

**Bionik –
Experimentierset für den Schulunterricht**
im Kontext fächerverbindenden Lernens

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt

der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Technischen Universität Dresden

von

Thea Lautenschläger

geboren am 24. Februar 1980, Meißen, Deutschland

eingereicht am 31. März 2011
verteidigt am 15. Juli 2011

Die Dissertation wurde in der Zeit vom 09/2007 bis 03/2011 am Institut für Botanik unter der Betreuung von Prof. Dr. Christoph Neinhuis angefertigt.

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Thea Lautenschläger

1. Gutachter: Prof. Dr. Christoph Neinhuis
Institut für Botanik
Technische Universität Dresden

2. Gutachter: Prof. Dr. Ralf Vollbrecht
Institut für Medienpädagogik
Technische Universität Dresden

Verteidigung am 15. Juli 2011

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Günter Vollmer
Institut für Zoologie
Professur für Molekulare Zellphysiologie und Endokrinologie
Technische Universität Dresden

Mitglieder:

Prof. Dr. Christoph Neinhuis
Institut für Botanik
Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Ralf Vollbrecht
Institut für Medienpädagogik
Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Jutta Ludwig-Müller
Lehrstuhl für Pflanzenphysiologie
Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Gesche Pospiech
Fachrichtung Physik
Didaktik der Physik
Technische Universität Dresden

In der vorliegenden Arbeit werden aufgrund der vereinfachten Lesbarkeit Schülerinnen und Schüler als Schüler, Lehrerinnen und Lehrer als Lehrer und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Wissenschaftler bezeichnet.

DANKSAGUNG

Das Gelingen der vor Ihnen liegenden Arbeit habe ich vielen Menschen zu verdanken. So gilt mein Dank in erster Linie meinem Doktorvater Prof. Dr. Christoph Neinhuis, der mir nicht nur die Möglichkeit eröffnete, mich am Institut für Botanik der TU Dresden intensiv mit der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für den Bionikunterricht zu beschäftigen, sondern mir auch während der vergangenen Jahre für Fragen und Ratschläge beständig zur Seite stand und mir in diesem Prozess vertraute.

Ebenso bedanke ich mich bei Prof. Dr. Ralf Vollbrecht, der mir in dieser Zeit wertvolle Tipps auf dem Arbeitsfeld der Didaktik sowie der Analysemethoden gab und mir half, Ideen für die Veröffentlichung der entwickelten Arbeitsmaterialien in die Praxis zu überführen.

Die Erarbeitung der Experimente geht auf die Zusammenarbeit mit zahlreichen Wissenschaftlern verschiedener Fachbereiche zurück. Unzählige Gespräche und Rücksprachen wurden geführt. Dafür danke ich herzlich allen im Folgenden genannten: Prof. Dr. Claus Mattheck, Prof. Dr. Andreas Deutsch, Prof. Dr. Norbert Pütz, Prof. Dr. Carolin Retzlaff-Fürst, Prof. Dr. Anita Roth-Nebelsick, Prof. Dr. G. Pospiech, Prof. Dr. Thomas Speck, Prof. Dr. Lutz Wasserthal, Dr. Michael Herdy, Dr. Tom Masselter, Dr. Matthias Nuss, Dr.-Ing. Robert Witt, Dr. Fabian Haas, Dr. Solveig Schmitz, Dr. Barbara Mayer, Biruta Kresling, Olaf Uhden, Göran Tronicke, Hannes Schwager, Christian Hammel, Tim-Otto Roth, Jens Schirmer, Uwe Jaschke, Peter Ehrlich, Bernd Schulz, Markus Günther, Markus Rüggeberg und Michael Kallmeyer. Danke meinem Kollegen Dr. Friedrich Ditsch für seine oft hilfreichen und fröhlichen Kommentare. Sylvi Malcher half mir dabei, die verwaltungstechnischen Aufgaben, die dieses Ein-„Mann“-Projekt mit sich brachte, schnell und komplikationslos zu bewältigen. Dankeschön.

Um die entwickelten Materialien jedoch auch in der Praxis zu testen, war die Unterstützung vieler Lehrerinnen und Lehrer vonnöten. Stellvertretend möchte ich hier Regine Härtel danken, die mir dabei half, Lehrerfortbildungen zu organisieren und in der Lehrerschaft im Umkreis Dresdens bekanntzumachen. Ohne die Bereitschaft der interviewten Lehrer, über die Probleme ihrer Arbeit zu sprechen, wäre ein Teil der Arbeit nicht denkbar gewesen. Auch gilt mein Dank den Schülern, welche als Praktikanten, aber auch im Klassenverband dazu beitrugen, die Aufgaben und Experimente zu bewerten und zu verbessern.

Die Arbeit wurde im Rahmen eines Promotionsstipendiums der Technischen Universität Dresden erstellt. Die Veröffentlichung der Arbeitsmaterialien im Duden-Schulbuchverlag konnte durch das Preisgeld des BMBF-Hochschulwettbewerbs 2009 „Alltagstauglich“ finanziert werden. Vielen Dank dafür.

Besonders meiner Familie sei an dieser Stelle ein sehr großer Dank für ihre Unterstützung ausgesprochen. Alma, zum Projektstart gerade geboren und Augustine, drei Jahre älter, mussten ihre Mutter in dieser Zeit mit deren Arbeit teilen. Auch Dir, Moritz, danke für die Hilfe und den gesunden Blick von außen. Und nicht zuletzt danke ich meinen Eltern für die jahrelange Unterstützung und das Vertrauen, auf dem richtigen Weg zu sein.

Thea Lautenschläger

EINLEITUNG

Fächerübergreifendes und fächerverbindendes Lernen rücken zunehmend in den Fokus einer neuen Lehr- und Lernkultur. Lernerfolg, Kompetenzerwerb und Mehrperspektivität im Unterricht sind daher Kernpunkte zahlreicher aktueller Untersuchungen. Gerade in Hinblick auf konstruktivistische Lernmodelle wird die Notwendigkeit der Fächervernetzung deutlich, denn sie verlangen einen schüleraktiven Unterricht, der sich an den Interessen der Schüler und nicht an Fachgrenzen orientiert.

Auch im naturwissenschaftlichen Unterricht gewinnt die ganzheitliche Betrachtung natürlicher Phänomene und komplexer Probleme an Wichtigkeit. Die Lehr- und Bildungspläne der Bundesländer werden deshalb seit einigen Jahren dahingehend ausgerichtet. In Sachsen entstanden bereits seit 2005 im Rahmen der Umprofilierung an sächsischen Gymnasien neue Lehrpläne für fächerverbindenden Profilunterricht. Neben gesellschaftswissenschaftlichem, künstlerischem, sprachlichem und sportlichem Profil erhielt auch das naturwissenschaftliche Profil neu ausgerichtete Lernbereiche, die sich inhaltlich an mehrere Fachgebiete gleichzeitig anlehnen. So auch der Lernbereich 6 „Bionik“. Die Bionik beschreibt eine Arbeitsweise, die an der Schnittstelle mehrerer Disziplinen steht. Biologisch interessante Phänomene bilden dabei die Basis für neue technische Innovationen. Die Biologie wird hier jedoch nicht kopiert, sondern abstrahiert, um lediglich für die Technik sinnvolle Prinzipien zu übertragen. Zunehmend mehr interessieren Unternehmen sich für bionische Lösungen, da diese oft materialschonender, materialsparender und energieeffizienter sind oder auch weil das Label „von der Natur inspiriert“ vom Konsumenten als nachhaltig wahrgenommen wird.

Im Bionikunterricht können aufgrund der interdisziplinären Ausrichtung der Bionik neben den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Physik und Chemie und einer mathematischen Grundausbildung auch angewandte oder artfremde Disziplinen wie Wirtschaft, Technik und Ethik eine Rolle spielen. Ein Schwerpunkt der Zielvorstellungen der fächerverbindenden Profillehrpläne ist die Fähigkeit, wissenschaftliches Arbeiten anzuwenden – hierfür ist gerade der Aspekt des selbständigen, forschenden Lernens entscheidend. In diesem Zusammenhang merken PRENZEL et al. (2007) an, dass hochkompetente Schülerinnen und Schüler, die über häufiges Experimentieren im Unterricht oder über ausgeprägte Anwendungsbezüge und Modellierungen berichten, sich durch ein tendenziell stärkeres Interesse an den Naturwissenschaften auszeichnen.

Gerade unter dem Aspekt der Nachwuchsgenerierung für naturwissenschaftliche und technische Berufsfelder und der daraus abzuleitenden Notwendigkeit, größere Anteile der hochkompetenten Jugendlichen für die Naturwissenschaften zu gewinnen, kann die Bionik als interdisziplinäre Arbeitsweise Interesse an Biologie, Technik wie auch im interdisziplinären Grenzbereich fördern – und dies bei Jungen und Mädchen, da nicht nur die Themen sehr vielgestaltig, sondern auch die integrierten Fachgebiete zahlreich sind und den unterschiedlichen Interessen entgegenkommen.

Die durch den neuen sächsischen Lehrplan hervorgerufene Situation, den Schülern die Bionik im Profilunterricht mit einem Stundenumfang von 28 Unterrichtsstunden vorstellen zu können, stellte die Lehrer vor neue Probleme. Nicht nur deren begrenzte fachliche Ausrichtung und damit die Einengung des eigenen, an die Schüler vermittelbaren Wissens, sondern besonders der Mangel an geeignetem Arbeitsmaterial überforderte manchen Lehrer. Aufgrund der fachlichen Ausrichtung des Instituts für Botanik der TU Dresden auf dem Gebiet der Bionik suchten deshalb nicht nur zahlreiche Lehrer, sondern auch das Sächsische Bildungsinstitut SBI Möglichkeiten einer Kooperation mit dem Institut. Diese basierte vornehmlich auf Lehrerfortbildungen, die von TU-Mitarbeitern durchgeführt wurden, aber auch auf der Einladung von Schulklassen an das Institut, um Vorträge oder kleinere Experimente durchzuführen. Diese Bildungsarbeit und weitere intensive Nachfrage seitens der Schulen mündeten schließlich in der Überlegung, fachlich fundierte und didaktisch aufgearbeitete Experimentiermodule zu entwickeln und zu publizieren, um sie allen Schulen zur Verfügung zu stellen und nicht nur ausgewählten Schulklassen die Möglichkeit zu geben, sich experimentell mit der Bionik auseinanderzusetzen.

Es entstand ein multimodales Experimentierset zum Thema Bionik, welches im Schul- und Projektunterricht erprobt, optimiert und nach der Fertigstellung 2010 im DUDEN-Schulbuchverlag veröffentlicht wurde und sieben modular verwendbare Experimentierthemen zu verschiedenen Themenbereichen der Bionik beinhaltet. Während der Erprobungs- und Optimierungsphase erfolgte eine Evaluierung der entstandenen Arbeitsmaterialien durch die Lehrpersonen und die Schüler anhand von standardisierten Fragebögen. Die Aufgabenentwicklung der sieben Experimentierthemen orientierte sich gleichzeitig an den Kompetenzbereichen der nationalen Bildungsstandards. Interviews mit den Lehrern begleiteten den Entstehungsprozess und gaben erstmals einen Überblick über auftretende Probleme mit fächerverbindendem Unterricht im Fokus der Bionik.

GLIEDERUNG DER ARBEIT

Die vorliegende Arbeit untergliedert sich in drei übergeordnete Themengebiete.

Im ersten Teil erfolgt die Einbettung der Arbeit in den dafür relevanten **Forschungskontext**. Hierfür spielen die bildungspolitischen Rahmenbedingungen auf Bundes- wie auf Länderebene eine entscheidende Rolle. Die Bionik als das Themengerüst der interdisziplinären Arbeitsweise wird dabei kurz vorgestellt und anschließend die Aufgabenstellungen formuliert.

Teil 2 beschreibt die Vorgehensweise in der **Erarbeitung der Arbeitsmaterialien** für den Bionikunterricht. Dazu zählt nicht nur die methodische Vorgehensweise, die stark durch Aspekte der Aufgabenentwicklung wie auch durch die Wahl geeigneter Aufgaben- und Lernformate geprägt ist, sondern auch die Beschreibung des Arbeitsprozesses, beziehungsweise auf Themenauswahl und Entwicklung von Experimenten und Aufgaben. An diesen Teilabschnitt Durchführung schließt sich der Ergebnisteil an, der die einzelnen Themen kurz vorstellt und diese hinsichtlich der im ersten Schritt dieses Kapitels definierten Aspekte der Aufgabenentwicklung sowie der gewählten Arbeitsformate hin analysiert.

Teil 3 umfasst die **Evaluation der Arbeitsmaterialien** wie auch eine Befragung durch **Experteninterviews**. Hier findet die Auswertung der Fragebögen Platz, welche nach Durchführung der Experimente von den Schülern ausgefüllt wurden und die auf eventuelle Unklarheiten in der Formulierung aufmerksam machen und somit als Grundlage für die Optimierung der Arbeitsmaterialien dienen sollten. Das Potential der sieben Themen für den Einsatz im Schulunterricht wird daher im Anschluss daran noch einmal zusammenfassend eingeschätzt. Experteninterviews mit 14 Lehrerinnen und Lehrern an sächsischen Gymnasien sollten abschließend die praktische Arbeit sowie positive wie negative Einflussfaktoren in dem erst neu etablierten Lernbereich Bionik analysieren.

Die **Synthese** stellt zusammenfassend die wichtigsten Ergebnisse noch einmal vor und diskutiert sie im Hinblick auf die anfangs in Teil 1 formulierten Fragestellungen.

Das Kapitel **Ausblick und Handlungsempfehlungen** konkretisiert diese Ergebnisse, indem fachliche und schulpolitische Handlungsfelder herausgearbeitet werden, die in künftigen Arbeiten und Entscheidungen eine Rolle spielen könnten.

INHALTSVERZEICHNIS

TEIL 1 FORSCHUNGSKONTEXT

1	BIONIK IM BILDUNGSPOLITISCHEN KONTEXT	16
1.1	Vorgaben der Kultusministerkonferenz und deren bundesweite Umsetzung	16
1.2	Naturwissenschaftliches Profil im Kontext sächsischer Bildungspolitik	21
1.2.1	Vernetztes Lernen im Profilunterricht	21
1.2.2	Schülerstatistik	22
1.2.3	Bionik im naturwissenschaftlichen Profil	26
1.3	Fächerverbindender Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ an sächsischen Gymnasien	27
1.4	Neigungskurse der sächsischen Mittelschulen	30
2	WAS IST BIONIK?	31
2.1	Definitionen	31
2.2	Abgrenzung des Begriffs	31
2.3	Kurzer Überblick über die Geschichte der Bionik	33
2.4	Arbeitsprinzipien der Bionik	35
2.5	Teilgebiete der Bionik	36
2.6	Literatur und Medien	37
2.7	Bionik und das unbedingte Bedürfnis nach Umweltfreundlichkeit	39
2.8	Bionik als Label	40
3	AUFGABENSTELLUNG	41

TEIL 2 ENTWICKLUNG DER ARBEITSMATERIALIEN "BIONIK"

4	METHODIK DER AUFGABENENTWICKLUNG	42
4.1	Anforderungen und Rahmenbedingungen an die Aufgabenentwicklung	42
4.1.1	Die vier Säulen der Aufgabenentwicklung	42
4.1.2	Interesse der Schüler an den Naturwissenschaften	49
4.1.3	Didaktische Reduktion	51
4.1.4	Didaktische Rekonstruktion	52
4.1.5	Formulierung von Handlungsaufträgen	53
4.1.6	Deduktiv-hypothetischer Erkenntnisweg und der geregelte Unterrichtskreislauf	54
4.1.7	Kontrolle der Lesbarkeit	55
4.2	Aufgaben- und Lernformate	56
4.2.1	Experiment	57
4.2.2	Mikroskopisches Arbeiten	59
4.2.3	Computer-Modellierung	60
4.2.4	Gruppenzentrierter Unterricht	60
4.2.5	Mindmap	62
4.2.6	Recherche	63

5	DURCHFÜHRUNG.....	65
5.1	Zeitplan für die Entwicklung und Optimierung der Arbeitsmaterialien	65
5.2	Auswahl der Themen	65
5.3	Entwicklungsprozess.....	67
5.4	Aufbau des Schüler- und Lehrermaterials	84
5.5	Erprobung.....	84
5.6	Evaluierung	86
5.7	Veröffentlichung der optimierten Arbeitsmaterialien	87
5.8	Ergänzende Arbeiten	88
6	ERGEBNISSE DER ARBEITSMATERIALENTWICKLUNG	89
6.1	Kurze Vorstellung der Themen der Bionik-DVD	89
6.1.1	Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens.....	90
6.1.2	Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam? .	90
6.1.3	Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse.....	91
6.1.4	Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern.....	91
6.1.5	Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung	91
6.1.6	Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel.....	92
6.1.7	Joystick – beweglich wie eine Mimose.....	92
6.2	Beurteilung der Aspekte zu Anforderungen und Rahmenbedingungen an die Aufgabenentwicklung im Rahmen der Arbeit.....	92
6.2.1	Die vier Säulen der Aufgabenentwicklung	93
6.2.2	Interesse an den Naturwissenschaften	98
6.2.3	Deduktiv-hypothetischer Erkenntnisweg und der geregelte Unterrichtskreislauf.....	99
6.2.4	Didaktische Reduktion und Rekonstruktion	100
6.2.5	Kontrolle der Lesbarkeit	102
6.3	Beurteilung der Aufgabenformate im Rahmen der Arbeit.....	108
6.3.1	Experiment	108
6.3.2	Mikroskopisches Arbeiten	109
6.3.3	Computer-Modellierung.....	109
6.3.4	Gruppenzentrierter Unterricht.....	110
6.3.5	Mindmap.....	111
6.3.6	Recherche	111
 TEIL 3		
EVALUATION DER ARBEITSMATERIALIEN UND EXPERTENINTERVIEWS		
7	METHODIK DER BEFRAGUNGEN.....	113
7.1	Evaluation durch Befragungen.....	113
7.1.1	Vor- und Nachteile der Interview- und der Fragebogenmethode.....	113
7.1.2	Verwendung der Fragebogenmethode im Optimierungsprozess	115
7.1.3	Verwendung der Interviewmethode für Expertenbefragung.....	116

