren und Auswerten des Datenmaterials in den letzten Jahren deutlich vereinfacht haben.

In der Reflexionsphase soll den Schüler*innen die epistemische Natur der Naturwissenschaft aufgezeigt werden. Ein Schlüsselpunkt für Schüler*innen ist die Erkenntnis, dass jede Forschung in einer theoretischen, prozeduralen sowie einer Instrumental-Matrix verankert ist. Schüler*innen lernen hier, was als gutes Forschungsdesign anzusehen ist, welche Daten als verlässlich angesehen werden können und welche Messinstrumente ausgewählt werden können. In Summe betrifft dieser Punkt vor allem die Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich Validität und Reliabilität.

In der Veröffentlichungsphase sollen die Schüler*innen unter anderem den Aufbau eines wissenschaftlichen Artikels und dessen Inhalt kennen lernen. Hodson (2014) betont hier, dass die Lernenden ein Verständnis dafür aufbauen müssen, dass ein wissenschaftlicher Artikel nicht die Verschriftlichung eines Denkprozesses von Wissenschaftler*innen und schon gar keine Abbildung der täglichen wissenschaftlichen Arbeit ist. Lernende sollen nach Hodson

(2014, S. 2544 übersetzt durch die Autorin) folgende Punkte eines naturwissenschaftlichen Artikels kennenlernen:

Naturwissenschaftliche Publikationen:

- stellen eine Rekonstruktion des generierten Wissens (zur Überzeugung anderer) dar,
- sollen die Relevanz der eigenen Forschung untermauern und die Ergebnisse unter Berücksichtigung aktuellen Wissens darstellen,
- sollen die Forschungsmethode so darstellen, dass sie repliziert werden kann, bzw. die Methode überprüft werden kann,
- sollen die Daten und Ergebnisse der Forschung darstellen,
- sollen eine Interpretation der Daten darstellen,
- sollen in einer Schlussfolgerung münden, die gegebenenfalls auch mögliche aufkommende Bedenken antizipiert und thematisiert,
- sollen mögliche Bedenken gegenüber der Forschungsmethode erkennen und thematisieren,
- sollen kurz und präzise formuliert werden.

Der sichere Umgang mit Fachsprache und naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen ist nach Hodson (2014) ein wesentlicher Punkt des ‚Scientific Inquiry‘. Von weiterer Relevanz ist der richtige Umgang mit Versuchen bzw. eine realistische Erwartungshaltung an diese. Schüler*innen sollen das Verhältnis zwischen Theorie und Experimenten als voneinander abhängig, interaktiv und reflexiv erkennen. Experimente tragen zur Theoriebildung bei. Die Theorie bestimmt wiederum die Art des Experiments sowie die Interpretation der gewonnenen Daten (Hodson 2014 S. 2545).

Da in der in dieser Arbeit entwickelten Lerngelegenheit sowohl die Fragestellung als auch die Untersuchungsmethode (Schwermetallanalyse) durch die erstellte Computersimulation vorgegeben ist, kann sie unter ‚Structured Inquiry‘ eingeordnet werden.

Die von Hodson (2014) vorgeschlagenen vier Gliederungsschritte eignen sich gut als Rahmung der entwickelnden Lerngelegenheit. In der Computersimulation sollen Probennahme, die Probenanalyse und Datensammlung simuliert werden und in weiterer Folge von den Schüler*Innen ausgewertet und mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen werden. Da

Hodsons (2014) Modell bereits im Vorfeld gut umsetzbar und praktikabel erschien, wurde es zur Entwicklung der Unterrichtssequenz herangezogen.

Im folgenden Kapitel werden die fachwissenschaftlichen Grundlagen für die Unterrichtsentwicklung dargelegt.

2 Fachliche Klärung

2.1 Schwermetalle, Schwermetallstandorte und Metallophyten

Als fachliches Thema für die Unterrichtseinheit wurden ‚Schwermetalle‘ und deren Aufnahme durch Pflanzen gewählt. Dieses Thema greift den anthropogenen Einfluss auf die Umwelt auf und ist daher für Jugendliche aktuell interessant. Im Lehrplan der allgemein höherbildenden Schulen findet sich dieses Thema unter dem Punkt „Grundlegende Kenntnisse über Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe.“ und betrifft außerdem den unter den allgemeinen Bildungszielen gelisteten Bildungsbereich „Natur und Technik“:

- *„Der Unterricht hat daher grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln. Die Studierenden sind zu befähigen, sich mit Wertvorstellungen und ethischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen.“* (RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 09.05.2022 (bka.gv.at))

Ich hatte die Möglichkeit, im Rahmen einer Lehrveranstaltung verschiedene Schwermetallstandorte zu besuchen und authentische Daten über Boden- und Pflanzenmaterial zu sammeln. Diese Daten werden auch in den Unterricht integriert, um den Schüler*innen einen möglichst realistischen Einblick in das Thema zu bieten.

Eine steigende Belastung durch anthropogen eingebrachte Schwermetalle in die Umwelt durch Landwirtschaft, Industrie oder Bergbau wird zu einem zunehmenden Problem für Fauna und Flora. Aber auch auf natürlichem Weg können Schwermetallstandorte entstehen. Dies geschieht meistens durch die Verwitterung erzhaltiger Gesteine nahe der Bodenoberfläche (Frey & Lösch, 2010, S. 393 ff.). Auf stark schwermetallhaltigen Standorten ist eine ökologische Nischenbildung einiger Pflanzen zu beobachten. Metallophyten haben an solchen Hotspots die Möglichkeit, unter nur geringem Konkurrenzdruck, zu wachsen.

Allgemein werden unter ‚Schwermetallen‘ Metalle mit einer Dichte über 5 g/cm³ verstanden. Diese Definition trifft auf 53 natürlich vorkommende Elemente zu, wobei nur 17 Schwermetalle auf Grund ihrer Löslichkeit unter natürlichen Bedingungen als Ionen für Organismen bioverfügbar sind. Als bedeutsame Mikronährstoffe zählen hierzu Eisen (Fe), Molybdän (Mo) und Mangan (Mn). Als Spurenelemente werden Zink (Zn), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Wolfram (W) sowie Chrom (Cr) gelistet. Diese Elemente sind je nach Organismus in höheren Konzentrationen toxisch. Zu den toxischen Schwermetallen ohne bekannte Funktionen in Organismen zählen Arsen (As), Quecksilber (Hg), Silber (Ag), Antimon (Sb) sowie Cadmium (Cd), Blei (Pb) und Uran (U) (Schützendübel & Polle, 2002, S. 1351 ff.). Die Toxizität der genannten Schwermetalle wird nicht nur über die Konzentration, sondern maßgeblich über deren Bioverfügbarkeit bestimmt. Beeinflusst wird die Bioverfügbarkeit durch Faktoren wie pH-Wert, Wassergehalt, Oxidationsstufe und Zusammensetzung des Bodens (Tone, Eisenoxide, Mineralien etc.) (Mühlhofer, 2001, S. 3 ff.).

Als weiterer relevanter Punkt ist der Austausch von Metallen in Enzymen zu nennen. So können Co²⁺, Ni²⁺ oder Zn²⁺ das Zentralion Magnesium (Mg²⁺) in der Ribulose-1,5-Bisphosphate-Carboxylase/Oxygenase, ein Enzym, welches bei der Fotosynthese für die Kohlenstoffdioxid-Fixierung verantwortlich ist, ersetzen und somit zu einem Funktionsverlust führen. Neben dieser Störung von Enzymeigenschaften kann es auch zu Schäden durch reaktive Sauerstoffspezies kommen, die durch Autooxidation gebildet werden (Schützendübel & Polle, 2002, S. 1351 ff.)

Wie Viehweger (2014) schreibt, besitzen alle Pflanzen eine gewisse Schwermetalltoleranz. Diese Schwermetalltoleranz basiert auf einem komplexen System aus Aufnahme und Abgabe, Transport und Sequestrierung sowie die Bildung von Chelatkomplexen. Allerdings führt die vermehrte Aufnahme von Schwermetallen in den meisten Pflanzen zu Zwergwachstum, zu Blattschäden durch Veränderung der Chlorophyllzusammensetzung und zur Veränderung der Wurzelstruktur (Viehweger, 2014, S. 1ff.).

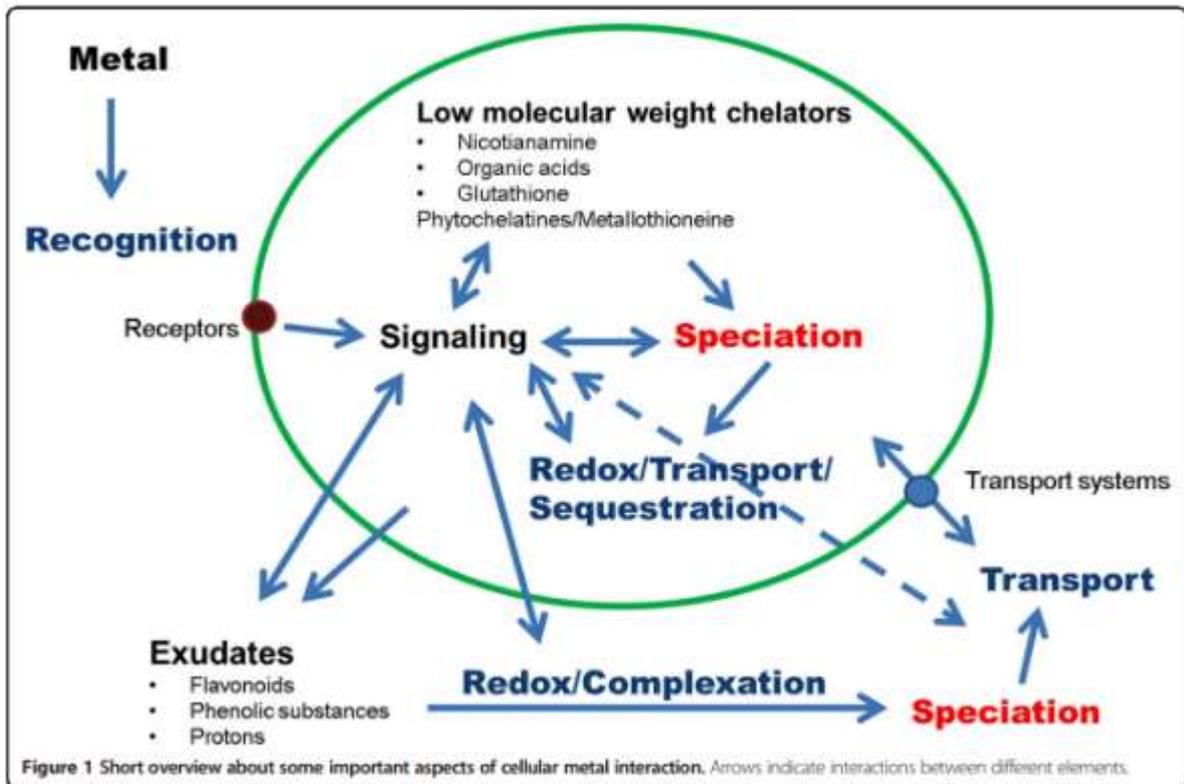


Abb. 5: Zelluläre Schwermetallinteraktion Viehweger 2014 S. 2

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der möglichen zellulären Aktivitäten einer Pflanze, die Schwermetallen ausgesetzt ist. Dringen Schwermetalle in das Zytoplasma ein, werden sie schnellstmöglich durch Liganden gebunden. Diese Liganden sind meist niedermolekular wie etwa Nikotinamid, organische Säuren oder Glutathion (Viehweger, 2014, S. 1 ff.).

2.1.1 Metallophyten

Wie bereits eingangs erwähnt, haben einige Pflanzen spezielle Strategien zum Überleben auf Schwermetallstandorten entwickelt. Diese Pflanzen werden ‚Metallophyten‘ genannt und können nach Baker (1981, 1987) in drei Gruppen eingeteilt werden (Baker, 1981, S. 643 ff.; Baker, 1987, S. 93 ff.):

Akkumulatoren: Als ‚Schwermetallakkumulatoren‘ werden Pflanzen bezeichnet, die in den oberirdischen Pflanzenteilen eine höhere Konzentration an Schwermetallen aufweisen als im Erdreich. Akkumulatoren können Schwermetalle in einer für den Stoffwechsel unzugänglichen Form speichern, zum Beispiel in Pflanzenkompartimenten wie Drusen (Frey & Lösch, 2010, S. 393 ff.). Als Beispiel eines Schwermetallakkumulators wird in diesem Projekt *Thlaspi goesingense* (Gösing-Täschelkraut) analysiert. Bei *Thlaspi goesingense* handelt es sich um einen Nickel-Hyperakkumulator.



Abb. 6: *T. goesingense*, Foto von Susanne Schmid

Ein Hyperakkumulator ist ein Sonderfall eines Schwermetallakkumulators, da diese Pflanzen besonders große Mengen an Schwermetallen aufnehmen und speichern können. Nach Frey und Lösch (2010) sind Hyperakkumulatoren Pflanzen, die über 0,1 % ihrer Trockenmasse an Blei, Nickel und Kobalt aufnehmen können. Für Zink liegt die Grenze bei 1 % Trockenmasse. Besondere Bedeutung kommt diesen Pflanzen bei der Aufarbeitung schwermetallbelasteter Böden und Phytomining zu (Chandra et al., 2018, S. 18 ff.). Pollard et al. (2014) erläutern, dass ein Großteil der bekannten Hyperakkumulatoren, wie auch *Thlaspi goesingense*, Nickel-Hyperakkumulatoren sind. Viele dieser bekannten Hyperakkumulatoren können nur auf Schwermetallstandorten gedeihen und werden als ‚obligate Hyperakkumulatoren‘ bezeichnet. Im Gegensatz dazu können fakultative Hyperakkumulatoren auch auf schwermetallarmen Böden wachsen (Pollard et al., 2014, S. 8 ff.).



Abb. 7.: *Silene nutans*

Exkluder: Als ‚Exkluder‘ werden jene Pflanzen bezeichnet, die die Aufnahme von Schwermetallen in die oberirdischen Blatteile auch bei hoher Konzentration im Boden begrenzen. Durch diese Strategie können die oberirdischen Pflanzenteile wie etwa das Blattgewebe, aber auch der Metabolismus und die Fotosyntheseaktivität vor Schäden durch Schwermetalle geschützt werden (Chandra et al., 2018, S. 18 ff.). Als Beispiel für einen Schwermetallexkluder wird für dieses Unterrichtsprojekt *Silene nutans* (Nickendes Leimkraut)

herangezogen. Bei *Silene nutans* (Nickendes Leimkraut) handelt es sich um einen Kupfer-Exkluder.

Indikator: Als ‚Schwermetallindikatoren‘ werden jene Pflanzen bezeichnet, deren Schwermetallgehalt der oberirdischen Pflanzenteile etwa der Konzentration im Boden entspricht (Chandra et al., 2018, S. 18 ff.).

Frey und Lösch (2010) erwähnen weiter, dass Schwermetallresistenzen immer pflanzen- und elementspezifisch sind. Eine generelle Schwermetallresistenz existiert nicht, wobei Pflanzen eher auf die Aufnahme eines bestimmten oder weniger bestimmten Schwermetalls angepasst sind. Im folgenden Abschnitt werden die für das Unterrichtsprojekt gewählten Metallophyten vorgestellt.

***Silene nutans* – das nickende Leimkraut**

Silene nutans zählt zur Familie der Caryophyllaceae (Nelkengewächse) unter der Gattung der Leimkräuter (*Silene*). Ihren Namen hat die Pflanze von ihren auf die Seite geneigten (nickenden) Blüten, die – wie in Abbildung 8 und 9 zu sehen ist – fünfzählig und radiärsymmetrisch sind. Die weißen Kronblätter sind zweigespalten und werden von einer grünen Kelchröhre umgeben.



Abb. 9: *Silene nutans* – Blüte seitlich



Abb. 8: *Silene nutans* Blüte

Griffel und Stamina ragen über die Blütenkrone hinaus. Der Stängel ist im oberen Bereich klebrig behaart und sowohl Rosetten als auch Stängelblätter weisen eine Behaarung auf. Die Pflanze erreicht eine Wuchshöhe zwischen 25 cm und 60 cm. Sowohl lichtmikroskopische Untersuchungen als auch Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop zeigten vereinzelte Bildung von Kristalldrüsen in den Blättern.

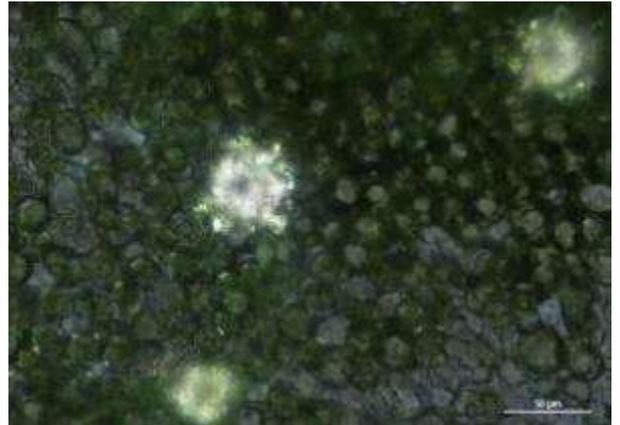


Abb. 10: Kristalldruse im Blatt von *S. nutans*

Bislang wurde *S. nutans* in Bezug auf Schwermetalluntersuchungen nur wenig beachtet, allerdings finden sich in der Literatur einige Untersuchungen zu anderen Vertretern der Gattung *Silene*. So ordneten Colzi et al. (2014) *Silene paradoxa* L. aufgrund des Schwermetallgehaltverhältnissen von Wurzel zu Sprossachse der Gruppe der Exkluder zu (Colzi et al., 2014, S. 10960 ff.). Auch *Silene vulgaris*, als eine typische Pionierpflanze, gehört zur Gruppe der Exkluder (Ernst, 1974, S. 230 ff.). Die Analyseergebnisse des Projektpraktikums ‚Schwermetalle‘ unter der Leitung von Irene Lichtscheidl zeigen, dass auch *S. nutans* in Bezug auf Kupfer ein Exkluder ist.

***Thlaspi goesingense* – das Gösinger Täschelkraut**

Wie für zweijährige Pflanzen typisch, bildet auch *T. goesingense* (Gösinger Täschelkraut) durch Stauchung der Internodien eine Blattrosette aus, aus der im Folgejahr ein blütentragender Langtrieb wächst (Kadereit et al., 2014, S. 866 ff.). *Thlaspi goesingense* gehört zur Familie der *Brassicaceae* (Kreuzblütler).

Die zierlichen Blüten bestehen aus weißen Kronblättern und einem grünen Blütenkelch. Die Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von 20 cm bis 50 cm (Burgenlandflora, 2021).

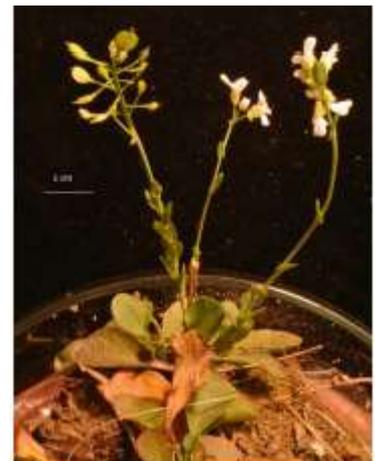


Abb. 11: *T. goesingense*- Foto von Susanne Schmid

T. goesingense ist ein bekannter fakultativer Nickel-Hyperakkumulator (Persans et al., 1999, S. 1117 ff.). Diese Pflanze wächst auch auf nicht schwermetallverunreinigten Standorten über Kalk. Kabouw und Sieghardt (2007) stellten eine vermehrte Anreicherung von Nickel in den Epidermiszellen der Rosettenblätter fest (Kabouw

& Sieghardt, 2007, S. 107 ff.). Auch Küpper et al. (2001) stellten Nickel vor allem in der Epidermis und dort verortet in den Vakuolen fest (Küpper et al., 2001, S. 2292 ff.).

2.1.2 Schwermetallstandorte

Weiss (2013) beschreibt drei Arten von Schwermetallstandorten (vgl. Ernst, 1974):

Primäre Schwermetallstandorte: Hierbei handelt es sich um natürliche Schwermetallstandorte. Erzreiche Gesteine reichen bis knapp unter die Erdoberfläche (max. 30 m Tiefe) oder bis an die Bodenoberfläche (Glatzen). Eine weitere Möglichkeit der natürlichen Schwermetallanreicherung sind vulkanische Aktivitäten.

Sekundäre Schwermetallstandorte: Diese Standorte wurden durch anthropogene Aktivitäten geschaffen. Hierzu zählen unter anderem Abraumhalden oder Verhüttungsstätten. Aktuell wird anthropogene Schwermetallverschmutzung vor allem durch Schmelzöfen, Raffinerien sowie Gießereien und Landwirtschaft verursacht.

Tertiäre Schwermetallstandorte: Kommt es zu einer Verlagerung von Schwermetallen, etwa von einem Primär- oder Sekundärstandort, werden diese als ‚tertiärer Schwermetallstandort‘ bezeichnet. Ein Beispiel wäre das Vertragen schwermetallhaltiger Erde durch Wind oder das Abtragen und wieder Anreichern schwermetallhaltiger Sedimente in Flüssen und Überschwemmungsgebieten (Weiss, 2013, S. 9).

Für die geplante Lerngelegenheit wurden zwei österreichische Schwermetallstandorte ausgewählt. Durch die geografische Nähe können die Schüler*innen einen besseren Bezug zu der Thematik finden. In einem erweiterten Unterrichtsprojekt wäre auch eine Exkursion zu den Standorten mit weiteren vertiefenden Übungen wie etwa Bestimmungsübungen oder Kartierungen möglich

Als zu untersuchende Pflanzen wurde zum einen *Thlaspi goesingense* als Nickel-Hyperakkumulator und zum anderen *Silene nutans* als Kupfer-Exkluder gewählt. Die gesammelten Daten der Erd- und Pflanzenproben stammen aus dem Projektpraktikum ‚Schwermetallstress‘ unter der Leitung von Lichtscheidl-Schultz an der Universität Wien und wurden mir für diese Arbeit von Kolleg*innen zur Verfügung gestellt.

Standort 1: Abraumhalde am Knappenberg Hirschwang (Niederösterreich)

Der Knappenberg ist eine ehemalige Bergbaustätte, die Ende des 20. Jahrhunderts stillgelegt wurde. Er gehört zur östlichen Grauwackenzone und ist Teil einer Kette an Sideritdepots. Unter anderem wurden Eisen, Gold, Silber sowie Kupfer und Quecksilber abgebaut (Weiss, 2013).

Die Halde selbst ist kaum bewachsen und der Boden weist einen hohen Sand- aber niedrigen Schluff- und Humusgehalt auf. Generell ist der Wassergehalt auf der Halde gering und der pH-Wert niedrig (pH = 3,3 - 4,4). Der karge Bewuchs führt zu einem extremen Mikroklima (Adlassnig et al., 2016, S. 1038 ff.).

Die Umgebung der Halde zeichnet sich durch einen Mischwald aus *Fagus sylvatica* (Rotbuche), *Acer pseudoplatanus* (Berg-Ahorn) und *Picea abies* (Gemeine Fichte) aus. In direkter Nachbarschaft der Abraumhalde finden sich häufig *Pinus sylvestris* (Waldkiefer) und *Pinus abies* (Rotfichte) (Adlassnig et al., 2016, S. 1038 ff.).



Abb. 12: Halde am Knappenberg, Haupthalde/ Foto von Victoria Baluch



Abb. 13: Halde am Knappenberg, Haupthalde – Seitenansicht / Foto von Victoria Baluch

Standort 2: Kirchkogel in Pernegg (Steiermark)– Serpentinstandort

Der Kirchkogel in Pernegg ist ein Beispiel für einen primären Schwermetallstandort. Das Serpentinegestein ist magnesiumoxidreich (MgO) und enthält Schwermetallionen (vor allem Nickel, Chrom und Kobalt). Die dunkle Farbe des Gesteins führt zu einer lokalen Wärmespeicherung und öffnet so eine Nische für Xerophyten. Unter Xerophyten versteht man im Allgemeinen Pflanzen welche an extrem trockene Standorte angepasst sind. Beispiele hierfür sind die Seegrüne Distel (*Carduus defloratus*) oder der Alpenknöterich (*Aconogonon alpinum*), aber auch das Gösinger Täschelkraut (*Thlaspi goesingense*) (Zimmermann, 1972, S. 2 ff.).



Abb. 14: Entnahmestelle Pernegg, Foto von Susanne Schmid

Der Boden besitzt einen hohen Humusgehalt bei einem sauren pH-Wert von 3,8. Der Boden ist generell eher phosphatarm bei hohem Kaliumgehalt (Eggler, 1963, S. 55 ff.).

Standort 3: Flatz (Niederösterreich) – Neutralstandort

Für die Auswertung waren auch Vergleichsdaten aus Analysen von Neutralstandorten heranzuziehen. Die Analysedaten des Neutralstandortes stammen aus einer Wiese in Flatz, die im Naturparkgebiet liegt. Das Naturparkgebiet ist Teil der Gutensteiner Alpen und besteht vorwiegend aus Wettersteinkalk (Dworak et al., 2017). Es handelt sich hierbei um eine Magerwiese. Magerwiesen sind



Abb. 15: Wiese in Flatz, Foto von Christian Geyer (<https://www.bergwelten.com/a/wandern-im-naturpark-flatzer-wand>)

nährstoffarme Grünflächen, welche eine Vielzahl an Pflanzen beheimaten. In Flatz fanden sich im Rahmen der Exkursion unter anderem verschiedene Silene Arten (Leimkräuter), das Gösinger-Täschlekraut (*Thlaspie goesingense*) und auch Thymian (*Thymus serpyllum*) und Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*). Leider konnten für diesen Standort keine pH-Wert Angaben in der Literatur gefunden werden.

2.1.3 Schwermetallanalysen

Im folgenden Abschnitt wird die für die Computersimulation gewählte Schwermetallanalysemethode, das Rasterelektronenmikroskop mit angebundener energiedispersiver Spektroskopie, erläutert. Die Schüler*innen erhalten im Zuge der Unterrichtseinheiten hierzu eine kurze theoretische Einführung an der Tafel sowie eine Übung im Protokollheft.

Die folgenden Erläuterungen wurden der Internetseite der ‚Core Facility für Cell Imaging and Ultrastructure Research‘ der Universität Wien entnommen (Universität Wien, Core Facility für Cell Imaging and Ultrastructure, letzter Abruf 30.07.2021). Mithilfe der Rasterelektronenmikroskopie können feinste Oberflächenstrukturen dargestellt werden. Hierzu wird ein Elektronenstrahl Pixel für Pixel über die Probe geführt, was zur Emission von Sekundär- und Streuelektronen und Röntgenstrahlung führt, die detektiert werden können.

Die Bildgebung erfolgt über die Detektion der Sekundärelektronen. Die freigesetzten Streuelektronen und Röntgenstrahlung können zur Analyse der Probenzusammensetzung genutzt werden. Da die Analyse unter Hochvakuum (10^{-5} bis 10^{-7} bar) stattfindet, müssen die Proben vollkommen getrocknet werden. Unvollständig getrocknete Proben würden das Vakuum und somit die Analyse beeinträchtigen.

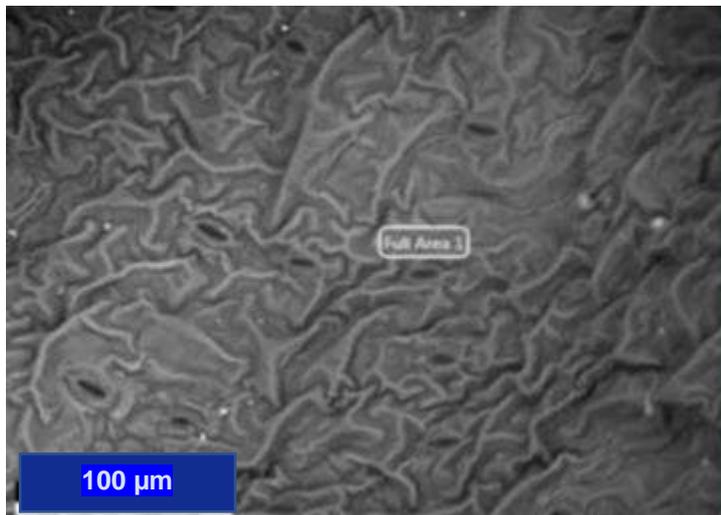


Abb. 16: Blattoberfläche *S. nutans* mittels Rasterelektronenmikroskop

Wie bereits oben erwähnt, können die emittierten Streuelektronen und die Röntgenstrahlung zur Elementanalyse herangezogen werden. Diese Methode wird ‚EDX‘ (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) genannt. Durch das Auftreffen des Elektronenstrahls auf die Probe werden Elektronen aus den Probenatomen herausgeschlagen. Die so entstehende Lücke wird durch

Praktischer Teil

3 Vorstellungen der Schüler*innen und didaktische Rekonstruktion

Sowohl das Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ als auch das übergeordnete Ziel der Vertiefung des Wissens über NOSI sind umfangreich. Daher ist es nötig, beide Themen altersadäquat einzugrenzen, sodass die Schüler*innen weder unter- noch überfordert sind, aber wesentliche Bestandteile trotzdem bearbeitet werden können. Dieser Prozess wird von einigen Autoren und Autorinnen als ‚didaktische Reduktion‘ bezeichnet (Streller et al., 2019, S. 11 ff.). Eine bloße Reduktion ist für die Aufarbeitung im Unterricht allerdings nicht ausreichend.

Einen adäquateren Ansatz bietet die durch Kattmann und Duit et al.(1997) bekannt gewordene didaktische Rekonstruktion. Dieses Modell wird von Reinfried et al. (2009) beschrieben und beinhaltet zusammenfassend die folgenden Teilschritte:

- Erhebung der Schüler- und Schülerinnenvorstellung zu den gewählten Themen
- fachliche Klärung des Themas
- didaktische Strukturierung

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Vorstellung der Schüler*innen zu den Themen ‚Nature of Science‘ und ‚Nature of Science Inquiry‘ dargestellt. Danach erfolgt eine Darstellung der Schüler*innenvorstellungen zum Themenbereich ‚Schwermetalle in der Umwelt‘. Die fachliche Klärung wurde bereits im Kapitel 2 dargestellt. Die didaktische Strukturierung wird im Kapitel 5 anhand der erstellten Unterrichtsmaterialien vorgestellt.

3.1 Vorstellungen der Schüler*innen zu Nature of Scientific Inquiry (NOSI)

Zu den Schüler*innenvorstellungen zu NOSI gibt es ausführliche Studien. Die Ergebnisse dieser Studien können herangezogen werden, um die prinzipiellen Schwierigkeiten zu sehen, die Schüler*innen in diesem Bereich haben.

Lederman et al. (2019) führte unter internationaler Zusammenarbeit eine großangelegte Studie zu Schüler*innenkonzepten über ‚Scientific Inquiry‘ durch. Die Studie wurden in 18 Ländern mit insgesamt 2634 teilnehmenden Schüler*innen der Unterstufe (‚Seventh Grade‘) durchgeführt. Der zugrunde liegende VASI-Fragebogen (VASI = ‚Views About Scientific

Inquiry') wurde hierzu in die jeweilige Landessprache übersetzt. Die beantworteten Bögen wurden wiederum ins Englische zurückübersetzt und ausgewertet. Zur Auswertung wurden die Antworten folgendermaßen kategorisiert:

- keine Antwort („No Answer“)
- naive Antwort („naive“)
- gemischte Antwort („mixed“)
- informierte Antwort („informed“)

Unter naiven Antworten wurden nicht angemessene Schüler*innenaussagen zusammengefasst. Lederman et. al (2019) legte hierzu erwartete Antwortelemente zu den bereits in Kapitel 1.1 besprochenen Aspekten von Nature of Scientific Inquiry (NOSI) fest. Enthält die Schüler*innenantwort die definierten Antwortelemente wird sie als ‚informed‘ kategorisiert. Wird der betreffende NOSI-Aspekt nicht in der Antwort angesprochen, wird die Schüler*innenaussage als ‚naive‘ kategorisiert. Als gemischte Antworten wurden Schüler*innenaussagen, die sowohl angemessene als auch nicht angemessene Teile enthielten, bezeichnet. Mindestens 20 % der Befragten wurden zusätzlich interviewt, um sicherzustellen, dass die schriftlichen Aussagen korrekt interpretiert wurden (Lederman et al., 2019, S. 486 ff.)

Zur Beantwortung des VASI-Fragebogens (VASI =Views about Scientific Inquiry) müssen die Lernenden zu Einzelaussagen, welche jeweils ein oder mehrere Aspekte von Nature of Scientific Inquiry enthalten, Stellung nehmen.

Im Folgenden werden die Teilaspekte des VASI-Fragebogens vorgestellt und einige beispielhafte Schüler*innenantworten aufgelistet. Die einzelnen Aussagen (fettgedruckt) sowie die beispielhaften Antworten stammen aus der von Lederman et al. (2019) durchgeführten Studie und wurden von der Autorin übersetzt.

Alle naturwissenschaftlichen Untersuchungen beginnen mit einer Fragestellung, aber nicht alle Untersuchungen testen eine Hypothese.

Die Aussage „Nein, man braucht nicht immer eine Frage“ würde hier als naiv eingestuft werden. Eine angemessene Antwort wäre „Ja, um zu wissen, was man untersucht, braucht man eine Frage, die einem sagt, was man herausfinden möchte“.

Ein erheblicher Teil der Antworten (43,9 %) wurde als naiv eingestuft. (Lederman et al., 2019 S. 497)

In den Naturwissenschaften gibt es keine allgemeingültige Forschungsmethode oder eine festgelegte Abfolge von Schritten.

Je nach Fragestellung oder naturwissenschaftlicher Disziplin variieren die Forschungsmethoden. Lernende haben hier oft die Vorstellung einer allgemeingültigen Methode. Hier wurden Aussagen wie „Man muss der wissenschaftlichen Methode folgen: Untersuchungsgrund, Hypothese, Durchführung“ als naiv eingestuft. Angemessene Antworten beinhalten die Aufzählung mehrere Methoden. Mehr als die Hälfte der Befragten (54,4 %) gaben naive Antworten. Nur 6 % hatten eine angemessene Vorstellung über die Methodenvielfalt in der Naturwissenschaft (Lederman et al., 2019 S. 497).

Das gleiche Forschungsverfahren bzw. die gleiche Methode muss nicht zu den gleichen Ergebnissen führen.

Dieser Aspekt zeigt, dass Daten immer subjektiv interpretiert werden. Daher können Wissenschaftler*innen auch bei gleicher Fragestellung und gleichem Forschungsdesign zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Schüler*innenaussagen wie „Wenn sie die gleiche Frage stellen und die gleiche Methode anwenden, müssen sie zum selben Ergebnis kommen“ werden als naiv angesehen. Angemessen sind Antworten, die die Erfahrung der Wissenschaftler*innen und den Interpretationsprozess miteinbeziehen. Auch hier gaben mehr als die Hälfte der Befragten eher nicht angemessene Antworten (Lederman et al., 2019 S. 497).

Die Forschungsmethode beeinflusst die Ergebnisse

Je nach gewählter Methode und je nach Probenauswahl können Ergebnisse variieren. Eine typische naive Aussage geht von einem einzig möglichen Ergebnis auf eine Forschungsfrage aus, unabhängig von der gewählten Methode: „Wenn die gleiche Forschungsfrage gestellt wurde, muss das Ergebnis gleich sein, egal, wie vorgegangen wird“. Die Studie ergab, dass ca. 40 % der Befragten hierzu eher naive Vorstellungen haben (Lederman et al., 2019 S. 497)

Schlussfolgerungen müssen mit den Daten übereinstimmen bzw. zusammenpassen („must be consistent“)

Dieser Punkt bezieht sich auf die empirische Grundlage von naturwissenschaftlichen Aussagen. Hier gaben 33 % der Lernenden eine angemessene Antwort (Lederman et al., 2019 S. 497).

Daten unterscheiden sich von Belegen.

Antworten, die Daten mit Belegen gleichsetzten, wurden als naiv eingestuft. Ein Beispiel für eine angemessene Schüler*innenaussage ist: „Daten erhält man aus Experimenten, Belege sind bearbeitet und interpretieren Daten, welche die Schlussfolgerung stützen“.

Die Studie zeigte, dass der Unterschied zwischen Daten und Belegen für die Lernenden nicht klar ist. Nur 10 % der Befragten beantworteten die betreffende Frage angemessen (Lederman et al., 2019 S. 497)

Schlussfolgerungen bauen auf den gewonnenen Daten sowie Erfahrungswerten auf.

Wissenschaftler*innen müssen Ergebnisse, die von bisherigen Erkenntnissen abweichen, erkennen und feststellen, wie diese Ergebnisse zu interpretieren sind. Zu dieser Fragestellung wurden den Schüler*innen zwei mögliche Anordnungen von Dinosaurierknochen gezeigt (Abbildung 19). Sie sollten begründen, warum die meisten Wissenschaftler*innen die erste Skelettanordnung als richtig einstufen.



Abb. 19: Auszug aus dem VASI-Fragebogen (Lederman et al., 2019, S.494)

Schüler*innenantworten, die bereits vorhandene Forschungsergebnisse miteinbezogen, wurden als angemessen bzw. informiert angesehen. (Lederman et al., 2019 S. 497f)

Höttecke (2012) beschreibt ebenfalls Vorstellungen von Schüler*innen zur naturwissenschaftlichen Wissensproduktion und ihren Bedingungen. Er beschreibt ein geringes Verständnis der Lernenden für die soziale Komponente der Naturwissenschaft. Darunter fällt für ihn unter anderem die Konsensbildung in der Naturwissenschaft. Schüler*innen denken, dass Entscheidungen in der Naturwissenschaft faktenorientiert getroffen werden und räumen moralischen und persönlichen Wertvorstellungen der Wissenschaftler*innen einen weniger hohen Stellenwert ein. Wie Lederman et al. (2019), beschreibt auch Höttecke, dass nur ein kleiner Teil der Lernenden (2 %) den Methodenpluralismus der Naturwissenschaften kennt und die naturwissenschaftliche Arbeitsweise eher als ein „penibles Befolgen festgeschriebener Laborroutinen beschreiben“ (Höttecke, 2012, S. 68 ff.; vgl. Ryan & Aikenhead, 1992, S. 559 ff.).

Lederman (2019) sieht vielfältige Gründe für das schlechte Verständnis der Schüler*innen von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ (Unterschiede in Lehrplänen, Lehrmethoden etc.). Allerdings konnten vier gemeinsame Faktoren herausgearbeitet werden:

1. Fehlen von Standards für das Verständnis über Scientific Inquiry
2. Unterricht ohne expliziten Zugang zu Scientific Inquiry
3. Naturwissenschaftsunterricht, der nur den praktischen Zugang („Doing Science“) betont
4. Unterricht ohne forschenden Ansatz (wenig forschendes Lernen)

(Lederman et al., 2019, S. 511)

In der Studie wird außerdem betont, dass ein direkter Vergleich der teilnehmenden Länder aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslagen im Lehrplan und anderer Fokussierung im Unterricht nicht zielführend ist. Vielmehr soll das Ergebnis als ein Aufruf zum Handeln betrachtet werden.

3.2 Vorstellungen der Schüler*innen zu Schwermetallen

Die fachliche Klärung aus Kapitel 2 ist nur eine Seite der Unterrichtsvorbereitung. Genauso relevant wie eine gute fachliche Grundlage sind das Kennen und Erkennen der Lernvoraussetzungen der Schüler*innen. Hierzu zählen auch Schüler*innenvorstellungen, die das Erlernen neuer Unterrichtsinhalte beeinflussen können. Zum Beispiel könnten Schüler*innen eine falsche Zuordnung von Schwermetallen treffen, wenn sie unter dem Begriff „Schwermetall“ „schwer“-erhältliche oder „schwer“-zuverarbeitende Metalle verstehen. Schecker et al. (2018) beschreiben Schüler*innenvorstellungen als

widerstandsfähig gegen Veränderungen und nennen zwei Möglichkeiten, mit diesen umzugehen:

- 1) Anknüpfen an ausbaufähige Vorstellung bzw. Umbau und Umdeuten von Vorstellungen
- 2) Konfrontation mit fachlich korrekten Erklärungen

(Schecker & Duit, 2018, S. 5 ff.)

Da das Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ von den Themen des Kerncurriculums etwas abweicht, und zu diesem Thema keine Untersuchungen zu Schüler*innenvorstellungen gefunden wurden, wurde zunächst eine Erhebung der Schüler*innenvorstellungen durchgeführt. Hierzu wurden fünf Oberstufenklassen gebeten, auf einer Mindmap (im Präsenzunterricht) oder über Mentimeter (im Distance Learning) ihre persönlichen Vorstellungen zu diesem Thema zu verschriftlichen („Schwermetalle – Was fällt dir zu diesem Begriff ein?“). So sollen etwaige fachliche unangemessene Vorstellungen aufgedeckt und in die Unterrichtsplanung miteinbezogen werden. Des Weiteren gibt diese Befragung einen Einblick in die Vorkenntnisse der Schüler*innen zu dem Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘. So kann ein fachlich adäquater Einstieg in das Gebiet gewählt werden, ohne die Lernenden zu überfordern.

Insgesamt nahmen 93 Schüler*innen im Alter zwischen 15 und 18 Jahren an der Befragung teil. Drei Erhebungen wurden wegen der Coronakrise im Onlineunterricht durchgeführt und zwei Klassen wurden im Präsenzunterricht befragt. Die Schüler*innen wurden gebeten, in Kleingruppen und ohne Verwendung des Internets ihre Vermutungen über Schwermetalle festzuhalten. Da drei der Befragungen, wie schon erwähnt, im Onlineunterricht durchgeführt wurden, kann eine Zuhilfenahme von Google nicht ausgeschlossen werden. Allerdings soll diese Erhebung nur einen groben Überblick als Startpunkt der Unterrichtsplanung darstellen, daher wurden die gewonnenen Daten trotz dieser Ungenauigkeit weiterverarbeitet. Aussagen, die eindeutig aus dem Internet kopiert wurden, wurden aus der Analyse gestrichen. Insgesamt wurden 94 Einzelaussagen gesammelt.

Die Analyse der einzelnen Aussagen erfolgte angelehnt an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring. Es wurde mit der Methode der induktiven Kategorienbildung (Mayring, 2010, S. 68)

gearbeitet. Da die Schüleraussagen kurzgefasst waren, wurde der Schritt der Paraphrasierung ausgelassen und mit ‚In-vivo-Codes‘ fortgefahren.

Insgesamt wurden so aus 94 Einzelaussagen 22 Kategorien und 5 Hauptkategorien gebildet. Als Hauptkategorien wurden ‚physikalische und chemische Eigenschaften‘, die ‚submikroskopische Ebene‘, ‚Wirkung von Schwermetallen auf den Menschen und die Umwelt‘, ‚Elementnennungen und Aufzählungen‘ sowie ‚Sonstiges‘ definiert. In der folgenden Tabelle werden alle Hauptkategorien und die dazugehörigen Unterkategorien mit Beispielaussagen dargestellt.

Hauptkategorie	Kategorie	Beispiel
physikalische/chemische Eigenschaften	hohe Dichte	haben hohe Dichte, Metalle die dicht sind
	Gewicht, Masse	Metalle sind besonders schwer
	hoher Druck	Metalle mit hohem Druck
	Beständigkeit	unzerstörbar
	Radioaktivität	Schwermetalle (z. B. Eisen) haben bestimmte Eigenschaften wie giftig oder radioaktiv.
	Reaktionen	Sie reagieren nur mit bestimmten Elementen und in einer bestimmten Form. Sie weichen von der Normaleigenschaft der anderen Metalle ab, z. B.: schwerer
submikroskopische Ebene	hohe Atommasse	Metalle, deren [...] Atommasse oder Ordnungszahl einen bestimmten Wert übersteigt
Wirkungen auf den Menschen und die Umwelt	schädlich/toxisch	Ich kenne eigentlich nur die Belastung durch die Schwermetalle im Körper, zum Beispiel Blei in unserem Körper.

	Spurenelemente	Sind im Körper auffindbar und werden unbedingt benötigt, um leben zu können (Eisen, ...)
	Umweltschädlich	Durch die Industrialisierung ist die Konzentration der Schwermetalle in Pflanzen später dann Tieren stark gestiegen.
Aufzählung, Nennung von Beispielen, Einordnung	Beispiele von Schwermetallen	Zum Beispiel Blei in unserem Körper
Sonstiges	Vorkommen/Seltenheit	seltene Metalle
	schwierige Verarbeitung	schwer zu benutzen und zu verarbeiten
	Wert/wertvoll	Besonders wertvoll
	Verwendung	Schmuck
	Hohe Ordnungszahl	Metalle, deren Dichte oder Atommasse oder Ordnungszahl einen bestimmten Wert übersteigt
	Schwierige Entsorgung/Gewinnung	schwer zu entsorgen
	Periodensystem	Sind im Periodensystem (z.B. Eisen usw.)
Legierung	in der Technik Legierungen	

Tabelle 1: Schüler- und Schülerinnenvorstellungen zu Schwermetallen (Alter: 15-18)

Insgesamt ergab die Befragung große Unterschiede in den Vorstellungen der Lernenden zum Thema Schwermetalle. 22 Schüler*innen ordneten dem Begriff ‚Schwermetalle‘ die Eigenschaft ‚hohe Dichte‘ zu, andere assoziierten den Begriff mit einer großen Masse oder hohem Gewicht. Oft (28 Nennungen) wurde auch eine Verbindung zu toxischen Eigenschaften hergestellt. Hier wurde häufig Blei genannt. Viele der Befragten zählten auch einzelne Elemente auf (28 Aussagen).

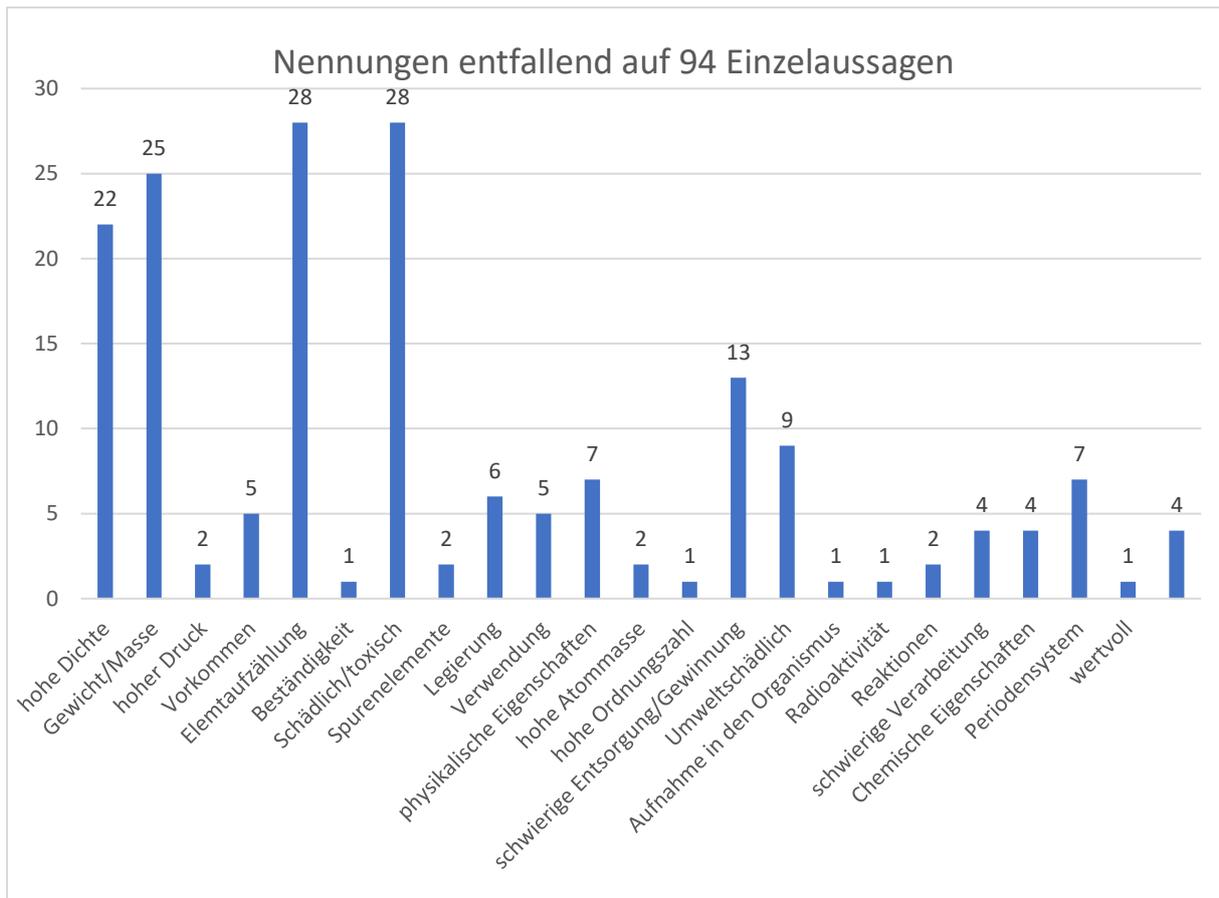


Diagramm 1: Schülervorstellungen zu Schwermetallen (Alter: 15-18 Jahre)

Einige Schüleraussagen deuten auf unangemessene Vorstellungen in Bezug auf das Wort „schwer“ in Schwermetallen hin. So bezogen sich 13 Aussagen auf eine schwere oder schwierige Entsorgung oder Gewinnung und vier Aussagen auf eine möglicherweise schwere oder schwierige Verarbeitung.

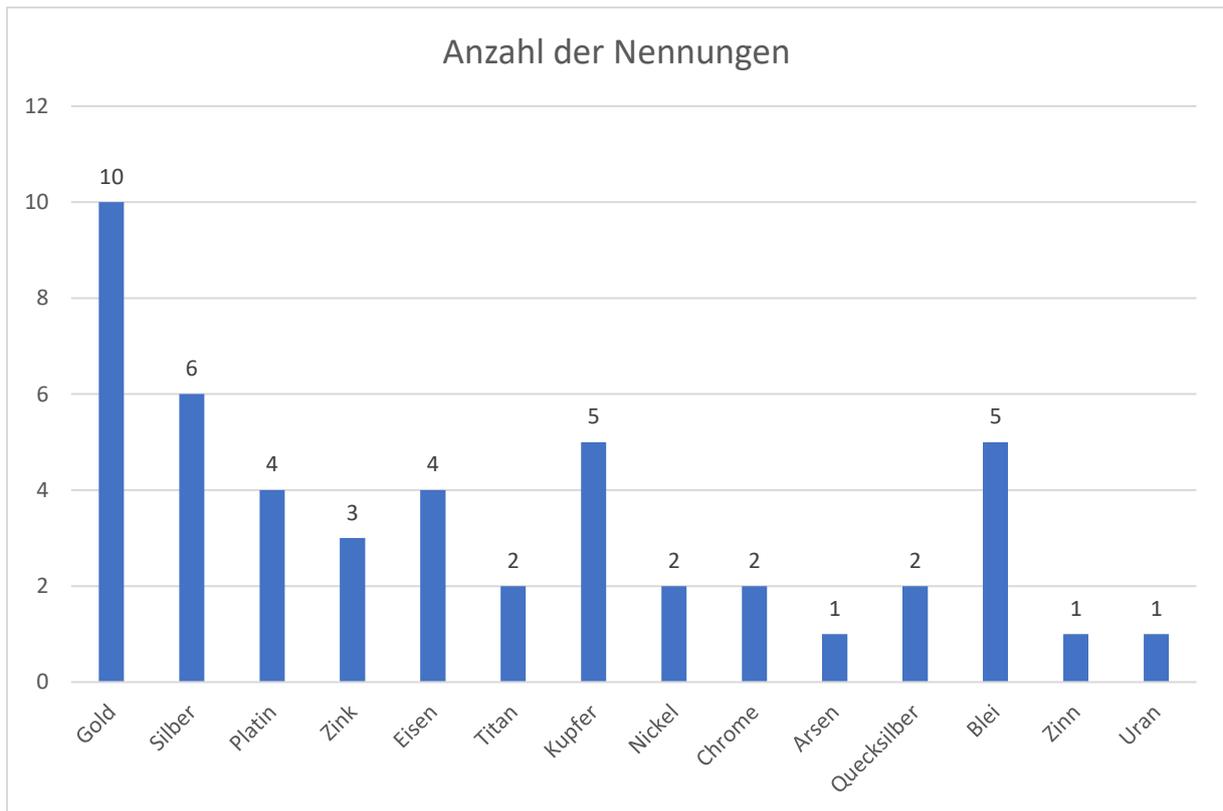


Diagramm 2: Elementaufzählungen (Alter 15-18 Jahre)

Wie bereits oben erwähnt, betrafen 28 Aussagen den Punkt ‚Elementaufzählung‘. In Diagramm 2 sind alle genannten Elemente mit Nennungshäufigkeit dargestellt. Besonders häufig wurden Gold und Silber erwähnt, gefolgt von Kupfer und Blei.

Für den Unterricht lässt sich aus dieser kleinen Vorerhebung zu den Schüler*innenvorstellungen über Schwermetalle folgendes schließen:

- Vor dem Projektstart sollte es eine kurze Einführung in das Thema ‚Schwermetalle‘ geben.
- Die Definition von Schwermetallen sollte den Lernenden erklärt werden.
- Eventuell kann ein Periodensystem mit eingezeichneten Schwermetallen gezeigt werden.
- Einige Beispiele für Umweltschädlichkeit oder toxische Wirkung auf den Menschen sollten besprochen werden, um die Relevanz des Themas für die Schüler*innen deutlich zu machen.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst das Softwareprogramm, mit dessen Hilfe die Computersimulation erstellt wurde, vorgestellt. In weiterer Folge wird auf einige Besonderheiten von computerunterstützten Lerneinheiten eingegangen.

