



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Hot Vents - Eine Lernumgebung zum
Forschenden Lernen im Schulalltag“

Verfasserin

Rosa-Maria Kastl-Killinger

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 445 456

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Lehramt, UF Biologie und Umweltkunde, UF Geographie und Wirtschaftskunde

Betreuerin / Betreuer:

Univ. Prof. Dr. Monika Bright

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1. Authentisches Forschendes Lernen	4
1.1. Scientific Literacy- Das Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts	4
1.2. Forschendes Lernen	8
2. Der Projektplan der Lernumgebung „Hot Vents“ und seine Ziele	14
2.1. Konstruktion einer authentischen Lernumgebung für Forschendes Lernen	15
2.2. Entwickeln authentischer Fragestellungen	15
2.3. Die Ziele der Lernumgebung „Hot Vents“	16
3. Fachinhalte und NOS- Inhalte in Bezug auf die Lernumgebung „Hot Vents“	18
3.1. Hydrothermale Quellen und ihre Fauna	18
3.1.1. Hydrothermale Quellen- Eine Einführung	18
3.1.2. <i>Riftia pachyptila</i> - Der Riesenröhrenwurm	28
3.1.3. <i>Bythograea thermydron</i> – Die Schlotkrabbe	32
3.2. Verhaltensbiologie in Bezug auf die Lernumgebung „Hot Vents“	34
4. Fragestellungen der vorliegenden Arbeit	36
5. Methodik der vorliegenden Arbeit	38
6. Ergebnisse	42
6.1. Projektbericht	42
6.2. Analyse der Forschungsaktivitäten der SchülerInnen in der Lernumgebung „Hot Vents“ und ihre Bedeutung für die Gestaltung der Lernumgebung	56
6.3. Analyse der Schülerrückmeldungen über das „Hot Vents“-Projekt und ihre Bedeutung für die Weiterentwicklung der Lernumgebung	68
7. Diskussion	75
7.1. „Hot Vents 2.0“ Die Weiterentwicklung der Lernumgebung basierend auf den Forschungsergebnissen der beiden Forschungsfragen	75
Literaturverzeichnis	77
Abbildungsverzeichnis	80
Zusammenfassung und Abstract	81
Danksagung	82
Curriculum Vitae	83

Einleitung

Man stelle sich vor, man würde mit einem U-Boot hunderte Kilometer tief in die Weiten des dunklen offenen Ozeans abtauchen. Die Scheinwerfer des Unterwasserboots würden lange Zeit nichts weiter als karge, unbewohnte Steinlandschaften wahrnehmen, doch plötzlich steigt Rauch auf. Schwarzer Rauch entweicht aus einem riesigen Schlot und bildet eine meterhohe dicke Rauchwolke. Das U-Boot folgt der Rauchfahne zu der säulenförmigen Struktur und entdeckt rundherum weite Felder von purpurot gefärbten riesigen Würmern, welche sich teppichartig rund um den rauchenden Schlot erstrecken. Inmitten dieser bunten Wiesen tummeln sich hunderte Krabben, welche auf den langgestreckten Röhren der Würmer umherklettern und ein Schauspiel der einzigartigen Natur darstellen.

Dieser Ort der hydrothermalen Quellen, welcher kilometertief in den Unterwassergebirgen unserer Ozeane versteckt ist, stellt einen der speziellsten Lebensräume unserer Biosphäre dar und birgt noch viele offene Fragen für MeeresbiologInnen auf der ganzen Welt. Welcher Lebensraum könnte besser geeignet sein, als den Forschertrieb in SchülerInnen zu wecken?

Als zentraler Forschungsschwerpunkt der zeitgenössischen Meeresbiologie kann der einzigartige Lebensraum der hydrothermalen Quellen der Tiefsee frischen Wind in den Biologieunterricht bringen. Durch die Zusammenarbeit von Universität und Schule können SchülerInnen einen Einblick über die aktuelle Arbeit von WissenschaftlerInnen bekommen. Durch Projekte, wie das in der vorliegenden Arbeit beschriebene „Hot Vents“, können SchülerInnen nicht nur Wissenschaft erleben, sondern tauchen selber in Forschungsarbeiten ein und gewinnen ihre eigenen Ergebnisse und Erkenntnisse. Mithilfe dieses authentischen Forschenden Lernens wird ein Weg geebnet, welcher das Unterrichtsziel naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung bei den zukünftigen BürgerInnen unserer Gesellschaft forciert.

Im ersten Kapitel dieser Arbeit soll der theoretische Hintergrund des Forschenden Lernens durch Merkmale und Ziele dargestellt werden. Anschließend daran wird dem Leser der grobe Projektplan des „Hot Vents“ vorgestellt. Danach gibt Kapitel 3 eine Einführung über den fachwissenschaftlichen Inhalt des Projekts. Danach werden Fragestellung und Methodik der vorliegenden Arbeit erläutert, bis schließlich in Kapitel 6 die Ergebnisse der Arbeit beschrieben werden. Abschließend wird in Kapitel 7, basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit, die Weiterentwicklung der Lernumgebung diskutiert.

1. Authentisches Forschendes Lernen

1.1. Scientific Literacy- Das Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Gründe/ Rechtfertigung für Scientific Literacy

Viele Bemühungen und Reformen, welche unser Bildungssystem betreffen, etwa die Entwicklung von Curricula, Bildungsstandards oder Kompetenzmodellen und weitere Visionen, haben alle ein gemeinsames Ziel, nämlich den SchülerInnen guten Unterricht zu bieten, welcher ihnen nachhaltiges Lernen ermöglicht. Was ist aber guter Unterricht? Diese Frage ist schwer zu beantworten, etwas leichter fällt es, das derzeitige Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu formulieren. In der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur herrscht Übereinstimmung, dass das derzeitige Unterrichtsziel das Erlangen der *Scientific Literacy* im Deutschen mit „naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung“ übersetzt, angestrebt wird [1].

TIMSS und PISA kommen zu dem Ergebnis, dass SchülerInnen heutzutage über immer weniger Fachwissen aus den Naturwissenschaften besitzen, ihr Interesse an den Naturwissenschaften prinzipiell am Sinken und ihre Einstellung den Naturwissenschaften grundsätzlich negativ ist [1]. Diese Zustände werden durch unbefriedigende Ergebnisse in Schulleistungsuntersuchungen wie TIMSS (Third International Mathematics and Science Study) und PISA (Programme for International Student Assessment) untermauert [1]. Der jetzige Naturwissenschaftsunterricht verwirklicht laut Fachleuten das Ziel der *Scientific Literacy* auf nicht akzeptablem Niveau, manche Kritiker sprechen auch von einer kompletten Verfehlung. Es bedarf an Reformen, um das ehrgeizige Ziel der naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung zu erreichen [2], [3].

Die Geburtsstunde der Naturwissenschaften im Schulsystem liegt ein Jahrhundert zurück. Anfang des 20. Jahrhunderts kam man zu dem Schluss, dass die damals genannte „naturwissenschaftliche Geisteshaltung“ das Erlernen des kritischen Denkens fördere. Die Art und Weise der Analysen, Fragestellungen und Prozesse sowie die speziellen Methoden der Naturwissenschaften sollten das logische Denken der Schülerinnen und Schüler begünstigen und auf andere Aktivitäten und Inhalte übertragbar sein. Der heutige Naturwissenschaftsunterricht, welcher durch das Erlernen von Inhalten und Ergebnissen geprägt ist, hat sich von seinen Gründungsgedanken schon weit entfernt [3]. Auch wenn sich FachwissenschaftlerInnen über die zunehmend wichtige Rolle der Naturwissenschaften im Klaren sind, formuliert Sjöberg folgende Anforderungen an den zukünftigen Naturwissenschaftsunterricht:

„Nur einfach mehr Naturwissenschaft ist kein Wert in sich selbst. Es bleibt die wichtige Diskussion zu führen, was für eine Art Naturwissenschaft für die Schüler

unserer künftigen Gesellschaft gut und wichtig ist und wie sie präsentiert werden muss, damit nachhaltiges Lernen stattfindet“ [4].

Scientific Literacy verlangt dem naturwissenschaftlichen Unterricht ab, sich von der Fokussierung auf Fachinhalte zu verabschieden und den Prozesscharakter der Naturwissenschaften sowie das „Warum“, welches hinter allen Ergebnissen, Theorien, Gesetzen und Prozessen steht, endlich in den Vordergrund zu rücken [3].

Das Ziel der naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung wird durch viele Argumente untermauert. So spricht der Physikdidaktiker Hans E. Fischer von der Notwendigkeit einer solchen für die Gesellschaft, welche nur durch naturwissenschaftlich und technologisch ausgebildete Arbeitskräfte in Zeiten der Globalisierung am Markt konkurrieren kann. Das Wissen rund um Naturwissenschaften lässt die BürgerInnen erst effektiv als Konsumenten handeln und Entscheidungen treffen; gesellschaftliche Problemstellungen können verstanden, diskutiert und bewertet werden. Neben diesen auch teilweise ökonomischen Argumenten hat *Scientific Literacy* auch Bedeutung in Hinblick darauf, dass die Naturwissenschaften Teil des kulturellen Fortschritts unserer Gesellschaft und Bestandteil einer aufgeklärten Gesellschaft sind [5]. Man kann also zusammenfassend sagen, dass naturwissenschaftliche Allgemeinbildung das Alltagsleben unserer SchülerInnen in vielerlei Hinsicht unterstützt und sie zur Teilnahme am öffentlichen Diskurs ermächtigt [6].

Definitionen von Scientific Literacy

Der schon eingangs erwähnte, zu deutsch übersetzte Terminus *Scientific Literacy* als naturwissenschaftliche Allgemeinbildung wurde in seiner Bedeutung erstmals 1847 in einem Vortrag von James Wilkinson „Naturwissenschaft für alle“ benutzt. Hundert Jahre später erscheint er dann wieder 1952 in einem von James B. Conant geschriebenen Vorwort des Buches „General Education in Science“. Im Jahre 1958 wird der Fachbegriff *Science Literacy* durch Paul De Hart in das Lexikon der Naturwissenschaftsdidaktik aufgenommen [2]. In den vergangenen Jahren folgten dann mannigfaltige Definitionen des Begriffs, eine sehr prägnante, sachliche Definition aus dem deutschen Sprachraum bietet das deutsche PISA Konsortium:

„Naturwissenschaftliche Grundbildung ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“[7].

Besonders wichtig für den fachdidaktischen Diskurs laut dem amerikanischen Bildungsexperten im Bereich der Naturwissenschaften Rodger Bybee (2002) sind die Beschreibungen der naturwissenschaftlichen Grundbildung in „Science for All Americans“ (1989) und den „National Science Education Standards“(1996) [2].

Letztere stellen Scientific Literacy als umfassende Klammer mehrerer naturwissenschaftlicher Bereiche dar.

Scientific Literacy-Bereiche der "National Science Education Standards" [2]:

- Inhalte aus Fächern wie Biologie, Chemie, Physik und Erdwissenschaften
- Wissenschaft als Forschung
- Naturwissenschaft und Technik
- Naturwissenschaft in persönlicher und gesellschaftlicher Perspektive
- Geschichte und Wesen der Naturwissenschaft
- Gemeinsame Konzepte und Prozesse

Diese Bereiche stellen laut Bybee: „...explizit ein allgemeines Erziehungsziel für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Schulen dar“ [2].

Das Erlangen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ist durch das breit gesteckte Feld ihrer Fähigkeiten und Kenntnisse dadurch gekennzeichnet, dass man nicht in allen Bereichen gleich große Wissensbestände besitzt, sondern manches besser kann und manches schlechter kennt. Bybee sieht im Erlangen der Scientific Literacy einen lebenslangen Prozess und distanziert sich hier ganz klar von der Meinung, dass das naturwissenschaftliche Wissen mit dem Schulabschluss quer durch die Gesellschaft rapide abnimmt [2], [3].

Die einzelnen Dimensionen der *Scientific Literacy*, welche im Folgenden nun kurz erläutert werden sollen, werden bei Bybee als ein hierarchisches Modell erfasst, welches einzelne Stufen als nominale, funktionale, konzeptionelle, prozedurale und multidimensionale naturwissenschaftliche Grundbildung beschreibt [2].

Die nominale *Scientific Literacy* als unterste Stufe des Modells beschreibt noch unvollständige Wissensspeicher, naive und fehlerhafte Vorstellungen und mangelndes Verständnis von Prozessen und Konzepten. Oftmals kommt es zu „Scheinverständnis und Scheinfähigkeiten“[2].

Die funktionale Dimension der *Scientific Literacy* legt ihren Schwerpunkt auf das Besitzen eines naturwissenschaftlichen Fachvokabulars, welches verstanden und angewandt wird und zum Verstehen der Literatur ermächtigt. In der Vergangenheit wurde dieser Dimension im Unterricht wohl am meisten Interesse geschenkt [2].

Im Rahmen der konzeptionellen *Scientific Literacy* sollen Querverbindungen geknüpft werden, um Inhalte und Fakten zueinander in Beziehung zu setzen in Bezug auf ein Gesamtkonzept. Auf einer höheren Ebene sollen die zentralen Paradigmen der Naturwissenschaften verstanden werden [2].

Der höhere Stellenwert der Fragestellung und Erklärung wissenschaftlicher Phänomene gegenüber nüchternen Ergebnissen als Prozesscharakter der Naturwissenschaften ist Schwerpunkt der prozeduralen *Scientific Literacy* [2].

Schlussendlich sollten SchülerInnen ein Metawissen über die Geschichte und das Wesen der Naturwissenschaften aufweisen wobei das Ziel darin besteht, die Naturwissenschaften mit ihrem persönlichen Leben und unserer Gesellschaft in Verbindung zu bringen. Diese multidimensionale Ebene der *Scientific Literacy* wurde in der Vergangenheit im Unterricht noch viel zu stiefmütterlich behandelt, es bedarf einer viel stärkeren Zuwendung an die Wesenszüge der Naturwissenschaften [2]. Was macht Naturwissenschaft? Wie und warum wird sie praktiziert? Wissen über einen bestimmten Fachbereich wird im internationalen Diskurs als *Nature of Science* betitelt und sollte endlich Einzug in das Klassenzimmer halten [3].

Standards für den Naturwissenschaftsunterricht

Standards, wie die National Science Education Standards, helfen, diese Dimensionen der *Scientific Literacy* in der Schule umzusetzen. Sie bilden Leitlinien und Hilfestellungen für Inhalte, welche SchülerInnen wissen, verstehen und beherrschen sollten und helfen LehrerInnen bei der Messung der SchülerInnenleistungen. Es geht bei diesen Reformansätzen darum, die Umsetzung dieser ehrgeizigen Ziele durch die LehrerInnen und in den Schulen weiterzuentwickeln. Deswegen umfassen die Standards auch Hilfestellungen für Unterrichtsbeurteilungen und die Entwicklung neuer Konzepte in der Lehrerinnenausbildung [2]. Nationale Standards als Leitlinien stellen allerdings nur einen Schritt im Prozess der Reformen dar und müssen an Schulen durch umfassende Programme zum Erreichen der *Scientific Literacy* operationalisiert werden sowie im übergeordneten Bereich auch wesentlicher Bestandteil des bildungspolitischen Diskurses sein [2].

Das Verbessern des naturwissenschaftlichen Unterrichts mittels der Outputorientierung der naturwissenschaftlichen Grundbildung geht Hand in Hand mit der Aufzählung einer Fülle von Kompetenzen, welche durch die *Scientific Literacy* erreicht werden. Gräber et al. sprechen bei *Scientific Literacy* von einer Schnittmenge an Kompetenzen, welche aus einer Wissensbasis, bestimmten Handlungsfähigkeiten und besonderen Bewertungsmöglichkeiten gebildet werden [8]. An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass auch im Falle des Kompetenzerwerbes die Sachkompetenz, also das Verfügen über Fachbegriffe, unbedingt durch die wissenschaftstheoretische Kompetenz, also das Wissen um das Wesen eines Faches, ergänzt werden muss [8].

Die Umsetzung des Zieles der naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung braucht also Reformen, welche auch wirklich im Klassenzimmer greifen und umsetzbar sind. Eine Methode um *Scientific Literacy* zu operationalisieren ist *Inquiry* oder

Forschendes Lernen. Auf welche Art und Weise beim Forschenden Lernen die Zielsetzungen der *Scientific Literacy* erreicht werden sollen, ist Thema des folgenden Kapitels.

1.2. Forschendes Lernen

Im Zuge der Reformpädagogik etablierte sich ab den 1980er Jahren auch im deutschen Sprachraum der Ansatz des „Inquiry Learnings“, welcher als „Forschendes Lernen“ oder auch „Entdeckendes Lernen“ übersetzt wird, wobei Definitionen und Vorstellungen vielfältig ausfallen. Die Kernidee ist nicht eine neue Methode oder ein neues Rezept für guten Unterricht, sondern Forschendes Lernen versteht sich als ein Lernverständnis, welches sich kontinuierlich weiterentwickelt [9].

„One way of becoming scientifically literate is to learn science through inquiry“ [10].

Wie dieses Zitat der National Science Education Standards ausdrückt, wird Forschendes Lernen auch bei vielen anderen FachdidaktikerInnen als Lernen ähnlich der naturwissenschaftlichen Forschung verstanden, als Prozess des eigenständigen Herausfindens von persönlichen Fragen, Lösungswegen und Antworten [11].

Laut *Bell* ist es, obgleich man heute übereinstimmt, dass es nicht *die eine* wissenschaftliche Methode gibt, trotzdem zielführend, Schüleraktivitäten an die Herangehensweise von WissenschaftlerInnen anzupassen und Forschungsabläufe zu simulieren [12]. Diese klassischen Elemente eines solchen Forschungsmodells, wie sie in Abb.1 dargestellt sind, umfassen gleichzeitig einige wichtige Handlungskompetenzen, welche als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts definiert sind.

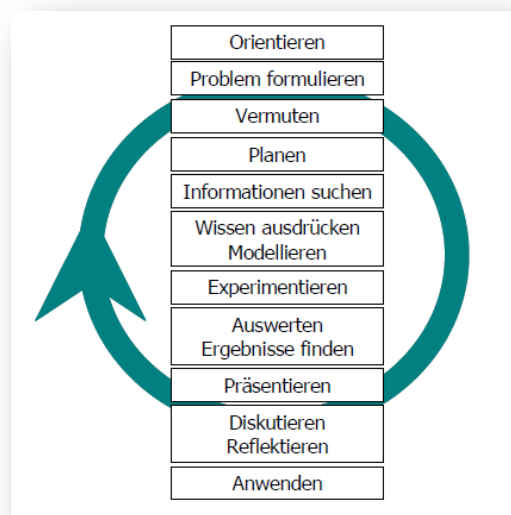


Abb. 1: Mögliche Schüleraktivitäten beim forschenden Lernen

Ziele des Forschenden Lernens

Ziel des Forschenden Lernens in naturwissenschaftlichem Unterricht ist das Fördern des authentischen wissenschaftlichen Arbeitens und Denkens. Leider sind SchülerInnen oftmals zu vereinfachten Modellen und Vorstellungen, wie Wissenschaft betrieben wird ausgesetzt und entwickeln dann ein falsches Bild davon, wie WissenschaftlerInnen forschen. Hinzu kommt noch, dass Kompetenzen, welche im naturwissenschaftlichen Unterricht auf diese Weise erworben werden, für Problemstellungen des täglichen Lebens nicht komplex genug sind [13].

Mehrere Untersuchungen wie etwa bei Chinn& Malhotra zeigen, dass die derzeitigen Schüleraufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht der Art und Weise der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nicht gerecht werden. Besonders die in den von vielen LehrerInnen geliebten Schulbüchern enthaltenen Forschungsaufträge wie Experimente oder Beobachtungen sind für die naturwissenschaftliche Epistemologie ungenügend und bewegen sich meistens nur an der Oberfläche einer Problemstellung [13]. Daraus formulieren Chinn& Malhotra folgende Notwendigkeit:

„The result of this analysis demonstrate a need to design improved inquiry tasks that incorporate more of the features of authentic science“ [13].

Der Fokus wird beim Forschenden Lernen auf die Fragen der Schülerinnen und Schüler gelegt und es wird versucht den Lernenden so viele Freiheiten wie möglich einzuräumen. Keine Rezepte und Anleitungen, sondern selbständiges Planen und Denken ist gefragt, wobei dies anfangs bei vielen SchülerInnen ein Gefühl von Unsicherheit auslöst [9]. Sie sind es nicht mehr gewohnt, sich ihre eigenen Gedanken zu einer Problemstellung zu machen, und so kann Forschendes Lernen für manche eine Form der Selbstverwirklichung sein, für andere aber eine nicht bewältigbare Aufgabe [12]. Die Rolle der LehrerInnen ist beim Forschenden Lernen als die einer/s Lernbegleiterin/s anzusehen, welche keine fixen Antworten parat hat, sondern die SchülerInnen bei ihrem Forschungsweg begleitet und sie das eine oder andere Mal unterstützend in eine Richtung lenkt [11].

Im Grunde genommen müssen sich die LehrerInnen auf Forschendes Lernen so einlassen, dass sie es wirklich als Chance sehen, sich aus dem gewohnten Terrain der Wissensübermittlung herauszubeben und zu versuchen, wie Karin Ernst es beschreibt, nicht viel Wissen abzudecken sondern Zusammenhänge aufzuzeigen [11]. Dies erfordert neben dem hohen Aufwand auch viel Zeit und kann nicht innerhalb einer 50minütigen Unterrichtsstunde erreicht werden. Es muss also bewusst auf andere Inhalte des Unterrichts verzichtet werden, um dem Forschenden Lernen genügend Zeit einzuräumen.

Die Rahmenbedingungen der Schule schränken natürlich die Authentizität des wissenschaftlichen Arbeitens ein, da es hier an speziellen Technischen Geräten,

Laboreinrichtungen und ExpertInnen mangelt. Trotzdem ist das Ziel, vereinfachte Forschungsaktivitäten hervorzubringen, welche trotzdem so viele Kerneigenschaften des naturwissenschaftlichen Arbeitens/ Denkens beinhalten wie möglich [13].

Charakteristika und Formen des Forschenden Lernens

Um SchülerInnen mit dem Forschenden Lernen vertraut zu machen, kann man anfangs mit Formen dieses Lernansatzes arbeiten, welche noch mehrheitliche Vorgaben der/ des Lehrerin/s enthalten. Sobald die SchülerInnen schon Erfahrungen mit dieser Lernform gesammelt haben und sich eine gewisse Vertrautheit einstellt, können die Aufgabenstellungen und Aktivitäten durch die Lernenden selbst entwickelt werden. Bonnstetter und Abrams teilen die Freiheitsgrade des Forschenden Lernens in vier Levels ein (Abb. 2), wobei sie unterscheiden ob die von ihnen gewählten Elemente wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung Thema, Forschungsfrage, Material, Forschungsdesign, Ergebnisse und Interpretation von der/dem LehrerIn vorgegeben sind oder von den SchülerInnen selber entwickelt werden. Sie unterscheiden folgende Formen des Forschenden Lernens [14], [15]:

Level 0 des Forschens, auch „Verification“ (Überprüfung,) stellt den traditionellen „Hands-on Ansatz“ des handlungsorientierten Unterrichts dar. SchülerInnen bekommen von der Lehrperson quasi ein „Rezept“, wie sie schrittweise bestimmte Inhalte überprüfen.

Levels of Inquiry according to Bonnstetter (1998)	Traditional Hands-on	Structured	Guided	Student Directed	Student Research
Topic	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/Student
Question	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/Student	Student
Materials	Teacher	Teacher	Teacher	Student	Student
Procedures/Design	Teacher	Teacher	Teacher/Student	Student	Student
Results/Analysis	Teacher	Teacher/Student	Student	Student	Student
Conclusion	Teacher	Student	Student	Student	Student
Level of Inquiry according to Abrams (2007)	0 Verification	1 Structured	2 Guided	3 Open	

Abb. 2: Levels des Forschenden Lernens nach Abrams und Bonnstetter

Level 1 oder auch „strukturiertes Inquiry Learning“ (Forschendes Lernen) lässt den SchülerInnen Raum, um die Lösung von neuen Problemstellungen selbstständig zu erarbeiten.

Level 2 stellt „guided inquiry“ dar und fordert die SchülerInnen auf, eigene Methoden, Daten und Ergebnisse zu einer von der/dem LehrerIn vorgegebenen Forschungsfrage zu erarbeiten.

Level 3 kann als offene und freieste Form des Forschenden Lernens verstanden werden. In diesen Modellen werden von den LehrerInnen maximal die Forschungsfrage und Thema („Student directed“), oder nur das Thema oder gar nichts vorgegeben („Student research“).

Wurden soeben die einzelnen Formen des Forschenden Lernens vorgestellt, so sollen jetzt die grundsätzlichen Kriterien der Elemente des authentischen naturwissenschaftlichen Arbeiten und Denkens charakterisiert werden. Chinn und Malhotra liefern dazu eine ausführliche Auflistung bedeutender geistiger Anforderungen und naturwissenschaftlicher Denkprozesse, um authentisches Inquiry Learning von derzeit praktizierten naturwissenschaftlichen Schüleraktivitäten abzugrenzen [13].

Kriterien für authentisches Forschendes Lernen nach Chinn & Malhotra [13]:

• Forschungsfragen entwickeln
• Entwurf einer Studie:
• Auswählen von Variablen
• Planen der Vorgangsweise /Methode
• Kontrolle der Variablen
• Planung der Messungen
• Beobachtungen
• Erklären der Resultate:
• Umwandeln der Beobachtungen
• Fehleridentifizierung
• Indirekte Begründungen und Wirkungszusammenhänge
• Generalisierungen
• Typ der Argumentation
• Entwickeln von Theorien:
• Niveau der Theorie
• Verbinden von Ergebnissen mehrerer Studien
• Hinzuziehen von anderen Forschungsarbeiten

Aus einem Pool an Arbeitsschritten und Methoden wie WissenschaftlerInnen forschen, stellen das Entwickeln von Forschungsfragen, das Entwerfen einer Studie,

das Arbeiten mit den Resultaten, das Entwickeln von Theorien und das Hinzuziehen von anderen Forschungsarbeiten die wichtigsten Hauptkriterien eines Forschungszyklus dar [13].

Forschungsfragen zu entwickeln ist eines der wichtigsten Merkmale wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und muss viel stärker in der Praxis der Schule verankert werden. Beim Entwerfen einer Studie muss besonders darauf geachtet werden, dass mehrere Variablen frei gewählt und im Laufe der Studie auch stets kontrolliert werden. Komplexe Methoden und Modelle sollen angewandt werden, oftmals sind in der Schule nur schematische und zu stark vereinfachte Modelle präsent. Die Messungen müssen für alle Variablen und Kontrollen mehrmals durchgeführt werden und sollen durch entsprechende Verfahren von der Wahrnehmungsverzerrung der/des ForscherIn geschützt werden.