8	ERGEBNISSE DER FRAGEBÖGEN UND INTERVIEWS	123
8.1	Auswertung der Schüler-Fragebögen	123
8.1.1	Thema 1: Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens	123
8.1.2	Thema 2: Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?	125
8.1.3	Thema 3: Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse	126
8.1.4	Thema 4: Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern	127
8.1.5	Thema 6: Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel	129
8.1.6	Vergleichende Auswertung zur Gesamtbewertung der Experimente	130
8.2	Gesamteinschätzung	132
8.2.1	Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens	132
8.2.2	Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?	133
8.2.3	Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse	135
8.2.4	Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern	136
8.2.5	Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung	137
8.2.6	Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel	138
8.2.7	Joystick – beweglich wie eine Mimose	138
8.3	Qualitative Inhaltsanalyse der Experteninterviews	140
8.3.1	Einzelanalysen	140
8.3.2	Abschlussanalyse	172
9	SYNTHESE	178
10	AUSBLICK UND HANDLUNGSEMPFEHLUNG	182
10.1	Fachliche Aspekte	182
10.2	Schulpolitische Aspekte	182
	LITERATURQUELLEN	185
	ANHANG	I
A1.	Interview-Transkriptionen	I
A2.	Halbstandardisiertes Interview mit Interviewleitfaden	XXXVIII
A3.	Nationale Bildungsstandards für die Kompetenzbereiche des Faches Biologie	XL
A4.	Erwartungshorizont	XLIII

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Vier der fünf Eckpunkte aus dem Handlungsfeld „Sekundarstufe I und II“ des Maßnahmenkatalogs der KMK (2009). Kursiv: Schlagwörter, die für die vorliegende Arbeit von starker Bedeutung sind.....	16
Tab. 2:	Sieben der 13 Eckpunkte aus dem Handlungsfeld „Schulartspezifische Curriculumentwicklung/ Schulprofilbildung“ des Maßnahmenkatalogs der KMK (2009). Kursiv: Schlagwörter, die Bezug auf Inhalte der vorliegenden Arbeit haben.	18
Tab. 3:	Auflistung der naturwissenschaftlich ausgerichteten fächerverbindenden Unterrichtsfächer der Gymnasien in den einzelnen Bundesländern. Schuljahr 2010/11. Quellen: Lehrpläne.	20
Tab. 4:	Sächsische Schülerinnen und Schüler der Profildjahrgänge (8.-10. Schuljahr) in ihren gewählten Profilen im Zeitraum 2004/05 bis 2009/10. Die drei Schuljahre 2004/2005-2006/07 sind Übergangsjahre, in denen beide Profilsysteme noch nebeneinander existierten. Hier wurden die einander entsprechenden Profile deshalb zusammengefasst. Das gesellschaftliche Profil entstand komplett neu, kann damit nur eingeschränkt in die Betrachtung mit einfließen und wurde deshalb in der Tabelle grau markiert. Geändert nach Daten des Statistischen Landesamtes Sachsen 2010.	23
Tab. 5:	Auflistung der Bionik-Medien nach <i>B/OKON</i> . 01.11.2010. http://www.biokon.net/bionik/literatur.html#Allgemein	37
Tab. 6:	Auflistung der Bionik-Medien nach Kompetenznetz Biomimetik. 01.11.2010. http://www.kompetenznetz-biomimetik.de/index.php?option=com_content&task=view&id=62#bildbaende	38
Tab. 7:	Preisträger, die aufgrund einer „bionischen“ Arbeit eine der ausgewählten Auszeichnungen erhielten. 10.01.2011.	39
Tab. 8:	Kompetenzbereiche des Fachs Biologie. Quelle: Beschlüsse der KULTUSMINISTERKONFERENZ 2004. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004.	43
Tab. 9:	Operatoren und ihr jeweiliger Anforderungsbereich, entsprechend der Behörde für Bildung und Sport der Stadt Hamburg 2003.....	45
Tab. 10:	Die zehn für Jungen und Mädchen uninteressantesten Themenfelder nach ROSE-Erhebung (SCHREINER et al. 2004). Altersgruppe 14-17 Jahre, Studie 2004, 1247 Schüler befragt in Deutschland und Österreich. Kursiv sind die Themen der Botanik hervorgehoben.....	50
Tab. 11:	Experimentierphasen, deren Anforderungen und zu erlangende Fähigkeiten; nach BÖHMER (1979), leicht verändert.	57
Tab. 12:	Jeweilige Seitenanzahl der sieben Experimentierthemen im neu entwickelten Arbeitsmaterial „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur.“, unterteilt in Schüler- und Lehrerteil.	84
Tab. 13:	Operatoren, die im vorliegenden Bionik-Experimentierset verwendet wurden, und deren Anforderungsbereiche entsprechend den einheitlichen Prüfungsanforderungen (KMK 2004b).....	93
Tab. 14:	Aufgaben des Themas 6 Schülerteil „Kerbstrukturen“ und zugehörige Kompetenzen nach den Bildungsstandards für die Fächer Biologie (grün), Physik (rot) und Chemie (blau) entsprechend der Kompetenzbereiche Fachwissen (F), Erkenntnisgewinnung (E), Kommunikation (K) und Bewertung (B).	94
Tab. 15:	Entwurf für die Definition von Kompetenzbereichen im Arbeitsbereich Bionik.....	95
Tab. 16:	Basiskonzepte Biologie aus KMK 2004b. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.	96
Tab. 17:	Basiskonzepte Physik aus KMK 2004d. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.	97

Tab. 18:	Basiskonzepte Chemie aus KMK 2004c. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.	97
Tab. 19:	Definition der Schwierigkeitsgrade von Flesch- und Mihm-Wert, nach MIHM (1973). ...	104
Tab. 20:	Vergleich der deutschen und der englischen Flesch-Skala.	105
Tab. 21:	Unterschiedliche Bewertungen eines Textes durch die Verwendung verschiedener Formeln.	106
Tab. 22:	Vor- und Nachteile der Fragebogenmethode, nach BURGER & GERHARDT (2003).	114
Tab. 23:	Vor- und Nachteile der Interviewmethode, nach BURGER & GERHARDT (2003).	114
Tab. 24:	Ausgewählte Lehrer für die Experteninterviews. Die Lehrer wurden anonymisiert. Abkürzungen der Fächerkanons: Bio-Biologie, Ch-Chemie, Geo-Geografie, Ma-Mathematik, Ph-Physik, Sp-Sport.	118
Tab. 25:	Definitionen, Ankerbeispiele und Kodierregeln für die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring. Leitfrage: „Wie beurteilen die Lehrer die Umsetzbarkeit und die Zielvorstellungen des fächerverbindenden Unterrichts am Beispiel der Bionik?“	122
Tab. 26:	Bewertung des Interesses an den Aufgaben des Themenkomplexes Transportsysteme. Skala: hat Spaß gemacht (0), hat keinen Spaß gemacht (1). Dargestellt sind die Durchschnittswerte aus den Schülerfragebögen.	128
Tab. 27:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 1.	142
Tab. 28:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 2.	145
Tab. 29:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 3.	149
Tab. 30:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 4.	152
Tab. 31:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 5.	156
Tab. 32:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 6.	160
Tab. 33:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 7.	164
Tab. 34:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 8.	167
Tab. 35:	Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 9.	171
Tab. 36:	Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Probleme bei der Umsetzung im Unterricht“. (A) hoher Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (B) mittlerer Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (C) niedriger Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (D) nicht erschließbar.	172
Tab. 37:	Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Interesse der Schüler an der Bionik“. (A) starkes Interesse an der Bionik; (B) mittelstarkes Interesse an der Bionik; (C) kein Interesse an der Bionik; (D) nicht erschließbar.	175
Tab. 38:	Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht“. (A) hoher Kompetenzgewinn; (B) mittlerer Kompetenzgewinn; (C) kein Kompetenzgewinn; (D) nicht erschließbar. ...	176
Tab. 39:	Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Anteil selbständiger Schülerarbeit“. (A) zeitlicher Anteil sehr hoch; (B) zeitlicher Anteil mittelmäßig; (C) zeitlicher Anteil niedrig; (D) nicht erschließbar.	177

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Deutliche Abwärtstendenz der Schülerzahlen an sächsischen Gymnasien im Zeitraum 2000/01 bis 2009/10, Klasse 5-12, Unterscheidung von Jungen und Mädchen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.	24
Abb. 2:	Absolute Schülerzahlen der Profiljahrgänge. Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich mit den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.	24
Abb. 3:	Relative Zahlen der Jungen zur Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich zu den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert. ...	25
Abb. 4:	Relative Zahlen der Mädchen zur Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich zu den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert. ...	25
Abb. 5:	Ausschnitt aus dem sächsischen Lehrplan; handlungsspezifischer Teil des Lehrplans „naturwissenschaftliches Profil“ Lernbereich 6, 1. Abschnitt: „Einblick gewinnen in die Bionik als Wissenschaft“	27
Abb. 6:	Ausschnitt aus dem sächsischen Lehrplan; handlungsspezifischer Teil des Lehrplans Wahlgrundkurs „Biotechnologie und Bionik“ Lernbereich 4, 1. Abschnitt: „Eukaryonten in der Bionik“	28
Abb. 7:	Schüleranzahl des Grundkurses „Biotechnologie und Bionik“ oder ähnlicher Nennungen im Untersuchungsjahr 2008/09. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.	30
Abb. 8:	Beispiele aus der Geschichte der Bionik. oben links: Mohnkapsel (<i>Papaver</i>) und der davon abgeleitete Salzstreuer, aus „Die Pflanze als Erfinder“ (FRANCÉ 1920); oben rechts: Früchte der Großen Klette <i>Arctium lappa</i> mit widerhakigen Hüllblättern, die dem Klettverschluss als Vorbild dienen, Quelle: Friedrich Ditsch; unten links: Blattunterseite von <i>Victoria regia</i> , dem Vorbild des Londoner Kristallpalastes, Quelle: Friedrich Ditsch; unten rechts: <i>Alsomitra macrocarpa</i> -Samen diente dem Etrich-Gleitflieger als Vorbild, Quelle: Bambus-Centrum Deutschland Eberts, Baden-Baden.	33
Abb. 9:	Anstieg der Patentanmeldungen unter dem Stichwort „biologically-inspired“ seit 1985 in den USA und China, aus BONSER et al. (2007).	34
Abb. 10:	„Bottom-Up-Verfahren“ der Bionik (Biology Push) am Beispiel der Entwicklung des Technischen Pflanzenhalms. ©Plant Biomechanics Group Freiburg, aus SPECK, T. & SPECK, O. (2008).	35
Abb. 11:	„bionic“-Stift der Firma Schwan-STABILO. Quelle: Olga Speck.....	40
Abb. 12:	Formen didaktischer Reduktion, verändert nach GRÜNER 1967, ASCHERSLEBEN 1993... ..	52
Abb. 13:	Struktur des geregelten Unterrichtskreislaufs, aus PÜTZ (2010:7), leicht verändert.	54
Abb. 14:	Zeitplan für die Entwicklung und Optimierung der Arbeitsmaterialien.....	65
Abb. 15:	Suchbegriffe entsprechend der sieben ausgewählten Experimentierthemen und ihre Häufigkeit in der gemeinsamen Nennung mit den vier Begriffen biomimetic*, bionic*, biological inspired* und bio-inspired* im ISI Web of Science, 06.09.2010.	67
Abb. 16:	Variante 1 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, April 2008.	74
Abb. 17:	Variante 2 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, Februar 2009.....	76
Abb. 18:	Variante 3 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, Juli 2009.....	79
Abb. 19:	Variante 4 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, März 2010.	83
Abb. 20:	DVD „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der .“, 2010 erschienen im DUDEN-Schulbuchverlag; Comenius-Siegel der Gesellschaft für Pädagogik und Information e.V. für pädagogisch, inhaltlich und gestalterisch herausragende IKT-basierte Bildungsmedien.	89
Abb. 21:	Didaktische Rekonstruktion für das Thema Faltungen nach dem Modell von DUIT (2004). 101	
Abb. 22:	Darstellung der durchschnittlichen Wortanzahl pro Satz entsprechend den sieben Themen und aufgeteilt in Lehrer- und Schülermaterial, Skala nach МИМ (1973).....	102

Abb. 23:	Exemplarische Darstellung der Satzanzahl mit einer bestimmten Anzahl an Wörtern anhand des Experiments „Faltungen in Natur und Technik“, aufgeteilt in Lehre Lehrer- und Schülermaterial.	103
Abb. 24:	Varianz der mittleren Silbenanzahl aller sieben Themenkomplexe, Lehrer- und Schülermaterial.	104
Abb. 25:	Flesch-Werte für die sieben Themen entsprechend der deutschen Flesch-Formel, nach MIHM (1973).	105
Abb. 26:	Flesch- bzw. Mihm-Werte für die sieben Themen entsprechend der englischen Flesch-Formel, nach MIHM (1973).	106
Abb. 27:	Mittlere Satzlänge auf der mittleren Wortlänge abgetragen. Schwarzes Quadrat: Experimentierthemen Bionik-DVD; graues Dreieck: Mittelwert der sieben Experimentierthemen der Bionik-DVD; weißes Quadrat: Onlineportale dreier Zeitungen (BILD, Sächsische Zeitung, ZEIT); weißes Dreieck: Bionik-Lehrbuch Duden Paetec-Schulbuchverlag. Grüne Markierung: leichte Lesbarkeit; rote Markierung: schwere Lesbarkeit.	107
Abb. 28:	Interesse und Schwierigkeitsgrad der einzelnen Faltmodelle, in Klammern die Anzahl der Schüler, die die entsprechende Faltung durchgeführt haben. Im Hintergrund ist als Fläche das Interesse an der jeweiligen Faltung dargestellt, davor als graue Säule der von den Schülern definierte entsprechende Schwierigkeitsgrad. Skala Interesse: 1 (langweilig), 2 (ok), 3 (sehr interessant), Skala Schwierigkeitsgrad: 1 (zu leicht), 2 (ok), 3 (zu schwer).	124
Abb. 29:	Acht gebildete Antwortkategorien auf die offene Frage „Was kann man vom biologischen Faserverbund für die Technik lernen?“, dunkle Säulen beziehen sich auf die Stabilität des Faserverbunds allgemein, die grauen Säulen beschreiben eher funktionelle Eigenschaften bezüglich der Anwendung, die weißen Säulen beziehen sich auf die Ergebnisse der Experimente sowie die Untersuchungen der biologischen Vorbilder... ..	125
Abb. 30:	Interesse der Schüler an einer Weiterführung des Themas „Faserverbunde“.	126
Abb. 31:	Interesse und Schwierigkeitsgrad an den einzelnen Aufgaben zum Flossenstrahleffekt. Im Hintergrund ist das Interesse an der jeweiligen Aufgabe dargestellt, davor als graue Säule der von den Schülern definierte entsprechende Schwierigkeitsgrad. Skala Interesse: 1 (langweilig), 2 (ok), 3 (sehr interessant), Skala Schwierigkeitsgrad: 1 (zu schwer), 2 (ok), 3 (zu leicht). In Klammern die Anzahl der Nennungen.	127
Abb. 32:	Interesse der Schüler an einer Weiterführung des Themas „Transportsysteme“.	129
Abb. 33:	Aufgaben des Experimentierthemas Kerbstrukturen und ihre Beliebtheit bei den Schülern. Die Nennungen beziehen sich auf die offene Frage: „Was hat Ihnen am meisten Spaß gemacht bei der Durchführung des gesamten Experiments?“, Mehrfachnennungen wurden berücksichtigt.	129
Abb. 34:	Verständlichkeit der Konstruktionsaufgabe „Zugdreiecke“ des Themenkomplexes Kerbstrukturen.	130
Abb. 35:	Darstellung der Antworten zur Frage „Wie wird Ihrer Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“. Skala: 1 überhaupt nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 gut, 5 sehr gut. Dargestellt sind die Durchschnittswerte aus den Schülerfragebögen. Die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen sind in Klammer gesetzt.	131
Abb. 36:	Darstellung der relativen Antworthäufigkeit zur Frage „Wie wird Ihrer Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“ mit Aufschlüsselung der Skala: 1 überhaupt nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 gut, 5 sehr gut. Die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen sind in Klammer gesetzt.	132

TEIL 1 FORSCHUNGSKONTEKT

„Nicht die Pflanze erfindet, nicht „wir“ erfinden, sondern das Gesetz der technischen Formen vollzieht sich in der einzigen dunklen Nacht der Notwendigkeit.“

R.H. Francé, aus „Die Pflanze als Erfinder“

1 Bionik im bildungspolitischen Kontext

1.1 Vorgaben der Kultusministerkonferenz und deren bundesweite Umsetzung

Im Jahr 2009 verabschiedete die deutsche Kultusministerkonferenz (KMK) einen Maßnahmenkatalog zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung (KMK 2009). Darin wurde die Wertschöpfung durch Produkte und Dienstleistungen, die dem naturwissenschaftlich-technischem, dem medizinischen, dem informationserzeugenden und -verarbeitenden Bereich zuzuordnen sind, als wesentliche Grundlage unseres Wohlstands und für Wirtschaft und Industrie als entscheidender Standortfaktor für die Bundesrepublik Deutschland definiert. Um eine solche innovationsstarke Wirtschaft international konkurrenzfähig zu gestalten, werden, so der Katalog, auch in Zukunft bestausgebildete Naturwissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Fachkräfte benötigt. Aus diesem Grund erklärt die KMK es zu einem der wichtigsten Ziele der deutschen Bildungspolitik, das Interesse an naturwissenschaftlich-technischer Bildung frühzeitig zu wecken und anhaltend zu fördern.

Unter Betracht der aktuelle Lage wird jedoch schnell deutlich, dass der Mangel an Fachkräftenachwuchs bislang kaum behoben werden konnte – besonders die Fächer Mathematik, Physik und Chemie sind vom Desinteresse der nachkommenden Generation betroffen. Um dieser Situation entgegenzuwirken, wurden von der Kultusministerkonferenz Maßnahmen vorgeschlagen, die frühzeitiges naturwissenschaftliches Interesse fördern sollen. Der Maßnahmenkatalog besteht aus acht Handlungsfeldern, von welchen zwei im Folgenden näher betrachtet werden, da sie für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind.