4 Visionaire – Eine Software zur Erstellung von Point-and-Click-Adventures

Bei ‚Visionaire‘ handelt es sich um eine Multiplattform-Engine zur Erstellung von 2D- und 2,5D-Computerspielen, insbesondere von Point-and Click-Adventures (Computermaus-fokussiertes Bedienkonzept). Durch die oberflächenbasierende Erstellung sind kaum Programmierkenntnisse zur Spielerstellung notwendig. Ergänzend zur Oberflächenerstellung wird die Skriptsprache ‚Lua‘ unterstützt. Es ist eine Gratisversion verfügbar, jedoch wurde für die Entwicklung der Simulation eine Lizenz erworben (https://wiki.visionaire-tracker.net/wiki/Main_Page).

4.1 Computerunterstützte Lerneinheiten

Arnold et al. (2018) beschreiben in dem Buch „Handbuch – E-Learning“ die lernförderlichen Elemente von (Computer-)Spielen im Unterricht. Spiele sollen demnach das selbstständige Lernen fördern und die Motivation der Lernenden erhöhen. Nach Arnold et al. (2018) sollen Spiele folgende Eigenschaften erfüllen:

- Handlungsspielräume für Schüler*innen eröffnen
- Problemlösekompetenzen fördern
- Das Verständnis fördern

Arnold et al. (2018) unterscheiden weiter verschiedene Typen digitaler Lernspiele. Darunter fallen Puzzlespiele und Simulationen, aber auch Action-, Abenteuer- sowie Rollen- und Strategiespiele. Die verschiedenen Spieltypen können unterschiedlich in Lerngelegenheiten eingebettet werden. So können auch kurze Simulationssequenzen zu einem Wissenszuwachs und zur Förderung von Teilkompetenzen führen. Bedeutsam sind hierbei die richtigen Rahmenbedingungen (Arnold et al., 2018, S. 151 ff.).

Bei der im Zuge dieser Masterarbeit entwickelten Lerngelegenheit handelt es sich um eine Simulation mit kurzen Rätsel- und Puzzlesequenzen. Greca et al. (2014) beschreiben Computersimulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht als mindestens gleich effektiv, wenn nicht sogar effektiver als andere ‚traditionelle‘ Methoden. Simulationen können hierbei den Lernenden Konzepte näherbringen, aber auch einen Konzeptwechsel (‚Conceptual Change‘) hervorrufen. Außerdem können Arbeitsschritte in einem sicheren Umfeld geübt werden. Greca et al. zitieren hier mehrere Artikel, die den Einsatz von

Simulationen vor allem dann begrüßen, wenn die tatsächlichen Experimente zu teuer, zu gefährlich oder zu schnell und komplex sind. Allerdings erwähnen Greca et al. (2014) auch, dass bei allen Vorteilen von Simulationen im Unterricht immer eine Art der Führung oder Begleitung zum Erreichen der Lehrziele für die Schüler*innen gegeben sein muss (Greca et al., 2014, S. 898 ff.).

In der von mir entwickelten Lerngelegenheit wird die Computersimulation durch ein stark vorstrukturiertes Protokoll sowie weitere Inputs über Fachliteratur und Videosequenzen begleitet. Einzelne Teilabschnitte sollen mit den Schüler*innen genau besprochen werden. Auch die überfachlichen Ziele, wie ein erweitertes Verständnis von NOSI, sollen direkt angesprochen und einzelne Punkte, wie etwa der Unterschied zwischen Daten und Belegen, sollen im Rahmen des Projektes an Beispielen aufgearbeitet werden.

5 Unterrichtsentwicklung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den Entwicklungsweg der erstellten Lerngelegenheit sowie aller dazugehörigen Materialien geliefert. Im Anschluss folgt eine Beschreibung der Durchführung im Unterricht sowie eine zusammengefasste Rückmeldung der Lernenden.

5.1 Lehrziele

In diesem Teil werden die Lehrziele vorgestellt, die in den entwickelten Unterrichtseinheiten angestrebt werden. Als Basis dient der von Hodson (2014) definierte Teilaspekt des naturwissenschaftlichen Unterrichts „Learning about science“.

Die nachfolgenden Lehrziele betreffen sowohl das Thema ‚Schwermetalle‘ als auch Punkte von ‚Nature of Scientific Inquiry‘. Basierend auf dem Kompetenzmodell der AHS-Oberstufe (Sekundarstufe II) können die einzelnen Ziele wie folgt eingeordnet werden (Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2009; Lehrpläne allgemeinbildende höhere Schulen, 2022).

Unter der Handlungsdimension ‚Wissen organisieren – Recherchieren, Darstellen, Kommunizieren‘ wurden folgende Lehrziele formuliert:

- Die Schüler*innen können die drei Arten von Schwermetallstandorten nennen.
- Die Schüler*innen können primäre, sekundäre, und tertiäre Schwermetallstandorte anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen unterscheiden.
- Die Schüler*innen kennen die drei Arten der Metallophyten und können diese benennen.
- Die Schüler*innen können Metallophyten anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen den Kategorien Exkluder, Indikator und Akkumulator zuordnen.

Unter der Handlungsdimension ‚Erkenntnisse gewinnen‘ (Fragen, Untersuchen, Interpretieren) können folgende Lehrziele eingeordnet werden:

- Schüler*innen können naturwissenschaftliche Fragen zum Bereich ‚Schwermetalle und Pflanzen‘ formulieren.

- Schüler*innen können Fragen und Vermutungen zu den Schwermetallstandorten aufstellen und Problemstellungen definieren.
- Die Schüler*innen können Problemstellungen mithilfe von naturwissenschaftlichen Untersuchungen (Elektronenmikroskop in dem Spiel) bearbeiten.
- Schüler*innen können mit den zur Verfügung gestellten Daten eine zuvor aufgestellte Hypothese zu den Schwermetallstandorten bestätigen oder verwerfen. (z. B.: Hier wachsen nur Pflanzen, die den Schwermetallstress aushalten. Viele Schwermetalle sind toxisch für Pflanzen.)

Unter der Handlungsdimension ‚Konsequenzen ziehen‘ (Bewerten, Entscheiden, Handeln) kann folgendes Lehrziel eingeordnet werden:

- Die Schüler*innen können aufgrund der im Unterricht besprochener Kriterien, naturwissenschaftlicher von nicht-naturwissenschaftlicher Literatur unterscheiden.
- Die Schüler*innen können aufgrund der in der Unterrichtseinheit explizit besprochenen Bestandteile des naturwissenschaftlichen Arbeitens, naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen unterscheiden.

5.2 Aufbau der Stunden / Projektplanung mit Materialien

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über den Stundenaufbau und das erstellte Material gegeben werden. Zum einen werden die einzelnen Einheiten kurz zusammengefasst. Zum anderen sollen die Computersimulation sowie das dazugehörige Protokollheft mit didaktischen Hinweisen vorgestellt werden. Das gesamte Unterrichtskonzept orientiert sich an dem von Hodsons (2014) definierten Teilaspekt ‚Learning about Science‘ als Teil von NOSI.

Hodsons (2014) Ansätze wurden gewählt, da sie sich gut für die Erstellung eines begleitenden Protokolls eignen und den Schüler*innen klare Abschnitte zur Orientierung vorgeben. Außerdem wurde für dieses Projekt ein expliziter Zugang für Nature of Scientific Inquiry im Unterricht gewählt. Auch dieser Ansatz stimmt mit Hodsons (2014) Ansichten überein.

Die zu Beginn vorgestellten Schritte, die Schüler*innen nach Hodson (2014) in ‚Learning about Science‘ kennenlernen sollen, werden sowohl im Protokollheft als auch in der Simulation aufgegriffen.

Diese Teilpunkte umfassen:

- Design und Planungsphase einer naturwissenschaftlichen Untersuchung
- Durchführungsphase einer naturwissenschaftlichen Untersuchung.
- Reflexionsphase – Reflexion der Ergebnisse, sowie der Untersuchungsmethode unter Bezugnahme von zur Verfügung gestellter Fachliteratur
- Veröffentlichungsphase – Veröffentlichung der Forschungsergebnisse durch eine Schüler*innenpräsentation innerhalb der Klassengemeinschaft.

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Phasen genauer beschrieben.

5.3 Einstieg – Design und Planungsphase

Aufgrund der Ergebnisse der Schüler*innenvorstellungserhebung über Schwermetalle wird zum Projekteinstieg das Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘ in Form eines theoretischen Inputs durch die Lehrperson sowie einer Plenumsdiskussion besprochen. Hier wird, um das Interesse der Schüler*innen zu wecken, zunächst die toxische Wirkung von Schwermetallen auf den Menschen anhand einiger Beispiele (z.B.: Itai-Itai-Krankheit) angesprochen. Der Vortrag dauert ca. 30 Minuten und umfasst folgende Punkte:

- Welche Schwermetalle zeigen eine toxische Wirkung auf den Menschen, auf Tiere und Pflanzen? Welche Schwermetalle sind in Form von Spurenelementen für den Menschen wichtig?
- Wie werden Schwermetalle definiert?
- Wie gelangen Schwermetalle in die Umwelt?
- Welche Schwermetallstandorte und Schwermetallpflanzen kann man unterscheiden.

Im Anschluss erfolgt ein stummer Impuls mittels eines Bildes (Abbildung 20). Das Bild zeigt eine Abraumhalde. Der stumme Impuls dient dazu, das Vorwissen der Lernenden zu aktivieren. (Dübbelde, 2017, S. 2). Auf dem Bild sind grob die dort wachsenden Pflanzen sowie die Pflanzen der Umgebung aufgelistet. Die Lernenden sollen nun eine Hypothese aufstellen. Hierzu werden im Protokollheft Leitfragen gestellt.

- Warum wachsen auf der Halde weniger Pflanzen als in der Umgebung? Notiere hier deine Vermutungen.
- Überlege, wie du herausfinden könntest, ob deine Vermutung zutrifft?

Was fällt dir auf dieser Abbildung auf?



Waldrand und Wald - Vegetationsdecke:	Halde – keine Vegetationsdecke:
<ul style="list-style-type: none"> • Sauerampfer (<i>Rumex acetosella</i>) • Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) • Draht-Schmiele (<i>Avenella flexuosa</i>) • Europäische Lärche (<i>Larix decidua</i> (Am Haldenrand=Zwergwuschs)) • Rotföhre (<i>Pinus sylvestri</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Moose und Flechten • Vereinzelt: Sauerampfer (<i>Rumex acetosella</i>) • Vereinzelt: Leimkraut (<i>Silene nutans</i> und <i>Silene vulgaris</i>)

Abb. 20: Auszug aus dem Protokollheft – Halde

An diesem Punkt werden das Protokollheft und die Abfolge der Teilschritte mit den Schüler*innen besprochen. Das Protokollheft spiegelt die von Hodson (2014) erstellten Teilschritte zu 'learning about science' wieder. Um den Schüler*innen innerhalb des Unterrichtsprojektes die naturwissenschaftliche Arbeitsweise näher zu bringen, ist es wichtig die einzelnen Protokollabschnitte und ihre Relevanz zu besprechen (z.B.: Wieso formulieren wir eine Hypothese und eine Forschungsfrage? Denkt ihr alle naturwissenschaftlichen Untersuchungen verlaufen nach dem gleichen Schema? etc.). Darüber hinaus dient das Protokollheft als eine Orientierungshilfe und Anleitung für die Schüler*innen.

Am Deckblatt des Protokollheftes findet sich eine kurze Legende, die Hinweise zur Verwendung des Protokolls gibt. Nach der Gruppeneinteilung sollen die Lernenden nun die Design- und Planungsphase des Unterrichtsprojektes bearbeiten. Hierzu sollen sie eine Hypothese aufstellen und Untersuchungsmöglichkeiten finden.

Die Vermutungen der Schüler*innen werden im Plenum besprochen und auch verschiedene Untersuchungsdesigns werden aufgegriffen.

5.4 Durchführungsphase

In der Durchführungsphase kommt die für dieses Unterrichtsprojekt erstellte Computersimulation zum Einsatz. In Form eines Point-and-Click-Adventures haben die Schüler*innen die Möglichkeit, virtuell Pflanzenproben auf verschiedenen Standorten einzusammeln, für die Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop vorzubereiten und die Analysedaten abzurufen. An diesem Punkt ist es besonders bedeutend, das Protokollheft nochmals zu besprechen. Da die Lernenden von der Computersimulation eventuell abgelenkt sind, könnten sie auf Notizen im Protokollheft vergessen. Diese Aufzeichnungen über die jeweiligen Schwermetallstandorte, die Probennahme sowie die Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop sind für den weiteren Projektverlauf allerdings bedeutsam.

Die Computersimulation umfasst fünf Abschnitte: Werkzeug und Material für die Probennahme innerhalb der Computersimulation sammeln, Proben an einem Schwermetallstandort sammeln, Proben an einen Neutralstandort sammeln, Vorbereitung der Pflanzen- und Bodenproben für die Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop und Probenanalyse mittels Rasterelektronenmikroskop.

Anfangs sollen die Schüler*innen Werkzeuge zur Probenentnahme durch Anklicken einsammeln. Die eingesammelten Werkzeuge erscheinen nun im Inventar der Computersimulation. In Abbildung 21 sieht man im Inventar bereits eine Plastiktüte für die Probennahme sowie einen Stift und ein GPS-Gerät. Die Schaufel wird durch Anklicken ebenfalls in das Inventar transferiert. Diese Werkzeuge werden im nächsten Raum für die Probennahme benötigt.

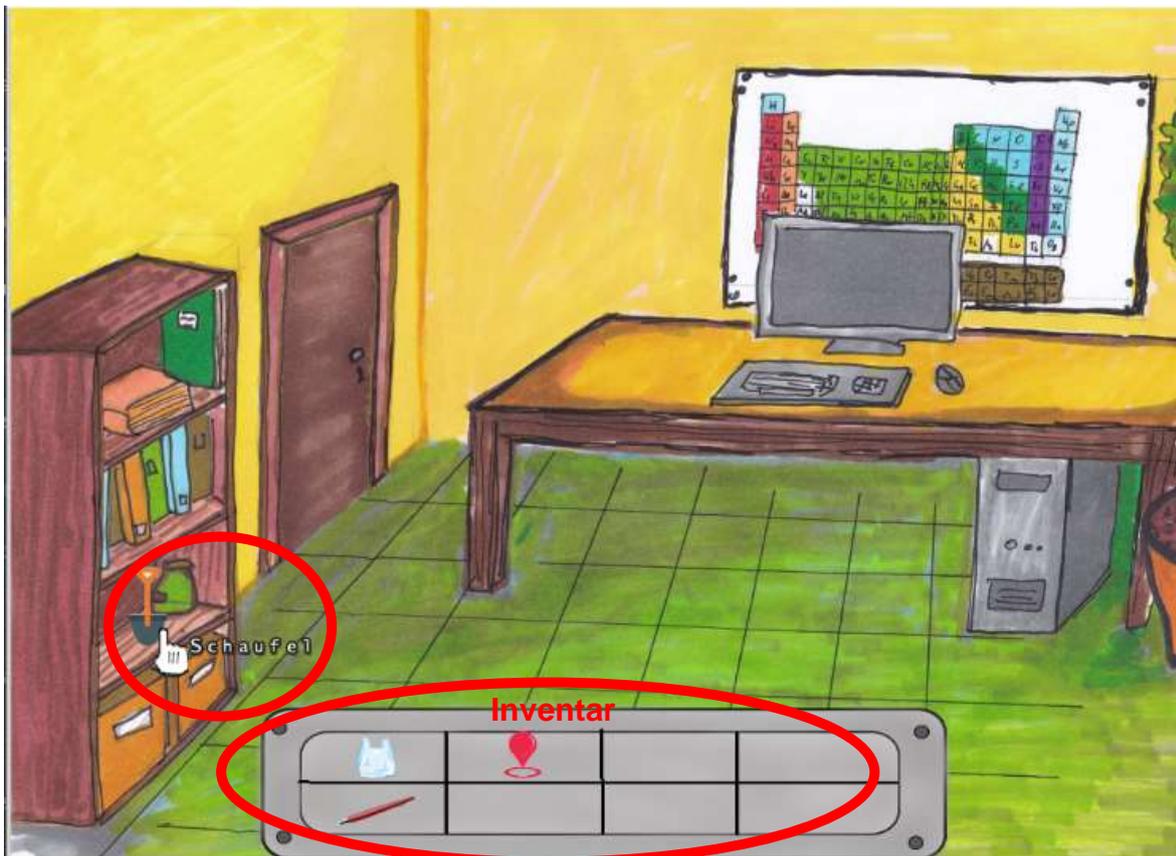


Abb. 21: Simulation – Raum1 – Einsammeln von Werkzeugen

Der nächste ‚Raum‘ in der Computersimulation umfasst einen der beiden Schwermetallstandorte. Ein Teil der Lernenden untersucht die Abraumhalde eines ehemaligen Kupferbergwerks (Schwermetall Kupfer), ein anderer Teil kann Proben auf einem natürlichen Serpentin-Standort (Schwermetall Nickel) entnehmen. Diese Auswahl wird bereits beim

Einstieg in die Computersimulation getroffen, die entsprechende Gruppeneinteilung erfolgt durch die Lehrperson.

Pro Standort werden jeweils eine Bodenprobe und eine Pflanzenprobe entnommen. Die Computersimulation gibt jedoch darüber Auskunft, dass für die Analyse jeweils drei Proben vorhanden sind. Die Probennahme wurde im Spiel gekürzt, um den Spielfluss aufrecht zu erhalten. In

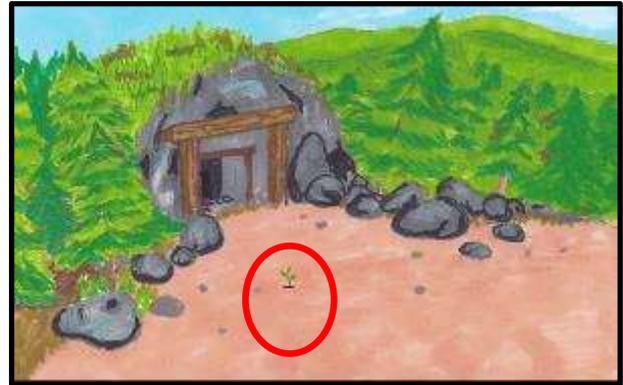


Abbildung 22 ist die Kupferhalde mit der Pflanzenprobe (rot markiert) zu sehen. Die

Lernenden müssen zunächst die Schaufel im Inventar auswählen und die markierte Pflanze anklicken. Danach wird die Pflanzenprobe mit Hilfe der Plastiktüte eingesammelt. Die Plastiktüte kann mit dem Stift beschriftet werden und erscheint nun ebenfalls im Inventar.

Zusätzlich zu der virtuellen Probenentnahme sind die Schüler*innen dazu aufgefordert, Daten zur Umgebung (Abbildung 23) wie etwa GPS-Koordinaten und generelle Informationen zur Vegetation und Bodenbeschaffenheit (Abbildung 24) in ihren Protokollen zu notieren. Diese Informationen lassen sich durch Anklicken des Hintergrundes in der Simulation mit Hilfe des GPS-Gerätes gewinnen. Abbildung 23 zeigt den Serpentinstandort mit den GPS-Koordinaten sowie mit dem Inventar.

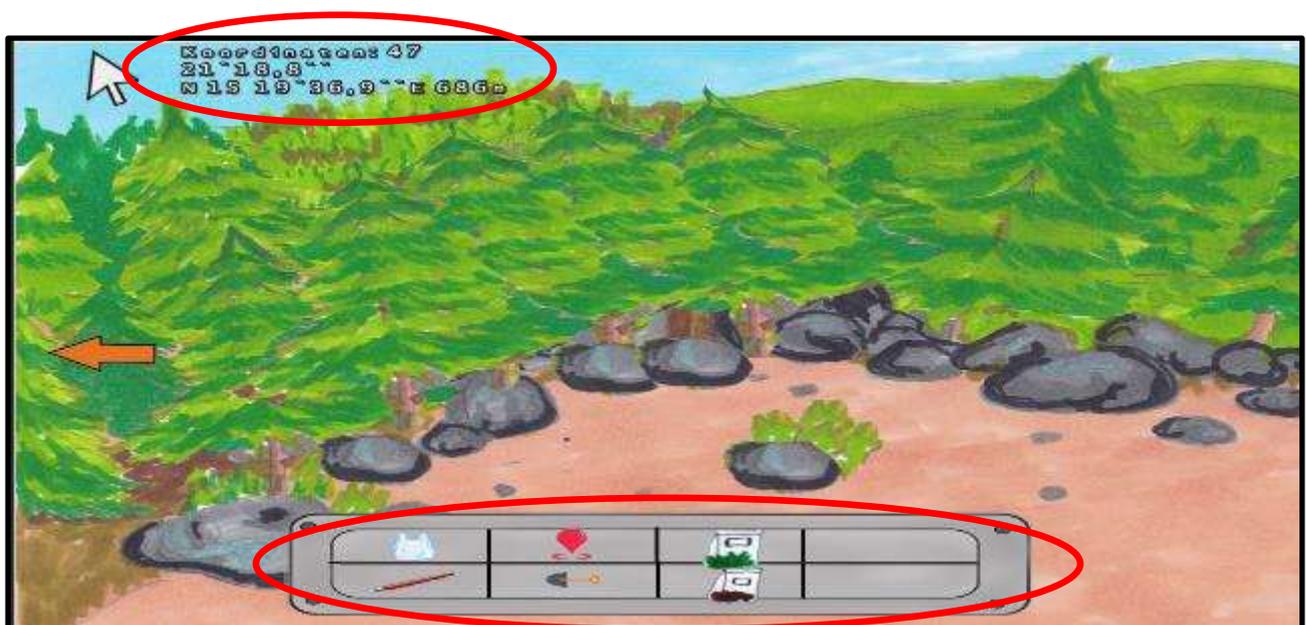


Abb. 23: Serpentinstandort - GPS-Koordinaten und Inventar mit eingesammelten Proben

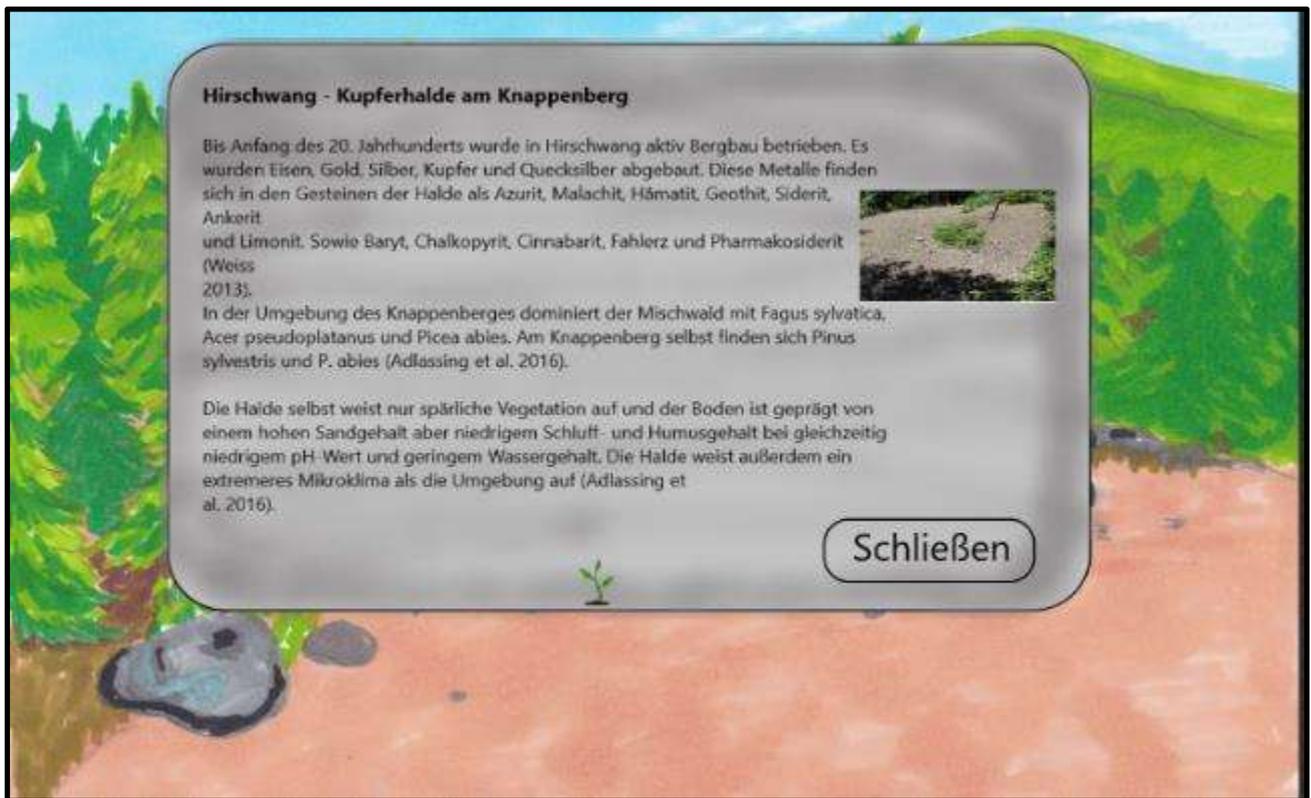


Abb. 24: Serpentinstandort - Informationstext zum Standort

Auf dem Vergleichsstandort können die Schüler*innen virtuell Pflanzen- und Erdproben aus einer Magerwiese in Flatz entnehmen. Auch hier sind jeweils Daten zur Umgebung und der genaue Ort im Protokollheft zu notieren.

Dieser Punkt wird bei Hodson (2014) als Einführung in naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden und Etablierung von Kontrolle und ‚best/good Practise‘ beschrieben. Relevant ist hierbei, den Schüler*innen diesen Teil des Forschungsprozesses bewusst zu machen.

Die Lernenden sollen einen Einblick in die Bedeutsamkeit der lückenlosen Dokumentation eines Forschungsprozesses bekommen. An dieser Stelle des Unterrichtprojektes sollte die Lehrperson die Computersimulation unterbrechen und ein konkretes Beispiel zur Diskussion bringen. Während der Testphase des Unterrichtprojektes wurde die Durchführung von Corona-Antigentests in der Klasse als Beispiel gewählt, da dieses Beispiel an eine unmittelbare Erfahrung der Schüler*innen anknüpft:

„In einer Schulklasse werden 25 Schüler*innen mit einem Antigentest getestet. Da es in kürze zur Pause läuten wird, bittet die Lehrperson alle Jugendliche ihre Tests zu beschriften und abzugeben. Leider vergessen 10 Schüler*innen ihren Test zu beschriften. Die Lehrerin stellt

fest, dass fünf dieser unbeschrifteten Tests positiv sind, kann die Testergebnisse aber nicht mehr zuordnen. Welche Konsequenzen hat dieser Fehler für die Klasse, wenn sich Schüler*innen in unmittelbarer Umgebung (laut Sitzplan) eines positiven Falles in Quarantäne begeben müssten. Wir gehen davon aus, dass keine weiteren Antigentests vorhanden sind. Wie könnte dieser Fehler vermieden werden?“

Der nächste Teil der Simulation zeigt den Lernenden die Probenaufarbeitung für das Elektronenmikroskop. Hierfür ist im Spiel eine Stoppsequenz mit einer Ordnungsaufgabe eingebaut. Die Schüler*innen finden eine ‚zerrissene‘ Arbeitsanleitung und müssen diese wieder zusammensetzen. Die Arbeitsanleitung soll auch in das Protokollheft übertragen werden. Durch das Zusammensetzen der Arbeitsanleitung müssen die Lernenden den Text bewusst lesen, um die richtige Reihenfolge der Abschnitte herauszufinden.

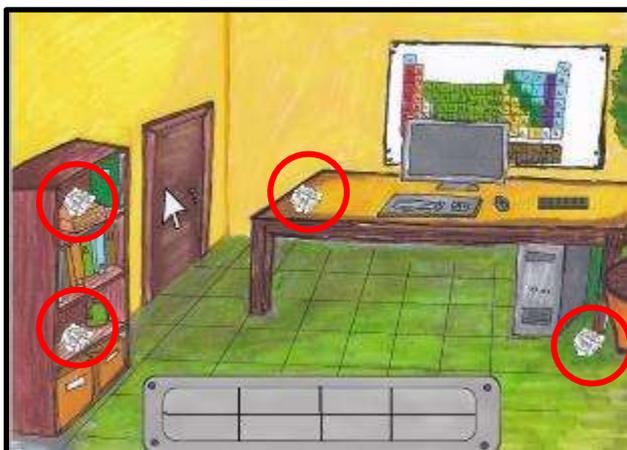


Abb. 26: Zerrissene Arbeitsanleitung

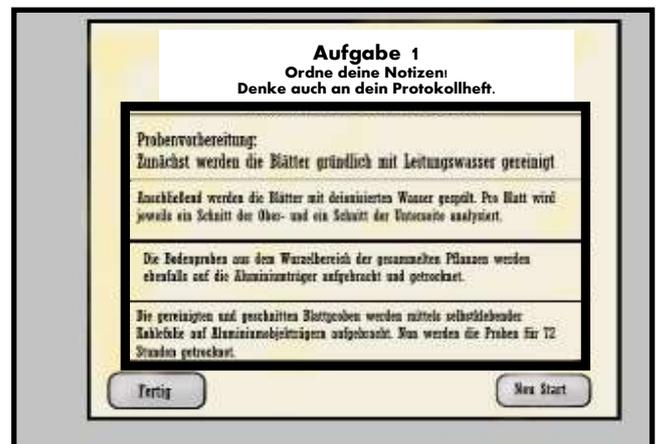


Abb. 25: Geordnete Arbeitsanleitung

Abbildung 26 zeigt die einzelnen Papierkugeln, welche durch Anklicken eingesammelt und anschließend richtig zusammengesetzt werden müssen. In Abbildung 25 ist die richtig zusammengefügte Anleitung zu sehen.

Im nächsten Abschnitt können die Schüler*innen innerhalb der Simulation virtuell die Pflanzenproben für die Analyse nach der vorangegangenen Anleitung vorbereiten. Hierzu müssen sie zunächst die Rasierklinge anklicken und mit ihr die Pflanzenprobe zerschneiden. Im Anschluss werden die Pflanzenproben auf dem Objektträger aufgetragen (Abbildung 28). Um den Habitus der untersuchten Pflanze im Protokollheft festhalten zu können, klicken die Lernenden das „Foto“ an. Wie in Abbildung 27 zu sehen ist, erhalten die Schüler*innen so eine Beschreibung der Pflanze.

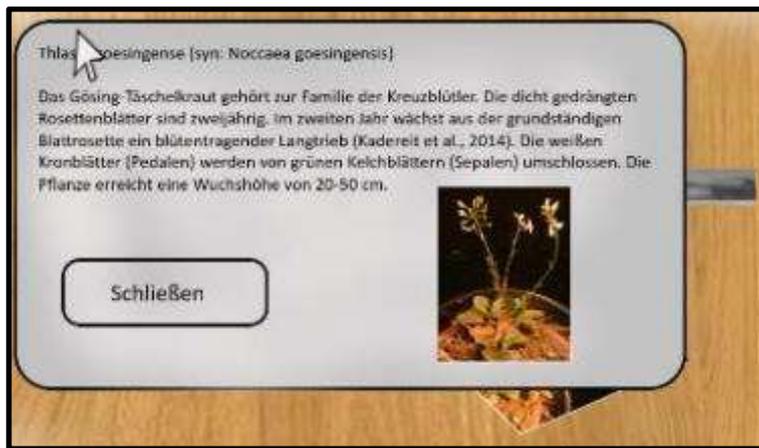


Abb. 28: Informationsblatt zur untersuchten Pflanze

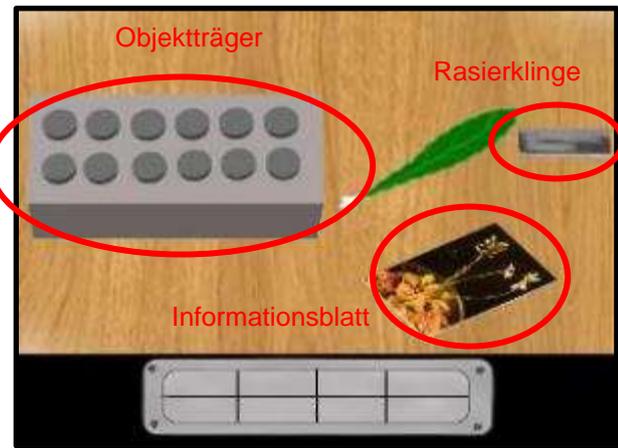


Abb. 27: Probenvorbereitung

Für die Sekundarstufe I sollten an diesem Punkt die Begriffe ‚Familie‘ und ‚Gattung‘ geklärt werden, da diese aus dem Unterricht noch nicht bekannt sind. Abbildung 29 zeigt die passende Seite aus dem Protokollheft.

Pflanzenprobe

 Du bereitest gerade deine gesammelten Pflanzenproben für die Analyse vor. Auf deinem Arbeitsplatz findest du einen Steckbrief deiner Pflanze. Notiere dir hier wichtige Eckpunkte:

Name:	
Familie:	
Gattung:	
Wuchshöhe:	

Beschreibung (Wie sieht die Pflanze aus?)

Abb. 29: Auszug aus dem Protokollheft

Der nächste Abschnitt umfasst die Untersuchungsmethode. Da in der Simulation die Untersuchungsmethode (Rasterelektronenmikroskop mit EDX-Analyse) vorgegeben ist, wird mit einem kurzen Video eine alternative Untersuchungsmethode (saurer Aufschluss) vorgestellt. Dieser Punkt wird auch von Lederman et al. (2019) als eine der Verständnisschwierigkeiten von Lernenden über NOSI angeführt (‚Multiple Methods of Scientific Investigations‘ – Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode). Daher sollte dieser Abschnitt auch im Plenum besprochen und betont werden. Dabei ist es

wichtig den Schüler*innen einen Einblick in verschiedene Abläufe von naturwissenschaftlichen Untersuchungen zu geben. Sie sollen erkennen, dass es je nach Forschungsfrage und Untersuchungssetting unterschiedliche Herangehensweisen an Problemstellungen existieren. Anhand eines Beispiels soll thematisiert werden, dass es im naturwissenschaftlichen Kontext keine lineare Abfolge von Schritten gibt, die immer zu den gleichen Ergebnissen führt.

Da das Video für die Sekundarstufe I sprachlich anspruchsvoll ist, wird es den Schüler*innen zweimal gezeigt und im Anschluss besprochen. In der Sekundarstufe II kann die Bearbeitung der im Protokollheft gestellten Aufgaben im Selbststudium erfolgen.

Im Protokollheft finden die Lernenden zwei Fragen zu der im Video vorgestellten Untersuchungsmethode. In Abbildung 30 ist der betreffende Auszug aus dem Protokollheft zu sehen. An dieser Stelle wird den Lernenden auch ein Überblick über die Untersuchung der Pflanzenproben mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops gegeben. Die Lehrperson soll an dieser Stelle die Begriffe „Gewichtsprozent“, „Elementzusammensetzung“ und „Nachweisgrenze“ erklären.

Untersuchungsmethode

Die Untersuchung mittels Rasterelektronenmikroskop gekoppelt mit einer EDX-Analyse ist eine Möglichkeit Boden- und Pflanzenproben zu analysieren. Hierbei erfahren wir die Elementzusammensetzung der Proben, die in Gewichtsprozent angegeben wird (g/kg). Die Probenaufarbeitung ist relativ einfach und die Analyse sehr rasch. Allerdings steht nicht immer ein Rasterelektronenmikroskop zur Verfügung und die Untersuchungsmethode ist ungenau (Nachweisgrenze: 0,1 Gewichtsprozent).

In der Forschung gibt es unterschiedliche Möglichkeiten eine Untersuchung durchzuführen. Eine weitere Möglichkeit Pflanzen- und Bodenproben auf Schwermetalle zu untersuchen, findest du in diesem Video:

„Diese Pflanze „erntet“ Nickel“ <https://www.youtube.com/watch?v=D8q-pjgB30Y>

In diesem Video wird der Nickelgehalt schon am Feld ungefähr bestimmt. Erkläre kurz welches Gerät hierfür notwendig ist. Welchen Vorteil hat diese Art der Schwermetallbestimmung? (Minute 1:36)

Abb. 30: Auszug aus dem Protokollheft – Untersuchungsmethode

Die Lehrperson soll an dieser Stelle des Unterrichtsprojektes die Vor- und Nachteile der besprochenen Schwermetalluntersuchungsmethoden thematisieren.

In der nächsten Sequenz müssen die Schüler*innen einige Informationen über Schwermetallstandorte, Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskop sowie Schwermetallpflanzen zusammentragen. Diese Informationen werden in der Simulation zum Freischalten des Rasterelektronenmikroskops benötigt.

Abbildung 31 zeigt die Rätselaufgaben. Die einzelnen Rätsel können durch Anklicken der Blätter geöffnet werden. Die Reihenfolge ist hierbei frei wählbar.

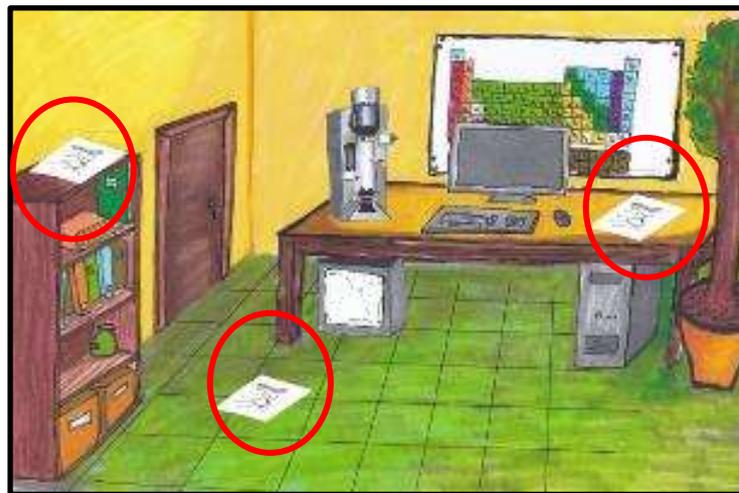


Abb. 31: Blätter mit Rätselaufgaben

Folgende Aufgaben müssen die Schüler*innen erfüllen, um den Zugangscod für das Rasterelektronenmikroskop zu erhalten.

1. Schwermetalle im Periodensystem

Das erste Rätsel umfasst eine Suchaufgabe: Die Lernenden müssen mit Hilfe einer Internetrecherche Fragen beantworten und die betreffenden Elemente im Labor finden. Die Lösung erhalten die Lernenden durch Anklicken der betreffenden Elemente (Kupfer, Cadmium und Quecksilber) im Periodensystem. Hierbei lernen die Schüler*innen ein für den Menschen wichtiges Spurenelement (Kupfer) und ein toxisches Schwermetall (Cadmium) kennen. Das Element Quecksilber wurde gewählt, da es bereits in der 6. Schulstufe im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts besprochen wurde. Abbildung 31 zeigt die Suchaufgabe innerhalb der Simulation.

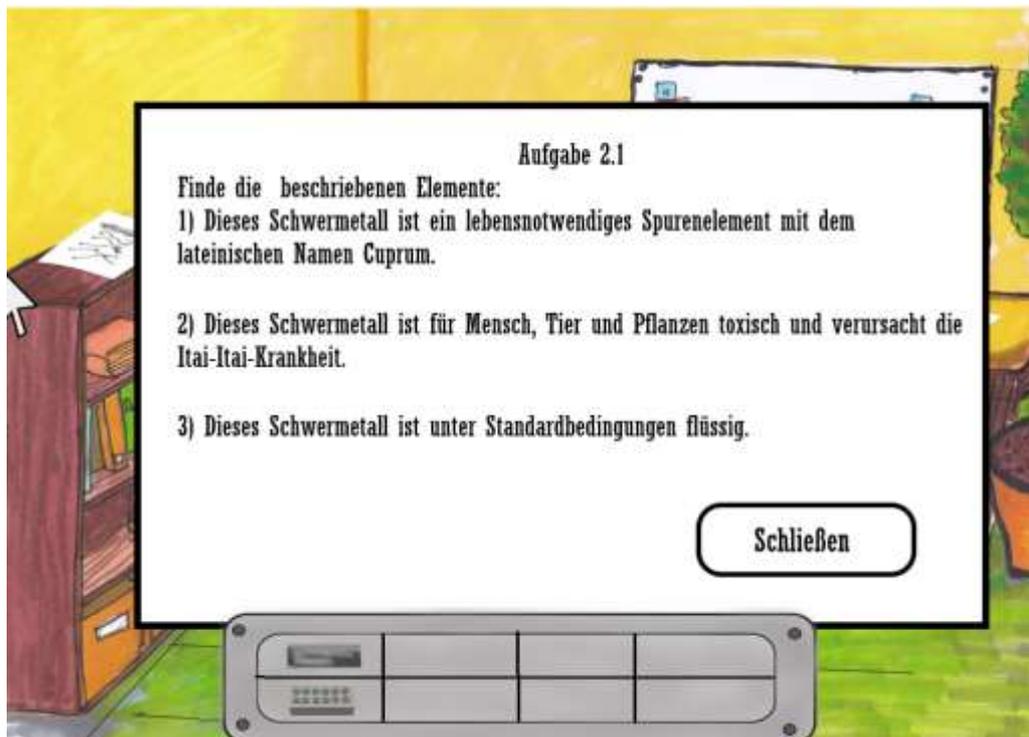


Abb. 32: Simulation – Suchaufgabe ‚Elemente‘

Abbildung 32 zeigt das im Spiel abrufbare Periodensystem. Hierzu muss auf das Periodensystem im Hintergrund des Labors geklickt werden. Werden die richtigen Elemente ausgewählt erhalten die Lernenden die ersten zwei Ziffern des Codes (Abbildung 33)

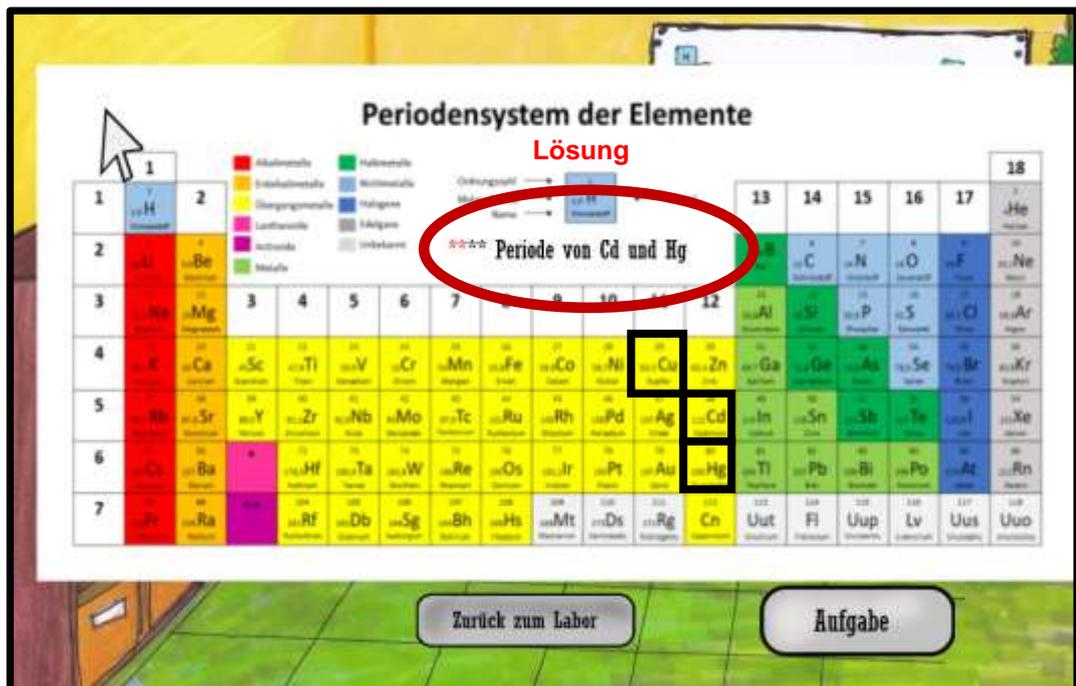


Abb. 33: Periodensystem- Lösung

2. Schwermetallstandorte

Der zweite Rätselteil (Abbildung 34) befasst sich mit Schwermetallstandorten. Hier sollen die Schüler*innen den Input über Metallophyten und Schwermetallstandorte aus der Vorbereitung wiederholen. Die Fragen betreffen die Lehrziele der Handlungsdimension ‚Wissen organisieren – Recherchieren, Darstellen, Kommunizieren‘:

- Die Schüler*innen können die drei Arten von Schwermetallstandorten nennen.
- Die Schüler*innen können primäre, sekundäre, und tertiäre Schwermetallstandorte anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen unterscheiden.
- Die Schüler*innen kennen die drei Arten der Metallophyten und können diese benennen.
- Die Schüler*innen können Metallophyten anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen den Kategorien Exkluder, Indikator und Akkumulator zuordnen.

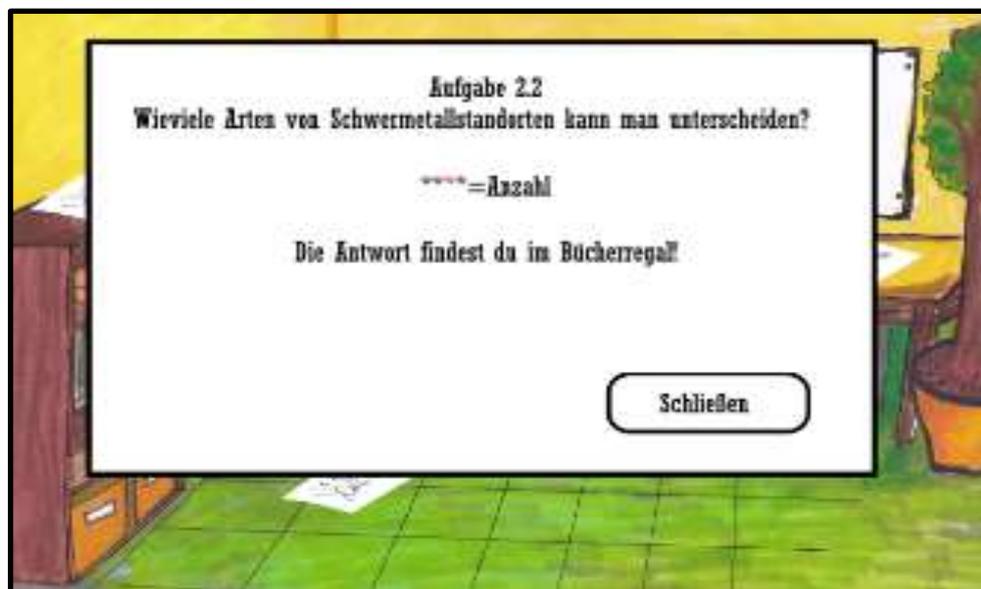


Abb. 34: Rätsel 2 - Schwermetallstandorte

Die Lernenden haben die Möglichkeit, die nötigen Informationen direkt in der Computersimulation aus dem ‚Bücherregal‘ abzurufen oder den Infotext im Protokollheft zu lesen. Abbildung 35 zeigt die Informationen über

Schwermetallstandorte aus dem Protokollheft. Die Anzahl der Schwermetallstandorte ergibt eine weitere Ziffer des Zugangscode.

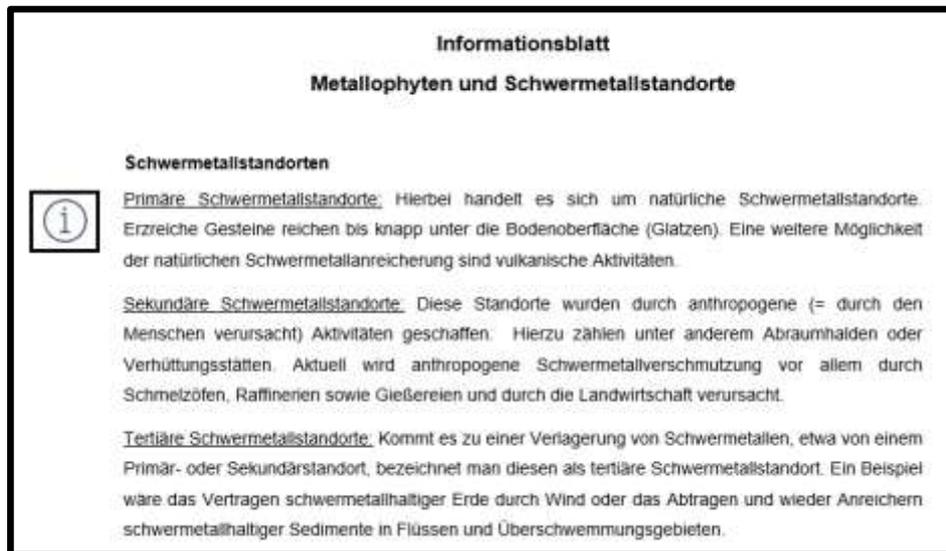


Abb.: 35: Informationen über Schwermetallstandorten im Protokollheft

3. Funktionsweise eines Rasterelektronenmikroskops – Lückentext im Protokollheft. Das dritte Rätsel führt die Lernenden zu einer Internetseite der Universität Wien, die Informationen über die Funktionsweise und Anwendungsgebiete des Rasterelektronenmikroskops gibt.
- Dieser Abschnitt betrifft das Lehrziel der Handlungsdimension ‚Erkenntnisse gewinnen‘ (Fragen, Untersuchen, Interpretieren)
- Die Schüler*innen Problemstellungen mithilfe von naturwissenschaftlichen Untersuchungen (Elektronenmikroskop in dem Spiel) bearbeiten.

Für das Rätsel selbst genügt es, das Wort ‚Electron‘ im Text zu zählen. Allerdings soll im Protokollheft zusätzlich ein Lückentext über die Funktion eines Rasterelektronenmikroskops ausgefüllt werden. Da die Internetseite auf Englisch verfasst ist, wird diese in der Sekundarstufe I gemeinsam übersetzt. Die Sekundarstufe II sollte hier keine sprachlichen Probleme haben (Abbildungen 36 und 37).

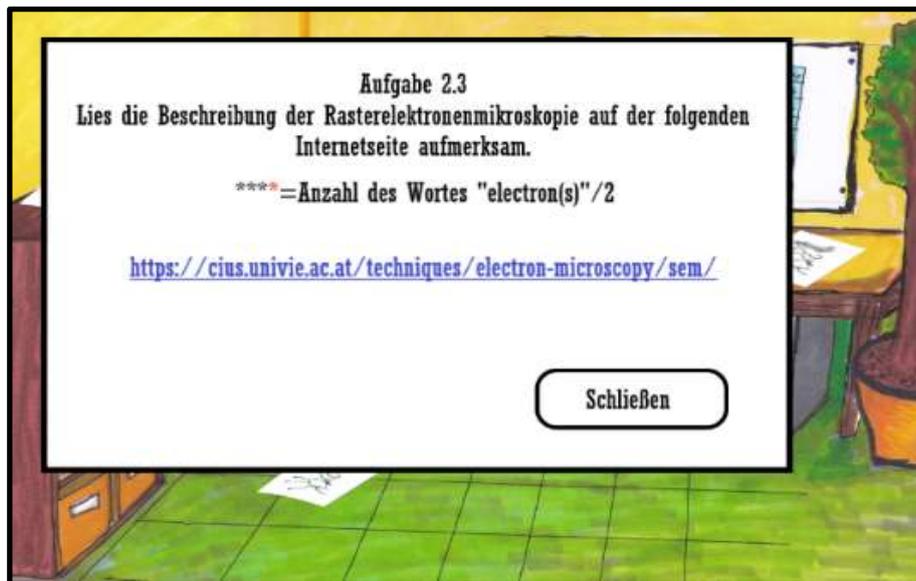


Abb. 36: Rätsel – Rasterelektronenmikroskop

Wie funktioniert ein Rasterelektronenmikroskop?



Ergänze den folgenden Lückentext (In der Computersimulation findest du einen Hinweis auf eine Website der Universität Wien, dort findest du sicher Hilfe):

i

Mithilfe der Rasterelektronenmikroskopie können feinste _____ dargestellt werden. Hierzu wird ein _____ Pixel für Pixel über die Probe geführt. So kann nicht nur ein Bild errechnet werden, sondern es kann auch die Elementzusammensetzung bestimmt werden. (z.B.: Die Probe enthält 10 Prozent Kohlenstoff und 5 Prozent Eisen etc.).

Da die Analyse unter Hochvakuum (10^{-5} bis 10^{-7} bar) stattfindet, müssen die Proben vollkommen _____ werden. Unvollständig getrocknete Proben würden das Vakuum und somit die Analyse beeinträchtigen.

Elektronenstrahl, Oberflächenstrukturen, getrocknet,

Abb. 37: Auszug aus dem Protokollheft: Lückentext – Rasterelektronenmikroskop

Wenn die Schüler*innen alle Teilaufgaben erledigt haben, erhalten sie ein Passwort. Danach können sie die Proben virtuell mithilfe des Rasterelektronenmikroskops analysieren und erhalten danach den Zugang zu den Analyseergebnissen.

5.5 Reflexionsphase

Hodson (2014) beschreibt die Reflexionsphase als einen Schlüsselpunkt für das Verständnis der Schüler*innen über NOSI. Die Lernenden sollen an dieser Stelle lernen, Daten hinsichtlich ihrer Validität und Reliabilität zu bewerten. Diesen bedeutsamen Punkt sprechen auch Lederman et al (2019) in den definierten Teilaspekten von NOSI an. Zum einen sollen Schüler*innen den Umgang mit abweichenden Ergebnissen in der Forschung kennenlernen. Zum anderen sollen sie den Unterschied zwischen Daten und Belege im naturwissenschaftlichen Kontext erfahren.

Dieser Punkt spiegelt sich in den Lehrzielen unter der Handlungsdimension ‚Erkenntnisse gewinnen‘ (Fragen, Untersuchen, Interpretieren) wider:

- Schüler*innen können mit den zur Verfügung gestellten Daten eine zuvor aufgestellte Hypothese zu den Schwermetallstandorten bestätigen oder verwerfen. (z. B.: Hier wachsen nur Pflanzen, die den Schwermetallstress aushalten. Viele Schwermetalle sind toxisch für Pflanzen.)