Der Umgang mit den gewonnenen Ergebnissen umfasst das Umwandeln von Rohdaten in andere, beispielsweise numerische Datenformate. Von großer Bedeutung ist die Fehleridentifizierung, denn hier stellt sich die Frage, ob die gewonnen Daten korrekt sind oder Ableger von Fehlern, welche bei der Datenaufnahme passiert sind. SchülerInnen erwarten sich ein richtiges Ergebnis, ansonsten schließen sie daraus, dass sie das Experiment falsch ausgeführt haben. Sie stellen die jeweils vorhandene Hypothese grundsätzlich nicht in Frage und wenn die erwarteten Ergebnisse erscheinen, sehen sie diese, die Hypothese und die Methode als bestätigt an [13].

Weitere Elemente der Ergebnissicherung sind die Rückführung der Endergebnisse auf die Forschungsfrage und deren indirekter Zusammenhang sowie das Sammeln von Gründen und Erklärungen für die gewonnen Daten.

Das Entwickeln von Theorien fordert nach Chinn& Malhotra von den SchülerInnen ein Niveau, welches auch Hypothesen verlangt, welche nicht direkt sichtbar sind. Ein solcher Prozess muss unter der Bedingung ablaufen, dass Ergebnisse widersprüchlicher Studien durch Problemlösungsverfahren zu einer schlüssigen Hauptaussage führen [13].

Nicht zuletzt betonen die Didaktiker, dass besonders die Bedeutung der Auseinandersetzung mit Fachliteratur im Forschenden Lernen eine zentrale Rolle spielt. ForscherInnen begründen ihre Fragen und Studien mithilfe der Arbeiten anderer Kollegen, sie zweifeln diese an oder bestätigen sie. Nur durch die Diskussion und Kommunikation innerhalb der „scientific community“ kann neues Wissen temporär beglaubigt werden [13].

Die Anforderungen an authentisches Forschendes Lernen sind sicherlich hoch, jedoch führen sie zum Erlangen der im vorigen Kapitel erwünschten Kompetenzen. Die angeführten Elemente der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung sind jedes für sich von großer Bedeutung, jedoch bestätigen auch Chinn& Malhotra, dass

nicht immer alle einzelnen Kriterien für authentisches Forschen erfüllt werden können und müssen.

„Of course, there is no need for every inquiry task to incorporate every feature of authentic science“[13].

2. Der Projektplan der Lernumgebung „Hot Vents“ und seine Ziele

Die vorliegende Forschungsarbeit basiert auf der Durchführung eines Projekts, welches mittels des fachdidaktischen Ansatzes des authentischen Forschenden Lernens versuchte, authentisches wissenschaftliches Arbeiten als Bildungsziel des Biologie- und Umweltkundeunterrichts zu erreichen. Das durchgeführte Projekt wird mit der fachdidaktischen Bezeichnung „Lernumgebung“ benannt und trägt den Namen „Hot Vents“.

Es soll nun versucht werden, die Charakteristika und Hauptaktivitäten der Lernumgebung „Hot Vents“ in Beziehung zur fachdidaktischen Literatur des Forschenden Lernens zu setzen. Der grobe Plan des für die Schule entworfenen Projekts „Hot Vents“ soll anhand der Literatur des Forschenden Lernens begründet werden.

Wie im Projektbericht im Detail nachgelesen werden kann (Kapitel 6.1.), war die Aufgabenstellung des Forschenden Lernens für die SchülerInnen, mittels von der Universität Wien zur Verfügung gestellter Videos eigene Forschungsfragen über die in den Videos vorkommenden Organismen *Riftia pachyptila* und *Bythograea thermydron* zu generieren, dazu Daten zu sammeln und die Ergebnisse am Ende zu präsentieren. Diese Hauptelemente des Forschenden Lernens wurden durch weitere kleinere Aufgabenstellungen wie das Sezieren von Objekten im Hinblick auf die Herstellung von Proben für das Begutachten im Rasterelektronenmikroskop ergänzt. Folgende Eigenschaften und Hauptelemente charakterisierten das Projekt „Hot Vents“:

Konstruktion einer authentischen Lernumgebung „Hot Vents“ durch:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Forschendes Lernen in der Schule in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meeresbiologie und Prof. Monika Bright, Meeresbiologin der Universität Wien |
| <ul style="list-style-type: none">• Authentische Daten/ Materialien in Form von Videoaufnahmen, welche durch die Zusammenarbeit mit Prof. Bright (Institut f. Meeresbiologie) zur Verfügung gestellt wurden |

Authentische Aufgabenstellungen der Lernumgebung „Hot Vents“:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Einführung in das Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna |
| <ul style="list-style-type: none">• Entwickeln von Forschungsfragen |
| <ul style="list-style-type: none">• Entwickeln von Studiendesign und Methodik |
| <ul style="list-style-type: none">• Präsentation und Diskussion der Ergebnisse |
| <ul style="list-style-type: none">• Erlernen einer wissenschaftlichen Arbeitstechnik an der Universität Wien: Rasterelektronenmikroskopie |

2.1. Konstruktion einer authentischen Lernumgebung für Forschendes Lernen

Das vorliegende Design der Lernumgebung „Hot Vents“ war wie ähnliche größere Vorzeigeprojekte (Bsp.: Kids Participation in Research-Projekte des AECC der Universität Wien [19]) eine Zusammenarbeit zwischen Schule und Universität. Dieses Projekt sollte den SchülerInnen eine Chance geben, Einblick in das Forschungsfeld echter WissenschaftlerInnen zu geben. In diesem Sinne wird hier der Begriff „authentisch“ wie bei Roth et al [16], als das interpretiert was Leute außerhalb der Schule in ihren täglichen Aufgaben und Tätigkeiten leisten. Die Aufgabenstellungen orientieren sich an der Forschungsarbeit der WissenschaftlerInnen und sind keine für die Schule künstlich geschaffenen Problemstellungen. Die Anwesenheit von ExpertInnen und WissenschaftlerInnen neben der Gruppe der SchülerInnen und LehrerInnen ist ein Charakteristikum authentischer Lernumgebungen, welche ermöglichen, dass der Austausch von Wissen nicht in eine Richtung, sondern zwischen den einzelnen Gruppen von AkteurInnen verläuft [16]. Besonders LehrerInnen schlüpfen hierbei aus ihrer alltäglichen Rolles des „Wissensvermittlers“ und werden auch zu Lernenden, welche so mehr über die aktuellen Vorgänge in der scientific community erfahren [17].

Die Unterstützung seitens der WissenschaftlerInnen der Universität wurde noch durch das Bereitstellen von echten Datenmaterialien an die SchülerInnen betont. Die ausgegebenen Daten, in diesem Fall Videos, welche in der Tiefsee in rund 3000m Tiefe entstanden sind, wurden als Rohdaten für das Generieren von Forschungsfragen an die SchülerInnen weitergegeben. Auch dies stellt einen zentralen Punkt für *Authentic Inquiry Learning* dar, wie es auch R. D. Pea formuliert:

- „... authenticity is obtained by linking students and scientists through data sharing, critiquing and direct communication“ [18].

2.2. Entwickeln authentischer Aufgabenstellungen

Die SchülerInnen wurden durch lehrerzentrierten Unterricht in das Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna eingeführt. Hierbei handelt es sich noch um keine Phase des Forschenden Lernens welche das Handeln der SchülerInnen den Mittelpunkt stellt, jedoch wurde davon ausgegangen, dass es den Studierenden im weiteren Verlauf des Projektes leichter fallen würde, Forschungsfragen zu generieren, wenn sie mit der Materie schon ein wenig vertraut sind. Diese Sichtweise findet sich auch bei der Fachdidaktikerin Karin Ernst, welche sagt: „Eine gewisse Vertrautheit mit dem Gegenstand muss entstehen, damit sich Fragestellungen entwickeln können, die es ermöglichen etwas selbst herauszufinden“ [11]. Auch bei den meisten der großen Kids Participation in Research- Projekte des AECC Wien wurde anfangs ein Vortrag über das Forschungsfeld des/der mitwirkenden WissenschaftlerIn gehalten, um beispielsweise die Handlungen und Vorgehensweisen der ForscherInnen besser zu verstehen [19].

Die Hauptaufgaben des Forschenden Lernens, welche an die SchülerInnen herangetragen wurden, waren das Entwickeln von Forschungsfragen aus authentischem Videomaterial, darauf folgend das Entwickeln eines passenden Forschungsdesigns sowie am Ende des Forschungszyklus die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse. Diese Aufgaben sind, wie im vorigen Kapitel schon versucht wurde darzustellen, nach Chinn und Malholtra grundlegende Elemente des forschenden Lernens und werden in Kapitel 6 noch im Detail besprochen.

Neben den Hauptaufgaben des Projekts, hatten die SchülerInnen während ihrer eigenen Untersuchungen auch die Möglichkeit, an der Universität Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von ihren Forschungsobjekten *Riftia pachyptila* und *Bythograea thermydron* zu machen. Auch wenn diese Aktivität nicht mit dem im Vordergrund stehenden Forschungszyklus der SchülerInnen Verbindung stand, so bot es den Jugendlichen doch die Chance, eine naturwissenschaftliche Arbeitsmethode an einem authentischen Arbeitsplatz der Forschung mithilfe der Anweisung von WissenschaftlerInnen zu erlernen [17].

2.3. Die Ziele der Lernumgebung „Hot Vents“

Die vorgestellten Elemente der Lernumgebung „Hot Vents“ sollen bestimmte Ziele erfüllen, welche auch im Lehrplan des BMUKK für das Unterrichtsfach „Biologie und Umweltkunde“ der Allgemeinbildenden höheren Schulen verankert sind.

Das Hauptziel der Lernumgebung „Hot Vents“ ist es, im Rahmen des Forschenden Lernens wissenschaftliche Arbeitsweisen der aktuellen Forschung in den Naturwissenschaften den SchülerInnen näherzubringen. Vorgehens- und Denkweisen, Arbeitstechniken und Forschungszyklen von NaturwissenschaftlerInnen sollen von den SchülerInnen erlebt, erlernt und verwendet werden. Dieses Ziel wird im Lehrplan der AHS- Oberstufe folgendermaßen formuliert:

„Die Schülerinnen und Schüler sollen Einblicke in ausgewählte Forschungsschwerpunkte der modernen Biowissenschaften erhalten und damit auch Verständnis für biologische bzw. naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen erwerben. Sie sollen – auch im Sinne einer Studienvorbereitung für naturwissenschaftliche Fachrichtungen – verstehen, welche Aussagekraft biologische bzw. naturwissenschaftliche Experimente besitzen und wo deren Grenzen liegen“ [20].

An dieser Stelle des Biologie- und Umweltkundelehrplans wird auch ein weiteres Ziel des „Hot Vents“- Projekts angesprochen, nämlich der Fokus des „authentischen“ Forschens im Projekt. Im Zuge von „Hot Vents“ arbeiten die SchülerInnen mit WissenschaftlerInnen der Meeresbiologie der Universität Wien zusammen und bekommen einen Einblick über die aktuellen Forschungsschwerpunkte der

Biowissenschaften, nicht zuletzt auch durch die Bereitstellung authentischer Daten der ForscherInnen für die Lernumgebung „Hot Vents“.

Der inhaltliche Rahmen von „Hot Vents“ ist, wie eben erwähnt, einerseits ein aktueller Forschungsort der Meeresbiologie, andererseits verfolgte er weiters auch das übergeordnete Ziel, über den Lebensraum Meer im Biologie- und Umweltkundeunterricht zu arbeiten. Dieses Ziel von „Hot Vents“ soll dazu dienen, den Stellenwert der Meeresbiologie im Biologieunterricht zu heben und zeigen, dass diese sich wunderbar dafür eignet, Ökosysteme und biologische Kreisläufe beispielhaft zu erarbeiten. Hierzu findet sich im Lehrplan folgender Text:

- *„4.Klasse Ökologie und Umwelt Anhand von Stadtökologie und einem Ökosystem einer anderen Region (zB Meer, Regenwald) sind ökologische Grundbegriffe (biologisches Gleichgewicht, Nahrungsbeziehungen, ökologische Nische, Produzent - Konsument - Destruent, Stoffkreisläufe) zu vertiefen“[21].*

Neben diesen Hauptzielen verfolgt die Lernumgebung „Hot Vents“ natürlich auch viele weitere Ziele wie das Erreichen von sozialen Kompetenzen, wie Kommunikationsfähigkeit, Koordinations- und Teamfähigkeit, Methodenkompetenz, Problemlösungskompetenz und viele mehr.

3. Fachinhalte und NOS- Inhalte in Bezug auf die Lernumgebung „Hot Vents“

Dieses Kapitel dient der Beschreibung der Lernumgebung einerseits durch die Einführung in die Fachinhalte und andererseits durch die Charakterisierung der Verhaltensbiologie als Natur of Science- Inhalt des „Hot Vents“- Projekts.

3.1. Hydrothermale Quellen und ihre Fauna

3.1.1. Hydrothermale Quellen – Eine Einführung

Hydrothermale Quellen stellen einen besonderen marinen Lebensraum an den Mittelozeanischen Rücken in der Tiefsee dar, welcher an den submarinen Vulkanismus und die auseinanderdriftenden ozeanischen Lithosphärenplatten der Erde gekoppelt ist. Hydrothermalismus beruht auf dem Eindringen kalten Meerwassers in die Spalten der noch jungen ozeanischen Kruste, wo es durch eine unterhalb gelegene Magmakammer in seiner chemischen Zusammensetzung verändert wird und je nach Temperatur als heiße oder warme Quellen wieder entlassen wird [22].

Hydrothermale Quellen und die zugrunde liegenden geologischen Voraussetzungen

Die gewaltigen Oberflächenstrukturen der Ozeanböden wie die mittelozeanischen Rücken (aber auch die Inselbögen und die Tiefseeberge) entstehen durch geologische Prozesse, welche in der Plattentektonik begründet sind. Die Erde besteht aus mehreren kontinentalen und ozeanischen Lithosphärenplatten, welche sich durch Antriebskräfte im Erdmantel relativ zueinander bewegen. Platten steuern aufeinander zu (Konvergenz), bewegen sich auseinander (Divergenz) oder werden seitlich gegeneinander verschoben (Transformation). Im Bereich divergierender ozeanischer Platten dringt neues Material aus der Tiefe nach oben und bildet aus basaltischen Laven neue ozeanische Kruste [23].

An diesen Plattengrenzen entstehen kilometertiefe Unterwassergebirgszüge, sogenannte Mittelozeanische Rücken, welche weltweit über 75 000 km ausmachen [24]. Diese Driftsysteme bringen immer neue Ozeankruste aus der Tiefe an die Erdoberfläche und so breitet sich der Ozeanboden von einer zentralen Spalte in zwei Richtungen aus, wobei nach außen hin das Alter der ozeanischen Kruste steigt, bis sie an einer Konvergenzzone wieder in die Tiefe abtaucht [23]. An schnellen Spreizungszonen (sea floor spreading) divergieren die Platten mit über 90mm pro Jahr wie etwa der Ostpazifische Rücken (East Pacific Rise). An langsameren Spreizungszonen, etwa dem Mittelatlantischen Rücken, finden sich Ausbreitungsgeschwindigkeiten zwischen 10 und 50mm pro Jahr. Das Vorkommen sowie die Intensität und Lebensdauer von Hydrothermalquellen sind direkt an die

darunter liegende Magmakammer gekoppelt. Je nach Größe kann eine einzige Magmakammer, ganze Felder von Hydrothermalen Quellen nähren [24].

Die Mittelozeanischen Rücken ziehen sich durch ihre Segmentierung und Brüche wie „Narben“ durch alle Ozeanbecken der Erde, wie es in Abbildung 3 gut ersichtlich ist. Die größten Schauplätze hydrothermaler Quellen sind an diese Tiefseegebirge gekoppelt. Die Erforschung des Hydrothermalismus begann in den 1980er Jahren des vorigen Jahrhunderts am Galapagos-Rücken [24], eine Ost-West Spreizungszone etwas nördlich der bekannten Galapagos-Inseln, welche Ecuador vorgelagert sind [25]. Des Weiteren befinden sich mehrere, gut beforschte Hydrothermalfelder am Ostpazifischen Rücken (East Pacific Rise) und am Mittelatlantischen Rücken. Einige bekannte Hydrothermalquellregionen befinden sich auch an Inselbögen (Back-Arc-Spreading Center) im westlichen Pazifik, da hier durch das Abtauchen der ozeanischen unter die kontinentale Kruste in Dehnungszonen Magma herausdringt und diese vulkanische Aktivität auch hydrothermale Quellen mit sich bringt [24].

Das Forschen an Hydrothermalquellen ist zeit- und kostenintensiv, da sich die Schauplätze in 2-3km Meerestiefe, also in der Tiefsee, befinden und nur durch bemannte oder computergesteuerte U-Boote zugänglich sind.

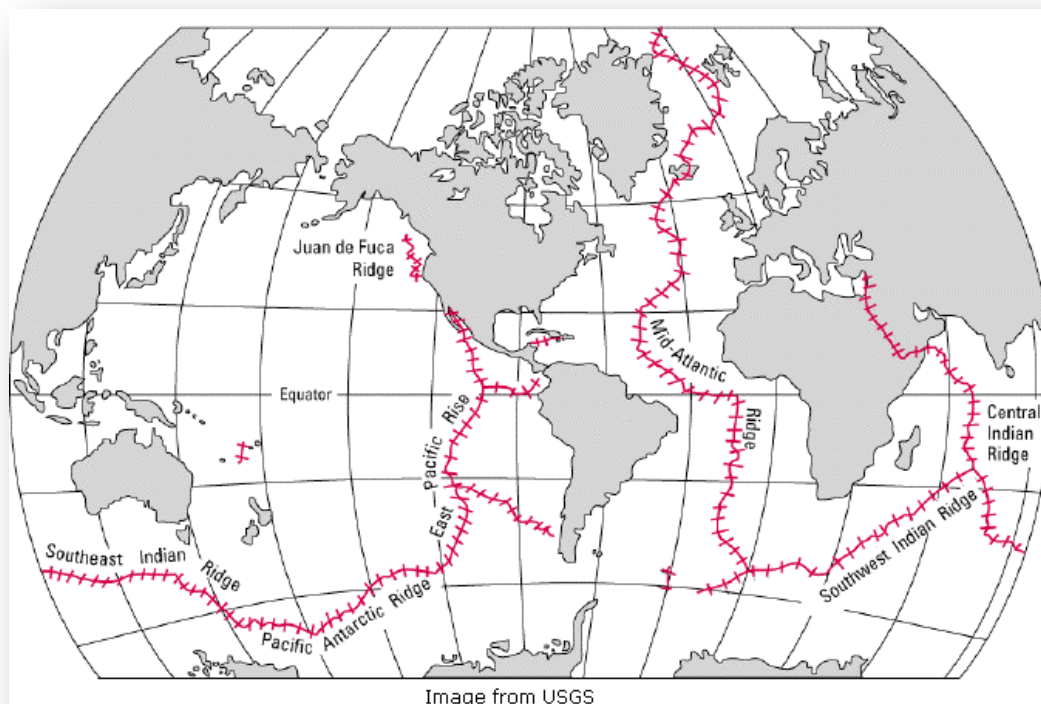


Abb. 3: Mittelozeanische Rücken der Erde

Die hydrothermale Flüssigkeit

An hydrothermalen Quellen dringt kaltes (ca. 2, 5°C) Meerwasser [26] in die noch mit Spalten und Rissen junge ozeanische Kruste nahe der Spreizungsachse der Divergenzzone. Durch Spalten und Ritzen dringt Meerwasser durch Basaltlava und Dykes kilometertief in die Erdkruste, bis es sich nahe an der darunterliegenden Magmakammer befindet. In diesem Bereich, welcher als Reaktionszone bezeichnet wird, kommt es bei Temperaturen von über 350°C zu Reaktionen zwischen dem Meerwasser und dem umliegenden Gestein, welche der später wieder aus dem Untergrund austretenden Hydrothermalflüssigkeit ihre Eigenschaften verleihen [24].

Zuerst fallen Anhydrit, Magnesium und andere Stoffe aus dem Meerwasser aus, jedoch reichert es sich dafür mit chemischen Elementen wie Eisen, Mangan, Kupfer, Zink, Blei und anderen Metallen aus dem angrenzenden Gestein an. Am tiefsten Punkt der Zirkulationszelle kann es außerdem ab einem kritischen Punkt von 407°C und 298bar zur Phasentrennung des Meerwassers kommen, welches sich dann im flüssigen, hochsalinen und gasförmigen Zustand befindet. Hierbei reichert sich der Dampf mit Gasen und Verbindungen, hauptsächlich Sulfid aus der unterhalb liegenden Magmakammer, an. Die verbleibende flüssige Salzlösung ist reich an Metallen. Diese 3 Komponenten und ihre jeweiligen Anteile machen die chemische Zusammensetzung der Hydrothermalflüssigkeit aus, welche dann unter hohem Druck wieder an die Oberfläche gelangt [24].

Die Geschwindigkeit der aufsteigenden Hydrothermalflüssigkeit kann bis zu 1-5m pro Sekunde betragen und die Temperatur kann bis zu 380°C erreichen [28]. Während des Aufstieges wird die Zusammensetzung der Hydrothermalflüssigkeit nicht mehr verändert, da die Aufstiegskanäle mineralisch impermeabel sind [29]. Da die 2 Reaktionspartner der Hydrothermalen Zirkulation, Meerwasser und Basalt, an den verschiedenen Mittelozeanischen Rücken sehr einheitlich sind, ist trotz allem eine gewisse Regelmäßigkeit/ Ähnlichkeit in der Zusammensetzung der Hauptelemente hydrothermalen Flüssigkeiten der verschiedensten Hydrothermalfelder gegeben [27].

Der Lebensraum Hydrothermaler Schlote ist nicht nur abhängig von Adaptionen an die heißen Temperaturen der Quellen sondern auch an die chemische Zusammensetzung der Hydrothermalflüssigkeit, welche starken Einfluss auf die Lebensbedingungen der Fauna nimmt [24].

Im Gegensatz zu Meerwasser sind hydrothermale Flüssigkeiten durch die Aufnahme von Protonen der Mineralien des angrenzenden Gesteins sauer, mit einem pH- Wert zwischen 3 und 5 und enthalten keinen Sauerstoff. Im Zuge der hydrothermalen Zirkulation wird Magnesium und Sulfat abgegeben, wobei die Hydrothermale Flüssigkeit hohe Konzentrationen an reduziertem Schwefelwasserstoff (Sulfide) enthält. Die Flüssigkeit ist angereichert mit Metallen wie z.B. Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Blei oder auch Lithium oder Rubidium. Sie alle stammen aus den Wechselwirkungen mit dem angrenzenden Basalt. Des weiteren sind auch Gase aus

der unterirdischen Magmakammer wie Methan, Helium und Kohlendioxid enthalten [24].

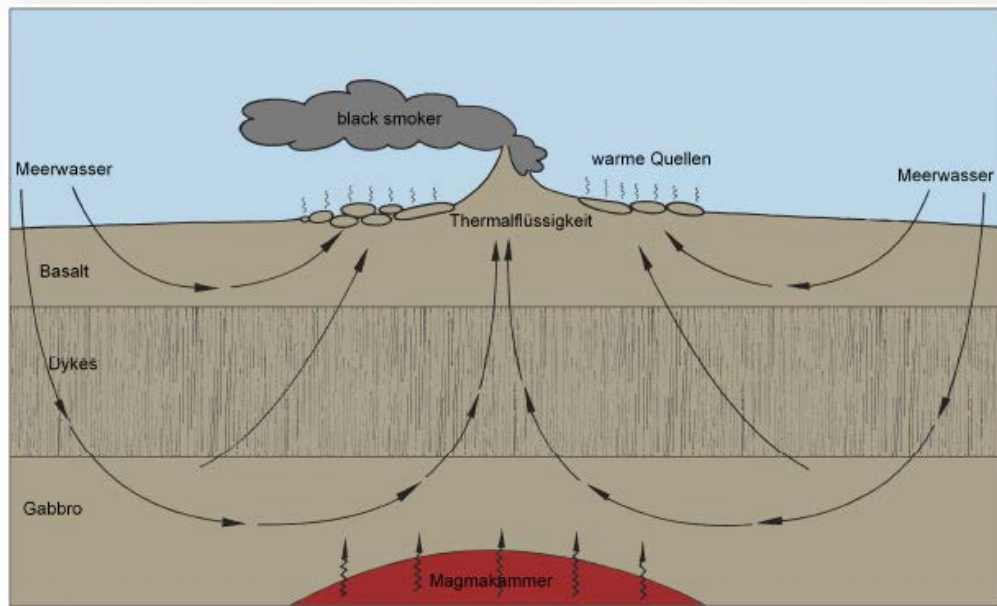


Abb. 4: Hydrothermale Zirkulation der Tiefsee

Arten von Hydrothermalquellen

Hydrothermale Quellen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht, etwa nach der Temperatur und Zusammensetzung der austretenden hydrothermalen Flüssigkeit sowie der mit ihr verbundenen Schlotbildung der Quellen. Die Verbreitung und Lebensdauer der warmen und heißen Quellen ist von der im Untergrund vulkanischen Aktivität und den geologischen Rahmenbedingungen abhängig. Einzelne Orte mit aktiven Quellen können aneinandergereiht werden und ergeben ganze Hydrothermalfelder, welche vergleichsweise so groß wie zwei Fußballfelder werden können. Bei starkem Vulkanismus der Spreizungszone ist das Hydrothermalfeld nur ein paar Jahrzehnte aktiv, bei immer wieder einsetzender aber gemäßigter vulkanischer Aktivität, können die Orte auch 200 Jahre oder mehr aktiv bleiben [24].

Heiße Quellen

Durch das Aufeinandertreffen von heißer Thermalflüssigkeit und kaltem Seewasser werden Schlotte durch Ausfällungen aufgebaut. Gleichzeitig werden diese Ausfällungen auch als schwarze bis weiße Flüssigkeit sichtbar. Diese Schlotte und deren austretende hydrothermale Flüssigkeit nennt man „black smoker“ und „white

smoker“. Neben den „rauchfangähnlichen“ Schloten existieren auch Schlote welche bienenstockartige Gestalt annehmen, oder Schlote welche eine abstehende seitliche Flanke mit Austrittsstellen besitzen oder auch Schlote, welche keinen Zentralschlot besitzen, sondern multiple Austrittskanäle enthalten [24].

Black smokers

Säulenförmige Aufstiegskanäle, wie man sie typischerweise am Ostpazifischen Rücken findet, welche Hydrothermalflüssigkeit mit Temperaturen über 350°C entlassen, werden black smokers oder Schwarze Raucher genannt, da die sich mit dem Meerwasser vermischende Hydrothermalflüssigkeit wie schwarzer Rauch ausströmt. Aus den rund 10cm breiten Öffnungen der Schlote entstehen Rauchfahnen, welche bis zu 150-200m hoch werden können, wobei die Temperatur der über 350°C austretenden Hydrothermalflüssigkeit schon 2 bis 3 Meter oberhalb der Öffnung des Rauchers auf 10°C absinkt [24].

Der Grund für die schwarze Färbung der Schlotfahne ist das Vermischen der sauren, metall- und sulfidreichen Hydrothermalflüssigkeit mit dem alkalischen Meerwasser, denn dadurch fallen metallische Sulfide als dunkle Partikel aus [24].