Das Handlungsfeld „Sekundarstufe I und II“ umfasst fünf Eckpunkte, von denen vier einen Zusammenhang mit dem fächerverbindenden Unterricht herstellen:

1	Sicherstellung von durchgängigem naturwissenschaftlichen Unterricht in den Klassenstufen 5 bis 10 in Form von Fachunterricht, integriertem naturwissenschaftlich-technischem Unterricht, Lernfeldern, <i>interdisziplinärem oder fächerverbindendem Unterricht</i>
2	Erteilung von <i>integriertem naturwissenschaftlich-technischen Unterricht</i> in den Jahrgangsstufen 5 – 6 (ggf. Jgst. 5 – 8) im Umfang von mindestens 3 Wochenstunden, wenn dieser in den Ländern vorgesehen ist
3	<i>Entwicklung fächerverbindender naturwissenschaftlicher Konzepte für die Sekundarstufe I</i> , die neben der Vertiefung übergreifender fachlicher Kompetenzen besonders das Interesse der Schülerinnen und Schüler an Naturwissenschaften und Technik fördern sollen
5	Sicherung der Belegungspflicht der Naturwissenschaften sowie der <i>Möglichkeiten der Vertiefung und Ergänzung</i> (z.B. Angebot naturwissenschaftlicher Fächer auf erhöhtem Anforderungsniveau, Wahlkurse) in der gymnasialen Oberstufe

Tab. 1: Vier der fünf Eckpunkte aus dem Handlungsfeld „Sekundarstufe I und II“ des Maßnahmenkatalogs der KMK (2009). Kursiv: Schlagwörter, die für die vorliegende Arbeit von starker Bedeutung sind.

Sehr deutlich tritt bei der Aufzählung dieser ausgewählten Maßnahmen die Zielvorgabe des fächerübergreifenden und fächerverbindenden Arbeitens hervor. Die Lösung vielschichtiger, naturwissenschaftlicher Probleme erfordert die Perspektive mehrerer Unterrichtsfächer und kann durch allein fachspezifische Methoden oft nicht erreicht werden, denn Schüler begreifen ihre Umwelt als komplexe Phänomene. Fächerübergreifender und fächerverbindender Unterricht ermöglichen es dagegen, isoliert voneinander erlernte Fachinhalte miteinander vernetzt zu betrachten. Fächerverbindendem Lernen werden daher viele Vorteile nachgesagt, vorausgesetzt, die notwendige Fachkompetenz ist gegeben: So erhofft man sich eine stärkere Vernetzung des bereits vorhandenen Wissens, um Schlüsselprobleme lösen zu können. Grenzen einzelner Fachbereiche können einfacher definiert, die Teamfähigkeit aufgrund der verschiedenen Interessen der Schüler gefördert werden.

Im pädagogischen Sinne unterscheiden sich fachübergreifendes Lernen und fächerverbindendes Lernen voneinander: Während beim fachübergreifenden Lernen von einem Fach ausgehend Fragestellungen aufgegriffen werden, die über dessen Grenze hinaus beantwortet werden können, steht beim fächerverbindenden Lernen ein Thema im Mittelpunkt, welches von verschiedenen Perspektiven aus beleuchtet wird. An den Fachlehrer stellt dieses zweitgenannte Vorgehen nicht nur aufgrund der Kooperationsnotwendigkeit mit anderen Fachlehrern, sondern auch durch die Koordination und Ergebnissicherung einen deutlichen Mehraufwand dar (BECKER-HUBRICH et al. 1999).

Je nach zeitlichen Rahmenbedingungen findet das Konzept des fächerverbindenden Unterrichts bundesweit zwar Zustimmung, allerdings nicht in allen Bundesländern Anwendung. Alle Bundesländer erwähnen jedoch in ihren Lehr- und Bildungsplänen die Relevanz fachübergreifender Unterrichtsmethoden. Die meisten Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland haben die im Maßnahmenkatalog der KMK (2009) formulierte Zielmaßgabe der Integration von fächerübergreifenden und fächerverbindenden Unterrichtsformen und -inhalten bereits in neuen Lehrplänen und Rahmenrichtlinien umgesetzt. Die Übersicht in Tabelle 3 listet die naturwissenschaftlich ausgerichteten Fächerverbünde der gymnasialen Sekundarstufe I sowie der gymnasialen Oberstufe des Schuljahres 2010/11 auf¹. Unterschiede gibt es nicht nur in der Verbindlichkeit der Umsetzung von fächerverbindenden Unterrichtsformen, sondern auch in der Wahl der Jahrgänge, die fächerverbindend unterrichtet werden sowie im zeitlichen Umfang. Eine Vielzahl von Bundesländern lokalisiert den fächerverbindenden naturwissenschaftlichen Unterricht in den unteren Jahrgängen der Sekundarstufe I. Dabei werden die Fächer Biologie, Physik und Chemie fakultativ oder zwingend im Fächerverbund unterrichtet. Für die gymnasiale Oberstufe wird ein solcher fächerverbindender naturwissenschaftlicher Unterricht kaum, und wenn, dann lediglich komplementär in Form von Wahlgrundkursen (Sachsen) oder interdisziplinären Seminarfächern (Saarland, Thüringen) angeboten. An vielen Schulen besteht gleichzeitig die Möglichkeit, ergänzend zu den bisherigen Fächern eigene Konzepte für den Unterricht in der Sekundarstufe I, aber auch II, zu entwickeln. Diese müssen teilweise vom Landesverwaltungsämtern und Bildungsinstituten bestätigt werden. Die bildungspolitische

¹ Die Übersicht wurde erstellt auf Basis der im Internet frei zugänglichen Lehrpläne der Länder für allgemeinbildende Schulen: www.bildungsserver.de. Außerdem erfolgten Nachfragen per Email und Telefon bei den Verantwortlichen in den Bildungsinstituten der jeweiligen Bundesländer.

Situation hinsichtlich fächerverbindenden Unterrichts in Sachsen wird in Kapitel 1.2 beschrieben.

Das Handlungsfeld „Schulartspezifische Curriculumentwicklung/ Schulprofilbildung“ des Maßnahmenkatalogs beinhaltet 13 Eckpunkte, von denen hier sieben aufgegriffen werden, die für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind:

1	konsequente Orientierung an den vorhandenen <i>Bildungsstandards</i> für den mittleren Bildungsabschluss sowie an den noch zu erarbeitenden Standards für die Fächer Mathematik, Biologie, Chemie und Physik für das Abitur bei gleichzeitiger Schaffung didaktisch-methodischer Freiräume unter Einbezug der Ergebnisse von SINUS und SINUSTransfer sowie der „Kontext“-Projekte
2	<i>naturwissenschaftliche Profilbildung</i> der einzelnen Schule fördern
4	methodische Kompetenzen im Hinblick auf <i>entdeckendes, eigenständiges und forschendes Lernen</i> , Teamwork sowie die Fähigkeit zum Konzipieren, Erproben und Reflektieren von Problemlösungsstrategien und deren altersgemäße Dokumentation und Präsentation weiter entwickeln
7	in den MINT-Fächern <i>Lebenswelt- und Praxisbezug</i> herstellen
8	in Biologie, Chemie und Physik (möglichst auch in Praktika) <i>experimentell arbeiten</i>
9	<i>Computerprogramme</i> sowie Taschenrechner in allen MINT-Fächern verbindlich nutzen
10	<i>fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten (Vernetzung fachspezifischer Kompetenzen)</i> verbindlich einführen

Tab. 2: Sieben der 13 Eckpunkte aus dem Handlungsfeld „Schulartspezifische Curriculumentwicklung/ Schulprofilbildung“ des Maßnahmenkatalogs der KMK (2009). Kursiv: Schlagwörter, die Bezug auf Inhalte der vorliegenden Arbeit haben.

In Tabelle 2 werden sieben Maßnahmen vorgestellt, die für das methodische Erarbeiten eines Schulcurriculums eine wichtige Rolle spielen. Die Orientierung des Curriculums an den nationalen Bildungsstandards stellt im Katalog der KMK eine der empfohlenen Maßnahmen dar. Auf die darin enthaltenen Kompetenzbereiche wird in Kapitel 4.1.1.1 ausführlich eingegangen. Auch die Forderungen zur Nutzung verschiedener wissenschaftlicher Arbeitsmethoden, gerade in Hinblick auf experimentelles Arbeiten, aber auch hinsichtlich der Nutzung von Computerprogrammen, spielen bei der Aufgabenentwicklung eine wichtige Rolle (Kap. 4.2). Der für die Motivation der Schüler notwendige Lebenswelt- und Praxisbezug wird in Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 näher beleuchtet.

Bundesland	Name des Fachs	Jahrgang	Zeitraumen
Baden-Württemberg	Fach Naturphänomene	6	variabel
	Naturwissenschaftliches Profil: Naturwissenschaft und Technik	8-10	variabel
Bayern	Fachprofil Natur und Technik ²	5-7	3 WS
Berlin	Fach Naturwissenschaften ³	5/6	4 WS
Brandenburg	Wahlpflichtfach Naturwissenschaften	5-10	1x pro Halbjahr ein fächerverb. Vorhaben
Bremen	Fach Naturwissenschaften	5/6	2-3 WS ⁴
	Welt-Umweltkunde	5/6	2 WS
Hamburg	Rahmenplan Naturwissenschaften/Technik	5	4 WS
		6	2 WS
Hessen	Lernbereich Naturwissenschaften ⁵	5/6	3 WS
Mecklenburg-Vorpommern	Fächerverbindender/ fächerübergreifender Wahlpflichtkurs Rahmenplan: Gestaltung einer zukunftsfähigen Welt	9/10	3 WS
	Geographie/Biologie fächerverbindend, Rahmenplan System Erde	9/10	2 WS
	Rahmenplan Naturwissenschaften	7	
Niedersachsen	Fächerverbund Naturwissenschaften ⁶	5/6	variabel
Nordrhein-Westfalen	⁷		
Rheinland-Pfalz	Fach Naturwissenschaften ⁸	5	4 WS
		6	3 WS
	Wahlfach Naturwissenschaftliches Arbeiten	9/10	3 WS
	Wahlpflichtfach Naturwissenschaften ⁹	8/9	3 WS
Saarland	Fach Naturwissenschaften	5	3 WS
		6	2 WS

² Der Schwerpunkt „naturwissenschaftliches Arbeiten“ existiert nur im ersten Halbjahr der Klasse 5 und wird danach in die Schwerpunkte Biologie, Informatik und Physik aufgeteilt.

³ In Berlin ist die Grundschule sechsjährig, d. h. das Integrationsfach Naturwissenschaften 5/6 findet, außer an einigen grundständigen Gymnasien, dort statt.

⁴ An den Gymnasien in Bremen wird in den Klassenstufen 5 + 6 das Fach „Naturwissenschaften“ zweistündig oder - sofern genug Lehrerstunden vorhanden sind - auch dreistündig unterrichtet. Im letzten Fall dann zwei der drei Stunden in Halbgruppen, um experimentell arbeiten zu können. Diese Variante wird nach Aussagen des Landesinstituts für Schule in Bremen (LIS) immer seltener praktiziert.

⁵ Fakultativ kann an Haupt- und Realschulen, kooperativen und integrierten Gesamtschulen sowie Gymnasien in Hessen in den Jahrgangsstufen 5 und 6 mit Genehmigung des Kultusministeriums der Lernbereich "Naturwissenschaften" eingerichtet werden. Bei der Antragstellung sind ein schulisches Curriculum sowie schulinterne Studentafeln vorzulegen, die sich im Regelfall an der Gesamtzahl der Schülerstunden der einzelnen Schulformen orientieren. An integrierten Gesamtschulen, an denen ein Lernbereich Naturwissenschaften besteht, kann er bis zum Ende der Sekundarstufe I fortgeführt werden.

⁶ Naturwissenschaften können, müssen aber nicht, im Verbund unterrichtet werden.

⁷ Der Biologielehrplan von Nordrhein-Westfalen beschreibt Möglichkeiten zur Einbindung technischer Sachverhalte und die Vernetzung naturwissenschaftlicher Fächer im Biologieunterricht der Sekundarstufe I. Hier fällt als Unterpunkt auch das Stichwort Bionik.

⁸ In der schulartübergreifenden Orientierungsstufe sind die Fächer Physik und Chemie in einem Fach Physik/Chemie zusammengefasst, die Biologie wird zusätzlich gelehrt. Im Lehrplan erfolgte jedoch die Empfehlung, diese naturwissenschaftlichen Fächer durch die gleiche Lehrkraft bei entsprechender Lehrbefähigung unterrichten zu lassen.

⁹ Praktisch erst ab dem Schuljahr 2011/12; die Schülerinnen und Schüler der 17 rheinland-pfälzischen G8GTS-Gymnasien befinden sich aktuell erst in der 7. Klassenstufe.

	Seminarfach	11/12	2 WS
Sachsen	Fächerverbindendes naturwissenschaftliches Profil	8-10	mind. 2 Wochen pro Schuljahr
	Fächerübergreifende Grundkurse	11/12	112 UE über zwei Jahre
Sachsen-Anhalt	Wahlpflichtkurs Angewandte Naturwissenschaften	7-10	2 WS
Schleswig-Holstein	Fach Naturwissenschaften	5-10	
Thüringen	Fach Mensch – Natur – Technik	5/6	6 WS, verteilt über 2 Jahre
	Wahlfach Naturwissenschaft und Technik ¹⁰	9/10	
	Seminarfach	11/12	¹¹

Tab. 3: Auflistung der naturwissenschaftlich ausgerichteten fächerverbindenden Unterrichtsfächer der Gymnasien in den einzelnen Bundesländern. Schuljahr 2010/11. Quellen: Lehrpläne.

¹⁰ noch in Erarbeitung, Einsatz ab dem Schuljahr 2013/14 mit 3 Wochenstunden.

1.2 Naturwissenschaftliches Profil im Kontext sächsischer Bildungspolitik

Sachsen nahm in der PISA-Studie 2006, in der die naturwissenschaftliche Grundbildung im Mittelpunkt der Untersuchungen stand, innerhalb Deutschlands die Spitzenposition in der naturwissenschaftlichen Kompetenz ein (PRENZEL et al. 2008). Die sächsischen Schüler erreichten bei der naturwissenschaftlichen Kompetenz 541 und damit 40 Punkte mehr als der OECD-Durchschnitt. Sie waren damit Zweiter hinter Finnland und vor Kanada. Der sächsische Kultusminister Roland Wöllner führte dies auf die drei Säulen sächsischer Bildungspolitik Kontinuität, Anspruch und Förderung zurück¹². Doch welche Trends lassen sich in den letzten Jahren beobachten? Welche Veränderungen prägten die sächsische Schullandschaft insbesondere bezugnehmend auf den Maßnahmenkatalog der KMK (2009) und die dort geforderte Hinwendung zum fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht maßgeblich?

1.2.1 Vernetztes Lernen im Profilunterricht

In vielen Fachbereichen der wissenschaftlichen Forschung wird heute interdisziplinär gearbeitet. Zu komplex sind oft die Probleme und Herausforderungen, als dass sie ein Fachgebiet allein zu lösen vermag. Fachinhalte werden deshalb zunehmend miteinander vernetzt. Diese Verknüpfung des vorhandenen Wissens wird als ein Charakteristikum des Übergangs von der Industrie- zur Wissensgesellschaft bezeichnet (Comenius-Institut 2004:2) Um dieser Veränderung gerecht zu werden und eine neue Lehr- und Lernkultur zu entwickeln, rückten das fachübergreifende und das fächerverbindende Lernen als vernetztes Lernen auch zunehmend in den Fokus der Schulen, denn es „übt interdisziplinäres Denken und Arbeiten und bereitet auf den Umgang mit vielschichtigen und vielgestaltigen Problemen vor. Zugleich wird die Fähigkeit zu selbstgesteuertem Lernen intensiviert. Ganzheitlichkeit und Mehrperspektivität des Lernens fördern den Aufbau gefestigter kognitiver Strukturen. Wissen ist schneller und sicherer abrufbar und flexibler anwendbar. Ein weiterer Vorteil des interdisziplinären Unterrichts besteht darin, dass er durch die stärkere Handlungs- und Lebensweltorientierung die Lernmotivation der Schüler steigern kann.“ (Comenius-Institut 2004:2). Wird die ganzheitliche Betrachtung von Themen in der Grundschule noch praktiziert, erfolgt in der Sekundarstufe I bisher eine deutliche Trennung der Fächer voneinander. Fachinhalte verlieren dadurch an Bezug zur Lebenswelt der Schüler, wodurch nachweislich auch Motivation und Interesse an jenen Themen sinken. Ziel der fächerverbindenden und auch der fachübergreifenden Unterrichtsformen ist daher die Befähigung der Schüler, sich mit naturwissenschaftlichen Phänomenen und aktuellen wie zukünftigen Problemen zielorientiert auseinanderzusetzen. Dies schließt nicht nur Sach-, sondern auch Methoden- und Sozialkompetenzen mit ein. Während aber fachübergreifendes Arbeiten von den Bildungsinstituten als durchgängiges Unterrichtsprinzip bezeichnet wird, welches in den Lehrplänen der einzelnen Fächer verankert ist, erfordert fächerverbindender Unterricht eine komplett neue Unterrichtsform, denn er betrachtet komplexe Themen und Sachverhalte, die von

¹² Pressemitteilung des sächsischen Staatsministeriums für Kultus und Sport vom 18.11.2008. <http://www.sachsen-macht-schule.de/schule/5771.htm?pmid=1242>

einzelnen Fächern nicht oder nur teilweise erfasst werden können. In Sachsen wurden für die Gymnasien deshalb fächerverbindende Unterrichtseinheiten entwickelt:

Im sächsischen Lehrplan der Gymnasien existieren seit dem Schuljahr 2004/05 fächerverbindende Unterrichtsprofile. Im Lehrplan dieser Profile ist die Hoffnung formuliert, mit den Themen die Lebenswelt der Schüler anzusprechen und dadurch den „Neigungen, Interessen und Fähigkeiten der Schüler“ entgegenzukommen. Diese sollen vertieft und gefördert werden sowie gleichzeitig den Schülern helfen, die Welt in ihrer Komplexität wahrzunehmen und verantwortungsvoll mit ihr umzugehen.