Die Schüler*innen erhalten hierfür im Zuge des Projektes echte Analyseergebnisse aus einem Bachelorpraktikum der Universität Wien. Für die Sekundarstufe I wurden die Daten gekürzt, um den Lernenden ein übersichtliches Arbeiten zu ermöglichen.

Die Schüler*innen finden im Protokollheft Informationen zur statistischen Auswertung sowie einen Leitfaden für die Bedienung von Excel. Die Schüler*innen der Sekundarstufe I sollen an diesem Punkt den Mittelwert der gesuchten Schwermetalldaten berechnen und in das Protokollheft übertragen. Für die Sekundarstufe II ist zusätzlich die Standardabweichung als statistisches Tool geplant.

Statistische Auswertung



Einzelne Analysedaten liefern noch keine validen/gesicherte Ergebnisse. Erst durch die Analyse mehrerer Proben und eine statistische Auswertung können Tendenzen abgelesen und Aussagen getätigt werden.

Für deine Forschungsarbeit musst du den Mittelwert deiner Messergebnisse und anschließend den Transferfaktor berechnen:

Mittelwert: ist der statistische Durchschnittswert. Hierfür addiert man alle Werte eines Datensatzes und teilt die Summe durch die Anzahl aller Wert.

In Excel findest du diese Funktion unter dem Punkt Statistik:

Abb.38: Auszug aus dem Protokollheft – Statistische Auswertung

Des Weiteren sollen die Lernenden den Transferfaktor für die Metalle Nickel und Kupfer für jeweils den Neutralstandort und den Schwermetallstandort berechnen. Auch hier finden sie eine Bearbeitungshilfe im Protokollheft. Zusätzlich wird im Plenum ein Beispiel an der Tafel gerechnet und die Unterschiedlichen Transferfaktoren in der Schwermetallanalyse und ihre Bedeutung mit der Klasse besprochen (Abbildung 39).

Jetzt kennst du den mittleren Schwermetallgehalt der Boden- und Pflanzenproben. Allerdings sehen wir noch nicht wie viel der vorhandenen Schwermetalle aus dem Erdreich in die oberirdischen Pflanzenteile aufgenommen werden. Hierzu musst du den Transferfaktor berechnen (Bodenkonzentration/Blattkonzentration). Übertrage deine Ergebnisse in folgende Tabelle:

Standort: _____

Transferfaktor (Blatt/Boden)	
Schwermetall:	Kupfer
Blattprobe	
Erdproben	
Transferfaktor	

Standort: _____

Transferfaktor (Blatt/Boden)	
Schwermetall:	Kupfer
Blattprobe	
Erdproben	
Transferfaktor	

Abb. 39: Auszug aus dem Protokollheft – Berechnung von Transferfaktoren

Um den Schüler*innen die weitere Arbeit zu erleichtern, werden alle Ergebnisse noch einmal im Plenum besprochen und im Protokoll durch die Lernenden zusammengefasst. Abbildung 40 zeigt die passende Protokollheftseite. Hier sollen die Lernenden nun auch ihr Wissen über Schwermetallpflanzen zeigen. Nach der Berechnung des Transferfaktors sollen sie entscheiden, ob es sich bei der untersuchten Pflanze um einen Exkluder, Akkumulator oder Indikator handelt.

Ergebnisse im Überblick:

In den Erdproben wurden folgende Schwermetalle gefunden:

	Neutralstandort	Schwermetallstandort
Schwermetall		
Gewichtsprozent		

Man sieht, dass _____

In den Blattproben konnten folgende Schwermetalle nachgewiesen werden:

Pflanzenname: _____

	Neutralstandort	Schwermetallstandort
Schwermetall		
Gewichtsprozent		

Aufgrund des errechneten Transferfaktors (Boden/Blatt) von _____
_____ handelt es sich um einen

- Exkluder
- Akkumulator
- Indikator

Abb. 40: Auszug aus dem Protokollheft – Ergebnisse der Transferfaktoren sowie erste Interpretation Literatur für Schüler*innen

Im nächsten Schritt der Reflexionsphase sollen die Schüler*innen ihre Ergebnisse mit zur Verfügung gestellter Fachliteratur vergleichen. Da das Lesen naturwissenschaftlicher Artikel komplex ist, werden hierfür gestufte Lesehilfen nach Leisen (2005) bereitgestellt. Lesehilfen dienen zur Förderung des Selbstlernens und sollen in diesem Fall ein Gefühl der Überforderung verhindern.

Für die Sekundarstufe I wurden die Texte gekürzt und vereinfacht. Die Sekundarstufe II erhält die Originalartikel als Ausgangspunkt. Die Abbildungen 41 und 42 zeigen zwei Lesehilfen für die Sekundarstufe I.

Lesehilfe 1 – Fragen zum Text

Versuche folgende Fragen zu beantworten, um einen Überblick über den Text zu erhalten:

1. Wer hat den Artikel verfasst und wo/wann wurde er veröffentlicht?
2. Welche Pflanzen wurden untersucht?
3. Was wurde untersucht? (Pflanzenteile, Bodenproben, Schwermetallgehalt etc.?)
4. Warum wurde die Untersuchung durchgeführt?
5. Welche Analyseverfahren wurde gewählt?
6. Welche Schlussfolgerung ist für deine Arbeit relevant? Welche Ergebnisse lieferte die Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) für *Thlaspi goesingense* in Bezug auf Nickel?
7. Welche Wörter sind unklar/ kenne ich nicht?

Abb. 41: Lesehilfe – Fragen zum Text

In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 37:326-329, May-June 2001 DOI: 10.1079/IVP2000159 q 2001 Society for In Vitro Biology
1054-5476/01 \$10.0010.00

Übersetzung aus dem Englischen und vereinfacht für den Unterricht von Stephanie Kolber

SONDERSYMPIOSIUM: PHYTOMEDIATION

NICKEL-HYPERAKKUMULATION IN *THLASPI GOESINGENSE*: EIN WISSENSCHAFTLICHER
REISEBERICHT

DAVID E. SALT*

Fachbereich Chemie, Universität Northern Arizona, Flagstaff, AZ 86011

(Eingereicht am 1. September 2000; angenommen am 10. Oktober 2000; Herausgeber R. H. Smith)

Zusammenfassung

In den letzten 6 Jahren hat meine Forschungsgruppe versucht, die molekulargenetischen Grundlagen der Nickel-Hyperakkumulation in *Thlaspi goesingense* zu entschlüsseln. Unser langfristiges Ziel ist es, die von uns identifizierten Gene für die Veränderung von Pflanzen zum Zweck der Phytomediation zu nutzen (Salt et al., 1998). Hierzu wurden die in Österreich (Redschlag) gesammelten Pflanzen zunächst mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) untersucht. Auch die Bodenproben im Wurzelbereich wurden so untersucht. Die Untersuchung ergab einen signifikant höheren Nickelgehalt in der Pflanze als in der Bodenprobe. Dies zeigt, dass es sich bei *T. goesingense* um einen Hyperakkumulator handelt. Im Labor wurden gesammelte Samen von *T. goesingense* zum Keimen gebracht und mit der verwandten nichtakkumulierenden *T. arvense* hydroponisch angebaut. *T. goesingense* reichert hierbei um 70% mehr Nickel an als die Vergleichspflanze. Die Nickelaufnahme durch die zugesetzte Lösung wurde in beiden Pflanzen gemessen. Mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) wurde festgestellt, dass Nickel vor allem in der Zellwand der Pflanze angereichert wird. Auch in den Vakuolen wird ein Teil des Nickels gespeichert. Weiters wurden drei Metal-Transportproteine gefunden. Aufbauend auf den gefundenen Erkenntnissen soll die Fähigkeit zur Hyperakkumulation zukünftig in Pflanz gentechnisch eingebaut werden. Diese Pflanzen können so zur Phytomediation genutzt werden.

Abb. 42: Lesehilfe 2 – Vereinfachter Text mit Markierungen zur Beantwortung der Fragen aus Lesehilfe 1.

Jede Gruppe erhält, je nach analysiertem Standort, einen passenden Artikel.

Zusätzlich zu den gestuften Lesehilfen wird das Thema ‚Fachliteratur‘ im Protokollheft aufgegriffen. Hier wird der Aufbau naturwissenschaftlicher Literatur erklärt und Hinweise zum Umgang mit Fachliteratur werden gegeben. Die Schüler*innen sollen eine Lesetechnik (Fragen and den Text) kennenlernen und versuchen ihre eigenen Untersuchungsergebnisse mit den Ergebnissen aus der Fachliteratur zu vergleichen. Das Protokoll greift in diesem Fall die von Hodson (2014) genannten Punkte zu naturwissenschaftlichem Arbeiten auf. Die Lernenden sollen erkennen, dass es sich bei Publikationen um eine Rekonstruktion des generierten Wissens handelt, die die wissenschaftliche Community von den dargestellten Ergebnissen überzeugen soll. Außerdem wird auf die Nachvollziehbarkeit des dargestellten Forschungsprozesses und auf die Darstellung und Interpretation von Daten in naturwissenschaftlichen Artikeln eingegangen. Dieser Abschnitt des Unterrichtprojektes betrifft die Handlungsdimension ‚Konsequenzen ziehen‘ (Bewerten, Entscheiden, Handeln) mit den folgenden Lehrzielen:

- Die Schüler*innen können aufgrund der im Unterricht besprochenen Kriterien, naturwissenschaftlicher von nicht -naturwissenschaftlicher Literatur unterscheiden.
- Die Schüler*innen können aufgrund der in der Unterrichtseinheit explizit besprochenen Bestandteile des naturwissenschaftlichen Arbeitens, naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen unterscheiden.

Den Schüler*innen wird folgende Literatur zur Verfügung gestellt.

- Salt, D., (2001) „Nickel-Hyperakkumulation In Thlaspi Goessingense: Ein naturwissenschaftlicher Reisebericht“ In Vitro Cell. Dev. Biol.Plant 37:326-329
- Mladek, C., Sieghardt, H., (2002) „Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an Silene vulgaris subsp. glareosa - Besiedler schwermetallhaltiger Kalk-Schutthalden des Südostalpenraums“ In Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 139 (2002):109-121

Die gestuften Lesehilfen sind wie in Tabelle 2 beschrieben aufgebaut.

Sekundarstufe I	Sekundarstufe II
Vereinfachter Text	Originaltext
Fragen zum Text	Vereinfachter Text
Text mit Markierungen	Fragen zum Text
Fragen mit Antworten = Lösungen	Text mit Markierungen
	Fragen mit Antworten = Lösungen

Tabelle 2: Lesehilfen

Die Lösungen liegen bei dieser Art der gestuften Lesehilfen am Lehrertisch auf und die Schüler*innen haben die Möglichkeit, Antworten auf die in Lesehilfe 1 gestellten Fragen zu überprüfen.

Die Texte wurden nach Lesbarkeit sowie deren Aufteilung ausgewählt. Die Schüler*innen sollen die im Protokoll angesprochenen Bestandteile einer naturwissenschaftlichen Publikation auch in der zur Verfügung gestellten Literatur wiederfinden.

Auf den nächsten Seiten werden Auszüge aus dem Protokollheft zur Bearbeitung der Fachliteratur dargestellt. Die Schüler*innenliteratur sowie die gestuften Hilfen befinden sich im Anhang.

Auszüge aus dem Protokollheft:

Reflexionsphase 2

Du hast deine gewonnenen Daten statistisch ausgewertet und interpretiert und bist nun bereit, sie mit bereits vorhandenen Analyseergebnissen zu vergleichen. Lies hierzu den Artikel „Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an dem Taubenkopf-Leimkraut (*Silene vulgaris* subsp. *Glareosa* – Besiedler) schwermetallhaltiger Kalkschutthalden des Südostalpenraumes“ von Mladek C. und Sieghardt M. (2002) (Ordner ‚Literatur‘). Das Nickende-Leimkraut (*Silene nutans*) wurde in Schwermetalluntersuchungen bisher wenig beachtet, allerdings kann aufgrund der nahen Verwandtschaft für dieses Projekt ein Vergleich mit *Silene vulgaris* hergestellt werden. Bitte erwähne diesen Umstand in deinen Schlussfolgerungen.

Zu welchen Ergebnissen kamen Mladek und Sieghardt?

Stimmen deine Ergebnisse mit den Ergebnissen aus der Literatur überein oder kommst du zu einer anderen Schlussfolgerung?

Lesehilfe für naturwissenschaftliche Artikel



Wissenschaftliche Artikel können auf den ersten Blick sehr komplex wirken. Daher ist es wichtig, dass du deren Aufbau kennst.

1. Title/ Untertitel

Der Titel sollte das Thema des Artikels widerspiegeln und das Interesse der Leser*innen wecken. Darunter werden die Autor*innen mit entsprechenden Instituten genannt.

2. Abstract

Der Abstract ist eine kurze Zusammenfassung des Artikels und soll den Leser*innen einen Überblick über die Ziele, Methoden und Erkenntnisse dieser Arbeit geben. Alle wichtigen Punkte des Artikels werden hier wiedergespiegelt (Fragestellung, Probennahme und Methode, Resultate, Schlussfolgerungen sowie Anwendungsmöglichkeiten).

3. Einleitung

Hier sollen die Leser*innen einen Einblick in das Themengebiet erhalten und zum Kernthema der Arbeit hingeführt werden. Die Relevanz (= Wichtigkeit) der Fragestellung und die Hypothese werden hier angeführt. Es können außerdem bereits vorhandene Arbeiten zum behandelten Thema angeführt werden. In der Einleitung werden auch die Ziele der Forschung angeführt und erläutert.

4. Methode

Hier wird die gewählte Untersuchungsmethode beschrieben. Es wird angeführt, warum gerade diese Methode gewählt wurde und warum sie für die Untersuchung angemessen ist. Es werden Stichproben, Materialien, Durchführung und Datenanalyse so beschrieben, dass sie jederzeit wiederholt und überprüft werden können.

5. Resultate

In den Resultaten werden die Analyseergebnisse sowie die statistischen Auswertungen dargestellt.

6. Diskussion

Hier werden die gewonnenen Resultate mit der eingangs gestellten Hypothese verglichen und in den aktuellen Forschungsstand einbezogen. Die Resultate sollen interpretiert werden und deren Bedeutung hervorgehoben werden. Am Ende soll eine klare ‚Take-Home-Message‘ formuliert werden. In manchen Artikeln folgt auf die Diskussion ein Resümee bzw. eine Conclusio. In diesem Fall werden die gewonnenen Erkenntnisse und methodischen Schlussfolgerungen dort festgehalten. An dieser Stelle sollen auch die Grenzen der gewählten Untersuchungsmethode und mögliche Fehlerquellen besprochen werden.

7. Referenzen

Das Literaturverzeichnis enthält alle im Text erwähnten Quellen und soll für die Nachvollziehbarkeit der Arbeit sorgen. Außerdem wird die Arbeit von Kolleg*innen gewürdigt und bewiesen, dass man beim Verfassen des Artikels den aktuellen Forschungsstand miteinbezogen hat.

8. Anhang

Hier werden Materialien/Daten angeführt, die für den Hauptteil zu umfangreich sind.

Quelle:

https://www.phdl.at/fileadmin/user_upload/2_Forschung/Dokumente/Struktur_wissenschaftlicher_Publicationen.pdf (13.09.2021)

Achtung! Stößt du auf Quellen, die Ergebnisse präsentieren, ohne die Methode zu erläutern, oder sehr reißerisch, aber unpräzise formuliert sind, handelt es sich wahrscheinlich nicht um naturwissenschaftliche Arbeiten.



Tipps zum Lesen von naturwissenschaftlichen Artikeln

- Lies immer zuerst den Abstract. Hier gewinnst du einen Überblick über die Arbeit.
- Überfliege den Text, um den Aufbau kennen zu lernen.
- Lies den Text zielgerichtet. Du möchtest bestimmte Details aus dem Text erhalten. Stell dir hierzu Fragen.
- Sei nicht frustriert, wenn du nicht alles verstehst. Oft erscheinen Formulierungen in der Fachsprache kompliziert. Das geht anderen Schüler*innen und Student*innen auch so! Je mehr du dich in ein Thema einliest, desto leichter wird dir das Lesen von naturwissenschaftlichen Artikeln fallen.
- Mach dir Notizen zu wichtigen Fremdwörtern.
- Besprich den Text mit Kollegen und Kolleginnen.
- Markiere wichtige Passagen und arbeite mit Randnotizen (Textstellen, die du noch einmal nachschlagen willst oder Vergleiche mit anderen wissenschaftlichen Artikeln).
- Nutze die Suchfunktion in PDF-Dokumenten deiner ausgewählten Literatur, um Schlagwörter zu finden.
- Solltest du selbst eine längere Arbeit verfassen, sieh dir die Literaturreferenz an. Im Literaturverzeichnis findest du oft weitere Quellen, die dir weiterhelfen können.

5.6 Veröffentlichungsphase

Den Abschluss des Projektes bildet die Veröffentlichungsphase. Hodson (2014) nennt diesen Abschnitt ‚Recording and Reporting‘. Die Schüler*innen sollen hier das gesamte Projekt aufzeichnen. Unter diesem Punkt fallen der Arbeitsablauf, die gesammelten Daten sowie Interpretation und Conclusio. Auch hier ist es bedeutsam, die Lernenden auf die Relevanz von ‚good Practice‘ hinzuweisen und sie auch dazu anzuhalten, Fehler und offene Fragen zu dokumentieren.

Die Lehrperson soll an dieser Stelle des Unterrichtprojektes ein praktisches Beispiel eines wissenschaftlichen Fachsymposiums nennen und dessen Ablauf kurz schildern.

Für die Sekundarstufe I soll in diesem Abschnitt ein Poster gestaltet werden. Die Sekundarstufe II erstellt eine PowerPoint-Präsentation und bereitet einen Vortrag vor.

Im Protokollheft werden die einzelnen Punkte zur Gestaltung der Poster aufgezählt (Abbildung 43).

Veröffentlichungsphase

Du hast dein Forschungsprojekt abgeschlossen und deine Ergebnisse mit der Arbeit anderer Wissenschaftler*innen verglichen. Jetzt ist es an der Zeit deine Resultate zu präsentieren. Erstellt in eurer Forschergruppe ein Poster.

Folgende Punkte sollt ihr kurz erklären:

- 1) Eure Forschungsfrage
- 2) Die Methode (Was wurde analysiert? Wie wurde es analysiert? Wie viele Proben gab es?)
- 3) Eure Ergebnisse (Durchschnittlicher Kupfergehalt der Blatt- und Bodenproben beider Standorte)
- 4) Eure Schlussfolgerung (Handelt es sich bei der Pflanze um einen Exkluder, Indikator oder (Hyper)Akkumulator? Warum sind eure Forschungsergebnisse wichtig? Was könnte mit diesen Pflanzen in Zukunft gemacht werden?)

Wählt **einen/e** Präsentator*in aus. Am Ende unseres Projektes wird es eine Forschertagung geben. Jede Gruppe hat hier 3 Minuten Zeit ihr Poster bei einem Forscherrundgang vorzustellen.

Hier hast du Platz für Notizen:

Abb. 43: Auszug aus dem Protokollheft – Veröffentlichungsphase

Die Präsentation der Poster erfolgt in der Sekundarstufe I mittels einer Postersession. Ein*e Schüler*in pro Gruppe bleibt beim Plakat stehen und präsentiert die Forschungsergebnisse. Die restlichen Gruppenmitglieder wandern von Plakat zu Plakat. Abbildung 44 und 45 zeigen zwei Schüler*innenposter aus dem Unterrichtsprojekt.



Abb. 44: Beispiel eines Plakats – Kupferhalde – Silene nutans

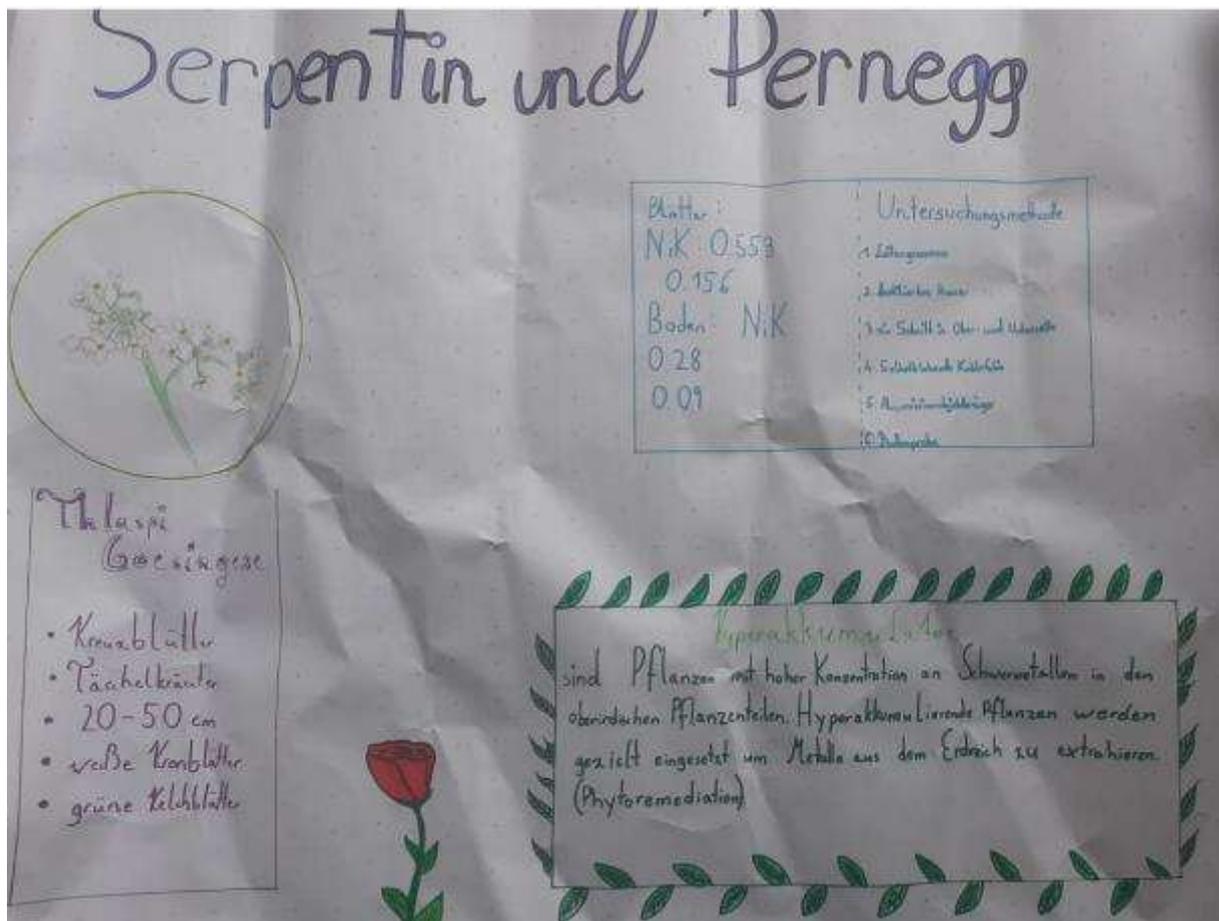


Abb. 45: Beispiel eines Plakats – Serpentin – *Thalpi goesingense*

Im Anhang befinden sich Stundenbilder als Umsetzungsvorschläge für dieses Projekt.

6 Durchführung und Rückmeldungen

Die Durchführung des erstellten Projektes erfolgte in einer 3. Klasse AHS (Sekundarstufe I) im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Hierfür wurden sechs Unterrichtseinheiten eingeplant, wobei in der ersten und der sechsten Einheit jeweils die VOSI-Befragung stattfand. Für die computerunterstützten Einheiten wurde jeweils ein EDV-Saal gebucht; die restlichen Stunden fanden im Klassenzimmer statt. Insgesamt nahmen 24 Schüler*innen an dem Unterrichtsprojekt teil.

Leider waren aufgrund der Coronapandemie nicht durchgehend alle Lernenden im Präsenzunterricht. Durch die Gruppenarbeit konnte dieser Umstand ausgeglichen werden, da die im Unterricht anwesenden Schüler*innen, die Lernenden im Distance Learning über alle Fortschritte informierten und über die Lernplattform Materialien austauschten.

Design und Planungsphase

Die Hypothesenfindung in der zweiten Einheit verlief reibungslos. Die Schüler*innen zeigten großes Interesse am Thema, besonders bedeutsam war für sie der Punkte ‚Umweltschutz‘ und die Frage, welche Auswirkungen Schwermetalle auf Pflanzen und den Menschen haben können sowie die Frage, wie Schwermetalle wieder aus dem Boden entfernt werden können. Hier wurden auch Vermutungen zu Metallophyten aufgestellt. Die Schüler*innen stellten sich die Frage, ob solche Pflanzen den Boden eventuell wieder reinigen könnten. Hierzu wurden auch Ideen für ein Experiment gesammelt, welche eventuell im nächsten Semester aufgegriffen werden. Die Projektidee wäre, dass verschiedene Pflanzen auf schwermetallhaltigen Böden gepflanzt und in gewissen Zeitabständen Bodenproben entnommen und analysiert werden.

Da das Vorgehen durch die Simulation vorgegeben war, musste hier leider auf weitere Experimente verzichtet werden. Die generelle Idee, Pflanzen und Bodenproben von zwei Standorten zu sammeln und zu analysieren, wurde von den Schüler*innen selbstständig entwickelt.

Zum Protokoll ist zu sagen, dass die Lernenden dieses als ‚lose‘ Zettel erhalten haben. In Zukunft sollte hierfür eine Projektmappe angelegt werden, da einige Schüler*innen einzelne Seiten aus dem Protokollheft im Laufe des Unterrichtsprojektes verloren hatten.

Durchführungsphase

Die Durchführungsphase der Computersimulation wurde von den Jugendlichen gut aufgenommen. Sie betonten, dass sie noch nie außerhalb des Informatikunterrichts in EDV-Sälen gearbeitet haben und sich über die Abwechslung freuen. Ein Kritikpunkt betraf die Langsamkeit der Simulation. Leider blieb das Programm öfters hängen und die Schüler*innen mussten erneut starten. Hierzu ist zu sagen, dass die Computersimulation in der Entwicklungsumgebung sowie in einer Testphase auf zwei unterschiedlichen PC's reibungslos funktioniert hat. Die Langsamkeit der Simulation auf den Schulcomputern könnte an Softwarekompatibilitätsproblemen liegen. Das Computerprogramm wird in dieser Hinsicht verbessert. Die Lernenden wünschten sich außerdem die Möglichkeit zwischen den einzelnen „Räumen“ zu wechseln (z.B.: zwischen dem Neutralstandort und dem Schwermetallstandort).

Außerdem sollte in der Simulation deutlicher gekennzeichnet werden, welche Stellen in das Protokollheft zu übertragen sind. Einige Lernende vergaßen, während des Computerspiels die Daten zu übertragen. Die Rätsel und Miniaufgaben in der Simulation konnten mithilfe des Internets in allen Gruppen gelöst werden.

Untersuchungsmethode

Die Funktionsweise eines Rasterelektronenmikroskops wurde oberflächlich im Plenum besprochen, da dieses komplexe Thema Schüler*innen der Sekundarstufe I eher überfordert.

Das gezeigte Video über eine alternative Untersuchungsmethode wurde zweimal gezeigt, um den Lernenden das Mitschreiben zu erleichtern. Das Video fanden die Schüler*innen hinsichtlich des Phytominings besonders interessant. Auch hier entstanden neue Ideen für weiterführende Experimente.

Reflexionsphase – Statistische Auswertung

Die Lernenden hatten kaum Vorkenntnis im Umgang mit Excel, daher wurde die Mittelwertberechnung zunächst an der Tafel durchgeführt und danach wurden einige Beispiele in Excel gemeinsam berechnet.

Die Berechnung des Transferfaktors konnten die Gruppen mit Hilfe des Protokolls eigenständig erarbeiten. Auch die Interpretation der Daten hinsichtlich des Metallophytentyps (Exkluder, Indikator, Akkumulator) wurde von den Schüler*innen selbstständig durchgeführt.

Reflexionsphase – Literaturarbeit

Die Literaturarbeit stellte die Schüler*innen vor allem vor eine sprachliche Herausforderung. In der Klasse herrscht eine hohe Diversität und die Lesekompetenz der Schüler*innen ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Daher waren auch die vereinfachten Texte teils zu komplex und zu lang. Einige Schüler*innen hatten Probleme die Fachliteratur sinnerfassend zu lesen. Allerdings konnte mittels der gestuften Hilfen und Unterstützung zwischen den einzelnen Gruppen auch dieses Problem gelöst werden.

Veröffentlichungsphase

Durch die vorgegebenen Leitfragen wurden alle Ergebnisse sauber präsentiert. Insgesamt brauchten die Schüler*innen allerdings zwei zusätzliche Einheiten zur Gestaltung der Poster. Hier sollte in Zukunft ein erhöhter Zeitbedarf eingeplant werden.

Generelle Rückmeldungen der Schüler*innen

Nach Abschluss des Unterrichtsprojekts wurde der gesamte Ablauf im Plenum reflektiert und die Schüler*innen hatten die Möglichkeit ihre Meinung zu äußern. Insgesamt empfanden die Lernenden das Projekt als abwechslungsreich und gut zu bewältigen. Einige Schüler*innen hätten sich einen Ausflug zu einer Schwermetallhalde gewünscht, um die Pflanzen in der ‚echten‘ Natur kennen zu lernen.

Die Hauptkritikpunkte lagen in der Programmierung der Simulation („die ist hängen geblieben“) und an der Literatuarbeit. Die ausgegebenen Artikel wurden als zu lang und zu schwer empfunden. Allerdings fanden die Schüler*innen es bedeutsam, über naturwissenschaftliche Texte zu lernen, da dieses Thema in den Medien gerade präsent ist (Corona-Studien) und sich die Lernenden durch verschiedene ‚unseriöse‘ Nachrichten über ‚naturwissenschaftliche Studien‘ oft verunsichert fühlen.

7 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Befragungen der Schüler*innen und damit der Lernzuwachs im Punkt ‚Nature of Scientific Inquiry‘ dargestellt. Danach folgen eine Evaluation und eine Reflektion der Lehrziele.

7.1 Entwicklung der Schüler*innenvorstellungen zu NOSI

Zur Erhebung der Wirksamkeit des Projektes in Bezug auf die Vorstellungen der Schüler*innen zu ‚Nature of Scientific Inquiry‘ wurde vor und nach den Projektstunden eine Lernendenbefragung durchgeführt. Für diese Befragung wurde eine von der Autorin ins Deutsche übersetzte Version des VOSI-S-Fragebogens genutzt. Der VOSI Fragebogen wurde von Schwartz et al. (2008) entwickelt, um Vorstellungen der Schüler*innen in Bezug auf ‚Nature of Scientific Inquiry‘ zu ermitteln. Hierzu wurden die in Kapitel 1 beschrieben einzelne Aspekte von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ definiert und dazu passende Fragen entwickelt.

Die entwickelte Lerngelegenheit soll den Schüler*innen einen allgemeinen Einblick in naturwissenschaftliche Arbeitsabläufe geben und angemessene Vorstellungen zu ‚Nature of Scientific Inquiry‘ aufbauen. Aufgrund des gewählten Settings (Computersimulation) können nicht alle Teilaspekte von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ gleich intensiv bearbeitet werden. Einige Aspekte, wie das Entwickeln einer Forschungsfrage und die Auswahl einer Untersuchungsmethode, sind im Rahmen des Projektes nur in Ansätzen umsetzbar. Diese Teilbereiche werden während der Bearbeitung der betreffenden Protokollabschnitte sowie in der Nacharbeit mit den Schüler*innen anhand einiger Beispiele besprochen.

Ein bedeutsamer Fokus des Projektes liegt auf dem Unterschied zwischen Daten und Belegen, da die Schüler*innen hier selbst virtuell Daten erheben, statistisch bearbeiten und mithilfe von Literatur interpretieren sollen.

Obwohl das Projekt nicht alle Teilaspekte von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ gleichermaßen behandeln kann, werden in der Vorher-nachher-Befragung alle Teilgebiete miteinbezogen. Dieses Vorgehen soll mögliche Lücken des Verständnisses der Schüler*innen sowie Verbesserungsansätze des Projektes aufzeigen.

Die durchgeführte Befragung soll den Lernfortschritt der Schüler*innen durch das Unterrichtsprojekt in Bezug auf ausgewählte Aspekte von NOSI der Schüler*innen zeigen.

Hierzu wurde sowohl in der ersten Einheit als auch in der letzten Einheit ein Fragebogen an die Lernenden ausgegeben. Dazu wurde als Vorlage der von Schwartz et al. (2008) entwickelte Fragebogen zu NOSI, das Instrument ‚VOSI‘ (‚Views on Scientific Inquiry‘) als Grundlage herangezogen und daraus folgende Fragen (Tabelle 3) ausgewählt.

Nr	Frage	NOSI-Aspekt
1	Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler*innen aus (z. B.: Biolog*innen, Chemiker*innen, Physiker*innen, Geolog*innen), um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere, wie Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen (Biolog*innen, Chemiker*innen, Geowissenschaftler*innen) ihrer Arbeit nachgehen.	Scientific Questions Guide Investigations / Multiple Methods of Scientific Investigations / Multiple Purposes of Scientific Investigations
2	Wie entscheiden Wissenschaftler*innen, was und wie sie ihre Untersuchungen durchführen? Beschreibe alle Faktoren, die deiner Meinung nach, die Arbeit von Wissenschaftler*innen beeinflussen.	Scientific Questions Guide Investigations / Multiple Methods of Scientific Investigations / Multiple Purposes of Scientific Investigations
3	<p>Eine Person, die sich für Vögel interessiert, hat sich Hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen. Die Person bemerkte die Tendenz, dass Vögel, die ähnliches Futter zu sich nehmen, auch einen ähnlich geformten Schnabel haben. Beispielsweise haben Vögel, die Nüsse mit einer harten Schale fressen, kurze und kräftige Schnäbel und Vögel, die Insekten fressen, haben lange und schmale Schnäbel. Die Person stellte sich die Frage, ob die Form des Schnabels eines Vogels mit seiner Ernährungsweise zusammenhängt und begann, Daten zu sammeln, um diese Frage zu beantworten. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt.</p> <p>a. Hältst du die Untersuchung dieser Person für eine naturwissenschaftliche Untersuchung? Bitte erkläre genau, warum oder warum nicht.</p>	Multiple Methods of Scientific Investigations
4	Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.	Multiple Methods of Scientific Investigations, Multiple Purposes of Scientific Investigations
5	Denkst du, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nach mehr als einer Methode durchgeführt werden können? Wenn du	Multiple Methods of Scientific Investigations

	denkst, dass dies nicht der Fall ist, erkläre bitte, warum es nur einen Weg gibt, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Wenn du denkst, dass dies so ist, beschreibe bitte zwei Untersuchungen, die nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und erkläre, wie sich die Methoden unterscheiden und wie trotzdem beide als naturwissenschaftlich gelten können.	
6	(a) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler*innen dieselbe Forschungsfrage stellen und derselben Vorgehensweise folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht.	Scientific Questions Guide Investigations, Justification of Scientific Knowledge, Community of Practice
7	(b) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler*innen dieselbe Forschungsfrage stellen und unterschiedlichen Vorgehensweisen folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht.	Scientific Questions Guide Investigations, Justification of Scientific Knowledge, Community of Practice
8	Ändert sich deine Antwort auf Frage (a), wenn die Wissenschaftler*innen zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:	Scientific Questions Guide Investigations, Justification of Scientific Knowledge, Community of Practice
9	Ändert sich deine Antwort auf (b), wenn die Wissenschaftler*innen zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:	Scientific Questions Guide Investigations, Justification of Scientific Knowledge, Community of Practice.
10	Was bedeutet das Wort ‚Daten‘ in der Naturwissenschaft?	Distinctions between Data and Evidence
11	Bitte erkläre, ob sich ‚Daten‘ von ‚Belegen‘ unterscheiden!	Distinctions between Data and Evidence
12	Worauf kommt es bei der Analyse von Daten an?	Recognition and Handling of anomalous Data. Distinctions between Data and Evidence

Tabelle 3: VOSI-Fragebogen mit zugeordneten NOSI Aspekten - Schwartz et al. 2008, S. 13 ff, Übersetzt ins Deutsche von der Autorin

Auswertungskategorien

Die Auswertung der Antworten der Schüler*innen, angelehnt an die von Lederman et al. (2014) entwickelten Kategorien, sieht wie folgt aus:

„Informed“ (i): Die Aussage stimmt (größtenteils) mit dem ausgewählten NOSI-Aspekt überein.

Beispiel.:

Frage 3 (siehe Tabelle 3): Eine Person, die sich für Vögel interessiert, hat sich Hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen [...]. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt.

a. Hältst du die Untersuchung dieser Person für eine naturwissenschaftliche Untersuchung? Bitte erkläre genau, warum oder warum nicht.

Schüler*innenaussage: „Ich halte es schon für eine naturwissenschaftliche Untersuchung. Er bemerkte Muster und analysierte das Verhalten der Tiere.“

Die Schüleraussage beinhaltet das Erkennen von Mustern und den Aspekt der (wiederholten) Beobachtung als Beispiele für naturwissenschaftliches Arbeiten. Daher wird diese Aussage als ‚informed‘ eingestuft.

„Mixed“ (m): Die Aussage stimmt teilweise mit dem ausgewählten NOSI-Aspekt überein.

Beispiel:

Frage 4: Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.

Schüleraussage: „Eigentlich nicht, weil man sich da nur die Schnäbel des Tieres anschaut und nichts z. B. DNA-mäßiges macht“.

Die ‚richtige‘ Antwort wäre: „Nein, es handelt sich um eine Beobachtung, da hier weder die Schnäbel noch das Futter oder andere Dinge beeinflusst werden. Der Zusammenhang zwischen Schnabelform und Futter wurde durch eine wiederholte Beobachtung entdeckt. Die Schülerantwort beschreibt, dass hier nur die Schnäbel betrachtet werden, also keine Manipulation stattfindet. Allerdings wird das Wort ‚Beobachtung‘ nicht genannt.“. Daher wird diese Schüleraussage als ‚mixed‘ eingestuft.

„Naive“ (n): Die Aussage stimmt nicht mit dem gewählten NOSI-Aspekt überein.

Beispiel:

*Frage 1: Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler*innen aus (z. B.: Biolog*innen, Chemiker*innen, Physiker*innen, Geolog*innen), um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere, wie Wissenschaftler*innen (Biolog*innen, Chemiker*innen, Geowissenschaftler*innen) ihrer Arbeit nachgehen.*

Schüleraussage: „Sie entdecken viele Sachen und erforschen es in Labore“

Eine angemessene Antwort wäre eine genauere Beschreibung verschiedener Aktivitäten der unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen sowie Schlagwörter wie ‚Experimente‘, ‚Fragen stellen‘, ‚Hypothesen aufstellen‘, ‚Daten sammeln und analysieren‘, ‚Beobachtungen durchführen‘ etc.

Die Aussage „sie entdecken viele Sachen“ ist hier zu ungenau und die Schlagwörter „erforschen es im Labor“ oder „arbeiten im Labor“ zeigen eine enge Sicht auf naturwissenschaftliches Arbeiten. Daher wird diese Aussage als ‚naive‘ eingestuft.

„Unclear“ (u): Aussagen, die zu ungenau sind oder in keinem Bezug zum gewählten NOSI-Aspekt stehen, werden als ‚unclear‘ bezeichnet.

Schüleraussage: „Nein“

Aus einer Ein-Wort-Antworten, ohne Begründung können keine Rückschlüsse auf die Vorstellungen der Schüler*innen über NOSI gezogen werden können.

Statistische Auswertung

Zur Feststellung der Reliabilität wurden jeweils drei Fachkollegen für die Vorbefragung und drei Fachkollegen für die Nachbefragung gebeten, die Schüleraussagen zu kodieren. Die Interreliabilität wurde über das Fleiss‘ Kappa bestimmt. Die Berechnung hierzu wird im Anhang abgebildet.

Zur Interpretation des berechneten Kappas wurde der von Nichols et al. (2011) veröffentlichte Artikel „Putting the Kappa Statistic to Use“ genutzt. Nichols et al. (2011) beziehen sich hier auf Landis und Koch mit folgenden Kategorien:

- 1,00–0,81 Almost perfect agreement
- 0,80–0,61 Substantial agreement
- 0,60–0,41 Moderate agreement
- 0,40–0,21 Fair agreement
- 0,20–0,00 Slight agreement

(Nichols et al. 2011, S. 59)

Für die vorliegende Befragung wurde ein Wert über 0,40 („Moderate Agreement“) als akzeptabel angesehen.

7.1.1 Ergebnisse der Schüler*innenbefragung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Pre- und Postbefragung gegenübergestellt. Hierbei sollen markante Veränderungen herausgearbeitet werden.

Die Darstellung der Ergebnisse wird jeweils pro Frage und mit dem ausgewählten NOSI-Aspekt diskutiert.

Die erste Frage zielt vorwiegend auf die Methodenvielfalt und die unterschiedlichen Beweggründe naturwissenschaftlicher Forschungen ab. In der Vorbefragung hatten mehr als ein Viertel (34 %) der Schüler*innen eher naive Vorstellungen zu den NOSI-Aspekten. Wie in Tabelle 4 zu erkennen ist, sank die Anzahl der naiven Antworten auf 4,35 % und die Anzahl der ‚informierten‘ Antworten stieg von 21 % auf 30 %.

Frage 1

Aussagen gesamt		Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus (z.B.: Biologen, Chemiker, Physiker, Geologen) um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere wie Wissenschaftler*innen (Biologen, Chemiker, Geowissenschaftler) ihrer Arbeit nachgehen.							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
23	23	5	8	5	5	3	1	12	7
In %		21,74%	34,78%	21,74%	21,74%	13,04%	4,35%	52,17%	30,43%
Fleiss Kappa		0,589				0,717			

Tabelle 4: VOSI-Auswertung Frage 1

Frage 2

Aussagen gesamt		Wie entscheiden Wissenschaftler*innen, was und wie sie ihre Untersuchungen durchführen? Beschreibe alle Faktoren, die deiner Meinung nach, die Arbeit von Wissenschaftler*innen beeinflussen							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
21	23	2	14	3	2	7	1	6	9
In %		9,52%	66,67%	14,29%	9,52%	30,43%	4,35%	26,09%	39,13%
Fleiss Kappa		0,464				0,777			

Tabelle 5: VOSI-Auswertung Frage 2

Auch die zweite Frage zielte auf die Aspekte der Methodenvielfalt und die verschiedenen Beweggründe naturwissenschaftlicher Arbeiten ab. Hier konnte ein noch deutlicherer Anstieg der ‚informierten‘ Antworten (von 9 % auf 39 %) gemessen werden. Allerdings konnten bei der Postbefragung deutlich mehr Antworten nicht zugeordnet werden und wurden daher als ‚unclear‘ gekennzeichnet (Tabelle 5).

Frage 3 beschäftigt sich ebenfalls mit der Methodenvielfalt im naturwissenschaftlichen Kontext. Hier konnte eine leichte Verbesserung im Verständnis der Schüler*innen verzeichnet werden. So definierten in der Vorbefragung 27 % der Befragten die ‚Vogelbeobachtung‘ richtig als naturwissenschaftliches Vorgehen und nannten eine zufriedenstellende Begründung. In der Nachbefragung konnten diesen Punkt 34 % der Lernenden richtig beantworten. Die Zahl der naiven Antworten sank von 54 % auf 34 %, wobei in der Nachbefragung ca. 12 % mehr Antworten nicht zugeordnet werden konnten (unclear).

Frage 3

Aussagen gesamt		Eine Person, die sich für Vögel interessiert, hat sich hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen. Die Person bemerkte die Tendenz, dass Vögel, die ähnliches Futter zu sich nehmen, auch einen ähnlich geformten Schnabel haben. Beispielsweise haben Vögel, die Nüsse mit einer harten Schale fressen, kurze und kräftige Schnäbel; und Vögel, die Insekten fressen, haben lange und schmale Schnäbel. Die Person stellte sich die Frage, ob die Form des Schnabels eines Vogels mit seiner Ernährungsweise zusammenhängt und begann, Daten zu sammeln, um diese Frage zu beantworten. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt.							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
22	23	1	12	3	6	4	8	3	8
In %		4,55%	54,55%	13,64%	27,27%	17,39%	34,78%	13,04%	34,78%
Fleiss Kappa		0,645				0,844			

Tabelle 6: VOSI-Auswertung Frage 3

Frage 4 beschäftigt sich mit der Definition von naturwissenschaftlichem Arbeiten und der Abgrenzungen zwischen Experimenten und anderen Formen der naturwissenschaftlichen Praxis. Wie in Tabelle 7 zu erkennen ist, konnten die Schüler*innen nach dem Projekt deutlich besser zwischen einem Experiment und einer Beobachtung unterscheiden (vorher 13 % informiert; danach 69 % informiert).

Frage 4

Aussagen gesamt		Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
22	23	5	4	10	3	1	1	5	16
In %		22,73%	18,18%	45,45%	13,64%	4,35%	4,35%	21,74%	69,57%
Fleiss Kappa		0,788				0,809			

Tabelle 7: VOSI-Auswertung Frage 4

Aussagen gesamt		Denkst du, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nach mehr als einer Methode durchgeführt werden können? Wenn du denkst, dass dies nicht der Fall ist, erkläre bitte, warum es nur einen Weg gibt, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Wenn du denkst, dass dies so ist, beschreibe bitte zwei Untersuchungen, die nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und erkläre, wie sich die Methoden unterscheiden und wie sie trotzdem beide als naturwissenschaftlich gelten können.							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
16	22	4	4	6	2	3	2	7	10
In %		25,00%	25,00%	37,50%	12,50%	13,64%	9,09%	31,82%	45,45%
Fleiss Kappa		0,597				0,817			

Tabelle 8: VOSI-Auswertung Frage 5

Die fünfte Frage beschäftigt sich ebenfalls mit dem Mythos ‚der einen Methode‘ in der Naturwissenschaft. Auch hier konnte ein Anstieg im Verständnis der Lernenden verzeichnet werden. So haben nur 12 % in der Vorbefragung verschiedene Methoden im naturwissenschaftlichen Arbeiten anführen können, in der Nachbefragung konnten 45 % eine ‚informierte‘ Antwort geben. Der Anteil von naiven Antworten sank von 25 % auf 9 % (Tabelle 8).

Die Fragen 6 bis 9 sind als eine Einheit zu betrachten. Die Fragen beziehen sich auf den Einfluss von Forschungsfragen und Methoden auf das Forschungsergebnis sowie den Einfluss der Wissenschaftler*innen auf die Dateninterpretation („data are collected and interpreted in the light of a question, but through the lens of the researcher“ vgl. Lederman et al. 2014). Hier zeigt sich keine eindeutige Tendenz. Frage 6 wurde in der Vorbefragung eher richtig beantwortet als in der Nachbefragung. Bei Frage 7 und 8 kann eine leichte Verbesserung der

Aussagen erkannt werden, allerdings wurde Frage 9 prozentuell in der Nachbefragung schlechter beantwortet.

Frage 6-9

Aussagen gesamt		(a) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler dieselbe Forschungsfrage stellen und der selben Vorgehensweise folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht?							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
24	23	0	12	6	6	1	14	4	4
In %		0,00%	50,00%	25,00%	25,00%	4,35%	60,87%	17,39%	17,39%
Fleiss Kappa		0,664				0,885			
Aussagen gesamt		(b) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler dieselbe Forschungsfrage stellen und unterschiedlichen Vorgehensweisen folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht?							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
22	23	3	11	7	1	0	10	9	4
In %		13,64%	50,00%	31,82%	4,55%	0,00%	43,48%	39,13%	17,39%
Fleiss Kappa		0,414				0,847			
Aussagen gesamt		Ändert sich deine Antwort auf Frage (a) wenn die Wissenschaftler zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
22	23	7	4	6	5	5	6	4	8
In %		31,82%	18,18%	27,27%	22,73%	21,74%	26,09%	17,39%	34,78%
Fleiss Kappa		0,805				0,970			
Aussagen gesamt		Ändert sich deine Antwort auf (b) wenn die Wissenschaftler zusammen arbeiten? Begründe deine Antwort:							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
19	23	5	9	3	2	6	11	4	2
In %		26,32%	47,37%	15,79%	10,53%	26,09%	47,83%	17,39%	8,70%
Fleiss Kappa		0,851				0,900			

Tabelle 9: VOSI-Auswertung Frage 6-9

Die Fragen 10 und 11 zielen auf den Unterschied zwischen Daten und Belege im naturwissenschaftlichen Sinn ab. Wie aus Tabelle 10 ersichtlich ist, stieg der Anteil an angemessenen Definitionen (Was bedeutet das Wort ‚Daten‘ in der Naturwissenschaft?) der Befragten von 26 % auf 52 % an. Auch den Unterschied zwischen Daten und Belegen in der Naturwissenschaft konnten rund 29 % der Befragten nach dem Projekt besser erklären als vor dem Projekt (Tabelle 11).

Frage 10

Aussagen gesamt		a) Was bedeutet das Wort „Daten“ in der Wissenschaft?							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
23	23	4	4	9	6	0	3	8	12
In %		17,39%	17,39%	39,13%	26,09%	0,00%	13,04%	34,78%	52,17%
Fleiss Kappa		0,850				0,892			

Tabelle 10: VOSI-Auswertung Frage 10

Frage 11

Aussagen gesamt		Bitte erkläre, ob sich "Daten" von "Belegen" unterscheiden!							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
20	23	6	10	3	1	0	8	7	8
In %		30,00%	50,00%	15,00%	5,00%	0,00%	34,78%	30,43%	34,78%
Fleiss Kappa		0,691				0,902			

Tabelle 11: VOSI-Auswertung Frage 11

Die 12. und letzte Frage bezieht sich zum einen auf den Unterschied zwischen Daten und Belegen, zum anderen soll der Umgang mit abweichenden Daten beziehungsweise der Analysevorgang beschrieben werden. Hier konnte in der Vorbefragung keine*r der Lernenden eine angemessene Antwort geben. In der Nachbefragung stieg der Anteil an ‚informierten‘ Antworten auf 31 %.

Frage 12

Aussagen gesamt		Worauf kommt es bei der Analyse von Daten an?							
vorher	nachher	vorher				nachher			
		u	n	m	i	u	n	m	i
20	22	3	5	12	0	0	1	14	7
In %		15,00%	25,00%	60,00%	0,00%	0,00%	4,55%	63,64%	31,82%
Fleiss Kappa		0,910				0,751			

Tabelle 12: VOSI-Auswertung Frage 12

Insgesamt zeigte die Nachbefragung der Schülerinnen eine Verbesserung in Bezug auf folgenden Aspekten von Nature of Scientific Inquiry :

- Methodenvielfalt in der Naturwissenschaft
- Unterschied zwischen Experiment und Beobachtung
- Unterschied zwischen Daten und Belegen
- Umgang mit abweichenden Daten

Diese Punkte wurden im Rahmen des Unterrichtprojektes explizit angesprochen und auch anhand von Beispielen aus der naturwissenschaftlichen Praxis erläutert. Insbesondere der Aspekt „Unterschied zwischen Daten und Belegen“ wurde durch die eigenständige statistische Auswertung der zur Verfügung gestellten Daten durch die Schüler*innen sowie die anschließende Interpretation unter Bezugnahme von Fachliteratur verdeutlicht.

Die Daten der VOSI-Befragung zeigt einen Verbesserungsbedarf des Unterrichtprojektes in Bezug auf den NOSI Aspekt ‚Einfluss der Wissenschaftler*innen auf die Dateninterpretation‘.

Gesamt konnte ein positiver Effekt des Unterrichtprojektes auf die Vorstellungen der Schüler*innen zu Nature of Scientific Inquiry festgestellt werden.

8 Prozessorientierte Beschreibung der Ergebnisse des Unterrichtprojekts

Im folgenden Abschnitt werden einzelne Punkte des Unterrichtprojektes unter Bezugnahme der gesetzten Lehrziele betrachtet und aufgearbeitet.

8.1 Ergebnisse in Bezug auf die gesetzten Lehrziele

Folgende Ergebnisse konnten hinsichtlich der gesetzten Lehrziele erreicht werden.

Ziel 1 und 2: Die Schüler*innen können die drei Arten von Schwermetallstandorten nennen.

Die Schüler*innen können primäre, sekundäre, und tertiäre Schwermetallstandorte anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen unterscheiden.

Bei mündlichen und schriftlichen Wiederholungen im Anschluss an das Projekt waren die Schüler*innen dazu aufgefordert, drei Schwermetallstandorte zu unterscheiden und die Unterschiede zu nennen. Diese Fragen konnte ein Großteil der Lernenden richtig beantworten.

Ziel 3 und 4: Die Schüler*innen kennen die drei Arten der Metallophyten und können diese benennen.

Die Schüler*innen können Metallophyten anhand der im Unterricht besprochenen Definitionen den Kategorien Exkluder, Indikator und Akkumulator zuordnen.

Bei mündlichen und schriftlichen Wiederholungen im Anschluss an das Projekt waren die Schüler*innen dazu aufgefordert, die drei Arten der Metallophyten zu nennen und richtig zuzuordnen. Ein großer Teil der Lernenden konnte diese Aufgaben erfüllen.

Ziel 5: Schüler*innen können naturwissenschaftliche Fragen zum Bereich Schwermetalle und Pflanzen formulieren.

Die Schüler*innen konnten im Rahmen des Projektes eine Hypothese zum fehlenden Bewuchs stark schwermetallbelasteter Böden aufstellen. Hierzu formulierten sie im Protokollheft eine Forschungsfrage. Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass die Forschungsfrage durch die Simulation schon in einem bestimmten Rahmen vorgegeben war.

Ziel 6: Schüler*innen können Fragen und Vermutungen zu den Schwermetallstandorten aufstellen und Problemstellungen definieren und diese mit Hilfe von naturwissenschaftlichen Untersuchungen (Rasterelektronenmikroskop in dem Spiel) bearbeiten.