Ein Black smoker bildet sich nach einer Vulkaneruption oder kann auch Vulkaneruptionen überleben und danach weiterhin aktiv sein. Ausgehend von Brüchen und Spalten im Basalt durch die die Hydrothermalflüssigkeit ausströmt, wird Anhydrit (CaSO_4), ein Sulfatgestein mit Kalzium, ausgefällt [23], [24]. Anhydrit fällt über 150°C Grad aus und formt eine Röhre rund um die heiße Quellflüssigkeit. Weiters wird in die wachsende Röhre Chalkopyrit, (CuFeS_2) ein Sulfidmineral eingelagert und die Poren des Kanals werden verstopft. Ab dem Zeitpunkt, an dem die äußerste Schicht der Säule nun nicht mehr in Kontakt mit der austretenden Flüssigkeit steht, kühlt sie sich schnell unter 150°C ab und das Anhydrit löst sich in dem den Schlot umgebenden Meerwasser [24].

Die sehr dünnen, säulenartigen heißen Quellen können bis zu 5m pro Jahr wachsen und insgesamt 10m oder 20m hoch werden. Durch ihre chemische Zusammensetzung sind sie sehr fragil und können durch Erschütterungen leicht umgestoßen werden. Die schmalen Öffnungen der Hydrothermalschlote können durch Mineralisation geschlossen werden, durch Abbrechen der Black smoker kann jedoch an einer anderen Stelle wieder hydrothermale Flüssigkeit entweichen [24].

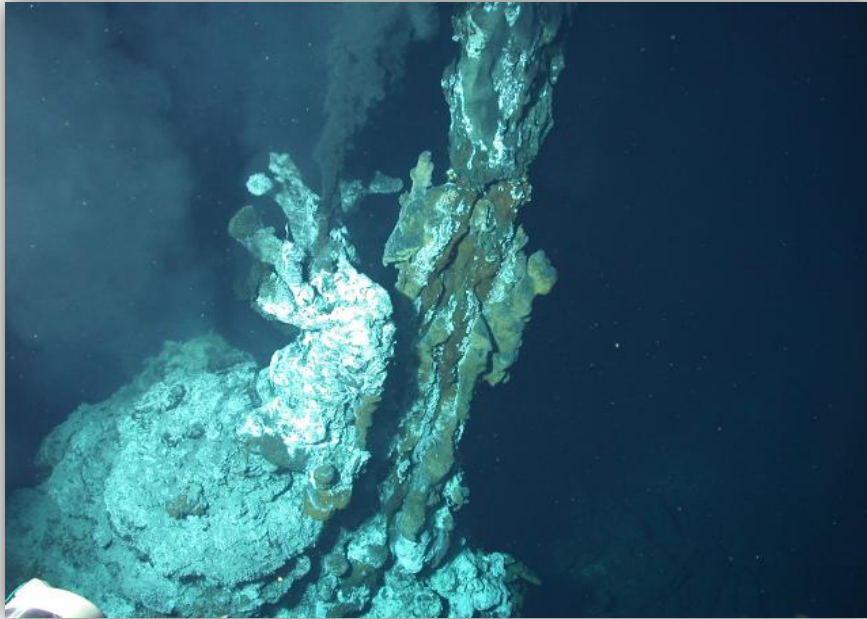


Abb. 5: Black smoker am East Pacific Rise

White smoker

Auch bei den White smokers handelt es sich um säulenförmige heiße Quellen, jedoch entweicht die hydrothermale Flüssigkeit hier „nur“ mit Temperaturen zwischen 100 und 300°C. In diesem Temperaturbereich fallen Anhydrit, Barit und Silikate als weiße Partikel aus und der Rauch dieser Schlotform erscheint farblos bis weiß. Im Gegensatz zu den Black smokeern ist die austretende Hydrothermalflüssigkeit entweder zu kühl, dass Metallsulfide ausfallen oder es besteht die Möglichkeit, dass die Metalle durch das Vermischen der Flüssigkeit unter der Oberfläche des Meeresbodens schon in der Tiefe abgelagert werden [24].

Warme Quellen

Warme Quellen sind am Fuße von aktiven Black smokers, White smokers, komplexen Sulfidbergen oder direkt am Basalt angesiedelt. Die Entstehung der Hydrothermalflüssigkeiten warmer Quellen gleicht der der heißen Quellen, nur kommt es schon innerhalb der Risse und Spalten des jungen Meeresbodens oder innerhalb von Schlotstrukturen zum Vermischen mit Meerwasser, daher entweicht es mit einer deutlich niedrigeren Temperaturen, welche aber geeignete Lebensbedingungen für thermophile Mikroorganismen und Evertebraten bieten [24].

Lebensbedingungen an Hydrothermalquellen

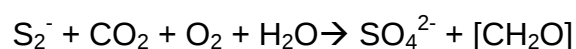
In der meeresbiologischen Literatur wie etwa bei J. Ott, werden Hydrothermale Quellfelder im Gegensatz zur umgebenden Tiefsee als Lebensräume mit lebensfeindlichen Bedingungen dargestellt, welche trotz dieser Umstände dicht von Organismen besiedelt sind [28].

Die Verbreitung der Fauna an hydrothermalen Quellen hängt von mehreren abiotischen Faktoren ab, welche unter anderen Temperatur, Sauerstoffsättigung, Druck und Schwefelwasserstoffvorkommen sind. Der Temperaturgradient sowie die chemische Zusammensetzung der Hydrothermalflüssigkeit geben Aufschluss über die Verbreitung und Zonierung der Schlotfauna. Bestimmte thermophile Arten von Mikroorganismen können warme Quellen bis zu 115°C besiedeln, die Mehrheit der Evertebraten an Hydrothermalfeldern bewohnen die Zonen rund um die Basis der Schlotstrukturen und warme Quellen am Basalt, wobei manche Arten bis zu 60°C tolerieren, die Mehrheit der Organismen jedoch Temperaturen von unter 40°C benötigen. Nicht nur die Toleranz gegenüber dem Parameter Temperatur sondern auch gegenüber der hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen und temporärem Sauerstoffmangel machen die Schlotfauna zu einer Artenzusammensetzung von Spezialisten und Organismen mit vielerlei Adaptionen an ihren Lebensraum [24].

Chemosynthese

Hydrothermalfelder in 2000 bis 3000m Meerestiefe sind gekennzeichnet durch ihre dominierenden mikrobiellen chemosynthetischen Prozesse aufgrund der hier vorliegenden hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen und dem Fehlen von Sonnenlicht. Photosynthese und Chemosynthese stellen beide aus anorganischem Kohlenstoff organische Kohlenstoffverbindungen her, jedoch kommt bei der Chemosynthese die Energie nicht aus dem Sonnenlicht sondern ist chemischen Ursprungs. Freilebende oder mit anderen Evertebraten symbiontisch lebende Mikroorganismen betreiben diese Art von Stoffwechsel, indem sie anorganischem Kohlenstoff in Form von CO₂ mittels chemischer Energie zu organischen Kohlenstoffverbindungen umbauen [24].

Viele der Bakterien der hydrothermalen Tiefseequellen sind dem Ernährungstyp der chemoautotrophen Bakterien zuzuordnen, das heißt dass diese Organismen die Energie für ihren Stoffwechsel aus der Oxidation von Schwefelwasserstoff schöpfen.[9]



Die Chemosynthese ist natürlich keine Ein- Schritt Gleichung, sondern ist hier nur vereinfacht dargestellt. Die Gleichung zeigt sehr schön, dass Sulfid als reduzierte Form des Schwefels als Elektronendonator dient und die bei der Oxidation abgegebenen Elektronen auf den freien Sauerstoff übertragen werden. Die bei dieser Reaktion frei werdende Energie wird für die Kohlenstofffixierung genutzt. Für die CO₂- Fixierung benutzen viele der chemosynthetisch aktiven Bakterien einen Zyklus der dem Calvin- Benson Zyklus der Pflanzen gleicht [24]. In diesem Zyklus wird in 3 Schritten aus CO₂ Zucker hergestellt und die Fixierung des Kohlenstoffs wird durch das Enzym Rubisco (Ribulosebisphosphat-carboxylase/oxygenase) katalysiert [30].

Auch wenn für die Reaktionen der Chemosynthese keine direkte Sonnenenergie benötigt wird, so darf aber nicht vergessen werden, dass der Sauerstoff, welcher als Elektronenakzeptor dient und aus dem umgebenden Meerwasser stammt, ursprünglich aus photosynthetischen Prozessen entstanden ist. Die eben dargestellte Schwefelwasserstoffoxidation, ein aerober chemosynthetischer Prozess, macht den größten Teil aller chemosynthetisch ablaufenden Reaktionen an Hydrothermalschlotten aus. Anaerobe chemosynthetische Prozesse wie Wasserstoffoxidation oder Denitrifizierung werden durch die aerobe Primärproduktion in den Schatten gestellt, da der bei diesen Reaktionen als Elektronendonator benötigte molekulare Wasserstoff in zu geringen Konzentrationen an den hydrothermalen Quellen vorkommt [24].

Symbiosen

Das Besiedeln und Überleben des Lebensraums Hydrothermalquellen bringt bei vielen Organismen ausgereifte physiologische Anpassungen mit sich. 1981 begann am Ostpazifischen Rücken die Entdeckung von Evertebraten-/ Bakteriensymbiosen im mund- und darmlosen Riesenröhrenwurm (*Riftia pachyptila*), der bei seiner Ernährung vollkommen auf endosymbiontische Mikroorganismen angewiesen ist [31].

Allgemein bekannt, stellen mutualistische Symbiosen eine ökologisch enge und vorteilhafte Beziehung zwischen zwei oder mehreren verschiedenen Arten dar [30], wobei im Fall des Röhrenwurmes der Wirt den Bakterien reichlich Nährstoffe aus seiner Umgebung zur Verfügung stellt, welche von den Symbionten zu organischem Kohlenstoff umgewandelt werden. Beim Riesenröhrenwurm *Riftia pachyptila* bewohnen die Mikroorganismen ein bestimmtes Gewebe der Leibeshöhle, daher handelt sich um eine Endosymbiose. Diese Form der Symbiose besitzen auch Muscheln aus den Familien Mytilidae und Vesicomidae, welche endosymbiontische Bakterien in ihren Kiemen tragen aber noch zusätzlich Nahrung aus dem Seewasser filtrieren. Davon unterscheiden sich die Episymbiosen, welche durch Symbionten auf der Oberfläche eines Schlotorganismus wie beispielsweise der Napfschnecke

Lepetodrilis fucensis oder dem Pompeiiwurm *Alvinella pompejana*, gekennzeichnet sind [24].

Neben schwefeloxidierenden Symbionten kommen auch methanoxidierende Bakterien in einzelnen Evertebraten vor, die Schlotmuschel *Bathymodiolus puteoserpentis* enthält gleich beide Arten von autotrophen Mikroorganismen. Für den Wirten einiger Arten der Schlotfauna sind die chemosynthetisch aktiven Mikroorganismen überlebenswichtig, wie etwa bei der Ernährung des Riesenröhrenwurmes, bei anderen Organismen wie bei der Garnele *Rimicaris exoculata* spielen sie nur eine Rolle als zusätzliche Nahrungsquelle [24].

Hydrothermale Quellen und ihre Fauna

Die ersten Organismen der Schlotfauna wurden in den 1980iger Jahren des letzten Jahrhunderts am Galapagosrücken entdeckt. Es waren Muscheln und Riesenröhrenwürmer, welche zuerst beforscht wurden [31]. Im weiteren Verlauf wurde für den Lebensraum Hydrothermalquellen eine endemische Fauna beschrieben, welche durch Artenarmut aber hohe Individuenzahl der einzelnen Arten gekennzeichnet ist [28]. Trotz dieser Umstände wurden bis heute schon über 550 Arten an über 100 verschiedenen Schlotstandorten registriert [31]. Die Organismen der Hydrothermalfelder umfassen eine große Menge an neuen Familien und Arten, wobei auffallend ist, dass viele typische Vertreter der Tiefseefauna, nicht vorkommen [28].

Die einzelnen Hydrothermalfelder der Mittelozeanischen Rücken variieren in der Zusammensetzung ihrer Fauna aufgrund ihrer durch Barrieren gegebenen, isolierten Standorte. Die Artengemeinschaft am Mittelatlantischen Rücken (MAR) unterscheidet sich klar von der Organismenzusammensetzung am Ostpazifischen Rücken(EPR). Aber auch geographisch näher bei einander gelegene Orte hydrothermaler Quellen wie Galapagosrücken und Ostpazifischen Rücken, gleichen sich nicht in ihrem Artenbestand, mögliche Ursache könnte unter Anderen das wärmere Wasser am East Pacific Rise sein [31].

Die höchste Zahl an Arten und Individuen im Bereich der Megafauna hält die Gruppe der Arthropoden, gefolgt von den Mollusken und den Anneliden [32].



Abb. 6: von links nach rechts: *Alvinocharis markensis*, *Alvinella pompejana*, *Rimicaris exoculata*, *Bythograea thermydron*

Charakteristische Krebstiere der hydrothermalen Schlotfauna am Mittelatlantischen Rücken sind die in Schwärmen vorkommende Garnelenart *Rimicaris exoculata* oder die am Galapagosrücken und Ostpazifischenrücken vorkommende Schlotkrabbe *Bythograea thermydron* aus der Ordnung der Decapoda (Zehnfußkrebse). Innerhalb der Mollusken (Weichtiere) sind neben verschiedensten Napfschnecken, zwei Arten von Bivalven (Muscheln), *Bathymodiolus thermophilus* (Mytilidae) und *Calyptogena magnifica* (Vesicomyidae), welche beide in Symbiose mit Bakterien leben, gut erforscht. Ein auffälliges Erscheinungsbild geben auch die verschiedenen Vertreter der Vestimentifera (Röhrenwürmer) ab, da sie sich wie Blumenwiesen rund um die rauchenden Schlote ansiedeln. Am bekanntesten ist sicherlich der am Ostpazifischen Rücken beheimatete Riesenröhrenwurm *Riftia pachyptila* oder *Tevnia jerichonana*. Ein weiterer Vertreter der Annelida ist der Pompeiwurm *Alvinella pompejana*, welcher besonders heiße Zonen rund um die Schlote besiedeln kann [31].

Im Vergleich zum Lebensraum Tiefsee findet man wenige Vertreter der Fische, eine Art wäre die Schlot-Aalmutter *Thermarces cerberus* [31], jedoch findet man rund um die heißen Raucher eine hohe Dichte an Mikroorganismen, welche von allen Schlotorganismen die extremsten Standorte besiedeln. Oftmals leben sie symbiontisch mit anderen Arten (s.o.) jedoch besiedeln sie auch als freilebende Bakterien Basis und Öffnungen der black smoker, freischwebend die ausströmenden Hydrothermalfüssigkeiten, bilden Bakterienwiesen auf Basalt sowie sie sich auch innerhalb des porösen Basalts und in Mineralien der Sulfidstrukturen ansiedeln [24].

3.1.2. *Riftia pachyptila* - Der Riesenröhrenwurm

Taxonomie

Art:	<i>Riftia pachyptila</i>
Gattung:	<i>Riftia</i>
Unterfamilie:	Vestimentifera
Familie:	Siboglinidae
Klasse:	Polychaeta
Stamm:	Annelida



Abb. 7: *Riftia pachyptila*

Der nur an den hydrothermalen Quellen des Ostpazifiks vorkommende Riesenröhrenwurm

Riftia pachyptila ist ein Vielborster (Polychaeta), welche ganze 20 % der hydrothermalen Schlotfauna ausmachen und dabei fast nur endemische Arten umfassen [31]. Innerhalb der Familie der Siboglinidae (Bartwürmer) unterscheidet man die Untergruppe der Vestimentifera, der Monilifera, Oseadax und der Frenulata. *Riftia pachyptila* gehört zu dem Taxon der Vestimentifera, früher wurden sie den Pogonophora zugeteilt jedoch wurde diese Gruppe in die Siboglinidae integriert. Die Vestimentifera (Röhrenwürmer) umfassen derzeit 19 Arten welche in 3 Gruppen gegliedert sind, *Riftia pachyptila* findet sich bei den für hydrothermale Schlotte endemischen Arten [33].

Morphologie / Anatomie

Als Modellorganismus für die Anpassung eines Organismus an seine spezielle Umwelt stellt *Riftia pachyptila* eine Art mit 2 Besonderheiten dar. Einerseits fehlt dem Röhrenwurm Mund und Darm und zweitens trägt er ein spezielles Organ in sich, welches die für seine Ernährung obligaten Symbiontenbakterien, beinhaltet [24].

Der Wurm kann in vier Körperregionen eingeteilt werden: Obturaculum, Vestimentum, Rumpf und Opisthosoma. Das Vorderende des Wurmes, die Obturaculumregion, besteht aus einem blutroten zweilappigen tentakelartigen Kiemenapparat. Das kiemenartige Organ dient dem Wurm für die Nährstoffaufnahme und seine feinen stark durchbluteten Filamente fügen sich zu Lamellen und Loben zusammen, welche in einem Hauptstrang enden. Wenn sich der Wurm gestört fühlt, zieht er sich blitzartig in seine Röhre zurück und das Obturaculum dient als Verschluss der Röhrenöffnung [24].

An das Vorderende des Wurmes schließt das Vestimentum an, welches die muskuläre Kopfregeion darstellt und *Riftia* beim Verankern in der Röhre hilft, beinhaltet weiters Herz, Gehirn und die exkretorischen Organe. Den längenmäßig



Abb. 8: *Riftia pachyptila*

größten Teil des Wurmes macht der Rumpf aus, welcher mit Coelomflüssigkeit gefüllt ist und das spezielle symbiontentragende Organ, das Trophosom und die Gonaden beinhaltet. In das Trophosom werden durch viele hauchdünne Blutgefäße, die Metaboliten H_2S , CO_2 und O_2 , welche vom Wurm aufgenommen werden zu den im Gewebe enthaltenen Bakteriozyten gebracht, um dort für die Schwefeloxidation verbraucht zu werden. Nur 1 Gramm Trophosomgewebe enthält 10^9 bis 10^{11} Bakterienzellen [33]. Danach bildet das Opisthosoma mit mehreren gegliederten Segmenten das Hinterende des Wurmes, welches häckchenartige Borsten trägt um den Wurm in seiner Röhre zu verankern [33].

Obgleich auch schon Exemplare von *Riftia pachyptila* mit einer Röhrenlänge von 2,5m begutachtet wurden, ist die durchschnittliche Länge der Tiere zwischen 1 und 2 Meter wobei die tatsächliche Länge des Wurmes schwer zu messen ist, da er sich oftmals zusammenzieht oder streckt und nicht die ganze Länge der Röhre bewohnt. Die Röhre, welche aus einer elastischen Chitin-Proteinstruktur besteht, wird durch chitinabsondernde Zellen in der Epidermis des Wurmes gebildet. Der Riesenröhrenwurm ist gekennzeichnet durch ein kurzes Leben mit schnellem Wachstum, welches bis zu 85cm pro Jahr ausmacht und *Riftia* zu dem schnellst wachsenden Evertebraten überhaupt macht [34].

Biologie

Riftia pachyptila bildet rund um die hydrothermalen Quellen und die von ihnen ausgehenden starken diffusen Ströme weitläufige, buschige Ansammlungen, welche mit den schnell wechselnden chemischen Parametern wie etwa des Sulfid, Kohlendioxids oder Sauerstoffs aber auch mit den schwankenden Temperaturunterschieden zwischen 2° und 30° Grad umgehen können [34], [35].

Die Aggregationen von Riesenröhrenwürmern können auf Basalt eine Dichte von 550-3500 Individuen pro m^2 erreichen [36] die langen Röhren der Würmer vergrößern die Oberfläche um das 7 bis 144-fache und bieten somit vielen weiteren Arten einen Lebensraum [36], [37]. In den Sukzessionen der Schlotfauna nach einer Vulkaneruption, ist immer *Tevnia jerichonana* der Erstbesiedler, und wird dann von *Riftia pachyptila* schnell verdrängt. *Riftia* bietet mit seinen Röhren viel Lebensraum für verschiedene andere Arten Zwischen 19 und 35 Arten der Macrofauna leben so vergesellschaftet mit *Riftia* [36]. So schnell *Riftia* Standorte besiedelt, so schnell kann sie von anderen Arten auch wieder verdrängt werden, wie etwa durch die Muschel *Bathymodiolus thermophilus* [34].

Die Ernährung von *Riftia pachyptila* erfolgt durch die im Trophosom eingebetteten Symbionten, welcher den Wurm durch das Betreiben von Schwefeloxidation und Kohlenstofffixierung mit Stoffwechselprodukten versorgt. Primär muss der Wirt den Symbionten mit Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Sauerstoff versorgen um organischen Kohlenstoff zu bekommen [24].

Die Aufnahme der Stoffe aus der Umgebung durch den tentakelartigen Kiemenapparat wird etwa beim Kohlendioxid dadurch erleichtert, dass der CO_2 -Partialdruck der ausströmenden hydrothermalen Flüssigkeit circa 3 mal so hoch ist wie in normalem Tiefseewasser, dadurch ein hoher Gradient gegeben ist und das Kohlendioxid leicht in die Gewebe des Wurmes diffundieren kann [24]. Der pH-Wert des Wurmes wird dafür mit 7,3-7,4 leicht alkalisch gehalten und zu große Kationenansammlungen werden durch Protonenpumpen reduziert [38]. Der Kohlenstoff wird frei im Blut als CO_2 zum Trophosom transportiert um dann mittels dem Calvin- Bensonzyklus durch die symbiontischen Bakterien in einfache Zucker wie Succinat und Glutamat für den Wirt bereitgestellt wird [39], [40]. Die dafür benötigte Energie kommt aus der Oxidation des reduzierten Schwefelwasserstoffs, welcher für den Organismus hoch eine toxische Substanz darstellt, da es an die Cytochrom-C Oxidase binden kann und somit die Funktion des Enzyms in der Elektronentransportkette der Zellatmung blockiert. Deswegen wird Schwefelwasserstoff durch den Wurm in Form von HS^- aufgenommen, welches an das Hemoglobin bindet ohne mit Sauerstoff um Bindungsstellen zu konkurrieren. Gebunden an das Hemoglobin stellt das Sulfid für den Wurm keine Gefahr dar und kann durch die Körperflüssigkeiten zu den Bakteriozyten im Trophosom transportiert werden um dort für chemosynthetische Prozesse gespeichert zu werden [24].

Der dritte wichtige Ausgangsstoff für die Schwefeloxidation ist Sauerstoff, welcher in Form von O_2 aufgenommen wird und an das Hemoglobin bindet um in die Gewebe zu transportiert zu werden. *Riftia* besitzt hohe Anteile an extrazellulärem Hemoglobin, da abgesehen vom Sulfidtransport der Sauerstofftransport und das Diffundieren des Sauerstoffs in den Wurm durch einen niedrigen O_2 -Partialdruck im Wurm aufrecht erhalten werden kann [24]. Die Bakterien im Trophosom verbrauchen rund doppelt so viel Sauerstoff wie der Wirt selber [41].

Der Lebenszyklus von *Riftia pachyptila* von der Larve bis zum adulten Wurm kann in zwei Phasen getrennt werden, in die aposymbiontische Phase und in eine symbiontische Phase. Beginnend mit den befruchteten Eiern im Muttertier entwickelt sich daraus eine pelagische Larve, welche sich freischwebend in der Wassersäule lecithotroph, sprich aus den Speicherstoffen im Eidotter, ernährt. Danach siedelt sich die Larve am Basalt an und der juvenile Wurm besitzt noch Mundöffnung und Verdauungssystem. Im Zuge der Metamorphose zum adulten Wurm verkümmern Mund und Darm und es bildet sich das Trophosom mit den symbiontischen Bakterien aus. Die Symbionten des Riesenröhrenwurmes sind Gammaproteobakterien, genauer handelt es sich um *Candidatus Endoriftia persephone*, welche horizontal auf

den Wirt übertragen werden [33]. Die auch freilebend vorkommenden Bakterien besiedeln freiwillig den Wurm in seinem juvenilen Stadium, dabei benützen sie Chemotaxis um einen Wirten zu finden [43]. Damit beginnt die symbiontische Phase im Lebenszyklus des Wurmes und als adultes Tier ist sein Verdauungsorgan rückgebildet und nicht mehr funktionsfähig und der Wurm ist auf die Ernährung über seine bakteriellen Symbionten angewiesen [34]. Die evolutionären Gründe, warum die Bakterien mit dem Wurm freiwillig eine Symbiose eingehen, müssen noch weitreichender erforscht werden.

Vorkommen von *Riftia pachyptila*

Die endemisch vorkommenden Hydrothermalarten der Vestimentifera kommen nur im Pazifik vor [34]. Bekannt sind große Kolonien von *Riftia pachyptila* am Galapagos Spreading Center, oder an Stellen des Ostpazifischen Rückens (East Pacific Rise) [31].

3.1.3. *Bythograea thermydron* - Die Schlotkrabbe

Taxonomie

Art:	<i>Bythograea thermydron</i>
Gattung:	<i>Bythograea</i>
Familie:	Bythograeidae
Ordnung:	Decapoda
Klasse:	Malacostraca
Unterstamm:	Crustacea
Stamm:	Arthropoden



Abb. 9.: *Bythograea thermydron*

Obwohl in der klassischen Tiefsee kaum echte Krabben zu finden sind, zählen jedoch bis dato 12 Arten der hydrothermalen Fauna zu den Krabben, wobei fast alle der Familie der Bythograeidae zugehörig sind. Neben 3 weiteren Gattungen der Familie der Bythograeidae ist die Gattung *Bythograea* etwa mit 5 Arten am Ostpazifischen Rücken vertreten, die bekannteste darunter ist *Bythograea thermydron* [31].

Morphologie/ Anatomie

Die sehr helle, weiß gefärbte Schlotkrabbe *Bythograea thermydron* besitzt als Teil des Exoskelettes, wie alle Krabben einen den Kopf und Brust umhüllenden sehr harten Carapax welcher zwischen 54mm und 65 mm Durchmesser hat. Er ist leicht elliptisch, extrem abgeflacht und bis auf die Ränder sehr glatt. Die Schlotkrabbe besitzt unvollständige Augenhöhlen, eine dreieckige Suborbitalplatte und die gestielte Facettenaugen sind sehr dünn, beweglich und reduziert, die adulte Krabbe ist blind und besitzt eine pigmentlose Retina. Weiters haben *Bythograea thermydron* sehr stark ausgeprägte Chelipeden wobei sie die weiblichen Scheren durch eine teppichartige Behaarung durch Borsten unterscheiden [31].

Biologie

Rund um die hydrothermalen Quellen lebt *Bythograea thermydron* inmitten den Riesenröhrenwürmern *Riftia pachyptila* und Muschelbänken aus *Bathymodiolus thermophilus*, meist im Temperaturbereich zwischen 1,8 und 12 Grad [31]. Die Schlotkrabbe besitzt aber eine hohe Wärmetoleranz, da ihre Körperorgane bei 238 bar auch über einige Stunden 25°C warmes Wasser und für kurze Zeit auch 35° Grad heißes Wasser ertragen. Dies stellt eine Adaption an die schwankenden Temperaturbedingungen rund um die Öffnungen der heißen Quellen dar [44].