Jedem Schüler soll ein fächerverbindender Unterricht von mindestens zwei Wochen pro Schuljahr ermöglicht werden. Bei der Realisierung eines Unterrichtskonzepts wird die Zusammenarbeit der Fachlehrer angestrebt. Gegenseitige Zuarbeit der Fachlehrer ist dabei von Vorteil. Auch Teamteaching, bei welchem zwei oder mehrere Lehrer gemeinsam eine Unterrichtseinheit planen und/oder durchführen, ist der Durchführung von interdisziplinärem Arbeiten im Schulunterricht zuträglich.

Fünf fächerverbindende Profile können an den sächsischen Gymnasien angeboten werden:

- das gesellschaftswissenschaftliche Profil,
- das künstlerische Profil,
- das naturwissenschaftliche Profil,
- das sportliche Profil,
- das sprachliche Profil.

Die Hintergründe und Ursachen für die Umprofilierung sowie die Akzeptanz der neu eingerichteten Profilbereiche seitens der Schüler werden im Folgenden beschrieben.

1.2.2 Schülerstatistik

Für das Schuljahr 2004/05 trat die Umprofilierung des fachvertiefenden Unterrichts an sächsischen Gymnasien in Kraft. Auch zuvor gab es dort für die Schüler der Sekundarstufe I bereits die Möglichkeit, zwischen vier Profilen¹³ zu wählen. Diese waren allerdings anders strukturiert und mit einigen Nachteilen verbunden. Über 80 Prozent der Schüler¹⁴ entschieden sich damals für das naturwissenschaftliche Profil, was berechtigte Zweifel darüber aufkommen ließ, ob der Profilwahl im besonderen Maße die Fähigkeiten und Neigungen der Schüler zugrunde lagen (Comenius-Institut 2003). Die Schüler der nicht-naturwissenschaftlichen Profile wurden insgesamt mit einer Wochenstundenzahl von nur 13 Stunden in den Naturwissenschaften unterrichtet, die Schüler des mathematisch-naturwissenschaftlichen Profils hingegen mit 23 Stunden. Fast 20 Prozent der Schüler erwarben somit eine geringere naturwissenschaftliche Grundbildung, die, so das Comenius-Institut 2003, die selbstbestimmte Teilhabe an einer von Naturwissenschaft und Technik geprägten

¹³ Mathematisch-naturwissenschaftliches, musikalisches, sprachliches und sportliches Profil.

¹⁴ STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (2001): Allgemein bildende Schulen im Freistaat Sachsen. Gymnasien. Schuljahr 2000/01. Kamenz.

Kultur erschwert. Eine entscheidende Anforderung an die Profilerneuerung rückte damit in den Vordergrund: „Die Profile müssen dem gymnasialen Anspruch nach vertiefter Allgemeinbildung genügen. Unverzichtbare Bildungsinhalte dürfen deshalb nicht ausschließlich Inhalte des Profilsbereichs sein.“ Es entstanden fünf Profile, die in den vorgesehenen drei Wochenstunden fächerübergreifende Themen des jeweiligen Profils in den Mittelpunkt des Unterrichts rückten. Damit erhalten im Zuge der Umprofilierung nun alle Schüler eine naturwissenschaftliche Grundausbildung in den Fächern Biologie, Physik und Chemie. Die Gymnasien können seither außerdem mehrere Profile parallel zueinander anbieten und so auch ihre personellen Ressourcen effektiver einsetzen sowie regionale Gegebenheiten besonders berücksichtigen.

In Tabelle 4 ist die Entwicklung der Schülerzahlen der vergangenen sechs Schuljahre 2004/05 bis 2009/10 in den einzelnen Profilen dargestellt:

Profil \ Schuljahr	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
<i>gesellschaftswissenschaftlich</i>	375	1.519	2.422	3.016	3.086	3.364
<i>Künstlerisch</i>	2.858	3.280	3.511	3.577	3.691	4.136
<i>naturwissenschaftlich</i>	34.343	25.744	17.323	11.814	11.618	12.252
<i>Sprachlich</i>	5.741	5.090	4.049	3.556	3.590	3.777
<i>Sportlich</i>	241	433	718	775	813	894
INSGESAMT	43.558	36.066	28.024	22.738	22.798	24.558

Tab. 4: Sächsische Schülerinnen und Schüler der Profildjahrgänge (8.-10. Schuljahr) in ihren gewählten Profilen im Zeitraum 2004/05 bis 2009/10. Die drei Schuljahre 2004/2005-2006/07 sind Übergangsjahre, in denen beide Profilsysteme noch nebeneinander existierten. Hier wurden die einander entsprechenden Profile deshalb zusammengefasst. Das gesellschaftliche Profil entstand komplett neu, kann damit nur eingeschränkt in die Betrachtung mit einfließen und wurde deshalb in der Tabelle grau markiert. Geändert nach Daten des Statistischen Landesamtes Sachsen 2010.

Untersucht man nun die fünf neuen Profile hinsichtlich ihrer Beliebtheit bei den Schülern, so lassen sich vier Tendenzen dabei erkennen:

1. In Sachsen waren die Jahre nach der deutschen Wiedervereinigung aufgrund des starken Geburtenknicks insgesamt geprägt von einem deutlichen Abfall der Schülerzahlen. Seit 2003/04 lässt sich jedoch wieder ein leicht ansteigender Trend diagnostizieren. Allerdings bislang erst auf der Grundschul-Ebene. In den Gymnasien fallen die Schülerzahlen, betrachtet man die Jahrgangsstufen 5 bis 12 gemeinsam, noch immer ab (vgl. Abb. 1). Dies wirkt sich auch auf die absoluten Schülerzahlen in den Profilen aus. Wählten im Schuljahr 2004/05 noch 43.558 Schülerinnen und Schüler eines der angebotenen Profile, so waren es im Schuljahr 2009/10 nur noch 24.558. Das entspricht einem Rückgang der Schülerzahl auf 56 Prozent. Seit 2009/10 ist allerdings bereits ein kleiner Anstieg der Schülerzahlen in den Profildjahrgängen zu beobachten.

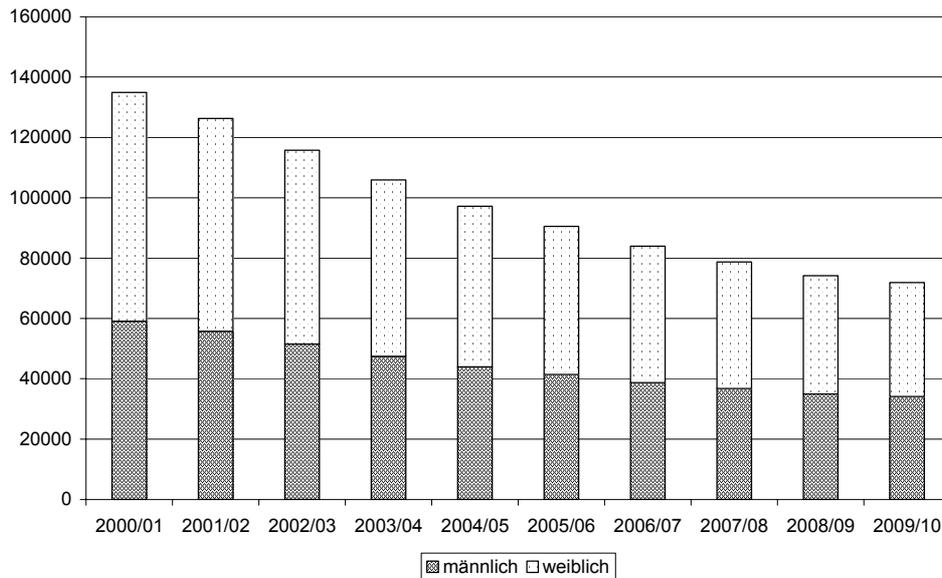


Abb. 1: Deutliche Abwärtstendenz der Schülerzahlen an sächsischen Gymnasien im Zeitraum 2000/01 bis 2009/10, Klasse 5-12, Unterscheidung von Jungen und Mädchen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.

2. Untersucht man dabei die absoluten Zahlen, so sinkt innerhalb der sechs Jahre im Zeitraum 2004/05 bis 2009/10 auch die relative Zahl der Schülerinnen und Schüler, die sich für das naturwissenschaftliche (ehem. mathematisch-naturwissenschaftliche) Profil entschieden haben. 2004/05 belegten 79 Prozent, 2009/10 nur noch 50 Prozent aller Schüler einer Jahrgangsstufe das naturwissenschaftliche Profil. Abbildung 2 stellt diesen Sachverhalt dar.

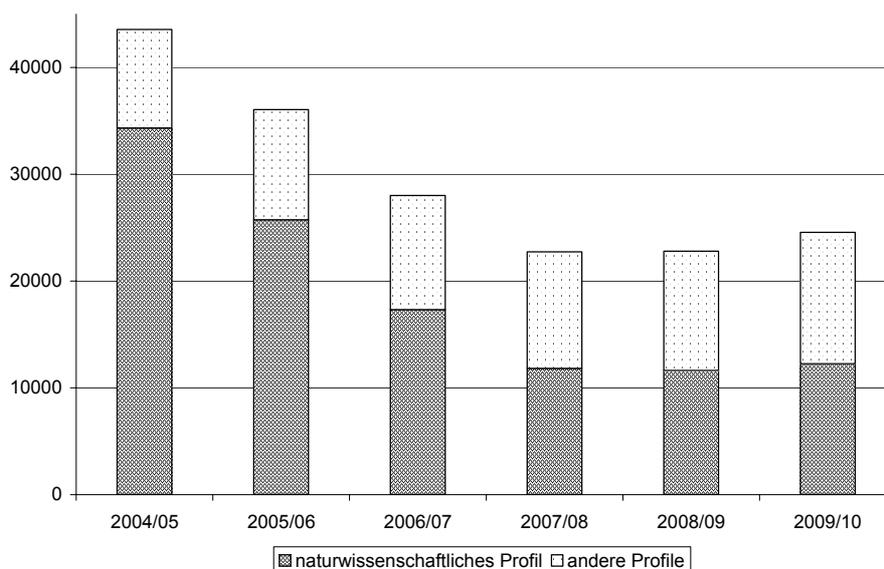


Abb. 2: Absolute Schülerzahlen der Profildjahrgänge. Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich mit den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.

3. Die Anzahl der Jungen, die das naturwissenschaftliche Profil wählten, fiel im sechsjährigen Untersuchungszeitraum von 88 Prozent auf 64 Prozent und damit um ein Viertel.

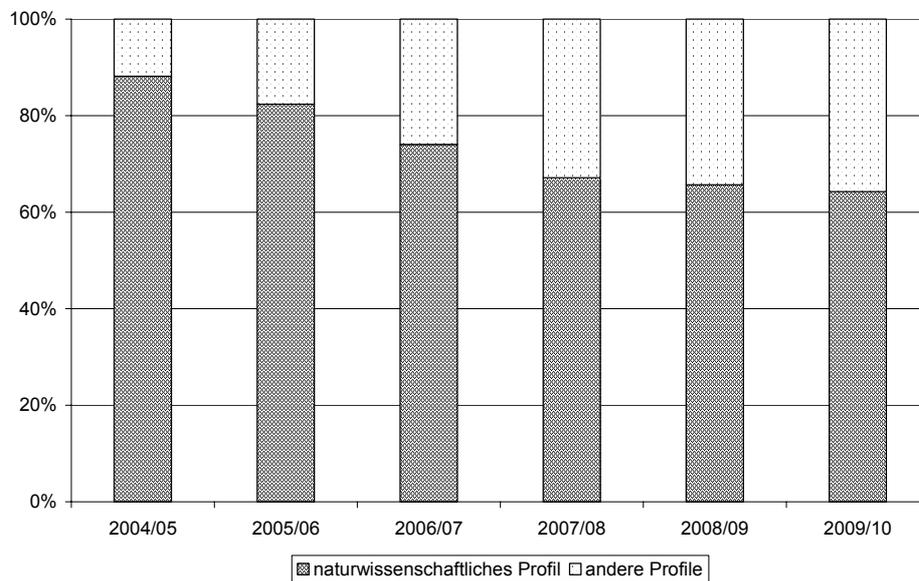


Abb. 3: Relative Zahlen der Jungen zur Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich zu den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.

4. Der Anteil der Mädchen, die das naturwissenschaftliche Profil wählten, fiel im sechsjährigen Untersuchungszeitraum von 71 Prozent auf 37 Prozent, also um fast die Hälfte.

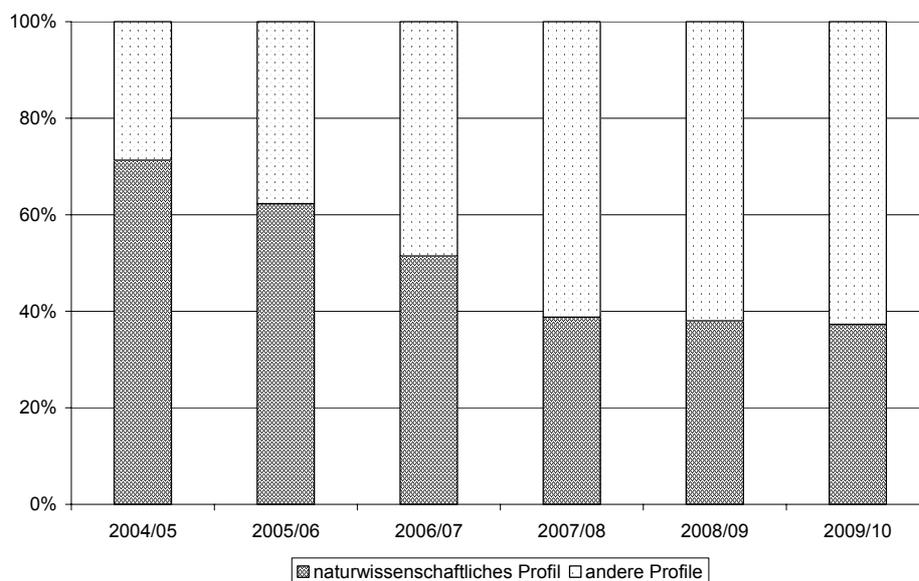


Abb. 4: Relative Zahlen der Mädchen zur Wahl des naturwissenschaftlichen Profils im Vergleich zu den anderen Profilen. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.

Im Rahmen der Umprofilierung wurde die naturwissenschaftliche Grundausbildung tatsächlich für alle Schüler verbreitert. Auch die Wahlmöglichkeiten in Bezug auf die fachliche Ausrichtung des Profils erhöhten sich für die Schüler deutlich. Die in den Abbildungen 2, 3 und 4 vorgestellten Zahlen bestätigen jedoch deutlich den Trend, der auch in anderen Studien beschrieben wird: Kurse naturwissenschaftlichen Inhalts werden in der Oberstufe der Gymnasien zunehmend abgewählt (PRENZEL et al. 2006a, 2007, SCHREINER- et al. 2004, BLACK et al. 1996) Besonders Mädchen interessieren sich immer weniger für vertiefende naturwissenschaftliche Inhalte in der Schule.

1.2.3 Bionik im naturwissenschaftlichen Profil

Das Sächsische Bildungsinstitut (SBI) formuliert der Lehrplan für das naturwissenschaftliche Profil drei allgemeine Ziele:

- Erwerben anwendungsbereiten Wissens zur Erschließung der Zusammenhänge in Natur und Technik
- Vertiefen und Vernetzen der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen
- Entwickeln der Bereitschaft und Fähigkeit zu verantwortungsbewusstem Umgang mit Ergebnissen naturwissenschaftlicher Forschung insbesondere hinsichtlich der Auswirkungen auf die Natur

In den Klassenstufen 9/10, deren Themen klassenstufenübergreifend ausgewiesen sind, beinhaltet das naturwissenschaftliche Profil folgende Lernbereiche mit entsprechendem Stundenumfang:

Lernbereich 1:	Licht und Farben	28 Ustd.
Lernbereich 2:	Messen, Steuern, Regeln	28 Ustd.
Lernbereich 3:	Kommunikation	28 Ustd.
Lernbereich 4:	Boden	28 Ustd.
Lernbereich 5:	Astronomische Beobachtungen	28 Ustd.
Lernbereich 6:	Bionik – Lernen von der Natur	28 Ustd.

Bis zu 50 Prozent dieser Lerninhalte können durch von den Schulen selbst entwickelte Lernbereiche ersetzt werden. Für die hier vorliegende Arbeit stellt der Lernbereich 6 „Bionik – Lernen von der Natur“ die Grundlage dar. In diesen Lernbereich ist zugleich das Thema „Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien“ zu integrieren.

Der Lernbereich 6 „Bionik – Lernen von der Natur“ untergliedert sich in drei Komponenten. In einem ersten Schritt soll ein Einblick in die Bionik als Wissenschaft gegeben werden, wobei der Fokus auf die Unterscheidung zwischen Analogiefindung und bionischer Entwicklung gerichtet ist (vgl. Abbildung 5). Im Hauptteil „Gestalten eines Projektes zur Lösung eines technischen Problems nach Naturvorbildern“ werden die beiden bionischen Arbeitsweisen (Bottom-up & Top-down) mit Beispielen unterlegt und Experimentiervorschläge gegeben. Interessante Entwicklungen nach dem Vorbild der Natur können hier nachvollzogen und in eigenen Projektideen neu umgesetzt werden. Ziel ist die Erreichung von Methodenkompetenz. Eine ethische Diskussion zum Thema Chancen, Risiken und Patentrechte

schließt diesen Themenblock ab. Der dritte Abschnitt des Lernbereichs befasst sich mit der Erstellung eines Hypertextdokuments und endet mit einer Abschlusspräsentation zur Bionik.

Das folgende Beispiel der tabellarischen Darstellung der Lernbereiche im Lehrplan gliedert sich in zwei Spalten. In der linken Spalte erfolgt eine Verknüpfung von Lernzielen und Lerninhalten, welche verbindlich sind und grundlegende Anforderungen in den Bereichen Wissenserwerb, Kompetenzentwicklung und Werteorientierung definieren. In der rechten Spalte sind Bemerkungen aufgeführt, welche Empfehlungscharakter besitzen. Gegenstand der Bemerkungen sind inhaltliche Erläuterungen, Hinweise zu geeigneten Lehr- und Lernmethoden und Beispiele für Möglichkeiten einer differenzierten Förderung der Schüler.