Die Lernenden hatten eingangs nach einem stummen Impuls (Bild einer Schwermetallhalde mit Auflistung der drauf wachsenden Pflanzen) die Möglichkeit, Fragen zu formulieren und Vermutungen zu Schwermetallstandorten aufzustellen, außerdem machten sie auch Vorschläge zu unterschiedlichen Untersuchungsmethoden. Allerdings war auch hier der Rahmen durch die Computersimulation eng gesetzt, da die Untersuchungsmethode (Rasterelektronenmikroskop) bereits vorgegeben wurde.

Ziel 7: Schüler*innen können mit den zur Verfügung gestellten Daten eine zuvor aufgestellte Hypothese zu den Schwermetallstandorten bestätigen oder verwerfen. (z. B.: Hier wachsen nur Pflanzen, die den Schwermetallstress aushalten. Viele Schwermetalle sind toxisch für Pflanzen.)

Aus den Plakaten und Gesprächen mit den Gruppen ist ersichtlich, dass der Großteil der Lernenden die zu Verfügung gestellten Daten über Schwermetalle in Böden und Pflanzen richtig statistisch auswerten und interpretieren konnten. Die Schüler*innen konnten ihre anfangs aufgestellten Hypothesen durch ihre Untersuchungsergebnisse bestätigen. Die Bestätigung der Hypothese über die interpretierten Daten wurde während der Gruppenpräsentationen von allen Teilnehmern explizit erwähnt.

Ziel 8: Die Schüler*innen können aufgrund der im Unterricht besprochener Kriterien, naturwissenschaftlicher von nicht -naturwissenschaftlicher Literatur unterscheiden.

Nach Abschluss den Unterrichtprojektes wurden den Schüler*innen zwei Texte als Leseübung ausgehändigt. Ein Text erfüllte die Kriterien naturwissenschaftlicher Literatur, der zweite Text erfüllte diese nicht. Die Schüler*innen erkannten anhand des Aufbaus (wie im Unterrichtsprojekt besprochen) und anhand der Nachvollziehbarkeit der Literaturangaben den naturwissenschaftlichen Text.

Ziel 9: Die Schüler*innen können aufgrund der in der Unterrichtseinheit explizit besprochenen Bestandteile des naturwissenschaftlichen Arbeitens, naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen unterscheiden.

Die Ergebnisse der VOSI-Nachbefragung ergab angemessenere Vorstellungen der Schüler*innen zu Nature of Scientific Inquiry, im Vergleich zu der Erstbefragung, in den folgenden Punkten:

- Methodenvielfalt in der Naturwissenschaft
- Unterschied zwischen Experiment und Beobachtung
- Unterschied zwischen Daten und Belegen
- Umgang mit abweichenden Daten

Conclusio

Die vorliegende Arbeit hatte die Erstellung, Durchführung und Evaluation eines Unterrichtprojekts für den naturwissenschaftlichen Unterricht zur Förderung angemessener Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen zu ‚Nature of Scientific Inquiry‘ zum Ziel.

Als konkretes Ziel wurde die Entwicklung einer Computersimulation zum Thema Schwermetalle formuliert, das Schüler*innen einen realistischen Einblick in Forschungsprozesse zum Thema „Toxikologie von Schwermetallen in der Umwelt“ geben kann.

Dazu wurden in einem ersten Schritt folgende Fragen geklärt:

- Welche Vorstellungen haben Schüler und Schülerinnen zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘?
- Welche Vorstellungen haben Schüler und Schülerinnen zu Nature of Scientific Inquiry?
- Welche Lehrziele betreffend Nature of Scientific Inquiry sollen mit dem Unterrichtsprojekt erreicht werden?
- Welche fachinhaltlichen Lehrziele sollen mit der Computersimulation erreicht werden?

Zur Klärung der Ausgangslage wurde zunächst eine Befragung der Lernenden zu Schwermetallen durchgeführt. Die Befragung von fünf Klassen der Sekundarstufe II (93 Schüler*innen im Alter zwischen 15 und 18 Jahren) ergab eher unangemessene Vorstellungen zum Thema ‚Schwermetalle in der Umwelt‘. Es gab einige Hinweise zu Fehlvorstellungen in Bezug auf das Wort ‚schwer‘ in dem Begriff ‚Schwermetalle‘. Hier wurden der Begriff Schwermetalle teilweise mit ‚schwieriger Entsorgung‘ oder ‚schwieriger Bearbeitung‘ assoziiert. Eine genauere Klärung hätte aber den Umfang dieser Arbeit überschritten. Auf Basis der Ergebnisse der Schüler*innenvorstellungserhebung wurden wichtige Punkte zum Thema „Schwermetalle“ definiert und ein kurzer theoretischer Input erstellt um den Schüler*innen eine Wissensbasis für die Durchführung des Projektes zu liefern.

Als Basis zur Förderung angemessener Schüler*innenvorstellungen über Nature of Scientific Inquiry wurde die von Lederman et al. (2019) internationale Studie gewählt. Die hier

beschriebenen Teilaspekte von NOSI wurden in die Entwicklung des Unterrichtskonzepts miteinbezogen.

Der nächste Schritt war die Entwicklung der Lernumgebung und der Computersimulation. Als Basis für die Vermittlung von ‚Nature of Scientific Inquiry‘ wurde das von Hodson (2014) erstellte Modell gewählt. Dieses Modell eignete sich besonders gut für dieses Unterrichtsprojekt, da Hodson (2014) auf ein explizites Unterrichten der einzelnen Aspekte von NOSI fokussiert. Außerdem konnte die Gliederung der einzelnen Abschnitte gut begleitend zur Computersimulation in einem vorstrukturierten Protokollheft umgesetzt werden.

Die Lerngelegenheit wurde unter Bezugnahme des Unterrichtmodells von Hodson (2014) wie folgt strukturiert:

- Design und Planungsphase einer naturwissenschaftlichen Untersuchung
- Durchführungsphase einer naturwissenschaftlichen Untersuchung.
- Reflexionsphase – Reflexion der Ergebnisse, sowie der Untersuchungsmethode unter Bezugnahme von zur Verfügung gestellter Fachliteratur
- Veröffentlichungsphase – Veröffentlichung der Forschungsergebnisse durch eine Schüler*innen Präsentation innerhalb der Klassengemeinschaft.

Das gesamte Projekt wurde durch ein vorstrukturiertes Protokoll begleitet. Hier wurden die von Hodson (2014) definierten Teilschritte (Design und Planungsphase; Durchführungsphase; Untersuchungsmethode; Reflexionsphase – Statistische Auswertung; Reflexionsphase – Literaturarbeit; Veröffentlichungsphase) aufgegriffen.

Da eine Analyse von schwermetallhaltigen Pflanzen aufwendige Analysemethoden erfordert und im Rahmen des Schulunterrichts nur schwer möglich ist, wurde für diese Sequenz ein Computersimulation erstellt. Dies ist nach Greca et al. (2014) eine bedeutende Begründung für den Einsatz von Simulationen am Computer. Hier kann nicht nur die Probenentnahme und Analyse simuliert werden, sondern auch ein theoretischer Input über Schwermetalle erfolgen.

Um den Effekt der Lerngelegenheit auf die Schüler*innenvorstellungen zu NOSI sichtbar zu machen, wurde eine Vor- und Nachbefragung durchgeführt. Hierzu wurden Auszüge des von Schwartz et al. (2008) entwickelten VOSI-Fragebogens genutzt.

Ein Hauptproblem bei der Entwicklung der Lerngelegenheit war die Erstellung der Computersimulation. ‚Visionair‘ ist als Basisprogramm benutzerfreundlich und kurze Point-and-Click-Sequenzen können ohne Programmiererfahrung erstellt werden. Allerdings zeigte sich das Programm als starr, was die Möglichkeiten von Spieler-Spiel-Interaktionen einschränkt und für die Lernenden weniger ansprechend macht. Außerdem läuft die Simulation teilweise langsam. Dieser Umstand wurde von den Lernenden während der Durchführung mehrmals kritisiert. Das Programm wird überarbeitet, um einen besseren Spielfluss zu ermöglichen.

Auch die Auswahl passender Literatur für die Sekundarstufe I war problematisch. Die Artikel sollten eine klare Strukturierung aufweisen, aber weder zu lang noch sprachlich zu komplex sein. Da keiner der gefundenen Fachartikel über Metallophyten diese Voraussetzungen erfüllte, wurden die Texte für die Sekundarstufe I vereinfacht und mit Lesehilfen nach Leisen (2005) ausgestattet.

In diesem Abschnitt des Unterrichtprojekts zeigten sich auch die größten Verständnisschwierigkeiten der Schüler*innen. Auf der einen Seite wurde die generelle Bearbeitung von Fachliteratur von den Lernenden positiv rückgemeldet, auf der anderen Seite wurden auch die vereinfachten Texte als zu komplex wahrgenommen. Durch die zur Verfügung gestellten Hilfen konnten zwar alle Lernenden die Aufgaben erfüllen, allerdings wurde der Zeitbedarf vorab deutlich unterschätzt. Zukünftig muss hier in Bezug auf die sprachlichen Voraussetzungen der Lernenden deutlich differenziert werden. Eventuell könnte eine weitere Vereinfachung des Textes oder eine Bearbeitung in mehreren Teilen die Motivation der Lernenden steigern.

Die Auswertung der durchgeführten VOSI-Nachbefragung zeigte eine eindeutige Verbesserung in den Punkten:

- Methodenvielfalt in der Naturwissenschaft
- Unterschied zwischen Experiment und Beobachtung
- Unterschied zwischen Daten und Belegen
- Umgang mit abweichenden Daten

Diese Punkte wurden während des Unterrichtprojekts besonders betont und besprochen. So wurde mehrmals auf die Methodenvielfalt bei Schwermetalluntersuchungen hingewiesen und

hierzu auch eine Videosequenz bearbeitet. Die Schüler*innen mussten außerdem eigenständig Daten auswerten und diese mit Hilfe der Literatur interpretieren. Auch hier wurde der Unterschied zwischen Daten und Belegen in der Naturwissenschaft deutlich hervorgehoben und auch anhand anderer Beispiele besprochen.

Weniger positiv fiel die Nachbefragung im Punkt ‚Einfluss der Wissenschaftler*innen auf die Dateninterpretation‘ aus. Hier ist zu sagen, dass das Projekt mit stark vorgegebenem Material arbeitet und wenig Interpretationsspielraum seitens der Schüler*innen zulässt. Daher sollten dieser Umstand und die Diskrepanz zwischen Lernsituation und realer Forschung zukünftig mit den Schüler*innen explizit besprochen werden

Die gesetzten fachlichen Lehrziele wurden durch Stundenwiederholungen überprüft. Hier konnte ein Großteil der Schüler*innen die Fragen zu Schwermetallen in der Umwelt richtig beantworten.

Die allgemeine Rückmeldung der Lernenden zu dem Projekt war positiv. Als wünschenswert wurden ein ergänzender Ausflug auf eine Schwermetallhalde und ‚echte‘ Experimente mit Metallophyten angemerkt.

Zusammenfassend sollten folgende Punkte bei einer zukünftigen Durchführung verbessert oder verändert werden:

Programmierung der Simulation

Die Simulation sollte grundlegend überarbeitet werden, um einen flüssigen Ablauf zu gewährleisten. Für einen ersten Versuch war die derzeitige Version ausreichend, muss aber in weiterer Folge deutlich verbessert werden. So stürzt das Programm (auf den Schulcomputern) beim mehrmaligen Klicken auf einen Gegenstand ab. Außerdem wollten die Lernenden zwischen den einzelnen ‚Räumen‘ wechseln können. Auch dies war nicht möglich, da das Programm nur in ‚eine Richtung‘ funktioniert. Hier könnten gegebenenfalls auch Verbesserungen durchgeführt werden.

Zeitliche Planung

In Summe wurden sowohl für die Literaturarbeit als auch für die Erstellung der Poster deutlich mehr Zeit benötigt als in der ursprünglichen Planung vorgesehen. Dies ist bei einer weiteren Durchführung zu beachten.

Ausgegebene Literatur

Für die Sekundarstufe I sollte die zur Verfügung gestellte Literatur noch einmal überarbeitet und gekürzt werden, um die Schüler*innen nicht zu überfordern.

Protokollheft

Die Protokollhefte wurden den Schüler*innen im ersten Durchlauf ‚lose‘ ausgegeben. Hier wäre es gut, vorab Mappen oder Schnellhefter zu organisieren, um ein ‚Zettelchaos‘ zu vermeiden.

Thematisierung von Unterschieden zwischen der schulischen Simulation und ‚realer‘ naturwissenschaftlicher Arbeit

Hier ist es bedeutsam, den Schüler*innen die Grenzen des Projektes im Rahmen der Schule aufzuzeigen und elementare Punkte aus dem naturwissenschaftlichen Alltag explizit zu besprechen. So sollten die Konsensbildung in der Naturwissenschaft und die verschiedenen Einflüsse auf die Dateninterpretation aufgegriffen werden.

Aus zeitlichen Gründen konnte das Projekt nicht mehr in der Sekundarstufe II umgesetzt werden. Hier wäre eine Evaluierung der Lerngelegenheit wünschenswert. Außerdem zeigte die VOSI-Befragung interessante Einzelaussagen, die leider wegen der vorherrschenden Coronakrise in Interviews nicht näher besprochen werden konnten. Sollte das Projekt wiederholt werden, wäre dies ein interessanter Ansatzpunkt, um genauere Erkenntnisse über Schüler*innenvorstellungen in Bezug auf NOSI zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- Adlassnig, W., Weiss, Y. S., Sassmann, S., Steinhauser, G., Hofhansl, F., Baumann, N., Lichtscheidl, I. K., & Lang I. (2016). The copper spoil heap Knappenberg, Austria, as a model for metal habitats: Vegetation substrate and contamination. *Science of the Total Environment*, 563-564, 1037-1049.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.179>
- Allchin, D. (2010). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Studies and Science Education*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Arnold, P., Kilian, L., Thillosen, A., & Zimmer, G. (2018). *Handbuch E-Learning* (5. Aufl.). utb.
- Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and excluders: Strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4), 643-654.
<https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Baker, A. J. M. (1987). Metal tolerance. *The New Phytologist*, 106, 93-111.
<https://www.jstor.org/stable/2433013>
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26-29.
<https://www.michiganseagrant.org/lessons/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/The-Many-Levels-of-Inquiry-NSTA-article.pdf>
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. (2009). *Naturwissenschaftliche Bildungsstandards Berufsbildende Höhere Schulen: Das Kompetenzmodell*
<https://www.bildungsstandards.berufsbildendeschulen.at/sites/default/files/broschuere/BBS-Bildungsstandards-Broschuere-Naturwissenschaften-BHS.pdf>
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur, 2009; Lehrpläne allgemeinbildende höhere Schulen,
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (letzter Abruf 09.04.2022)
- Burgenlandflora (2021) <http://burgenlandflora.at/pflanzenart/noccaea-goesingense/> letzter Aufruf 25.7.2021

- Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional Model and 21st century skills*. The National Academies Board on Science Education.
https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbassesite/documents/webpage/dbas_sse_073327.pdf
- Chandra, R., Dubey, N. K., & Kumar, V. (2018). *Phytoremediation of environmental pollutants*. CRC Press.
- Colzi, I., Rocchi, S., Rangoni, M., Del Bubba, M., & Gonelli, C. (2014). Specificity of metal tolerance and use of excluder metallophytes for phytostabilization of metal polluted soils: the case of *Silene paradoxa* L. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*, 10960-10969. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3045-y>
- Dagher Z. R., & Erduran S. (2016). Reconceptualizing the nature of science for science education: Why does it matter?. *Science & Education*, *25*, 147-164.
<https://doi.org/10.1007/s11191-015-9800-8>
- Dübbelde, G. (2017). *Aktivierende Methoden für Seminare und Übungen: Methodenkoffer*. Justus-Liebig-Universität Gießen. <https://www.uni-giessen.de/fbz/zentren/zfbk/didaktik/informationen/downloads/lehreinsteiger-1/methodenkoffer-seminare>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction: A framework for improving teaching and learning science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (5. Aufl., 13-37). Sense Publishers.
- Dworak, R. (2017). *Tourismus & Naturpark*. Ternitz Stadt und Land.
https://www.ternitz.gv.at/tourismus_naturpark.php
- Eggler, J. (1963). Bodenuntersuchungen im Serpentinegebiete des Kirchkogels bei Pernegg in Steiermark. *Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark*, *93*(49), 55 - 63. https://www.zobodat.at/pdf/MittNatVerSt_93_0055-0063.pdf
- Ernst, W. H. O. (1974). Schwermetallvegetation der Erde. In ders. (Hrsg.), *Geobotanica Selecta*. Gustav Fischer.
- Frey, W., & Lösch, R. (2010). *Geobotanik: Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit* (3. Aufl.). Springer Spektrum.

- Greca, I.M., Seoane, E., & Arriasecq, I. (2014). Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for science education. *Science & Education*, 23, 897–921. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9673-7>
- Herron, M. D. (1971). The nature of scientific enquiry. *The School Review*, 79(2), 171–212. <https://doi.org/10.1086/442968>
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. SensePublishers. <https://doi.org/10.1163/9789087905071>
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Hofer, E., Abels, S., & Lebens, A. (2016). Forschendes Lernen und das 5E-Modell. *Plus Lucis* 1, 4. https://www.researchgate.net/profile/Simone-Abels/publication/299867062_Forschendes_Lernen_und_das_5E-Modell_-_ein_kurzer_Ueberblick/links/570688b308aea3d28021173b/Forschendes-Lernen-und-das-5E-Modell-ein-kurzer-Ueberblick.pdf
- Höttecke, D. (2012). *Die Natur der Naturwissenschaft historisch verstehen – Fachdidaktische und wissenschaftstheoretische Untersuchungen* in Studien zum Physiklernen Hrsg. Niederer, H., Fischer, H., Band 16(2. Aufl). Logos.
- Kabouw, P., & Sieghardt, H. (2007). How does *Thlaspi goesingense* accumulate heavy metals?. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich*, 144, 107-117. https://www.zobodat.at/pdf/VZBG_144_0107-0117.pdf
- Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., & Sonnewald, U. (2014). *Strasburger: Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften* (37. Aufl.). Springer Spektrum.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *ZfDN*, 3, Heft 3, 3 – 18.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). The influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578. <https://doi.org/10.1002/tea.10036>

- Küpper, H., Lombi, E., Zhao, F.-J., Wieshammer, G., & McGrath, S.P. (2001). Cellular compartmentation of nickel in the hyperaccumulators *Alyssum lesbiacum*, *Alyssum bertolonii* and *Thlaspi goesingense*. *Journal of Experimental Botany*, *52*(365), 2291-2300. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.365.2291>
- Lederman, J. S, Lederman, N. G, Bartos, S. A., Bartels, S. L., Antink Meyer, A., & Schwartz R. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry: The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(1), 65-83.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels S. L., Jimenz, J., Akubo, M., Aly, S., Bao, C., Blanquet, E., Blonder, R., Soares de Andrade, M. B., Buntting, C., Cakir, M., El-Deghaidy, H., ElZorkani, A., Gaigher, E., Guo, S., Hakanen, A., Al-Lal, S. H., Han-Tosunoglu, C., ... Zhou, Q. (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students understanding of scientific inquiry: Establishing a baseline. *Journal of Research in Science Teaching*, *56*(4), 486-515. <https://doi.org/10.1002/tea.21512>
- Leisen, J. (2005). *Methoden-Werkzeuge: Neue Erfahrungen mit bekannten Materialien*. Friedrich. <http://www.josefleisen.de/downloads/methodenwerkzeuge/50%20Methoden-Werkzeuge%20NiU%202003.pdf>
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (177-186). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Beltz. <https://www.beltz.de/fachmedien/paedagogik/produkte/details/15206-qualitative-inhaltsanalyse.html?>
- Mühlhofer, G. (2001). *Schwermetalle in Sedimenten der Donauauen östlich von Wien und des Donaudeltas in Rumänien*. Grün.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/4962>

- Nichols, T., Wisner, P., Cripe, G., & Gulabchand, L. (2011). Putting the Kappa statistic to use. *The Quality Assurance Journal*, 13(3-4), 57-61. <https://doi.org/10.1002/qaj.481>
- Organisation for Economic Co-Operation and Development. (2004). *Problem Solving for Tomorrow's World: First Measures of Cross Curricular Competencies from PISA 2003*. <https://www.oecd.org/education/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/34009000.pdf>
- Osborne, J. (2014). Scientific Practices and Inquiry in the Science Classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (579-599). Routledge
- Persans, M. W., Yan, X., Patnoe, J. M. M., Kramer, U., & Salt, D. E. (1999). Molecular dissection of the role of histidine in nickel hyperaccumulation in *Thlaspi goesingense* (Hailacsy). *Plant Physiology*, 121(4), 1117-1126. <https://doi.org/10.1104/pp.121.4.1117>
- Pollard, J., Reeves, R. D., & Baker A. J. M. (2014). Facultative hyperaccumulation of heavy metal and metalloids. *Plant Science*, 217-218, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.11.011>
- RIS - Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 23.05.2021 (bka.gv.at) <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Reinfried, S., Mathis, C., & Kattmann, U. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27(3), 404–141. <https://doi.org/10.25656/01:13710>
- Rönnebeck, S., Schöps, K., Prenzel, M., Mildner, D., & Hochweber, J. (2013). Naturwissenschaftliche Kompetenz von PISA 2006 bis PISA 2009. In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N. Jude, O. Köller, M. Prenzel, W. Schneider, P. Stanat (Hrsg.), *Pisa 2019: Bilanz nach einem Jahrzehnt* (177-198). <https://doi.org/10.25656/01:3535>
- Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559-580. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760602>

- Schecker, H., Wilhelm, T., Martin, H., & Duit, R. (2018). *Schülervorstellung und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer.
- Scheersoi, A., Bögeholz, S., & Hammann, M. (2019). Biologiedidaktische Interessenforschung: Empirische Befunde und Ansatzpunkte für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (37–55). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_3
- Schützendübel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: Heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1351-1365. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1351>
- Schwartz, R., Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2008, 30. März – 2. April). *An Instrument to assess views of scientific inquiry: The VOSI Questionnaire* [Konferenzbeitrag], International Conference of the National Association for Research in Science Teaching, Baltimore. [emia.edu/18597836/An_Instrument_To_Assess_Views_Of_Scientific_Inquiry_The_VOSI_Questionnaire](http://www.narst.org/18597836/An_Instrument_To_Assess_Views_Of_Scientific_Inquiry_The_VOSI_Questionnaire)
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Noto La Diega, R. (2019). Didaktische Reduktion und Elementarisierung. In dies. (Hrsg.), *Chemiedidaktik an Fallbeispielen* (11-16). Springer.
- Universität Wien, Core Facility für Cell Imaging and Ultrastructure, letzter Abruf 30.07.2021, <https://cius.univie.ac.at/techniques/electron-microscopy/sem/>
- Viehweger, K. (2014). How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*, 55(35). <https://doi.org/10.1186/1999-3110-55-35>
- Weiss, Y. (2013). *Kupferhalde Knappenberg: Vergleichende Analyse der azonalen Vegetation und Bodenparameter von einer Schwermetallhalde (Cu, Mn) und des umliegenden Waldes bei Hirschwang (NÖ, AUT)* (Diplomarbeit, Universität Wien). <https://doi.org/10.25365/thesis.25310>
- Wilfried, E. H. O., Knolle, F., Kratz, S., Schnug, E. (2009). Aspekte der Ökotoxikologie von Schwermetallen in der Harzregion – eine geführte Exkursion. *Journal für Kulturpflanzen*, 61(7), 225–246.

https://www.academia.edu/27039469/Aspekte_der_%C3%96kotoxikologie_von_Schwermetallen_in_der_Harzregion_eine_gef%C3%BChrte_Exkursion

Zimmermann, A. (1972). Pflanzen nördlicher und südlicher Herkunft auf dem Kirchkogel bei Pernegg (Steiermark). *Zeitschrift für Freunde der Alpenwelt, der Alpenpflanzen und Alpentierwelt, des Alpengartens und des Alpinums*, 15(3), 2-7.

https://www.zobodat.at/pdf/Alpengarten_15_3_0002-0007.pdf

Verwendete und bearbeitete Literatur für Schüler*innen

Salt, D., (2001) „Nickel-Hyperakkumulation In *Thlaspi Goesingense*: Ein naturwissenschaftlicher Reisebericht“ In *Vitro Cell. Dev. Biol.Plant* 37:326-329

Mladek, C., Sieghardt, H., (2002) „Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* - Besiedler schwermetallhaltiger Kalk-Schutthalden des Südostalpenraums“ In *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich* 139 (2002):109-121

Anhang

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übliches Fünf- bzw. Sechs-Schritte-Modell von SI, vgl. Herron 1971, S. 183	17
Abb. 2: Rahmenkonzept wissenschaftsmethodischer Kompetenzen (Mayer, 2007, S. 178).....	20
Abb. 3.: Mayer Strukturmodell zum Wissenschaftlichen Denken (Mayer, 2015, S. 181)	21
Abb. 4: 5E-Modell (Hofer et al., 2016, S. 4)	23
Abb. 5: Zelluläre Schwermetallinteraktion Viehweger 2014 S. 2	32
Abb. 6: T. goesingense, Foto von Susanne Schmid.....	33
Abb. 7.: Silene nutans –	33
Abb. 8: Silene nutans – Blüte seitlich	34
Abb. 9: Silene nutans Blüte	34
Abb. 10: Kristalldruse im Blatt von S. nutans.....	35
Abb. 11.: T. goesingense- Foto von Susanne Schmid.....	35
Abb. 12: Halde am Knappenberg, Haupthalde/ Foto von Victoria Baluch	37
Abb. 13: Halde am Knappenberg, Haupthalde – Seitenansicht / Foto von Victoria Baluch	38
Abb. 14: Entnahmestelle Pernegg, Aufnahme von Susanne Schmid	38
Abb 15: Wiese in Flatz, Aufnahme von Christian Geyer (https://www.bergwelten.com/a/wandern-im-naturpark-flatzer-wand).....	39
Abb. 16: Blattoberfläche S. nutans mittels Rasterelektronenmikroskop –	40
Abb 17: Entstehung der Röntgenemission aus https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedispersive_R%C3%B6ntgenspektroskopie	41
Abb. 18: EDX-Spektrum – Rasterelektronenmikroskop - erstellt von der Autorin	41
Abb. 19: Auszug aus dem VASI-Fragebogen (Lederman et al., 2019, S.494).....	45
Abb. 20: Auszug aus dem Protokollheft – Halde	57
Abb. 21: Simulation – Raum1 – Einsammeln von Werkzeugen.....	59
Abb. 22: Kupferhalde.....	60
Abb. 23.: Serpentinstandort - GPS-Koordinaten und Inventar mit eingesammelten Proben.....	60

Abb. 24: Serpentinstandort - Informationstext zum Standort	61
Abb. 25: Zerrissene Arbeitsanleitung.....	62
Abb. 26: Geordnete Arbeitsanleitung.....	62
Abb. 27: Informationsblatt zur untersuchten Pflanze	63
Abb. 28: Probenvorbereitung.....	63
Abb. 29: Auszug aus dem Protokollheft.....	63
Abb. 30: Auszug aus dem Protokollheft – Untersuchungsmethode.....	64
Abb. 31.: Blätter mit Rätselaufgaben	65
Abb. 32: Simulation – Suchaufgabe ‚Elemente‘	66
Abb. 33: Periodensystem- Lösung.....	66
Abb. 34.: Rätsel 2 – Schwermetallstandorte.....	67
Abb.: 35.: Informationen über Schwermetallstandorten im Protokollheft	68
Abb. 36: Rätsel – Rasterelektronenmikroskop.....	69
Abb. 37: Auszug aus dem Protokollheft: Lückentext – Rasterelektronenmikroskop .	69
Abb.38: Auszug aus dem Protokollheft – Statistische Auswertung.....	71
Abb. 39: Auszug aus dem Protokollheft – Berechnung von Transferfaktoren	71
Abb. 40: Auszug aus dem Protokollheft – Ergebnisse der Transferfaktoren sowie erste Interpretation	72
Abb. 41: Lesehilfe – Fragen zum Text.....	73
Abb. 42: Lesehilfe 2 – Vereinfachter Text mit Markierungen zur Beantwortung der Fragen aus Lesehilfe 1.	73
Abb. 43: Auszug aus dem Protokollheft – Veröffentlichungsphase	80
Abb. 44: Beispiel eines Plakats – Kupferhalde – Silene nutans.....	81
Abb. 45: Beispiel eines Plakats – Serpentin – Thalspi goesingense	82

Abbildungen ohne Quellenangabe wurden von der Autorin angefertigt.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schüler*innenvorstellungen zu Schwermetallen (Alter: 15-18)	43
Tabelle 2: – Lesehilfen	69
Tabelle 3: VOSI-Fragebogen mit zugeordneten NOSI Aspekten - Schwarz et al. 2008, S. 13 ff, Übersetzt ins Deutsche von der Autorin	88
Tabelle 4: VOSI-Auswertung Frage 1	91
Tabelle 5: VOSI-Auswertung Frage 2	92
Tabelle 6: VOSI-Auswertung Frage 3	92
Tabelle 7: VOSI-Auswertung Frage 4	93
Tabelle 8.: VOSI-Auswertung Frage 5	93
Tabelle 9: VOSI-Auswertung Frage 6-9	94
Tabelle 10: VOSI-Auswertung Frage 10	94
Tabelle 11: VOSI-Auswertung Frage 11	95
Tabelle 1: VOSI-Auswertung Frage 12	95

11 Protokollheft

Protokoll Schwermetallstandort

Boden und Pflanzenanalyse der Standorte

Forscherteam: _____
Datum: _____
Klasse: _____

Hinweis! Folgende Symbole findest du in deinem Protokoll.



Das Computersymbol verrät dir, dass du hier eine Aufgabe im Computerspiel findest.



Das i-Symbol steht für Information. Auf diesen Seiten findest du Hintergrundinformationen welche du im Laufe des Projektes benötigen wirst.

Um keine Aufgaben, Rätsel und Hinweise zu verpassen, lies dir das Protokoll vor dem Spielbeginn überblicksmäßig durch.

Was fällt dir auf dieser Abbildung auf?



Waldrand und Wald - Vegetationsdecke:

- Sauerampfer (*Rumex acetosella*)
- Haselbäuerl (*Vaccinium myrtillus*)
- Draht-Schmiel (*Avenella flexuosa*)
- Europäische Lärche (*Larix decidua*) (Am Haldenrand=Zwergwuchs)
- Rotföhre (*Pinus sylvestris*)

Halde – keine Vegetationsdecke:

- Moose und Flechten
- Vereinzelt: Sauerampfer (*Rumex acetosella*)
- Vereinzelt: Leimkraut (*Silene nutans* und *Silene vulgaris*)

Mir ist aufgefallen, dass....

Design- und Planungsphase einer Untersuchung

Wir sind auf ein interessantes Phänomen gestoßen, nun möchten wir der Sache auf den Grund gehen. Hierzu müssen wir zunächst eine Hypothese aufstellen:

Warum wachsen auf der Halde weniger Pflanzen als in der Umgebung? Notiere hier deine Vermutungen:

Im nächsten Schritt müssen wir festlegen wie unsere Untersuchung aussehen soll.

Überlege, wie du herausfinden könntest, ob deine Vermutung zutrifft?

Durchführungsphase

Wir haben eine Hypothese aufgestellt und möchten sie nun überprüfen. Eine passende Untersuchungsmethode wurde bereits gewählt. Nun sollten wir Proben für unsere Analyse nehmen.



Um Pflanzen- und Erdproben auf den ausgewählten Standorten zu entnehmen und zu dokumentieren brauchen wir folgende Gegenstände:

- GPS-Gerät (Um die Koordinaten zu notieren)
- Plastiksackerl (Zum Verwahren der Proben)
- Stifte (Zum Beschriften der Proben)
- Schaufel (Zur Probenentnahme)

Das Einsammeln der Proben, Informationen über die jeweiligen Standorte sowie Tag, Uhrzeit und GPS-Koordinaten müssen gut dokumentiert werden. Andere Wissenschaftler*innen möchten diese Untersuchung vielleicht wiederholen und prüfen, daher müssen wir unsere Forschung für sie nachvollziehbar aufzeichnen.



Aus diesem Grund fülle bitte auf den nächsten zwei Seiten die jeweiligen Standortprotokolle aus!

**Protokoll der Probenentnahme für
Standort 1**

1. Datum: _____ Uhrzeit: _____
2. Name des Standorts: _____
3. GPS-Koordinaten: _____
4. Anzahl der Proben: _____

5. Standortbeschreibung in Stichworten:

6. Beschreibung der Probenentnahme:

**Protokoll der Probenentnahme für
Standort 2**

1. Datum: _____ Uhrzeit: _____
2. Name des Standorts: _____
3. GPS-Koordinaten: _____
4. Anzahl der Proben: _____

5. Standortbeschreibung in Stichworten:

6. Beschreibung der Probenentnahme:

Untersuchungsmethode

Die Untersuchung mittels Rasterelektronenmikroskop gekoppelt mit einer EDX-Analyse ist eine Möglichkeit Boden- und Pflanzenproben zu analysieren. Hierbei erfahren wir die Elementzusammensetzung der Proben (also aus welchen Elementen die Probe besteht). Die Elementzusammensetzung wird in Gewichtsprozent angegeben wird (g/kg). Die Probenaufarbeitung ist relativ einfach und die Analyse sehr rasch. Allerdings steht nicht immer ein Rasterelektronenmikroskop zur Verfügung und diese Methode ist nicht sehr genau (Nachweisgrenze: 0,1 Gewichtsprozent). Es gibt in der Forschung aber immer unterschiedliche Analyseansätze.

Im Video „Diese Pflanze „erntet“ Nickel“ <https://www.youtube.com/watch?v=D8q-pjgB30Y> wird der Nickelgehalt schon am Feld ungefähr bestimmt. Wie wird das gemacht? (Minute 1:36)

Beschreibe kurz welches Gerät im Video benutzt wird. Welche Vorteile könnte sie haben?

Wie wird Nickel aus den Pflanzen gewonnen? Beschreibe den Arbeitsablauf (Minute 4:22):

Informationsblatt
Statistische Auswertung

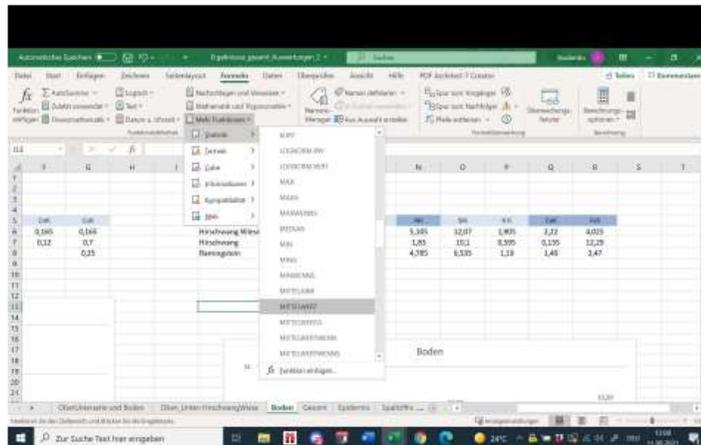


Einzelne Analysedaten liefern noch keine validen/gesicherten Ergebnisse. Erst durch die Analyse mehrerer Proben und eine statistische Auswertung können Tendenzen abgelesen und Aussagen getätigt werden.

Für deine Forschungsarbeit musst du den Mittelwert deiner Messergebnisse und anschließend den Transferfaktor berechnen.

Mittelwert: ist der statistische Durchschnittswert. Hierfür addiert man alle Werte eines Datensatzes und teilt die Summe durch die Anzahl aller Wert.

In Excel findest du diese Funktion unter dem Punkt Statistik:



Transferfaktor: der Transferfaktor zeigt das Verhältnis der im Boden enthaltenen Schwermetalle zu den in der Pflanze angereicherten Schwermetallen. So kann man herausfinden, ob es sich bei der Pflanze um einen Exkluder, Akkumulator oder Indikator handelt. Hier ist es wichtig die zu vergleichenden Proben anzugeben.

Zum Beispiel:

Transferfaktor (Blatt/Boden)= Blattgehalt wird durch Bodengehalt dividiert!

Transferfaktor (Wurzel/Boden)

Transferfaktor (Blüte/Boden)

Transferfaktor (Blatt/Wurzel)

Reflexionsphase 1

Deine Analyse ist nun abgeschlossen und du findest die Rohdaten im Ordner „Analyseergebnisse“.



Im Spiel erfährst du am Ende das Passwort zu deinen Analysedaten, es lautet:

Du siehst in den einzelnen Exceltabellen Auszüge der Elementzusammensetzung deiner Proben in Gewichtsprozent. Nun musst du den Mittelwert (3 Proben pro Standort) berechnen. Übertrage deine Ergebnisse in folgende Tabelle:

Analyseergebnisse Blätter:

Standort:	Ti	Fe	Cu	Ni
Mittelwert				

Standort:	Ti	Fe	Cu	Ni
Mittelwert				

Analyseergebnisse Boden:

Standort:	Ti	Co	Cu	Ba	Fe	Ni
Mittelwert						

Standort:	Ti	Co	Cu	Ba	Fe	Ni
Mittelwert						

Jetzt kennst du den mittleren Schwermetallgehalt der Boden- und Pflanzenproben. Allerdings sehen wir noch nicht wie viel der vorhandenen Schwermetalle aus dem Erdreich in die oberirdischen Pflanzenteile aufgenommen werden. Hierzu musst du den Transferfaktor berechnen (Bodenkonzentration/Blattkonzentration). Übertrage deine Ergebnisse in folgende Tabelle:

Standort: _____

Transferfaktor (Blatt/Boden)	
Schwermetall:	Kupfer
Blattprobe	
Erdproben	
Transferfaktor	

Standort: _____

Transferfaktor (Blatt/Boden)	
Schwermetall:	Kupfer
Blattprobe	
Erdproben	
Transferfaktor	

Ergebnisse im Überblick:

In den Erdproben wurden folgende Schwermetalle gefunden:

	Neutralstandort	Schwermetallstandort
Schwermetall		
Gewichtsprozent		

Man sieht, dass _____

In den Blattproben konnten folgende Schwermetalle nachgewiesen werden:

Pflanzenname: _____

	Neutralstandort	Schwermetallstandort
Schwermetall		
Gewichtsprozent		

Aufgrund des errechneten Transferfaktors (Boden/Blatt) von _____

_____ handelt es sich um einen:

- Exkluder
- Akkumulator
- Indikator

Reflexionsphase 2

Du hast deine gewonnenen Daten statistisch ausgewertet und interpretiert und bist nun bereit sie mit bereits vorhandenen Analyseergebnissen zu vergleichen. Lies hierzu den Artikel „Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an dem Taubenkopf-Leimkraut (*Silene vulgaris* subsp. *Glareosa* – Besiedler) – Besiedler schwermetallhaltiger Kalkschutthalde des Südostalpenraumes“ von Mladek C. und Sieghardt M. (2002). Das Nickende Leimkraut (*Silene nutans*) wurde in Schwermetalluntersuchungen bisher wenig beachtet, allerdings kann aufgrund der nahen Verwandtschaft für dieses Projekt ein Vergleich mit *Silene vulgaris* hergestellt werden. Bitte erwähne diesen Umstand in deinen Schlussfolgerungen.

Zu welchen Ergebnissen kamen Mladek und Sieghardt?

Stimmen deine Ergebnisse mit aus der Literatur überein oder kommst du zu einer anderen Schlussfolgerung?

Lesehilfe für wissenschaftliche Artikel



Wissenschaftliche Artikel können auf den ersten Blick sehr komplex wirken. Daher ist es wichtig, dass du deren Aufbau kennst.

1. Title/ Untertitel

Der Titel sollte das Thema des Artikels widerspiegeln und das Interesse der Leser*innen wecken. Darunter werden die Autor*innen mit entsprechenden Instituten genannt.

2. Abstract

Das Abstract ist eine kurze Zusammenfassung des Artikels und soll dem Leser oder der Leserin einen Überblick die Ziele, Methoden und Erkenntnisse dieser Arbeit geben. Alle wichtigen Punkte des Artikels werden hier wiederspiegelt (Fragestellung, Probennahme und Methode, Resultate, Schlussfolgerungen sowie Anwendungsmöglichkeiten).

3. Einleitung

Hier sollen die Leser einen Einblick in das Themengebiet erhalten und zum Kernthema der Arbeit hingeführt werden. Die Relevanz (= Wichtigkeit) der Fragestellung und die Hypothese werden hier angeführt. Es können außerdem bereits vorhandene Arbeiten zum behandelten Thema angeführt werden. In der Einleitung werden auch die Ziele der Forschung angeführt und erläutert.

4. Methode

Hier wird die gewählte Untersuchungsmethode beschrieben. Es wird angeführt warum gerade diese Methode gewählt wurde und warum sie für die Untersuchung angemessen ist. Es werden Stichproben, Materialien, Durchführung und Datenanalyse so beschrieben, dass sie jederzeit wiederholt und überprüft werden können.

5. Resultate

In den Resultaten werden die Analyseergebnisse sowie die statistischen Auswertungen dargestellt.

6. Diskussion

Hier werden die gewonnenen Resultate mit der eingangs gestellten Hypothese verglichen und in den aktuellen Forschungsstand einbezogen. Die Resultate sollen interpretiert werden und deren Bedeutung hervorgehoben werden. Am Ende soll eine klare „take home message“ formuliert werden. In manchen Artikel folgt auf die Diskussion ein Resümee/Conclusio. In diesem Fall werden die gewonnenen Erkenntnisse und methodischen Schlussfolgerungen dort festgehalten. An dieser Stelle sollen auch die Grenzen der gewählten Untersuchungsmethode und mögliche Fehlerquellen besprochen werden.

7. Referenzen

Das Literaturverzeichnis enthält alle im Text erwähnten Quellen und soll für die Nachvollziehbarkeit der Arbeit sorgen. Außerdem wird die Arbeit von Kolleg*innen gewürdigt und bewiesen, dass man beim Verfassen des Artikels den aktuellen Forschungsstand miteinbezogen hat.

8. Anhang

Hier werden Materialien/Daten angeführt, die für den Hauptteil zu umfangreich sind.

Achtung! Stößt du auf Quellen, die Ergebnisse präsentieren, ohne die Methode zu erläutern, oder sehr reißerisch, aber unpräzise formuliert sind, handelt es sich wahrscheinlich nicht um naturwissenschaftliche Arbeiten.



Tipps zum Lesen von naturwissenschaftlichen Artikeln

- Lies immer zuerst den Abstract. Hier gewinnst du einen Überblick über die Arbeit.
- Überfliege den Text, um den Aufbau kennen zu lernen.
- Lies den Text zielgerichtet. Du möchtest bestimmte Details aus dem Text erhalten. Stell dir hierzu Fragen.
- Sei nicht frustriert, wenn du nicht alles verstehst. Oft erscheinen Formulierungen in der Fachsprache kompliziert. Das geht anderen Schüler*innen und Student*innen auch so! Je mehr du dich in ein Thema einliest, desto leichter wird dir das Lesen von naturwissenschaftlichen Artikeln fallen.
- Mach dir Notizen zu wichtigen Fremdwörtern.
- Besprich den Text mit Kollegen und Kolleginnen.
- Markiere wichtige Passagen und arbeite mit Randnotizen (Textstellen, die du noch einmal nachschlagen willst oder Vergleiche mit anderen wissenschaftlichen Artikeln).
- Nutze die Suchfunktion in PDF-Dokumenten deiner ausgewählten Literatur, um Schlagwörter zu finden.
- Solltest du selbst eine längere Arbeit verfassen, sieh dir die Literaturreferenz an. Im Literaturverzeichnis findest du oft weitere interessante Quellen.

Veröffentlichungsphase

Du hast dein Forschungsprojekt abgeschlossen und deine Ergebnisse mit der Arbeit anderer Wissenschaftler*innen verglichen. Jetzt ist es an der Zeit deine Resultate zu präsentieren. Erstellt in eurer Forschergruppe ein Poster.

Folgende Punkte sollt ihr kurz erklären:

- 1) Eure Forschungsfrage.
- 2) Die Methode. (Was wurde analysiert? Wie wurde es analysiert? Wie viele Proben gab es?)
- 3) Eure Ergebnisse. (Durchschnittlicher Kupfergehalt der Blatt- und Bodenproben beider Standorte)
- 4) Eure Schlussfolgerung. (Handelt es sich bei der Pflanze um einen Exkluder, Indikator oder (Hyper)Akkumulator? Warum sind eure Forschungsergebnisse wichtig? Was könnte mit diesen Pflanzen in Zukunft gemacht werden?)

Wählt **einen/e** Präsentator*in aus. Am Ende unseres Projektes wird es eine Forschertagung geben. Jede Gruppe hat hier 3 Minuten Zeit ihr Poster bei einem Forscherrundgang vorzustellen.

Hier hast du Platz für Notizen:

<https://www.youtube.com/watch?v=TTItS6o-3SI>

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

<https://www.youtube.com/watch?v=D8q-pjgB30Y> (Mauersteinkraut – Nickelernte)

12 Literatur

In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 37:326-329, May-June 2001 DOI: 10.1079/IVP2000159 q 2001 Society for In Vitro Biology
1054-5476/01 \$10.0010.00

Übersetzung aus dem Englischen für den Unterricht von Stephanie Kolber

SONDERSYMPIOSIUM: PHYTOMEDIATION

NICKEL-HYPERAKKUMULATION IN *THLASPI GOESINGENSE*: EIN WISSENSCHAFTLICHER
REISEBERICHT

DAVID E. SALT*

Fachbereich Chemie, Universität Northern Arizona, Flagstaff, AZ 86011

(Eingereicht am 1. September 2000; angenommen am 10. Oktober 2000; Herausgeber R. H. Smith)

Zusammenfassung

In den letzten 6 Jahren hat meine Forschungsgruppe versucht, die molekulargenetischen Grundlagen der Nickel-Hyperakkumulation in *Thlaspi goesingense* zu entschlüsseln. Unser langfristiges Ziel ist es, die von uns identifizierten Gene für die Veränderung von Pflanzen zum Zweck der Phytomediation zu nutzen (Salt et al., 1998). Diese Untersuchung hat uns auf eine Reise mit vielen Drehungen, Wendungen und Sackgassen und durch viele unterschiedliche Terrains in der Pflanzenphysiologie geführt. In diesem kurzen Aufsatz möchte ich diese Reise für Sie nachvollziehen machen und Ihnen einen Einblick in die für uns wesentlichen und bestimmenden Komponenten der Ni-Hyperakkumulation bestimmter Pflanzen geben.

Schlüsselwörter: hyperaccumulation; phytoremediation; *Thlaspi*; nickel

SCHWERMETALL-HYPERAKKUMULATION

Metall-Hyperakkumulatoren sind Pflanzen, die in der Lage sind, bestimmte Metalle und Nichtmetalle aus dem Boden aufzunehmen und diese in oberirdischen Geweben in Konzentrationen von über 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Co, Cr, Cu, Ni und Se oder mehr als 10 000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Zn oder Mn der Trockenmasse zu speichern. Ungefähr 400 Hyperakkumulatorenarten wurden anhand der Analyse von im Feld gesammelten Proben identifiziert. Metall-Hyperakkumulatoren sind interessante Modellorganismen für die Entwicklung der Phytomediation; wir beginnen jedoch gerade erst die molekularen, biochemischen und physiologischen Prozesse zu verstehen die zu dem Phänotyp des Hyperakkumulators führen (Persans und Salt, 2001).

THLASPI GOESINGENSE ALS MODELL-HYPERAKKUMULATOR

Der erste Schritt auf unserer Reise war die Identifizierung einer geeigneten Hyperakkumulator-Spezies. In den frühen 1980er Jahren wurde *Thlaspi goesingense* Hálácsy, die in Österreich gesammelt wurde, als Ni hyperakkumuliert identifiziert (Reeves und Brooks, 1983). Mehrere Aspekte machten diese Pflanze zu einem interessanten Versuchsobjekt. Da sie zur Familie der Senfpflanzen gehört, ist sie eng mit *Arabidopsis thaliana* verwandt. Dies war für uns nützlich, da wir Daten und genetische Tools aus dem *Arabidopsis-Genom-Projekt* nutzen konnten. Diese Überlegung wurde durch unsere kürzlich gefundenen Daten untermauert, welche zeigen, dass die Gene von *T. goesingense* auf Aminosäureebene eine 90-95%ige Übereinstimmung mit Homologen von *A. thaliana* aufweisen. Die Wuchsform und die Bedingungen für die Samenkeimung von *Thlaspi goesingense* waren bekannt und für die Laborforschung geeignet. Wir hielten es für wichtig, dass Samen von *Thlaspi arvense*, einem nicht akkumulierenden Verwandten von *T. goesingense*, ebenfalls zur Verfügung standen, da dies uns die Möglichkeit bot vergleichende physiologische, biochemische und molekulare Studien durchzuführen.

Im Frühjahr 1995 machten wir uns in Österreich auf die Suche nach *T. goesingense* die an einem ultramafischen Standort in Redschlag, Österreich, wächst (Abb. 1). Unter Verwendung eines tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysegerätes (XRF) bestimmten wir die Elementgehalte der Blätter und des Bodens in unmittelbarer Nähe der Wurzeln einzelner *T. goesingense*-Pflanzen auf diesem Standort. Die Nickel Konzentrationen in diesen Blättern betragen $5477 \pm 986 \mu\text{g Ni g}^{-1}$ Trocken Biomasse (SE; n=6) und war somit mehr als dreimal so hoch wie die Ni Konzentrationen, im Boden um die Wurzeln dieser Pflanzen. Es schien daher unwahrscheinlich, dass die im Blattgewebe festgestellten Ni-Konzentrationen auf Kontamination durch Bodenpartikel beruht. Blätter von nicht akkumulierenden Arten wie *Silene cucubalus*, *Rumex sp.*, *Genista sp.* und *Galium sp.* enthielten $252 \pm 147 \mu\text{g Ni g}^{-1}$ Trockenbiomasse (SE; n=4) Somit sind die Ni-Konzentrationen in den Blättern von *T. goesingense* um mindestens eine Größenordnung höher als die in den Blättern der umliegenden Nicht-Akkumulatoren, was den Hyperakkumulator-Status von *T. goesingense* bestätigt (Krämer et al., 1997).

Im Labor wurden die im Feld gesammelten Samen zum Keimen gebracht und sowohl *T. goesingense* als auch der verwandte Nicht-Akkumulator *T. arvense* hydroponisch angebaut und auf die Möglichkeit der Ni-Akkumulation getestet. *Thlaspi goesingense*, aus in Österreich gesammeltem Saatgut akkumulieren hohe Konzentrationen von Ni im Sprossen und tolerieren hohe Ni-Konzentrationen sowohl in den Sprossen als auch in der hydroponischen Kulturlösung. Im Gegensatz dazu reicherte die eng verwandte Art *T. arvense* 70 % niedrigere Ni-Konzentrationen in ihren Trieben an. Eine signifikante Verringerung der Sprossbiomasse von *T. arvense* wurde ebenfalls nach Ni-

Exposition festgestellt (Krämer et al., 1997). Diese Beobachtungen bestätigten die Existenz von spezifischen Mechanismen in *T. goesingense*, die es dieser Pflanze erlauben hohe Konzentrationen von Ni zu akkumulieren und zu tolerieren und bestätigte somit auch unsere ersten Messungen der im Feld durchgeführten Analysen.



FIG. 1. *Thlaspi goesingense* Hálačsy growing on an ultramafic site in Redtschlag, Austria. Plants in this population contained $5477 \pm 936 \mu\text{g Ni g}^{-1}$ dry biomass (SE; $n = 6$), 20-fold higher than surrounding plants growing at the same site. Picture courtesy of Walter W. Wenzel, University of Agriculture, Vienna, Austria.

RATE-LIMITING PHYSIOLOGICAL STEP

Um uns der Frage zu nähern, was die molekulare Grundlage der Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* ist, stellten wir die Hypothese auf, dass der Hyperakkumulator eine verbesserte Fähigkeit haben könnte, (1) Ni in der Rhizosphäre zu lösen; (2) Ni aufzunehmen und zu den Trieben zu transportieren; und (3) hohe Ni-Konzentrationen im Spross zu tolerieren. Durch den Vergleich dieser Prozesse sowohl bei den hyperakkumulierenden als auch bei den nichtakkumulierenden Arten (Krämer et al., 1997; Salt et al., 1999a) konnten wir feststellen, dass eine erhöhte Ni-Toleranz die Hauptursache für die Ni-Hyperakkumulation bei *T. goesingense* war. Der Weg zu dieser Schlussfolgerung wird im Folgenden dargelegt.

Wurzelexsudate. Die Freisetzung spezifischer metallchelatbildender Verbindungen in die Rhizosphäre durch Pflanzenwurzeln ist ein gut bekanntes Phänomen, das an der Lösung und Aufnahme von Fe und möglicherweise Zn beteiligt ist. Daher lag die Vermutung nahe, dass ähnliche Ni-spezifische Chelate an der Ni-Hyperakkumulation beteiligt sein könnten.

Mit einem auf Dünnschichtchromatographie (TLC) basierenden Assay konnten wir jedoch keine hochaffinen Ni-Chelat-Verbindungen in Wurzelexsudaten des Ni-Hyperakkumulators *T. goesingense* finden (Salt et al., 1999a). Im Gegensatz dazu beobachteten wir, die Anreicherung der Ni-chelate Histidin und Citrat in den Wurzelexsudaten des Nicht-Hyperakkumulators *T. arvense* bei Exposition mit $25 \mu\text{M Ni}$ über 48 Stunden.

Weitere Analysen der Wurzelexsudate von *T. goesingense* und *T. arvense* bestätigte, dass bei Exposition mit Ni der Histidingehalt in den Wurzelexsudaten im Hyperakkumulator *T. goesingense* unverändert bleibt und im Nicht-Hyperakkumulator *T. arvense steigt*. Histidin Konzentrationen in den Wurzelexsudaten von *T. arvense* nach Ni-Exposition waren mindestens 10-mal höher als in *T. goesingense*. Diese Daten deuten darauf hin, dass Histidin, das von Wurzeln ausgeschieden wird, keine signifikante Rolle bei der erhöhten Ni-Akkumulation im Blatt spielt. Es ist möglich, dass nickelhaltige Verbindungen, die von den Wurzeln ausgeschieden, aber nicht mit dem TLC-Ni-Bindungstest nachgewiesen wurden, an der Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* beteiligt sind. In Experimenten, in denen *T. goesingense* mit *T. arvense* kultiviert wurde, deuten jedoch darauf hin, dass falls diese Verbindungen existieren, sie nicht von den eng verwandten Nicht-Akkumulatoren genutzt wird (Salt et al., 1999a).