Die Schlotkrabben sind Räuber und Aasfresser und man kann beobachten, wie sie mit ihren stark ausgebildeten Scheren versuchen Jagd auf Röhrenwürmer zu machen. Durch spezielle Verfahren konnte festgestellt werden, dass *Bythograea thermydron* bis zu 10 Jahre alt werden kann, man geht dabei von Häutungen der Tiere mit einer Periodizität von 3 bis 4 Jahren aus [45].

Die Hydrothermale Quellfauna besitzt einige Anpassungen an die extremen Lebensbedingungen an den Schlotfeldern. Es existieren mehrere Mechanismen um sich vor dem für die Organismen hoch toxischen Schwefelwasserstoffverbindungen zu schützen. Unter den nicht Symbionten tragenden Arten wie der Schlotkrabbe, ist die periphere und interne Verteidigung eine Möglichkeit, den durch das Exoskelett aufgenommenen Schwefelwasserstoff mittels Detoxifizierungssystem von Sulfid zu Thiosulfat zu oxidieren. Dies geschieht mittels Sulfid- Oxidase Enzymen, welche in den oberflächlichen Zellverbänden der Speichergewebe der Tiere lokalisiert sind [42]. Besonders hohe Oxidationsraten findet man in den Kiemen [47].

Nachdem die weiblichen Krabben die befruchteten Eier entlassen, entwickeln sich zuerst zu Zoealarven und in weiterer Folge zu großen Megalopalarven. Diese Larvenstadien sind planktotroph, sprich die Larve ist freischwimmend im Wasser und sucht nach Nahrungspartikeln im Plankton. Während der juvenilen Phase in der Wassersäule, welche weit ab von den Schlotfeldern liegen kann, besitzt das Facettenauge der Larven Sehpigmente für das im mesopelagial vorkommende blaue Licht. Mit dem Absinken der Larven in die Tiefe und Richtung Hydrothermaler Schlotfelder, verliert die Larve ihre Sehkraft und die nackte Retina ist nur noch für die an den Rauchern vorherrschenden langen Wellenlängen des Lichtes (= Wärme) sensibilisiert [47].

Verbreitung von *Bythograea thermydron*

Die Gattung *Bythograea* ist an mehreren Schlotfeldern vertreten, an Mittelozeanischen Rücken des Pazifiks bis 21°Nord, im westlichen Pazifik an den Back-arc basins, im Nordatlantik sowie im indischen Ozean. *Bythograea thermydron* kommt am Ostpazifischen Rücken (EPR) zwischen 21°N und 18°S vor und am Galapagos Spreading Center [31].

3.2. Verhaltensbiologie in Bezug auf die Lernumgebung „Hot Vents“

Aus den Reihen der naturwissenschaftlichen Disziplinen stellt die Ethologie die Wissenschaft des Verhaltens von Organismen dar. Das Verhalten wird als kurze Zustandsänderung eines Tieres definiert, welche von außen wahrgenommen werden kann, beispielsweise Bewegungen, Stellungen, Farbwechsel, Lautsignale oder anderes, wird mithilfe von Bestandteilen aus der Physiologie, Psychologie und Zoologie [48]. Wie in jedem wissenschaftlichen Fach beherbergt auch die Verhaltensbiologie vielerlei Ansichten und sich aufspaltende Forschungsrichtungen. Das übergeordnete Ziel der modernen Ethologie ist nach dem Verhaltensforscher Marc Naguib, "... die Mechanismen, die Funktion und die Evolution von Verhalten aufzuklären" [49].

Die Anfänge der als wissenschaftlich anerkannten Verhaltensbiologie gehen auf Darwin zurück, welcher mit seiner Theorie der natürlichen Selektion das Verhalten mit den Prozessen der Evolution in Verbindung brachte. Grundlegende Fragestellungen inwieweit Verhalten und Merkmale angeboren sind oder nicht, waren der zentrale Fokus der Ethologie [48]. Die Vererbungslehre Mendels charakterisiert die ursprüngliche Verhaltensforschung und hat als Objekt der Forschung den Fortpflanzungserfolg von Lebewesen, ihre Fitness und die daraus evolvierenden Merkmalsausprägungen. Davon unterscheiden sich Vertreter des Behaviorismus wie etwa J.B. Watson welcher Verhaltensmuster im Hinblick auf ihre Strukturen und zugrunde liegenden physiologischen Prozesse untersucht [48].

Die moderne Verhaltensbiologie wird heutzutage zumeist im Sinne von Tinbergen (1963) definiert, welcher postuliert dass Verhalten auf vier Ebenen untersucht werden muss und nur durch Einschließen aller Analyseebenen umfassend erklärt werden kann [50].

Auf der physiologischen Ebene werden Verhaltensweisen auf ihre inneren Mechanismen und ihre Elemente genetischer, physiologischer, endokrinologischer und neurobiologischer Art, untersucht [49], [50]. Die zweite Ebene behandelt den schon eingangs erwähnten Zusammenhang von Verhalten mit dem Fortpflanzungserfolg und in weiterer Folge die daraus resultierende Selektion von Merkmalen auf aufeinanderfolgende Generationen. Die Verhaltensentwicklung einzelner Individuen und die Frage, wie stark Verhalten angeboren ist oder durch die Wechselwirkungen der sie umgebenden Umwelt entsteht, umfassen eine weitere Analyseebene nach Tinbergen. Schließlich geht es im 4. Level um die historische Entwicklung von Arten durch Evolutionsprozesse, Selektion und Mutation. Und phylogenetische Ursprünge und Zusammenhänge von Arten werden erforscht [50].

Die moderne Verhaltensforschung beinhaltet heutzutage ein weitreichendes Methodenspektrum, welches aus vielerlei Disziplinen gespeist wird. Trotzdem sind aber für die Ethologie als stark quantitative forschende Wissenschaft die klassische Methode der Beobachtung und das Experiment, mit ihrer Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation noch immer wesentliche Arbeitsweisen [50].

Ethologie in der Schule

Die Verhaltensforschung hat in den letzten Jahrzehnten auch den Einzug in den Biologieunterricht gefunden, da sie sich sehr gut für das Erlernen wissenschaftlichen Arbeitens eignet. Die Autoren Wehnelt und Beyer sind der Meinung, dass kleine verhaltensbiologische Projekte den SchülerInnen die Möglichkeit geben, von der Themenfindung bis hin zur Beantwortung einer Forschungsfrage den typischen Verlauf einer wissenschaftlichen Forschungsstudie kennen zu lernen. Besonders wichtig ist den Autoren hierbei auch, dass es in der Ethologie niemals eine richtige und eine falsche Antwort gibt und dies den Lernenden einen Eindruck vermittelt, dass in der Forschung niemals nur eine Meinung von Bedeutung ist [48]. Auch der Ethologe Kurt Kotrschal befürwortet den Einsatz der Verhaltensforschung im Biologieunterricht folgendermaßen:

„Verhaltensbiologie eignet sich hervorragend für die Förderung selbstständigen Arbeitens, für die Planung, Aufbau und Auswertungen von Experimenten, für das Protokollieren von Beobachtungen und Versuchsergebnissen und Querverbindungen zu anderen Wissenschaften“ [50].

4. Fragestellungen der vorliegenden Arbeit

Die Lernumgebung „Hot Vents“ wurde entwickelt, um wichtige Bildungsziele des Biologie- und Umweltkundeunterrichts zu erreichen. Der besondere Fokus von „Hot Vents“ gilt dem Erstellen einer Lernumgebung, welche den SchülerInnen Raum bietet zu erfahren, wie WissenschaftlerInnen Forschung betreiben um selber Tätigkeiten und Denkweisen von naturwissenschaftlichen ForscherInnen zu entwickeln. Um zu überprüfen, ob die angedachten Ziele mit der Lernumgebung „Hot Vents“ erfüllt wurden, wurden methodisch zwei Forschungsfragen in dieser Arbeit abgehandelt.

Forschungsfrage 1:

Welche wissenschaftliche Vorgehensweise haben die SchülerInnen während der Lernumgebung „Hot Vents“ im Vergleich zu VerhaltensbiologInnen entwickelt und welche Schlüsse kann man daraus für die Gestaltung der Lernumgebung ziehen?

Dieses Forschungsinteresse soll im Paradigma der Aktionsforschung anhand von Schülerarbeiten und Feldnotizen analysiert werden, um zu zeigen, ob und bis zu welchem Grad die entwickelte Lernumgebung „Hot Vents“ ihre Bildungsziele erfüllen könnte. Mit dem Vergleichen der „Hot Vents“-Forschungstätigkeiten der SchülerInnen und des Vorgehens von VerhaltensbiologInnen wird versucht, Stärken und Schwächen des Projekts aufzuzeigen. Die Methodik der Verhaltensbiologie fungiert hier als beispielhaftes Gebiet der Forschung der Biowissenschaften. Diese Vergleichsanalyse dient in weiterer Folge als Grundlage für die Optimierung der Lernumgebung „Hot Vents“.

Forschungsfrage 2:

Wie erlebten die SchülerInnen die Forschungsarbeit während der Lernumgebung „Hot Vents“ und welche Folgerungen kann man daraus für die Gestaltung der Lernumgebung ziehen?

Auch die zweite Forschungsfrage zielt darauf ab zu überprüfen, ob und wie weit die formulierten Ziele von „Hot Vents“ erfüllt wurden, jedoch wird hier die Datengrundlage durch Gruppeninterviews der teilnehmenden SchülerInnen gebildet. Das Miteinbeziehen der Meinungen der SchülerInnen stützt sich hier auf den methodischen Ansatz der partizipativen Forschung, welcher davon ausgeht, dass das Miteinbeziehen der Meinungen an Projekten und Forschung beteiligter Personen, Vorteile für die Weiterentwicklung bringt [19]. In der Literatur dieses noch jungen Forschungsansatzes wird beispielsweise Kindern und Jugendlichen nicht mehr die Rolle des Forschungsobjekts sondern die Rolle des Subjekts der Forschung, zugeteilt [51].

Die Analyse der Schülerrückmeldungen zur Lernumgebung „Hot Vents“ ist auch im Sinne der Aktionsforschung als sinnvoll zu erachten. Ein Charakteristikum bei der Erforschung von Unterrichtssituationen ist die Darstellung aus mindestens zwei

verschiedenen Perspektiven, welche im Falle von „Hot Vents“ einerseits durch den Blickwinkel der Forscherin und Projektleiterin, andererseits durch die SchülerInnen gebildet werden [52].

5. Methodik der vorliegenden Arbeit

Der Forschungsansatz der vorliegenden Arbeit ist im Paradigma der Aktionsforschung zu verorten. Die Aktionsforschung ist eine Untersuchungsmethode, in welcher LehrerInnen ihren eigenen Unterricht erforschen. Hierbei analysieren LehrerInnen reale Situationen ihres Berufs, um diese zu ihrer Zufriedenheit zu korrigieren [52]. Eine von vielen Definitionen von Aktionsforschung stammt von John Elliott, welcher meint:

- *„Aktionsforschung ist die systematische Untersuchung beruflicher Situationen, die von Lehrerinnen und Lehrern selbst durchgeführt wird, in der Absicht, diese zu verbessern“ [53].*

Die aus dem angloamerikanischen Sprachraum stammende, dort als *Action Research* oder *Teacher Research* bekannte Forschungsmethode, fasste in den 1970/80iger Jahren auch im deutschsprachigen Raum Fuß. Die grundlegenden Motive der Aktionsforschung umfassen das Analysieren und Erforschen von Lehr- und Lernsituationen aus dem Alltag, um in weiterer Folge die Qualität des Unterrichts zu verbessern. Hierbei sollen Probleme der Praxis gelöst werden, aber auch durch Aktivitäten Innovationen der Unterrichtsentwicklung ermöglicht werden. Durch das Erforschen ihres eigenen Unterrichts werden im Zuge der Aktionsforschung die Kompetenzen der LehrerInnen erweitert. Die Ergebnisse der Datenanalysen der einzelnen Fälle sollen im Hinblick auf den Nutzen für die ganze LehrerInnenschaft öffentlich gemacht werden. Die Fragestellungen der Aktionsforschung sind sehr breit gesteckt und reichen von didaktischen, fachdidaktischen, erzieherischen bis hin zu unterrichtsorganisatorischen Fragestellungen, welche an den verschiedenen Ebenen des Bildungswesens anknüpfen [52]. Die Aktionsforschung zeichnet sich laut Altrichter und Posch durch ein doppeltes Ziel aus, nämlich einerseits Erkenntnisgewinn durch Reflexion, andererseits Entwicklung als Ergebnis von Aktion. Bei den einzelnen Unterrichtsuntersuchungen wird die Gewichtung der Ziele variieren, obgleich beide immer enthalten sind [52].

Im Zuge der Aktionsforschung zur Lernumgebung „Hot Vents“ habe ich zugleich als Forscherin, Lehrerin und Projektkoordinatorin gehandelt. Der Schwerpunkt der vorliegenden Aktionsforschung lag auf der Beantwortung der formulierten Forschungsfragen, welche sich auf den Erfolg der Lernumgebung „Hot Vents“ in Bezug auf seine Bildungsziele beziehen. Die Fragestellung der Aktionsforschung legt hier den Fokus auf das Entwickeln von Unterrichts-/ Lernsituationen. „Hot Vents“ diene hier als Ausgangspunkt für eine bestehende Praxissituation und wurde mithilfe von verschiedenen Methoden der Aktionsforschung analysiert, um die Lernumgebung „Hot Vents“ in Bezug auf ihre Ziele zu verbessern [52].

Die Auswahl der Aktionsforschung als Methode für die Bearbeitung meiner Forschungsfragen basiert auf der Tatsache, dass die hier vorliegende Forschungsarbeit dem Ziel der Unterrichtsentwicklung dienen soll und sich nicht auf die Ebene der fachdidaktischen Theoriebildung begibt.

Datenquellen und ihre Erhebungsmethode

Die Analyse der Lernumgebung „Hot Vents“ und die damit verbundene Beantwortung der gestellten Forschungsfragen stützen sich auf die Datenquellen Schülerarbeiten, Feldnotizen und SchülerInnenmeinungen aus einem Gruppeninterview.

Schülerarbeiten

Im Zuge des „Hot Vents“-Projekts wurden von den SchülerInnen nach der Forschungsarbeit wissenschaftliche Endarbeiten geschrieben. Diese Berichte umfassten die Ergebnisse ihrer Forschungsfragen und erklärten die Methodik, welche sie für die Videoanalyse entwickelt haben.

Feldnotizen

Im Sinne der teilnehmenden Beobachtung wurden Daten während „Hot Vents“ als Notizen durch die Forscherin aufgenommen. Diese Beobachtungen wurden größtenteils in Phasen angestellt, in denen die Forscherin nicht mit der Rolle der Lehrerin oder Projektleiterin beschäftigt war, sondern nur im Hintergrund agierte [52].

Gruppeninterview

Das Feedback der SchülerInnen zur Lernumgebung „Hot Vents“ wurde mithilfe eines fokussierten Gruppeninterviews erfasst. Die Methode des Interviews dient grundsätzlich dazu, Sichtweisen und Bedeutungen herauszufinden, um ihr Verständnis zu verbessern. Während des Interviews kommunizieren InterviewerIn und Befragte/r auf zwei Ebenen, der Inhalts- und der Beziehungsebene und der Erfolg der Datenaufnahme hängt von der Steuerung des Interviewers auf beiden Ebenen ab. Beim „fokussierten Gruppeninterview“, liegt der Fokus auf einer bestimmten Unterrichtssituation und den Befragten wird viel Spielraum bei der Darstellung ihrer Empfindungen geboten. In der vorliegenden Untersuchung wurden die SchülerInnen rund um ihre Wahrnehmungen während des „Hot Vents“-Projekts gefragt. Das Gruppeninterview wurde sehr offen gestaltet und kaum strukturiert, es wurden von der Interviewerin primär nur Impulssätze verwendet [52]. Ein Beispiel für einen Impulssatz aus dem Gruppeninterview:

„War das [Hot Vents] für euch wissenschaftliches Arbeiten?“

Das Gruppeninterview wurde am 28.6.2012 vormittags im BRG Tulln durchgeführt. Die SchülerInnen befanden sich im Interview in den gleichen Gruppen in denen sie während „Hot Vents“ gearbeitet hatten. So wurden zwei Gruppeninterviews durchgeführt, welche beide ca. 20 Minuten dauerten. Die Wahl der Methode der Gruppenbefragung wird dadurch begründet, dass diese eine für die SchülerInnen alltägliche Situation darstellt, da sie auch im Schulalltag miteinander reden und dieser Umstand den Redefluss während des Interviews positiv beeinflussen soll [52].

Analyse der Daten getrennt nach den beiden Forschungsfragen

Forschungsfrage:

Welche wissenschaftliche Vorgehensweise haben die SchülerInnen während der Lernumgebung „Hot Vents“ im Vergleich mit VerhaltensbiologInnen entwickelt und welche Schlüsse kann man daraus für die Gestaltung der Lernumgebung ziehen?

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage rund um die Vorgehensweise der SchülerInnen während „Hot Vents“ im Vergleich mit der Herangehensweise von VerhaltensbiologInnen während Forschungszyklen wurde mithilfe der schriftlichen Schülerarbeiten, Endpräsentationen und Feldnotizen durchgeführt. Die Analyse der Daten zielte darauf ab, die Arbeitsweisen der SchülerInnen herauszudestillieren.

Folgende Tätigkeiten von „Hot Vents“ wurden hier genauer analysiert:

- Entwicklung von Forschungsfragen
- Formulieren von Hypothesen
- Entwickeln von Studiendesign und Methodik (Stichprobe, Forschungsdesign für Videoanalyse)
- Datenbearbeitung
- Präsentation der Ergebnisse

Die gesammelten Daten der SchülerInnen wurden in Beziehung zu Verhaltensbiologischer Literatur gesetzt. Anschließend wurden die Ergebnisse im Hinblick auf die Verbesserung und Weiterentwicklung der Lernumgebung „Hot Vents“ diskutiert, da die während „Hot Vents“ registrierten Schülertätigkeiten nur als Messlatte für den Erfolg der gestalteten Lernumgebung dienen. Die Inhalte aus beiden Datensätzen wurden rein deskriptiv dargestellt und das Zusammenspiel aus beiden Datenquellen führte zu der ausführlichen, beschreibenden Darstellung der Aktivitäten und Gedankengänge der SchülerInnen sowie zu den auf ihnen basierenden Schlüssen für die Weiterentwicklung der Lernumgebung „Hot Vents“.

Forschungsfrage:

Wie erlebten die SchülerInnen die Forschungsarbeit während der Lernumgebung „Hot Vents“ und welche Folgerungen können daraus für die Gestaltung der Lernumgebung gezogen werden?

Die zweite Forschungsfrage, welche sich damit beschäftigt, wie die SchülerInnen „Hot Vents“ erlebten, um daraus Schlüsse für die Weiterentwicklung des Projekts zu ziehen, erfolgte mittels fokussiertem Gruppeninterview. Die damit gewonnenen Daten wurden im Sinne einer qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet [54]. Um die einzelnen Sichtweisen der SchülerInnen einzufangen wurden induktiv Kategorien aus dem vorliegenden Material gebildet. Diese Kategorien umfassen zwei

Ebenen, wobei die eine Ebene Aussagen zu den einzelnen Schritten von „ Hot Vents“ darstellt und die andere allgemeine Aussagen zur Lernumgebung beinhaltet.

Folgende Kategorien wurden zur Analyse herangezogen:

Aussagen zu den einzelnen Forschungsschritten der Lernumgebung „Hot Vents“

- Einführungsvortrag durch den Klassenlehrer Prof. Dopplinger
- Entwickeln und Sammeln von Forschungsfragen
- Videoanalyse
- Verfassen der wissenschaftlichen Arbeit

Allgemeine Aussagen zur Lernumgebung „Hot Vents“

- Kompetenzen versus Fachwissen
- Zum Inhalt der Lernumgebung „Hot Vents“

Anhand dieser methodischen Vorgehensweise wurde versucht, für die vorliegenden Forschungsinteressen sinnvolle und nützliche Ergebnisse zu erarbeiten, welche nun im folgenden Ergebnisteil der Arbeit dargestellt werden.

6. Ergebnisse

Bevor in diesem Kapitel mit der Darstellung der Ergebnisse beider Forschungsfragen begonnen wird, bekommt der Leser zuvor einen Einblick in das lebendige Geschehen des Projektablaufs um die Analyse der durchgeführten Lernumgebung verständlicher zu machen.

6.1. Projektbericht

„Hot Vents“- Eine Lernumgebung zum Forschenden Lernen

BRG Tulln 7.B

Leitung: Kastl-Killinger Rosa-Maria und Prof. Ewald Dopplinger

Projektbericht

1.Einheit

Datum: 16.4.2012: Doppelstunde von 13:50 bis 15:30)

Die erste Einheit begann mit dem Vorstellen der Studentin und Forscherin Rosa-Maria Kastl-Killinger, welche das Projekt in Tulln leitete und durchführte. Das Inquiry learning Projekt, welches im Zuge ihrer Diplomarbeit bei Prof. Monika Bright zwischen der Meeresbiologie der Universität Wien und dem BRG Tulln geplant wurde, beinhaltete 6 Doppelheiten. Währenddessen und danach wurden von ihr Daten für die Forschungsfrage ihrer Diplomarbeit gesammelt.

Als ersten Programmpunkt des Inquiry learning führte Prof. Dopplinger eine in das Thema Hydrothermale Quellschlote und ihre Fauna ein, was den SchülerInnen wichtige Informationen lieferte und helfen sollte, das schon vorhandene Wissen der SchülerInnen mit diesem neuen, sehr speziellen meeresbiologischen Thema zu verknüpfen. Der Professor entschied sich für eine rund 50min. Powerpointpräsentation, welche er selber zusammengestellt hatte und hierbei größtenteils auf private Materialien zurückgriff. Im Vorfeld wurden ihm auch als Hilfestellung für den Vortrag Materialien zum Thema Hydrothermale Quellen zugesandt, welche erst kürzlich von einer Studentin am Institut für Meeresbiologie an der Uni Wien entworfen wurden. Die Materialien wurden jedoch von Herrn Prof. Dopplinger nur als Ergänzung für einige Inhalte genutzt. In der unten angeführten Tabelle befindet sich eine Auflistung der Inhalte, welche in seinem Vortrag präsentiert wurden.

Einführung in das Thema „Hydrothermale Quellen“ durch folgende thematische Schwerpunkte:

Schalenbau der Erde	Kern, Mantel und Erdkruste und die chemischen Elemente, welche diese ausmachen.
Lithosphärenplatten und ihre Dynamik	Kontinentale und ozeanische Platten und ihre Mächtigkeit sowie die Bewegung der Lithosphärenplatten in der Erdgeschichte
Geologische Störzonen	Vulkanismus, Erdbeben, Gebirgsbildung und „seafloor-spreading“
Weltweite Verteilung von Vulkanen und Hydrothermalen Feldern	
Hydrothermale Quellen	Black smokers, white smokers und warme Quellen; die Entstehung und Zusammensetzung hydrothermaler Flüssigkeit
Lebensbedingungen an Hydrothermalen Quellen	Vorkommen und Verfügbarkeit von Licht, Temperatur, Druck, Sauerstoff, Schwefelwasserstoff und Nahrung
Einige Tierarten des Lebensraums hydrothermale Quellen	<i>Tevnia jerichonana</i> , <i>Mya sp.</i> , <i>Rifitia pachyptila</i> , <i>Alvinella pompeijana</i> , <i>Bythogrea therydron</i> , <i>Thermarces cerberus</i> , <i>Vulcanoctopus</i>
Der Prozess der Chemosynthese	
Evolutionstheorie der Tiefsee	Ablauf wie sich möglicherweise an black smokern DNA entwickeln konnte

Tab. 1: Inhalte des Vortrages in Einheit 1

Nach dem ausführlichen Vortrag entschied sich der Lehrer für eine kurze Wissensüberprüfung über das eben Vorgetragene. Der ausgeteilte Test wurde vom Professor entworfen und von ihm intendiert, er war nicht Teil des geplanten „Inquiry learnings“. Die restliche Zeit der Doppelstunde wurde mit der Beantwortung der schriftlichen Wiederholung verbracht.

2. Einheit

Datum: 30.4.2012: Doppelstunde von 13:50 bis 15:30

Die zweite Einheit wurde mit einem kurzen Vortrag der Lehramtsstudentin eröffnet. Hierbei wurde den SchülerInnen erklärt, was die kommenden Aktivitäten des Inquiry

Learnings sein werden, mit welchen Materialien und Methoden sie arbeiten würden und welche Grundregeln WissenschaftlerInnen prinzipiell beim Forschen beachten. Die Hauptaufgabe und das Ziel des Forschenden Lernens mit der 7.Klasse des Realgymnasiums Tulln war eine Videoanalyse, gestützt durch eine Forschungsfrage, welche von den SchülerInnen entwickelt werden sollte. Der Schulklasse wurden im Laufe des Projekts Videos von hydrothermalen Schloten ausgehändigt, welche während verschiedener Cruises vom ForscherInnenteam rund um Prof. Bright, Universität Wien, aufgenommen wurden. Die Aufnahmen entstanden in rund 3000km Tiefe an Hydrothermalfeldern am Ostpazifischen Rücken.

In der ersten Stunde der Einheit 2 wurde das Programm erläutert und im weiteren Zuge des Vortrages der Studentin wurde auf die Bedeutung einer Forschungsfrage während des wissenschaftlichen Arbeitens eingegangen. Das Überlegen und Entwickeln von sinnvollen Forschungsfragen war eines der Hauptanliegen des Projektes. Den SchülerInnen sollte dabei vermittelt werden, dass Forschung und wissenschaftliches Arbeiten etwas u bestimmten Themen zu lernen. Das Forschungsinteresse und die damit entstehenden Fragen sind schlichtweg das Fundament der Forschung und begründen ihr Hauptziel, nämlich das Gewinnen neuer Erkenntnisse für die Wissenschaft. Zu beachten ist natürlich auch, dass die SchülerInnen sich im Klaren darüber sind, dass es nicht „DIE“ eine Antwort auf eine Frage gibt, sondern dass erst verschiedenen Antworten und Blickwinkel auf ein Phänomen einen wissenschaftlichen Diskurs entstehen lassen, durch welchen sich die Wissenschaft ein Stück weiter an die Wirklichkeit annähert.

Zum Abschluss dieser theoretischen Auseinandersetzung wurde noch grob der Aufbau einer naturwissenschaftlichen Arbeit besprochen, da die SchülerInnen im Zuge des Forschenden Lernens zur Hydrothermalen Quellfauna ihre Ergebnisse nicht nur abschließend vor der Klasse präsentieren, sondern auch eine kleine wissenschaftliche Arbeit über die Ergebnisse ihrer Videoanalyse verfassen sollten.