Lernbereich 6: Bionik – Lernen von der Natur **28 Ustd.**

<p>Einblick gewinnen in die Bionik als Wissenschaft</p> <ul style="list-style-type: none"> - biologische Lösungen als Ergebnisse von Evolutionsprozessen - technische Lösungen als Ergebnisse ingenieurtechnischer Innovationen 	<p>Bionik – Lernen von der Natur für die Technik Vergleich biologischer und technischer Lösungen</p> <p>Unterscheidung zwischen Analogiefindung und bionischer Entwicklung</p> <p>Analogien: Käfermundzeuge – Kombizange Grashalm – Fernsehturm</p> <p>Bionische Entwicklungen: Osagedorn-Hecken – Stacheldraht Klettfrucht – Klettverschluss</p> <p>⇒ Medienkompetenz: aktuelle Presse, Internetrecherche</p> <p>⇒ Methodenkompetenz: mindmap</p>
---	--

Abb. 5: Ausschnitt aus dem sächsischen Lehrplan; handlungsspezifischer Teil des Lehrplans „naturwissenschaftliches Profil“ Lernbereich 6, 1. Abschnitt: „Einblick gewinnen in die Bionik als Wissenschaft“.

1.3 Fächerverbindender Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ an sächsischen Gymnasien

Das Kurssystem in der Sekundarstufe II der sächsischen Gymnasien ermöglicht es den Schülern, interessenorientiert Leistungs- und Grundkurse individuell zusammenzustellen. Grundkurse im Wahlbereich, die teilweise von den Schulen selbst konzipiert werden, erweitern das Angebot.

Im August 2008 wurde vom Sächsischen Staatsministerium für Kultus ein Lehrplan zum Thema „Biotechnologie und Bionik – technische Nutzung von Phänomenen der belebten Natur“ herausgegeben. Dieser fächerverbindende Grundkurs mit einem zeitlichen Gesamtumfang von 112 Unterrichtsstunden soll dem Schüler Einsichten in biotechnologische und bionische Denk- und Arbeitsweisen vermitteln. „Mit einer konsequenten Orientierung auf Problemstellungen in Gegenwart und Zukunft werden wesentliche Grundlagen für einen verantwortungsvollen Umgang mit Wissenschaft behandelt.“¹⁵

¹⁵ Sächsischer Lehrplan Gymnasium Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“, Seite 4, August 2008.

Neben der Ausbildung eigener Wertvorstellungen und Normen aufgrund der kritischen Auseinandersetzung mit Entwicklungstendenzen der Biotechnologie und der Bionik steht die interdisziplinäre Vorgehensweise dieser Arbeitsmethoden im Vordergrund. Sie erfordert eine ganzheitliche und mehrperspektivische Betrachtung naturwissenschaftlicher Sachverhalte. In den fächerverbindenden Unterricht fließen deshalb Inhalte aus dem Biologie-, Chemie-, Physik- und Mathematikunterricht ein. Aufgrund des Alltagsbezugs und der starken Lebensweltorientierung der untersuchten Phänomene können auch Aspekte aus Ethik, Wirtschaft und Gesellschaftskunde einbezogen werden.

Dank der starken Handlungsorientierung und dem Wirklichkeitsbezug der im Lehrplan aufgeführten Thematiken entstehen Fragestellungen, deren Problemlösung die Schüler herauszufordern und zu motivieren vermögen. Die Hinführung zu wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen und zu den Methoden des Erkenntnisgewinns soll wiederum im propädeutischen Sinne der Vorbereitung auf entsprechende Studiengänge dienen.

Die im Lehrplan formulierten speziellen Ziele des Grundkurses „Biotechnologie und Bionik“ sind stark an den nationalen Bildungsstandards und den Kompetenzbereichen orientiert¹⁶. An erster Stelle steht die Vertiefung des Wissens zur Grundlagenforschung über biologische Systeme für den nutzbringenden Einsatz der Organismen in biotechnologischen und bionischen Verfahren. Die Komplexität und Effizienz der Systeme, die auch unter technischen Fragestellungen beurteilt werden, sollen in einem weiteren Schritt zu einem komplexen Denken und Handeln der Schüler überleiten. An letzter Stelle steht die Fähigkeit der Schüler, einen eigenen begründeten Standpunkt zum momentanen Stand der Forschung dieser Wissenschaftsbereiche zu formulieren und zu vertreten. Ein entscheidender didaktischer Grundsatz liegt zudem in der Synthese zwischen geistiger und praktischer Arbeit.

Lernbereich 4: Eukaryonten in der Bionik 38 Ustd.

Kennen der Arbeitsweisen in der Bionik	Definition laut Verband Deutscher Ingenieure (VDI) von 1993
- Vitale Vorbilder für leblose Lösungen	Abgrenzung von Teildisziplinen nach NACHTIGALL von 1991 Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien als Ergebnis von Optimierungsprozessen im Rahmen der Evolution Stacheldraht, Salzstreuer, Klettverschluss ⇒ Werteorientierung
- grundsätzliche Arbeitsweisen · Bottom-up-Methode · Top-down-Methode	zeitlich-kausale Verknüpfung biologischer Kenntnisse und technischer Fragestellungen; Bedeutung der biologischen Grundlagenforschung für die Arbeitsweisen
- Abgrenzung zu ingenieurtechnischen Arbeitsweisen	Entwicklung neuer Konstruktionen auf der Grundlage bestehender physikalisch-technischer Erkenntnisse und Erfahrungen

Abb. 6: Ausschnitt aus dem sächsischen Lehrplan; handlungsspezifischer Teil des Lehrplans Wahlgrundkurs „Biotechnologie und Bionik“ Lernbereich 4, 1. Abschnitt: „Eukaryonten in der Bionik“.

¹⁶ Sächsischer Lehrplan Gymnasium Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“, Seite 6, August 2008.

Der Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ gliedert sich in vier Lernbereiche, von denen sich nur der vierte „Eukaryonten in der Bionik“ in einem zeitlichen Umfang von 38 Unterrichtsstunden intensiv mit der Bionik auseinandersetzt¹⁷. Auch hier führt ein erster Abschnitt in die Bionik ein („Kennen der Arbeitsweisen in der Bionik“). Der zweite und dritte Abschnitt „Übertragen von physikalischen und chemischen Eigenschaften von Eukaryonten auf technische Fragestellungen“ und „Anwenden des Wissens über Struktur und Funktion der Lebewesen“ beschäftigen sich mit der Umsetzung biologischer Prinzipien in technische Innovationen mithilfe eines Prinziptransfers. Zahlreiche Beispiele illustrieren die einzelnen Arbeitsfelder innerhalb der bionischen Untersuchungen. Im abschließenden vierten Teil „Sich Positionieren zu ethischen Aspekten“ sollen Chancen und Gefahren diskutiert und die Transparenz aktueller Forschungsfelder beleuchtet werden.

Für das Schuljahr 2008/09 listet das Statistische Landesamt Sachsen 95 Grundkurse auf, von denen 4 Nennungen die Bionik beinhalten und auf den entsprechenden Lehrplan zurückzuführen sind¹⁸. Von den 2.112 Schülerinnen und Schülern, die in diesem Jahrgang einen Wahlgrundkurs belegten, entschieden sich 246 für den Wahlgrundkurs „Biotechnologie und Bionik“. Das entspricht 11,6 Prozent. Dabei ist die absolute Zahl der weiblichen und männlichen Teilnehmer gleich (123), der relative Anteil unterscheidet sich jedoch etwas voneinander: So wählten 15 Prozent der Jungen und nur 10 Prozent der Mädchen den Kurs. Die überproportional hohe Säule an Grundkursen, die von Mädchen gewählt werden, geht auf zusätzliche fakultative Grundkurse zurück, die von Mädchen eher als von Jungs belegt werden.

Für das Schuljahr 2009/10 wurden die Wahlgrundkurse im Statistischen Landesamt Sachsen nicht mehr aufgeschlüsselt, so dass keine weiteren Daten zur Auswahl der Wahlgrundkurse vorliegen.

¹⁷ Lernbereich 1: „Einführung Biotechnologie und Bionik“, Lernbereich 2: „Prokaryonten in der Biotechnologie“, Lernbereich 3: „Eukaryonten in der Biotechnologie“.

¹⁸ Im vorangegangenen Schuljahr 2007/08 gab es nur eine Schule, die einen Bionik-Grundkurs anbot, so dass lediglich 18 von 2817 Schülern diese Vertiefung wählen konnten.

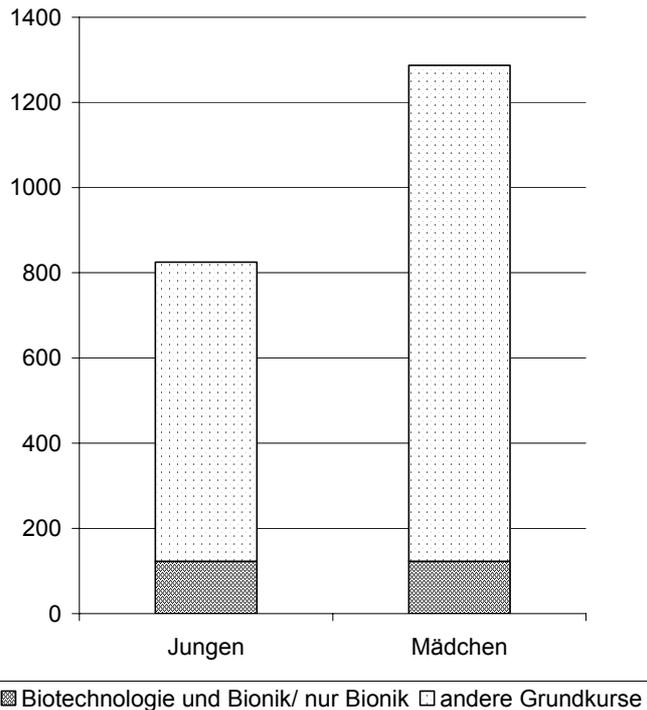


Abb. 7: Schüleranzahl des Grundkurses „Biotechnologie und Bionik“ oder ähnlicher Nennungen im Untersuchungsjahr 2008/09. Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen, leicht verändert.

1.4 Neigungskurse der sächsischen Mittelschulen

In den sächsischen Mittelschulen sind für die Klassenstufen 7 bis 9 Neigungskurse mit einem zeitlichen Rahmen von zwei Wochenstunden vorgesehen. Aus sieben verschiedenen Bereichen können die Schüler je nach Interessenlage und Angebot der Schule Wahlpflichtangebote wählen, die diese Kurse inhaltlich prägen.

1. Naturwissenschaft und Technik
2. Kunst und Kultur
3. Soziales und gesellschaftliches Handeln
4. Sprache und Kommunikation
5. Gesundheit und Sport
6. Informatik und Medien
7. Unternehmerisches Handeln

Ähnliches wie für die fächerverbindenden Profile der Gymnasien gilt auch für die Neigungskurse der Mittelschulen: „Themen der Neigungskurse müssen in besonderer Weise fachübergreifend oder fächerverbindend aufbereitet sein, Inhalte prozess-, schüler- und handlungsorientiert unterrichtet werden.“ (RP 2004). Gerade deshalb lässt sich in dem erstgenannten Bereich *Naturwissenschaften und Technik* das Kennenlernen der Bionik als Arbeitsweise gut integrieren.

2 Was ist Bionik?

2.1 Definitionen

„Mit der Entwicklung der Bionik entstand eine neue Qualität im Verhältnis zwischen biologischen und technischen Wissenschaften. Sie ist das Übertragungsglied, über das die Erfahrungen der Natur und viele ihrer hochentwickelten Prinzipien technisch nutzbar gemacht werden können.“ So beschreibt Meyers Taschenlexikon Bionik die neue Wissenschaft im Jahr 1976. An dieser grundsätzlichen Definition hat sich bis in die heutigen Tage kaum etwas geändert, auch wenn die heute am häufigsten zitierte Definition 1993 von den Teilnehmern einer VDI-Tagung¹⁹ erarbeitet wurde: „Bionik als Wissenschaftsdisziplin befasst sich systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme.“ NACHTIGALL (2002) möchte dieser Definition, um auch neue Teilgebiete der Bionik wie Selbstorganisation oder Interaktion zu integrieren, noch einen Satz hinzufügen: „Dazu gehören auch Aspekte des Zusammenwirkens belebter und unbelebter Teile und Systeme sowie die wirtschaftlich-technische Anwendung biologischer Organisationskriterien.“

Der Begriff Bionik ist ein Kofferwort und setzt sich aus den Worten *Biologie* und *Technik* zusammen. Er beschreibt die Übertragung interessanter Prinzipien biologischer Phänomene in innovative technische Systeme. Die Natur bietet mit ihrem immensen Artenreichtum eine bisher weitgehend unerforschte Menge an potentiellen Vorbildern für technische Lösungen an. Zahlreiche „Erfindungen“ der Natur sind hinsichtlich ihrer Energie- und Ressourcennutzung deutlich effizienter als technische Lösungen, so dass davon auszugehen ist, dass biologisch inspirierte Produkte oder Verfahren meist ökologisch wie ökonomisch von Vorteil sind.

Jedoch lassen sich viele Prinzipien der Natur nicht ohne weiteres technisch umsetzen. Es geht vielmehr um einen Prinziptransfer, der umgangssprachlich mit dem Slogan „kاپieren statt kopieren“ beschrieben werden kann. Das zentrale Anliegen der Bionik ist es somit, sich von der Natur zum schöpferischen Konstruieren und zur technischen Problembearbeitung anregen zu lassen. Ergebnisse biologischer Forschung können über die Bionik in ingenieurwissenschaftliche Problemlösungsstrategien eingebracht werden. Das Endprodukt bleibt jedoch immer ein technisches. Bionische Produkte in diesem Sinne gibt es deshalb nicht (NACHTIGALL 2008:91).

2.2 Abgrenzung des Begriffs

Der Begriff „Bionik“ wird häufig im Zusammenhang mit Wissenschaftszweigen, Vorgehensweisen oder der Beschreibung von Phänomenen verwendet, die nicht der voran erläuterten Definition entsprechen. Einige sollen deshalb hier kurz erwähnt und vom Begriff „Bionik“ inhaltlich abgegrenzt werden.

Häufig wird der Begriff „Biotechnologie“ fälschlicherweise mit der Bionik gleichgesetzt. Die Biotechnologie ist zwar auch ein interdisziplinärer Wissenschaftszweig an der Schnittstelle

¹⁹ Tagung „Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien: Technologieanalyse Bionik“, Düsseldorf.

zwischen Biologie und Technik – hier werden jedoch die Organismen selbst, oder auch Zellen und Enzyme, als Werkzeug technischer Anwendungen genutzt – nicht, wie in der Bionik, nur deren abstrahiertes Prinzip. Sie ist vornehmlich mikro-, und molekularbiologischen sowie biochemischen Arbeitsbereichen vorbehalten und stets von den lebenden Organismen, bzw. ihren funktionsfähigen Teilen, abhängig.

Zwar verwendete schon Raoul Heinrich Francé, der nach dem Vorbild der Mohnkapsel einen neuen Streuer entwickelte (vgl. Kap. 2.3), den Begriff „Biotechnik“ als Bezeichnung für die Lösung technischer Probleme durch biologische Vorbilder, also als Synonym für den damals noch nicht existenten Begriff „Bionik“, da er seiner Zeit aber offensichtlich weit voraus war, konnte sich seine Wortwahl allgemein nicht etablieren.

Der Begriff „Technische Biologie“ wird sehr unterschiedlich verwendet. Teilweise wird sie als Teilgebiet der Biotechnologie bezeichnet, wobei hier die technische Nutzung biologischer Prozesse für die Produktsynthese gemeint ist²⁰. Nachtigall (2008) formuliert den Auftrag der „Technischen Biologie“ dagegen in Richtung Erforschung von „Konstruktionen, Verfahrensweisen und Evolutionsprinzipien der Natur aus dem Blickwinkel der technischen Physik und verwandter Disziplinen“ und macht sie damit eigentlich zu einem Teil der Bionik selbst, welche er wiederum definiert als Arbeitsweise, die versucht, „diese Grundlagenergebnisse in die Technik zurückzuprojizieren und Anregungen zu geben für neuartige, dem Menschen und der Umwelt dienliche Lösungen“.

Die Formulierung „biologisch inspiriert“ schließt umgangssprachlich die Idee bionischer Arbeitsweisen ein, manchmal lässt sich hier jedoch kein konkretes biologisches Vorbild nachweisen. Nicht selten werden aus rein ästhetischen Gründen biologische Vorbilder für funktionsunabhängige Formgebungen genutzt. Die gestalterische Nachahmung der Formensprache von Seifenblasen oder Eiszapfen geht allerdings auch an dieser toleranten Auslegung des Begriffs vorbei.

Im Englischen versteht man unter Bionik, engl. bionics, zweierlei: Einerseits stößt man auf eine Definition, die dem deutschsprachigen Verständnis entspricht, andererseits beschreibt man damit häufig Konstruktionen, die auf der Verknüpfung organismischer und technischer oder elektronischer Systeme basieren. Prothetik und kybernetische Organismen sind die hierzu gehörigen Themengebiete. Um dieser Doppelbedeutung aus dem Wege zu gehen, wurde der synonym genutzte Begriff biomimetics eingeführt, der allerdings etymologisch die reine Nachahmung der belebten Natur impliziert, was der eigentlichen bionischen Arbeitsweise nicht entspricht. In vermeintlich guter Absicht wurde dieser Begriff Biomimetik inzwischen auch ins Deutsche eingeführt, hat aber nicht wirklich zur Vereinfachung des allgemeinen Begriffsverständnisses beigetragen.

²⁰ <http://tebi.bl.t.kit.edu/>

2.3 Kurzer Überblick über die Geschichte der Bionik

Tatsächlich ließ sich der Mensch seit jeher durch Beobachtungen für seine Erfindungen von der Natur inspirieren. Das wohl älteste Beispiel dafür sind Leonardo da Vincis Untersuchungen zu Flugvorgängen, die in der Konstruktion mehrerer Fluggeräte gipfelten. Der besonders durch seine Studien zum Edaphon bekannt gewordene Mikrobiologe und Naturphilosoph Raoul Heinrich Francé entwickelte auf Basis der Mohnkapsel den Salzstreuer, meldete diese Entwicklung zum Patent an und publizierte sie 1920 in seinem Buch „Die Pflanze als Erfinder“, in welchem er erstmals das Wort „Biotechnik“, wenn auch nicht im heutigen Sinn, verwendete.