Nickeltransport und Toleranz. Ni-Transportraten in dem Hyperakkumulator *T. goesingense* und Nichtakkumulator *T. arvense* wurden ebenfalls verglichen. Wir beobachteten, dass solange beide Arten von der Ni-Toxizität unbeeinflusst waren, die Ni-Translokationsraten von den Wurzeln zu den Sprossen bei Hyperakkumulator und bei Nichtakkumulator keinen Unterschied aufwiesen (Krämer et al., 1997). Dies zeigt, dass die erhöhten Ni-Transportraten von der Wurzel zum Spross nicht für die Fähigkeit zur Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* verantwortlich sind. Wir schlussfolgerten, dass *T. goesingense* mehr Ni aufgrund von effektiven Entgiftungsmechanismen akkumuliert kann als verwandte Nicht-Akkumulatoren. Auf dem Probenahmestandort wächst der Hyperakkumulator *T. goesingense* Seite an Seite mit anderen Nichtakkumulatoren. Diese Nichtakkumulatoren müssen ebenfalls erhöhte Ni-Konzentrationen tolerieren. Wir waren der Meinung, dass diese Pflanzen Ni aus ihren Trieben ausschließen, indem sie die Aufnahme oder Verlagerung von Ni verringern. Bislang wurde diese Hypothese noch nicht direkt getestet. *T. arvense*, unser Vergleichspflanze, wächst nicht auf den Ni-angereicherten Standorten. Aus diesem Grund haben wir keine Ni-Ausschlussmechanismen in *T. arvense* erwartet, da diese Pflanze in ihrer Entwicklungsgeschichte nicht mit Ni in Berührung gekommen ist.

PHYSIOLOGIE DER NICKEL-TOLERANZ

Nachdem wir festgestellt hatten, dass die Ni-Toleranz der Hauptfaktor für die Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* war, war der erste Teil unserer Entdeckungsreise abgeschlossen - wir hatten den wichtigsten physiologischen Unterschied zwischen *T. goesingense* und *T. arvense* bei Ni-Exposition festgestellt. Auf unserer nächsten Etappe der Reise hofften wir, die physiologischen, biochemischen und molekularen Grundlagen dieses Ni-Toleranzmechanismus in *T. goesingense* zu klären.

Wir fanden heraus, dass Blattprotoplasten des Hyperakkumulators *T. goesingense* eine höhere Ni-Toleranz aufwiesen als Protoplasten des Nicht-Akkumulators. Dies deutet auf eine zelluläre Grundlage für die erhöhte Ni-Toleranz im Hyperakkumulator hin. Um die Grundlage dieser zellulären Ni-Toleranz zu verstehen, beschlossen wir, die Rolle sowohl der Vakuolen- Kompartimentierung und der Ni-Chelatisierung zu untersuchen.

Intrazelluläre Lokalisierung von Nickel. Durch Isolierung intakter Vakuolen aus dem Hyperakkumulator konnten wir feststellen, dass 70 % des intrazellulären Ni im Hyperakkumulator in Vakuolen lokalisiert war (Krämer et al., 2000). Darauf aufbauend verglichen wir den Ni-Gehalt der Vakuolen von Blättern von *T. goesingense* und *T. arvense*. Wir entdeckten, dass der Hyperakkumulator etwa das Zweifache an Ni in seinen Blattvakuolen akkumulierte als der Nichtakkumulator und zwar unter niedrigen für beide Arten nicht toxischen Ni-Belastungsbedingungen (Krämer et al., 2000). Daraus schlossen wir, dass die vakuoläre Kompartimentierung von Ni ein wichtiger Teil des Ni-Toleranzmechanismus in *T. goesingense* ist.

Chemische Speziation des Nickels. Seit 1994 und mit umfangreicher Hilfe von Mitarbeitern der Stanford University und von ExxonMobil, haben wir den Einsatz der Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) als Methode zur Untersuchung der chemischen Speziation von verschiedenen Metallen in Pflanzen entwickelt (Salt et al., 1995, 1997, 1999b; Orser et al., 1999; Persans et al., 1999; Krämer et al., 2000; Pickering et al., 2000a, b). Mit dieser Methode konnten wir die wahrscheinlich an der Chelatbildung von Ni beteiligten Verbindungen im Blattgewebe des Hyperakkumulators und des Nichtakkumulators identifizieren. Diese Untersuchung ergab, dass der Großteil des Blatt-Ni im Hyperakkumulator mit der Zellwand assoziiert war, während das restliche Ni durch Citrat und Histidin chelatisiert wurde und hauptsächlich in der Vakuole bzw. im Zytoplasma lokalisiert ist (Krämer et al., 2000). Die Verteilung von Ni, die wir durch XAS gefunden haben, war bemerkenswert ähnlich der Ni-Verteilung durch Zellfraktionierung, was unsere Hypothese, dass das intrazelluläre Ni in dem Hyperakkumulator überwiegend in der Vakuole als Ni-organische Säure-Komplex gespeichert wird, unterstützt. Sowohl unsere eigenen XAS-Daten als auch andere veröffentlichte Literatur deuten darauf hin, dass freies Histidin bei der Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* eine Rolle spielen könnte. Um dies zu prüfen, wollten wir untersuchen, ob Ni entweder auf molekularer oder biochemischer Ebene an der Regulierung der Histidin-Biosynthese beteiligt ist (Persans et al., 1999). Drei *T. goesingense* cDNAs, die für die folgenden Enzyme der Histidin-Biosynthese kodieren, ATP Phosphoribosyltransferase (THG1, GenBank #AF003347), Imidazoleglycerinphosphat-Dehydratase (THB1, GenBank #AF023140) und Histidinol-Dehydrogenase (THD1, GenBank #AF023141), wurden durch funktionelle Komplementation von *Escherichia coli* Histidin Auxotrophen isoliert (Persans et al., 1999). Northern Analyse von THG1, THD1- und THB1-Genexpression ergab, dass jedes Gen sowohl in Wurzeln als auch in Sprossen exprimiert wurde, aber bei Ni-Behandlung der Pflanze zeigten die Gene keine Regulierung durch Ni (Persans et al., 1999). Wir konnten auch keinen Anstieg der Konzentration von freiem Histidin in Wurzel, Spross oder Xylemsaft von *T. goesingense* als Reaktion auf die Ni-Exposition feststellen. Die XAS von *T. goesingense* und dem Nicht-Akkumulator *T. arvense* in Wurzel und Spross zeigte keine wesentlichen Unterschiede in der Koordination von Ni durch Histidin in diesen Geweben (Persans et al., 1999). Wir schlossen aus diesen Daten, dass die Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* nicht durch die Überproduktion von Histidin als Reaktion auf Ni bedingt ist.

Rückblickend auf diese Etappe unserer Reise, zur Rolle von Histidin bei der Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense*, schienen wir in einer Sackgasse zu sein. Aber auch negative Ergebnisse sind in der Naturwissenschaft sehr wichtig, und wir nahmen dies als ein Zeichen dafür, dass wir uns nun mit unserer Forschung in eine neue und andere Richtung bewegen sollten.

MOLEKULARBIOLOGIE UND BIOCHEMIE DER NICKELTOLERANZ

Nickelchelate. Wir waren bereits zu dem Schluss gekommen, dass die Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* offenbar durch seine außergewöhnliche Ni-Toleranz möglich ist und dass diese Toleranz zumindest zum Teil auf die Fähigkeit von *T. goesingense* zurückzuführen ist, Ni effizient in der Vakuole zu speichern. Wir stellten daher die Hypothese auf, dass ein Ni-Chelatmolekül erforderlich für den sicheren Ni-Transport durch das Zytoplasma in die Vakuole ist. Um dies zu testen, haben wir beschlossen, eine *T. goesingense* cDNA Expressionsbibliothek in *E. coli* zu screenen, um zu versuchen, cDNAs zu identifizieren, die an der Synthese von mutmaßlichen Ni-Chelaten beteiligt sind (Freeman et al., 2000). Nach Screening von etwa 200 000 primären *E. coli*-Transformanten haben wir 2700 Ni-resistente Kolonien identifiziert. Die Plasmid-DNA wurde von 200 repräsentativen Ni-resistenten Kolonien isoliert und mit drei Sets Restriktionsenzyme (SalI-XbaI, EcoRI-HindIII, Kpn-Sac), die cDNA-Inserts

wurden in vier Gruppen eingeteilt. Repräsentative cDNAs aus jeder Gruppe wurden sequenziert und als Chloroplast (TgSAT-p), mitochondriale (TgSAT-m) und zytoplasmatische (TgSAT-c) Isoformen der Serin-Acetyltransferase identifiziert. Komplementierung einer *E. coli* Mutante mit fehlender Serin-Acetyltransferase und mit TgSAT-p, TgSAT-m und TgSAT-c bestätigte deren Identifizierung als cDNAs, die für Serin-Acetyltransferasen kodieren. Expression der vollständigen cDNAs der SAT-Gene in *E. coli* bestätigte, dass sie eine Ni Resistenz und auch Co-Resistenz hervorrufen. Allerdings wurden weder Zn- noch Cd Resistenzen verstärkt.

Weitere Experimente überzeugten uns, dass die SAT-induzierte Ni-Resistenz in *E. coli* weder auf die direkte Bindung von Ni durch O-acetylserin (Produkt der Serin-Acetyltransferase) noch auf die Bindung von Ni durch Überproduktion von Cystein oder Sulfid zurückzuführen war. Allerdings deutete die Überexpression von TgSAT-m in verschiedenen mutierten *E. coli*-BACKgrounds darauf hin, dass eine Überproduktion von Sulfid für die Ni-Resistenz erforderlich ist. Auf der dieser Grundlage und anderen physiologischen und biochemischen Beweisen kamen wir zu dem Schluss, dass in *E. coli*, die SAT überexprimieren, ein Metabolit aus Sulfid produziert wird, der Ni bindet, sobald es in die *E. coli*-Zelle gelangt. Einmal gebildet, wird dieser Ni-Komplex effizient aus der Zelle gepumpt. Wir hielten es daher für möglich, dass dieser nicht identifizierte Sulfid-Metabolit an dem grundlegenden Mechanismus der Ni-Toleranz in *T. goesingense* beteiligt ist. Zur Untermauerung dieser Annahme fanden wir heraus, dass eine Exposition mit O-acetylserin, *A. thaliana* eine Ni-Resistenz verleiht. Zurzeit führen wir weitere Experimente durch, um die Rolle der Serin Acetyltransferase bei der Ni-Toleranz in *T. goesingense* zu bestätigen.

Vakuolare Kompartimentierung von Nickel. In einem Versuch, die die molekulare Grundlage der zuvor beobachteten verstärkten vakuolären Akkumulation von Ni aufzudecken, identifizierten wir drei Mitglieder einer Familie von mutmaßlichen vakuolären Metalltransportproteinen in *T. goingense*, die wir vorläufig *MTP 1, 2 und 3 (metal Transportproteine)* benannt haben (Persans et al., 2000). Die Aminosäuresequenz und die erwartete Membrantopographie dieser MTP-Proteine zeigten Homologie zu anderen Membranproteinen, von denen bekannt ist, dass sie an der Metallresistenz in Hefe (COT1 und ZRC1), Säugetieren (ZnT-Familie) und *Arabidopsis thaliana* (ZAT) beteiligt sind.

Im Gegensatz zu ZAT aus *A. thaliana*, ruft eine Expression der *T. goesingense* MTP cDNAs in verschiedenen metalhypersensitiven Hefestämmen eine Resistenz gegen Ni, Zn, Co und Cd hervor. Diese drei MTP-cDNAs kodieren offenbar für Proteine mit unterschiedlicher Selektivität für die verschiedenen getesteten Metalle, wobei MTP1 den höchsten Grad an Resistenz gegenüber Ni verleiht, während MTP2 den höchsten Grad an Resistenz gegen Zn verleiht. MTP1, 2 und 3 rufen eine etwa gleich hohe Resistenz gegen Co und Cd hervor. Es wurde festgestellt, dass die Expression der MTP mRNAs in *T. goesingense* konstitutiv hoch. Dies war für eine Pflanze welche in einen Lebensraum mit hohem Ni-Stress überlebt, nicht überraschend. Allerdings waren die mRNA Spiegel eines MTP-Homologs in der nicht akkumulierenden und nicht-toleranten Nutzpflanze *Brassica juncea* stark hochreguliert bei Ni, Zn oder Cd-Exposition. Dies legte uns nahe, dass die MTP-Gene in *B. juncea* als Teil eines induzierbaren Metallresistenzmechanismus hochreguliert werden können. Wir sind nun dabei, den Mechanismus der MTP-induzierten Metallresistenz zu erforschen und die Rolle der MTP-Proteine bei der Ni-Hyperakkumulation in *T. goesingense* aufzudecken.

Conclusio

Wenn wir auf die oben beschriebene Reise zurückblicken, haben wir erhebliche Fortschritte gemacht. Wir hoffen, aufbauend auf unseren Erkenntnissen, in der Lage zu sein, die Hyperakkumulation von Metallen in Pflanzen mit hoher Biomasse in den nächsten Jahren gentechnisch einbauen zu können. Diese Pflanzen wären ideal geeignet für Phytosmediation bestimmten schadstoffhaltigen Spurenelementen. Durch den Aufbau einer Bibliothek von gut charakterisierten Genen, die für den Erwerb und die Speicherung von Mineralien zuständig sind, hoffen wir auch Pflanzen zu entwickeln, die in der Lage sind, Mineralien zu akkumulieren, um eine nachhaltige Landwirtschaft zu unterstützen und die Gesundheit des Menschen durch eine ausgewogene Mineralienernährung zu verbessern (Guerinot und Salt, 2001).

Literatur

Freeman, J. L.; Neiman, K.; Persans, M. W.; Salt, D. E. A possible role for the enzyme serine acetyltransferase in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 482).

Guerinot, M.-L.; Salt, D. E. Fortified foods and phytoremediation: two sides of the same coin. *Plant Physiol* 125:164±167; 2001.

Krämer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I.; Salt, D. E. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and nonaccumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol.* 122:1343±1353; 2000.

Krämer, U.; Smith, R. D.; Wenzel, W.; Raskin, I.; Salt, D. E. The role of nickel transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi goesingense* Ha^Àl^Àcsy. *Plant Physiol.* 115:1641±1650; 1997.

Orser, C. S.; Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R.; Epstein, A.; Ensley, B. D. Brassica plants to provide enhanced human mineral nutrition: selenium phytoenrichment and metabolic transformation. *J. Med. Food* 1:253±261; 1999.

Persans, M.; Salt, D. E. Possible molecular mechanisms involved in nickel, zinc and selenium hyperaccumulation in plants. *Biotechnol. Genet. Engng Rev.* 17:385±409; 2001.

Persans, M.; Xiange, Y.; Patnoe, J. M. M. L.; Krämer, U.; Salt, D. E. Molecular dissection of histidine's role in nickel hyperaccumulation in *Thlaspi goesingense* (Ha^Àl^Àcsy). *Plant Physiol.* 121:1±10; 1999.

Persans, M. W.; Huynh, L.; Salt, D. E. A novel family of putative vacuolar metal transport proteins involved in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 747).

Pickering, I. J.; Prince, R. C.; George, J. M.; Smith, R. D.; George, G. N.; Salt, D. E. Reduction and coordination of arsenic in Indian mustard. *Plant Physiol.* 122:1171±1177; 2000a.

Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Salt, D. E.; George, G. N. Quantitative chemically-specific imaging of selenium transformation in plants. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 97:10717±10722; 2000b.

Reeves, R. D.; Brooks, R. R. European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. *J. Geochem. Explor.* 18:275±283; 1983.

Salt, D. E.; Kato, N.; Krämer, U.; Smith, R. D.; Raskin, I. The role of root exudates in nickel hyperaccumulation and tolerance in accumulator and non-accumulator species of *Thlaspi*. In: Terry, N.; Banuelos, G. S., eds. *Phytoremediation of contaminated soil and water*, Boca Raton, FL: CRC Press LLC; 1999a:191±202.

Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Gleba, D.; Smith, R. D.; Raskin, I. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard. *Environ. Sci. Technol.* 31:1636±1644; 1997.

Salt, D. E.; Prince, R. C.; Baker, A. J. M.; Raskin, I.; Pickering, I. J. Zinc ligands in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as determined using X-ray absorption spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 33:713±717; 1999b.

Salt, D. E.; Prince, R. C.; Pickering, I. J.; Raskin, I. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian Mustard. *Plant Physiol.* 109:1427±1433; 1995.

Salt, D. E.; Smith, R. D.; Raskin, I. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:643±668; 1998

Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* – Besiedler schwermetallhaltiger Kalk-Schutthalden des Südostalpenraumes

Christina MLADEK und Helmuth SIEGHARDT

Silene vulgaris subsp. *glareosa* (Schutt-Leimkraut) ist in der Lage aufgrund besonderer anatomisch-morphologischer aber auch physiologischer Merkmale (Oxalat-Typ) schwermetallhaltige Kalk-Schutthalden im Raum Bleiberg/Kreuth in Kärnten zu besiedeln. Diese Spezies hat für verschiedene Schwermetalle unterschiedliche „Strategien“ der Stressbewältigung entwickelt. Neben Mechanismen, Schwermetalle in Wurzeln und Blättern artspezifisch zu fixieren, spielen Biokristalle (Ca-Oxalat-Drüsen) als interne Kompartimente für die Detoxifizierung von Schwermetallen (Aluminium, Blei, Kupfer, Zink) eine große Rolle. Aber auch Pflanzennährstoffe wie Calcium, Magnesium, Kalium und Eisen werden in diese kristallinen Strukturen eingebaut. Die Immobilisierung von Schwermetallen in verschiedenen Kompartimenten der Pflanze ist ein wirksamer Toleranzmechanismus, die interne Konzentration potentiell toxischer Elemente niedrig zu halten und damit den Stoffwechsel zu entlasten.

MLADEK C. and SIEGHARDT H., 2002: Anatomical and X-ray microanalytical studies on *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* – inhabiting heavy-metal containing calcareous screes in the Southeastern Alps.

Due to special anatomical-morphological structures and physiological characteristics (oxalate type), *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* is able to survive on metalliferous lime screes in the area of Bleiberg/Kreuth (Carinthia, Austria). This species has developed various strategies to cope with different heavy metal stresses. In addition to different mechanisms of fixing heavy metals in roots and leaves, biocrystals (Ca-oxalate glands) are metabolic compartmentation sites for detoxification of heavy metals (Al, Cu, Pb, Zn). Furthermore, nutrients such as Ca, Mg, K and Fe are incorporated into these biocrystals. Complexation of heavy metals is part of a tolerance strategy to keep concentrations of potentially toxic elements in the metabolism low.

Keywords: biocrystals, heavy metals, metallophytes, *Silene vulgaris*, X-ray microanalysis.

Einleitung

Pflanzen von Schwermetallstandorten haben sich im Lauf ihrer Ontogenie an den Schwermetallstress angepasst, um auf solchen Sonderstandorten überleben zu können. Viele dieser „Metallophyten“ haben spezielle Anpassungsmechanismen entwickelt, um im Überschuss vorhandene Schwermetalle im Cytosol wirksam zu kompartimentieren, um damit Einbußen der Leistung der Pflanze, von Pflanzenteilen oder Zellprozessen zu verhindern. Damit schwermetallreiche Substrate erfolgreich besiedelt werden können, haben Pflanzen auf zellulärem Niveau zwei Möglichkeiten, Schwermetallstress zu minimieren: Einschränkung der Schwermetallaufnahme („avoidance“ sensu LEVITT 1980, „excluder“ sensu BAKER 1981) oder Toleranz gegen aufgenommene Schwermetalle. Verminderte Aufnahme von Schwermetallen ist eine typische Vermeidungsstrategie, bei der die Zelle geringeren Mengen eines Schwermetalles ausgesetzt wird. Eine zusammenfassende Darstellung möglicher Strategien und Anpassungsmechanismen an Schwermetallstress bei Schwermetallpflanzen findet sich bei PUNZ und SIEGHARDT (1993), HAGEMEYER und BRECKLE (1996) und ERNST (1996).

Viele Vertreter der Caryophyllaceen haben u. a. die Fähigkeit, den internen Spiegel an gelöstem Ca^{2+} durch die Produktion von Oxalat möglichst niedrig zu halten. KINZEL (1982) bezeichnet solche Pflanzen, die dem Gehalt an gelösten Calcium-Ionen durch Produktion von Oxalat entgegenwirken, als „calciophobe“ Physiotypen (Oxalat-Typen). Sowohl in den Wurzeln als auch in den Blättern von *Silene* finden sich zahlreiche Calcium-Oxalat-Drüsen, die offenbar das „Endprodukt“ dieses Stoffwechsels sind. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen Fragen der anatomischen Anpassung und der Schwermetallverteilung in verschiedenen Organen und Geweben der Pflanze, um typische Merkmale der Anpassung an diese Standorte beschreiben und das Überleben dieser Pflanze auf derartigen Sonderstandorten besser verstehen zu können. Darüber hinaus interessiert die Frage, ob Kristalldrüsen durch den Gehalt an Schwermetallen einen Beitrag zur Stressbewältigung liefern können.

Material und Methodik

Die pflanzenanatomischen Untersuchungen wurden an *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* (JORD.) MARSDEN and TURILL. (Caryophyllaceae) durchgeführt. Diese Pflanze besiedelt die oft sehr steilen und schwermetallhaltigen Abraumhalden bergbaulicher Herkunft im Raum Bleiberg/Kreuth in Kärnten. Darüber hinaus ist diese Spezies ein typischer Vertreter der Steinschutt- und Geröllgesellschaften auf Kalk- und Dolomitschutt im Südostalpengebiet (Österreich; vgl. ADLER et al. 1994). Genaue Beschreibungen der Lokalität finden sich bei MAHER et al. (1981); SIEGHARDT (1985a und 1987).

Pflanzenanatomie: Das vorhandene Probenmaterial wurde für die anatomischen Studien in 30%igem Alkohol fixiert und konserviert. Mit Hilfe eines Schlittenmikrotoms (Typ OME, Fa. REICHERT-JUNG) wurden Querschnitte (20–30 μ m Schnittdicke) von Wurzeln und Blättern angefertigt und anschließend anatomisch ausgewertet. Zur Dokumentation und späteren Auswertung der Dauerpräparate wurden mit Hilfe lichtmikroskopischer Methoden (Mikrofotografie) Bilder angefertigt und archiviert. Eine genaue Beschreibung der Methodik findet sich bei MLADEK (1998).

Rasterelektronenmikroskopie/Röntgenstrahl-Mikroanalyse: Die Pflanzenproben wurden nach gründlicher Reinigung mit Aqua dest. in Organe (Wurzel, Sprossachse und Blatt) aufgetrennt. Ein Teil der Proben wurde mit Hilfe der „Kritisch-Punkt-Trocknung“ (CP-Trocknung) fixiert, ein anderer Teil wurde gefriergetrocknet (48 Stunden bei 35 °C im Hochvakuum bei 2×10^{-4} mbar). Teilproben wurden mit Gold (für hohen Bildkontrast) als auch mit reiner Kohle für die Analytik der Schwermetalle bedampft. Für die Mikroelementanalyse wurden Stückproben von Wurzeln und Blätter von *Silene vulgaris* verwendet und im REM (JEOL 35 CF) mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzspektroskopie System LINK QX 2000 auf Schwermetallgehalte untersucht. Die entsprechenden Spektren wurden mit Hilfe eines Si (Li) Röntgenstrahl-Detektors zwischen 0 und 10 KeV (Kiloelektronen-Volt) bestimmt. Aus statistischen Gründen wurden dabei pro Organ 5 Wiederholungen an verschiedenen Geweben durchgeführt. Pro Analyse wurde im Anschluss eine Liste von 15 Elementen (Makro-/Mikronährstoffe und Schwermetalle) erstellt, die einen unmittelbaren Vergleich verschiedener Gewebetypen und Idioblasten erlaubt. Der Vorteil eines kombinierten Systems (REM + LINK) liegt einerseits in der Bildinformation ganzer Stückproben, andererseits können Daten über die chemische Zusammensetzung (Elementanalyse) der Probe und das Verteilungsmuster (dot mapping-) chemischer Elemente in einem Messgang gewonnen werden. Eine genaue Beschreibung dieses Messprinzips findet sich bei MLADEK (1998).

Ergebnisse

Wurzelmorphologie und -anatomie

Das Wurzelsystem von *Silene vulgaris* ist sehr gut an die Steilheit des Geländes angepasst. Der anatomische Bau wird den mechanischen Anforderungen, denen das Wurzelsystem im steilen Gelände ausgesetzt ist, in hohem Maße gerecht und zu deren Bewältigung die spezielle Wurzelarchitektur von *Silene* beiträgt: Eine in größere Tiefen (70–100 cm) reichende Pfahlwurzel (= Hauptwurzel) und mehrere Seiten- und Feinwurzelsysteme in verschiedenen Etagen entlang der Pfahlwurzel ermöglichen es, sich im z. T. noch rutschendem Substrat zu verankern und gleichzeitig mit den Feinwurzeln nährstoffreichere Mikrohabitate des Rohbodens zu besiedeln (SIEGHARDT 1985a und 1987). Der Wurzelquerschnitt zeigt einen breiten, sehr kompakten Xylemmantel, der auch der mechanischen Festigkeit dient. Seine Zellelemente sind stark verholzt und durch zahlreiche ein- bis mehrreihige Xylemstrahlen durchsetzt. Auffallend ist die relativ hohe Dichte an Ca-Oxalat-Drusen in verschiedenen Formen, die in parenchymatischen Idioblasten der Xylemstrahlen liegen (Abb. 1). Der Zentralzylinder wird außen von einem mehrreihigen Rindengewebe und daran anschließend von einem Korkmantel (Periderm) abgeschlossen.

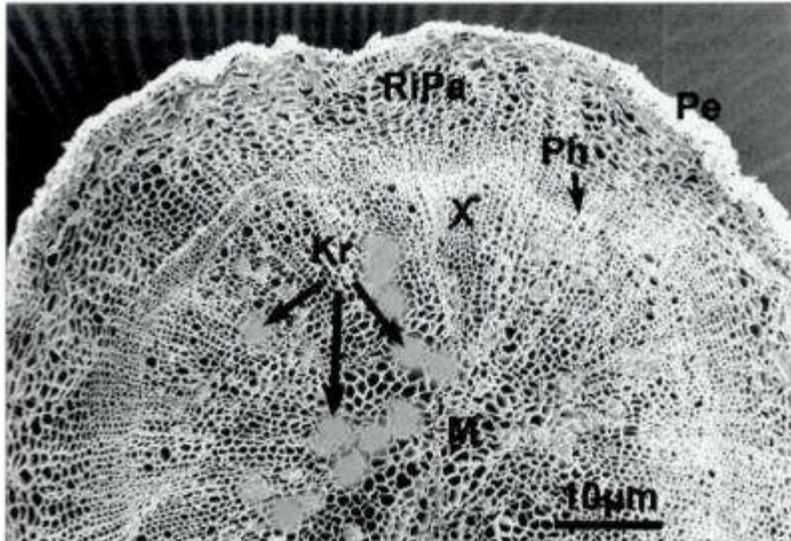


Abb. 1: Querschnitt einer Seitenwurzel von *Silene*; X – Xylem (Wassertransport-System), Ph – Phloem (Assimilattransport-System), RiPa – Rindenparenchym, Pe – Periderm (Kork), M – Markgewebe, Kr – Ca-Oxalat-Kristall, REM-Aufnahme (MLADEK 1998). – Lateral root cross section of *Silene*; X – xylem (water transporting tissue), Ph – phloem (assimilate transporting tissue), RiPa – cortex, Pe – periderm (cork tissue), M – pith, Kr – calcium-oxalate crystal, SEM-micrograph (MLADEK 1998).

Blattanatomie

Das bifazial-dorsiventrale Blatt von *Silene vulgaris* besitzt an der Ober- und Unterseite Spaltöffnungen, die teilweise in die Epidermis eingesenkt sind. Morphologisch lassen sich die Stomata aufgrund von Anordnung und Struktur der Schließ- und Nebenzellen dem Caryophyllaceen-Typ (VESQUE 1889) bzw. nach einer neueren Klassifikation dem diacytischen Typ (METCALFE and CHALK 1950) zuordnen. Die Zellwände der oberen und unteren Epidermis sind zur Verbesserung der mechanischen Festigkeit des Blattes verdickt und z. T. getüpfelt. Das Assimilationsgewebe besteht aus Palisaden- und Schwammparenchym und ist von zahlreichen kollateral gebauten Gefäßbündeln durchzogen. Auffallend sind die vielen an der Grenze Palisaden-Schwammparenchym gelegenen Kristallidioblasten mit z. T. großen Ca-Oxalat-Drusen (Abb. 2).

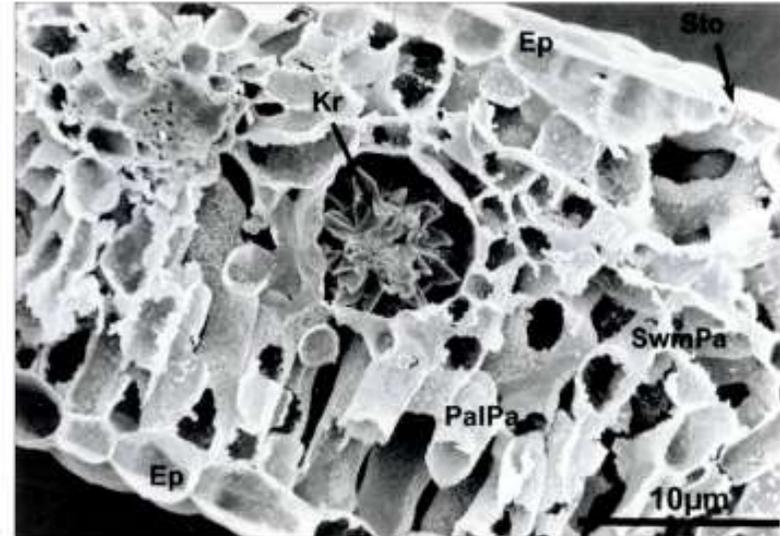


Abb. 2: Blattquerschnitt von *Silene*; PalPa – Palisadenparenchym, SwmPa – Schwammparenchym, Ep – Epidermis, Sto – Stoma (Spaltöffnung), Kr – Ca-Oxalat-Kristall, REM-Aufnahme (MLADEK, 1998). – Leaf cross section of *Silene*; PalPa – leaf mesophyll parenchyma, SwmPa – spongy parenchyma, Ep – epidermis, Sto – stoma, Kr – calcium-oxalate crystal, SEM-micrograph (MLADEK 1998).

Elementverteilung in Fein- und Seitenwurzeln

Tabelle 1 und 2 zeigt die für die entsprechenden Organe typische Elementverteilung. Vergleicht man das Rindengewebe (Cortex) der Feinwurzel mit dem der Seitenwurzel, so zeigt sich, dass die Elemente Aluminium- und Silizium in der Feinwurzel, Calcium dagegen in der Seitenwurzel in höheren Konzentrationen nachzuweisen sind. Bemerkenswert ist der Nachweis dieser Elemente in Biokristallen der entsprechenden Wurzelsysteme. Eine Aluminium-Toxizität des Cytosols könnte dadurch verhindert werden.

Tab. 1 und 2: Ergebnisse der Mikroelementanalyse schwermetallhaltiger Wurzeln (Mittelwerte der Einzelmessungen in Atom-%). – Results of the X-ray microanalysis on heavy-metal containing roots (mean values of the individual measurements in atom-%).

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Feinwurzel		
Elemente	Cortex	Biokristall
Al	19,25	17,33
Si	30,07	37,62
K	17,09	5,76
Ca	13,22	22,84
Fe	2,26	3,73
Cu	1,43	2,18
Zn	1,43	1,12
Pb	1,11	0,97
Cd	0,00	0,00
Ba	0,41	1,18
Mn	0,00	0,02
Cl	0,60	0,50
Mg	9,52	3,18
P	2,39	1,31
S	0,56	1,85

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Seitenwurzel		
Elemente	Cortex	Biokristall
Al	0,00	0,17
Si	2,41	0,92
K	15,53	0,78
Ca	52,11	92,13
Fe	0,85	0,70
Cu	2,11	2,59
Zn	0,47	0,61
Pb	1,39	0,00
Cd	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00
Cl	1,37	0,09
Mg	12,47	1,30
P	4,48	0,71
S	6,63	0,00

Tab. 3 und 4: Ergebnisse der Mikroelementanalyse schwermetallhaltiger Blätter (Mittelwerte der Einzelmessungen in Atom-%). – Results of the X-ray microanalysis on heavy-metal containing leaves (mean values of the individual measurements in atom-%).

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Juvenciles Blatt		
Elemente	Biokristall	Mesophyll
Al	0,63	0,24
Si	16,00	9,90
K	3,47	23,78
Ca	74,95	31,89
Fe	0,42	0,25
Cu	0,86	0,69
Zn	0,21	0,25
Pb	0,00	0,00
Cd	0,00	0,08
Ba	0,00	0,14
Mn	0,00	0,00
Cl	0,24	1,99
Mg	2,79	25,86
P	0,43	3,14
S	0,00	1,80

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Adultes Blatt		
Elemente	Biokristall	Mesophyll
Al	0,51	2,35
Si	12,04	3,75
K	13,16	46,60
Ca	62,32	10,54
Fe	0,39	0,85
Cu	1,04	2,53
Zn	0,27	0,52
Pb	0,00	0,00
Cd	0,00	0,08
Ba	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00
Cl	2,76	9,89
Mg	6,70	18,01
P	0,55	1,85
S	0,25	3,03

Die im Substrat dominierenden Schwermetalle Blei und Zink werden ebenfalls in diese Kristallstrukturen eingebaut. Darüber hinaus lassen sich die Makronährstoffe Magnesium, Phosphor und Schwefel in den Biokristallen der Wurzelsysteme von *Silene* nachweisen.

Elementverteilung in Blättern

Calcium und Magnesium sind im Mesophyll des juvenilen Blattes von *Silene vulgaris* prozentuell in höheren Konzentrationen als im adulten Blatt vorhanden (Tab. 3 und 4). Magnesium selbst ist in der Pflanze gut beweglich (hohe Phloemtransportrate) und wird bei Unterversorgung bzw. Stresssituationen (Schwermetalle!) rasch in die jüngeren Blätter transportiert (MENDEL 1991). Kalium wiederum ist in älteren Blättern in höherer Konzentration nachzuweisen. Die essentiellen Mikronährstoffe Eisen, Kupfer und Zink

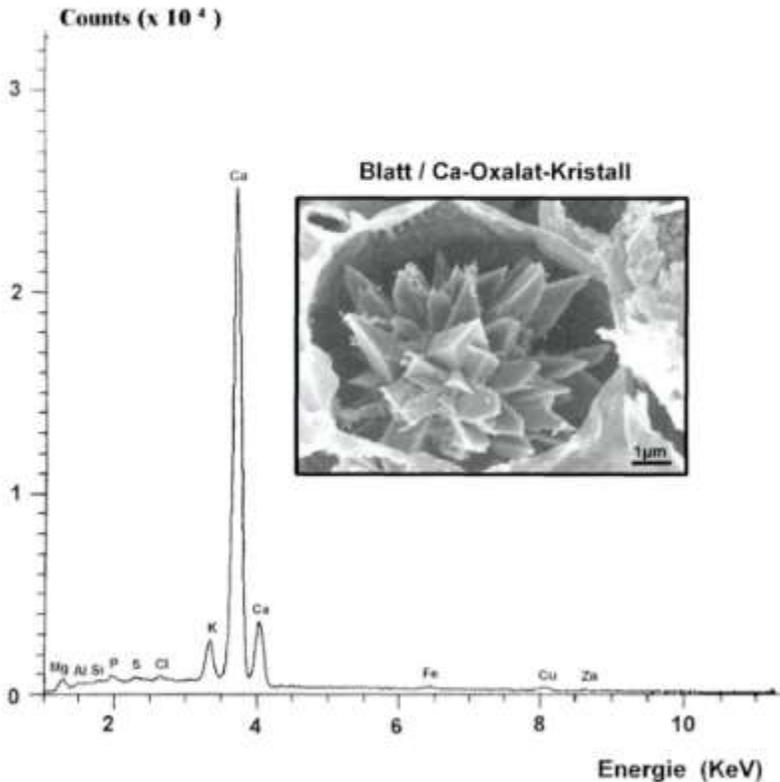


Abb. 3: EDS-Spektrum – Ca-Oxalat-Kristall im Blatt von *Silene*; x-Achse – Elementverteilung in der Probe, y-Achse – Häufigkeit und Intensität der Element-Peaks. – X-ray-spectrum – calcium-oxalate crystal in a leave of *Silene*; x-ordinate – distribution of elements in the specimen, y-ordinate – frequency and intensity of the element-peaks.

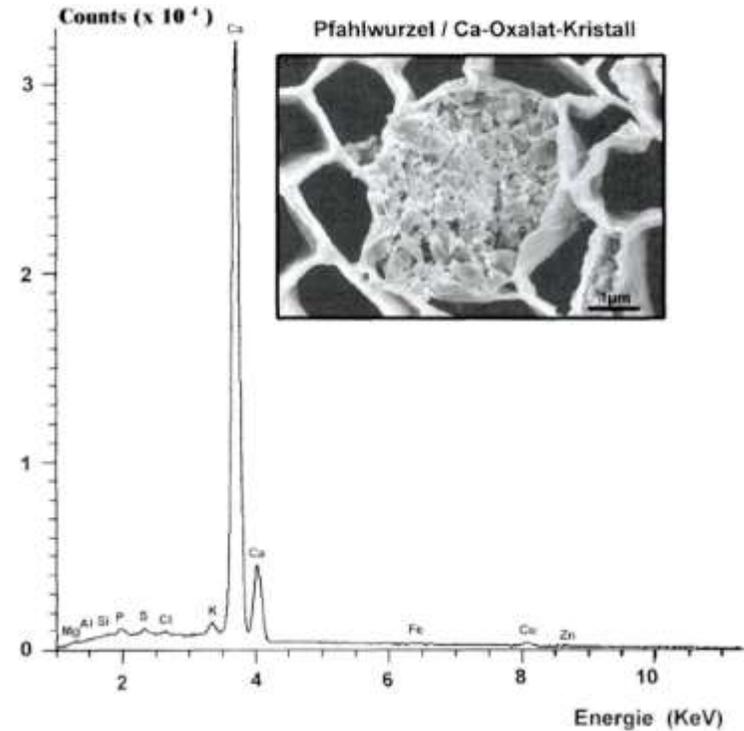


Abb. 5: EDS-Spektrum – Ca-Oxalat-Druse in der Wurzel von *Silene*; man beachte die Mikromorphologie (vgl. Abb. 3). – X-ray-spectrum – calcium-oxalate druse in a root of *Silene*; see the micromorphology (fig. 3).

weisen höhere Konzentrationen im Mesophyll des adulten Blattes auf. Silizium dagegen hat im juvenilen Blatt einen höheren prozentualen Anteil. Blei ist in den Blättern von *Silene vulgaris* nicht nachweisbar. Offenbar wird dieses Element bereits in den Wurzelsystemen fixiert (immobilisiert) und dadurch vom Transport in die oberirdischen Organe ausgeschlossen. Die Biokristalle juveniler und adulter Blätter haben einen relativ hohen Calcium-Gehalt (75 bzw. 62 Atom-%). Überschüssiges Calcium wird in unlöslicher Form als Calcium-Oxalat in den Vakuolen des Mesophylls (Kristallidioblasten) deponiert. Die Makronährstoffe Kalium (K) und Magnesium (Mg) sind im Vergleich zu den übrigen Elementen in relativ hohen Konzentrationen (13 bzw. 6,7 Atom-%) in den Biokristallen adulter Blätter vorhanden. Die Schwermetalle Kupfer (Cu) und Zink (Zn) sind in geringer Konzentration (1 bzw. 0,3 Atom-%) in den Kristallen adulter Blätter vorhanden. Blei, als weitgehend immobiles Schwermetall, konnte in den Biokristallen der Blätter von *Silene* nicht nachgewiesen werden.

EDS-Spektren-Auswertung

Die Abbildungen 3 und 5 zeigen EDS-Spektren von Kristalldrüsen im Blatt bzw. in der Wurzel von *Silene vulgaris*. Die Anzahl der Peaks lässt auf die qualitative Elementverteilung innerhalb der Probe schließen, die Höhe der Peaks liefert andererseits Informationen über die Intensität einzelner Elemente in der Probe. Bemerkenswert ist der hohe Calcium-Peak in beiden Kristalldrüsen. Die Form der Calcium-Oxalat-Drüsen ist offenbar in den Wurzeln (unregelmäßige prismatische Kristalle) und Blättern (3-seitige prismatische Kristallflächen) verschieden; Der „Einbau“ von Schwermetallen in die Kristallstruktur könnte u. a. als Toleranz-Mechanismus zur Immobilisierung von Schwermetallen gedeutet werden. Der Nachweis von Eisen, Magnesium und Phosphor in diesen Strukturen lässt vermuten, dass Kristallidioblasten auch als Depots für Nährionen dienen. Abbildung 4 zeigt ein sogenanntes Punktdichtebild (Dot-Mapping) von einem Biokristall aus dem Blatt von *Silene vulgaris*. Die Punktdichte zeigt die jewei-

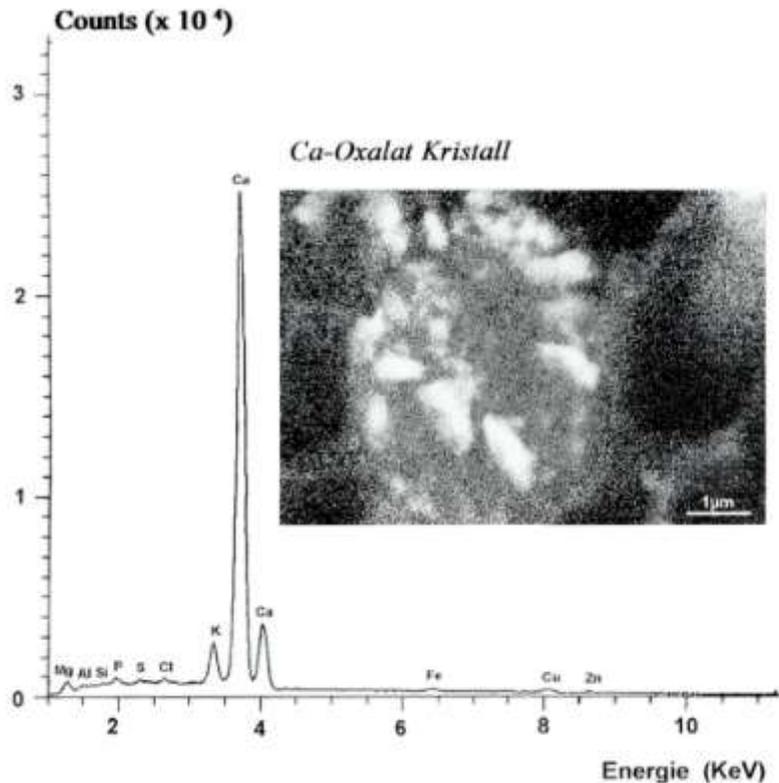


Abb. 4: Ca-Dot-Mapping (Punktdichte- Bild), Ca-Oxalat-Drüse von *Silene*; Abkürzungen Abb. 3. – Ca-dot-mapping, calcium-oxalate crystal of *Silene*; abbreviations fig. 3.

lige Calcium-Konzentration und das Verteilungsmuster dieses Elementes innerhalb des Kristalles an. Die Konzentration vorhandener Schwermetalle (Kupfer, Zink) war aber zu gering, um sie in einem Dot-Mapping zu visualisieren. Das EDS-Spektrum zeigt die relativ hohe Calcium-Dichte in einem Biokristall.

Diskussion

Wie im Ergebnisteil erwähnt, ist das Wurzelsystem von *Silene vulgaris* sehr gut an die oft sehr steilen Halden bergbaulicher Herkunft angepasst. Eine, speziell an die Steilheit des Geländes adaptierte Wurzelarchitektur gewährleistet einerseits eine stabile Verankerung der Pflanze im lockeren (nicht verfestigtem) Haldensubstrat, andererseits können die Feinwurzelsysteme nährstoffreichere Mikrohabitate in tieferen Bodenschichten erreichen. Die typische Wurzelanatomie von *Silene* wird in hohem Maße den mechanischen Anforderungen gerecht. Auch die Blätter zeigen in ihrem anatomischen Bau Anpassungen an diese Standorte. Zahlreiche Kristallidioblasten in den Blättern weisen *Silene vulgaris* als typischen Oxalat-Typ aus (vgl. KINZEL 1982). Ein wichtiger ökologischer Stressfaktor ist das auf anthropogenen Schwermetallstandorten häufig sehr niedrige Angebot an Stickstoff und Phosphat, das die Pflanze als Reaktion durch starkes Wurzelwachstum bzw. Ausbildung weiterer Feinwurzelsysteme zu kompensieren versucht (vgl. SIEGHARDT 1987). Die Entwicklung eines weit- und tiefausreichenden Wurzelsystems führt aber zwangsläufig dazu, dass die Kontaktfläche mit dem schwermetallreichen Substrat größer wird. Eine vermehrte (meist passive) Schwermetallaufnahme muss aber durch die Bildung neuer Blätter kompensiert werden, um die Schwermetallmengen (vor allem das Zink) in den Vakuolen des Blattmesophylls zu detoxifizieren. Je älter ein Blatt ist, desto höher ist die Konzentration derjenigen Schwermetalle, die im Boden im Übermaß pflanzenverfügbar sind (EKST 1996). Vor allem Metallophyten mit hoher Schwermetallanreicherung in den oberirdischen Organen, wie z. B. *Thlaspi*, *Alyssum* oder *Cardaminopsis*, zeichnen sich durch Rosettenwuchsform aus. Eine Strategie, die oft sehr steilen und nicht verfestigten Schutthalden zu bewältigen. Im Laufe und am Ende der Vegetationsperiode werden mit den toten Blättern große Schwermetallmengen aus der Pflanze beseitigt. Abgestorbene Wurzeln und Blätter werden humifiziert; damit werden Schwermetalle in zunehmendem Maße an organische Stoffe gebunden, und die Schwermetallverfügbarkeit stark herabgesetzt. In der Folge können sich dann Arten mit einer geringeren Schwermetallresistenz ansiedeln. Das typische mosaikartige „Muster“ einer fortschreitenden Clusterbildung verschieden schwermetallresistenter, mehrjähriger Pflanzen auf Schwermetallhalden wird diesem Zyklus gerecht.

Vergleicht man die Mikroelementanalyse und Elementverteilung in juvenilen und adulten Blättern, so zeigen sich mit Ausnahme von Kalium höhere prozentuale Werte in den jungen Blättern von *Silene*. Zweifellos spielen P und Mg beim Aufbau von Biomembranen (z. B. Phospholipide) bzw. bei der Chlorophyll-Biosynthese in jungen Blättern eine große Rolle (vgl. MARSCHNER 1995). Kalium nimmt u. a. eine Schlüsselrolle bei der Osmoregulation von Zellen und beim Wassertransport in der Pflanze ein. Wie BÖCKING and HEYER (2000) an Wurzeln von *Pinus sylvestris* zeigen konnten, ist die höchste K-Konzentration innerhalb des Zentralzylinders – im Cytosol der Xylemparenchymzellen nachzuweisen. Offenbar spielen diese Zellen beim „Beladen“ des Wassertransportes in die oberirdischen Organe (Blätter) die entscheidende Rolle. Die Zunahme des Cu- und Zn-Gehaltes in den adulten Blättern von *Silene* deutet auf einen Schwermetalltransport in chelatisierter Form in die oberirdischen Organe (vgl. MATHYS 1977, HARMENS et al.

1994, ERNST 1996). Blei konnte in den Blättern weder im Mesophyll, noch in den Bio-kristallen nachgewiesen werden. Dieses Schwermetall wird bereits in den Wurzelsystemen immobilisiert (fixiert) und damit einem Weitertransport in die oberirdischen Organe weitgehend entzogen (vgl. SIEGHARDT 1985a und 1987).

Die Aufnahme der gemessenen Schwermetalle Blei, Kupfer und Zink in den Apoplasten der Wurzel scheint bei *Silene* passiv und selektiv durch Träger (carrier) und Ionkanäle zu erfolgen. (DE VOS et al. 1993, BARONI et al. 2000). In der Wurzelrinde wird das Element Blei vor allem an die Zellwände der Cortexzellen gebunden (hohe Affinität des Bleis zu COOH-Gruppen der Galakturon- und Carbonsäuren in der Mittellamelle) und dadurch einem Weitertransport via Xylemelemente in die oberirdischen Organe weitgehend entzogen (SIEGHARDT 1985a, BÖCKING und HEYSER 2000). Die Elemente Kupfer und Zink werden einerseits in den Wurzelrindezellen durch eine hohe Affinität zu Carboxyl- und Sulfhydryl-Gruppen im Cytosol komplexiert, andererseits als Metallchelate in die oberirdischen Organe transportiert und in den Zellen des Blattmesophylls vor allem in den Vakuolen deponiert (MATHYS 1977, ZHAO et al. 2000).

Wie bereits erwähnt, besitzt *Silene vulgaris* die Fähigkeit, überschüssiges Ca^{2+} in Form von Oxalat-Kristallen in verschiedenen Geweben (Wurzeln und Blätter) zu deponieren. Wie die Ergebnisse gezeigt haben (vgl. Tab. 1 u. 2), werden die Elemente Blei, Kupfer und Zink und darüber hinaus auch Pflanzennährstoffe in geringer Konzentration in die kristallinen Strukturen der Calcium-Oxalat-Drüsen eingebaut. Ob und auf welche Art und Weise diese Elemente wieder in den Stoffwechsel eingeschleust werden, darüber gibt es noch sehr wenige Untersuchungen (vgl. VOLK et al. 2002). Aus der Literatur ist die Festlegung (Immobilisierung) von Schwermetallen in kristallinen Strukturen bei einem Überangebot an Schwermetallen im Substrat bekannt. So berichten VAN STEVENINCK et al. (1993) von Zinkablagerungen als Zinkphytat in kleinen Vakuolen der Wurzelrindezellen bei Zn-toleranten Formen von *Deschampsia caespitosa*. Die Zink-Hyperakkumulatorpflanze *Thlaspi caerulescens* speichert große Mengen an Zink in globulären Kristallen der epidermalen und subepidermalen Zellen der Blätter (VAZQUEZ et al. 1994). Weitere Literaturzitate über verschiedene Depositionsorte von Schwermetallen in schwermetalltoleranten Pflanzen finden sich u. a. bei FRANCESCO und SCHUEREN (1986), BARCELLO und POSCHENRIEDER (1999), BARONI et al. (2000).

Silene hat auf diesen anthropogenen Schwermetallstandorten offenbar mehrere auf unterschiedlichem Niveau (zelluläre Ebene bis Individualniveau) befindliche Adaptationsmechanismen entwickelt, um den internen Schwermetallgehalt möglichst niedrig zu halten, und andererseits durch anatomisch-morphologische Anpassungen diese Standorte zu bewältigen. Dadurch ist diese Art imstande, auf diesen Schwermetallhabitaten auch erfolgreich zu überleben.

Literatur

- ADLER W., OSWALD K. and FISCHER R., 1994: Exkursionsflora von Österreich. Ulmer, Stuttgart und Wien.
- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition* 3, 643–654.
- BARCELLO J. and POSCHENRIEDER CH., 1999: Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In: PRASAD M. N. V. and HAGIMEYER J. (Eds.), Heavy metal stress in plants, 103–110. Springer, Berlin.
- BARONI F., BOSCAGLI A., PROTANO G. and RICCOBONO F., 1981: Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. *Environmental Pollution* 109, 347–352.
- BÖCKING H. and HEYSER W., 2000: Subcellular compartmentation of elements in non-mycorrhizal roots of *Pinus sylvestris*: an X-ray microanalytical study. II. The distribution of calcium, potassium and sodium. *New Phytol.* 145, 321–331.
- DE VOS C. H. R., BOOKUM W. M. T., VOORS R., SCHAT H. and DE KOK L. J., 1993: Effect of copper on fatty acid composition and peroxidation of lipids in the roots of copper tolerant and sensitive *Silene cucubalus*. *Plant Physiol. Biochem.* 31, 151–158.
- ERNST W. H. O., 1996: Schwermetalle. In: BRUNOLD CH., ROEGSEGGER A. and BRÄNDLE R. (Eds.), Stress bei Pflanzen, p. 191–219. P. Haupt, Bern und Wien.
- FRANCESCO V. R. and SCHUEREN A. M., 1986: Incorporation of strontium into plant calcium oxalate crystals. *Protoplasma* 130, 199–205.
- HAGIMEYER J. and BRECKLE S. W., 1996: Growth under trace element stress. In: WASEL Y., ESHEL A. and KAFKAFI U. (Eds.), Plant roots: the hidden half, 415–433. Dekker, New York.
- HARMENS H., KOEVOUTS P. L., VERKLEIJ J. A. and ERNST W. H. O., 1994: The role of low molecular weight organic acids in the mechanism of increased zinc tolerance in *Silene vulgaris* (MOENCH) GARCKE. *New Phytol.* 126, 615–621.
- KINZEL H., 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Ulmer, Stuttgart.
- LEVITT J., 1980: Response of plants to environmental stress. Academic Press, New York.
- MADR R., PUNZ W., SIEGHARDT H., DOMSCHITZ E., NAGL A., WIENER S., KULIANEK A. und MÜLLER-LIBNER W., 1981: Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten. *Carinthia II. Klagenfurt* 171/91., 201–222.
- MARSHNER H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- MATHYS W., 1977: The role of malate, oxalate, and mustard oil glucosides in the evolution of zinc-resistance in herbage plants. *Physiol. Plant.* 40, 130–136.
- MENDEL K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer, Jena.
- MICALFE C. R. and CHALK L., 1950: Anatomy of the Dicotyledons. Clarendon Press, Oxford.
- MLADEK CH., 1998: Licht- und rasterelektronenmikroskopische Studien zur Anatomie und Elementverteilung schwermetallbelasteter Pflanzen. Diplomarbeit, Formal- und Naturwiss. Fakultät, Universität Wien.
- PUNZ W. and SIEGHARDT H., 1993: The response of roots of herbaceous plants species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33, 85–98.
- SIEGHARDT H., 1985a: Zur Frage der Besiedelung schwermetallhaltiger Abraumhalden in Bleiberg/Kärnten. Teil I: *Silene vulgaris* ssp. *glauca*. *Carinthia II.*, 171/91, 27–45.
- SIEGHARDT H., 1987: Schwermetall- und Nährelementgehalte von Pflanzen und Bodenproben schwermetallhaltiger Halden im Raum Bleiberg in Kärnten (Österreich), I. Krautige Pflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 150, 129–134.
- VAN STEVENINCK R. F. M., BABARI A., FERNANDO R. and VAN STEVENINCK M. E., 1993: The binding of zinc in root cells of crop plants by phytic acid. *Plant and Soil* 155, 525–528.
- VAZQUEZ M. D., POSCHENRIEDER CH., BARCELLO J., BAKER A. J. M., HATTON P. and COPE G. H., 1994: Compartmentation of zinc in roots and leaves of the zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* J and Presl C.
- VESQUE L., 1889: De l'emploi des caracteres anatomiques dans la classification des vegetaux. *Bull. Bot. France* 36, 41–77.