Bei der Grobgliederung einer wissenschaftlichen Arbeit wurde unter anderem die Rolle des Abstracts als kurze und prägnante Zusammenfassung eines wissenschaftlichen Beitrags erläutert. Danach wurde auf den Unterschied zwischen Ergebnis- und Diskussionsteil im Verlauf einer wissenschaftlichen Arbeit eingegangen. Den Jugendlichen sollte bewusst werden, dass die von ihnen gesammelten Daten im Ergebnisteil ohne jegliche Interpretation dargestellt werden sollen und erst im Diskussionsteil Äußerungen und Vermutungen über diese angestellt werden dürfen.

Die restliche Zeit der Doppelstunde konnte dann dem Finden von Forschungsfragen gewidmet werden. Um nicht zu große Arbeitsgruppen zu haben, wurde die Klasse in zwei Gruppen geteilt, welche getrennt voneinander Forschungsfragen entwickeln und alle weiteren Programmpunkte bestreiten sollten.

Für das Projekt wurde jeder Gruppe als Beobachtungsgegenstand ein Organismus der hydrothermalen Quellfauna zugeordnet. Der einen Gruppe wurde der

Riesenröhrenwurm *Riftia pachyptila* und der anderen Gruppe die Schlotkrabbe *Bythograea thermydron* zugeordnet. Allen SchülerInnen wurden beide Organismen in der Einführung (Lehrer) vorgestellt, jedoch wurde nicht zu viel Fachwissen über diese Tiere mitgeteilt, da dies für das Projektziel nicht über die Maßen ausschlaggebend war.

Um Forschungsfragen rund um diese Meeresorganismen entwickeln zu können, wurde den TeilnehmerInnen als nächster Schritt ein Video im Umfang von wenigen Minuten gezeigt, welches ihnen die Forschungstiere in diesem vorgegebenen Beobachtungsrahmen zeigte. Der Impuls sollte dazu dienen, den ihnen zu helfen, nur Fragen zu entwickeln, welche mittels der Videoanalyse auch beantwortet werden konnten. Diese Aufgabe war durchaus nicht einfach, da viele Fragen der Jugendlichen zu den Tieren nicht mittels der Videoanalyse beantwortet werden konnten. Das Verhalten der Tiere in den Videos war nicht, wie es sich Kinder oftmals erwarten, wie in einem Tierfilm vollgepackt mit einer Reihe von Ereignissen, sondern zeigte auch mehrere Minuten lang gar kein beobachtbares Verhalten. Die Videos, welche echtes Forschungsmaterial von Wissenschaftlern der Universität Wien darstellen, forderten die SchülerInnen enorm fordern.

Nachdem das Impulsvideo am Beamer des Biologiesaales gezeigt worden war, begannen in der zweiten Stunde der Einheit 2 die Diskussion und Erarbeitung möglichen Forschungsfragen, getrennt in beiden Gruppen. Die SchülerInnen arbeiteten ca. 20 Minuten selbstständig und ohne Rat und Hilfe von Prof. Dopplinger oder der Forscherin. Danach erzählte jede Gruppe der Projektleiterin, welche Fragen sie erarbeitet hatten. Obgleich die durch das Videomaterial möglichen Beobachtungen stark eingegrenzt waren, fanden die SchülerInnen auf Anhieb operationalisierbare, gute Forschungsinteressen.

Gruppe *Riftia pachyptila*- Riesenröhrenwurm (10 SchülerInnen)

Diese Gruppe, welche sich in den Videos auf den Riesenröhrenwurm *Riftia pachyptila* konzentrieren sollte, sammelte folgende Fragen:

„Wie oft zieht sich der Wurm zurück?“

„Auf welchen Reiz (hin) zieht er sich zurück?“

„Wie lange bleibt der Wurm in der Röhre, nachdem er sich zurückgezogen hat?“

„Wie stark muss der Reiz sein, damit sich der Wurm zurückzieht?“

Die SchülerInnen der Wurm-Gruppe entschlossen sich diese Forschungsfragen auch gleich in dieser Form für das „Hot Vents“ zu übernehmen, wobei sie die Frage über die Intensität des Reizes am Ende doch wegließen. Ihr Forschungsinteresse fokussierte sich also zusammengefasst auf den Rückzug des Wurmes in seine Röhre, die Auslöser dieses Rückzugs und die Dauer dieses Vorgangs.

Gruppe *Bythograea thermydron*- Schlotkrabbe (10 SchülerInnen)

Die zweite Arbeitsgruppe, welche Studien über die Schlotkrabbe durchführen sollte, interessierte sich für das Verhalten der Krabbe gegenüber Artgenossen und anderen

Organismen. Die Gruppe machte sich Gedanken darüber, wie Krabben auf Kontakte mit anderen Individuen reagieren, ob es zum Kampf kommt oder ob sie weglaufen. Sie stellten Fragen, wo diese Kontakte stattfinden, etwa im „Futtergebiet“ oder im „Ruhegebiet“ des Lebensraums der Krabbe, und diskutierten des Weiteren auch, wie sie denn bei der Beobachtung einen Kontakt oder eine Konfrontation als solche(n) definieren sollten. Die Schlotkrabben-Gruppe, welche sich *Bythograea thermydron* ansah, formulierte folgende Fragen:

„Ändern die Krabben bei einer inter- & intraspezifischen Konfrontation (beginnend ab einem kleineren Abstand als 2 Körperlängen der Krabbe) die Bewegungsrichtung? Wenn ja, wie?“ Diese Fragestellung im Folgenden noch umformuliert: „Mit welcher Bewegungsrichtung reagieren Schlotkrabben im Lebensraum der Umgebung Hydrothermaler Quellen bei intra- und interspezifischem Kontakt?“

Der letzte Programmpunkt dieser Doppelstunde war, dass sich jede Gruppe überlegte, wie sie die Daten für die Beantwortung ihrer Forschungsfragen strukturiert sammeln konnten. Die Aufgabe war, einen geeigneten Beobachtungsraster zu erstellen, sodass jede und jeder Einzelne aus der Gruppe die Daten nach demselben Schema notierte und diese am Ende problemlos zusammengefügt werden konnten. Die fertigen Beobachtungsraster sollten in der nächsten Einheit präsentiert werden.

Die TeilnehmerInnen machten in dieser Einheit einen sehr interessierten und motivierten Eindruck. An keinem Punkt musste durch die Forscherin eingegriffen werden, um das Geschehen weiterzubringen oder die SchülerInnen wieder zum eigentlichen Thema zurückzuholen. Besonders erstaunlich war aber die Entwicklung der Forschungsfragen, welche komplett ohne Einfluss von Prof. Dopplinger sowie der Forscherin in kürzester Zeit in beiden Gruppen gelang. Das erfolgreiche Absolvieren dieser Kernaktivität von „Hot Vents“ überraschte durchaus, da im Vorfeld doch einige Zweifel bestanden, ob der zeitliche Rahmen für Denkprozesse dieses Ausmaßes lang genug wäre. Faktoren für diesen reibungslosen Ablauf könnten darin bestehen, dass die SchülerInnen der Klasse 7B sehr kreativ und mit solchen Anforderungen schon vertraut sind. Weiters darf auch nicht übersehen werden, dass das Videomaterial von sich aus schon viele Fragestellungen nicht zulässt, da das zu beobachtende Verhalten der Tiere in diesen dezimiert ist. Dadurch könnte man auch annehmen, dass es den SchülerInnen so leichter gefallen ist, auf eine Forschungsfrage zu kommen, als wenn das Themenfeld breiter angelegt gewesen wäre.

3. Einheit:

Datum: 16.5.2012: Doppelstunde: von 13:50 bis 15:30

In der 3. Einheit von „Hot Vents“ konnte nun mit der Videoanalyse begonnen werden. An dieser Stelle soll die Herkunft des Materials erklärt werden. Für das „Hot Vents“ wurden von Prof. Monika Bright, Professorin am Institut für Meeresbiologie der Universität Wien, Videos zur Verfügung gestellt. Die Aufnahmen stammen von mehreren Forschungsreisen des Teams rund um Prof. Bright zu den mittelozeanischen Rücken im Ostpazifik. Im Zuge der Cruises wurden Tauchgänge mit dem U-Boot „Alvin“ unternommen, welche am East Pacific Rise im geographischen Bereich von 9°50' N und 104°17' W stattfanden. An diesen Koordinaten liegt ein Hydrothermalquellenfeld namens Tica, welches durch die rege vulkanische Aktivität in diesem Bereich entstanden ist.

Das Videomaterial zu gleichen Teilen unter beiden Forschergruppen verteilt und umfasste pro Gruppe zirka 4 Stunden Bildmaterial, wobei die relevanten Szenen für die Beobachtung nur einen Bruchteil dieser Zeit ausmachten. Zum Einen wurde Videomaterial ausgehändigt, welches beide Gruppen verwendeten, zum Anderen wurden für jede Gruppe spezielle Videos bereitgestellt. Diese Vorselektion der Videos wurde von der Forscherin, welche das „Hot Vent“ begleitete, durchgeführt.

Formale Daten der Videos von Prof. Bright:

Video: Alvin Dive # 4469 03. November 2008 (East Pacific Rise, Tica Vent)

Video: Alvin Dive # 4575 17. Dezember 2009 (East Pacific Rise, Tica Vent)

Video: Alvin Dive # 4580 23. Dezember 2009 (East Pacific Rise, Tica Vent)

Die Tauchgänge des U-Boot Alvins dauerten im Schnitt 6 Stunden. Jeder Tauchgang lieferte mehrere Videosequenzen, welche durch die Nummer des Tauchgangs, Datum und Uhrzeit gekennzeichnet sind. Den SchülerInnen der 7.B wurden die Videos mittels DVDs und Datensticks ausgehändigt, im Vorfeld wurden sie schon gebeten, für die Beobachtung der Videos ihre Laptops mitzubringen, sodass genügend Computer zur Verfügung stünden. Dies stellte kein Problem dar, da es sich bei der 7.B um eine Laptopklasse handelt.

Im folgenden Abschnitt wird nun darauf eingegangen, wie die einzelnen Gruppen die Videoanalyse gestartet haben.

Krabben-Gruppe (*Bythograea thermydron*)

Die SchülerInnen der Gruppe, welche die Schlotkrabbe *Bythograea thermydron* erforschte, werteten 9 Videos aus und einigten sich bezüglich des Videomaterials so, dass bis auf eine Zweiergruppe jeder allein ein Video auswertete, trotz unterschiedlicher Länge der Videosequenzen. Dann wurde jedes Video zur Kontrolle noch einmal von einer/m anderen Schülerin/Schüler angeschaut. Die Kontakte, die

im Umkreis von 2 Körperlängen der Krabben stattfanden, wurden in den Beobachtungsraster eingetragen, der folgende Analysekategorien enthielt:

- Zahl der Kontakte absolut und in Prozent
- Zahl der intraspezifischen Kontakte absolut und in Prozent der Gesamtmenge der Kontaktsituationen
- Zahl der interspezifischen Kontakte absolut und in Prozent der Gesamtmenge der Kontaktsituationen
- Zahl der intraspezifischen Kontakte nach Bewegungsänderung („hin“...auf das andere Lebewesen zu, „weg“...vom anderen Lebewesen weg, „nichts“...keine Reaktion)
- Zahl der interspezifischen Kontakte nach Bewegungsänderung („hin“...auf das andere Lebewesen zu, „weg“...vom anderen Lebewesen weg, „nichts“...keine Reaktion)
-

Riesenröhrenwurm-Gruppe (*Riftia pachyptila*)

Die Gruppe mit dem Thema Riesenröhrenwurm *Riftia pachyptila* erhielt ebenfalls 9 unterschiedlich lange Videoaufnahmen, welche auf die einzelnen SchülerInnen aufgeteilt wurden. Bis auf zwei Zweierteams arbeitete der Rest der Gruppe jede/r für sich allein. Um die Daten für die gestellten Forschungsfragen zu gewinnen, entschied sich die Gruppe dafür, pro Video 5 Würmer über einen Zeitraum von 5 Minuten zu beobachten. Davor wurde jedoch noch der Beobachtungsraster entworfen, welcher im Gegensatz zum Raster der anderen Gruppe in Excel als Tabelle erstellt wurde und als einheitliche Vorlage zum Eintragen der Daten für alle Mitglieder der Gruppe vorgesehen war, um später das Zusammentragen der Daten zu erleichtern. Die Tabelle wurde auf einem Laptop gemeinsam entworfen und dann von allen GruppenteilnehmerInnen mittels Datenstick auf die restlichen Computer kopiert. Die Beobachtungsmatrix bestand aus 2 Tabellen mit folgenden Analysekategorien:

- Zahl der Rückzüge von 5 Würmern innerhalb von 5 Minuten in 15 Sek-Abständen
- Verweildauer des Wurmes in die Röhre (Zeitraum zwischen Rückzug in Röhre und erneutes Herauskommen)
- Grund des Rückzuges der beobachteten Würmer („Grund nicht ersichtlich“, „Krabbe“, „Aalmutter“, „Wurm“, „Roboterarm des U-Booters“ und „andere physische Reize“) in 15 Sek.- Abständen

Während dieser Einheit arbeiteten die SchülerInnen beider Gruppen sehr selbstständig, offen gebliebene Fragen wurden meist innerhalb der eigenen Gruppe beantwortet. Die Koordination der Beobachtung erschien sehr erfolgreich. Während der Videobeobachtung wurde in beiden Gruppen lebhaft kommuniziert, richtig ruhig

wurde es nie. Viele SchülerInnen pralten laut mit ihren gerade erst gewonnenen Ergebnissen, andere wiederum stöhnten, weil in ihrem Video kaum etwas passierte.

Während dieser 3. Einheit, welche im Zeichen der Videoanalyse stand, hatten die Studierenden auch dazwischen die Möglichkeit, tote Objekte von *Bythogrea thermydron* und *Riftia pachyptila* unter dem Mikroskop bzw. unter dem Binokular zu begutachten. Die Objekte stammten aus der Sammlung von Prof. Bright, welche sie von den verschiedenen Cruises mitgebracht hatte, und waren in 100%-igem Alkohol eingelegt. Hier wurde den SchülerInnen keine Aufgabenstellung vorgegeben; die 2 Schauobjekte dienten dazu, ihnen die im Video gezeigten Tiere näher zu bringen.

4. Einheit

Datum: 21.5.2012: Doppelstunde von 13:50 bis 15:30

In der 4. Einheit konnten die SchülerInnen ihre Videoanalysen fortsetzen sowie beenden. Bei der Datenaufnahme kam es bei der Gruppe, welche *Riftia pachyptila* beobachtete, noch zu einer Änderung: Es wurde die Beobachtungszeit für jeden einzelnen Wurm von 5 Minuten auf 3 Minuten herabgesetzt, da sich im Laufe des Arbeitsprozesses herausstellte, dass ein Wurm oftmals nicht ganze 5 Minuten im Video zu sehen war. Dieser neue Zeitrahmen bewährte sich.

Bei der Sammlung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass die Krabben-Gruppe, welche nur mit Rastertabellen auf Papierblättern arbeitete, um vieles schneller war als die Röhrenwurm-Gruppe mit ihren Excel-Files, welche erst zusammengefügt werden mussten.

Danach versuchten die SchülerInnen sich mit den Endergebnissen ihrer Beobachtungen genauer zu beschäftigen und begannen Mittelwerte zu bilden und Absolutwerte in Prozentwerte umzurechnen, um den Antworten auf ihre Forschungsfragen näherzukommen. Bei den Berechnungen wurde innerhalb der Gruppen viel diskutiert, da sich die Jugendlichen nicht immer einig waren, welche Berechnung richtig und welche falsch war. An diesem Punkt des Projekts merkte man deutlich, welche SchülerInnen sich wirklich auf das Forschende Lernen eingelassen hatten und wirklich mit viel Emotionen und Eifer arbeiteten und welchen der Ausgang der Verhaltensbeobachtung eher gleichgültig war.

Ein weiterer Programmpunkt des Forschenden Lernens in dieser 4. Einheit war die Herstellung von Proben, welche an der Universität Wien im Rasterelektronenmikroskop begutachtet werden konnten. Hierfür standen tote Objekte (2x *Riftia pachyptila* und 2x *Bythogrea thermydron*), welche in 100%-igem Alkohol eingelegt waren zur Verfügung und jede Gruppe hatte die Aufgabe durch Sezieren kleine Proben herzustellen. Die Herausforderung dabei war die Auswahl geeigneter Teile für die REM. Diese Teile wurden nach dem Sezieren in einem Labor

der Universität Wien zu Proben modifiziert. Die Gruppe mit *Riftia pachyptila* entschied sich dafür, die Oberflächenstruktur der Filterorgane und des Trophosomes des Wurmes genauer unter die Lupe zu nehmen. Die Gruppe mit *Bythogrea thermydron* entschied sich für einen genaueren Blick auf die Augen und die Kiemen der Krabbe.

5.Einheit

Datum: 4.6.2012: Besuch an der Universität Wien, Althanstraße, Biozentrum von 14:00 bis 17:00

Die wesentlichen Schwerpunkte von „Hot Vents“ lagen im Erstellen von Forschungsfragen und Beobachtungsrastern sowie der Videoanalyse und deren Interpretation. Es wurde versucht, den TeilnehmerInnen im kleinen Rahmen die Möglichkeit zu geben zu forschen und eigene Erkenntnisse zu gewinnen. Als Nebenprogramm wurden die SchülerInnen an der Universität Wien im Biozentrum Althanstraße empfangen und konnten einen Nachmittag lang Labors und Arbeitsplätze von WissenschaftlerInnen zu beobachten. Während des Laborbesuchs hatten die SchülerInnen die Möglichkeit, Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von den erstellten Proben anzufertigen. Diese Chance bietet sich oft nicht einmal StudentInnen des Regelstudium und war wirklich etwas ganz Besonderes für die GymnasiastInnen. Sie wurden im Labor von Prof. Bright und StudentInnen, die bereit waren, sie in die Benutzung eines Rasterelektronenmikroskops einzuführen, empfangen.

Auch während dieses Besuches arbeiteten die zwei Gruppen jeweils für sich in getrennten Räumen und jeder Gruppe stand ein eigenes Elektronenmikroskop zu Verfügung. Eine Mitarbeiterin des Labors erklärte ihnen den genauen Ablauf der Probenoperationalisierung zuerst theoretisch dann praktisch. Die winzigen Proben der Haut und des Trophosomes des Riesenröhrenwurmes und der Kiemen der Schlotkrabbe wurden, nachdem sie schon vorher getrocknet worden waren, auf kleine Probentische geklebt. Die Proben werden danach mit einer hauchdünnen Goldschicht überzogen, wobei sich die Goldpartikel erst durch das Herstellen eines Vakuums an die Probe anlegten. Jegliche Restfeuchtigkeit in der Probe wird mittels eingepumpten Argongases entfernt. Schließlich werden die Proben in das REM eingefügt, und durch die Wechselwirkung zwischen Elektronenstrahl und Probe ergibt sich die vergrößerte, detailscharfe Abbildung der Oberflächenstrukturen. Zusammen mit den StudentInnen produzierten die GymnasiastInnen beeindruckende Aufnahmen der Oberflächenstrukturen von *Riftia* und *Bythogrea*.

Prof. Bright war den ganzen Nachmittag anwesend und bereit, SchülerInnenfragen zu beantworten. Jedoch wurde das Angebot von den SchülerInnen kaum genutzt. Grund dafür könnte sein, dass die jugendlichen Gäste ihre Aufmerksamkeit auf die

computergestützten Elektronenmikroskope richteten und jede/r versuchte an die Reihe zu kommen, um das Gerät selbst zu bedienen.

6. Einheit

Datum: 11.6.2012: Doppelstunde von 13:50 bis 15:30

In der letzten Einheit zum Forschenden Lernen ging es um die von den SchülerInnen gewonnenen Ergebnisse, welche von beiden Gruppen präsentiert wurden. Beide Gruppen präsentierten ihre Daten mittels Powerpoint durch eine(n) GruppensprecherIn. Außerdem verfasste jede Gruppe eine kleine schriftliche Arbeit, in der Forschungsfragen, Vorgangsweise der Videoanalyse, Ergebnisse und Interpretation zum beobachteten Organismus dargestellt wurden. Die Präsentationen der einzelnen Gruppen dauerten jeweils nicht länger als 5 bis 10 Minuten.

Präsentation Gruppe Riesenröhrenwurm

Die Präsentation umfasste nur die Darstellung der Ergebnisse sowie deren Interpretation. Für eine außenstehende Person, welche über das Projektthema nicht Bescheid wusste, hätte die Präsentation für das Verständnis nicht ausgereicht. Das wurde der Gruppe im Feedback vom Biologielehrer auch mitgeteilt. Die Präsentation hätte u.a. auch die Methode, wie die Gruppe zu den Ergebnissen gekommen ist, beinhalten sollen.

Die Präsentation bestand aus 2 Tortendiagrammen, wobei das eine Diagramm den prozentuellen Anteil des Rückzugsgrundes darstellte. Es vermittelte, welche Art von Reiz am häufigsten zu einem Rückzug des Wurms in seine Röhre geführt hat. In etwa der Hälfte (47% entspricht 24 Würmern) der Fälle war der Grund aus dem Video nicht ersichtlich. In 37% (entspricht 19 Würmern) der Fälle war der Auslöser der Roboterarm des U-Bootes. 14% (entspricht 7 Würmern) zogen sich aufgrund einer Krabbe zurück. Die restlichen 2% (entspricht 1-em Wurm) reagierten auf einen weiteren Wurm mit Rückzug.

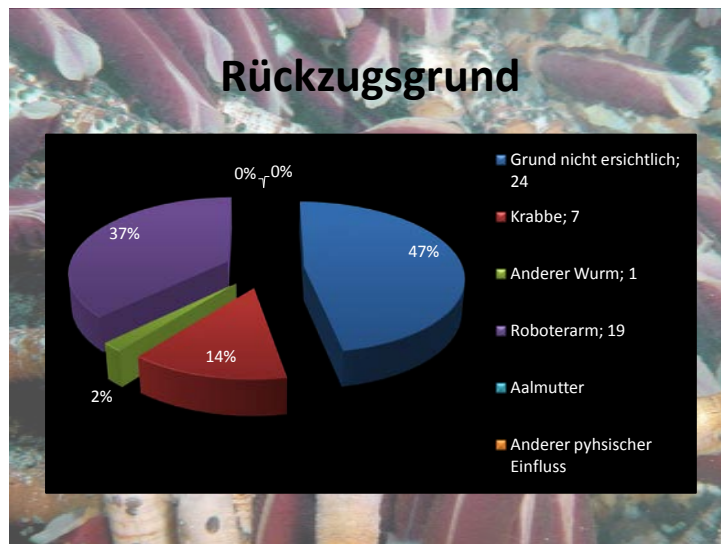


Abb.10: Tortendiagramm 1 Gruppe Riesenröhrenwurm

Das zweite Tortendiagramm sollte, gesondert nach Rückzugsgrund, die jeweilige Verweildauer des Wurmes in der Röhre darstellen. Hierbei kam heraus, dass die durchschnittliche Verweildauer in der Röhre bei keinem ersichtlichen Grund 15sek, bei Berührung mit dem Roboterarm 35sek, bei der Begegnung mit einer Krabbe 45sek und bei der Begegnung mit einem anderen Wurm 66 sek ausmachte.

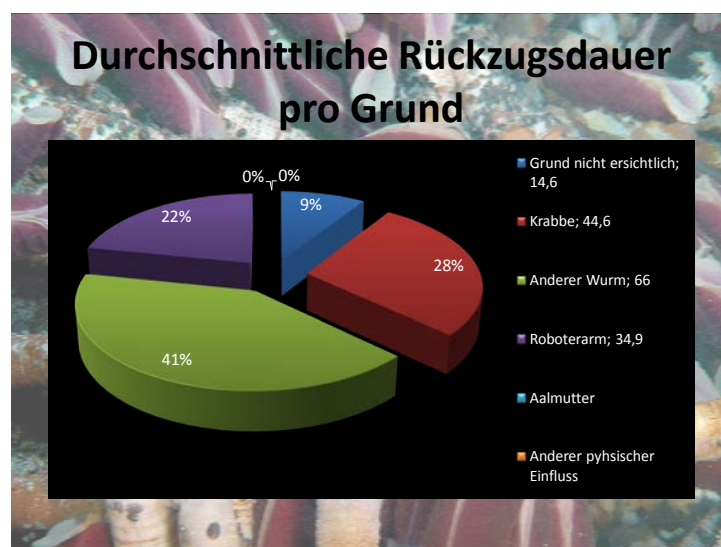


Abb. 11: Tortendiagramm 2 Gruppe Riesenröhrenwurm

Die SchülerInnen der Gruppe *Riftia* interpretierten interpretierten das Ergebnis so, dass das Rückzugsverhalten stark mit der Reizart und Reizstärke korreliert, wobei die Reizstärke nicht genauer erforscht werden konnte. Der Roboterarm des U-Boots stellt laut Gruppe nicht nur einen der stärksten Reize dar, sondern ist auch ein Störfaktor, welcher nicht Teil der natürlichen Umgebung von *Riftia pachyptila* ist. Das Rückzugsverhalten aus ungeklärten Gründen könnte laut den SchülerInnen mit Temperaturschwankungen oder Wasserwirbeln zusammenhängen. Weiters vermutete die Gruppe, dass der Grund für eine steigende Verweildauer des Wurmes

in der Röhre nach mehrmaliger Reizung eine Sensitivierung ist. Mit Sensitivierung beschrieben die Schülerinnen und Schüler eine Erhöhung der Aufmerksamkeit.

Präsentation Gruppe Schlotkrabbe- *Bythogrea thermydron*

Bei dieser Präsentation wurden Forschungsfrage und Ergebnisse vorgestellt. Aber auch hier wurde auf eine Einführung in Material und Methode verzichtet. Die Daten wurden mit einem Tortendiagramm und 2 Säulendiagrammen aufbereitet. Das Tortendiagramm zeigte, dass 93% aller Kontakte von Krabben im Umkreis von 2 Körperlängen intraspezifischer Art sind, also *Bythogrea thermydron* trifft auf *Bythogrea thermydron*. Nur 3 % der Kontakte sind interspezifischer Art, in absoluten Zahlen sind das 28 Konfrontationen von 356.

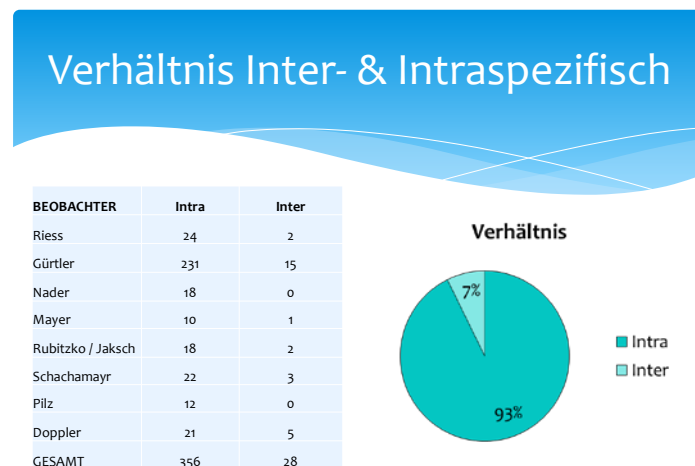


Abb. 12: Tortendiagramm 1 Gruppe Schlotkrabbe

Die Reaktionen der Krabben bei Kontakten wurden mittels Säulendiagrammen dargestellt, getrennt nach intra- und interspezifischen Kontakten. Die Ergebnisse der intraspezifischen Kontakte ergaben, dass in rund der Hälfte der Fälle (= 49%) die Krabben aufeinander zugehen, in 25 % der Fälle sich voneinander wegbewegen und in 26% der Fälle keine Reaktion stattfindet.