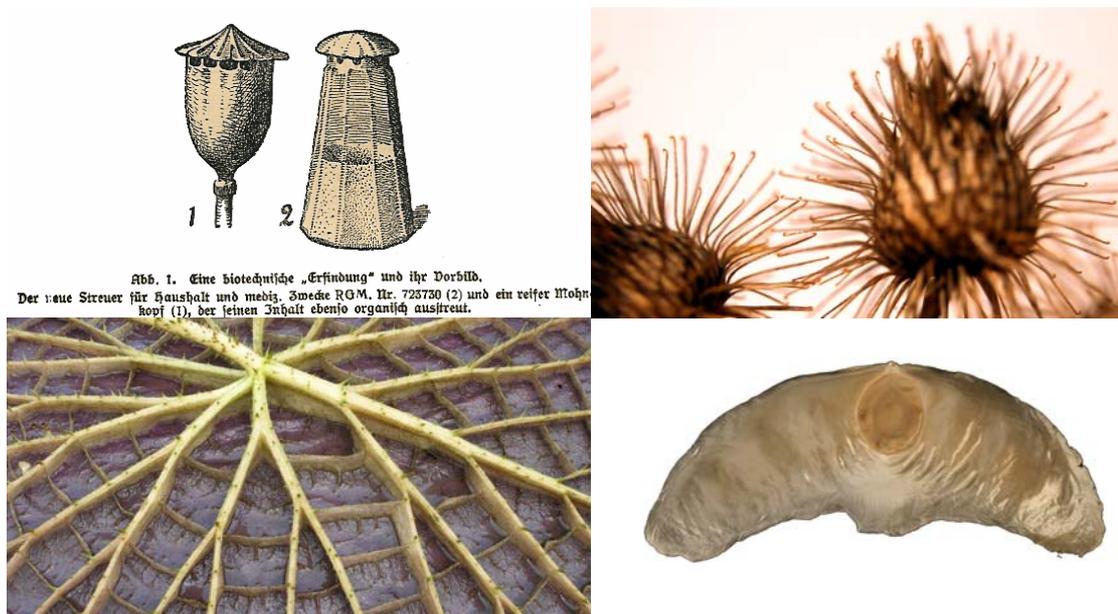


Abb. 8: Beispiele aus der Geschichte der Bionik. oben links: Mohnkapsel (*Papaver*) und der davon abgeleitete Salzstreuer, aus „Die Pflanze als Erfinder“ (FRANCÉ 1920); oben rechts: Früchte der Großen Klette *Arctium lappa* mit widerhakigen Hüllblättern, die dem Klettverschluss als Vorbild dienen, Quelle: Friedrich Ditsch; unten links: Blattunterseite von *Victoria regia*, dem Vorbild des Londoner Kristallpalastes, Quelle: Friedrich Ditsch; unten rechts: *Alsomitra macrocarpa*-Samen diente dem Etrich-Gleitflieger als Vorbild, Quelle: Bambus-Centrum Deutschland Eberts, Baden-Baden.

Auch der Klettverschluss basiert auf der Beobachtung eines biologischen Phänomens: des „Klettverhaltens“ der Klettenfrüchte. Der Schweizer Ingenieur Georges de Mestral, welcher diese Entdeckung der kleinen Häkchen, die wunderbar im Fell seines Hundes festhafteten, gemacht hatte, ließ sich seine Entwicklung 1951 patentieren und gründete daraufhin die Firma Velcro® Industries, die heute Weltmarktführer auf diesem Gebiet ist und mittlerweile mehr als 300 aktive Patente hält. Zahlreiche weitere Beispiele lassen sich für das 19./Anfang 20. Jahrhundert aufzählen, wie der Londoner Kristallpalast nach Vorbild des Riesen-seerosenblatts (*Victoria amazonica*) oder der Etrich-Gleitflieger nach Vorbild des geflügelten Samens der Liane *Alsomitra macrocarpa*.

Der US-amerikanische Major für Luft- und Raumfahrtmedizin Jack E. Steele prägte auf einem Kongress 1959 erstmals offiziell den Begriff Bionik, indem er sie als „Wissenschaft von Systemen, die nach der Art oder in der Art oder ähnlich der Art lebender Systeme arbeiten“ (FORTH 1976) bezeichnete. Dieser Kongress gilt daher als die Geburtsstunde der

Bionik. Seither sind bionische Forschungen in sehr vielen Wissenschaftszweigen festzustellen. BONSER et al. (2007) stellten in diesem Zusammenhang die Daten zu den Patentanmeldungen der letzten 20 Jahre in den USA und China zusammen und stießen auf eine exponentiell ansteigende Wachstumskurve.

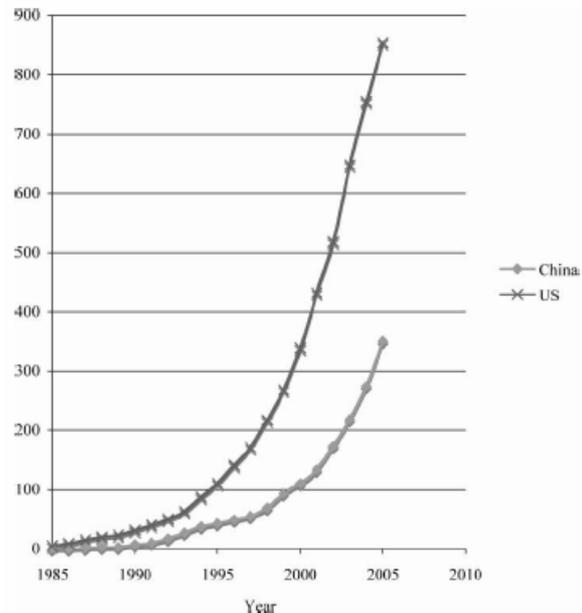


Abb. 9: Anstieg der Patentanmeldungen unter dem Stichwort „biologically-inspired“ seit 1985 in den USA und China, aus BONSER et al. (2007).

Eine der wohl geläufigsten biologisch inspirierten Entwicklungen ist unter dem Begriff Lotus-Effekt[®] bekannt, welcher in den 70er Jahren durch Wilhelm Barthlott entdeckt und dann systematisch untersucht wurde. Die Studien bewiesen, dass mit Wachskristallen bedeckte Blätter unterschiedlicher Pflanzen durch ihre hydrophoben und mikrostrukturierten Oberflächen nicht nur vollständig wasserabweisend sind, sondern dass jeglicher Schmutz durch abperlende Tropfen von den Blättern entfernt und diese gereinigt wurden. Dieser Selbstreinigungseffekt zeigte eine hohe potentielle Anwendbarkeit – zahlreiche weiterführende Forschungen, aber auch erste Produkte entstanden. Eine große Bedeutung wird auch der durch Ingo Rechenberg entwickelten Evolutionsstrategie beigemessen. Diese Optimierungsmethode, die sich nicht nur auf technische Bauteile beschränkt, funktioniert nach dem Vorbild der Evolution, denn sie basiert auf den Prozessen der Variation durch Mutation und Rekombination sowie der Selektion. Diese Schritte werden solange wiederholt, bis das Ergebnis die optimale Form oder auch Farbe, Geschmack, Funktion etc. besitzt. Biologisch inspirierte Innovationen findet man integriert in zahlreiche Wissenschaftsbereiche wie beispielsweise auch in der Robotik oder auf dem Gebiet der Selbstorganisation. Deutlich wird die mittlerweile breite Akzeptanz der Bionik auch durch die Tatsache, dass der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Richtlinien zur Bionik erarbeitet. Im November 2010 wurden die ersten Entwürfe zu den Themen „Bionische Strukturoptimierung“ und „Bionische Informationsverarbeitung“ veröffentlicht²¹. Weitere Richtlinien zur Bionik sollen in 2011 erscheinen. Im Folgenden soll jedoch nicht auf weitere Entwicklungen eingegangen, sondern vielmehr einzelne Teilgebiete kurz definiert und auf weiterführende Literatur hingewiesen werden.

²¹ http://www.vbio.de/informationen/alle_news/e17162?news_id=10672. 22.11.2010

2.4 Arbeitsprinzipien der Bionik

Die Bionik als Arbeitsweise unterscheidet zwei Vorgehensweisen, an deren Ende bionische Produkte entstehen und gegebenenfalls auf den Markt kommen: das *Bottom-up*-Verfahren sowie das *Top-down*-Verfahren. Die durch Grundlagenforschung ermöglichte Untersuchung interessanter biologischer Sachverhalte, deren Abstraktion und die anschließende technische Umsetzung werden unter dem Begriff *Bottom-up*-Verfahren eingeordnet. Dieses Arbeitsprinzip ist in der heutigen Forschungslandschaft deutlich häufiger anzutreffen als das *Top-down*-Verfahren, welche die zielgerichtete Suche von geeigneten biologischen Vorbildern für Lösungen zu konkreten technischen Problemen in den Vordergrund stellt. SPECK & SPECK (2008) entwickelten für die beiden möglichen Vorgehensweisen adaptiv verwendbare Abbildungen, von denen die Darstellung des *Bottom-Up*-Verfahrens in Abbildung 10 anhand des Entwicklungsprozesses des technischen Pflanzenhalms vorgestellt wird.

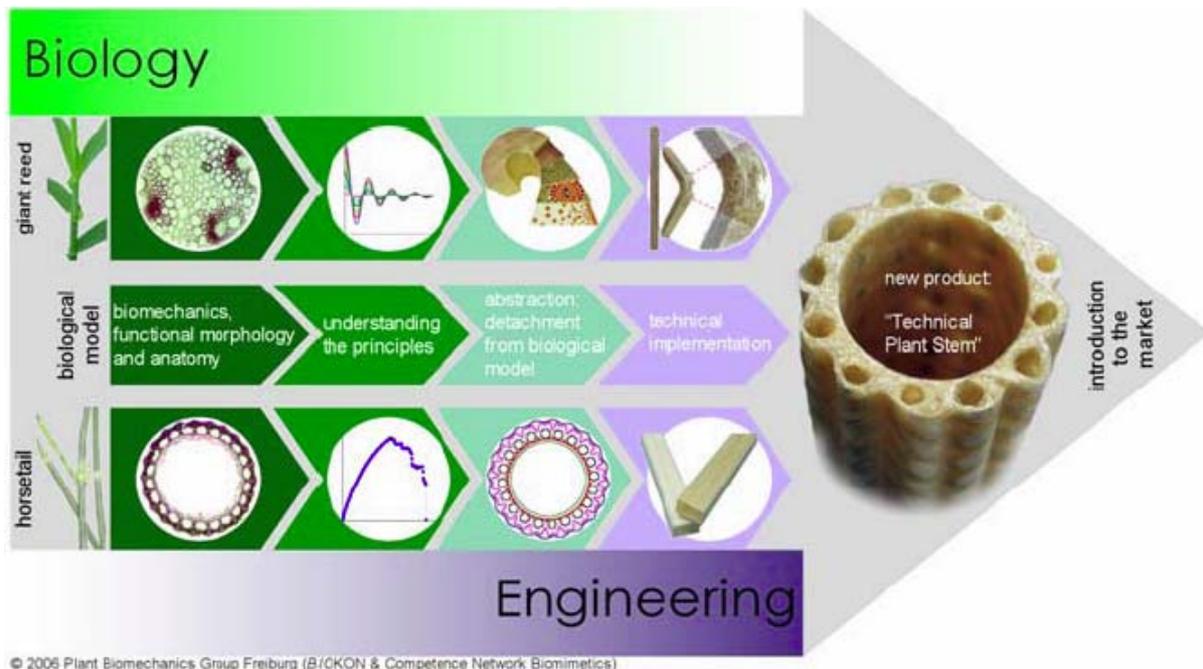


Abb. 10: „Bottom-Up-Verfahren“ der Bionik (Biology Push) am Beispiel der Entwicklung des Technischen Pflanzenhalms. ©Plant Biomechanics Group Freiburg, aus SPECK, T. & SPECK, O. (2008).

Gerade die erstgenannte Arbeitsstrategie, welche ohne Grundlagenforschung nicht möglich wäre, ermöglicht erst überraschende Entdeckungen und damit Innovationen, die bei einer gezielten Suche vermutlich nicht gefunden worden wären (CERMAN et al. 2005). Allerdings ergeht es der Bionik wie den meisten interdisziplinären Wissenschaften: Fachterminologie und Arbeitsweise von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern sind grundsätzlich verschieden, so dass, um einen Gedankenaustausch überhaupt erst zu ermöglichen, eine gemeinsame Sprache gefunden werden muss. Dies erfordert Zeit und Geduld auf beiden Seiten.

2.5 Teilgebiete der Bionik

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen, die versuchen, die Bionik in unterschiedliche Teilgebiete zu unterteilen. Das Bionik-Kompetenz-Netz (*BIOKON* e.V.) gliedert die Bionik in verschiedene Aufgabenbereiche, die entsprechend in acht Fachgruppen bearbeitet werden, auch wenn diese teilweise nur schwer voneinander abzugrenzen sind. Neue Forschungsprojekte einem einzigen Arbeitsbereich zuzuordnen, fällt deshalb oft nicht leicht.

B1 Architektur, Design

Neben Formgestaltung und Design spielen in diesem Arbeitsbereich auch Prinzipien der Klimatisierung und der Energieoptimierung in Gebäuden eine Rolle.

Beispiel: Passivlüftung

B2 Leichtbau, Materialien

Dieses sehr große Teilgebiet der Bionik beschäftigt sich mit Mechanismen und Konstruktionselementen biologischer und technischer Konstruktionen ebenso wie mit biokompatiblen und Verbundmaterialien.

Beispiel: graduelle Übergänge in Faserverbundmaterialien

B3 Oberflächen und Grenzflächen

Diese Fachgruppe setzt sich insbesondere mit Strukturen und Funktionen verschiedener Oberflächen aus der Natur und deren Anwendungspotentialen in der Technik auseinander.

Beispiel: Lotus-Effekt, Antifouling, Riblet-Folie

B4 Fluiddynamik, Fliegen, Schwimmen, Robotik

Hierunter werden aero- und fluiddynamische Forschungen wie beispielsweise Strömungsanpassungen ebenso gezählt wie Neuentwicklungen im Bereich von Fortbewegungsmechanismen.

Beispiel: Finray-Effekt, Bionik-Propeller, Winglet

B5 Biomechatronik und Robotik

Der Bereich der Robotik wird geprägt von Untersuchungen im Hinblick auf Lokomotionsformen wie auch zur intelligenten Steuerung von Robotern mit künstlichen Sinnesorganen.

Beispiel: Fluidmuskeln, Laufmaschine nach dem Vorbild der Stabheuschrecke, Smart Structures in der Prothetik

B6 Sensorik, Informationsverarbeitung, Kommunikation

Staaten- oder schwarmbildende Lebewesen kommunizieren untereinander und bilden eine der Grundlagen für den Arbeitsbereich, welcher sich mit Informationsabgabe, -aufnahme und -verarbeitung der einzelnen Individuen beschäftigt.

Beispiel: autonome Ampelschaltung entsprechend Verkehrsaufkommen

B7 Bionische Optimierungsmethoden

Verfahren der natürlichen Evolution werden der Technik nutzbar gemacht. Form- und Bauteiloptimierung sind damit Anliegen dieses Forschungsbereichs.

Beispiel: Evolutionsstrategie, z.B. Optimierung der Überschalldüse (Venturi-Düse); CAO- und SKO-Methode zur Bauteiloptimierung

B8 Evolution und Wirtschaft

Dieser Zweig der Bionik versucht, Prozesse der Natur auf das gesamte Handeln in der Wirtschaft anzuwenden. Dieses so genannte Evolutionsmanagement soll auch ökonomische Prozesse in langfristige evolutionäre Entwicklungen der Natur einbinden²².

Beispiel: Evolutionsmanagement

2.6 Literatur und Medien

In den letzten Jahren erschienen zahlreiche Veröffentlichungen zur Bionik. Eine fortlaufend aktualisierte Zusammenstellung ist auf der *B/OKON*-Webseite zu finden. Das *B/OKON* ist ein ursprünglich nationales, inzwischen auch internationales Netzwerk, welches unterschiedliche Akteure wie Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie Unternehmen miteinander vernetzt und ständig aktualisierte und aufbereitete Informationen öffentlich zur Verfügung stellt. Im November 2010 waren dort 95 Bionik-Bücher aufgelistet, die verschiedenen Arbeits- bzw. Themenbereichen zugeordnet waren. Tabelle 5 stellt eine Auflistung entsprechend dem Stand November 2011 dar. Zusätzlich werden sieben Lehrvideos und vier Fachzeitschriften empfohlen. Außerdem gibt es eine Liste mit Artikeln diverser Tages-, Wochen- oder anderer Fachzeitschriften zum Thema. Auch wenn diese Aufzählungen nicht vollständig sind, so geben sie doch einen Eindruck von der Fülle an Materialien, die mittlerweile in verschiedenen Fachbereichen veröffentlicht wurden.

Für den Bereich Schule und Beruf werden 16 Buch-Nennungen erwähnt, wobei auch diese Aufzählung gerade für den populärwissenschaftlichen Bereich nicht vollständig ist, einige der Nennungen aber auch nicht ohne weiteres zugänglich oder erst relativ neu auf dem Markt sind.

Thema	Anzahl der Bücher
Allgemein	26
Biomechanik	15
Biophysik	2
Biorobotik	3
Biosystemtechnik	4
Energietechnik	1
Evolution	2
Konstruktionstechnik	7
Medizintechnik	3
Mikro- und Nanotechnik	7
Schule und Beruf	16
Wasserstoffproduktion	2
Antiquarische Bücher	7
<i>insgesamt</i>	95
Filme und Videos	7

Tab. 5: Auflistung der Bionik-Medien nach *B/OKON*. 01.11.2010. <http://www.biokon.net/bionik/literatur.html#Allgemein>.

²² <http://www.dr-otto.de/evo/evolutionsmanagement.html>. Dr. Claus-Stephan Otto ist Vorsitzender der thematischen Fachgruppe 8.