VOLK G. M., LYNCH-HORN V. J., KOSTMANN T. A., GOSS L. J. and FRANZESCHI V. R., 2002: The role of druse and raphide calcium oxalate crystals in tissue calcium regulation in *Pistia stratiotes* leaves. *Plant Biol.* 4, 34–45.

ZHANG F. J., LUMB E., BREEDON T. and McGRATH S. P., 2000: Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. *Plant, Cell and Environment* 23, 507–514.

Manuskript eingelangt: 2002 04 25

Anschrift: Mag. Christina Mladek und Univ. Prof. Dr. Helmuth Sieghard, Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien, Abteilung Ökophysiologie der Pflanzen, Althanstraße 14, A-1090 Wien.

13 Gestufte Hilfen zur Literatur

Vereinfachte Fassung für den Unterricht, Original in Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 139 (2002): 109-121

Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* - Besiedler schwermetallhaltiger Kalk-Schutthalden des Südostalpenraumes

Christina MLADEK und Helmuth SIEGHARDT

Zusammenfassung/ Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* (Schutt-Leimkraut) aus der Region Bleiberg/Kreuth in Kärnten. Pflanzen, welche auf stark schwermetallbelasteten Böden wachsen können werden Metallophyten genannt. Diese Pflanzen entwickelten im Laufe der Zeit spezielle Strategien im Umgang mit Schwermetallen. Manche binden Schwermetalle bereits im Wurzelbereich um die oberirdischen Pflanzenteile zu schützen, andere schleusen Schwermetalle in bestimmte Pflanzenteile um sie dort zu verwahren (Fixierung in Kristallen). Wenn Schwermetalle in bestimmten Pflanzenteilen festgehalten (fixiert) werden, sind sie für den Stoffwechsel nicht mehr zugänglich und schützen so die Pflanze vor Schäden durch Schwermetalle. Diese Arbeit soll klären wie *Silene mutans* mit erhöhten Schwermetallkonzentrationen umgeht. Dies soll zeigen welche Anpassungen Pflanzen an Schwermetallstandorten für das Überleben entwickelt haben. Außerdem werden Kristalle in *Silene vulgaris* untersucht, um zu sehen ob in diesen Kristallen Schwermetalle eingelagert werden. Als Untersuchungsmethoden wurden Lichtmikroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie gewählt. Die Ergebnisse zeigen, dass *Silene mutans* viele feine Wurzeln ausbildet (vermehrte Wurzelwachstum) um an nährstoffarmen Schwermetallstandorten überleben zu können. Die große Wurzeloberfläche führt allerdings auch zur größeren Schermetallbelastung (Kontaktfläche). In adulten Blättern (ältere Blätter) wurden mehr Kupfer und Zink festgestellt als in juvenilen (junge) Blättern. Kupfer und Zink werden teilweise in den Wurzeln fixiert aber auch in die oberirdischen Blatteile, besonders in Vakuolen transportiert und dort gespeichert.

Einleitung

Im Laufe der Entwicklung haben sich bestimmte Pflanzen an Schwermetallstandorte angepasst. Diese Pflanzen werden Metallophyten genannt. Viele Schwermetalle sind besonders in höheren Konzentrationen für Tiere, Menschen und Pflanzen toxisch (giftig). Metallophyten entwickelten unterschiedliche Strategien im Umgang mit Schwermetallbelastung um auf diesen besonderen Standorten überleben zu können. Entweder wird der Transport der Schwermetalle in die oberirdischen Blatteile verhindert oder sie werden in bestimmten Pflanzenteilen fixiert (Vakuolen, Drusen). Leimkrautgewächse bilden häufig Kristalle aus, welche als Endlagerstätten für Schwermetalle dienen können. Diese Arbeit soll klären welche Anpassungen *Silene vulgaris* im Laufe ihrer Entwicklung an die Bedingungen auf Schwermetallstandorten hervorgebracht hat. Weiters wird untersucht, ob die Bildung von Kristalldrusen Einfluss auf die Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* hat.

Material und Methoden

Untersucht wurden Pflanzenproben von *Silene vulgaris* subsp. *glareosa*. Entnommen wurden diese Pflanzen aus den Abraumhalden im Leiberg/Kreuth in Kärnten.

Pflanzenanatomie: Für die anatomischen Untersuchungen wurden Dauerpräparate mittels Alkohol hergestellt und lichtmikroskopisch untersucht.

Rasterelektronenmikroskopie/Röntgenstrahl-Mikroskopie: Die Pflanzen wurden gründlich mit Wasser gewaschen und in Wurzel, Blätter und Sprossachsen aufgeteilt. Ein Teil der Probe wurde getrocknet, der andere Teil gefriergetrocknet und im Anschluss mit Gold oder Kohle bedampft. Es wurden jeweils 5 Messungen pro Pflanzenteil (Blatt, Wurzel, Spross) durchgeführt.

Ergebnisse

Anatomische Untersuchungen:

Das Wurzelsystem von *Silene vulgaris* ist sehr gut an die Umgebungsbedingungen angepasst. Aufgrund des steinig und steilen Geländes bildet *Silene vulgaris* eine lange Pfahlwurzel aus. Ausgehend von dieser Pfahlwurzel verteilt sich ein großes Feinwurzelnnetzwerk. Auch im Wurzelsystem findet man eine hohe Anzahl an Ca-Oxalat-Kristallen.

Elementverteilung in Atom-%:

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Feinwurzel		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	1,43	2,18
Zn	1,43	1,12
Fe	2,26	3,73
Pb	1,11	0,97

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Seitenwurzel		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	2,11	2,59
Zn	0,47	0,61
Fe	0,85	0,70
Pb	1,39	0,00

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Junges (juveniles) Blatt		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	0,86	0,69
Zn	0,21	0,25
Fe	0,42	0,25
Pb	0,00	0,00

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Älteres (adultes) Blatt		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	1,04	2,53
Zn	0,27	0,52
Fe	0,39	0,85
Pb	0,00	0,00

Eisen, Kupfer und Zink sind als essentielle Mikronährstoffe in den Blättern vorhanden. Blei ist nicht in den Blättern nachweisbar. Es wird bereits im Wurzelbereich fixiert, um die Blätter vor toxischen Einflüssen zu schützen.

Die Ca-Oxalat-Kristalle sind in Wurzeln und Blättern verschieden geformt. Da Pflanze Schwermetalle in diese Drusen einbauen kann, könnten die Kristalle eine wichtige Funktion in der Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* haben.

Diskussion und Conclusio

Die anatomischen Untersuchungen zeigen, dass die Blätter und Wurzeln von *Silene vulgaris* gut an die Standortbedingungen angepasst sind. Die Kristalle in den Blättern zeigen, dass es sich bei *Silene vulgaris* um einen typischen Oxalat-Typ handelt (Kinzel 1982). Durch den an Schwermetallstandorten typischen nährstoffarmen Boden (wenig Phosphat und Stickstoff) bildet die Pflanze ein starkes und großes Wurzelsystem aus (Sieghardt 1987). Diese Vergrößerung des Wurzelsystems führt zu einer größeren Kontaktfläche mit schwermetallangereichertem Boden. Diese Schwermetalle werden meist passiv aufgenommen und müssen in den Blättern unschädlich gemacht werden. In älteren Blättern ist die Schwermetallkonzentration höher als in jüngeren Blättern (Ernst 1996). Blei konnte weder in den jungen noch in den älteren Blättern nachgewiesen werden. Dieses Element wird bereits im Wurzelbereich fixiert (Sieghardt 1985a 1987). Auch Kupfer und Zink werden zu einem gewissen Teil im Wurzelbereich festgehalten. In den oberirdischen Organen werden sie meistens in den Vakuolen eingelagert (Mathys 1977, Zhao et al. 2000).

Silene vulgaris kann durch verschiedenen Adaptionsmechanismen den internen Schwermetallgehalt relativ niedrig halten und so auf diesen Sonderstandort überleben.

Literatur (kopiert aus original Dokument)

- ADLER W., OSWALD K. AND FISCHER R., 1994: Exkursionsflora von Österreich. Ulmer, Stuttgart und Wien.
- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition* 3, 643–654.
- BARCELLO J. and POSCHENRIEDER CH., 1999: Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In: PRASAD M. N. V. AND HAGEMEYER J. (Eds.), *Heavy metal stress in plants*, p. 183–205. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- BARDI F., BOSCAGLI A., PROTANO G. and RICCOBONO F., 1981: Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. *Environmental Pollution* 109, 347–352.
- BÖCKING H. and HEYSER W., 2000: Subcellular compartmentation of elements in non-mycorrhizal roots of *Pinus sylvestris*: an X-ray microanalytical study. II. The distribution of calcium, potassium and sodium. *New Phytol.* 145, 321–331.
- DE VOS C. H. R., BOOKUM W. M. T., VOOJIS R., SCHAT H. and DE KOK L. J., 1993: Effect of copper on fatty acid composition and peroxidation of lipids in the roots of copper tolerant and sensitive *Silene cucubalus*. *Plant Physiol. Biochem.* 31, 151–158.
- ERNST W. H. O., 1996: Schwermetalle. In: BRUNOLD CH., RÖGEGGER A. and BRÄNDLE R. (Eds.), *Stress bei Pflanzen*, p. 191–219. P. Haupt, Bern und Wien.
- FRANCESCHI V. R. and SCHUEREN A. M., 1986: Incorporation of strontium into plant calcium oxalate crystals. *Protoplasma* 130, 199–205.
- HAGEMEYER J. and BRECKLE S. W., 1996: Growth under trace element stress. In: WAISEL Y., ESHIEL A. and KAFKAFI U. (Eds.), *Plant roots: the hidden half*. 415–433. Dekker, New York.
- HARMINS H., KOEVOETS P. L., VERKLEIJ J. A. and ERNST W. H. O., 1994: The role of low molecular weight organic acids in the mechanism of increased zinc tolerance in *Silene vulgaris* (MOENCH) GÄRCKE. *New Phytol.* 126, 615–621.
- KINZEL H., 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Ulmer, Stuttgart.
- LEVITT J., 1980: Response of plants to environmental stress. Academic Press, New York.

- MAIER R., PUNZ W., SIEGHARDT H., DOMSCHITZ E., NAGL A., WIENER S., KULHANEK A. und MÜHLHNER W., 1981: Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten. *Carinthia II. Klagenfurt* 171./91., 201–222.
- MARSCHNER H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- MATHYS W., 1977: The role of malate, oxalate, and mustard oil glucosides in the evolution of zinc-resistance in herbage plants. *Physiol. Plant.* 40, 130–136.
- MINGEL K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer, Jena.
- MILCALFE C. R. and CHALK L., 1950: Anatomy of the Dicotyledons. Clarendon Press, Oxford.
- MLADEK CH., 1998: Licht- und rasterelektronenmikroskopische Studien zur Anatomie und Elementverteilung schwermetallbelasteter Pflanzen. Diplomarbeit, Formal- und Naturwiss. Fakultät, Universität Wien.
- PUNZ W. und SIEGHARDT H., 1993: The response of roots of herbaceous plants species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33, 85–98.
- SIEGHARDT H., 1985a: Zur Frage der Besiedelung schwermetallhaltiger Abraumhalden in Bleiberg/Kärnten. Teil I: *Silene vulgaris* ssp. *glareosa*. *Carinthia II.*, 171/91, 27–45.
- SIEGHARDT H., 1987: Schwermetall- und Nährelementgehalte von Pflanzen und Bodenproben schwermetallhaltiger Halden im Raum Bleiberg in Kärnten (Österreich), I. Krautige Pflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 150, 129–134.
- VAN STEVENINCK R. F. M., BADARE A., FERNANDO R. and VAN STEVENINCK M. E., 1993: The binding of zinc in root cells of crop plants by phytic acid. *Plant and Soil* 155, 525–528.
- VÁZQUEZ M. D., POSCHENRIEDER CH., BARCELO J., BAKER A. J. M., HATTON P. and COPE G. H., 1994: Compartmentation of zinc in roots and leaves of the zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* J and Presl C.
- VESQUE I., 1889: De l'emploi des caracteres anatomiques dans la classification des vegetaux. *Bull. Bot. France* 36, 41–77.
- VOLK G. M., LYNCH-HUM V. J., KOSTMANN T. A., GOSS L. J. and FRANCESCO V. R., 2002: The role of druse and raphide calcium oxalate crystals in fissive calcium regulation in *Pistia stratiotes* leaves. *Plant Biol.* 4, 34–45.
- ZHAO F. J., LOMBI E., BRLEDON T. and McGRATH S. P., 2000: Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. *Plant, Cell and Environment* 23, 507–514.

Manuskript eingelangt: 2002 04 25

Anschrift: Mag. Christina MLADEK und Univ. Prof. Dr. Helmuth SIEGHARDT, Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien, Abteilung Ökophysiologie der Pflanzen, Althanstraße 14, A-1090 Wien.

Übersetzung aus dem Englischen und vereinfacht für den Unterricht von Stephanie Kolber

SONDERSYMPOSIUM: PHYTOMEDIATION

NICKEL-HYPERAKKUMULATION IN *THLASPI GOESINGENSE*: EIN WISSENSCHAFTLICHER
REISEBERICHT

DAVID E. SALT*

Fachbereich Chemie, Universität Northern Arizona, Flagstaff, AZ 86011

(Eingereicht am 1. September 2000; angenommen am 10. Oktober 2000; Herausgeber R. H. Smith)

Zusammenfassung

In den letzten 6 Jahren hat meine Forschungsgruppe versucht, die molekulargenetischen Grundlagen der Nickel-Hyperakkumulation in *Thlaspi goesingense* zu entschlüsseln. Unser langfristiges Ziel ist es, die von uns identifizierten Gene für die Veränderung von Pflanzen zum Zweck der Phytomediation zu nutzen (Salt et al., 1998). Hierzu wurden die in Österreich (Redschlag) gesammelten Pflanzen zunächst mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) untersucht. Auch die Bodenproben im Wurzelbereich wurden so untersucht. Die Untersuchung ergab einen signifikant höheren Nickelgehalt in der Pflanze als in der Bodenprobe. Dies zeigt, dass es sich bei *T. goesingense* um einen Hyperakkumulator handelt. Im Labor wurden gesammelte Samen von *T. goesingense* zum Keimen gebracht und mit der verwandten nichtakkumulierenden *T. arvense* hydroponisch angebaut. *T. goesingense* reichte hierbei um 70% mehr Nickel an, als die Vergleichspflanze. Die Nickelaufnahme durch die zugesetzte Lösung wurde in beiden Pflanzen gemessen. Mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) wurde festgestellt, dass Nickel vor allem in der Zellwand der Pflanze angereichert wird. Auch in den Vakuolen wird ein Teil des Nickels gespeichert. Weiters wurden drei Metal-Transportproteine gefunden. Aufbauend auf den gefundenen Erkenntnissen soll die Fähigkeit zur Hyperakkumulation zukünftig in Pflanz gentechnisch eingebaut werden. Diese Pflanzen können so zur Phytomediation genutzt werden.

Schlüsselwörter: hyperaccumulation; phytoremediation; *Thlaspi*; nickel

SCHWERMETALL-HYPERAKKUMULATION

Metall-Hyperakkumulatoren sind Pflanzen, die in der Lage sind, bestimmte Metalle und Nichtmetalle aus dem Boden aufzunehmen und diese in oberirdischen Geweben in Konzentrationen von über 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Co, Cr, Cu, Ni und Se oder mehr als 10 000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Zn oder Mn der Trockenmasse zu speichern. Ungefähr 400 Hyperakkumulatorenarten wurden anhand der Analyse von im Feld gesammelten Proben identifiziert. Metall-Hyperakkumulatoren sind interessante Modellorganismen für die Entwicklung der Phytomediation; wir beginnen jedoch gerade erst die molekularen, biochemischen und physiologischen Prozesse zu verstehen die zu dem Phänotyp des Hyperakkumulators führen (Persans und Salt, 2001).

THLASPI GOESINGENSE ALS MODELL-HYPERAKKUMULATOR

Zunächst mussten wir für unsere Forschung einen geeigneten Hyperakkumulator finden. 1980 wurde festgestellt, dass *Thlaspi goesingense* Halacys ein Nickel-Hyperakkumulator ist. Diese Pflanze gehört zur Familie der Senfplanzen und ist mit *Arabidopsis thaliana* verwandt. Wir entschieden uns für *T. goesingense* als Modelorganismus, da diese Pflanze

unter Laborbedingungen gut gezüchtet werden kann. Außerdem standen uns Daten aus dem Arabidopsis-Genom-Projekt zur Verfügung.

Im Frühjahr 1995 machten wir uns in Österreich auf die Suche nach *T. goesingense* die an einem ultramafischen Standort in Redschlag, Österreich, wächst (Abb. 1). Es wurden Blätter und Erdproben mit Hilfe eines tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysegerätes (XRF) auf Nickel untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass *T. goesingense* in ihren Blättern dreimal mehr Nickel ($5477 \pm 986 \mu\text{g/g}$) speichert, als in den Bodenproben nachgewiesen werden konnte. Daher konnten wir eine Verunreinigung der Blattproben durch Mineralstaub ausschließen. In anderen am Standort wachsenden Arten wurde weitaus weniger Nickel gemessen. Diese erste Untersuchung bestätigte, dass *T. goesingense* ein Hyperakkumulator ist.

Die gesammelten Samen wurden im Labor zum Keimen gebracht. *T. goesingense* und *T. arvense* (Verwandte Art; Nicht-Akkumulator) wurden in einer Nährstofflösung, ohne Erdmaterial aufgezogen (hydroponisch). Der Nährlösung wurden geringe Mengen an Nickel zugesetzt. Es wurde drauf geachtet, dass die Menge an Nickel für keine der Pflanzen giftig ist. Man konnte so sehen, dass *T. goesingense* um 70%

mehr Nickel im Spross anreichert als *T. arvense*. Außerdem wuchs *T. arvense* viel schlechter unter Nickerfluss. Da *T. goesingense* Nickel besser toleriert und aufnimmt als *T. arvense*, muss ein bestimmter Mechanismus in der Pflanze vorhanden sein, die ihr den Umgang mit hohen Nickelkonzentrationen ermöglicht. Hierzu stellten wir drei Hypothesen auf:

- *T. goesingense* kann Nickel besser im Wurzelbereich lösen
- *T. goesingense* kann Nickel besser aufnehmen und zu den Trieben transportieren
- *T. goesingense* kann höhere Konzentrationen von Nickel im Spross tolerieren

METHODEN

Zunächst wurden Wurzelsekrete (Wurzelexsudate) mittels Dünnschichtchromatographie (TLC) auf Nickel-Bindende-Verbindungen untersucht.

Mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) wurde festgestellt, wo in der Pflanze Nickel zu finden ist.

Anschließend wurde eine cDNA-Bibliothek von *T. goesingense* erstellt, um genetische Ursachen der Nickeltoleranz aufzudecken.

ERGEBNISSE

Wurzelsekrete. Die Ergebnisse der Dünnschichtchromatografie (TLC) zeigten keine hochaffinen (für etwas bestimmtes anziehend) Ni-Bindenden-Verbindungen in *T. goesingense*. Wurde aber der die Vergleichspflanze *T. arvense* mit Nickel behandelt, wurden in den Wurzelsekreten mehr Histidin und Citrat gefunden.

Nickeltransport und Toleranz. Es konnte kein Unterschied in der Transportraten von Nickel (Weg und Zeit die die Pflanze braucht um Nickel von der Wurzel zum Spross zu bringen) gefunden werden.

Nickeltoleranz und Nickellokalisierung. Analysen zeigten, dass die Blattprotoplasten (=kleinste selbstständig lebensfähige Einheit einer Zelle) von *T. goesingense* mehr Nickel unbeschadet aushalten als die Vergleichspflanze *T. arvense*. Wenn *T. goesingense* und *T. arvense* in Kontakt mit gleich viel Nickel kommen, nimmt der Hyperakkumulator *T. goesingense* doppelt so viel Nickel auf.

Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS). Diese Untersuchung ergab, dass ein Großteil des im Blatt von *T. goesingense* enthaltenen Nickels mit der Zellwand verbunden ist. Der Rest wurde in der Vakuole gefunden.

Metalltransportproteine. Auf genetischer Ebene konnten drei Metalltransportproteine in *T. goesingense* gefunden werden. Sie wurden MTP 1, 2 und 3 genannt. MTP 1 ruft eine Ni-Resistenz hervor. MTP 2 ruft eine Zink Resistenz hervor.

DISKUSSION UND CONCLUSIO

Da Histidin vorwiegend im den Wurzelsekreten der Vergleichspflanze (nach Nickelzugabe) gefunden wurde, ist es wahrscheinlich keine wichtige Voraussetzung für die Hyperakkumulation von Nickel in *T. goesingense* (Salt et al., 1999a). Da der Nickeltransportrate des Hyperakkumulators und des Akkumulators bei geringen Ni- Mengen nicht zu unterschieden führte, wird auch die Transportrate von den Wurzeln zum Spross als Basis der Hyperakkumulation ausgeschlossen. (Krämer et al, 1997). Daher wurde die erhöhte Toleranz (Fähigkeit, Nickel ohne Vergiftungserscheinungen in den Blätter zu speichern) als Grundvoraussetzung der Hyperakkumulation isoliert. Es wurden drei Metalltransportproteine gefunden, die diese Vermutung untermauern. Diese Transportproteine werden MTP 1, 2 und 3 genannt. (Persans et al., 2000). Diese Erkenntnisse sollen in Zukunft die Phytomediation verbessern. Es sollte möglich werden, Hyperakkumulation genetisch in Pflanzen einzubauen und so schwermetallbelastete Standorte zu reinigen, (Guerinot und Salt, 2001). Außerdem soll so auch die nachhaltige Landwirtschaft unterstützt werden und Nahrungsmittel mit ausreichend mineralischen Spurenelementen entwickelt werden.

Literatur

Freeman, J. L.; Neiman, K.; Persans, M. W.; Salt, D. E. A possible role for the enzyme serine acetyltransferase in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 482).

Guerinot, M.-L.; Salt, D. E. Fortified foods and phytoremediation: two sides of the same coin. *Plant Physiol* 125:164±167; 2001.

Krämer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I.; Salt, D. E. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and nonaccumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol*. 122:1343±1353; 2000.

Krämer, U.; Smith, R. D.; Wenzel, W.; Raskin, I.; Salt, D. E. The role of nickel transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi goesingense* Ha-Äla-Äcsy. *Plant Physiol*. 115:1641±1650; 1997.

Orser, C. S.; Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R.; Epstein, A.; Ensley, B. D. Brassica plants to provide enhanced human mineral nutrition: selenium

- phytoenrichment and metabolic transformation. *J. Med. Food* 1:253±261; 1999.
- Persans, M.; Salt, D. E. Possible molecular mechanisms involved in nickel, zinc and selenium hyperaccumulation in plants. *Biotechnol. Genet. Engng Rev.* 17:385±409; 2001.
- Persans, M.; Xiang, Y.; Patnoc, J. M. M. L.; Kraemer, U.; Salt, D. E. Molecular dissection of histidine's role in nickel hyperaccumulation in *Thlaspi goesingense* (H₂O₂-sensitive). *Plant Physiol.* 121:1±10; 1999.
- Persans, M. W.; Huynh, L.; Salt, D. E. A novel family of putative vacuolar metal transport proteins involved in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 747).
- Pickering, I. J.; Prince, R. C.; George, J. M.; Smith, R. D.; George, G. N.; Salt, D. E. Reduction and coordination of arsenic in Indian mustard. *Plant Physiol.* 122:1171±1177; 2000a.
- Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Salt, D. E.; George, G. N. Quantitative chemically-specific imaging of selenium transformation in plants. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 97:10717±10722; 2000b.
- Reeves, R. D.; Brooks, R. R. European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. *J. Geochem. Explor.* 18:275±283; 1983.
- Salt, D. E.; Kato, N.; Kraemer, U.; Smith, R. D.; Raskin, I. The role of root exudates in nickel hyperaccumulation and tolerance in accumulator and non-accumulator species of *Thlaspi*. In: Terry, N.; Banuelos, G. S., eds. *Phytoremediation of contaminated soil and water*, Boca Raton, FL: CRC Press LLC; 1999a:191±202.
- Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Gleba, D.; Smith, R. D.; Raskin, I. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard. *Environ. Sci. Technol.* 31:1636±1644; 1997.
- Salt, D. E.; Prince, R. C.; Baker, A. J. M.; Raskin, I.; Pickering, I. J. Zinc ligands in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as determined using X-ray absorption spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 33:713±717; 1999b.
- Salt, D. E.; Prince, R. C.; Pickering, I. J.; Raskin, I. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian Mustard. *Plant Physiol.* 109:1427±1433; 1995.
- Salt, D. E.; Smith, R. D.; Raskin, I. *Phytoremediation*. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:643±668; 1998.

Lesehilfe 1 – Fragen zum Text

Versuche folgende Fragen zu beantworten, um einen Überblick über den Text zu erhalten:

1. Wer hat den Artikel verfasst und wo/wann wurde er veröffentlicht?
2. Welche Pflanzen wurden untersucht?
3. Was wurde untersucht? (Pflanzenteile, Bodenproben, Schwermetallgehalt etc.?)
4. Warum wurde die Untersuchung durchgeführt?
5. Welche Analyseverfahren wurden gewählt?
6. Welche Schlussfolgerung ist für deine Arbeit relevant? Welche Ergebnisse lieferte die Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) für *Thalpi goesingense* in Bezug auf Nickel?
7. Welche Wörter sind unklar/ kenne ich nicht?

Pflanzenanatomische und röntgenspektroskopische Studien an *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* - Besiedler schwermetallhaltiger Kalk-Schutthalden des Südostalpenraumes

Christina MLADEK und Helmuth SIEGHARDT

Zusammenfassung/ Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* (Schutt-Leimkraut) aus der Region Bleiberg/Kreuth in Kärnten. Pflanzen, welche auf stark schwermetallbelasteten Böden wachsen können werden Metallophyten genannt. Diese Pflanzen entwickelten im Laufe der Zeit spezielle Strategien im Umgang mit Schwermetallen. Manche binden Schwermetalle bereits im Wurzelbereich, um die oberirdischen Pflanzenteile zu schützen, andere schleusen Schwermetalle in bestimmte Pflanzenteile um sie dort zu verwahren (Fixierung in Kristallen). Wenn Schwermetalle in bestimmten Pflanzenteilen festgehalten (fixiert) werden, sind sie für den Stoffwechsel nicht mehr zugänglich und schützen so die Pflanze vor Schäden durch Schwermetalle. Diese Arbeit soll klären wie *Silene nutans* mit erhöhten Schwermetallkonzentrationen umgeht. Dies soll zeigen welche Anpassungen Pflanzen an Schwermetallstandorten für das Überleben entwickelt haben. Außerdem werden Kristalle in *Silene vulgaris* untersucht, um zu sehen ob in diesen Kristallen Schwermetalle eingelagert werden. Als Untersuchungsmethoden wurden Lichtmikroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie gewählt. Die Ergebnisse zeigen, dass *Silene nutans* viele feine Wurzeln ausbildet (vermehrte Wurzelwachstum) um an nährstoffarmen Schwermetallstandorten überleben zu können. Die große Wurzeloberfläche führt allerdings auch zur größeren Schermetallbelastung (Kontaktfläche). In adulten Blättern (ältere Blätter) wurden mehr Kupfer und Zink festgestellt als in juvenilen (junge) Blättern. Kupfer und Zink werden teilweise in den Wurzeln fixiert aber auch in die oberirdischen Blatteile, besonders in Vakuolen transportiert und dort gespeichert.

Einleitung

Im Laufe der Entwicklung haben sich bestimmte Pflanzen an Schwermetallstandorte angepasst. Diese Pflanzen werden Metallophyten genannt. Viele Schwermetalle sind besonders in höheren Konzentrationen für Tiere, Menschen und Pflanzen toxisch (giftig). Metallophyten entwickelten unterschiedliche Strategien im Umgang mit Schwermetallbelastung um auf diesen besonderen Standorten überleben zu können. Entweder wird der Transport der Schwermetalle in die oberirdischen Blatteile verhindert oder sie werden in bestimmten Pflanzenteilen fixiert (Vakuolen, Drusen). Leimkrautgewächse bilden häufig Kristalle aus, welche als Endlagerstätten für Schwermetalle dienen können. Diese Arbeit soll klären welche Anpassungen *Silene vulgaris* im Laufe ihrer Entwicklung an die Bedingungen auf Schwermetallstandorten hervorgebracht hat. Weiters wird untersucht, ob die Bildung von Kristalldrusen Einfluss auf die Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* hat.

Material und Methoden

Untersucht wurden Pflanzenproben von *Silene vulgaris* subsp. *glareosa*. Entnommen wurden diese Pflanzen aus den Abraumhalden im Leiberg/Kreuth in Kärnten.

Pflanzenanatomie: Für die anatomischen Untersuchungen wurden Dauerpräparate mittels Alkohol hergestellt und lichtmikroskopisch untersucht.

Rasterelektronenmikroskopie/Röntgenstrahl-Mikroskopie: Die Pflanzen wurden gründlich mit Wasser gewaschen und in Wurzel, Blätter und Sprossachsen aufgeteilt. Ein Teil der Probe wurde getrocknet, der andere Teil gefriergetrocknet und im Anschluss mit Gold oder Kohle bedampft. Es wurden jeweils 5 Messungen pro Pflanzenteil (Blatt, Wurzel, Spross) durchgeführt.

Ergebnisse

Anatomische Untersuchungen:

Das Wurzelsystem von *Silene vulgaris* ist sehr gut an die Umgebungsbedingungen angepasst. Aufgrund des steinigen und steilen Geländes bildet *Silene vulgaris* eine lange Pfahlwurzel aus. Ausgehend von dieser Pfahlwurzel verteilt sich ein großes Feinwurzelnetzwerk. Auch im Wurzelsystem findet man eine hohe Anzahl an Ca-Oxalat-Kristallen.

Elementverteilung in Atom-%:

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Feinwurzel		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	1,43	2,18
Zn	1,43	1,12
Fe	2,26	3,73
Pb	1,11	0,97

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Seitenwurzel		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	2,11	2,59
Zn	0,47	0,61
Fe	0,85	0,70
Pb	1,39	0,00

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Junges (juveniles) Blatt		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	0,86	0,69
Zn	0,21	0,25
Fe	0,42	0,25
Pb	0,00	0,00

<i>Silene vulgaris</i> subsp. <i>glareosa</i>		
Alteres (adultes) Blatt		
Elemente	Rinde	Kristalle (Drusen)
Cu	1,04	2,53
Zn	0,27	0,52
Fe	0,39	0,85
Pb	0,00	0,00

Eisen, Kupfer und Zink sind als essentielle Mikronährstoffe in den Blättern vorhanden. Blei ist nicht in den Blättern nachweisbar. Es wird bereits im Wurzelbereich fixiert, um die Blätter vor toxischen Einflüssen zu schützen.

Die Ca-Oxalat-Kristalle sind in Wurzeln und Blättern verschieden geformt. Da Pflanze Schwermetalle in diese Drusen einbauen kann, könnten die Kristalle eine wichtige Funktion in der Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* haben.

Diskussion und Conclusio

Die anatomischen Untersuchungen zeigen, dass die Blätter und Wurzeln von *Silene vulgaris* gut an die Standortbedingungen angepasst sind. Die Kristalle in den Blättern zeigen, dass es sich bei *Silene vulgaris* um einen typischen Oxalat-Typ handelt (Kinzel 1982). Durch den an Schwermetallstandorten typischen nährstoffarmen Boden (wenig Phosphat und Stickstoff) bildet die Pflanze ein starkes und großes Wurzelsystem aus (Sieghardt 1987). Diese Vergrößerung des Wurzelsystems führt zu einer größeren Kontaktfläche mit schwermetallangereichertem Boden. Diese Schwermetalle werden meist passiv aufgenommen und müssen in den Blättern unschädlich gemacht werden. In älteren Blättern ist die Schwermetallkonzentration höher als in jüngeren Blättern (Ernst 1996). Blei konnte weder in den jungen noch in den älteren Blättern nachgewiesen werden. Dieses Element wird bereits im Wurzelbereich fixiert (Sieghardt 1985a 1987). Auch Kupfer und Zink werden zu einem gewissen Teil im Wurzelbereich festgehalten. In den oberirdischen Organen werden sie meistens in den Vakuolen eingelagert (Mathys 1977, Zhao et al. 2000).

Silene vulgaris kann durch verschieden Adaptionsmechanismen den internen Schwermetallgehalt relativ niedrig halten und so auf diesen Sonderstandort überleben.

Literatur (kopiert aus original Dokument)

- ADLER W., OSWALD K. AND FISCHER R., 1994: Exkursionsflora von Österreich. Ulmer, Stuttgart und Wien.
- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition* 3, 643–654.
- BARCELLO J. and POSCHENRIEDER CIL., 1999: Structural and ultrastructural changes in heavy metal exposed plants. In: PRASAD M. N. V. AND HAGEMeyer J. (Eds.), *Heavy metal stress in plants*, p. 183–205. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- BARONI F., BOSCALLI A., PROTANO G. and RICCIBONO F., 1981: Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. *Environmental Pollution* 109, 347–352.
- BÖCKING H. and HEYSEH W., 2000: Subcellular compartmentation of elements in non-mycorrhizal roots of *Pinus sylvestris*: an X-ray microanalytical study. II. The distribution of calcium, potassium and sodium. *New Phytol.* 145, 321–331.
- DE VIK C. H. R., BOORUM W. M. T., VODIS R., SCHAT H. and DE KOK L. J., 1993: Effect of copper on fatty acid composition and peroxidation of lipids in the roots of copper tolerant and sensitive *Silene cucubalus*. *Plant Physiol. Biochem.* 31, 151–158.
- ERNST W. H. O., 1996: Schwermetalle. In: BRUNOLD CIL., RÜEGSEGER A. and BRÄNDLE R. (Eds.), *Stress bei Pflanzen*, p. 191–219. P. Haupt, Bern und Wien.
- FRANCESCHI V. R. and SCHUEREN A. M., 1986: Incorporation of strontium into plant calcium oxalate crystals. *Protoplasma* 130, 199–205.
- HAGEMeyer J. and BRECKLE S. W., 1996: Growth under trace element stress. In: WASEL Y., ESHEL A. and KAFKAFI U. (Eds.), *Plant roots: the hidden half*. 415–433. Dekker, New York.
- HARMENS H., KOEVOITS P. L., VERKLEIJ J. A. and ERNST W. H. O., 1994: The role of low molecular weight organic acids in the mechanism of increased zinc tolerance in *Silene vulgaris* (MOENCH) GARCKE. *New Phytol.* 126, 615–621.
- KINZEL H., 1982: *Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel*. Ulmer, Stuttgart.
- LEVITT J., 1980: *Response of plants to environmental stress*. Academic Press, New York.

Übersetzung aus dem Englischen und vereinfacht für den Unterricht von Stephanie Kolber

SONDERSYMPIOSIUM: PHYTOMEDIATION

NICKEL-HYPERAKKUMULATION IN *THLASPI GOESINGENSE*: EIN WISSENSCHAFTLICHER REISEBERICHT

DAVID E. SALT*

Fachbereich Chemie, Universität Northern Arizona, Flagstaff, AZ 86011

(Eingereicht am 1. September 2000; angenommen am 10. Oktober 2000; Herausgeber R. H. Smith)

Zusammenfassung

In den letzten 6 Jahren hat meine Forschungsgruppe versucht, die molekulargenetischen Grundlagen der Nickel-Hyperakkumulation in *Thlaspi goesingense* zu entschlüsseln. Unser langfristiges Ziel ist es, die von uns identifizierten Gene für die Veränderung von Pflanzen zum Zweck der Phytomediation zu nutzen (Salt et al., 1998). Hierzu wurden die in Österreich (Redschlag) gesammelten Pflanzen zunächst mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) untersucht. Auch die Bodenproben im Wurzelbereich wurden so untersucht. Die Untersuchung ergab einen signifikant höheren Nickelgehalt in der Pflanze als in der Bodenprobe. Dies zeigt, dass es sich bei *T. goesingense* um einen Hyperakkumulator handelt. Im Labor wurden gesammelte Samen von *T. goesingense* zum Keimen gebracht und mit der verwandten nichtakkumulierenden *T. arvense* hydroponisch angebaut. *T. goesingense* reichte hierbei um 70% mehr Nickel an als die Vergleichspflanze. Die Nickelaufnahme durch die zugesetzte Lösung wurde in beiden Pflanzen gemessen. Mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) wurde festgestellt, dass Nickel vor allem in der Zellwand der Pflanze angereichert wird. Auch in den Vakuolen wird ein Teil des Nickels gespeichert. Weiters wurden drei Metal-Transportproteine gefunden. Aufbauend auf den gefundenen Erkenntnissen soll die Fähigkeit zur Hyperakkumulation zukünftig in Pflanz gentechnisch eingebaut werden. Diese Pflanzen können so zur Phytomediation genutzt werden.

Schlüsselwörter: hyperaccumulation; phytoremediation; *Thlaspi*; nickel

SCHWERMETALL-HYPERAKKUMULATION

Metall-Hyperakkumulatoren sind Pflanzen, die in der Lage sind, bestimmte Metalle und Nichtmetalle aus dem Boden aufzunehmen und diese in oberirdischen Geweben in Konzentrationen von über 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Co, Cr, Cu, Ni und Se oder mehr als 10 000 $\mu\text{g g}^{-1}$ für Zn oder Mn der Trockenmasse zu speichern. Ungefähr 400 Hyperakkumulatorenarten wurden anhand der Analyse von im Feld gesammelten Proben identifiziert. Metall-Hyperakkumulatoren sind interessante Modellorganismen für die Entwicklung der Phytomediation; wir beginnen jedoch gerade erst die molekularen, biochemischen und physiologischen Prozesse zu verstehen die zu dem Phänotyp des Hyperakkumulators führen (Persans und Salt, 2001).

THLASPI GOESINGENSE ALS MODELL-HYPERAKKUMULATOR

Zunächst mussten wir für unsere Forschung einen geeigneten Hyperakkumulator finden. 1980 wurde festgestellt, dass *Thlaspi goesingense* Halacys ein Nickel-Hyperakkumulator ist. Diese Pflanze gehört zur Familie der Senfpflanzen und ist mit *Arabidopsis thaliana* verwandt. Wir entschieden uns für *T. goesingense* als Modellorganismus, da diese Pflanze

unter Laborbedingungen gut gezüchtet werden kann. Außerdem standen uns Daten aus dem Arabidopsis-Genom-Projekt zur Verfügung.

Im Frühjahr 1995 machten wir uns in Österreich auf die Suche nach *T. goesingense* die an einem ultramafischen Standort in Redschlag, Österreich, wächst (Abb. 1). Es wurden Blätter und Erdproben mit Hilfe eines tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysegerätes (XRF) auf Nickel untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass *T. goesingense* in ihren Blättern dreimal mehr Nickel ($5477 \pm 986 \mu\text{g/g}$) speichert, als in den Bodenproben nachgewiesen werden konnte. Daher konnten wir eine Verunreinigung der Blattproben durch Mineralstaub ausschließen. In anderen am Standort wachsenden Arten wurde weitaus weniger Nickel gemessen. Diese erste Untersuchung bestätigte, dass *T. goesingense* ein Hyperakkumulator ist.

Die gesammelten Samen wurden im Labor zum Keimen gebracht. *T. goesingense* und *T. arvense* (Verwandte Art, Nicht-Akkumulator) wurden in einer Nährstofflösung, ohne Erdmaterial aufgezogen (hydroponisch). Der Nährstofflösung wurden geringe Mengen an Nickel zugesetzt. Es wurde drauf geachtet, dass die Menge an Nickel für keine der Pflanzen giftig ist. Man konnte so sehen, dass *T. goesingense* um 70%

mehr Nickel im Spross anreicht als *T. arvensis*. Außerdem wuchs *T. arvensis* viel schlechter unter Nickeleinfluss. Da *T. goesingense* Nickel besser toleriert und aufnimmt als *T. arvensis*, muss ein bestimmter Mechanismus in der Pflanze vorhanden sein, die ihr den Umgang mit hohen Nickelkonzentrationen ermöglicht. Hierzu stellen wir drei Hypothesen auf:

- *T. goesingense* kann Nickel besser im Wurzelbereich lösen
- *T. goesingense* kann Nickel besser aufnehmen und zu den Trieben transportieren
- *T. goesingense* kann höhere Konzentrationen von Nickel im Spross tolerieren

METHODEN

Zunächst wurden Wurzelsekrete (Wurzelexsudate) mittels **Dünnschichtchromatographie (TLC)** auf Nickel-Bindende-Verbindungen untersucht.

Mittels **Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS)** wurde festgestellt, wo in der Pflanze Nickel zu finden ist.

Anschließend wurde eine **cDNA-Bibliothek von *T. goesingense*** erstellt, um genetische Ursachen der Nickeltoleranz aufzudecken.

ERGEBNISSE

Wurzelsekrete. Die Ergebnisse der Dünnschichtchromatografie (TLC) zeigten keine hochaffinen (für etwas bestimmtes anziehend) Ni-Bindenden-Verbindungen in *T. goesingense*. Wurde aber der die Vergleichspflanze *T. arvensis* mit Nickel behandelt, wurden in den Wurzelsekreten mehr Histidin und Citrat gefunden.

Nickeltransport und Toleranz. Es konnte kein Unterschied in der Transportraten von Nickel (Weg und Zeit die die Pflanze braucht um Nickel von der Wurzel zum Spross zu bringen) gefunden werden.

Nickeltoleranz und Nickellokalisierung. Analysen zeigten, dass die Blattprotoplasten (=kleinste selbstständig lebensfähige Einheit einer Zelle) von *T. goesingense* mehr Nickel unbeschadet aushalten als die Vergleichspflanze *T. arvensis*. Wenn *T. goesingense* und *T. arvensis* in Kontakt mit gleich viel Nickel kommen, nimmt der Hyperakkumulator *T. goesingense* doppelt so viel Nickel auf.

Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS). Diese Untersuchung ergab, dass ein Großteil des im Blatt von *T. goesingense* enthaltenen Nickels mit der Zellwand verbunden ist. Der Rest wurde in der Vakuole gefunden.

Metalltransportproteine. Auf genetischer Ebene konnten drei Metalltransportproteine in *T. goesingense* gefunden werden. Sie wurden MTP 1, 2 und 3 genannt. **MTP 1 ruft eine Ni-Resistenz hervor. MTP 2 ruft eine Zink Resistenz hervor.**

DISKUSSION UND CONCLUSIO

Da Histidin vorwiegend in den Wurzelsekreten der Vergleichspflanze (nach Nickelzugabe) gefunden wurde, ist es wahrscheinlich keine wichtige Voraussetzung für die Hyperakkumulation von Nickel in *T. goesingense* (Salt et al., 1999a). Da der Nickeltransportrate des Hyperakkumulators und des Akkumulators bei geringen Ni-Mengen nicht zu unterschieden führte, wird auch die Transportrate von den Wurzeln zum Spross als Basis der Hyperakkumulation ausgeschlossen. (Krämer et al., 1997). Daher wurde die erhöhte Toleranz (Fähigkeit, Nickel ohne Vergiftungserscheinungen in den Blätter zu speichern) als Grundvoraussetzung der Hyperakkumulation isoliert. Es wurden drei Metalltransportproteine gefunden, die diese Vermutung untermauern. Diese Transportproteine werden MTP 1, 2 und 3 genannt. (Persans et al., 2000). Diese Erkenntnisse sollen in Zukunft die Phytomediation verbessern. Es sollte möglich werden, Hyperakkumulation genetisch in Pflanzen einzubauen und so schwermetalbelastete Standorte zu reinigen, (Guerinot und Salt, 2001). Außerdem soll so auch die nachhaltige Landwirtschaft unterstützt werden und Nahrungsmittel mit ausreichend mineralischen Spurenelementen entwickelt werden.

Literatur

Freeman, J. L.; Neiman, K.; Persans, M. W.; Salt, D. E. A possible role for the enzyme serine acetyltransferase in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 482).

Guerinot, M.-L.; Salt, D. E. Fortified foods and phytoremediation: two sides of the same coin. *Plant Physiol* 125:164±167; 2001.

Krämer, U.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Raskin, I.; Salt, D. E. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and nonaccumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol*. 122:1343±1353; 2000.

Krämer, U.; Smith, R. D.; Wenzel, W.; Raskin, I.; Salt, D. E. The role of nickel transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi goesingense* Ha-Ácsy. *Plant Physiol*. 115:1641±1650; 1997.

Orser, C. S.; Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R.; Epstein, A.; Ensley, B. D. Brassica plants to provide enhanced human mineral nutrition: selenium

- phytoenrichment and metabolic transformation. *J. Med. Food* 1:253±261; 1999.
- Persans, M.; Salt, D. E. Possible molecular mechanisms involved in nickel, zinc and selenium hyperaccumulation in plants. *Biotechnol. Genet. Engng Rev.* 17:385±409; 2001.
- Persans, M.; Xiang, Y.; Patnoe, J. M. M. L.; Kraemer, U.; Salt, D. E. Molecular dissection of histidine's role in nickel hyperaccumulation in *Thlaspi goesingense* (HáÁlaÁcsy). *Plant Physiol.* 121:1±10; 1999.
- Persans, M. W.; Huynh, L.; Salt, D. E. A novel family of putative vacuolar metal transport proteins involved in nickel tolerance in the nickel hyperaccumulator *Thlaspi goesingense*. San Diego, CA, USA: American Society of Plant Physiologists; 2000 (abstr. 747).
- Pickering, I. J.; Prince, R. C.; George, J. M.; Smith, R. D.; George, G. N.; Salt, D. E. Reduction and coordination of arsenic in Indian mustard. *Plant Physiol.* 122:1171±1177; 2000a.
- Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Salt, D. E.; George, G. N. Quantitative chemically-specific imaging of selenium transformation in plants. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 97:10717±10722; 2000b.
- Reeves, R. D.; Brooks, R. R. European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. *J. Geochem. Explor.* 18:275±283; 1983.
- Salt, D. E.; Kato, N.; Kraemer, U.; Smith, R. D.; Raskin, I. The role of root exudates in nickel hyperaccumulation and tolerance in accumulator and non-accumulator species of *Thlaspi*. In: Terry, N.; Banuelos, G. S., eds. *Phytoremediation of contaminated soil and water*, Boca Raton, FL: CRC Press LLC; 1999a:191±202.
- Salt, D. E.; Pickering, I. J.; Prince, R. C.; Gleba, D.; Smith, R. D.; Raskin, I. Metal accumulation by aquacultured seedlings of Indian mustard. *Environ. Sci. Technol.* 31:1636±1644; 1997.
- Salt, D. E.; Prince, R. C.; Baker, A. J. M.; Raskin, I.; Pickering, I. J. Zinc ligands in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as determined using X-ray absorption spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* 33:713±717; 1999b.
- Salt, D. E.; Prince, R. C.; Pickering, I. J.; Raskin, I. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian Mustard. *Plant Physiol.* 109:1427±1433; 1995.
- Salt, D. E.; Smith, R. D.; Raskin, I. *Phytoremediation*. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:643±668; 1998.

Versuche folgende Fragen zu beantworten, um einen Überblick zu erhalten:

1. Wer hat den Artikel verfasst und wo/wann wurde er veröffentlicht?

Christina MLADEK und Helmuth SIEGHARDT

In

Vereinfachte Fassung für den Unterricht, Original in Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 139 (2002): 109-121

2. Welche Pflanzen wurden untersucht?

der Schwermetalltoleranz von *Silene vulgaris* subsp. *glareosa* (Schutt-Leimkraut) aus der Region Bleiberg/Kreuth in Kärnten

3. Was wurde untersucht? (Pflanzenteile, Bodenproben, Schwermetallgehalt etc?)

Juvenile und adulte Blätter, Fein- und Seitenwurzeln jeweils mit Kristalldrüsen.

4. Warum wurde die Untersuchung durchgeführt?

Es soll geklärt werden, wie Pflanzen sich anpassen müssen, um auf Schwermetallstandorten zu überleben.

5. Welche Methode wurde gewählt?

Anatomische Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop
Rasterelektronenmikroskopie/Röntgenstrahl-Mikroskopie

6. Welche für deine Arbeit relevanten Schlussfolgerungen konnten aufgestellt werden? Welche Ergebnisse lieferte die Mikroelementanalyse für Kupfer in *silene vulgaris*?

Silene vulgaris bildet ein, an trockenes und steiles Gelände angepasstes, Wurzelsystem aus. Dieses Wurzelsystem besteht aus einer langen Pfahlwurzel und weitverzweigten Feinwurzeln. Da die Oberfläche sehr groß ist, werden auch viele Schwermetalle aufgenommen. In älteren Blättern ist der Anteil an Schwermetallen höher als in jüngeren Blättern. Kupfer und Zink werden zum Teil schon in den Wurzeln aufgehalten. Blei konnte in den Blättern nicht gefunden werden, es wird in den Wurzeln fixiert.

→ Exkluder

Lesehilfe 3 – Fragen zum Text + Antworten

Versuche folgende Fragen zu beantworten, um einen Überblick zu erhalten:

- 1. Wer hat den Artikel verfasst und wo/wann wurde er veröffentlicht?**
DAVID E. SALT* (Zusammenfassung der Arbeit seiner Forschungsgruppe)
In Vitro Cell. Dev. Biol. *Plant* 37:326-329, May-June 2001 DOI: 10.1079/IVP2000159 q 2001
Society for In Vitro Biology 1054-5476/01
- 2. Welche Pflanzen wurden untersucht?**
Thlaspi goesingense als Model für einen Hyperakkumulator
Thlaspi arvense als Model für einen Nicht-Akkumulator (Vergleichspflanze)
- 3. Was wurde untersucht? (Pflanzenteile, Bodenproben, Schwermetallgehalt etc.?)**
Spross/Wurzeln und Bodenproben aus dem Wurzelbereich von Thlaspi goesingense
Spross/Wurzeln von Thlaspi arvense als Vergleichspflanze
- 4. Warum wurde die Untersuchung durchgeführt?**
Aufbauend auf den gefundenen Erkenntnissen soll die Fähigkeit zur Hyperakkumulation zukünftig in Pflanz gentechnisch eingebaut werden. Diese Pflanzen können so zur Phytomediation genutzt werden.
- 5. Welche Methode wurde gewählt?**
Dünnschichtchromatographie (TLC) zur Untersuchung des Wurzelsekretes
Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) um festzustellen wo die Pflanze Nickel speichert
cDNA-Bibliothek um genetische Ursachen der Nickeltoleranz festzustellen
- 6. Welche für deine Arbeit relevanten Schlussfolgerungen konnten aufgestellt werden? Welche Ergebnisse lieferte die Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) für *Thlaspi goesingense* in Bezug auf Nickel?**
Thlaspi goesingense ist ein Hyperakkumulator. Nickel wird in der Pflanze an der Zellwand gebunden und in Vakuolen gespeichert.

14 VOSI-Fragebogen

Fragebogen zu Ansichten über naturwissenschaftliche Untersuchungen

VOSI-S German Version

Auftrag: Mit den folgenden Fragen würden wir gerne erfahren, wie du über Naturwissenschaften und naturwissenschaftliche Untersuchungen denkst. Dabei gibt es keine richtigen oder falschen Antworten.

Bitte beantworte jede der folgenden Fragen. Unter jeder Frage findest du Platz für deine Antwort. Sollte der Platz nicht reichen, verwende einfach die Rückseiten der Aufgabenblätter. Gib dann bitte unbedingt an, zu welcher Frage deine Antwort gehört.

- 1) Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler*innen aus (z.B.: Biolog*innen, Chemiker*innen, Physiker*innen, Geolog*innen) um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere wie Wissenschaftler*innen (Biolog*innen, Chemiker*innen, Geowissenschaftler*innen) ihrer Arbeit nachgehen.
- 2) Wie entscheiden Wissenschaftler*innen, was und wie sie ihre Untersuchungen durchführen? Beschreibe alle Faktoren, die deiner Meinung nach, die Arbeit von Wissenschaftler*innen beeinflussen.

3) Eine Person, die sich für Vögel interessiert, hat sich hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen. Die Person bemerkte die Tendenz, dass Vögel, die ähnliches Futter zu sich nehmen, auch einen ähnlich geformten Schnabel haben. Beispielsweise haben Vögel, die Nüsse mit einer harten Schale fressen, kurze und kräftige Schnäbel; und Vögel, die Insekten fressen, haben lange und schmale Schnäbel. Die Person stellte sich die Frage, ob die Form des Schnabels eines Vogels mit seiner Ernährungsweise zusammenhängt und begann, Daten zu sammeln, um diese Frage zu beantworten. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt.

a. Hältst du die Untersuchung dieser Person für eine naturwissenschaftliche Untersuchung? Bitte erkläre genau, warum oder warum nicht.

b. Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.

c. Denkst du, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nach mehr als einer Methode durchgeführt werden können? Wenn du denkst, dass dies nicht der Fall ist, erkläre bitte, warum es nur einen Weg gibt, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Wenn du denkst, dass dies so ist, beschreibe bitte zwei Untersuchungen, die nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und erkläre, wie sich die Methoden unterscheiden und wie sie trotzdem beide als naturwissenschaftlich gelten können.