Reaktion auf Intraspezifischen Kontakt

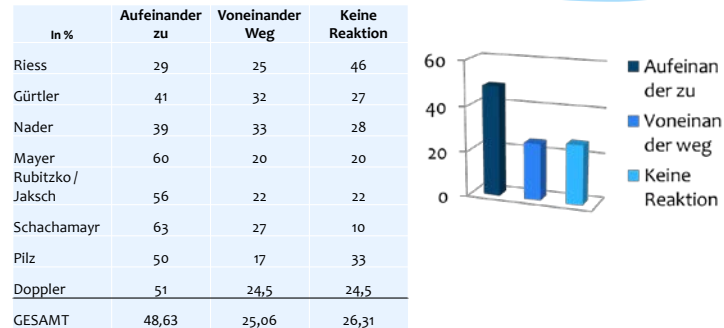


Abb. 13: Säulendiagramm 1 Gruppe Schlotkrabbe

Bei Konfrontationen interspezifischer Art bewegten sich die Krabbe und andere Organismen in 71% der Fälle aufeinander zu, in 21% der Fälle voneinander weg und in 8% der Fälle war keine Reaktion ersichtlich.

Reaktion auf Interspezifischen Kontakt

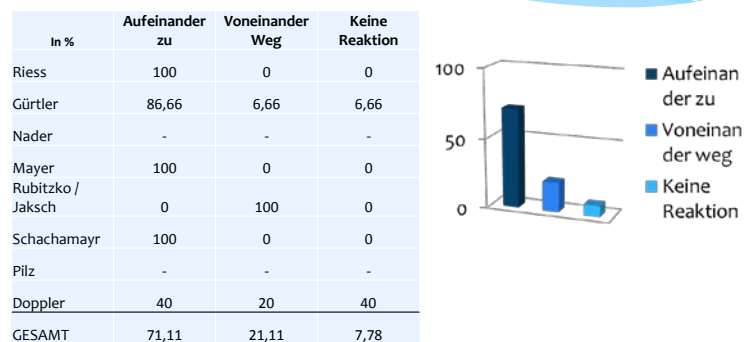


Abb. 14: Säulendiagramm 2 Gruppe Schlotkrabbe

Die SchülerInnen der Gruppe *Bythogrea thermhydrion* interpretierten die Ergebnisse so, dass Schlotkrabben in den meisten Fällen auf Artgenossen zusteuern, Gründe hierfür könnten Territoriumsverteidigung und Rivalkämpfe sein. Bei interspezifischem Kontakt bewegten sich die Schlotkrabben hauptsächlich auf die anderen Lebewesen zu. Ein Grund dafür ist laut SchülerInnen, dass die meisten interspezifischen Kontakte mit Röhrenwürmern erfolgten, weil sie sich von diesen ernähren.

Nach den Präsentationen diskutierten beide Gruppen und Prof. Dopplinger im Plenum über weitere Möglichkeiten und Ideen der Verarbeitung der gesammelten Daten.

Die Schülerinnen und Schüler der 7.B werden voraussichtlich, auch wenn mit dieser Einheit das Projekt „Hot Vents“ endete, auch noch nach den Sommerferien weiter an den gewonnenen Daten arbeiten, denn sie wollen ihre Forschungsarbeit LehrerInnen und Eltern präsentieren.

6.2. Analyse der Forschungsaktivitäten der SchülerInnen in der Lernumgebung „Hot Vents“ und ihre Bedeutung für die Gestaltung der Lernumgebung

In diesem Kapitel wird anhand der gesammelten Daten aus dem „Hot Vents“-Projekt versucht, durch die forschenden Tätigkeiten und Vorgehensweisen der SchülerInnen die Qualität der Lernumgebung „Hot Vents“ zu evaluieren. Hierfür wurden die Leistungen der SchülerInnen in Beziehung zu Vorgehensweisen von WissenschaftlerInnen der Verhaltensbiologie gesetzt und auf ähnliche Arbeitsweisen hin überprüft. Für die Bewertung der Lernumgebung des forschenden Lernens wurde herausgearbeitet, bei welchen forschenden Handlungen die SchülerInnen selbstständig zu wissenschaftlichen Vorgehensweisen und Problemlösungen gekommen und an welchen Punkten des Forschungszyklus sie an ihre Grenzen gestoßen sind und eine stärkere Hilfestellung durch das Lehrpersonal oder eine Veränderung der Lernumgebung nötig gewesen wäre.

Die Schülerleistungen werden in dieser Analyse nach einzelnen Elementen des wissenschaftlichen Arbeitens während „Hot Vents“ diskutiert. Zuerst wird für jede forschende Tätigkeit die Aufgabenstellung während „Hot Vents“ dargestellt, dann werden getrennt voneinander das Vorgehen der SchülerInnen während „Hot Vents“ und das theoretische Vorgehen von VerhaltensbiologInnen charakterisiert. Abschließend soll aus dem Vergleich der Arbeits- und Denkweisen beider Perspektiven eine Beurteilung der Lernumgebung „Hot Vents“ erfolgen.

Entwicklung von Forschungsfragen

Das Entwickeln von Forschungsinteressen stellt die Basis jeglicher wissenschaftlicher Arbeit dar. Forschungsfragen entwickeln sich am Anfang eines Forschungszyklus oder auch später während der Auseinandersetzung mit einem Forschungsobjekt. In der Schule sind Forschungsfragen im Zuge eines Experiments oder Projekts meistens vorgegeben, den SchülerInnen wird selten die Möglichkeit geboten, ihre eigenen Interessen einzubringen [13].

Im Zuge von „Hot Vents“ wurde von den SchülerInnen das Entwickeln von Forschungsfragen als explizite Aufgabenstellung gefordert. Nachdem die SchülerInnen einen Vortrag über Hydrothermale Quellen und ihre Fauna gehört hatten, wurde ihnen ein Impulsvideo gezeigt, welches ihnen einen ersten Eindruck über das ihnen zur Verfügung stehende Datenmaterial für die anschließende Videoanalyse vermitteln sollte. Danach wurde von jeder Forschergruppe verlangt, Forschungsfragen zu ihrem Schlotorganismus zu sammeln, wobei das Beispielvideo den Studierenden helfen sollte, ihre Fragestellungen auf überprüfbare und mittels Videomaterial beantwortbare Forschungsfragen einzugrenzen.

Das Sammeln der Forschungsinteressen gelang beiden Schülergruppen im vorgegeben Zeitrahmen und wurde ohne Hilfestellung durch die LehrerInnen durchgeführt. Die Tabelle 2 zeigt die gesammelten Forschungsfragen, welche in der einen Gruppe erfragen, warum/ aus welchem Grund ein Röhrenwurm sich in seine

Röhre zurückzieht und wie lange er dort verweilt. Die zweite Forschungsgruppe interessierte sich dafür, wie Schlotkrabben auf soziale Kontakte reagieren.

Gruppe *Rifitia pachyptila*- Riesenröhrenwurm (10 SchülerInnen)

„Wie oft zieht sich der Wurm zurück?“

„Auf welchen Reiz zieht er sich zurück?“

„Wie lange bleibt der Wurm in der Röhre, nachdem er sich zurückgezogen hat?“

„Wie stark muss der Reiz sein, damit sich der Wurm zurückzieht?“

Gruppe *Bythograea thermydron*- Schlotkrabbe (10 SchülerInnen)

„Mit welcher Bewegungsrichtung reagieren Schlotkrabben im Lebensraum der Umgebung Hydrothermaler Quellen bei intra- und interspezifischem Kontakt (beginnend ab einem kleineren Abstand als 2 Körperlängen der Krabbe)?“

Tab. 2: Forschungsfragen der 2 Forschungsgruppen

Auch in der verhaltensbiologischen Forschung wird vor dem Formulieren von expliziten Forschungsinteressen zuerst eine Auseinandersetzung mit dem Thema gefordert, da man davon ausgeht, dass Vorwissen über ein Themenfeld bei der Fragenbildung als Anhaltspunkt dient und prinzipiell die/ der ForscherIn sich vor dem Entwurf einer Forschungsarbeit in die Literatur einliest und sich mit FachkollegInnen der scientific community über das Thema austauscht [48], [49]. Auch der erste Kontakt mit dem Datenmaterial in Form des Beispielvideos wurde im Zuge der verhaltensbiologischen Methodik als „Vorbeobachtungen“ eingeordnet werden, welche sich als sinnvoll für die anschließende Datensammlung erweisen [48]. Beim Formulieren der Forschungsinteressen überwiegen anfangs Fragen wie: Was, Wie, Warum, Wann, Wer und Wo [49].

Die von den SchülerInnen entwickelten Fragestellungen sind einfach und präzise und korrelieren mit dem Vorgehen der verhaltensbiologischen Forschung, da man hier die vollständige Bearbeitung weniger Verhaltensweisen oder Parameter einer ungenauen, oberflächlichen Bestimmung vieler Parameter vorzieht [49]. Das problemlose Formulieren von sinnvollen und bearbeitbaren Forschungsfragen durch die Studierenden wurde auch durch die vorliegende Lernumgebung unterstützt, welche durch vorab Inputgabe zum Thema und Beispielvideo das Sammeln der Forschungsfragen steuerte. Besonders gut funktioniert hat das vorherige Sichten des Datenmaterials durch das Impulsvideo, denn dadurch wurde eine mögliche Fragenflut der SchülerInnen begrenzt und die Auswahl der endgültigen Forschungsfragen konnte innerhalb des vorliegenden Zeitrahmens getroffen werden.

Hypothesenbildung

Im weiteren Verlauf einer verhaltensbiologischen Untersuchung würde es nun zur Formulierung von Hypothesen durch die WissenschaftlerInnen kommen. In diesem wichtigen Schritt der Forschung werden Vermutungen und Erwartungen unter wissenschaftlichen Kriterien an die Untersuchung gestellt. Eine große Rolle spielt hier die gedankliche Verknüpfung von schon Erforschtem, also Inhalte, welche schon in der Literatur vorliegen, und dem Untersuchungsgegenstand der Studie. In der Lernumgebung „Hot Vents“ wurden die SchülerInnen nicht extra dazu angehalten, Hypothesen zu ihren Forschungsfragen zu entwickeln, obgleich sie dennoch als wichtiger Schritt des naturwissenschaftlichen Forschungszyklus besprochen wurden.

Es zeigte sich, dass die SchülerInnen aus eigenem Handeln heraus keine Hypothesen formulierten, dies bestätigen die schriftlichen Arbeiten beider Forschungsgruppen. Für die weitere Arbeit am Projekt sahen die betreuende Wissenschaftlerin sowie die leitende Studentin kein Problem darin, die Videoanalyse und ihre Auswertung nur auf Basis der von den SchülerInnen gestellten Forschungsfragen durchzuführen. Im Falle der Schülergruppe, welche *Riftia pachyptila* beforschte, wurden erst nach der Beobachtung des Videomaterials und der anschließenden Interpretation ihrer aufgenommen Daten Hypothesen formuliert.

Hypothesen in der Arbeit zu *Riftia pachyptila*- Riesenröhrenwurm

„Da beispielsweise keine Informationen über die Temperatur vorliegen, lässt sich auch nicht feststellen, ob scheinbar grundloses Zurückziehen nicht in Wirklichkeit aufgrund von Temperaturschwankungen geschah.“

„Die weitaus größte Störung ist allerdings der Roboterarm. Dieser tritt nicht nur im Habitat der Riftia nicht auf und erschwert so die Beobachtung deren natürlichen Verhaltens, es ist auch durchaus möglich, dass er zum Beispiel Wasserwirbel erzeugt, die sonst nicht auftreten würden.“

Tab. 3: Nachträglich formulierte Hypothesen der Gruppe Riesenröhrenwurm

Auch in der verhaltensbiologischen Literatur ist beschrieben, dass Hypothesen prinzipiell nicht immer gleich am Anfang einer Untersuchung generiert werden müssen, da sie sich oftmals erst durch die Beobachtung der Organismen ableiten [49].

In dieser Phase dieses wissenschaftlichen Forschungszyklus zeigte sich, dass die SchülerInnen ohne dezidierte Aufgabenstellung durch den Projektplan Vermutungen und Erwartungen an ihr Forschungsinteresse nicht als Hypothesen formulierten. Wie oben schon erwähnt, kann authentisches Forschendes Lernen nicht immer alle Schritte wissenschaftlichen Arbeitens beinhalten, jedoch müsste man in diesem Fall, das Modell „Hot Vents“ ausreifen um den SchülerInnen das Entwickeln von Hypothesen näherzubringen. Die Auseinandersetzung mit dem Forschungsinteresse

müsste durch eine Veränderung der Lernumgebung in Gang gesetzt werden, das Sammeln der Hypothesen könnte etwa als Gruppendiskussion im Plenum der ganzen Klasse und ihrer LehrerInnen stattfinden.

Entwickeln von Studiendesign und Methodik

Authentisches forschendes Lernen sieht als eine weitere Kernaufgabe wissenschaftlichen Arbeitens das Planen der Durchführung der Datenaufnahme einer Studie. Chinn & Malhotra beklagen die derzeit in der Schule für die SchülerInnen vorgefertigten Anleitungen für Forschungsaufgabenstellungen oder Experimente und sehen dringenden Bedarf darin, dass die Studierenden selbst über die Auswahl der zu beobachtenden Variablen, Methoden und Modelle ihrer Messungen, im Sinne des authentischen wissenschaftlichen Arbeitens, entscheiden [13].

Die Stichprobe

Bevor nun das Forschungsdesign beider Schülergruppen im Detail diskutiert wird, soll an dieser Stelle noch angemerkt werden, dass im Zuge des Projekts die Stichprobenzahl der Beobachtungen frei von den SchülerInnen gewählt wurde. Ob die Anzahl der untersuchten Objekte bei beiden Gruppen nach wissenschaftlichen Kriterien repräsentativ war, wurde nicht weiter thematisiert. Im Allgemeinen geht man davon aus, dass mit steigender Stichprobenanzahl normalerweise bei Untersuchungen die allgemeine Aussagekraft der Daten bis zu einem gewissen Wert steigt, ab welchem dann die Beweisstärke der gesammelten Ergebnisse gleich bleibt. Die SchülerInnen schenken der Stichprobenzahl während des Projekts kaum Beachtung, sie wurde nicht weiter in den beiden Forschungsgruppen diskutiert. Da im Zuge von „Hot Vents“ jedoch nach der Datenaufnahme nur eine deskriptive Statistik angewendet wurde, hatte die Stichprobengröße keinerlei Einfluss auf den Ausgang der Untersuchung [49].

Forschungsdesign und Methodik der Videoanalyse zu *Riftia pachyptila* und *Bythograea thermydron*

Das Hauptaugenmerk der forschenden Tätigkeiten während „Hot Vents“ lag auf der Videoanalyse echter Bildaufnahmen aus der Tiefsee. Die SchülerInnen beider Gruppen bekamen die Aufgabenstellung, mittels neun ausgehändigter Videos über Hydrothermale Quellen, Daten zur Beantwortung ihrer Forschungsfragen zu sammeln. Hierfür wurde von ihnen verlangt, selbständig ein Design für die Beobachtung des Videomaterials in der Gruppe zu entwickeln, welches eine sinnvolle Methodik beinhaltet. Dabei wurde von den SchülerInnen auch das Erstellen von tabellarischen Protokollierbögen erwartet.

Forscherguppe *Rifita pachyptila*

Die SchülerInnen entschieden sich bei der Analyse der neun Videos, das Rückzugsverhalten der Würmer anhand einzelner Tieren zu beobachten, wobei pro Video 5 Würmer einzeln je 3 Minuten beobachtet wurden. Die genaue Stelle, an der die 3-minütige Beobachtung stattfand, wurde frei von den SchülerInnen gewählt, sie beinhaltete in allen Fällen das erwünschte Verhaltensmuster „Rückzug des Wurmes in seine Röhre“. Die quantitative Datenaufnahme erfolgte mithilfe zweier Excel-Tabellen, wobei in der Ersten Einsetzen und Enden des Verhaltensmusters registriert wurde (Abb. 15), sozusagen die Dauer des Verhaltenselementes. In der zweiten Tabelle (Abb. 16) wurden die Häufigkeit und der Grund für das Verhaltensmuster eingetragen.

	W1	W2	W3	W4	W5	
0	x		x	x	x	
15						
30						
45	x(44s)	x				
60				x(54s)		
75		x(34s)				
90				x		
105	x					
120	x(14s)			x(20s)		
135						
150						
165	x	x		x		
180	x(17s)	x(17s)	x(178s)	x(17s)	x(170s)	
	25	25,2	178	30,3	170	85,6

Abb. 15: Tabelle Rückzugsverhalten der Gruppe Riesenröhrenwurm

	Grund nicht ersichtlich	Krabbe	Aalmutter	Wurm	andere physische Reize	Roboterarm	
0	0	1	0	0	0	0	3
15	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	1
60	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0
90	0	1	0	0	0	0	0
105	0	1	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0
165	0	0	0	0	0	0	3
180	0	0	0	0	0	0	0
		3					2
							85,6 pro 3 mal Krabbe und 7 mal Roboterarm

Abb. 16: Tabelle Auslöserreize Gruppe Riesenröhrenwurm

Die Erstellung der Excel-Tabellen wurden von den SchülerInnen äußerst fachmännisch gehandhabt, denn für verhaltensbiologische Protokollierbögen existieren keine Vorlagen und so haben sie selber passende Tabellen entwickeln müssen. Das Zusammenfügen aller gesammelten Daten entpuppte sich laut SchülerInnen trotz der für alle gleichen Vorlage als sehr zeitintensiv.

Das Vorgehen der SchülerInnen findet sich auch in der verhaltensbiologischen Literatur wieder. Das Beobachten einzelner Tiere entspricht in der Verhaltensforschung der Fokus - Methode, welche wie es auch die SchülerInnen planten, ein vorher festgelegtes Zeitmuster inklusive sinnvoller Fokussierlänge enthält [48]. Es handelt sich hier weiters um eine kontinuierliche Datenregistrierung, da jedes Einsetzen und Enden des Verhaltenselements registriert wurde [49]. Bei der quantitativen Datenaufnahme verwenden WissenschaftlerInnen der Verhaltensbiologie wie die SchülerInnen klassische Parameter wie Häufigkeit, Intervall und Raten zum Zählen von Verhaltensmustern [49].

Forscherguppe *Bythograea thermydron*

Die zweite Gruppe wollte ihre Fragestellungen rund um die intra- und interspezifischen Kontakte der Schlotkrabbe anhand von 9 Videos so erforschen, dass sie das ganze Filmmaterial ohne zeitliche Begrenzung auf das gesuchte Verhaltensmuster filterten. Die quantitative Datenaufnahme wurde mithilfe von eigens erstellten Protokollierbögen auf Papier durchgeführt, welche leider nicht mehr verfügbar sind, da die einzelnen Daten dann gesammelt in einem Excel-File der gesamten Gruppe bearbeitet wurden, und die Papierzettel der einzelnen SchülerInnen nicht aufbewahrt wurden. Die Forschungsfragen der Gruppe bezogen sich auf das Sozialverhalten der Schlotkrabbe, wobei im Falle der vorliegenden Videoanalyse das Messen von Entfernungen mittels metrischer Angaben nicht möglich war. Aus diesem Grund registrierten die Jugendlichen die Entfernung über die Kategorie der Körperlänge, indem sie einen Kontakt von zwei Krabben innerhalb der doppelten Körperlänge einer Krabbe definierten.

Die in Abbildung 16 gezeigten Excel-Tabellen enthalten die Aufschlüsselung der einzelnen Kontakte nach Bewegungsrichtungen. Die Häufigkeit des beobachteten Verhaltenselements wurde von den SchülerInnen in absoluten Zahlen sowie in Prozentwerten aufgelistet.

Schlotkrabbe		
ABSOLUT	INTRASPEZIFISCH	INTERSPEZIFISCH
AUFEINANDER ZU	155,00	21,00
VONEINANDER WEG	106,00	4,00
KEINE REAKTION	95,00	3,00
Interaktionen GESAMT	356,00	28,00

%	%
75,00	43,54
14,29	29,78
10,71	26,69

BEOBACHTET	Intra	Inter
Riess	24	2
Gürtler	231	15
Nader	18	0
Mayer	10	1
Rubitzko	18	2
Schachamayr	22	3
Pilz	12	0
Doppler	21	5
GESAMT	356	28

Bearbeitete Entfernung: Doppelte Körperlänge der Krabbe

Bearbeitung nur bei Bewegung mindestens einer Krabbe

Liste	%	Intra zu	Intra weg	Intra nix	Inter zu	Inter weg	Inter nix
Riess VTS_01_5 (beide)	Riess	29	25	46	100	0	0
Gürtler VTS_01_3	Gürtler	40,69	32,56	26,83	86,66	6,66	6,66
Nader VTS_01_3 (2)	Nader	39	33	28	-	-	-
Mayer VTS_01_3 (3)	Mayer	60	20	20	100	0	0
Rubitzko VTS_01_4	Rubitzko	56	22	22	0	100	0
Schachamayr VTS_01_4 (2)	Schachamayr	63	27	10	100	0	0
Pilz VTS_01_2	Pilz	50	17	33	-	-	-
Doppler VTS_01_3 kurz	Doppler	51	24,5	24,5	40	20	40
	Mittel	48,59	25,13	26,29	71,11	21,11	7,78

Abb. 17: Gesammelte Daten Gruppe Schlotkrabbe

In der Verhaltensbiologie wird das Filtern von Beobachtungen ohne zeitliche Begrenzung auf ein bestimmtes Verhaltensmuster „scan- sampling“ genannt, da hier eine Gruppe von Tieren auf die erwünschte Verhaltensweise beobachtet wird und dann das Auftreten dieser Verhaltensweise bei den einzelnen Individuen notiert wird [50]. Auch bei dieser Schülergruppe ist die Datenaufnahme vergleichbar mit der von VerhaltensbiologInnen angewendeten kontinuierlichen Datenaufnahme ohne bestimmte Intervall- oder Kontrolleinheiten [49]. Der soziale Fokus der Fragestellung der Schlotkrabbengruppe wird in der Verhaltensbiologie als durchaus fordernd für erste Forschungsinteressen angesehen. Laut dem Verhaltensforscher Naguib ist es besonders beim Versuch erster Datenaufnahmen sehr schwierig, das Sozialverhalten von Individuen zu beforschen, da vielschichtige Abhängigkeiten ein Verhalten porträtieren können. Um soziale Kontakte also solche zu definieren, muss man sich metrischer Entfernungsangaben bedienen, um einen Kontaktmoment zu definieren [49]. Die übliche Darstellung der aufgenommenen Daten geschieht auch in der Verhaltensbiologie durch Absolut- und Prozentwerte.

Die Verwendung von Prozentwerten, wobei 100% die Gesamtzahl aller Ereignisse darstellt, ist sehr sinnvoll, da mit diesen Werten Ergebnisse in Form von Diagrammen übersichtlich und verständlich dargestellt werden können [48].

Abschließend kann behauptet werden, dass beide Gruppen das Erstellen eines Forschungsdesigns mit dazu passender Methodik ohne jegliche Hilfestellung zustande gebracht haben. Die SchülerInnen entwickelten hier problemlos eine wissenschaftliche Vorgehensweise, welche mit der Arbeitsweise von VerhaltensbiologInnen eindeutig vergleichbar ist. Dies wird besonders bei der Beobachtungsmethode, dem Zählen der Verhaltensmuster, der Lösung von Messproblemen und der Datendarstellung deutlich. Die SchülerInnen zeichneten sich weiters durch ihr großes organisatorisches Talent in Bezug auf die Verteilung des Videomaterials innerhalb der Gruppe aus und erstellten aus eigenem Ermessen gut strukturierte, nachvollziehbare Beobachtungsprotokolle. Die Datenaufnahme war somit eine Aufgabenstellung, welche die TeilnehmerInnen forderte aber keine Hürde oder Problemsituation für sie darstellte.

Datenbearbeitung

Nachdem Daten gesammelt, übersichtlich dargestellt oder umkodiert sind, folgt prinzipiell das Auswerten anhand statistischer Berechnungen. Basierend auf der Tatsache, dass die Lernenden eingangs keine überprüfbaren Hypothesen formuliert hatten, wurde im Zuge von „Hot Vents“ von den SchülerInnen kein Anspruch auf intensivere statistische Überprüfungen von Zusammenhängen der Variablen erhoben. Die Lernumgebung ließ die SchülerInnen selber entscheiden, wie sie mit den gewonnenen Daten verfahren wollen, es wurde kein Aufgabenprofil vorgegeben.

Es wurden in beiden Forschergruppen nur Prozentanteile berechnet, Kennwerte der beschreibenden Statistik fanden sich nur einmal im Falle der Riesenröhrenwurmgruppe, welche die durchschnittliche Verweildauer des Wurmes in der Röhre berechnete und dies der Berechnung eines Mittelwertes bedurfte.

Die Verhaltensbiologie bedient sich bei der Datenauswertung wie viele andere Biowissenschaften komplexer Methoden der Statistik. Die deskriptive Statistik sieht das Darstellen von Messergebnissen in Form von Kenngrößen vor, welche das Herauslesen von wichtigen Aussagen für weitere Berechnungen ermöglichen. Die üblichen Kenngrößen der beschreibenden Statistik sind Mittelwert, Median, Streuung, Varianz oder Standardabweichung [50].

Die Datenbearbeitung konnte im Falle von „Hot Vents“ nicht aus dem Ermessen der TeilnehmerInnen heraus an wissenschaftliche Vorgehensweisen anknüpfen. Die Statistik mit ihren komplexen Berechnungen müsste durch eine stärkere „guidance“ im Zuge der Verbesserung der Lernumgebung angedacht werden. Hier müsste man in zukünftigen Lernumgebungen des Forschenden Lernens mehr Input liefern und die SchülerInnen während der Datenbearbeitung intensiver betreuen. Es würde sich hier auch eine Zusammenarbeit mit dem/der MathematiklehrerIn anbieten, da die Berechnung einfacher Kenngrößen wie Mittelwert, Standardabweichung, Median, Normalverteilung und vieles mehr im Fach Mathematik im Lehrplan stehen.

Präsentation der Ergebnisse

Zum Abschluss von „Hot Vents“ wurde von den TeilnehmerInnen verlangt, dass sie die Ergebnisse ihrer Forschung mittels Powerpointvortrag präsentierten, sowie in einer schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit festhielten. Hierbei wurden den SchülerInnen keinerlei Vorgaben gegeben, es wurde ihnen abverlangt, aus eigenem Ermessen ihre Forschungsergebnisse zu präsentieren. An dieser Stelle kann schon vorweggenommen werden, dass an diesem Punkt des authentischen wissenschaftlichen Arbeitens die TeilnehmerInnen der Lernumgebung „Hot Vents“ an ihre Grenzen stießen und die Bewältigung dieser Aufgabe ohne Hilfe der Lehrer nur teilweise gelang.