Die Literaturliste des Kompetenznetzes Biomimetik, einem Netzwerk von Akteuren, die in Baden-Württemberg auf dem Gebiet der Bionik arbeiten, gliedert die Medien entsprechend ihrer Zielgruppe in Bildbände, leichtverständliche Darstellungen, didaktische Bücher, detaillierte Einführungen und Fachliteratur. Besonders die große Anzahl an Bildbänden ist, im Vergleich zu reinen Ingenieurwissenschaften, hervorzuheben.

Rubrik	Anzahl der Bücher
Bildbände	10
Leichtverständliche Darstellungen	20
Didaktik	9
Detaillierte Einführungen	14
Fachbücher	12
Englischsprachige Bücher	27
Antiquarische Bücher	19
<i>Insgesamt</i>	<i>111</i>
Filme und Videos	12

Tab. 6: Auflistung der Bionik-Medien nach Kompetenznetz Biomimetik. 01.11.2010. http://www.kompetenznetz-biomimetik.de/index.php?option=com_content&task=view&id=62#bildbaende

Neben Büchern und Zeitschriften verdankt die Bionik ihre Popularität auch dem Fernsehen. Etliche Beiträge wie in der Sendung „Die große Show der Naturwunder“ oder der „Sendung mit der Maus“ thematisierten den Lotuseffekt, den Geckofuß etc. Allerdings sind diese populärwissenschaftlichen Wege der Wissensvermittlung deutlich zeitminimiert und daher inhaltlich meist nur sehr oberflächlich ausgerichtet. Gerade der Schulunterricht hat nun die schwere Aufgabe, diese buntschillernde Bionikwelt, wie das Fernsehen sie darstellt, mit Theorie zu füllen, ohne dass die Schüler das Interesse daran verlieren. Inwieweit dies gelingt und welche Schwierigkeiten dabei auftreten, wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

Mittlerweile gibt es auch seit einigen Jahren mehrere Ausstellungen verschiedener Akteure, die sich mit unterschiedlichen Budgets und Konzepten dem Thema Bionik nähern. Diese Ausstellungen können teilweise auch gemietet werden²³. Der Informationsaustausch zu bionischen Entwicklungen findet häufig auch auf Messen statt, auf denen neue Produkte, Verfahren oder Forschungsprojekte vorgestellt werden.

An dieser Stelle soll auch auf Preise hingewiesen werden, die im Zusammenhang mit Bionik verliehen wurden oder auch zukünftig verliehen werden. Die wichtigsten Preise und Preisträger werden in Tabelle 7 aufgeführt. Der Deutsche Bundespreis Umwelt ging 1999 beispielsweise für den Lotuseffekt an W. Barthlott und seine Mitarbeiter, 2003 an Claus Mattheck. Seit drei Jahren wird auch der Bionic Award verliehen²⁴.

²³ Eine dieser Ausstellungen wurde von der Deutschen Stiftung Umwelt (DBU) in Kooperation mit dem BIONIKON entwickelt: www.inspiration-natur.net/; www.bionik-sigma.de/referenzen/ausstellungen/

²⁴ Der „Bionic-Award“ wird von der Schauenburg-Stiftung, dem Verein Deutscher Ingenieure und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt verliehen und ist mit 10.000 € dotiert. www.vdi.de/42822.0.html

Preis	Preisträger	Jahr	Titel der Arbeit
Deutscher Bundesumweltpreis	Prof. Dr. Wilhelm Barthlott	1999	Der Lotuseffekt - das Geheimnis der unverschmutzbaren Oberfläche
Deutscher Bundesumweltpreis	Prof. Dr. Claus Mattheck	2003	Dem Konstruktionsgeheimnis der Bäume auf der Spur
Bionic Award	Dr. Michael Hermann	2008	Bionische Ansätze zur Entwicklung energieeffizienter Fluidsysteme für den Wärmetransport
Bionic Award	Felix Förster Markus Hollermann	2010	Entwicklung bioinspirierter Befestigungssysteme
Deutscher Zukunftspreis	Dr. Peter Post Dipl.-Ing. Markus Fischer Dipl.-Ing. Andrzej Grzesiak	2010	Vorbild Elefantenrüssel – ein Hightech-Helfer für Industrie und Haushalt

Tab. 7: Preisträger, die aufgrund einer „bionischen“ Arbeit eine der ausgewählten Auszeichnungen erhielten. 10.01.2011.

2.7 Bionik und das unbedingte Bedürfnis nach Umweltfreundlichkeit

„Bionik ist vielleicht ein Baustein der rettenden Brücke, über die unsere angeschlagene Zivilisation zu neuen Ufern gelangen kann.“ (WWF 1993). So beschreibt der WWF im Klappentext seines Buches „Bionik – Natur als Vorbild“ die Herausforderungen, die auf die Bionik in den kommenden Jahren wie Jahrzehnten warten sollten. „Eine bionisch inspirierte Technik...“ so wird weiter formuliert „...kann zu einer neuen Kultur der Verantwortung beitragen.“ Hohe Anforderungen werden mit diesen Worten an die innovativen Produkte bionischer Entwicklungsprozesse gestellt. Kann die Bionik solches leisten und die an sie gerichteten Erwartungen erfüllen?

Mit diesen Erwartungen ist der Begriff der Nachhaltigkeit eng verknüpft. Nachhaltigkeit bedeutet, die Bedürfnisse der Gegenwart zu befriedigen, ohne die Grundlagen dabei zu vernichten, die künftigen Generationen ihre Bedürfnisbefriedigung sichern sollen. Gerade mit der Formulierung „Lernen von der Natur“ trägt auch die Bionik zu dieser Debatte bei. Bionik, auch häufig „Technologie der Zukunft“ genannt, muss nicht zwangsweise umweltfreundlichere Produkte oder Verfahren liefern, doch sind sie oft energiesparender, materialschonender oder materialsparender als konventionelle Verfahren oder liefern eine höhere Produktstabilität. Allerdings ist hier die Umweltverträglichkeit auch von der Materialwahl abhängig, das heißt, auch wenn beispielsweise Bauteile mit Hilfe der Natur formoptimiert werden, so sind sie bei Verwendung giftiger Werkstoffe längst nicht umweltverträglicher.

Technischer Fortschritt und Nachhaltigkeit schließen sich aber dennoch nicht aus, auch wenn die Bionik sicher nicht alle Probleme lösen kann, die ihr angetragen werden. Nachtigall (2008:89) stellt deshalb einschränkend noch einmal fest:

Bionik ist keine Heilslehre und keine Naturkopie.

Bionik ist ein Werkzeug, das benutzt werden kann, aber nicht benutzt werden muss.

Bionik ist kein allgemeiner Problemlöser, aber fallweise ein wirkungsvolles Hilfsmittel.

Neben der technischen und vor allem praktischen Anwendbarkeit der entdeckten und entwickelten Prinzipien sollte deshalb mit der vorliegenden Arbeit auch der tatsächliche Beitrag zur Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit thematisiert werden.

2.8 Bionik als Label

„Lotuseffekt für ihr Auto“ – „der Natur abgeschaut“ –
„Lernen von der Natur“ – „Biomimetik in der Kosmetik“



Abb. 11: „bionic“-Stift der Firma Schwan-STABILO. Quelle: Olga Speck

Viele Slogans werben mit Naturnähe und nutzen immer öfter auch den populären Begriff „Bionik“ als Hoffnungsträger für eine umweltverträgliche und gleichzeitig ökonomisch sinnvolle Produktion, um Konsumenten vom Produkt zu überzeugen. Solche Aussagen vermitteln tatsächlich Vertrauen und überzeugen den Käufer intuitiv. In einer Studie (TROPEA²⁵) geben einige Unternehmer offen an, mit „Bionik“ einen Wettbewerbsvorteil erringen zu wollen, egal ob mit oder ohne tatsächlichem Wirkungsprinzip, „lediglich aus Marketing-Gründen – des guten Klangs wegen“. So nennt sich beispielsweise ein Zahnersatz-Labor „Bionik-Dental“, ohne dass auf der Webseite ein erkennlicher Grund für diese Namensgebung zu finden wäre²⁶. Auch Spiele werden gern mit dem Namen Bionik geschmückt, wie die aufgrund ihres Inhalts umstrittene Spielkonsole „Bionic Commando“²⁷, in welcher der Protagonist einen „bionischen“ Fangarm besitzt. Auch die Schreibgeräte-Firma Schwan-STABILO[®] brachte Stifte auf den Markt, die den Namen „bionic“ tragen²⁸. Die List solcher Produkte mit Bionik-Label, jedoch ohne Bionik-Inhalte könnte noch lange fortgesetzt werden. Ein solcher Wettbewerbsvorteil der entsprechenden Firmen, welche Produkte nicht-bionischer Arbeitsprozesse vermarkten, kann jedoch für die Bionik selbst zum Nachteil werden, denn auch positiv besetzte Begriffe nutzen sich ab, so dass eine Abkehr von Verbrauchern und Käufern die Folge wäre (CERMAN et al. 2005).

Andererseits ermöglichte der seit einigen Jahren anhaltende „Bionik-Boom“ neben zielgerichteten Forschungen auch zahlreiche Untersuchungen auf dem Gebiet der Grundlagenforschung, deren Ergebnisse nicht unbedingt zu einem technischen Produkt führten oder führen werden.

²⁵ <http://www.zit.tu-darmstadt.de/cipp/tudzit/custom/pub/content,lang,1/oid,668/ticket,guest.html>

²⁶ www.bionik-dental.de, 27.10.2010

²⁷ www.bioniccommando.com

²⁸ www.stabilo.com/pages-de/products/bionic.php 01.11.2010

3 Aufgabenstellung

Entsprechend der in Kapitel 1 beschriebenen Rahmenbedingungen gliedert sich die Arbeit in zwei Forschungsschwerpunkte, der Erarbeitung neuer Arbeits- und Experimentiermaterialien zum Thema Bionik für den Schulunterricht sowie einer Evaluation und Interviewstudie zum fächerverbindenden Unterricht mittels Experteninterviews.

(1) Für die Erarbeitung der Unterrichtsmaterialien für den Bionikunterricht waren mehrere Parameter gleichzeitig von Belang. Neben einer für die Schulen 1. möglichst kostengünstigen Variante der experimentellen Durchführung sollten 2. die Ergebnisse der Experimente einfach und sicher reproduzierbar sein. Die behandelten Themen sollten sich außerdem 3. mit Sachverhalten auseinandersetzen, die in der Lebenswelt der Schüler vorkommen und damit das Interesse der Schüler sowie die Motivation erhöhen.

Nach der Entwicklung sollten die Experimentiermodule an einigen Schulen erprobt und anschließend optimiert werden, um sie später möglichst vielen Schulen möglichst kostengünstig zur Verfügung zu stellen.

(2) Im Rahmen einer qualitativen Interviewstudie sollten Lehrer sächsischer Gymnasien Fragen zu Umsetzungsproblemen und Rahmenbedingungen des fächerverbindenden Unterrichts beantworten. Durch die Integration der fächerverbindenden Profile in den Lehrplan sächsischer Gymnasien fand auch die Bionik als ein stark interdisziplinäres Arbeitsgebiet Eingang in den Schulunterricht. In diesem Zusammenhang ermöglicht eine Bestandsaufnahme der Unterrichtspraktiken eine Analyse von Einflussfaktoren positiver wie negativer Art.

Fragestellung 1:

Welche Erfahrungen haben die Lehrer im Bionik-Unterricht gesammelt?

Fragestellung 2:

Wie schätzen die Lehrer die Rahmenbedingungen sowie die Auswirkungen des fächerverbindenden Unterrichts ein?

TEIL 2 ENTWICKLUNG DER ARBEITSMATERIALIEN "BIONIK"

*"Things should be made as simple as possible, but not any simpler."
Albert Einstein*

4 Methodik der Aufgabenentwicklung

4.1 Anforderungen und Rahmenbedingungen an die Aufgabenentwicklung

4.1.1 Die vier Säulen der Aufgabenentwicklung

Aufgaben vermitteln zwischen den Lernenden und den naturwissenschaftlichen Sachverhalten und konfrontieren Schüler mit konkreten Anforderungen (HAMMANN 2006). Dabei wird ein gezielter Auftrag gestellt, für dessen Bearbeitung eine Auseinandersetzung mit spezifischen Aspekten einer Fragestellung erforderlich wird. Aufgaben können dem Lernen und der Erarbeitung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge und Fragestellungen dienen oder die Funktion des Überprüfens der Ergebnisse der vorangegangenen Unterrichtseinheit haben (ELSTER 2006). Man unterscheidet daher Lern- und Prüfungsaufgaben. Im vorliegenden Bionik-Set dienen die entwickelten Aufgaben vornehmlich dem erstgenannten Zweck der Erarbeitung neuen Wissens.

Die von ELSTER (2006) genannten, für die Aufgabenentwicklung entscheidenden vier Säulen (nach OECD/PISA 2006) lauten: Kompetenzförderung, Kontextualisierung, Angliederung an Basiskonzepte sowie Förderung der affektiven Dimension. Je nach Thema und Umfang der Aufgabe sind deshalb für die Aufgabenentwicklung mehrere Funktionen/Merkmale entscheidend:

Durch die Aufgaben sollten bestimmte **Kompetenzen** gefördert werden.

Die Aufgaben**kontexte** sollten einen Bezug zur Lebenswelt der Adressaten aufweisen.

Vorwissen zum Thema sollte den **Basiskonzepten** angepasst und in der jeweiligen Jahrgangsstufe vorhanden sein.

Die Aufgaben sollten in ihrer Formulierung, Struktur und Inhalt auf die Lernenden motivierend und **interessant** wirken.

Im Folgenden werden diese vier Aspekte der Aufgabenentwicklung näher betrachtet, durch weitere ergänzt und anschließend in Kapitel 6.2 in Bezug zur Erarbeitung der Experimentieranleitungen und Aufgaben des Bionik-Sets gesetzt.

4.1.1.1 Kompetenzbereiche der nationalen Bildungsstandards

Die Kultusministerkonferenz verabschiedete bereits 1995 nationale Bildungsstandards für die Fächer Deutsch, Mathematik und erste Fremdsprache für den mittleren Schulabschluss. 1997 wurde beschlossen, diese auch auf die Fächer Physik, Chemie und Biologie auszuweiten. 2004 wurden sie schließlich verabschiedet (KMK 2004e) und in den Bundesländern angewendet. So hat beispielsweise der Freistaat Sachsen die

Bildungsstandards und ihre Überprüfung im Schulgesetz § 35 Abs.1 und 2 § 59a Abs.1 und 2 verankert²⁹.

Die Bildungsstandards benennen zentrale Ziele und Lehrinhalte, die die Schüler bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe einer bestimmten Schulart erreicht haben sollten³⁰. Konkretisiert und bewertbar werden sie durch die Definierung von Kompetenzen. WEINERT (2001) und KLIEME et al. (2007) verstehen unter Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder von ihnen erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“ Für den Fachbereich Biologie des mittleren Schulabschlusses wurden von der Kultusministerkonferenz 2004 die vier Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung festgelegt³¹.

Neben den Fachinhalten spielt jedoch auch die Handlungsdimension eine sehr große Rolle. Die fachlichen Inhalte werden über die drei Basiskonzepte (1) System, (2) Struktur und Funktion sowie (3) Entwicklung abgedeckt (vgl. Kap. Basiskonzepte). Die Handlungsdimension, deren Arbeit sich natürlich auch auf die Basiskonzepte bezieht, umfasst die Bereiche des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns, der Kommunikation sowie der Anwendung und Bewertung biologischer Sachverhalte in fachlichen und gesellschaftlichen Kontexten. Der detaillierte Kompetenzkatalog, der in den nationalen Bildungsstandards für das Fach Biologie festgelegt wurde, befindet sich im Anhang dieser Arbeit (vgl. Anhang A3).

Kompetenzbereiche des Faches Biologie		Lernziel nach BERCK (1999)
Fachwissen	Lebewesen, biologische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten kennen und den Basiskonzepten zuordnen	kognitiv
Erkenntnisgewinn	Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Arbeitstechniken anwenden	formal
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen	formal
Bewertung	Biologische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten	affektiv

Tab. 8: Kompetenzbereiche des Faches Biologie. Quelle: Beschlüsse der KULTUSMINISTERKONFERENZ 2004. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss, Beschluss vom 16.12.2004.

Kompetenzbereich Fachwissen

Im Zentrum der Kompetenzentwicklung des Bereichs Fachwissen steht nicht die Wiedergabe von Faktenwissen, sondern die Anwendung des erlernten Wissens. In den Einheitlichen

²⁹ § 35 Bildungsstandards, Lehrpläne, Studententafeln, landeseinheitliche Prüfungsaufgaben: (1) Grundlage für Unterricht und Erziehung sind Bildungsstandards, Lehrpläne und Studententafeln. Sie werden von der obersten Schulaufsichtsbehörde festgelegt. (2) Bildungsstandards bestimmen, über welches verbindliche Wissen und welche Kompetenzen Schüler zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügen müssen. § 59a Evaluation: (1) Das Ergebnis der Erziehungs- und Bildungsarbeit und die Umsetzung des Schulprogramms werden regelmäßig überprüft. Wesentliche Bezugspunkte zur Überprüfung von Schülerleistungen und Unterrichtsqualität sind Bildungsstandards.

³⁰ 2012 werden die Bildungsstandards erstmals im Sekundarbereich I für die Fächer Mathematik, Biologie, Chemie und Physik getestet.

³¹ Neben den Standards für das Fach Biologie wurden für die vorliegende Arbeit gleichzeitig auch die Standards für die Fächer Physik und Chemie analysiert. Diese werden hier im Folgenden aufgrund ihrer ähnlichen Grundstruktur nicht näher erläutert.

Prüfungsanforderungen (KMK 2004b) wird dieser Anspruch folgendermaßen formuliert: „Für die Arbeit an biologischen Phänomenen, Sachzusammenhängen und Modellvorstellungen wird von den Prüflingen erwartet, dass sie dieses Wissen anlassbezogen reaktivieren und zu eigenständig strukturierten Darstellungen und Erklärungen anwenden können.“

Neben Kenntnissen über Begriffe, Modelle, Theorien und Zusammenhänge wird erwartet, dass die Schüler diese in die Basiskonzepte einordnen und miteinander vernetzen können (vgl. Kap 4.1.1.3).