4) (a) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler*innen dieselbe Forschungsfrage stellen und derselben Vorgehensweise folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht.

(b) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler*innen dieselbe Forschungsfrage stellen und unterschiedlichen Vorgehensweisen folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht

(c) Ändert sich deine Antwort auf Frage (a) wenn die Wissenschaftler*innen zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:

(d) Ändert sich deine Antwort auf (b) wenn die Wissenschaftler*innen zusammen arbeiten? Begründe deine Antwort:

5) (a) Was bedeutet das Wort „Daten“ in der Naturwissenschaft?

(b) Bitte erkläre, ob sich “Daten” von “Belegen” unterscheiden!

(c) Worauf kommt es bei der Analyse von Daten an?

15 VOSI-Auswertung - Vorbefragung

	Bewertung	Bewertung2	Bewertung3	Bewertung4
1 Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus (z.B.: Biologen, Chemiker, Physiker, Geologen) um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere wie Wissenschaftler*innen (Biologen, Chemiker, Geowissenschaftler) ihrer Arbeit nachgehen.				
1 Sie entdecken viele Sachen und erforschen es in Labore	n	u	n	n
2 Sie finden Fossilien und forsche zu weichen Tier die Funde gehören, Sie beobachten und untersuchen die Natur	m	m	m	m
3 Chemiker experimentieren mit versch. Stoffen. Sie schauen auf das, was passiert z.B.: explosion oder hilfreiche Sachen. Biologen schauen auf Einzeller oder Bakterien im mikroskop. Geologen untersuchen Gesteine. Physiker schauen z.B.: was Teilchen in Flüssigkeiten machen oder Atomen. Geowissensch. arbeiten mit Karten.	m	m	m	m
4 forschen	u	u	u	u
5 Google!, Schule, Fossilien, Forschen (Atomen, Tieren...)	u	u	n	u
6 Forschungen, Weltraum erforschen, Erde erforschen.	u	u	n	u
7 Sie erforschen die Natur mit Drohnen oder mit verschiedenen Geräten. Um Wasser zu erforschen nehmen sie ein U-boat. Sie suchen Fossilien.	n	n	m	n
8 Mit Fossilien oder Jeomes Welt. Teleskop	u	u	u	u
9 Sie untersuchen viele Sachen	n	n	n	n
10 Fossilien suchen, überall nach leben suchen, alte Knochen suchen	n	n	n	n
11 Sie suchen sich ein Projekt, an dem sie in nächster Zeit arbeiten wollen, z.B Mppr. Sie nehmen sich dann Proben vom Moor und untersuchen es genau. Sie nehen es unters Mikroskop und schreiben wichtige Formeln und Informationene auf. Sie diskutieren es genau aus und wenn sie über das Projekt alles genau wissen, gehen sie zum nächsten Projekt.	m	m	i	i
12 Sie suchen Fossilien. Sie tauchen mit U-booten ins Wasser und erfoschen so die Unerwasserewelt. Sie untersuchen Ausgrabungen.	n	n	m	n
13 graben nach Fossilien/Knochen, beobachten, begutachten, analysieren	i	i	i	i
14 Sie u ntersuchen Fossilien, entdecken, forschen machen Eperimente	i	m	m	i
15 graben nach Fossilien/Knochen, beobachten, analysieren	n	m	i	i
16 forschen, graben in der Erde, suchen, beobachten die Natur erkunden die Natur, Experimente durchführen mit verschiedenen Stoffen, Mikroskop	i	i	n	i
17 Sie versuchen die Tiere zu beobachten oder aus Fossilien zu errätzeln wie es gelebt haben könnte	n	m	m	n
18 Sie forschen	u	u	n	u
19 Sie stellen Formeln auf machen Experimente mit Tieren (Google!) Schule	n	n	n	n
20 Sie arbeiten mit hoch modernen Computer. Sie suchen nach Tieren im Meer oder an Land wenn sie etwas finden was noch nie zuvor gefunden wurde wird es genaustens untersucht und studiert.	m	m	m	m
21 Sie nehmen gesteinsproben, Schauen sich Tiere an, experimentieren, Leitfossilien	i	i	m	i
22 Sie untersuchen die Tiere und die Umgebung. Sie experimentieren. Sie nehmen Proben . Untersuchen alles bis aufs kleinste Detail	i	i	m	i
23 Sie entnehmen z.B. Wasserproben, Haare, Tierknochen, erforschen die Natur. Luftaufnahme	m	m	n	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	1	3	0	0	4	0,5
2	0	0	4	0	4	1
3	0	0	4	0	4	1
4	4	0	0	0	4	1
5	3	1	0	0	4	0,5
6	3	1	0	0	4	0,5
7	0	3	1	0	4	0,5
8	4	0	0	0	4	1
9	0	4	0	0	4	1
10	0	4	0	0	4	1
11	0	0	2	2	4	0,333333
12	0	3	1	0	4	0,5
13	0	0	0	4	4	1
14	0	0	2	2	4	0,333333
15	0	1	1	2	4	1
16	0	1	0	3	4	0,5
17	0	2	2	0	4	0,333333
18	3	1	0	0	4	0,5
19	0	4	0	0	4	1
20	0	0	4	0	4	1
21	0	0	1	3	4	0,5
22	0	0	1	3	4	0,5
23	0	1	3	0	4	0,5
Summe/Durt	18	29	26	19	92	0,6956522

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,7826087	0,195452174
n	1,2608696	0,315217391
m	1,1304348	0,282608696
i	0,826087	0,206521739
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,2601607
 Fleiss Kappa 0,5886298

16

A)	Bewertung 1	Bewertung 2	Bewertung 3	Bewertung 4
Wie entscheiden Wissenschaftler*innen, was und wie sie ihre Untersuchungen durchführen? Beschreibe alle Faktoren, die deiner Meinung nach, die Arbeit von Wissenschaftler*innen beeinflussen				
1 Sie benutzen bestimmten Geräte z.B. Tiere zu untersuchen	n	n	n	n
2 Sie sprechen sich ab und arbeiten zusammen Sie erzählen sich gegenseitig ihre Meinung.	m	m	m	m
3 z.B.: sie schauen auf Fossilien und vermuten welches Tier es ist o. war. Sie untersuchen Fossilien, testen vielleicht Sachen auf Testpersonen oder Testtieren.	n	n	n	m
4 z.B.: wenn das Wetter schlecht ist. Wenn es keine Tiere zur Verfügung gibt.	n	u	n	n
5 kommt drauf an wie fein oder grob man es ausgraben muss.	n	n	u	n
6 Sie benutzen bestimmte Geräte um z.B.: Tiere zu untersuchen	n	n	n	u
7 Sie benutzen bestimmte Geräte um z.B.: Tie zu untersuchen	n	n	n	u
8 Sie arbeiten langsam und müssen geduldig sein	n	n	n	u
9 Wenn sie zum Beispiel gerade spazieren gehen und etwas besonderes oder ungewöhnliches sehen, nehmen sie es z.B. „mit und untersuchen es sehr genau. Sie recherchieren und forschen lange an einzelnen Projekten.	m	m	n	m
10 Sie benützen verschiedene Geräte.	n	n	n	n
11 Die ursprüngliche Umgebung des Gegenstandes/Pflanze, Geräte, Daten über (andere/ähnliche) Pflanzen die schon vorhanden sind.	l	l	l	l
12 Die Frage kann ich nicht beantworten	u	u	u	u
13 Geräte, Daten die bereits bekannt sind, Umgebung	l	l	m	l
14 Wenn sie vielleicht Irgendwas unternehmen beobachten sie die Natur und wenn ihnen was auffällt erforschen sie genaueres.	m	m	n	m
15 Ob ein Lebewesen lebt oder es ein Fossil ist.	n	n	u	m
16 Fakten, Daten	u	u	n	u
17 Es ist vom Wetter abhängig um welche Tiere es geht und wo.	n	n	n	n
18 Sie voten, die Idee die am meisten Stimmen hat gewinnt.	n	u	n	n
19 Ander Funde, Wetter	n	n	n	n
20 Sie brauchen Hinweise wo eine neue Tierart zu entdecken. Dann untersuche sie die Hinweise im Labor und entdecken noch mehr Hinweise auf eine neue Tierart	n	n	m	m
21 Sie benutzen Geräte um z.B. Pflanzen oder Flüssigkeiten zu untersuchen	n	n	n	n

Aussage	n	u	n	m	l	Gesamt	pi
1	0	0	4	0	0	4	1
2	0	0	0	4	0	4	1
3	0	0	3	1	0	4	0,5
4	1	0	3	0	0	4	0,5
5	1	0	3	0	0	4	0,5
6	1	0	3	0	0	4	0,5
7	1	0	3	0	0	4	0,5
8	1	0	3	0	0	4	0,5
9	0	0	1	3	0	4	0,5
10	0	0	4	0	0	4	1
11	0	0	0	0	4	4	1
12	4	0	0	0	0	4	1
13	0	0	0	1	3	4	0,5
14	0	0	1	3	0	4	0,5
15	1	0	2	1	0	4	0,33333
16	3	0	1	0	0	4	0,5
17	0	0	4	0	0	4	1
18	1	0	3	0	0	4	0,5
19	0	0	4	0	0	4	1
20	0	0	2	2	0	4	0,33333
21	0	0	4	0	0	4	1
Summe/Ü	14	0	48	15	7	84	0,6746

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,666667	0,166666667
n	2,285714	0,571428571
m	0,714286	0,178571429
l	0,333333	0,083333333
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteil 0,393141

Fleiss Kappa 0,463802

<p>Eine Person, die sich für Vögel interessiert, hat sich hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen. Die Person bemerkte die Tendenz, dass Vögel, die ähnliches Futter zu sich nehmen, auch einen ähnlich geformten Schnabel haben. Beispielsweise haben Vögel, die Nüsse mit einer harten Schale fressen, kurze und kräftige Schnäbel; und Vögel, die Insekten fressen, haben lange und schmale Schnäbel. Die Person stellte sich die Frage, ob die Form des Schnabels eines Vogels mit seiner Ernährungsweise zusammenhängt und begann, Daten zu sammeln, um diese Frage zu beantworten. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt.</p>				
3				
a.	Hältst du die Untersuchung dieser Person für eine naturwissenschaftliche Untersuchung? Bitte erkläre genau, warum oder warum nicht.			
	Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung 4
1	Ja weil es hat mit Natur zu tun	n	n	n
2	Ich finde das das eine naturwissenschaftliche Untersuchung ist, weil die Vögel zur Natur gehören und die Natur entschieden hat das Vögel unterschiedliche Schnäbel bekommen	n	n	n
3	Ja, weil sie schauen sich das Verhalten und die Lebensweise verschiedener Vögel an.	i	m	i
4	Ja, weil sie untersucht Vögel und erforscht sie.	m	m	n
5	Ja, dass ist eine Naturwissenschaftliche Unersuchung. Weil es spannend ist die Vögel zu Unterforschen.	n	n	n
6	Ja, weil er viele Vögel untersucht.	i	i	m
7	Ja, wie man untersucht die Vögel	i	i	n
8	Ja schon es hat mit der Natur zu tun.	n	n	n
9	Ja, weil er untersucht hat was die Vögel für ein Futter essen	m	m	m
10	Ich glaube ja, denn es ist eine Frage, die sich schon sehr viele Menschen auf dieser Erde gefragt haben. Und da es sich dabei um die Natur, also ein Tier (oder mehrere) handelt, ist es bestimmt eine naturwissenschaftliche Untersuchung, obwohl es sich vielleicht mehr um eine biologische Untersuchung handelt, da es um Tiere geht.	n	m	n
11	Ja weil man hier über die Form der Tiere und Körperteile forscht.	m	m	m
12	Ja, weil es eine Erkenntnis ist, die die Wissenschaft zuvor noch nicht hatte und sie durchaus nützlich sein kann.	n	n	n
13	Ja weil es was damit zu tun hat herauszufinden was das Tier gefressen	n	n	n
14	Ich halte es schon für eine naturwissenschaftliche Untersuchung. Er bemerkte Muster und analysierte das Verhalten der Tiere.	i	i	i
15	Ja schon es hat mit der Natur zu tun.	n	n	n
16	Nein weil das jeder weiß	u	u	u
17	Ja weil es was damit zu tun hat z.b. wenn man ein altes Vogelskelet findet weiß man dann was das Tier aß	n	n	m
18	Es ist eine Naturwissenschaftlichearbeit da die Person eine Forschung angestellt hat.	i	i	m
19	Ich vermute schon, denn es wurde schon ma entdeckt und sie arbeiten so.	n	n	n
20	Nein weil es offensichtlich ist	n	u	u
21	Ja, weil es etwas mit Tieren z u tun hat und ihre Ernährung.	n	n	n
22	Ja weil er viele Vögle beobachtet und untersucht	i	i	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	4	0	0	4	1
2	0	4	0	0	4	1
3	0	0	1	3	4	0,5
4	0	1	3	0	4	0,5
5	0	4	0	0	4	1
6	0	0	1	3	4	0,5
7	0	1	0	3	4	0,5
8	0	4	0	0	4	1
9	0	0	4	0	4	1
10	0	3	1	0	4	0,5
11	0	1	3	0	4	0,5
12	0	4	0	0	4	1
13	0	4	0	0	4	1
14	0	0	0	4	4	1
15	0	4	0	0	4	1
16	4	0	0	0	4	1
17	0	3	1	0	4	0,5
18	0	0	1	3	4	0,5
19	0	4	0	0	4	1
20	3	1	0	0	4	0,5
21	0	4	0	0	4	1
22	0	0	1	3	4	0,5
Summe	7	46	16	19	88	0,77273

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,318182	0,079545455
n	2,090909	0,522727273
m	0,727273	0,181818182
i	0,863636	0,215909091
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beur 0,359246

Fleiss Kappa 0,645304

17

b	Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.	Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung 4
1	Nein kein Plan	u	u	u	u
2	Ich finde ein Experiment wäre eher wenn er zwei Vögel mit verschiedenen Schnäbel eingegangen wurde und von nähe beobachten würde wie sie fressen.	i	i	i	i
3	Ja, weil sie schauen, was verschiedene Vögel gemeinsam haben.	n	m	n	n
4	Nein , weil sie nicht Experimentiert hat.	m	m	m	m
5	Nein, ich finde es ist kein Experiment.	u	u	u	m
6	Nein weil ein Experiment ein Experiment ist.	m	u	m	m
7	Es ist eine Untersuchung kein Experiment	i	i	i	i
8	nein kein Plan	u	u	u	u
9	Ja, weil er unterschiedliche Vögel analysiert hat was welcher Vogel	n	n	n	n
10	Ich glaube nicht, dass es jetzt gleich ein richtiges "Experiment" ist. Ich kann es aber nicht genau erklären, ich bin mir eigentlich nicht mal sicher. Es ist so ein Gefühl von mir.	u	u	u	u
11	Nein, weil es kein Experiment ist.	m	m	m	m
12	Nein weil dafür nicht gezielt z.B ein paar Vögel eingefangen wurden und etwas an ihnen ausprobiert wurde. Es ist eher eine Beobachtung.	i	i	i	i
13	Eigentlich nicht weil man sich da nur die Schnäbel des Tieres anschaut und nichts z.B.: DNA mäßiges macht	m	i	m	i
14	Weniger, Unter einem Experiment verstehe ich eine Vermutung die durch das Experiment bestätigt wird oder nicht , er erkannte es rein zufällig.	m	m	m	m
15	Nein kein Plan	u	u	u	u
16	Nein weil ein Experiment etwas ist was man selbst tut	m	u	m	m
17	Eher kein Experiment sondern Forschung nach Fakten	m	m	m	m
18	Ich würde sagen es ist eine Untersuchung und kein Experiment	m	i	m	i
19	Nein, ein experiment ist eher etwas versuchen herzustellen und nicht etwas zu entdecken(Es wurde schon vor ihm entdeckt)	m	m	m	m
20	Nein weil man es sich denken kann und es zu klein und Unwichtig ist.	n	n	n	n
21	Ein bisschen weil es zwei verschiedenen "Stoffe" (Schabel)	n	n	n	n
22	Nein weil das kein Experiment ist.	m	m	m	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pl
1	4	0	0	0	4	1
2	0	0	0	4	4	1
3	0	3	1	0	4	0,5
4	0	0	4	0	4	1
5	3	0	1	0	4	0,5
6	1	0	3	0	4	0,5
7	0	0	0	4	4	1
8	4	0	0	0	4	1
9	0	4	0	0	4	1
10	4	0	0	0	4	1
11	0	0	4	0	4	1
12	0	0	0	4	4	1
13	0	0	2	2	4	0,33333
14	0	0	4	0	4	1
15	4	0	0	0	4	1
16	1	0	3	0	4	0,5
17	0	0	4	0	4	1
18	0	0	2	2	4	0,33333
19	0	0	4	0	4	1
20	0	4	0	0	4	1
21	0	4	0	0	4	1
22	0	0	4	0	4	1
Summe/D	21	15	30	18	88	0,84948

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,9545455	0,238636364
n	0,6518182	0,170454545
m	1,6363636	0,050909091
i	0,7272727	0,181818182
Gesamt	4	1

P-Zufall, 2 Beurteil 0,2964153

Heas Kappa 0,7576704

Denkst du, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nach mehr als einer Methode durchgeführt werden können? Wenn du denkst, dass dies nicht der Fall ist, erkläre bitte, warum es nur einen Weg gibt, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Wenn du denkst, dass dies so ist, beschreibe bitte zwei Untersuchungen, die nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und erkläre, wie sich die Methoden unterscheiden und wie sie trotzdem beide als naturwissenschaftlich gelten können.	Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung 4
Der erste Schritt ist meistens das sie Fossilien finden und zusammenbauen. Dann wissen sie mal wie es aussah und was es anhand der Zähne, Schnabel gefressen hat. Sie müssen aber noch mehr über das Tier herausfinden. zB ob es Fell oder Schuppen hatte. Deshalb gibt es mehrere Methoden.	n	n	m	n
1 Weil es gibt nur einen Weg das rauszufinden	n	n	n	n
2 Man braucht mehrere Methoden	u	u	m	u
3 Einer ?grabt nach Gold. Einer sucht mit einen Dedektor.	i	i	u	i
4 Wie die Art bei 3a	u	u	u	u
5 Ich denke es gibt oft eine Methode. Eien Beispiel: Du analysierst den Inhalt einer Cola und machst das mit mehreren Flaschen. Du stellst heraus, das sie gleich sind	n	n	m	n
6 Meiner meinung nach gibt es mehrere Wege	m	m	m	m
7 Ich glaube schon das es vielleicht mehrere Methoden gibt aber mir fällt gerade keine ein	m	m	n	m
8 Ich denke es gibt mehr als einen Weg. Man könnte z.b. einen Gegenstand rein optisch untersuchen (Einkerbung) oder man könnte genau den Gegenstand zerlegen und von innen untersuchen oder sein Verhalten an Hitze und Kälte testen.	i	i	i	i
9 Es kann vielleicht mit mehreren Experimenten erwiesen werden zum Beispiel mit Flüssigkeiten.	m	m	m	m
10 C-14 Methode, Tiere beobachten.	m	i	i	m
11 Ich glaube schon das es mehrere Arten gibt aber ich weiß keine.	m	m	n	m
12 Es gibt nur einen Weg indem du die Vögel lange beobachtest.	n	n	n	n
13 Ja andere Wissenschaftler kommen anders zu ihrem Ergebnis als Andere	m	m	m	m
14 Methoden bei der ernährung, die Theorien umdrehen.	u	u	n	u
15 wie sie z.B die Nüsse knacken mit dem Schnabel, wie sie die Insekten essen.	u	u	n	u

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	3	1	0	4	0,5
2	0	4	0	0	4	1
3	3	0	1	0	4	0,5
4	1	0	0	3	4	0,5
5	4	0	0	0	4	1
6	0	3	1	0	4	0,5
7	0	0	4	0	4	1
8	0	1	3	0	4	0,5
9	0	0	0	4	4	1
10	0	0	4	0	4	1
11	0	0	2	2	4	0,3333
12	0	1	3	0	4	0,5
13	0	4	0	0	4	1
14	0	0	4	0	4	1
15	3	1	0	0	4	0,5
16	3	1	0	0	4	0,5
Summe/Σ	14	18	23	9	64	0,70633

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,875	0,21875
n	1,125	0,28125
m	1,4375	0,359375
i	0,5625	0,140625
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteil: 0,2758789

Fleiss Kappa 0,5972129

11

	Forschungsfrage stellen und der selben Vorgehensweise folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht?				
		Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung 4
1	Meistens kommt das gleiche aber nicht immer	n	n	m	n
2	Wenn alle sich dasselb zusammen basteln ist es wahrscheinlich das sie dasselbe ergebnis haben.	n	n	n	n
3	Ja , wahrscheinlich schon, wenn sie gleich vorgehen.	n	n	m	n
4	Ja weil sie machen dasselbe	n	n	n	n
5	Ja, weil alle das gleich machen und wenn eines richtig ist, dann ist alles	n	n	n	n
6	Wenn sie genau das selbe finden, dann kommt das selbe heraus	n	n	m	n
7	Meistens aber nicht immer, weil manchmal rechnen sie ein bisschen	m	m	n	m
8	Ja weil wenn sie zusammenarbeiten eignen sie sich auf ein Ergebnis.	n	n	n	n
9	Weil es unterschiedliche arten gibt, also muss nicht das selbe	i	i	n	i
10	Ja, weil sie die selben Ergebnisse haben.	n	n	n	n
11	Meistens aber nicht immer, weil manchmal rechnen sie ein bisschen	m	m	n	m
12	Ich glaube ja, weil sie die selben Ergenise haben	n	n	n	n
13	Das kann natürlich sein, muss es jedoch nicht!	m	m	m	m
14	Jeder Wissenschaftler forscht und arbeitet anders. Vielleicht haben der ein oder andere die sebe Vorgehensweise. Doch das Ergebnis wird glaub ich nicht gleich sein.	i	i	i	i
15	Meistens aber nicht immer	m	n	m	m
16	Nein, denn jeder hat eine andere Sichtweise und aus der einen Sichtweise sieht man z.B Dinge nicht, die man aus einer anderen Sichtweise sieht.	i	i	i	i
17	Ja weil sie gneau das selbe sozusagen untersuchen außer jeder forscht auf seine Weise	n	n	m	n
18	Nein wenn etwas noch nicht sicher ist muss jeder von ihnen seine Ideen reininterpretieren. Wahrscheinlich sind aber beide Erkenntnisse ähnlich.	i	i	i	i
19	Man braucht auch Fantasie und manche haben zwer dieseben Vorgehensweisen oder Forschungen aber nicht dieselben	i	i	m	i
20	Ja weil ein Tier immer gleich ist	n	n	n	n
21	Ja wenn sie alles richtig machen sollte das gehen	n	n	n	n
22	Es ist verschieden manchmal sind sie sich einig und manchmal auch	m	m	m	m
23	Wahrscheinlich nicht weil einer sich verrechnet hat oder so	m	m	n	m
24	Nein weil jeder eine andere ärklärung hat	i	i	i	i

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	3	1	0	4	0,5
2	0	4	0	0	4	1
3	0	3	1	0	4	0,5
4	0	4	0	0	4	1
5	0	4	0	0	4	1
6	0	3	1	0	4	0,5
7	0	1	3	0	4	0,5
8	0	4	0	0	4	1
9	0	1	0	3	4	0,5
10	0	4	0	0	4	1
11	0	1	3	0	4	0,5
12	0	4	0	0	4	1
13	0	0	4	0	4	1
14	0	0	0	4	4	1
15	0	1	3	0	4	0,5
16	0	0	0	4	4	1
17	0	3	1	0	4	0,5
18	0	0	0	4	4	1
19	0	0	1	3	4	0,5
20	0	4	0	0	4	1
21	0	4	0	0	4	1
22	0	0	4	0	4	1
23	0	1	3	0	4	0,5
24	0	0	0	4	4	1
Summe	0	49	25	22	96	0,79167

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0	0
n	2,041667	0,510416667
m	1,041667	0,260416667
i	0,916667	0,229166667
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beur 0,380859

Fleiss Kappa 0,663512

19

	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
(b) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler dieselbe Forschungsfrage stellen und unterschiedlichen Vorgehensweisen folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht?				
1 nein, weil sie anders nehmen	n	n	u	u
2 Vielleicht haben sie was ähnliches aber nicht dasselbe	m	m	m	m
3 Vielleicht, wenn sie eine andere Reihenfolge machen.	m	m	n	m
4 Nein	u	u	u	u
5 Nein weil manche Untersuchungen flasch sein könnten.	n	n	n	n
6 Nein weil sie anders rechnen	n	n	n	m
7 dann haben sie was anderes weil sie nicht zusammen arbeiten	n	n	n	m
8 Nein, weil sie anders rechnen	n	n	n	m
9 Nein	u	u	u	u
Es wird vereinzelt gleiche Ergebnisse geben, doch unter unterschiedlichen Vorgehensweisen wird es auch völlig andere	m	i	i	m
11 Ja weil alle zum selben Thema forschen	i	n	m	n
Nein weil wenn man andere Methoden verwendet kommt es auch zu anderen Schlussfolgerungen.	n	m	m	i
13 Wahrscheinlich nicht weil es dann jeder unterschiedlich macht	n	n	m	m
Nein weil sie auf verschiedenene Wege an das "Rätsel" herangehen. Jeder versucht auf seine Weise an Daten zu kommen. Das Ergebnis könnte	n	n	i	n
15 Es kann sein muss es aber nicht	m	m	n	m
16 Ja weil ein Tier immer gleich ist	u	u	n	u
17 Ja wenn sie alles richtig machen sollte das gehen	n	n	n	n
18 Nein da alle andere Wege haben Bsp.: 3-1=2, 1-3=-2	n	n	m	m
Nein ander maches es anders und kommen zu einem anderen Ergebnis oder machen es Falsch oder so.	n	n	n	m
20 Nein weil es vielleicht das ergebnis Beeinflusst	m	n	m	m
21 Nein weil es andere "Quellen" sind, daher kommen sie auf andere	m	m	i	i
22 Jaein, manchmal kommen sie auf die selben Schlussfolgerungen	m	m	m	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pt
1	2	2	0	0	4	0,33333
2	0	0	4	0	4	1
3	0	1	3	0	4	0,5
4	4	0	0	0	4	1
5	0	4	0	0	4	1
6	0	3	1	0	4	0,5
7	0	3	1	0	4	0,5
8	0	3	1	0	4	0,5
9	4	0	0	0	4	1
10	0	0	2	2	4	0,33333
11	0	2	1	1	4	0,33333
12	0	1	2	1	4	0,33333
13	0	2	2	0	4	0,33333
14	0	3	0	1	4	0,5
15	0	1	3	0	4	0,5
16	3	1	0	0	4	1
17	0	4	0	0	4	1
18	0	2	2	0	4	0,33333
19	0	3	1	0	4	0,5
20	0	1	3	0	4	0,5
21	0	0	2	2	4	0,33333
22	0	0	4	0	4	1
Summe/D	13	35	32	7	88	0,60606

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,3909091	0,147727273
n	1,6363636	0,409090909
m	1,4545455	0,363636364
i	0,3181818	0,079545455
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,3277376

Heiss Kappe 0,4140095

c	Andert sich deine Antwort auf Frage (a) wenn die Wissenschaftler zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Ja, weil wenn sie zusammenarbeiten eignen sie sich auf ein Ergebnis	i	i	i	i
2	wenn sie alle zusammenarbeiten habe sich sicher das selbe	m	m	m	m
3	Dann kommt, das gleiche raus.	n	m	n	n
4	Nein es ändert sich nichts	n	n	n	n
5	Wenn sie zu zweit arbeiten kann jeder eine andere Antwort herausfinden.	m	m	m	m
6	Ja, weil wenn sie zusammenarbeiten eignen sie sich auf ein Ergebnis	i	i	i	i
7	Nein	u	u	u	u
8	Ja, weil wenn sie zusammenarbeiten eignen sie sich auf ein Ergebnis	i	i	i	i
9	Nein	u	u	u	u
10	Ja	u	u	u	u
11	Nein	u	u	u	u
12	Nein, es hat jeder immer noch seine eigene Sicht, man teilt si den anderen mit aber das ändert nicht die Erkenntnis einer einzelnen Person	m	m	m	m
13	Ja definitiv weil sie dann exakt den gleichen Vorgehensweisen folgen	n	n	m	n
14	Ja. Sie verwenden die gleichen Vorangehensweisen. Sie arbeiten zusammen. Sie werden beide zum gleichen Schluss kommen zumindest größtenteils.	m	m	i	m
15	Sie diskutieren dann mehr und in einer Gruppe sollte man die selbe Meinung haben.	i	i	i	i
16	nein	u	u	u	u
17	Nein, weil wenn sie alle richtig machen müssten alle gemeinsam auf das richtige und damit gleiche Ergebnis kommen	n	n	u	n
18	Nein weil Baum	u	u	n	u
19	Nein	u	u	u	u
20	ja weil sie über Theorien reden können	i	i	i	i
21	Ja, wie sich die logischste Erklärung durchsetzen und dadurch die Wissenschaftlerinnen dieselbe Meinung	m	n	i	m
22	Wenn sie zusammenarbeiten, dann kommen sie oft auf die selbe Antwort	m	m	m	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pa
1	0	0	0	0	4	1
2	0	0	0	0	0	1
3	0	3	1	0	4	0,5
4	0	4	0	0	4	1
5	0	0	4	0	4	1
6	0	0	0	4	4	1
7	4	0	0	0	4	1
8	0	0	0	4	4	1
9	4	0	0	0	4	1
10	4	0	0	0	4	1
11	4	0	0	0	4	1
12	0	0	4	0	4	1
13	0	3	1	0	4	0,5
14	0	0	3	1	4	0,5
15	0	0	0	4	4	1
16	4	0	0	0	4	1
17	1	3	0	0	4	0,5
18	3	1	0	0	4	0,5
19	4	0	0	0	4	1
20	0	0	0	4	4	1
21	0	1	2	1	4	0,3333
22	0	0	4	0	4	1
Summe/D	28	17	23	27	88	0,85006

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	1,2727273	0,144181818
n	0,6018182	0,120363636
m	1,0454545	0,261363636
i	1	0,25
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,2613054

Fleiss Kappa 0,8051963

19

	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
d				
Andert sich deine Antwort auf (b) wenn die Wissenschaftler zusammen arbeiten? Begründe deine Antwort:				
1 Nein, weil jeder etwas anders rein gibt und nieht	n	n	n	n
Dann werden alle Wissenschaftler eigen Infos haben und mit denen etwas sinfoles				
2 zusammenbasteln.	n	n	n	n
3 Ja alle werden es richtig oder falsch haben	n	n	n	n
4 Nein da koann nicht das selbe herauskommen	n	n	n	n
5 Nein, weil jeder anderes rechnet	n	n	n	n
6 Nein	u	u	u	u
7 Nein, weil jeder anderes rechnet	n	n	n	n
8 Nee	u	u	u	u
9 Ja	u	u	u	u
10 Nein, jeder teilt es zwar wahrscheinlich dem Team mit aber das ändert nichts	n	n	n	n
Ja aber wenn sie zusammen arbeiten kann es auch sein das sie trotzdem verschiedenen				
11 Vorgehensweisen folgen	i	i	m	i
Nein. Beide arbeiten so wie sie es für richtig halten jeder wird in seinem Fachgebiet				
12 andere Dinge entdecken.	m	m	m	m
13 Sie diskutieren dann mehr und in einer Gruppe sollte man dieselbe Meinung haben.	i	i	i	i
14 nein	u	u	u	u
15 Nein es bleibt richtig das sie auf das selbe kommen	m	m	m	m
16 Ja da alle den selben Weg haben Bsp.: 3-1 =2 ,3-1=2	n	n	n	n
17 Nein	u	u	u	u
18 Ja weil wenn sie zusammen arbeiten müssen sie eine einzige vorgehensweise nehmen	n	n	n	n
Ja weil sie dann die beste "Quelle" nehmen und sie auf ein einstimmiges Ergebnis				
19 kommen.	m	m	i	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pf
1	0	4	0	0	4	1
2	0	4	0	0	4	1
3	0	4	0	0	4	1
4	0	4	0	0	4	1
5	0	4	0	0	4	1
6	4	0	0	0	4	1
7	0	4	0	0	4	1
8	4	0	0	0	4	1
9	4	0	0	0	4	1
10	0	4	0	0	4	1
11	0	0	1	3	4	0,5
12	0	0	4	0	4	1
13	0	0	0	4	4	1
14	4	0	0	0	4	1
15	0	0	4	0	4	1
16	0	4	0	0	4	1
17	4	0	0	0	4	1
18	0	4	0	0	4	1
19	0	0	3	1	4	0,5
Summe/2	20	36	12	8	76	0,9

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichk.
u	1,0526316	0,263157895
n	1,8947368	0,473684211
m	0,6315789	0,157894737
i	0,4210526	0,105263158
Gesamt	4	1

χ^2 Zufall, 2 Beurteil 0,3296999

Fleiss Kappa 0,8508254

5 a) Was bedeutet das Wort „Daten“ in der Wissenschaft?	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1 Das sind Wirtschaftliche Informationen	i	i	i	i
Wenn man viele Smetterlinge beobachtet und man von allen die Flügel abmisst hat man Daten.	m	m	i	m
3 Daten sind was Wissens. Nach Reihenfo. Oder wie sie etwas geschaffen haben.	m	m	m	m
4 z.B.: Größe des Tieres alter, Gewicht....	n	n	m	n
5 Nachforschungen von Tieren	n	n	n	n
6 Werte, Ergebnisse	m	m	m	m
7 Das sind Informationen	i	i	i	i
8 Werde (sollte Werte heißen), Ergebnis.	i	i	i	i
9 Sie schauen nach Fingerabdrücke zb BSP: Daten sind, wenn du zum Beispiel 100 Schmetterlinge ansiehst und ihre Flügel abmisst. Oder wenn du die Füße eines Tausendfüßlers genau durchzählst.	n	n	n	n
10 zählenangeben, Werte	m	m	m	m
12 Daten sind Fakten also Dinge die bewiesen sind und z.B. keine Theorie	n	n	n	n
13 Daten sind z.B Zahlen, bestimmte Codes Versuche die dokumentiert wurden Daten die der Wissenschaftler gesammelt hat bei z.B Experimenten.	m	m	m	m
14 Experimenten.	i	i	i	i
15 Nachforschungen von Tieren, Fingerabdrücke, DANN	m	n	m	m
16 Daten bedeuten auch in der Wissenschaft: Daten	u	u	u	u
17 Viele Dateien von Leuten oder 400 seltene Tiere leben noch	u	u	u	u
18 Funde und Annahmen die vl. Richtig sind	m	m	n	m
19 ka	u	u	u	u
20 Informationen	i	i	i	i
21 Zahlen z.B Temperatur	m	m	m	m
22 Hinweise sammeln, Forschungsergebnisse	i	i	m	i
23 Daten sind Daten	u	u	u	u

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	0	0	0	4	1
2	0	0	3	1	4	1
3	0	0	4	0	4	1
4	0	3	1	0	4	0,5
5	0	4	0	0	4	1
6	0	0	4	0	4	1
7	0	0	0	4	4	1
8	0	0	0	4	4	1
9	0	4	0	0	4	1
10	0	0	3	1	4	0,5
11	0	0	4	0	4	1
12	0	4	0	0	4	1
13	0	0	4	0	4	1
14	0	0	0	4	4	1
15	0	1	3	0	4	0,5
16	4	0	0	0	4	1
17	4	0	0	0	4	1
18	0	1	3	0	4	0,5
19	4	0	0	0	4	1
20	0	0	0	4	4	1
21	0	0	4	0	4	1
22	0	0	1	3	4	0,5
23	4	0	0	0	4	1
Summe/D	15	17	34	25	92	0,8913

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,09505212	0,178913043
n	0,7391304	0,184782609
m	1,4782609	0,369565217
i	1,0869005	0,27173913
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteilt 0,274811

Hess Kappa 0,850114

23

Bitte erkläre, ob sich "Daten" von "Belegen" unterscheiden!				
b	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1 Daten schreibt man D,a,L,e,i,n, und Belegen schreibt man B,e,l,e,g,e,n	n	u	u	n
2 Der unterschied ist über die beiden Wörter unterschiedlich geschrieben worden.	n	u	u	n
3 Belege= beweisen	m	m	u	m
4 Keine Ahnung	u	u	u	u
5 Ja weil Daten was anderes sind als Belege	u	u	m	u
6 Daten können fake sein Beleg ist ein Beweis	n	n	n	n
7 Nein	n	u	u	n
8 Ich denke, es ist ein Unterschied, weil ich so ein Gefühl habe ;)	n	n	n	n
9 Sie unterscheiden sich nicht so groß, sind aber nicht das selbe.	m	n	m	m
10 Nein	u	u	u	u
11 Ja, Daten haben eher was mit Zahlen zu tun und Belege mit Beweisen z.B ein Knochen von einem Tier das mal existiert hat	n	n	u	n
12 Daten sind Beweise und Vermutungen, Daten von z.B. Experimenten zeigen wie dieses verläß. Ein Beleg ist eindeutig.	n	n	n	n
13 Ja, es kann sein weil Daten schreibt man D-a-L-e-i-n und Belege so B-e-l-e-g-e	n	n	u	n
14 Ich glaube schon	u	u	u	u
15 Daten sind gefundene Sachen die nach bestätigt werden müssen und Belege sind Fakten die belegt sind.	l	l	l	l
16 ka	u	u	u	u
17 Ja Belege= Beweise, Daten =Informationen	m	m	m	m
18 Daten stimmen nicht immer, Beweismekans	n	n	n	n
19 Belege sind Beweise, Daten sind sage Vermutungen	n	n	n	n
20 Keine Ahnung	u	u	u	u

Aussage	u	n	m	l	Gesamt	pi
1	2	2	0	0	4	0,33333
2	2	2	0	0	4	0,33333
3	1	0	3	0	4	0,5
4	4	0	0	0	4	1
5	3	0	1	0	4	0,5
6	0	4	0	0	4	1
7	2	2	0	0	4	0,33333
8	0	4	0	0	4	1
9	0	1	3	0	4	0,5
10	4	0	0	0	4	1
11	0	4	0	0	4	1
12	0	4	0	0	4	1
13	1	3	0	0	4	0,5
14	4	0	0	0	4	1
15	0	0	0	4	4	1
16	1	0	0	0	4	1
17	0	0	4	0	4	1
18	0	4	0	0	4	1
19	0	4	0	0	4	1
20	4	0	0	0	4	1
Summe/l	31	34	11	4	80	0,8

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	1,55	0,3875
n	1,7	0,425
m	0,55	0,1375
l	0,2	0,05
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteil 0,352188

Fleiss Kappa 0,691269

16

c		Worauf kommt es bei der Analyse von Daten an?			
		Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Das alles genau ist.	m	m	m	m
2	Ob sie wirklich stimmen.	m	m	m	m
3	Das man am schluss auf ein Ergebniss kommt.	n	n	n	n
4	Man untersucht die Daten genau.	m	m	m	m
5	Man untersucht Daten genau.	m	m	m	m
6	Mann muss den Vornamen und Nachnamen das ist eine Analyse	u	u	u	u
7	Das ein realistisches und glaubwürdiges Ergebnis rauskommt.	m	m	m	m
8	Man untersucht die Daten genau.	m	m	m	m
9	Ess muss bewiesen sein, dass der Weg die Daten zu bekommen effektiv ist.	m	m	m	m
10	Mir fällt grad leider nichts ein	u	u	u	u
11	Genau scheuen. Was ist Vermutung was belegt.	m	m	m	m
12	auf die unterschiede. Unterschiedliche Tiere unterschiedliche analyse von Daten.	n	n	n	n
13	Das die Daten analysiert werden.	n	n	n	n
14	Die Daten müssen war (wahr) sein	m	m	m	m
15	Darauf ob es dann richtig ist.	n	n	m	n
16	Ob sie stimmen	n	n	n	n
17	Die Daten werden Kontrolliert ob sie echt oder Fake sind.	m	m	m	m
18	Die genauen Daten zu Analysieren	u	u	u	u
19	Das die Daten korrekt sind.	m	m	m	m
20	Desto mehr Daten, desto genauer das Ergebnis.	m	m	n	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	0	4	0	4	1
2	0	0	4	0	4	1
3	0	4	0	0	4	1
4	0	0	4	0	4	1
5	0	0	4	0	4	1
6	4	0	0	0	4	1
7	0	0	4	0	4	1
8	0	0	4	0	4	1
9	0	0	4	0	4	1
10	4	0	0	0	4	1
11	0	0	4	0	4	1
12	0	4	0	0	4	1
13	0	4	0	0	4	1
14	0	0	4	0	4	1
15	0	3	1	0	4	0,5
16	0	4	0	0	4	1
17	0	0	4	0	4	1
18	4	0	0	0	4	1
19	0	0	4	0	4	1
20	0	1	3	0	4	0,5
Summe/Durchschnitt	12	20	48	0	80	0,95

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,6	0,15
n	1	0,25
m	2,4	0,6
i	0	0
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteil 0,445

Fleiss Kappa 0,90991

16 VOSI-Auswertung – Nachbefragung

Welche Aktivitäten führen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus (z.B.: Biologen, Chemiker, Physiker, Geologen) um etwas über die Natur zu erfahren? Erläutere wie Wissenschaftler*innen (Biologen, Chemiker, Geowissenschaftler) ihrer Arbeit nachgehen.		Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Sie entnehmen Proben z.B.: wie bei den Schwermetallen, überlegen aber davor was wissen wollen.	m	m	m	m
2	Aussage+A6:A28	m	m	m	m
3	1.Sie müssen beobachten, 2.Hypothesen aufstellen 3. Theorie, 4. Theorie muss nachvollziehbar sein	i	m	i	i
4	Proben entnehmen, Analysieren, Daten/Mittelwert, Beobachten, Aufzeichnen (sehr genau)	i	i	i	i
5	Wiederholbarkeit	i	i	i	i
6	Sie forschen und analysieren, Proben nehmen	m	m	m	m
7	Sie erfinden Sachen z.b. das Handy, und sie durchsuchen die Welt um neu Tiere zu entdecken, sie mutieren auch Tiere um älter ausgestorbene Tiere wieder zuholen	n	n	m	n
8	Proben entnehmen und analysieren	m	m	m	m
9	Proben entnehmen und analysieren	m	m	m	m
10	Proben entnehmen, Analysieren, Daten/Mittelwert etc. Beobachten, Alles genau aufzeichnen (Wiederholbarkeit)	i	i	i	i
11	Untersuchen	u	n	u	u
12	Sie stellen Vermutungen auf, beobachten Fenomene, machen experimete und nodieren alles, schreiben das Protokoll	i	i	i	i
13	Untersuchungen, Versuche	u	n	u	u
14	Beobachtungen, Untersuchungen. Bei simplen Sachen könnte man einfach die Eigenschaften nachgehen. Wie robust es ist, ob sich die Form unter bestimmten Voraussetzungen ändert.	m	m	i	m
15	Sie experimentieren und probieren ausm z. B Biologen beobachten oder versuchen Zusammenhänge zu erkennen und unterschiede	m	m	i	m
16	Sie machen Experimente, beobachten diese und kommen zu einer Erkenntnis. Sie stellen davor noch Hypothesen und den Versuch können sie genau sagen ob es stimmt oder nicht.	i	i	i	i
17	Sie beobachten Naturphänomene und untersuchen sie. Außerdem machen sie Experimente.	m	m	m	m
18	Sie führen Experimente durch um Erfahrungen zu sammeln	m	m	m	m
19	Sie untersuchen Pflanzen und Böden und führen Experimente druch	m	m	m	m
20	Sie gehen zuerst selbst in die Natur um am Anfang nur zu beobachten, je nachdem was u. wo ihr Gebiet ist. Recherche ist auch ein wichtiger Punkt womit sie sich befassen	m	m	m	m
21	Untersuchungen	u	n	u	u
22	Biologen: untersuchen Pflanzen und Tiere; Chemiker: machen Experimente und schauen sich Moleküle an; Geowissenschaftler: Steine und Erde (Blattentektonik)	i	m	i	i
23	Sie forschen und analysieren und nehmen Proben	m	m	m	m
24	Proben entnehmen, analysieren, forschen beobachten Daten/Mittelwert, alles genau aufzeichnen (Wiederholbarkeit)	i	i	i	i

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	0	4	0	4	1
2	0	0	4	0	4	1
3	0	0	1	3	4	0,5
4	0	0	0	4	4	1
5	0	0	0	4	4	1
6	0	3	1	0	4	0,5
7	0	0	4	0	4	1
8	0	0	4	0	4	1
9	0	0	0	4	4	1
10	0	0	0	4	4	1
11	0	0	0	4	4	1
12	3	1	0	0	4	0,5
13	0	0	0	4	4	1
14	3	1	0	0	4	0,5
15	0	0	3	1	4	0,5
16	0	0	0	4	4	1
17	0	0	0	4	4	1
18	0	0	0	4	4	1
19	0	0	0	4	4	1
20	3	1	0	0	4	0,5
21	0	0	1	3	4	0,5
22	0	0	4	0	4	1
23	0	0	0	4	4	1
Summe/Durchschnitt	9	6	29	40	52	0,82692

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,29304	0,097026
n	0,26087	0,065217
m	1,26087	0,315217
i	2,086967	0,521739
Gesamt	4	1

P Zufall,2Beurteiler 0,38537

Fleiss Kappa **0,71689**

19

Wie entscheiden Wissenschaftler*innen, was und wie sie ihre Untersuchungen durchführen? Beschreibe alle Faktoren, die deiner Meinung nach, die Arbeit von Wissenschaftler*innen beeinflussen	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
2 Sie untersuchen was sie interessiert. Manchmal ist auch gerade etwas wichtig (Corona). Und Umwelt (Schwermetalle) Es gibt verschiedene Untersuchungen	i	i	i	i
1 Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelteinflüsse	i	i	i	i
2 Falsche Ergebnisse der Untersuchungen	u	n	n	u
3 Recherche, Beobachtungen, Theorien, Vermutungen Experimente beeinflussen die Arbeit von ihnen. So kann man auf Erkenntnisse schließen	i	i	i	i
4 Fragen stellen, Hypothesen aufstellen, Daten, Daten analysieren Präsentation	u	n	u	u
5 Sie diskutieren über unterschiedliche Ergebnisse	m	m	m	m
6 Die Untersuchung sollen ethisch/moralisch nicht verwerflich sein. Keiner soll zu Schaden	m	m	m	m
7 Ich denke Untersuchungskosten haben einen Einfluss. Zuerst kommt die Fragestellung und daraufhin versucht man eine Untersuchung durchzuführen.	i	m	i	i
8 z.B. Bei einer chemischen Experiment müssen sie alle Stoffe kennen und wissen wie sie mit einander reagieren. Materialien, Durchführung, Beobachtung, Erkenntnis. Daran die Hypothese kennen sie ihre Ziele und veruch diese zu beweisen.	i	i	m	i
9 Fakten die bereits stehen. Unterschiedliche Daten die bereits existieren. Vielleicht schauen sie sich auch andere Experimente von anderen Wissenschaftler*innen an.	i	i	i	i
10 Die Vorbereitung für das Experiment, die Notwendigkeit (z.B wenn es um Menschen geht) die Ob das was sie untersuchen wollen schon mal untersucht wurde. Ob es eher ein unerforschtes Thema ist oder nicht. Ob sie die bestimmten Materialien haben um ihre Theorien mittels experiment durchführen können	m	m	m	m
11 Indem sie genau überlegen was am Ende rauskommen könnte	m	m	m	m
12 in dem sie überlegen was sie tun könnten und was effektiv sein könnte	m	m	m	m
13 Sie müssen beobachten, Hypothesen aufstellen Theorie, Theorie muss nachvollziehbar sein	u	u	u	u
14 Fragen stellen, Hypothesen aufstellen, Daten, Daten analysieren Präsentation	u	u	u	u
15 Hypothesen aufstellen, Fragen stellen	u	n	u	u
16 miteinander diskutieren	m	m	n	m
17 Wenn sich eine Frage vom Volk aus entwickelt, entscheiden Wissenschaftler ob sie die Frage in denn sich eine Frage vom Volk aus entwickelt, entscheiden Wissenschaftlich ob sie die Frage (Frage) untersuchen	i	i	i	i
18 Fiege (Frage) untersuchen	i	i	i	i
19 Fragen stellen, Hypothesen aufstellen, Daten, Daten analysieren Präsentation	u	n	u	u
20 Falsche Ergebnisse	u	u	u	u
21 Sie machen eine Reihenfolge, schreiben es auf und beschriften z.B Proben	n	n	n	n

Übersichtsbewertung

Aussagen	u	n	m	i	gesamt	pt
1	0	0	0	4	4	1
2	0	0	0	4	4	1
3	2	2	0	0	4	0,3333333
4	0	0	0	4	4	1
5	3	1	0	0	4	0,5
6	0	0	4	0	4	1
7	0	0	4	0	4	1
8	0	0	1	3	4	0,5
9	0	0	1	3	4	0,5
10	0	0	0	4	4	1
11	0	0	4	0	4	1
12	0	0	0	4	4	1
13	0	0	0	4	4	1
14	0	0	0	4	4	1
15	4	0	0	0	4	1
16	4	0	0	0	4	1
17	4	0	0	0	4	1
18	4	0	0	0	4	1
19	3	1	0	0	4	0,5
20	0	1	3	0	4	0,5
21	0	0	0	4	4	1
22	0	0	0	4	4	1
23	0	4	0	0	4	1
Summe/Durchschnitt	23	10	25	34	92	0,8407397

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	1	0,25
n	0,4347826	0,1086957
m	1,0869565	0,2717391
i	1,4732609	0,3695952
Gesamt	4	1

F Zufall, 2 Beurteiler 0,2647353

Fleiss Kappa 0,7771171

	<p>Eine Person, die sich für Vogel interessiert, hat sich hunderte von unterschiedlichen Vögeln angeschaut, die unterschiedliches Futter fressen. Die Person bemerkte die Tendenz, dass Vögel, die ähnliches Futter zu sich nehmen, auch einen ähnlich geformten Schnabel haben. Beispielsweise haben Vögel, die Nüsse mit einer harten Schale fressen, kurze und kräftige Schnäbel; und Vögel, die Insekten fressen, haben lange und schmale Schnäbel. Die Person stellte sich die Frage, ob die Form des Schnabels eines Vogels mit seiner Ernährungsweise zusammenhängt und begann, Daten zu sammeln, um diese Frage zu beantworten. Sie kam zu dem Schluss, dass es bei Vögeln einen Zusammenhang zwischen der Schnabelform und der Ernährungsweise gibt</p>				
a	Haltest du die Untersuchung dieser Person für eine naturwissenschaftliche Untersuchung? Bitte erkläre genau, warum oder warum nicht.	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Ja weil er sich viele Vögel anschaut, Er sieht, dass die Schnäbel bei jedem Futter ander sind	i	i	i	i
2	Ja natürlich, immerhin handelt es sich hierbei um die Tiere und die Natur	n	n	n	n
3	Wie Tiere zur Natur gehören	n	n	n	n
4	Ja, es hat was mit Natur zu tun Vögel =Tiere=Natur=Naturwissenschaft	n	n	n	n
5	Ja wie es sich bei dieser Untersuchung um eine Untersuchung mit Tieren handelt	n	n	n	n
6	Ich halte es für eine naturwissenschaftliche Forschung weil die Person sich mit Tieren und ihrer Entwicklung befasst, was man zur Biologieordnen kann	i	m	i	i
7	Ich denke schon, dass es sich dabei um eine naturwissenschaftliche Untersuchung handelt, weil sie sich auch mehrerer Vögel angeschaut hat und somit auf ein Entschluss gekommen ist	i	i	i	i
8	Ja es ist eine naturwissenschaftliche Untersuchung, da er zu einer Erkenntnis kann und diese Erkenntnis wann zB Firmen und Vogelbesitzer von Vorteil sein	u	u	m	u
9	Ja, denn Natur hat nur was mit Naturwissenschaft zu tun. Außerdem interessiert sich derjenige wieso etwas so ist wie es ist und wie dieser Schnabel bei Tieren zustande kam	m	m	n	m
10	Ja, weil diese Person durch genaue Beobachtung und Recherche zu einem Ergebnis kam	i	i	i	i
11	Ja weil er/sie es sich genau über längere Zeit beobachtet hat	i	i	i	i
12	Ja weil man so erfährt wie sie auch leben und Vögel allgemein auch zur Natur gehören	m	m	n	m
13	Ja weil es dabei um Tiere geht	n	n	n	n
14	Ja, es könnte die Wissenschaft weiterbringen	u	u	m	u
15	Ja, es könnte die Wissenschaft weiterbringen	u	u	n	u
16	Ja, weil es mit Tieren zutun hat	n	n	n	n
17	Er erkennt Muster	i	i	i	i
18	Er erkennt Muster	i	i	i	i
19	Ja ist es. Die Person hat sich lange damit beschäftigt und wahrscheinlich untersucht und beobachtet. Es muss jedoch Daten und Aufzeichnungen geben	i	i	i	i
20	Ja weil es mit Tieren zu tun und Tiere sind Teil der Natur	n	n	n	n
21	Es ist meiner Meinung nach eine naturwissenschaftliche Untersuchung da es um die untersuchung von Tieren und Natur geht	n	n	n	n
22	Weiß nicht	u	u	u	u
23	Ja weil sie die Vögel beobachten und untersuchen	m	m	m	m
24					