Präsentation der Videoanalyse mittels Powerpointvortrag

Beide Gruppen präsentierten ihre Forschungsarbeit mittels Powerpointfolien, welche eine Titelfolie und zwei bis vier Folien mit den Ergebnissen der Forschung in Form von Diagrammdarstellungen beinhalteten. Die Gruppe, welche das Rückzugsverhalten von *Riftia pachyptila* beforschte, zeigte zwei Tortendiagramme (siehe Abb.17), in welchen sie die gewonnenen Daten graphisch darstellten. Die Tortendiagramme waren anhand ihrer Legende durchaus verständlich, jedoch fehlten in diesem Vortrag eine Einleitung über den Modellorganismus oder den Lebensraum hydrothermaler Quellen, die Fragestellungen der Gruppe sowie die Herangehensweise ihrer Forschungsarbeit. Nach den zwei Folien, welche die Ergebnisse ihrer Forschungstätigkeit darstellten, folgten noch die nicht aufbereiteten Tabellen der Rohdaten.

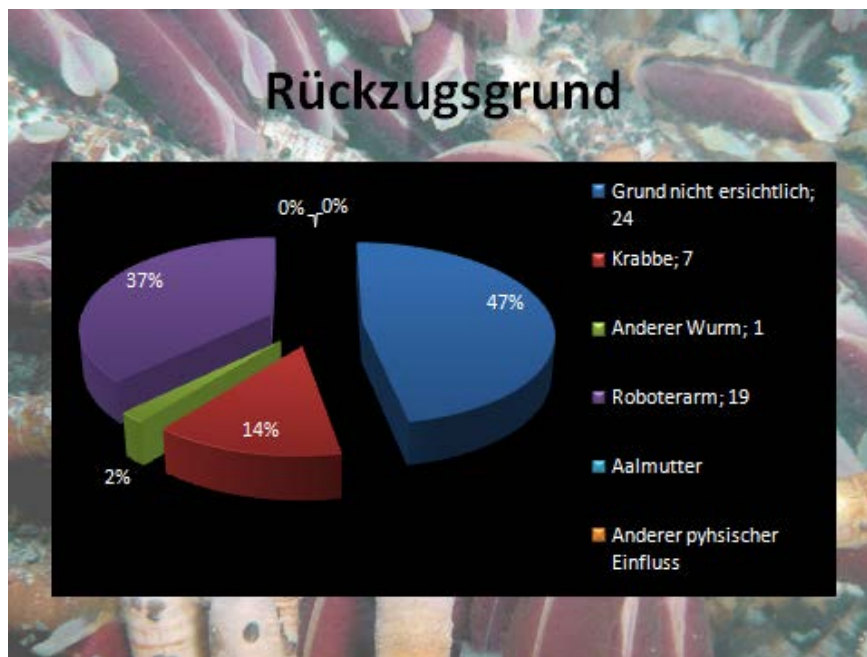


Abbildung 18: Tortendiagramm des Rückzugsverhaltens von *Riftia pachyptila*

Die SchülerInnenengruppe, welche das Sozialverhalten der *Schlotkrabbe Bythograea thermydron* unter die Lupe nahm, verriet dem Zuhörer ihre Forschungsfrage, bevor sie die Ergebnisse ihrer Forschungsarbeit mittels Säulen- und Tortendiagramm vorstellten. (siehe Abb. 18) Auch hier waren Theorie und Methodenteil nicht in der Präsentation vorhanden.

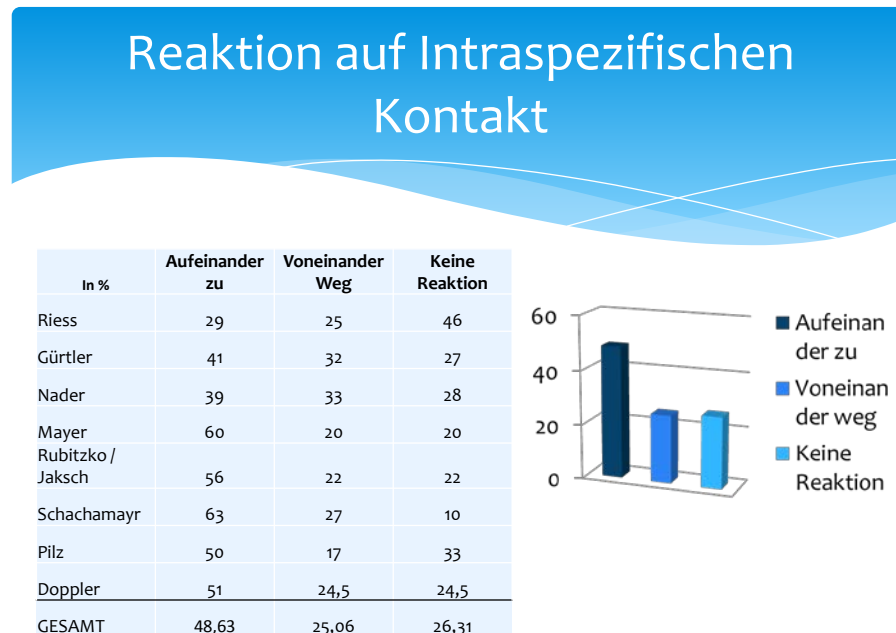


Abbildung 18: Säulendiagramm der intraspezifischen Kontakte von *Bythograea thermydron*

Das Präsentieren von Ergebnissen naturwissenschaftlicher Forschung wird in den unterschiedlichen Biowissenschaften trotz mancher Unterschiede sehr einheitlich vollzogen, deswegen wird an diesem Punkt der explizite Fokus auf die Verhaltensbiologie vernachlässigt. Bei der Wahl der Präsentation von Forschungsergebnissen in Form eines öffentlichen Vortrags folgen die WissenschaftlerInnen einer in den Naturwissenschaften üblichen Gliederung, welche zumeist eine Einführung in die Theorie, den Forschungsgegenstand, die Methodik der Forschung, die Ergebnisse und ihre Interpretation beinhaltet. Diese vielfach verschieden gestaltete Grobgliederung eines Vortrages zielt darauf ab, der/dem ZuhörerIn einen Überblick über die erforschten Erkenntnisse zu vermitteln, sodass sie diese in die bestehende Theorie einordnen können und die Art und Weise, wie die Ergebnisse gewonnen wurden, nachvollziehen können. Auf weitere wichtige Kriterien eines wissenschaftlichen Vortrags wie beispielsweise rhetorische Fähigkeiten oder Qualität der Vortragsfolien soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Die Präsentationen im Zuge von „Hot Vents“ erfüllten diese Eckpunkte eines wissenschaftlichen Vortrags nur mangelhaft. Die SchülerInnen zeigten hier, dass ihrer Meinung nach die Ergebnisse ihrer Forschung das einzig Wichtige für den Inhalt der Präsentation waren. Hier könnte man meinen, dass für die TeilnehmerInnen aus

ihren Erfahrungen im alltäglichen Unterricht Faktenwissen den höchsten Stellenwert im naturwissenschaftlichen Unterricht einnimmt. Ohne Hilfestellung durch die LehrerInnen, konnte diese einseitige Betrachtung des Wesens der Naturwissenschaften, in der Literatur als „Nature of science“ benannt, nicht erweitert werden. Um dieses Element des wissenschaftlichen Arbeitens den SchülerInnen näherzubringen und in weiterer Folge als Ziel der Lernumgebung auch die selbstständige Anwendung zu erreichen, muss das Modell „Hot Vents“ noch optimiert werden. Vorschläge wären hier etwa, dass der Projektplan vorsieht, dass LehrerInnen explizit mit den SchülerInnen auf die Gliederung eines wissenschaftlichen Vortrags eingehen. Eine weitere Möglichkeit den Schülerinnen und Schülern mehr Klarheit zu verschaffen, wäre, die am Projekt teilnehmende Wissenschaftlerin einen Vortrag über ein aktuelles Forschungsvorhaben halten zu lassen.

Aufbau der schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit

Die schriftlich verfassten Arbeiten über das Projekt „Hot Vents“ bieten eine gute Zusammenfassung darüber, wie die SchülerInnen bei der Videoanalyse vorgegangen sind, welche Ergebnisse sie sammelten und welche Schlüsse sie daraus zogen. Beide Gruppen verfassten, wie es bei wissenschaftlichen Arbeiten erwünscht ist, eine kleine Zusammenfassung/ Abstract und erklärten sehr ausführlich ihre Vorgangsweise. Besonders gut gelungen sind beiden Gruppen die explizite Trennung der Ergebnisse und ihre Interpretation. Besonders authentisch waren die Beschreibungen über die Probleme der SchülerInnen während des Forschungszyklus. Die Verbindung der bearbeiteten Forschungsfragen mit dem theoretischen Hintergrund von „Hot Vents“ konnten die SchülerInnen nicht herstellen. Beide Gruppen erwähnten mit keinem Wort ihre Modellorganismen und konnten somit ihre Forschungsergebnisse nicht in die bestehende Literatur über die zwei Organismen der hydrothermalen Quellen einbetten. Dementsprechend kam die Bedeutung der Theorie für ihre Fragestellung nicht zum Vorschein. Weiters fehlte nach der ausführlichen Darstellung der Rohdaten die dem Verständnis der/des LeserIn dienende graphische Aufbereitung der Daten, welche sozusagen die Ergebnisse der Forschungsfragen zusammenfasst. Die sich für diesen Zweck anbietenden Darstellungsformen, welche die TeilnehmerInnen für die Powerpointpräsentation erstellt haben, wurden in die schriftlichen Arbeiten nicht eingebaut. Die Arbeiten erschweren es der/dem LeserIn die Antworten auf die gestellten Forschungsfragen aus dem Text herauszulesen.

Für diesen Abschnitt gilt wie oben schon diskutiert, dass schriftlich verfasste Forschungsarbeiten wie auch ihre Präsentationen in den Naturwissenschaften einer klassischen Gliederung mit dem Ziel des Verständnisses der zentralen Aussage der Arbeit unterliegen.

Für das Verfassen von schriftlichen wissenschaftlichen Arbeiten kann nach der Analyse der Schülerleistungen angemerkt werden, dass hier das Ziel der

Lernumgebung „Hot Vents“ nicht zufriedenstellend erreicht wurde. Die Schülerarbeiten zeigten die Grenzen auf, über welche die SchülerInnen ohne zusätzliche Unterstützung durch Veränderung der Lernumgebung „Hot Vents“ nicht hinauskommen. Die für sie nicht lösbare Aufgabe, die erbrachten Forschungsergebnisse mit der bestehenden Theorie zu vernetzen, müsste hier wiederum durch das explizite Erläutern des Aufbaus einer wissenschaftlichen Arbeit durch die LehrerInnen erfolgen. Eine weitere Möglichkeit für die Weiterentwicklung der Lernumgebung wäre, ihnen mehr Raum für eigene Recherchen zum Inhalt des „Hot Vents“ zu geben, um die Verbindung zwischen Forschungsprojekt und Theorie zu entwickeln.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass die TeilnehmerInnen über ein vielfältiges Repertoire an offensichtlichen und versteckten Kompetenzen während „Hot Vents“ verfügten. An den Punkten, an denen sie an ihre Grenzen stießen, bedarf es der Weiterentwicklung der Lernumgebung, welcher sich auch das letzte Kapitel dieser Arbeit widmet. Allen in diesem Kapitel gebrachten Vorschlägen ist jedenfalls eines gemeinsam: Sie brauchen viel Zeit. Das hier besprochene Projekt „Hot Vents“ umfasste 12 Unterrichtsstunden, jedoch könnte man für etwaige Verbesserungen den Zeitrahmen durch 2-3 weitere Unterrichtsstunden erweitern. Um authentisches Forschendes Lernen noch intensiver und wirkungsvoller zu gestalten, muss man den TeilnehmerInnen genügend Zeit zur Verfügung stellen.

6.3. Analyse der Schülerrückmeldungen über das „Hot Vents“- Projekt und ihre Bedeutung für die Weiterentwicklung der Lernumgebung

Als zweites Forschungsinteresse dieser Arbeit stellte sich die Frage, inwieweit die Lernumgebung ihre gesteckten Ziele erreicht hat, wobei dies durch die Rückmeldungen der TeilnehmerInnen überprüft wurde. Die im Methodenteil der Arbeit skizzierte partizipative Forschung war grundlegend für die Beantwortung der Forschungsfrage. Für die Datensammlung wurden mit den SchülerInnen Gruppeninterviews durchgeführt, danach wurden die transkribierten Aussagen in zwei verschiedenen Kategorien ausgewertet. Auf der einen Ebene wurden Aussagen zu den einzelnen Schritten von „Hot Vents“ ausgewertet, auf der zweiten Ebene wurden weitere allgemeine Aussagen zur Lernumgebung analysiert. Im dritten Teil dieses Kapitels werden die Schülerrückmeldungen und ihre Bedeutung für die Weiterentwicklung der Lernumgebung „Hot Vents“ in Beziehung dargestellt.

Aussagen zu den einzelnen Forschungsschritten der Lernumgebung „Hot Vents“

Einführungsvortrag durch den Klassenlehrer Prof. Dopplinger

Die erste Projekteinheit, in welcher durch Prof. Dopplinger den SchülerInnen ein Orientierungswissen rund um das Thema Hydrothermale Quellen bot, wurde von den ihnen sehr unterschiedlich aufgenommen. Einerseits verlangte ihnen der von manchen als zu lang empfundene Powerpoint-Vortrag viel Aufmerksamkeit und Konzentration ab, denn er umfasste eine Fülle an Fremdwörtern, welche nach dem Vortrag wieder vergessen wurden. Für andere wiederum war der Inhalt des Vortrags eine bloße Wiederholung von schon Gehörtem. So meinten ein paar SchülerInnen, sie hätten für die Videoanalyse keinen Vortrag rund um das Thema Hydrothermale Quellen gebraucht. Einige andere hingegen fanden es durchaus hilfreich und wichtig, vor dem Forschen ein wenig mehr über das Thema zu erfahren. Besonders wichtig sei der Vortrag als Stütze beim Entwickeln der Forschungsfragen gewesen. Eine SchülerIn sagte:

„Ja also ich hab es eigentlich schon hilfreich gefunden einigermaßen um die Umgebung des Wurmes Bescheid zu wissen, bevor ich mir überlege, was ich über ihn wissen will.“

Fachwissen über die Hydrothermalen Quellen wird laut SchülerInnen auch für das Schreiben der wissenschaftlichen Endarbeit benötigt. Sie schlugen vor, die Theorie rund um die Videoanalyse selbst auszuarbeiten, um das Fachwissen länger in den Köpfen behalten zu können. Die Lernenden sind sich aber auch dessen bewusst, dass dies sehr viel Zeit in Anspruch nehmen würde.

Entwickeln und Sammeln von Forschungsfragen

Wie eben beschrieben, waren die Meinungen über die Notwendigkeit von Vorwissen für das Finden des Forschungsinteresses gespalten. Manche befürworteten die Unterstützung durch vorhandenes Vorwissen (Vortrag), andere hielten die Videos für ausreichend, um das Forschungsinteresse zu wecken und Forschungsfragen zu entwickeln. Beide Gruppen wählten einfache Forschungsfragen, welche mit den Daten aus den Videos leicht beantwortet werden konnten. Die Tatsache, dass der Forschungsbereich nur anhand des Videomaterials über die Tiere den SchülerInnen nähergebracht wurde, war also nicht für alle TeilnehmerInnen ausreichend. So meinte ein(e) SchülerIn:

„...und was mich eigentlich auch gestört hat war, dass wir die Forschungsfrage nicht so aufbauen haben können nachdem was uns interessiert hat sondern wir haben uns zuerst das Video angesehen und haben dann schauen müssen: [„Was kann man da überhaupt herauslesen?“] und dann haben wir irgendetwas genommen weil wir uns gedacht haben: [„Das könnte funktionieren.“] aber eigentlich nicht das, was uns interessiert hätte.“

Videoanalyse

Das Erstellen der Beobachtungsraster, das Notieren der Verhaltenselemente während der Videoanalyse und die anschließende Datenverarbeitung wurden von den SchülerInnen mit den Worten Ausdauer, Geduld, Konzentration und Kreativität kommentiert.

Kreativität wurde laut einer/einem SchülerIn für das Erstellen der Beobachtungstabellen benötigt, wobei die Lernenden in Bezug auf den Umgang mit dem Programm Excel meinten, der Mathematik- und Informatikunterricht des letzten Jahres sei dafür hilfreich gewesen. Prinzipiell schätzten sie die Computeranforderungen während des Projekts als eher gering, wenn es auch anstrengend und langwierig war die Daten der Gruppenmitglieder aufzunehmen, zusammenzufügen und zu bearbeiten. So meinte eine/ein SchülerIn:

„...es braucht halt sehr viel Zeit und Geduld das wirklich so zusammenzufügen und da gab es schon so Momente wo ich mir gedacht habe: [„oh, ist das anstrengend!] und [„will ich da jetzt überhaupt noch weitermachen?“].“

Die Arbeit mit den gesammelten Daten wurde von manchen Projektteilnehmern als nicht besonders fordernd eingestuft, beispielsweise meinten sie, dass die Ergebnisse der Untersuchung aus den Tabellen einfach abgelesen werden konnten. Berechnungen waren ihrer Meinung nach nicht notwendig und wenn doch, wurden sie durch ihr mathematisches Vorwissen gut gemeistert.

Die Videos, mit denen während „Hot Vents“ gearbeitet wurde, waren echtes Bildmaterial aus 3000 Metern Meerestiefe und dementsprechend manchmal von der

Auflösung her nicht herausragend. Die SchülerInnen merkten an, dass es deshalb für sie nicht angenehm war, mit diesen Videos zu arbeiten. Das Videoformat war ihrer Meinung nach „komisch“ und auch die Zeitanzeige während der Videos war „verwirrend“. Sie hätten sich lieber aus mehr Material passende Teile ausgesucht, um dann auf interessante Forschungsfragen zu stoßen.

Verfassen der wissenschaftlichen Arbeit

Die Videoanalyse und ihre Ergebnisse beziehungsweise die Forschungsfragen und die Antworten darauf sollten am Ende des Forschenden Lernens von beiden Gruppen in Form einer schriftlichen Arbeit abgegeben werden. Alle empfanden diese Aufgabenstellung als besonders schwierig. Laut ihren Rückmeldungen benötigten sie für das Schreiben der Arbeit Vorwissen aus dem Biologieunterricht, die Inhalte rund um das Thema aus dem eingangs gehaltenen Vortrag des Klassenlehrers und viel Geschick für die Interpretation der Ergebnisse.

Kompetenzen versus Fachwissen

Wie im vorigen Absatz angedeutet, meinten die TeilnehmerInnen, dass das Fachwissen beim Schreiben der wissenschaftlichen Arbeit am wichtigsten war. Für die Durchführung der Aufgaben der Untersuchung war aber auch der Einsatz von anderen Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Koordination, Entwickeln und Bearbeiten von Ideen und vielem mehr gefragt. So meint ein(e) SchülerIn:

„Also ich habe eigentlich schon die ganze Zeit das Gefühl gehabt, dass es bei dem Projekt nicht wirklich um das Fachwissen geht sondern darum, dass wir das einfach einmal machen und dass der Inhalt selbst nicht so wichtig ist.“

Laut den TeilnehmerInnen des Projekts ist das Forschende Lernen eine willkommene Abwechslung ihres alltäglichen Unterrichts, welcher durch Fachinhalte und das Durchbringen des Jahrestoffes des Faches geprägt sei. Ein paar Wortmeldungen lauteten, dass das Projekt zwar spannend war, jedoch viel gelernt hätten sie dabei nicht, sie hätten ja die meiste Zeit nur Videos angesehen. Bei anderen SchülerInnen setzte sich wiederum der Gedanke durch, eine Mischung aus alltäglichem Unterricht und Phasen des freien forschenden Lernens wäre am besten. So meint ein(e) SchülerIn:

„Ich glaube auch, dass dieses Freilernen bringt vom Stoff her nicht viel weiter aber es hilft Kompetenzen zu bilden beziehungsweise zu erweitern, das heißt ein gesamter Biologieunterricht sollte nicht so ausgelegt sein, jedoch einige Stunden oder ein paar Wochen im Jahr so einen freien Unterricht zu machen, glaub ich lohnt sich...“

Zum Inhalt der Lernumgebung „Hot Vents“

Im Zuge der Entwicklung der authentischen Lernumgebung „Hot Vents“ wurde der Themenbereich hydrothermale Quellen und ihre Fauna nicht zufällig gewählt, sondern aufgrund der aktuellen Forschung, welche auf diesem Gebiet an der Universität Wien betrieben wird. Das Feedback der SchülerInnen zu der Auswahl dieses Bereichs der Meeresbiologie für die Lernumgebung in ihrer Klasse beinhaltete jedoch Zweifel, ob dieses Fachgebiet für die Studierenden von Nutzen sei. So meinte eine Teilnehmerin, dass es nicht sinnvoll für sie gewesen sei, Wissen über black smoker so detailliert zu erarbeiten, da sie/er ein solches Wissen nicht anwenden könne. Schlussendlich werde sie/er nie die Möglichkeit bekommen eine solche hydrothermale Schlotstruktur jemals in natura aufzusuchen. Auch andere Aussagen zeigten, dass der Umstand, dass die hydrothermalen Quellen der Tiefsee keine zugänglichen Orte darstellen, für die SchülerInnen einen negativen Aspekt des Projekts darstellten. Hierzu zwei Argumente der SchülerInnen:

„Allein wenn man jetzt in diesem U-Boot gesessen wär und selber die Kamera geschwenkt hätte und schon eine Forschungsfrage gehabt hätte, ...viel mehr darauf eingehen können als wenn man dann im Nachhinein das Material von irgendjemandem ansieht.“

„Ja das ist so ein Lebensraum wo selbst gute Forscher glaube ich relativ wenig wissen...ich schätze die sind noch nicht gut erforscht. Bei irgendeinem Tümpel kann man hingehen und kann den komplett auseinander nehmen, mehr oder weniger... aber dort kann man nicht einmal aussteigen und einen Stein umdrehen.“

Im Zuge des Gruppeninterviews brachten die Jugendlichen Beispiele anderer Forschungsprojekte, wo sie vor Ort Daten und Eindrücke sammelten, wie etwa die Beschreibung einer/eines SchülerIn über eine Forschungsaufenthalt am Meer:

„...und seit wir dort waren und die Sachen selber angesehen haben und so einer Seegurke die Gedärme rausgeholt haben...merkt man sich es glaub ich schon besser...wenn man es selber sieht.“

Bedeutung der Schülerrückmeldungen für die Weiterentwicklung der Lernumgebung „Hot Vents“

Die Rückmeldungen der teilnehmenden SchülerInnen waren eine besonders wichtige Quelle, um in Zukunft die Ziele des authentischen Forschenden Lernens noch besser umzusetzen. Besonders die Tatsache, dass die Jugendlichen in vielen Punkten die Intentionen der Projektleitung als unpassend bezeichneten oder die Absicht dahinter missinterpretierten, zeigt, wie wichtig es ist, die Meinungen der TeilnehmerInnen für die Optimierung zukünftiger Projekte einzuholen.

Der Beginn von „Hot Vents“ mit dem Einführungsvortrag des Klassenlehrers wurde, wie oben schon beschrieben, sehr heterogen aufgenommen. Die Idee der SchülerInnen, sich das Fachwissen rund um das Themengebiet Hydrothermale Quellen und ihre Fauna selber zu erarbeiten, ist auch aus der Sicht der Projektleitung eine sinnvolle und denkbare Weiterentwicklung. Wie auch in Kapitel 6.2. angedacht, würde sich hier der Umgang mit Literatur und aktuellen wissenschaftlichen Artikeln dazu eignen, die TeilnehmerInnen in den Themenbereich einzuführen und zugleich auch die Art und Weise, wie WissenschaftlerInnen ihre Forschungsergebnisse veröffentlichen, zu vermitteln. Der Einstieg in das Thema ist eine wesentliche Phase des Projekts, welcher aufgrund der dieser Ergebnisse in Zukunft noch mehr Zeit zur Verfügung gestellt werden sollte.

Das Feedback der TeilnehmerInnen bestätigte weiters, dass das Entwickeln von Forschungsfragen in diesem Projekt einen eingegrenzten Spielraum hatte, wodurch jedoch der Zeitplan eingehalten werden konnte. Bei einem größeren Zeitrahmen sollte den Interessen und Ideen der SchülerInnen mehr Raum geboten werden, damit die darauffolgenden Schritte des Forschungszyklus mehr aus eigenem Interesse heraus gesetzt werden. Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet, darf auch nicht vergessen werden, dass die Tatsache, dass die originalen Forschungsvideos nur einfache Forschungsinteressen zuließen, den SchülerInnen zeigte, dass Materialien und Datenquellen auch in der Wissenschaft nicht nach Belieben zur Verfügung stehen. Dies trifft auch auf die Kritik über die Qualität der Videos zu, welche zum derzeitigen Stand der Technik nicht besser aufgenommen werden können. In diesem Fall wäre es hilfreich gewesen, die Intentionen des authentischen Forschenden Lernens von „Hot Vents“ den SchülerInnen gegenüber explizit anzusprechen.

Die Videoanalyse und die dazugehörige Methodik wurden von den SchülerInnen, wie schon des Öfteren erwähnt, mit Leichtigkeit gemeistert. Dies geht auch eindeutig aus ihren Aussagen hervor. Diese bestätigen, dass Vorkenntnisse aus dem Informatik- und Mathematikunterricht der Grund waren, weshalb sie die Datenanalyse so problemlos bewältigten. Engere Zusammenarbeit im Projekt mit den Fächern Informatik und Mathematik hielten sie dadurch für nicht notwendig. Nach genauer Evaluierung ist die die Forscherin hier anderer Meinung, da die SchülerInnen zwar hervorragend gearbeitet haben, jedoch erst am Anfang einer statistischen Datenbearbeitung standen und die noch nicht durchgeführt haben. Daher würde sich sehr wohl eine fächerübergreifende Zusammenarbeit mit Mathematik anbieten, um das Ziel der wissenschaftlichen Datenbearbeitung zu erreichen. Hier zeigt sich, dass in manchen Phasen der Lernumgebung eine stärkere aktive Lenkung durch die Lehrkräfte sinnvoll ist.

Die Rückmeldungen zum Verfassen der wissenschaftlichen Arbeit zeigten deutlich dass die SchülerInnen vor einer neuen Art des Arbeitsauftrags standen, welche im normalen Schulalltag nicht geübt wird. Das Formulieren und Einbinden des

Fachwissens in ihre Texte wurde als große Herausforderung gesehen. Trotzdem meinten sie, dass sie es geschafft hätten, in ihren Abschlussarbeiten die Forschungsergebnisse in den theoretischen Hintergrund des Themengebiets einzubetten. Diese Aussagen sind äußerst interessant, da man hier von der SchülerInnenseite den Eindruck gewinnt, als wäre ihnen diese Verbindung in ihren Abschlussarbeiten gelungen. Aus der Analyse der Arbeiten (siehe Kapitel 6.2.) geht aber hervor, dass dies in beiden Gruppen nicht geschehen ist. Die SchülerInnen sollten also vor einem solchen Projekt mit dem Aufbau und der Durchführung einer wissenschaftlichen Arbeit vertraut gemacht werden. Dieser Aspekt ist für die Weiterentwicklung einer Lernumgebung des authentischen Forschenden Lernens besonders wichtig.