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pl
1	0	0	0	0	4	1
2	0	4	0	0	4	1
3	0	4	0	0	4	1
4	0	4	0	0	4	1
5	0	4	0	0	4	1
6	0	0	0	1	3	0,5
7	0	0	0	0	4	1
8	3	1	0	0	4	0,5
9	0	1	3	0	4	0,5
10	0	0	0	0	4	1
11	0	0	0	0	4	1
12	0	0	4	0	4	1
13	0	4	0	0	4	1
14	3	1	0	0	4	0,5
15	3	1	0	0	4	0,5
16	0	4	0	0	4	1
17	0	0	0	0	4	1
18	0	0	0	0	4	1
19	0	0	0	0	4	1
20	0	4	0	0	4	1
21	0	4	0	0	4	1
22	4	0	0	0	4	1
23	0	0	4	0	4	1
Summe/Durchschnitt	13	36	12	31	92	0,8913043

20,5

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,5652174	0,1413043
n	1,363274	0,3913043
m	0,5217391	0,1304348
i	1,5478261	0,3880566
Gesamt	n	1

P Zuteil, 2 Beurteiler 0,3035389

Fleiss Kappa 0,8439091

b	Hältst du die Untersuchung dieser Person für ein Experiment? Bitte erkläre genau, warum.	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Nein, es ist eine Beobachtung	l	l	l	l
2	Nein, es ist eine Beobachtung. Bei einem Experiment müsste er etwas ändern. Eher weniger ein Experiment. Die Person hat weniger experimentiert sonder mehr beobachtet, recheriert und	l	l	l	l
3	Schlüsse daraus gezogen	l	l	l	l
4	Ja weil sie etwas probieren	n	n	m	n
5	Nein, ein Experiment ist es wennman dabei macht und beobachtet. In dem Fall ist es eine Beobachtung	l	l	l	l
6	Nein, weil es eine Beobachtung ist.	l	l	l	l
7	Wenn er für den ganzen Prozess des Füllerns verantwortlich ist, dann finde ich schon	u	n	u	u
8	Ja weil sie Versucht hat auf einen Entschluss zu kommen	m	m	m	m
9	Ja es ist ein Experiment, da er mehrkte dass die Vögel auch ähnliches Futter essen und so konnte er zu einen Ergebnis und einer Erkenntnis kommen	m	m	m	m
10	Eher eine Untersuchung. Es geht hier nicht darum etwas auszuprobieren und zu einem bestmöglichen Ergebnis zu kommen, sonder man stellt sich eine Frage, zeigt Interesse und sammelt Daten und Fakten dazu	l	l	l	l
11	Nein, weil ich denke, dass ein experiment einen teilweise aktiven teil der Person braucht	l	l	l	l
12	Ja weil es ein experiment ist verschieden zu füttern	m	m	n	m
13	Ja weil man die Vögel mit verschiedenen Sachen füttert und so Daten sammelt	m	m	m	m
14	Nein, weil derjenige nichts davon ändern kann, welche Vögel mit welchem Schnabel welches Futter essen	l	l	l	l
15	Ja, es ist zwar mehr eine Art von Beobachtung, doch so gesehen auch ein wissenschaftliches Experiment	l	l	l	l
16	Nein, weil es eine Beobachtung ist.	l	l	l	l
17	Nein, ich denke es ist eine Beobachtung denn die Person verändert nichts, Sie beobachtet nur	l	l	l	l
18	Nein weil sie nichts verändert hat	l	l	l	l
19	Nein weil sie nichts verändert hat	l	l	l	l
20	Nein! Ein Experiment ist ein Versuch eine Vermutung die man um sie zu beweisen in irgendeiner Form ausprobiert. Die Persib könnte dan Vögeln viele Futtermöglichkeiten geben und schauen für was sie sich entscheiden, dies wäre ein Experiment => Beobachtung	l	l	l	l
21	Nein weil es eine Beobachtung ist	l	l	l	l
22	Ist für mich eine Beobachtung	l	l	l	l
23	Ja. Er/Sie untersucht zb. Das Verhalten oder so Beobachtung	m	m	l	m

Aussagen	u	n	m	l	Gesamt	pl
	1	0	0	0	4	1
	2	0	0	0	4	1
	3	0	0	0	4	1
	4	0	3	1	4	0,5
	5	0	0	0	4	1
	6	0	0	0	4	1
	7	3	1	0	4	0,5
	8	0	0	4	4	1
	9	0	0	4	4	1
	10	0	0	0	4	1
	11	0	0	0	4	1
	12	0	1	3	4	0,5
	13	0	0	4	4	1
	14	0	0	0	4	1
	15	0	0	0	4	1
	16	0	0	0	4	1
	17	0	0	0	4	1
	18	0	0	0	4	1
	19	0	0	0	4	1
	20	0	0	0	4	1
	21	0	0	0	4	1
	22	0	0	0	4	1
	23	0	0	3	4	0,5
Summe/Durchschnitt	3	5	19	65	92	0,919043478

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,130434783	0,032608696
n	0,217591304	0,054347826
m	0,826086957	0,206521739
l	2,826086957	0,706521739
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,54584121

Fleiss Kappa 0,806532778

	Denkst du, dass naturwissenschaftliche Untersuchungen nach mehr als einer Methode durchgeführt werden können? Wenn du denkst, dass dies nicht der Fall ist, erkläre bitte, warum es nur einen Weg gibt, naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Wenn du denkst, dass dies so ist, beschreibe bitte zwei Untersuchungen, die nach unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden und erkläre, wie sich die Methoden unterscheiden und wie sie trotzdem beide als naturwissenschaftlich gelten können.	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Ja, weil man viele Methoden verwenden kann.	m	m	m	m
2	Ja, es gibt mehrere Methoden. Z.B. kann man Bodenproben mit einem Mikroskop untersuchen oder im Labor	i	i	i	i
3	Ja es gibt unterschiedliche Untersuchungen. Zum Beispiel befasst sich die eine Person mehr mit Recherche, die ander mehr mit Beobachtungen.	i	i	i	i
4	Nein, weil sowieso das gleich Ergebnis rauskommt	n	n	n	n
5	Ja z.B. beobachten durch Zeilen in der Natur oder Kamera aufstellen im Wald	i	i	i	i
6	Ja, können mit mehr als einer Methode durchgeführt werden	m	m	m	m
7	Es gibt, so gut wie immer mehrere Wege an ein Ergebnis zu kommen. Vergleichsweise in der Mathematik kann man verschiedene Methoden anwenden und trotzdem zum selben Ergebnis kommen	i	i	i	i
8	Ich denke es gibt immer verschiedene Methoden um auf eine Antwort zu kommen	m	m	n	m
9	Ich denke man muss mehrer mal das selbe Experiment machen, man kann nicht durch einen Versuch sagen das es immer so sein muss.	u	m	u	u
10	Ich denke schon, weil man kann einfach passiv Untersuchen indem man nur zuschaut, oder aktiv indem man Beispielsweise den Vögeln was zuwirft und schaut	i	i	i	i
11	Ja weil es mehrere Wege geben kann	m	m	m	m
12	Nein	n	u	u	n
13	Ja es gibt mehrere Wege	m	m	m	m
14	Nein es gibt mehrere Wege, zB zuerst beobachten, analysieren, Proben nehmen oder zuerst Proben nehmen und mikroskopieren	i	i	i	i
15	Es gibt mehrere Methoden, aber mir fällt gerade keine ein	m	m	m	m
16	Ja weil Elektronenmikroskop, der andere macht es mit Tabellen	i	i	i	i
17	Ja weil Elektronenmikroskop, der andere macht es mit Tabellen	i	i	i	i
18	Definitiv. Es gibt oft mehrere Methoden und Arten etwas zu untersuchen, vermutlich nicht immer jedoch oft zB: Schwermetalle in Pflanzen. Einer verbrennt die Pflanzen und misst den Schwermetallgehalt in der Asche und ein anderer wird die Pflanzen im Wachstum beobachten.	i	i	i	i
19	Jeder untersucht auf seine Art	u	n	u	u
20	Ja	u	u	u	u
21	Ja weil man viele metoden verwenden kann	m	m	m	m
22	Es gibt mehrere Wege z.B. Experiment, Beobachtung	i	i	i	i

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pl
1	1	0	0	4	4	1
2	2	0	0	0	4	1
3	2	0	0	0	4	1
4	0	0	0	0	0	0
5	4	1	3	0	0	0,5
6	5	0	0	0	4	1
7	6	0	0	4	0	1
8	7	0	0	0	4	1
9	8	0	1	3	0	0,5
10	9	3	0	1	0	0,5
11	10	0	0	0	4	1
12	11	0	0	4	0	1
13	12	2	2	0	0	0,3333333
14	13	0	0	4	0	1
15	14	0	0	0	4	1
16	15	0	0	4	0	1
17	16	0	0	0	4	1
18	17	0	0	0	4	1
19	18	0	0	0	4	1
20	19	3	1	0	0	0,5
21	20	4	0	0	0	1
22	21	0	0	4	0	1
23	22	0	0	0	4	1
Summe/Durchschnitt	13	7	28	40	88	0,8787879

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,5909091	0,1477273
n	0,3181818	0,0795455
m	1,2727273	0,3181818
i	1,8181818	0,4545455
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,3360021

Fleiss Kappa 0,8174511

	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
(a) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler dieselbe Forschungsfrage stellen und der selben Vorgehensweise folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht				
1 Nein weil sie andere Proben verwenden	n	n	n	n
2 Nein weil jeder seine Meinung hat	i	i	i	i
3 Sie können dieselbe Schlussfolgerung haben, können aber auch unterschiedliche haben. Es kann passieren, dass bei der selben Vorgehensweise, trotzdem leicht unterschiedliche Ergebnisse dabei sind.	m	i	m	m
4 Ja, weil sie alle das gleiche machen	n	n	n	n
5 Nein weil man braucht auch vorstellungskraft um ein Ziel zu erreichen, manche stellen sich was anderes vor als andere	i	i	i	i
6 Ja sie werden zu den selben Schlussfolgerungen kommen	n	n	n	n
7 Das Ergebnis bleibt gleich, nur wird es der eine anders interpretieren als der andere	i	i	i	i
8 Wenn die Forschungsfrage die selbe ist, dann wird die Schlussfolgerung auch gleich bleiben. Bezogen auf das Vogelexperiment, die Vögel werden ihre Ernährungsweise nicht ändern.	n	n	n	n
9 Nein dass kann sein aber muss nicht sein. Es kann sein das es Ausnahmen gibt oder man etwas falsch macht dadurch zu einen anderen Ergebnis kommt.	n	n	n	n
10 Wahrscheinlich sehr ähnlich. Es gibt höchstwahrscheinlich kleine Unterschiede wobei man hier auch darauf achten muss in welchen Bereich man sich befindet z.B. die Impfung => Schlussfolgerungen mit großen Unterschieden sind kein gutes Zeichen	m	m	m	m
11 Nein, weil unterschiedliche kleine Faktoren sie beeinflussen können	m	m	n	m
12 Ja, so lange sich keiner irrt schon	n	n	n	n
13 Ja, weil man den gleichen Daten folgt und der selben Vorgehensweise	n	n	n	n
14 Ja, weil sich z.B.: egal wer es untersucht, nicht der Nickelgehalt der Pflanze ändert	n	n	n	n
15 Muss nicht sein. Es könnte an den verschiedenen Proben, die sie nehmen. Sie untersuchen dasselbe Objekt, doch in einer Probe von beiden ist etwas anders.	m	m	m	m
16 Nein weil sie andere Proben verwenden	n	n	n	n
17 Nein weil einer sicher sabotiert wurde	n	u	n	n
18 Ja weil sie das selbe machen	n	n	n	n
19 Ja weil sie das selbe machen	n	n	n	n
20 Nein! Selbst wenn alle genau das gleiche machen wird jeder von ihnen seine eigenen Schlüsse ziehen. Fass sie genau das Gleich da bei rauskommen wäre es Zufall abarbeiten Sie jedoch alle zusammen werden sie sich auf ein Ergebnis einigen	i	i	i	i
21 Ja, weil es die Antwortmöglichkeit eingrenzt	u	u	u	u
22 Sie sollten alle die selbe Antwort bekommen da alle gleich forschen	n	n	n	n
23 Vielleicht, außer man verisst etwas	n	n	n	n

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	4	0	0	4	1
2	0	0	0	4	4	1
3	0	0	3	1	4	0,5
4	0	4	0	0	4	1
5	0	0	0	4	4	1
6	0	4	0	0	4	1
7	0	0	0	4	4	1
8	0	4	0	0	4	1
9	0	4	0	0	4	1
10	0	0	4	0	4	1
11	0	1	3	0	4	0,5
12	0	4	0	0	4	1
13	0	4	0	0	4	1
14	0	4	0	0	4	1
15	0	0	4	0	4	1
16	0	4	0	0	4	1
17	1	3	0	0	4	0,5
18	0	4	0	0	4	1
19	0	4	0	0	4	1
20	0	0	0	4	4	1
21	4	0	0	0	4	1
22	0	4	0	0	4	1
23	0	4	0	0	4	1
Summe/Durchschnitt	5	56	14	17	92	0,9347826

21,5

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,2173913	0,0543478
n	2,4347826	0,6086957
m	0,6086957	0,1521739
i	0,7391304	0,1847826
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,4307656

Fleiss Kappa 0,8854296

(b) Wenn sich mehrere Naturwissenschaftler dieselbe Forschungsfrage stellen und unterschiedlichen Vorgehensweisen folgen, um Daten zu sammeln, werden sie dann zwangsläufig auch zu denselben Schlussfolgerungen kommen? Erkläre, warum oder warum nicht	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1 Nein, weil sie unterschiedlich vorgehen	n	n	n	n
2 Nein, weil die Vorgehensweise andere Ergebnisse bringen kann	n	n	n	n
3 Es werden sich deutlich mehrere unterschiedliche Ergebniss zeigen, aber zu dem selben kann man auch kommen	m	m	n	m
4 Nein weil jeder etwas anders macht	n	n	n	n
5 Nein, weil es andere Vorgänge sind und vielleicht andere was anders beantworten	m	m	m	m
6 Nein sie werden nicht zu den selben Schlussfolgerungen kommen	n	n	n	n
7 Sie können zu den selben Schlussfolgerungen kommen, muss aber nicht sein. Einzelne Änderungen in der Vorgehensweise können schon für große Unterschiede im Ergebnis sorgen.	m	m	m	m
8 Solange die Frage gleich bleibt, denke ich nicht, dass die Vorgehensweise die Schlussfolgerung ändert	i	m	m	i
9 Hier kann es sein aber muss nicht sein, es könnte sein dass man trotz unterschiedlicher Vorgehensweise auf das selbe Ergebnis kommt. Es hängt nicht immer von der Vorgehensweise ab.	i	i	i	i
10 Ich bin immer noch der meinung, dass viele Ergebniss sich variieren, dennoch sollte man größtenteils auf die gleiche Schlussfolgerung stoßen. Es ist sogar sehr gut, wenn durch unterschiedliche Methoden dasselbe raus kommt ==> man könnte auf dem richtigen Weg sein	i	i	i	i
11 Sie könnten durch Zufall auf das gleiche Ergebnis kommen, aber es muss nicht so sein	m	m	m	m
12 Kann sein wenn es beide richtig machen	m	m	m	m
13 Ja weil nur die Vorgehensweise verschieden ist wenn man sich vielleicht nur nicht verrechnet kommt man am Ende auf das selbe	m	m	m	m
14 Ja und nein. Ja wenn sie auch auf genau die gleichen Faktoren achten und nein, wenn sie das nicht tun.	i	i	m	i
15 Es kann beides passieren. Unterschiedliche Ergebnisse können z.B.: an Rechen- oder Denkfehlern liegen	m	m	m	m
16 Nein, weil sie unterschiedlich vorgehen	n	n	n	n
17 Nein weil jemand etwas fesch gemacht hat	n	n	n	n
18 Nein, weil sie andere Untersuchungsmethoden haben	n	n	n	n
19 Nein, weil sie andere Untersuchungsmethoden haben	n	n	n	n
20 Dann schon gar nicht! Jeder von ihnen erforscht, denkt und analysiert anders	m	i	m	m
21 Wer weiß? Vielleicht, wenn man eine untersch. Reihenfolge macht.	n	n	n	n
22 Nein, weil jeder seine eigene Vorgehensweise hat	n	n	n	n
23 Es kann sein, dass sie die selben Antworten bekommen es muss aber nicht sein	m	m	m	m

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	4	0	0	4	1
2	0	4	0	0	4	1
3	0	1	3	0	4	0,5
4	0	4	0	0	4	1
5	0	0	4	0	4	1
6	0	4	0	0	4	1
7	0	0	4	0	4	1
8	0	0	2	2	4	0,3333333
9	0	0	0	4	4	1
10	0	0	0	4	4	1
11	0	0	4	0	4	1
12	0	0	4	0	4	1
13	0	0	4	0	4	1
14	0	0	1	3	4	0,5
15	0	0	4	0	4	1
16	0	4	0	0	4	1
17	0	4	0	0	4	1
18	0	4	0	0	4	1
19	0	4	0	0	4	1
20	0	0	3	1	4	0,5
21	0	4	0	0	4	1
22	0	4	0	0	4	1
23	0	0	4	0	4	1
Summe/Durchschnitt	0	41	37	14	92	0,9057971

20,833333

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0	0
n	1,7826087	0,4456522
m	1,6086957	0,4021739
i	0,6086957	0,1521739
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler: 0,3835066

Fleiss Kappa: 0,8471956

c	Ändert sich deine Antwort auf Frage (a) wenn die Wissenschaftler zusammenarbeiten? Begründe deine Antwort:	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Ja, weil sie gemeinsam arbeiten und auf das selbe Ergebnis kommen und sich einigen	i	i	i	i
2	Ja weil sei sich absprechen	i	i	i	i
3	Ja wenn sie zusammenarbeiten ist es anders weil man im Team ist und die wichtigsten Schlüsse zusammen darus ziehen	i	i	i	i
4	Ja weil Wissenschaftler den selben Vorgang machen	n	n	m	n
5	Könnte gut möglich sei, weil eine Gruppe sollte sich immer einig sein	i	i	i	i
6	Nein es ändert sich nicht	u	u	u	u
7	Dann werden sie schon eher zum selben Ergebnis kommen, weil sie zusammenarbeiten und sich gegenseitig beeinflussen.	i	i	i	i
8	Nein	u	u	u	u
9	Da denke ich sollte eher ein gleiches Ergebnis kommen, da man das gleiche zu zweit macht jedoch kann es auch hier passieren dass das Ergebnis nicht stimmt und bei zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen führen Teamwork bewirkt schnelleres arbeite + dass verschiedene Denkweisen aufeinanderstoßen. Aber es ändert nichts an der Vorgehensweise selbst, der Mensch kann die Natur nicht einfach mit Teamwork beeinflussen.	i	i	i	i
10	Das was rauskommt kommt raus.	m	m	m	m
11	Ja weil da die Faktoren nicht vorhanden wären	u	u	u	u
12	Sie werden das selbe Ergebnis haben	n	n	n	n
13	Nein	u	u	u	u
14	Nein weil es nichts ändert	n	n	n	n
15	Ja weil sie als Team auf ein Ergebnis kommen	m	m	m	m
16	Ja, wie lsei gemeinsam arbeiten und auf das selbe Ergebnis kommen und sich einigen	i	i	i	i
17	Nein weil sei vielleicht immer noch einen Fehler machen	n	n	n	n
18	Ja weil sie zusammen arbeiten und die selben Ergebnisse analysieren	m	m	m	m
19	Ja weil sie die selben Ergebnisse untersuchen	n	n	n	n
20	Definitiv! Womöglich haben sie dennoch u nterschiedliche Meinungen aber sie werden sich einigen und womöglich durch deie Kombination zu einem anderen Ergebnis kommen	i	i	i	i
21	Ja weil einer einen Vorschlag bringt und die gehen dem Vorschlag nach	m	m	m	m
22	Nein da alle das selbe machen	n	n	n	n
22	Nein	u	u	u	u

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	1	0	0	0	4	1
2	2	0	0	0	4	1
3	3	0	0	0	4	1
4	4	0	3	1	4	0,5
5	5	0	0	0	4	1
6	6	4	0	0	4	1
7	7	0	0	0	4	1
8	8	4	0	0	4	1
9	9	0	0	0	4	1
10	10	0	0	4	4	1
11	11	4	0	0	4	1
12	12	0	4	0	4	1
13	13	4	0	0	4	1
14	14	0	4	0	4	1
15	15	0	0	4	4	1
16	16	0	0	0	4	1
17	17	0	4	0	4	1
18	18	0	0	4	4	1
19	19	0	4	0	4	1
20	20	0	0	0	4	1
21	21	0	0	4	4	1
22	22	0	4	0	4	1
22	22	4	0	0	4	1
Summe/Durchschnitt	20	23	17	32	92	0,97826087

22,5

Kategorie	absoluter Häufigkeit	relativer Häufigkeit
u	0,0826087	0,21212121
n	1	0,25
m	0,739130435	0,184782009
i	1,391304348	0,347826087
Gesamt	4	1

Zufall, 2 Beobachter 0,261066578

Fleiss Kappa 0,970427515

d	Ändert sich deine Antwort auf (b) wenn die Wissenschaftler zusammen arbeiten? Begründe deine Antwort:	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Nein weil sie trotzdem verschieden vorgehen	n	n	n	n
2	Nein, weil sie trotzdem verschiedene Sachen machen	n	n	n	n
3	Nein, weil die Vorgehensweise trotzdem unterschiedlich ist, auch wenn man im Team arbeitet	n	n	n	n
4	Ja weil Wissenschaftler den selben Vorgang machen	n	n	n	n
5	Ja weil sie Proben/Beobachtungen vergleichen und dann einen Schluss daraus ziehen	i	m	i	i
6	Ja es ändert sich	u	u	u	u
7	Nein	u	u	u	u
8	Nein	u	u	u	u
9	Nein die Schlussfolgerungen können schon gleich als auch anders aussehen. Durch unterschiedliche Vorgehensweise könnte es sein dass etwas dann nicht stimmt und deshalb man nicht das gezielte Ergebnis bekommt.	i	i	m	i
10	Teamwork bewirkt schnelleres arbeite + dass verschiedene Denkweisen aufeinanderstoßen. Aber es ändert nichts an der Vorgehensweise selbst, der Mensch kann die Natur nicht einfach mit Teamwork beeinflussen. Das was rauskommt kommt raus.	m	m	m	m
11	Nein	u	u	u	u
12	Kann sein, wenn es beide richtig machen	n	n	n	n
13	Nein	u	u	u	u
14	Nein, weil wenn sei zusammen arbeiten verfolgen sei wahrscheinlich die gleiche Methode und nicht unterschiedliche	n	n	n	n
15	Glaub schon	u	u	u	u
16	Nein, weil sei trotzdem verschieden vorgehen	n	n	n	n
	Ja weil sie die selben Ergebnisse untersuchen	n	n	n	n
	Nein. Jeder wird anders forschen und das Ergebnis wird anders forschen und das Ergebnis wird von jeder Untersuchung abhängig sein selbst als Team	m	m	m	m
	Ja weil einer einen Vorschlag bringt und die gehen dem Vorschlag nach	m	m	m	m
	Ja da alle das Selbe machen	n	n	n	n
17	Nein weil sie vielleicht immer noch einen Fehler machen.	n	n	n	n
18	Ja weil sie die selben Ergebnisse analysieren	m	m	n	m
19	Ja, weil sie dasselbe machen	n	n	n	n

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
	1	0	4	0	4	1
	2	0	4	0	4	1
	3	0	4	0	4	1
	4	0	4	0	4	1
	5	0	0	1	3	0,5
	6	4	0	0	4	1
	7	4	0	0	4	1
	8	4	0	0	4	1
	9	0	0	1	3	0,5
	10	0	0	4	4	1
	11	4	0	0	4	1
	12	0	4	0	4	1
	13	4	0	0	4	1
	14	0	4	0	4	1
	15	4	0	0	4	1
	16	0	4	0	4	1
	17	0	4	0	4	1
	18	0	0	4	4	1
	19	0	4	0	4	1
	20	0	4	0	4	1
	21	0	4	0	4	1
	22	0	1	3	4	0,5
	23	0	4	0	4	1
Summe/Durchschnitt	24	45	17	6	92	0,934782609

1,21,5

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	1,043478261	0,260869565
n	1,956521739	0,489130435
m	0,739130435	0,184782609
i	0,260869565	0,065217391
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,345699433

Fleiss Kappa 0,900325027

5 a) Was bedeutet das Wort „Daten“ in der Wissenschaft?	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1 Daten sind Informationen die ein Wissenschaftler gesammelt hat	i	i	i	i
2 Daten = Informationen (z.B: Zahlen)	i	i	i	i
3 "auf datenbasierten Fakten" mit Daten in der Wissenschaft arbeitet man und aus denen schließt man Erkenntnisse. Ohne Daten, wird man bei einem Vorgang nicht weit kommen.	m	m	m	m
4 Fakten	n	n	u	n
5 Sachen aus Proben/Zahlen, Informationen, Notizen	i	i	i	i
6 Daten sind Ergebnisse, Zahlen und Schlussfolgerungen	m	n	m	m
7 Die Erkenntnisse (Informationen) die man durch durchgeführte Experimente erlangt. Sie müssen nicht unbedingt aus Experimenten kommen, aber sie müssen druch Fakten gestützt werden (Analyse)	i	i	i	i
8 Daten sind Informationen die man analysiert	i	i	i	i
9 Daten sind Informationen die man über etwas hat	i	i	i	i
10 Beobachten, Aufschreiben Ergebnisse, Rechnen, Schlussfolgerungen unterschiedliche Vorgehensweise und Methoden	m	m	n	m
11 Eine Information (kann Fakt aber auch nicht Fakt sein)	i	i	i	i
12 Sachen/Zahlen die man heraus gefunden hat.	m	m	m	m
13 Zahlen	n	n	n	n
14 Daten sind Fakten, Also sie müssen bewiesen werden können.	n	n	n	n
15 Zum Beispiel Namen, Herkunft, Alter Probenanalysen	m	m	m	m
16 Daten sind Informationen die Wissenschaftler gesammelt hat	i	i	i	i
17 Daten sind Informationen die die Wissenschaftler sammeln	i	i	i	i
18 Daten sind noch keine Beweise	m	m	m	m
19 noch keine Beweise	m	m	m	m
20 Informationen, Notizen und genau aufzeichnung von allem sind noch nicht bewisen also erst Daten	i	i	i	i
21 Sind Ergebnisse, oder Hinweise	m	m	m	m
22 Informationen	i	i	i	i
23 Information	i	i	i	i

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pl	
1	1	0	0	0	4	4	1
2	2	0	0	0	4	4	1
3	3	0	0	4	0	4	1
4	4	1	3	0	0	4	0,5
5	3	0	0	0	4	4	1
6	6	0	1	3	0	4	0,5
7	7	0	0	0	4	4	1
8	8	0	0	0	4	4	1
9	9	0	0	0	4	4	1
10	10	0	1	3	0	4	0,5
11	11	0	0	0	4	4	1
12	12	0	0	4	0	4	1
13	13	0	4	0	0	4	1
14	14	0	4	0	0	4	1
15	15	0	0	4	0	4	1
16	16	0	0	0	4	4	1
17	17	0	0	0	4	4	1
18	18	0	0	4	0	4	1
19	19	0	0	4	0	4	1
20	20	0	0	0	4	4	1
21	21	0	0	4	0	4	1
22	22	0	0	0	4	4	1
23	23	0	0	0	4	4	1
Summe/Durchschnitt	2	13	30	48	92	0,934782609	21,3

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,043478261	0,010869565
n	0,565217391	0,141304348
m	1,304347826	0,326086957
i	2,086956522	0,52173913
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,39862549

Flieiss Kappa 0,891552063

Bitte erkläre, ob sich "Daten" von "Belegen" unterscheiden!		Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4
1	Belege sind Rechnungen	n	n	n	n
2	Ja, Daten werden bearbeitet und verglichen. Dann kann man etwas erkennen. So kann man einen Beleg finden.	i	i	i	i
3	Belege sind mehr sowas wie Beweise und Daten sind mehr sowas wie Fakten. Also ja, es unterscheidet sich von einander. Zwar nicht stark, aber trotzdem gibt es ein Unterschied.	m	m	n	m
4	Belege sind interpretierte Daten	i	i	i	i
5	Ja Daten = D-A-T-E-N Belege =B-E-L-E-G-E, Wenn man Daten interpretiert sind es Belege	i	i	i	i
6	Nein sie unterscheiden sich nicht	n	n	n	n
7	Belege sind etwas handfestes während Daten zwar durch Fakten gestützt sind, aber dennoch falsch sein können	n	m	n	n
8	Ein Beleg ist, denke ich, ein Endresultat, der Analyse	i	i	m	i
9	Daten sind Informationen über dem Stoff zB. Und Belege sind Hypothesen die wissenschaftlich bewiesen worden sind.	m	m	m	m
10	Belege sind Beweise, dass etwas wirklich stimmt ohne Ausnahme ==> Fakten; Daten kann jeder Aufschreiben aus seinen Beobachtungen und Vorgehensweise	m	m	m	m
11	Daten sind nur Informationen, Belege sind die Informationen nach einem Experiment	m	m	m	m
12	Ja Belege sind fix richtig und Daten was man heraus fand.	m	m	m	m
13	Ja weil Belege immer richtig sind; Daten aber cirka nur geschätzt	n	n	n	n
14	Ja, weil es nicht das gleiche ist. Keine Ahnung wie sie sich unterscheiden.	n	n	n	n
15	Glaub nicht	n	n	n	n
16	Belege sind Rechnungen	n	n	n	n
17	Ja ich denke Belege sind Rechnungen mit Geld und Daten sind Infos	n	n	n	n
18	Belege sind Beweise	m	m	m	m
19	Belege sind Beweise	m	m	m	m
20	Belege sind bewiesene Daten sie wurden überprüft und analysiert.	i	i	i	i
21	Belege sind interpretierte Daten	i	i	i	i
22	Daten =Informationen, Belege = interpretierte Daten	i	i	i	i
23	Nein, Beleg = bearbeitete Daten	i	i	i	i

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	1	0	4	0	4	1
2	2	0	0	0	4	1
3	3	0	1	3	4	0,5
4	4	0	0	0	4	1
5	5	0	0	0	4	1
6	6	0	4	0	4	1
7	7	0	3	1	4	0,5
8	8	0	0	1	3	0,5
9	9	0	0	4	4	1
10	10	0	0	4	4	1
11	11	0	0	4	4	1
12	12	0	0	4	4	1
13	13	0	4	0	4	1
14	14	0	4	0	4	1
15	15	0	4	0	4	1
16	16	0	4	0	4	1
17	17	0	4	0	4	1
18	18	0	0	4	4	1
19	19	0	0	4	4	1
20	20	0	0	4	4	1
21	21	0	0	4	4	1
22	22	0	0	4	4	1
23	23	0	0	4	4	1
Summe/Durchschnitt	0	32	29	31	92	0,934782609

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0	0
n	1,391304348	0,347826087
m	1,260889565	0,315217391
i	1,347826087	0,336956522
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler: 0,333894688

Fleiss Kappa 0,902072941

c					
Worauf kommt es bei der Analyse von Daten an?					
	Bewertung	Bewertung2	Bewertung 3	Bewertung 4	
1	Auf die richtige Vorgehensweise	m	n	m	m
2	Man muss genau sein und alles aufschreiben	i	i	m	i
3	Da spielt die Technologie eine große Rolle. Systeme kontrollieren, analysieren und bewachen Daten	m	m	m	m
4	Das alles genau gemacht wird	m	m	m	m
5	Das man sie genau analysiert	m	m	m	m
6	Auf die Überprüfung ihrer Richtigkeit	i	i	i	i
7	Auf die Vorgehensweise	m	m	u	m
8	Da Analysiert man die Informationen über das Versuchsverfahren und auch das Ergebnis. Man schaut ob das Ergebnis wirklich stimmt.	i	i	i	i
9	Beobachtungen was für ein Ergebnis auf Fakten basierend	i	i	i	i
10	Ob es Sinn macht, ob es irgendwelche Lücken enthält, ob man es wirklich kontrollieren kann.	i	i	i	i
11	Das man es richtig macht.	m	n	m	m
12	Auf ein richtiges Ergebnis zu kommen	n	n	n	n
13	Sie müssen nachvollziehbar sein.	i	i	i	i
14	Auf genaues, konzentriertes Arbeiten	m	n	m	m
15	Auf die richtige vorgangsweise	m	n	m	m
16	Genau Analysiert, kein Fehler passiert	m	m	m	m
17	Das man es sehr oft wiederholt	m	m	m	m
18	Das man es oft wiederholt	m	m	m	m
19	Genauigkeit bei den Aufzeichnungen! Also muss alles genau dokumentiert worden sein damit alles mit einbezogen werden kann	i	i	i	i
20	Auf Genauigkeit	m	m	m	m
21	Sie korrekte Analyse	m	m	m	m
22	Auf Genauigkeit	m	m	m	m
23					

Aussagen	u	n	m	i	Gesamt	pi
1	0	1	3	0	4	0,5
2	0	0	1	3	4	0,5
3	0	0	4	0	4	1
4	0	0	4	0	4	1
5	0	0	4	0	4	1
6	0	0	0	4	4	1
7	1	0	3	0	4	0,5
8	0	0	0	4	4	1
9	0	0	0	4	4	1
10	0	0	0	4	4	1
11	0	1	3	0	4	0,5
12	0	4	0	0	4	1
13	0	0	0	4	4	1
14	0	1	3	0	4	0,5
15	0	1	3	0	4	0,5
16	0	0	4	0	4	1
17	0	0	4	0	4	1
18	0	0	4	0	4	1
19	0	0	0	4	4	1
20	0	0	4	0	4	1
21	0	0	4	0	4	1
22	0	0	4	0	4	1
23						
Summe/Durchschnitt	1	8	52	27	88	0,863636364

Kategorie	erwartete Häufigkeit	erwartete Wahrscheinlichkeit
u	0,045454545	0,011363636
n	0,363636364	0,090909091
m	2,363636364	0,590909091
i	1,227272727	0,306818182
Gesamt	4	1

P Zufall, 2 Beurteiler 0,451704545

Fleiss Kappa 0,751295337

17 Stundentafeln

Unterstufe

Didaktische Struktur 1 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5	Begrüßung und Einleitung	Zuhören	Frontalunterricht	Kurze Erklärung zu Fragebogen Austeilen etc.
30	Vosi-Befragung	Fragebogen	Einzelarbeit	Schüler*innen füllen den Fragebogen aus
15	Absammeln, Gruppeneinteilung für die nächste Stunde	Zuhören, Gruppeneinteilung	Frontalunterricht	Die Gruppeneinteilung braucht oft Zeit, daher wird sie für das Projekt vorab festgelegt.

Didaktische Struktur 2 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Einführung – Schwermetalle in der Umwelt	PPP und Arbeitsblatt Austeilen Projektmappe	Frontalunterricht	Aufgrund der Befragungsergebnisse ist für den weiteren Projektverlauf ein theoretischer Input notwendig um eine Basis zu schaffen.

	Theoretischer Input. Was sind Schwermetalle? Vorkommen, Wirkung, Definitionen			
15	Bild einer Halde – Was fällt auf? Projektstart inklusive Hypothesenaufstellung.	PPP mit Haldenbild und Pflanzenverteilung Projektmappe	Plenum - Kleingruppendiskussion	Die Schüler*innen sollen anhand des gezeigten Bildes Hypothesen aufstellen, warum die Halde kaum bewachsen ist und welche Untersuchungen durchgeführt werden können. (Wir könnten den Boden untersuchen etc.). Diskussion in der Kleingruppe (10 Min) mit anschließender Plenumsdiskussion (5 Min)
5-10	Vorstellen der Projektmappe	Projektmappe	Frontalunterricht	Die Schüler*innen sollen die Projektmappe durchsehen. Wichtige Punkte und Hinweise werden besprochen
10 - 15	Besprechung nächste Einheit.	Projektmappe	Frontalunterricht	Der Ablauf der nächsten Einheit wird besprochen (Computerraum oder eigenen Notebooks etc.) Prinzip des Point and Click Adventures. Was ist ein Forschungsprojekt und was wird es beinhalten.

Didaktische Struktur 3 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5	Begrüßung, Technische Einführung	PC-Spiel	Frontalunterricht	Schüler*innen sollen das Spiel starten. Kurze Funktionskontrolle und Hinweis auf die Projektmappe
45	Durführung der Simulation.	PC-Spiel	Einzel und Gruppenarbeit	Die Schüler*innen haben innerhalb der Simulation die Möglichkeit eine Probennahme und Analysevorbereitungen virtuell zu erleben. Kleine Rätsel und Aufgaben sorgen für den nötigen Theoretischen Input für den weiteren Verlauf des Projektes. Die Lernenden sollen hierbei möglichst einzeln die Simulation durchspielen, dürfen sich aber in ihrer Forschergruppe beraten. Hinweis – In der Protokollmappe bis „Informationsblatt – Statistische Auswertung“

Didaktische Struktur 4 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5-10	Kurze Einführung in Excel zur Bearbeitung der Daten	PPP und Projektmappe	Frontalunterricht	Die Schüler*innen lernen Möglichkeiten der statistischen Auswertung in Excel kennen.
15-20	Auswertung der Daten und Übertragung in die Projektmappen	PC und Projektmappen	Kleingruppenarbeit	Die Schüler*innen können in Excel ihre Analyseergebnisse bearbeiten und sollen diese in ihre Projektmappen zur Ergebnissicherung übertragen. Sie können hier feststellen welche Art von Metallophyt ihre Pflanze ist. (Siehe Informationsblatt in der Projektmappe)
15-20	Bearbeitung der Literatur	Literatur und Lesehilfen	Einzel und Kleingruppenarbeit	Zunächst sollen die Schüler*innen die zur Verfügung gestellte Literatur in Einzelarbeit lesen. Hierzu werden gestufte Hilfen zur Verfügung gestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse in der Kleingruppe besprochen und in der Projektmappe vermerkt.

Didaktische Struktur 5 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Bearbeitung der Literatur	Literatur und Lesehilfen	Einzel und Kleingruppenarbeit	Zunächst sollen die Schüler*innen die zur Verfügung gestellte Literatur in Einzelarbeit lesen. Hierzu werden gestufte Hilfen zur Verfügung gestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse in der Kleingruppe besprochen und in der Projektmappe vermerkt.
10-15	Präsentationserstellung	Plakat, Schere, Buntpapier, Stifte	Kleingruppendiskussion	Die Schüler*innen erstellen ein Plakat zu Ihren Erkenntnissen
20	Präsentationen und Besprechung	-	Kurzpräsentation	Zur Präsentation der Ergebnisse wird die Methode „Museumsrundgang“ gewählt. Die Gruppenpräsentatoren stellen kurz ihr Plakat vor.

Didaktische Struktur 6 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Nachbesprechung	Tafel	Plenum	Unklare Punkte des Projektes werden besprochen und der Forschungsablauf noch einmal reflektiert.
30	Vosi-Befragung	Fragebogen	Einzelarbeit	Vosi- Abschlussbefragung
5	Puffer			

Oberstufe

Didaktische Struktur 1 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5	Begrüßung und Einleitung	Zuhören	Frontalunterricht	Kurze Erklärung zu Fragebogen Austeilen etc.
30	Vosi-Befragung	Fragebogen	Einzelarbeit	Schüler*innen füllen den Fragebogen aus
15	Absammeln, Gruppeneinteilung für die nächste Stunde	Zuhören, Gruppeneinteilung	Frontalunterricht	Die Gruppeneinteilung braucht oft Zeit, daher wird sie für das Projekt vorab festgelegt.

Didaktische Struktur 2 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Einführung – Schwermetalle in der Umwelt Theoretischer Input. Was sind Schwermetalle? Vorkommen, Wirkung, Definitionen	PPP und Arbeitsblatt Austeilen Projektmappe	Frontalunterricht	Aufgrund der Befragungsergebnisse ist für den weiteren Projektverlauf ein theoretischer Input notwendig, um eine Basis zu schaffen.
15	Bild einer Halde – Was fällt auf? Projektstart inklusive Hypothesenaufstellung.	PPP mit Haldenbild und Pflanzenverteilung Projektmappe	Plenum - Kleingruppendiskus sion	Die Schüler*innen sollen anhand des gezeigten Bildes Hypothesen aufstellen, warum die Halde kaum bewachsen ist und welche Untersuchungen durchgeführt werden können. (Wir könnten den Boden untersuchen etc.). Diskussion in der Kleingruppe (10 Min) mit anschließender Plenumsdiskussion (5 Min)
5-10	Vorstellen der Projektmappe	Projektmappe	Frontalunterricht	Die Schüler*innen sollen die Projektmappe durchsehen. Wichtige Punkte und Hinweise werden besprochen
10 - 15	Besprechung nächste Einheit.	Projektmappe	Frontalunterricht	Der Ablauf der nächsten Einheit wird besprochen (Computerraum oder eigenen Notebooks etc.) Prinzip des Point and Click Adventures. Was ist ein Forschungsprojekt und was wird es beinhalten.

Didaktische Struktur 3 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5	Begrüßung, Technische Einführung	PC-Spiel	Frontalunterricht	Schüler*innen sollen das Spiel starten. Kurze Funktionskontrolle und Hinweis auf die Projektmappe
45	Durführung der Simulation.	PC-Spiel	Einzel und Gruppenarbeit	Die Schüler*innen haben innerhalb der Simulation die Möglichkeit eine Probennahme und Analysevorbereitungen virtuell zu erleben. Kleine Rätsel und Aufgaben sorgen für den nötigen Theoretischen Input für den weiteren Verlauf des Projektes. Die Lernenden sollen hierbei möglichst einzeln die Simulation durchspielen, dürfen sich aber in ihrer Forschergruppe beraten. Hinweis – In der Protokollmappe bis „Informationsblatt – Statistische Auswertung“

Didaktische Struktur 4 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
5-10	Kurze Einführung in Excel zur Bearbeitung der Daten	PPP und Projektmappe	Frontalunterricht	Die Schüler*innen lernen Möglichkeiten der statistischen Auswertung in Excel kennen.
15-20	Auswertung der Daten und Übertragung in die Projektmappen	PC und Projektmappen	Kleingruppenarbeit	Die Schüler*innen können in Excel ihre Analyseergebnisse bearbeiten und sollen diese in ihre Projektmappen zur Ergebnissicherung übertragen. Sie können hier feststellen welche Art von Metallophyt ihre Pflanze ist. (Siehe Informationsblatt in der Projektmappe)
15-20	Bearbeitung der Literatur	Literatur und Lesehilfen	Einzel und Kleingruppenarbeit	Zunächst sollen die Schüler*innen die zur Verfügung gestellte Literatur in Einzelarbeit lesen. Hierzu werden gestufte Hilfen zur Verfügung gestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse in der Kleingruppe besprochen und in der Projektmappe vermerkt.

Didaktische Struktur 4 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Bearbeitung der Literatur	Literatur und Lesehilfen	Einzel und Kleingruppenarbei t	Zunächst sollen die Schüler*innen die zur Verfügung gestellte Literatur in Einzelarbeit lesen. Hierzu werden gestufte Hilfen zur Verfügung gestellt. Im Anschluss werden die Ergebnisse in der Kleingruppe besprochen und in der Projektmappe vermerkt.
10-15	Präsentationserstellung	PC und PowerPoint	Kleingruppendisku ssion	Die Schüler*innen erstellen eine Kurzpräsentation (ca. 3 Min) zu ihren Forschungsergebnissen und wählen einen Gruppensprecher (5er Gruppen)
20	Präsentationen und Besprechung	Beamer	Kurzpräsentation	Die jeweiligen Gruppensprecher präsentieren die Analyseergebnisse. Im Anschluss folgt eine kurze Plenumsdiskussion.

Didaktische Struktur 5 Einheit		Lernmaterialien (Aufgaben, Medien, Objekte, ...)	Setting (Sozialformen)	Warum? Begründung für die Wahl der jeweiligen didaktischen Struktur, der Lernmaterialien, des Settings, Basiskonzept
Zeit in Minuten	geplantes Geschehen im Unterricht			
15	Nachbesprechung	Tafel	Plenum	Unklare Punkte des Projektes werden besprochen und der Forschungsablauf noch einmal reflektiert.
30	Vosi-Befragung	Fragebogen	Einzelarbeit	Vosi- Abschlussbefragung
5	Puffer			

18 Schüler*innenaussagen zu Schwermetallen

Nr	Schüler*innenaussage	Nr	Schüler*innenaussage	Nr	Schüler*innenaussage
1	Metalle mit hoher Dichte	21	Metalle mit bestimmten Gewicht	41	Findet man bei Übergangsmetallen
2	Besonders wertvoll	22	Titan, Stahl	42	Natürlich vorkommende Elemente
3	Metalle mit verschiedenen gewichten	23	Metalle, deren Dichte oder Atomasse oder Ordnungszahl einen bestimmten Wert übersteigt	43	Man findet sie in der Erdkruste
4	Metalle mit hohen Druck	24	Metalle mit einer Dichte von $> 5g/cm^3$	44	Haben eine hohe Dichte
5	Seltene Metalle	25	Gesundheitsschädlich, weil giftig	45	Kuper, Blei, Chrom, Quecksilber
6	Dichte und Druck	26	In kleinen Mengen lebenswichtig für den Menschen	46	Gelangen über Luft, Wasser und Essen in menschlichen Körper
7	Metalle die dicht sind	27	Gold, Eisen	47	Können sich in Knochen, Leber, Gehirn, Nieren und Herz ansammeln
8	Metalle die viel wiegen oder schlecht sind	28	In der Technik → Legierungen	48	Quecksilber wird für Thermometer und Energiesparlampen verwednet
9	Gold Silber Platin Zink	29	Edelmetalle	49	Quecksilber kommt in der Umwelt → Pflanzen und Tieren vor
10	Metalle mit veriedenen Gewichten	30	Übelkeit, Erbrechen, Müdigkeit, Appetitlosigkeit, körperliche Schwäche	50	Quecksilber, Fisch → Schäden am Nervensystem
11	Ab einer hohen Dichte	31	Kupfer, Zink, Nickel, Chrome, Silber, Gold, Platin, Arsen, Quecksilber, Blei	51	Blei kommt in der Luft und Wasser vor
12	Gold Silber Platin	32	„schwer“	52	Blei baut sich auch in den Knochen von Tieren auf
13	Schwere Metalle	33	Schmuck	53	Giftig für Kinder und schwangere Frauen
14	Metalle mit hoher Dichte	34	Metall	54	Belastung mit Blei → irreversible Hirn- und Nierenschäden
15	Oder unzerstörbar	35	Wärmeleitend	55	Blei konkurriert mit Kalzium, Cadmium und Zink
16	Giftig, schwer, zu benutzen und zu verarbeiten	36	Legierung	56	Metalle mit hohen spezifischem Gewicht
17	Giftig, schwer zu entsorgen, schwer zu benutzen, schlecht für die Umwelt	37	Fest	57	Gold, Silber, Platin, Eisen, Kupfer, Blei
18	Eventuell Metall mit hoher Dichte,	38	Hohe Dichte/Atommasse	58	Gesteine und Erdkruste
19	Eisen ist z.B. ein Schwermetall	39	Schmelzbar	59	Sind im Körper auffindbar/ und werden unbedingt benötigt, um leben zu können (Eisen,...)
20	Ich weiß nicht, aber vllt. Metalle die besondere Eigenschaften haben. Ganz einfach würde ich sagen sie sind „schwer“	40	Gold, Silber, Eisen	60	Es gibt aber auch eine Schwermetallvergiftung

Nr	Schüler*innenaussage	Nr	Schüler*innenaussage
61	Potenziell giftige Schwermetalle wirken bereits in geringer Konzentration toxisch auf unseren Körper	76	Schwere Metalle, viel Masse
62	Werden oft für Legierungen benutzt		Schwermetalle sind Metalle die gesundheitschädlich sind und deshalb gesondert entsorgt werden müssen. Man darf diese z.B.: im Labor nicht in den Abfluss leeren
63	Durch die Industrialisierung ist die Konzentration der Schwermetalle in Pflanzen später dann Tieren stark gestiegen.	77	Schwer anzuschaffen
64	Bei Schwermetallen handelt es sich wahrscheinlich um Metalle. Mehr weiß ich leider nicht. Möglicherweise sind sie schwerer als andere Metalle, das ist aber nur eine Vermutung.		Sie sind schwer d.h. haben große Masse. Sie sind wärmebeständig. Deswegen könnte man sie in Industrie verwenden
65	Eisen	78	Eventuell Metalle mit bestimmter Dichte. Oder vielleicht welche, die „schwer“ abzubauen sind.
66	Metalle, die schwer sind.		Metalle mit größerer Masse haben. Schädliche Stoffe. Man darf im Labor die schwermetallhaltige Flüssigkeiten nicht in den Abfluss leeren
67	Leider ist alles was mir dabei in den Kopf kommt, dass es Metalle mit einer hohen Dichte sind.	79	Metalle mit großer Masse daher der Name. Problematisch so bald im Körper da nicht verstoffwechsebar. Lager sich in Organismus ein und hat toxische Wirkung.
68			Ich kenn eigentlich nur die Belastung durch die Schwermetalle im Körper. Zum Beispiel Blei in unserem Körper → Vergiftung. Wir hatten das damals im Bio-Unterricht im Gymnasium besprochen. Es kann auch zur Einnahme von Quecksilber über Nahrung komm.
69	Es handelt sich dabei wahrscheinlich um Metalle, mehr kann ich mir leider nicht darunter vorstellen. Ich schätze Mal es hängt nicht mit dem Gewicht zusammen, sonst wäre die Aufgabe zu einfach.	80	Metalle sind besonders schwer. Haben hohe Dichte
70	Metalle mit hoher Dichte, zum Beispiel Gold und Quecksilber		Unter Schwermetallen stelle ich mir Metalle vor, die nicht ohne weiteres zu verabreiten sind (also gefahren darstellen oder nicht möglich sind weiter zu verarbeiten), und auch Metalle die nur sehr kompliziert zu gewinnen sind
71	Metalle, die aufgrund ihrer Eigenschaft (Zusammensetzung, Dichte, Inhaltsstoff) für den Körper schädlich/giftig sind. Ein geringer, noch nicht schädlicher Anteil, ist in Allem enthalten, da sie aus dem Gestein in die Erde und ins Wasser und somit in die Pflanzen, die wir essen, gelangen.	86	Sind im Periodensystem (z.B. Eisen usw.) Elemente, Baustellen-Kran, mehr pro- und neutronen im Atomkern =schwerer
72	Metalle – Gold, Silber, Quecksilber, Kupfer		Hohe Dichte- sinkt im Wasser, Eisen, Stahl, Baumaterial, gräuliche Farbe, hoher Schmelzpunkt
	Giftig	87	Eisen, hohe Dichte
73	Menschlicher Körper		Ein schweres Metall
	Chemie	88	Schwere Metalle, Gold, Platin
74	Metall, das schwer ist		Gruppe von Elementen im Periodensystem, fest (20°C) Metall, Uran und Gold und noch mehr
	Metalle die schädlich für den Menschen sein können	89	Ag+ Pb2+, schwerlösliche Metalle, teure Entsorgung
75	Sind gesundheitsschädlich. Können Wasser verunreinigen und dadurch zu Umweltverschmutzung und Fischsterben führen. Meeresfische enthalten häufig Schwermetalle	90	Umeltschädlich, schwerer als andere, Metalle mit Niederschalg, unlöslich, Teure Entsorgung
75	Schwermetalle sind vielleicht Metalle, die man schwer weiter verarbeiten kann oder wo die Gewinnung nicht so leicht ist	90	Metalle die schwer sind Inlw/ Übergangsmetalle/ Sind nur in geringen Mengen vorhanden, Metalle mit hoher Dichte, Metalle die speizell entsorg werden müssen, wertvoll, schädlich für den Körper

Nr	Schüler*innenaussage	Nr	Schüler*innenaussage
81	Schwermetalle (zB Eisen) haben bestimmte Eigenschaften wie giftig oder radioaktiv. Sie reagieren nur mit bestimmten Elementen und in einer bestimmten form. Sie weichen von der Normaleigenschaft der anderen Metalle ab. zB schwerer	91	Stahl, Stoff, Eisen
	Metalle mit grosse dichte. Im Tabele stehen meisten unten. Kann selbst Toxisch sein (HG) oder nur in verbindung aber manche denen sind wichtig für lebewesen z.b. Eisen und Zink		Titan, Silber und Gold, Kupfer, Risen Fe, Blei
82	Metalle die Natur und Menschen oft schädigen. Nach der Beute bleibt der Sondermüll	92	Ag, Fe, an, Ti Pb Blei, In
	Bezeichene generell Metalle ab Blei. Sind äußerst schädlich für jegliche Lebewesen, da nicht so schnell aus Stoffkreislauf entfernbar Blei ist ein Nervengift		Schwer löslich
83	Im chemischen Hinblick weiß ich, dass Schwermetalle tatsächlich schwere Metalle sind. Ich habe schon des Öfteren von Schwermetallbelastung im Körper gehört, weiß aber nicht, ob das wirklich naturwissenschaftlich bewiesen ist.	93	Gold, Eisen, Platin, Stahl
	Schwermetalle sind Metalle mit hoher Masse und hoher Dichte und diese sind meistens giftig. Zum Beispiel Blei, Quecksilber		Elemente im Periodensystem, Metalle mit einer hohen Dichte oder molarer Masse, Silber, Gold
84	Und ich dachte Al Video war traurig zum anschau....Schwermetalle – sind überall um uns herum(im Bau meistens) Es ist traurig – Herstellung-gefährlich für menschliche Gesundheit/Natur (außer diesem Österreicher, er hat kein pb (Problem damit) (Anmerkung: Asbest und Aluminium Video	94	Wiegt viel, schwer löslich, Gold und Platin (Anmerkung: rest unleserlich)
85	Giftig, sollte nicht im Abwasser landen		Metalle mit besonder hoher Dichte- Eigenschaften- Metallmischungen(Stahl)/ Benuzung-Hausbau/von sehr lastfähigen Fahrzeugen/Bau von Labormaschinen/ resitzenzen – leitfhähig (Strom) extrem litatderant
	Chrom, Nickel, Kupfer, Blei, Zink, Gold, Silber, Uran, Zinn		