Die Divergenz der Selbsteinschätzung der TeilnehmerInnen und der Fremdeinschätzung der Projektleiterin macht eine zusätzliche Hilfestellung bei zukünftigen Projekten notwendig. Das Aufgabenprofil sollte mit den SchülerInnen detaillierter besprochen werden. Wie schon im letzten Kapitel erwähnt, gehört auch das Thema „Präsentieren wissenschaftlicher Ergebnisse“ dazu.

Das Formulieren von Forschungsfragen und Hypothesen, das Aufnehmen und Bearbeiten von Daten und das Schreiben einer wissenschaftlichen Arbeit stellen basale Schritte eines Forschungszyklus dar. Wie wichtig in den Augen der TeilnehmerInnen solche Fähigkeiten sind konnte durch die Rückmeldungen dieses Projektes nicht umfassend festgestellt werden. Einige Aussagen deuten darauf hin, dass die Lernenden eine Vorstellung von biologischem Wissen haben, welches hauptsächlich durch den Erwerb von Fachinhalten geprägt ist. Die Bedeutung wissenschaftlicher Arbeitsweisen wie im Rahmen des Projekts, die Videoanalyse im Zuge der verhaltensbiologischen Forschung wurde nicht von allen Jugendlichen verstanden. Dazu folgende Aussage:

„Also ich würde sagen, man kann Biologieunterricht nicht das ganze Jahr so gestalten, weil man ja sonst mit dem Stoff nicht durchkommt...weil wir uns ja doch sehr lange damit beschäftigt haben und dafür dass wir uns dann die meiste Zeit Videos angesehen haben, wo wir nicht wirklich etwas vom Fach her gelernt haben, glaub ich, wär das schwer umzusetzen im normalen Unterricht.“

Aus dieser und weiteren Rückmeldungen entsteht der starke Anspruch, eben solche Unterrichtsblöcke des Forschenden Lernens stärker im Biologieunterricht zu verankern, um eigenständiges wissenschaftliches Arbeiten nicht als „Pause“ vom Regelunterricht zu sehen, sondern endlich im Sinne der vorher beschriebenen Scientific Literacy- naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung als gleichwertiges Ziel zu etablieren. Dafür wäre notwendig, die SchülerInnen stärker über die Bildungsziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts aufzuklären, damit beispielsweise die Lernziele einer Lernumgebung wie „Hot Vents“ für die sie klar und verständlich werden.

Begutachtet man das Feedback der SchülerInnen nun auch von der Seite des thematischen Aspekts von „Hot Vents“, so kristallisierte sich bei mehreren Aussagen der ein gewisses Unverständnis im Hinblick auf den Sinn des Themas Hydrothermale Quellen heraus. Der oben angesprochene Aspekt der Unzugänglichkeit dieses Lebensraums und die damit assoziierte geringe Brauchbarkeit dieses Themas sind für die Forscherin überraschende Ergebnisse. Schließlich das als unzureichend empfundene Videomaterial durch echte tote Objekte von *Riftia pachyptila* und *Bythograea thermydron* ergänzt. Die TeilnehmerInnen konnten im Sinne des „greifbaren Unterrichts“ die Modellorganismen sogar angreifen und sezieren. Der räumlichen bedingten Ablehnung dieses Themenbereichs kann bis dato noch durch keine weiteren Vorschläge begegnet werden.

Weiters hat es den Anschein, als hätte die Untersuchung der mit diesem Lebensraum verbundenen Lebensbedingungen und ihrer zugrunde liegenden chemischen Prozesse nicht dazu geführt, dass die TeilnehmerInnen es als Modell für ähnliche Lebensräume verstehen konnten. Die Adaptionen der an hydrothermalen Quellen ansässigen Organismen, wie etwa das Vorkommen von Symbiosen, stellen klassische Themen des Biologieunterrichts dar, wobei diese gedankliche Brücke von den SchülerInnen, den Gruppeninterviews nach zu schließen, nicht wahrgenommen wurde. Hier bietet sich eine Nachbereitung des Projekts an, in welcher grundlegende biologische Kreisläufe und Prozesse des erforschten Lebensraums auf andere Gebiete der Biologie übertragen werden.

7. Diskussion

7.1 „Hot Vents 2.0“ Die Weiterentwicklung der Lernumgebung basierend auf den Forschungsergebnissen der beiden Forschungsfragen

Zum Abschluss der vorliegenden Arbeit sollen die gewonnen Ergebnisse und ihr Nutzen für die Weiterentwicklung einer authentischen Lernumgebung noch einmal zusammengefasst werden. Da beide Forschungsfragen ähnliche Aspekte thematisierten und darauf ausgerichtet waren, mittels Analyse der verschiedenen Datenquellen herauszufinden, ob die gesetzten Ziele von „Hot Vents“ erreicht werden konnten, sollen die Ergebnisse beider Analysen hier als Kondensat in Form eines weiterentwickelten Projektplans dargestellt werden.

Für das leichtere Verständnis sind hier noch einmal die im Rahmen des Projektplans für „Hot Vents“ formulierten authentischen Aufgabenstellungen zu lesen, um in weiterer Folge Veränderungen für „Hot Vents 2.0“ aufzuzeigen.

Authentische Aufgabenstellungen der Lernumgebung „Hot Vents“:

Einführung in das Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna	- Einführungsvortrag durch den Klassenlehrer
Entwickeln von Forschungsfragen	- Sammeln der Forschungsinteressen gestützt durch ein Impulsvideo
Entwickeln von Studiendesign und Methodik	- Erstellen der Vorgehensweise bei Videoanalyse - Erstellen von Protokollierbögen
Präsentation und Diskussion der Ergebnisse	- Erstellen einer Abschlusspräsentation - Abgabe einer wissenschaftlichen Arbeit
Erlernen einer wissenschaftlichen Arbeitstechnik auf der Universität Wien	- Rasterelektronenmikroskopie für Modellorganismen - Sezieren der Objekte beider Modellorganismen

Authentische Aufgabenstellungen der Lernumgebung „Hot Vents2.0“

Einführung in das Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna	- Eigenständige Recherche der Schülerinnen und Schüler zum Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna - Sezieren der Objekte beider Modellorganismen
Entwickeln von Forschungsfragen	- Sammeln der Forschungsinteressen gestützt durch ein Impulsvideo
Entwickeln von Studiendesign und Methodik	- Erstellen der Vorgehensweise bei

	Videoanalyse - Erstellen von Protokollbögen - Methodik der Datenbearbeitung
Präsentation und Diskussion der Ergebnisse	- Erstellen einer Abschlusspräsentation nach wissenschaftlichen Kriterien - Abgabe einer wissenschaftlichen Arbeit

Die oben angeführten einzelnen Schritte von „Hot Vents 2.0“ sind durch die in fetter Schrift hervorgehobenen Aufgabenstellungen von der Lernumgebung „Hot Vents“ zu unterscheiden.

Der Einstieg in den Kontext des Projekts ist im „Hot Vents 2.0“ durch das eigene Recherchieren der SchülerInnen zum Thema Hydrothermale Quellen und ihre Fauna gekennzeichnet. Durch das selbstständige Erarbeiten des theoretischen Hintergrunds ihrer darauffolgenden Forschungsarbeit soll die Verortung und Verknüpfung ihrer Forschungsergebnisse leichter fallen. Ergänzend dazu können die Studierenden echte Objekte aus der Tiefsee unter dem Mikroskop sezieren. Diese Aufgabenstellung war auch schon im „Hot Vents“ vorhanden, jedoch in einer späteren Phase des Projekts. Hier soll die Auseinandersetzung mit *Riftia pachyptila* und *Bythograea thermydron* zu Beginn der Lernumgebung auch zum besseren Umgang mit dem theoretischen Fachwissen über die Tiere führen.

Das Entwickeln der Forschungsfragen wird wie in „Hot Vents“ durch Beispiellideos unterstützt.

Das selbstständige Erarbeiten eines Beobachtungsplans und das Entwerfen von Protokollbögen wird auch in „Hot Vents 2.0“ nicht stärker durch das Lehrpersonal angeleitet als in „Hot Vents“. Nach der Videoanalyse werden die gesammelten Daten mithilfe einer Lehrkraft für Mathematik und oder Statistik auf mögliche und sinnvolle Berechnungen genauer besprochen. So entwickeln und erproben die SchülerInnen statistische Datenberechnungen.

Die Präsentation der Ergebnisse sowie die Abgabe einer wissenschaftlichen Arbeit wurde auch in „Hot Vents“ von den SchülerInnen gefordert, jedoch wird in der neuen Lernumgebung „Hot Vents 2.0“ den Studierenden eine stärkere *Guidance* dabei angeboten. ProjektleiterIn und SchülerInnen bereiten die Präsentation gemeinsam vor.

Die weiterentwickelte Lernumgebung „Hot Vents 2.0“ umfasst ähnliche Aufgabenstellungen wie die erste Version. Bei manchen Schritten des Projekts muss allerdings mehr Zeit aufgewendet werden. Eine Einführung in die Rasterelektronenmikroskopie könnte zusätzlich erfolgen. Ihr Einfluss auf die Ergebnisse der Videoanalyse ist jedoch marginal und so kann diese Praxis je nach zeitlichem Spielraum als Erweiterungsoption angesehen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Gräber, W., P. Nentwig; Scientific Literacy- Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion; 2002; In: Scientific Literacy- Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung.
- [2] Bybee, R. W.; Scientific Literacy- Mythos oder Realität?; 2002; In: Scientific Literacy- Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung
- [3] Shamos, H.; Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften entwickeln; 2002; In: Scientific Literacy- Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung.
- [4] Sjöberg, S.; Scientific Literacy and School Science- Arguments and Second Thoughts; 1997; In: S. Sjöberg und E. Kallerud; Science, Technology and Citizenship. Oslo, Norsk institute for studier av forskning og utdanning. 7/97:9-28.
- [5] Fischer, H.; Scientific Literacy und Physiklernen; 1998; In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (2): 41-52.
- [6] Millar, R.; Towards a Science Curriculum for Public Understanding; 1996; In: Education in science: 8-10
- [7] Deutsches PISA Konsortium; Schülerleistungen im internationalen Vergleich; 2000; Max-Planck-Institut für Bildungsforschung; Berlin.
- [8] Gräber, W., P. Nentwig, P. Nicolson; Scientific Literacy- von der Theorie zur Praxis; 2002; ; In: Scientific Literacy- Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung
- [9] Zocher, U.; Lernen entdecken- vom Entdeckenden Lernen und der Bedeutung der eigenen Frage; Redebeitrag zur Tagung „Subjektsein in der Schule- eine Auseinandersetzung mit dem Lernbegriff Klaus Holzkamps; <http://www.entdeckendes-lernen.de/3biblio/theorie/subjektsein.htm>; Zugriff am 19.11.2012
- [10] National Research Council (NRC); National science education standards; 1996; Washington DC; National Academy Press.
- [11] Ernst, K.; Blütenstaub und Fibonaccifolge- Einblicke in das Entdeckende Lernen von Erwachsenen; 1997; Deutscher Verein für öffentliche und private Fürsorge; Frankfurt am Main.
- [12] Bell, T.; Forschendes Lernen; 2006; In: Piko- Brief Nr. 6 Naturwissenschaftliches Arbeitsweisen; IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. <http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf>; Zugriff am 19.11.2012
- [13] Chinn, C. A., B. A. Malhotra; Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks; 2001; Department of Educational Psychology; Rutgers; New Jersey.
- [14] Bonnstetter, R. J.; Inquiry- Learning from the past with an Eye on the Future; 1998; In: Electronic Journal of Science Education; <http://wolfweb.unr.edu/homepage/jcannon/ejse/bonnstetter.html>; Zugriff am 19.11.2012
- [15] Abrams, E., S. A. Southerland, C. Evans; Inquiry in the Classroom- Identifying Necessary Components of a Useful Definition; 2007; In: E. Abrams, S. A. Southerland, P. Silva; Inquiry in the Classroom- Realities and Opportunities; Information Age Publishing.
- [16] Roth, W. M. et al.; Authentic Science Revisited- In Praise of Diversity, Heterogeneity, Hybridity; 2008; Sense Publishers; Rotterdam/ Taipei.
- [17] Tytler, R., D. Symington, C. Smith; A Curriculum Innovation Framework for Science, Technology and Mathematics Education; 2009; Springer Science

- [18] Pea, R. D.; Seeing what we built together: distributed multimedia learning environments for transformative communications; 1994; In: Journal of the Learning Sciences, 3(3), 285–299.
- [19] Heidinger, C., F. Radits et al.; Das Modell der Bio-KiP-Lernumgebung für Nature-of-Science-Learning – Bildungspolitische, empirische wie theoretische Grundlegung; 2012 In: F. Radits, C. Heidinger et al.; KiP2*Kids- Participation in Research – Endverwendungsnachweis des AECC Biologie für Sparkling Science; 2012; AECC Biologie: Wien
- [20] Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur; AHS Oberstufenlehrplan; http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11860/lp_neu_ahs_08.pdf; Zugriff am 22.12.2012
- [21] Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur; AHS Unterstufenlehrplan; <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/779/ahs5.pdf>; Zugriff am 22.12.2012
- [22] Sommer, U.; Biologische Meereskunde; 2005; 2. Auflage; Springer; Berlin
- [23] Zepp, H.; Geomorphologie- eine Einführung; 2008; 4. Auflage; Schöningh; Paderborn, Wien.
- [24] Van Dover, C.; The Ecology of Deep Sea Hydrothermal Vents; 2000; Princeton University Press; Princeton, New Jersey.
- [25] National Oceanic and Atmospheric Administration- Ocean Explorer: <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/05galapagos/welcome.html>; Zugriff am: 25.10.212
- [26] Tardent, P.; Meeresbiologie- eine Einführung; 2005; 3. Auflage; Thieme; Stuttgart.
- [27] Campbell, A.C. et al; Chemistry of hot springs on the Mid- Atlantic Ridge; 1988; In: Nature 335: 514- 519.
- [28] Ott, J.; Meereskunde; 1996; 2. Auflage; Ulmer-Verlag; Stuttgart.
- [29] Cann, J. R., M. R. Strens; Modeling periodic megaplume emissions by black smoker systems; 1989; In: J. Geophys. Res. 94: 12227-12237 und Wilcock, W.S.D.; Cellular convection models of mid-ocean ridge hydrothermal circulation and the temperature of black smoker fluids; 1998; In: J. Geophys. Res. 103: 2585- 2596
- [30] Campbell, N., J. Reece; Biologie; 2006; Pearson- Studium; München
- [31] Desbruyeres D. L, M. Segonza, M. Bright; Handbook of Deep- Sea Hydrothermal Vent Fauna; 2006; <http://www.landesmuseum.at/datenbanken/digilit/?litnr=23702>; Zugriff am: 03.10.2012
- [32] Ramirez- Llorda , E., T. M. Shank, C. German; Biodiversity and Biogeography of Hydrothermal Vent Species- Thirty years of discovery and investigations; 2007; In: Oceanography: Vol. 20, No.1, March 2007; http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/20_1/20.1_ramirez_et_al.pdf ; Zugriff am: 23.10.2012
- [33] Bright, M., F. H. Lallier; The biology of vestimentiferan tubeworms; 2010; In: Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 2010, 48, 213-266
- [34] Lutz, R. A., T. M. Shank et al.; Rapid growth at deep-sea vents; 1994; In: Nature 371, 663–664.
- [35] Luther, G. W., T. F. Rozan et al.; Chemical speciation drives hydrothermal vent ecology; 2001 In: Nature 410, 813–816.
- [36] Govenar, B., N. Le Bris et al.; Epifaunal community structure associated with Riftia pachytila aggregations in chemically different hydrothermal vent habitats; 2005; In: Marine Ecology Progress Series 305, 67–77.

- [37] Govenar, B., M. Freeman et al.; Composition of a one-year-old *Riftia pachyptila* community following a clearance experiment: insight to succession patterns at deep-sea hydrothermal vents; 2004; In: Biological Bulletin 207, 177–182.
- [38] Goffredi, S. K., J. J. Childress et al.; Inorganic carbon acquisition by the hydrothermal vent tubeworm *Riftia pachyptila* depends upon high external P_{CO2} and upon proton —equivalent ion transport by the worm; 1997; In: J. Exp. Biol. 200: 883-896.
- [39] Felbeck, H., J. Jarchow; Carbon release from purified chemoautotrophic bacterial symbionts of the hydrothermal vent tubeworm *Riftia pachyptila*; 1998; In: Physiological Zoology 71, 294–302.
- [40] Felbeck, H., J. Jarchow; The influence of different incubation media on the carbon transfer from the bacterial symbionts to the hydrothermal vent tube-worm *Riftia pachyptila*; 1998 In: Cahiers de Biologie Marine 39, 279–282.
- [41] Childress, J. J., C.R. Fisher et al.; Sulfide-driven autotrophic balance in the bacterial symbiont-containing hydrothermal vent tubeworm, *Riftia pachyptila*; 1991; In: Jones. Biol. Bull. 180: 135-153.
- [42] Powell, M. A., G. N. Somero; Adaptations to sulfide by hydrothermal vent animals: sites and mechanisms of detoxification and metabolism; 1986; In: Biological Bulletin 171, 274–290.
- [43] Robidart, J. C., S. R. Bench et al.; Metabolic versatility of the *Riftia pachyptila* endosymbiont revealed through metagenomics; 2008; In: Environmental Microbiology 10, 727–737.
- [44] Mickel, T. J., J. J. Childress; Effects of temperature, pressure and oxygen concentration on the oxygen consumption rate of the hydrothermal vent crab *Bythograea thermydron*; 1982; In: Physiol. Zool. 55: 199-207.
- [45] Bennet, J. T., K. K. Turekian; Radiometric ages of brachyuran crabs from the Galapagos spreading center hydrothermal ventfield; 1984; In: Limnol. Oceanogr. 29, 1088-1091.
- [46] Gorodezky, L., J. J. Childress; Effects of prior sulfide exposure and hemolymph thiosulfate on the oxygen consumption rates and regulation in the hydrothermal vent crab, *Bythograea thermydron*; 1994; In: Mar. Biol. 120: 123-131.
- [47] Jinks, R. N., T. L. Markley et al.; Adaptive visual metamorphosis in a deep sea hydrothermal vent crab; 2002; In: Nature Vol 420 7 November 2002.
- [48] Wehnelt, S., P. K. Beyer; Ethologie in der Praxis- eine Anleitung der angewandten Ethologie im Zoo für Schülerinnen und Studentinnen; 2002; Filander Fürth
- [49] Naguib, M.; Methoden der Verhaltensbiologie; 2006; Springer.
- [50] Kotrschal, K.; Grundkurs Verhaltensbiologie; 2000; Filander Fürth.
- [51] Alderson, P.; Children as researchers: Participation Rights and Research Methods; 2008; In: Christensen, P., James, A. (Eds.), Research with Children: Perspectives and Practices. (276-290). New York: Routledge.
- [52] Altrichter, H., P. Posch; Lehrer erforschen ihren Unterricht: eine Einführung in die Methoden der Aktionsforschung; 1998; 3. Auflage.
- [53] Elliot, J.; Action-research: A framework for self-evaluation in schools; 1981; TIQL-Working Paper No.1 Institute of Education: Cambridge
- [54] Mayring, P.; Qualitative Inhaltsanalyse.- Grundlagen und Techniken ; 2008; (Vol. 10). Weinheim und Basel: Beltz.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Mögliche Schüleraktivitäten beim forschenden Lernen	http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf
Abb. 2	Levels des Forschenden Lernens nach Abrams und Bonnstetter	Puddu, S., Keller, E., & Lembens, A; Potentials of Lernwerkstatt (open-inquiry) for pre-service teachers' professional development;2012; E-Book ESERA CONFERENCE 2011, Lyon, France.
Abb. 3	Mittelozeanische Rücken der Erde	http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/baseball.html ; Zugriff am 23.01.2013
Abb. 4	Hydrothermale Zirkulation der Tiefsee	Grillitsch, H. (Universität Wien) verändert nach J. Ott Meereskunde ; 1996; 2. Auflage; Ulmer-Verlag; Stuttgart
Abb. 5	Black smoker am East Pacific Rise	http://media.marine-geo.org/image/p-vent-black-smoker-epr-2004 ; Zugriff am 23.01.2013
Abb. 6	<i>Alvinocharis markensis</i> <i>Alvinella pompeijana</i> <i>Rimicaris exoculata</i> <i>Bythograea thermydron</i>	Van Dover, C.; The Ecology of Deep Sea Hydrothermal Vents; 2000; Princeton University Press; Princeton, New Jersey; und http://le-monde-abyssale.skyrock.com/1026729628-Le-Bythograea-thermydron.html ; Zugriff am 23.01.2013
Abb. 7	<i>Riftia pachyptila</i>	Van Dover, C.; The Ecology of Deep Sea Hydrothermal Vents; 2000; Princeton University Press; Princeton, New Jersey
Abb. 8	<i>Riftia pachyptila</i>	verändert nach Nussbaumer, A.D., Fisher, C.R. & Bright, M. 2006. Horizontal endosymbiont transmission in hydrothermal vent tubeworms. <i>Nature</i> 441, 345–348.
Abb. 9	<i>Bythograea thermydron</i>	Guinot, D., L. A. Hurtado; Two new species of hydrothermal vent crabs of the genus <i>Bythograea</i> from the southern East Pacific Rise and from the Galapagos Rift (Crustacea Decapoda Brachyura Bythograeidae); 2003. Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 10	Tortendiagramm 1 Gruppe Riesenröhrenwurm	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 11	Tortendiagramm 2 Gruppe Riesenröhrenwurm	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 12	Tortendiagramm 1 Gruppe Schlotkrabbe	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 13	Säulendiagramm 1 Gruppe Schlotkrabbe	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 14	Säulendiagramm 2 Gruppe Schlotkrabbe	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 15	Tabelle Rückzugsverhalten der Gruppe Riesenröhrenwurm	Tabelle aus der wissenschaftlichen Endarbeit der SchülerInnen
Abb. 16	Tabelle Auslöserreize Gruppe Riesenröhrenwurm	Tabelle aus der wissenschaftlichen Endarbeit der SchülerInnen
Abb. 17	Gesammelte Daten Gruppe Schlotkrabbe	Tabelle aus der wissenschaftlichen Endarbeit der SchülerInnen
Abb. 18	Tortendiagramm des Rückzugsverhaltens von <i>Riftia pachyptila</i>	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen
Abb. 19	Säulendiagramm der intraspezifischen Kontakte von <i>Bythograea thermydron</i>	Folie aus der Endpräsentation der SchülerInnen

Zusammenfassung

Das derzeitige Ziel des Biologie- und Umweltkundeunterrichts ist die naturwissenschaftliche Allgemeinbildung der SchülerInnen, die durch den Terminus *Scientific Literacy* definiert ist. Die Lehr- Lernmethode Forschendes Lernen wird als zentraler Ansatz verstanden, dieses Bildungsziel zu erreichen. In dieser Arbeit wurde unter Einsatz der Lehr- Lernmethode Forschendes Lernen eine Lernumgebung für eine 7. Klasse AHS entwickelt, welche zum Ziel hatte, naturwissenschaftliche Arbeits- und Denkweisen von BiologInnen zu vermitteln. Das authentische Forschende Lernen wurde durch die Zusammenarbeit von Universität und Schule ermöglicht, wobei der Lebensraum „Hydrothermale Quellen und ihre Fauna“ den inhaltlichen Aspekt des Projekts darstellte. Die Analyse der Arbeitsweisen der SchülerInnen während des „Hot Vents“-Projekts sowie die Rückmeldungen derselben stellen die Basis der hier vorgenommenen Bewertung von „Hot Vents“ für das Erreichen der gesetzten Ziele dar und dienen in der Folge der Weiterentwicklung der Lernumgebung.

Key words: Forschendes Lernen; authentic inquiry learning; scientific literacy; Hydrothermale Quellen

Abstract

The current goal of biology class is defined as scientific literacy. A main way to facilitate scientific reasoning is to engage students in inquiry learning. In line with the following thesis the “Hot Vent” project was enabled, that offered authentic inquiry task. Authentic inquiry learning was built trough the collaboration between university and school and the theme of the school project was “Hydrothermal Vents and their fauna”. The project “Hot Vents” was analysed through the student achievements and their feedback to evaluate whether this classroom activities reached their educational goals.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei meiner Diplomarbeitsbetreuerin Frau Univ. Prof. Dr. Monika Bright bedanken, welche die fachwissenschaftliche Überprüfung dieser Arbeit vornahm und mir die Durchführung des Projekts „Hot Vents“ ermöglichte.

Ebenfalls gilt mein Dank Mag. a Christine Heidinger, welche die fachdidaktische Validierung der Arbeit vornahm.

Darüber hinaus möchte ich mich für die Unterstützung durch das Team der Meeresbiologie an der Universität Wien rund um Prof. Monika Bright bedanken sowie bei Mag. Ewald Dopplinger, welcher sich bereit erklärte mit seiner Biologieklassse an dem Projekt teilzunehmen.

Nicht zuletzt sei meine Mutter erwähnt, die es mir ermöglichte mein Studium zu absolvieren.

Curriculum Vitae

Rosa-Maria Kastl-Killinger

Persönliche Angaben

Geburtsdatum: 29. Mai 1985
Geburtsort: Wien
Staatsangehörigkeit: Österreich
Familienstand: ledig

Ausbildung

Seit 2005:
Lehramtsstudium Biologie und Umweltkunde
und Geographie und Wirtschaftskunde an
der Universität Wien
2003-2005:
Humanmedizin an der Medizinischen
Universität Wien
2003:
Abschluss der Reifeprüfung im
Bundesgymnasium Wenzgasse, Wien
1995:
Abschluss der Volksschule Am Platz, Wien

Berufserfahrung

Seit 2009:
Studienassistentin am Karl Landsteiner
Institut; Gynäkologie Krankenhaus Hietzing
Seit 2005:
Verkaufsmitarbeiterin bei der Firma
Stiefelkönig
2003-2004:
Verkaufsmitarbeiterin bei der Firma Rag
2002:
Ferialpraxis bei der österreichischen
Postsparkasse
2001:
Ferialpraxis bei der österreichischen
Postsparkasse

Sprachkenntnisse

Englisch (Sprachaufenthalt in Dublin)
Französisch (Sprachaufenthalte in Paris,
Vichy und Cannes)

Zusatzqualifikationen

2010/2011 Absolvierung des Lehrgangs
Berufsorientierung am Institut für
Geographie und Regionalforschung, Uni
Wien
2010 Ausbildung zur Snowboardlehrerin am
USI Wien
2003 Ausbildung zur Aerobic Trainerin in der
European Fitness Academy

Wien, am 25.01.2013