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Das erlangte Fachwissen soll von den Schülern genutzt werden, biologische Zusammenhänge anhand von Experimenten oder Modellen selbständig zu beobachten, zu analysieren und zu vergleichen. Dabei ist nicht nur das Erlernen neuer Arbeitstechniken von entscheidender Wichtigkeit. Gerade der hypothesengeleitete naturwissenschaftliche Erkenntnisweg samt Planung und Bewertung (vgl. Kap. 4.2.1 „Experiment“) steht im Mittelpunkt dieses Kompetenzentwicklungsbereichs.

Kompetenzbereich Kommunikation

Von den Schülern in der Abiturprüfung wird erwartet, dass sie „in unterschiedlichen Kommunikationssituationen biologische Phänomene und Sachverhalte sowie naturwissenschaftliche Ergebnisse und Erkenntnisse angemessen darstellen und diskutieren“ können (KMK 2004b). Das beinhaltet neben Quellenarbeit, Darstellungstechniken und Referaten auch die Argumentation der Ergebnisse. Der Kompetenzbereich Kommunikation schließt insbesondere Medienkompetenz mit ein (vgl. Kap. 4.2.6 „Recherche“).

Kompetenzbereich Bewertung

Die Standards für den Kompetenzbereich Bewertung konzentrieren sich auf das Erkennen und Reflektieren biologischer Sachverhalte. Hier spielen anwendungsorientierte, besonders auch interdisziplinäre und gesellschaftlich diskutierte Themen eine Rolle. Die Schüler sollen „das Handeln des Menschen und die damit verbundenen Auswirkungen vor dem Hintergrund eines biologisch reflektierten Menschenbildes betrachten und bewerten“ können (KMK 2004b).

Anforderungsbereiche

Die einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) beinhalten drei Anforderungsbereiche, die für alle vier Kompetenzbereiche gelten, einzeln definiert sind und Aufgabenmerkmale beschreiben. Anforderungsbereiche unterscheiden sich im Grad der Selbständigkeit bei der Bearbeitung der Aufgaben als auch im Grad der Komplexität der gedanklichen Verarbeitungsprozesse und stellen damit eine Abstufung in Bezug auf den Anspruch der Aufgabe dar (KMK 2004b). In der Aufgabenentwicklung werden dafür Operatoren, sog. Aufforderungsverben, verwendet. Solche Operatoren, wie sie in Übersichten, beispielsweise der Synopse der KMK (2005) zusammengefasst wurden, sind jedoch fachspezifisch zu verwenden. Während in den gesellschaftswissenschaftlichen Bereichen das Beschreiben und Interpretieren eine große Rolle spielen, besitzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Arbeit eher Operatoren wie Beobachten, Messen, Vergleichen,

Erläutern und Analysieren einen hohen Stellenwert³². In dem Beschluss der KMK (2004b) zu den einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie wurden die hier dargestellten Operatoren als eindeutige Arbeitsanweisungen ausgewiesen. Allerdings werden die den Operatoren entsprechenden Anforderungsbereiche teilweise von Bundesland zu Bundesland verschieden angegeben. Anhand der Zuordnung, die die Behörde für Bildung und Sport der Stadt Hamburg 2003 veröffentlichte, sollen einige kurz vorgestellt werden³³. Einige Operatoren können dabei nicht unbedingt auf einen Anforderungsbereich reduziert werden, so dass Zwischenbereiche definiert wurden:

I	I – II	II	II – III	III
angeben	beobachten	anwenden	analysieren	beurteilen
nennen	beschreiben	übertragen	untersuchen	bewerten
benennen	darstellen	erläutern	auswerten	erörtern
berechnen	einordnen		begründen	prüfen
	skizzieren		bestimmen	
	zeichnen		entwickeln	
			erklären	
			interpretieren	
			vergleichen	
			gegenüberstellen	

Tab. 9: Operatoren und ihr jeweiliger Anforderungsbereich, entsprechend der Behörde für Bildung und Sport der Stadt Hamburg 2003.

4.1.1.2 inhaltliche und lebensweltliche Kontexte

Kontexte sollen Schüler dazu motivieren, Fragestellungen aufzunehmen, zu diskutieren und zu bearbeiten (ELSTER 2006). Auch trägt kontextbezogenes Lernen dazu bei, träges Wissen zu vermeiden und stattdessen Wissen in Anwendungszusammenhängen zu aktivieren, denn der Erwerb von Wissen wird dann als besonders nachhaltig angesehen, wenn er in komplexen, realitätsnahen und möglichst authentischen Problemstellungen seinen Ausgangspunkt nimmt. GÖTH et al. (2007) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass je aktiver, explorierender und kontextintegrierter eine Aufgabe war, desto besser sie auch von den Schülern bewertet wurde³⁴. Alltagsbezüge, die im fächerverbindenden Unterricht übergreifend behandelt werden können, erhöhen die intrinsische Motivation (BERCK 1999: 224) (vgl. 4.1.1.4 „affektive Dimension“).

Da in der Kontextformulierung Fach- und Schülerperspektive gleichrangig einfließen sollen, muss neben der inhaltlichen auch die lebensweltliche Dimension betrachtet werden. Naturwissenschaftliche Inhalte werden über die Basiskonzepte und Lehrpläne definiert. Die lebensweltliche Bedeutsamkeit für die Lernenden erschließt sich über die Interessensgenese der anzusprechenden Jahrgänge.

HAMMANN (2008) unterscheidet vier inhaltliche Kontextbereiche, welche auch in der PISA-Studie verwendet werden: tägliches Leben und Gesundheit, Erde und Umwelt, Technologie

³² vgl. KMK (2004:16) und KMK (2005).

³³ www.mint-hamburg.de/abitur/Biologie.pdf. Abweichungen der entsprechenden Anforderungsbereiche findet man beispielsweise auch in dem vom hessischen Kultusministerium 2008 veröffentlichten Operatoren für das Landesabitur Biologie: http://ass.medienzentrum-kassel.de/facher/aufgabenfeld-iii/biologie/dokumente-internal-links/Operatoren_Biologie_2008.pdf

³⁴ Sie setzen jedoch der kontextbezogenen Aufgabe die Kreativaufgabe entgegen, die in ihrer Untersuchung die intensivste Aktivität und explorativste Auseinandersetzung mit dem Untersuchungsgegenstand hervorrief.

und Kontexte der Wissensgenese. Diese Komplexe wiederum lassen sich in ihrer Bedeutung für Individuum/Familie, für die Gesellschaft und für die Welt betrachten. Aufgaben können somit in ihrem jeweiligen Kontext in verschiedenen Abstraktionsebenen bearbeitet werden.

4.1.1.3 Basiskonzepte und ihre Vernetzung

Unter Basiskonzepten werden strukturierte Vernetzungen von aufeinander bezogenen Begriffen, Theorien und erklärenden Modellvorstellungen naturwissenschaftlicher Sachverhalte verstanden, die sich aus der Systematik eines Faches zur Beschreibung elementarer Prozesse und Phänomene historisch als relevant herausgebildet haben (DEMUTH et al. 2005). Sie sind die Grundlage des Kompetenzbereiches Fachwissen der nationalen Bildungsstandards. Das grundlegende Verständnis für naturwissenschaftliche Konzepte, das durch die Basiskonzepte vermittelt wird, ist Voraussetzung für den Aufbau von Wissensstrukturen, welche für das kumulative Lernen benötigt werden. Unbekannte Sachverhalte und bekannte Beispiele können auf diese Weise mit vorhandenem Wissen verknüpft und in neuen Kontexten betrachtet werden. Durch diese Rückgriffe auf bereits Gelerntes erfahren die Schüler von dessen Bedeutsamkeit – eine gute Grundlage für den erwünschten Lernerfolg (LICHTNER 2007b).

Grund für das Entwerfen dieser Basiskonzepte ist die Fülle naturwissenschaftlicher Phänomene, die dank einer einsichtigen Struktur den Schülern eine eigenständige Einordnung neuer Phänomene ermöglichen soll. Die zu vermittelnde Stofffülle lässt sich somit reduzieren, ohne dass das Fachwissen leidet. Zudem wurde die bisher mangelnde inhaltliche Vernetzung der größeren thematischen Einheiten in den naturwissenschaftlichen Fächern beklagt. Die Projektgruppe der Bund-Länder-Kommission forderte in ihrem Gutachten (BLK 1997) deshalb: „Der Unterricht in diesen Fächern hat sich im Sinne der vertikalen Vernetzung an der Systematik des jeweiligen Bildungsgangs zu orientieren und zum Zweck der horizontalen Vernetzung Funktionen in Hinblick auf die Nachbarfächer zu erfüllen.“ Unter vertikaler Vernetzung versteht man hierbei das systematische Wiederholen zurückliegender Unterrichtsstoffe innerhalb eines Unterrichtsfachs, die horizontale Vernetzung meint dagegen eine Verknüpfung von Inhalten verschiedener parallel unterrichteter Fächer miteinander. In der Unterrichtspraxis wird jedoch meist lediglich der Stoff der vorangegangenen Unterrichtsstunde rekapituliert, länger zurückliegende Themen werden dagegen nur selten wiederholt (BLK 1997). Auch die horizontale Vernetzung findet erst langsam Einzug in die Lehr- und Bildungspläne.

Durch die Fokussierung auf wenige Konzepte im Sinne der Basiskonzepte erhoffen sich die Fachdidaktiker eine deutlich bessere Vernetzung und Kategorisierung von Lerninhalten (DEMUTH et al. 2005). Basiskonzepte gelten daher einerseits als Instrument der vertikalen Vernetzung, welche Inhalte der Fachrichtung über die Jahrgänge miteinander verknüpft, und andererseits auch als Instrument horizontaler Verknüpfung, um die Inhalte der naturwissenschaftlichen Fachrichtungen in Beziehung zueinander zu stellen. Dank der Konzentration auf wenige Konzepte ist die Vernetzung von Lerninhalten stärker möglich.

Die Kultusministerkonferenz erarbeitete 2004 konkret drei in sich vernetzte Basiskonzepte, die ein systemisches und multiperspektivisches Denken sowie eine Beschränkung auf das

Wesentliche fördern. Als drei entscheidende Basisfunktionen wurden für die Biologie (1) System, (2) Struktur und Funktion, sowie (3) Entwicklung definiert. Durch die Reduzierung der Vielfalt an biologischen, chemischen oder physikalischen Themen auf eine geringe Zahl übergeordneter Aspekte und Gesetzmäßigkeiten kann der Blick von Schülern und Lehrern auf zentrale Punkte fokussiert werden (DEMUTH et al. 2005). Dabei erlauben die Basiskonzepte dem Lernenden, sich eigenständig neue Inhalte zu erschließen. Die Schüler müssen lernen, in ihnen bisher unbekanntem Phänomenen die wesentlichen Konzepte selbständig zu erkennen. Dafür erlernen sie geeignete Zugänge, Erkenntniswege, die ihnen dabei helfen. Um den Konzeptcharakter zu erkennen, muss der Lernende deshalb mehrere Beispiele kennen, denn nur der Vergleich offenbart das Themenverbindende (LICHTNER 2007a).

In den Einheitlichen Prüfungsanforderungen (KMK 2004b) für das Abitur im Fach Biologie werden dagegen acht für die Schule relevante Basiskonzepte definiert: Struktur und Funktion, Reproduktion, Kompartimentierung, Steuerung und Regelung, Stoff- und Energieumwandlung, Information und Kommunikation, Variabilität und Anpassbarkeit sowie Stammesgeschichtliche Verwandtschaft. Um die Durchschaubarkeit als wichtige Voraussetzung für das Verständnis und damit die Anwendbarkeit eines Konzeptes im Sinne des kumulativen Lernens zu gewährleisten, hält auch LICHTNER (2007a) diese stärkere Auffächerung der Basiskonzepte für sinnvoll. Auf diese Weise soll der Erklärungscharakter nicht eingeschränkt werden. Die Basiskonzepte selbst werden bei näherer Betrachtung selbst wieder in mehrere Teilprinzipien unterteilt, die wiederum mit unterschiedlichen Beispielen unterlegt werden können.

In der konkreten Umsetzung dienen Basiskonzepte aufgrund ihrer übergeordneten Funktion lediglich als Leitlinien. Daher wird der Begriff in den Lehrplänen und Rahmenrichtlinien der Bundesländer nicht unbedingt verwendet.

4.1.1.4 Einbindung der affektiven Dimension

Zahlreiche Autoren beschäftigen sich mit dem Einfluss des Interesses auf den Wissenserwerb während des Lernens. Theorien jüngerer Zeit definieren dabei neben Interesse auch Indifferenz und Nicht-Interesse (KRAPP 1992, 1998, VOGT 2007) als Einflussfaktoren, die wiederum für die didaktisch-methodische Ausgestaltung von Unterricht eine zunehmende Rolle spielen dürften. Interesse und Neugier sind intrinsische Motivationsformen, die vom Lernenden selbst erzeugt werden. Es wird angenommen, dass diese intrinsische Motivation im Vergleich zur extrinsischen Motivation wie Gruppendruck oder Belohnung dauerhafter anzuregen vermag. VOGT (2007:10) formuliert aber weiter, dass die Auseinandersetzung mit einem Unterrichtsgegenstand meist fremdintentional, also extrinsisch motiviert ist. Je nachdem, wie diese Person-Gegenstands-Auseinandersetzung geführt wird, formt sich die Bereitschaft für eine weitere Auseinandersetzung oder ein Desinteresse dem Thema gegenüber. Um jedoch auch die intrinsische Motivation zu fördern, gehen Fachdidaktiker davon aus, dass die Heranwachsenden durch eine verstärkte Orientierung der Themen an ihrer Lebenswelt und der damit verbundenen persönlichen Betroffenheit Fachbereiche des naturwissenschaftlichen Unterrichts besser zu akzeptieren

vermögen (ELSTER 2007). Kontexte der Lerninhalte spielen daher eine übergeordnete Rolle für die Entwicklung und die Aufrechterhaltung eines Interesses (vgl. Kap. 4.1.1.2).

Um ein lernwirksames Interesse zu erzeugen, reicht nach KRAPP (1998) jedoch eine Neugier weckende situationsspezifische Aktivierung nicht aus. Zwei Aspekte der Interessensgenese werden deshalb von MITCHELL (1993) unterschieden: die *catch*-Komponente spiegelt einen ersten Interessenszustand wider, die *hold*-Komponente wiederum beschreibt die Aufrechterhaltung des situationalen Interesses. Hier sind didaktisch-methodische Aspekte für die Förderung der intrinsischen Motivation von essentieller Bedeutung. DECI et al. (1993) unterscheiden wiederum zwei Interessensformen: das situative und das individuelle Interesse. Angestrebt wird eine Interessensgenese vom situativen Interesse, welches meist spontan an einem spezifischen Anreiz verankert ist, hin zu einem individuellen Interesse, das eine überdauernde Vorliebe für eine bestimmte Thematik beinhaltet. Die diesen Prozess beeinflussenden Faktoren sind zahlreich: Persönlichkeitsmerkmale des Lerners spielen ebenso eine Rolle wie der Kontext der Lerninhalte und die Möglichkeiten zum selbstbestimmten Handeln des Lerners (ELSTER 2007).

DECI (1975) beschreibt zusammenfassend mehrere Untersuchungen und kommt zu dem Ergebnis, dass die Einführung extrinsischer Motivatoren in den Handlungsablauf einer intrinsisch motivierten Tätigkeit das Gefühl der Selbstbestimmung unterminiert und dadurch das Interesse an ihr sinkt. Die 1993 formulierte und oft zitierte Selbstbestimmungstheorie von DECI und RYAN geht an dieser Stelle auch auf die Diskrepanz zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation ein. Während intrinsisch motivierte Handlungen dem Individuum die Möglichkeit geben, ihr Handeln frei zu wählen und durchzuführen und es somit mit der eigenen Auffassung von sich selbst übereinstimmt, müssen extrinsische Motivationen sehr differenziert betrachtet werden. Abhängig von der Ausprägung der externen Steuerungsfaktoren können extrinsisch motivierte Verhaltensweisen durch Prozesse der Internalisation und Integration in selbstbestimmte Handlungen überführt werden. DECI und RYAN (1993) begründen dies mit den drei angeborenen psychologischen Bedürfnissen: dem Bedürfnis nach (1) Wirksamkeit/ Kompetenz, nach (2) Autonomie/ Selbstbestimmung, sowie nach (3) sozialer Eingebundenheit/ Zugehörigkeit. Während intrinsisch motivierte Verhaltensweisen in erster Linie mit den Bedürfnissen nach Selbstbestimmung verbunden sind, spielen für extrinsisch motivierte Verhaltensweisen alle drei Bedürfnisse eine wichtige Rolle.

Weiterführend unterscheiden SCHMID et al. (2006) in ihrer Theorie motivationale Handlungskonflikte, die entstehen, wenn Schüler hohe Leistungs- und hohe Wohlbefindenswerte besitzen. So verweisen sie dabei auf den Widerspruch zwischen dem durch mehrere Studien beschriebenen Bild der leistungsbereiten und -orientierten Jugendgeneration und deren geringer schulischer Lernmotivation. Die Leistungswerte stehen in Konkurrenz zu anderen Werten, Werten des Wohlbefindens, der Selbstentfaltung und erfüllender sozialer Beziehungen, die eher durch Freizeitaktivitäten als durch lernbezogene Tätigkeiten untersetzt werden können.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Angebot von Wahlmöglichkeiten als autonomiefördernd wahrgenommen wird und damit die intrinsische Motivation steigert (ZUCKERMAN et al. 1978). Ein optimales Anforderungsniveau an das Individuum fördert gleichfalls intrinsisch motivierte Aktivitäten (DECI 1975).

4.1.2 Interesse der Schüler an den Naturwissenschaften

Interessenausbildung ist, wie im vorangegangenen Kapitel deutlich wurde, ein wichtiger Teil des Lernprozesses. Die Interessensdoktrin nach TODT (1978) weist darauf hin, dass das Interesse für das erfolgreiche Lernen im Unterricht von sehr großer Bedeutung ist. Auch andere Studien belegen, dass Interesse an der Thematik die Schüler/innen aktiver lernen lässt und dadurch tiefergehendes Lernen fördert (u.a. WILD et al. 1992). Verschiedene Hypothesen versuchen sich in einer Beschreibung der Interessensgenese. So kann die kulturelle Vorprägung oder ihr Entwicklungsstand der Schüler einen erheblichen Einfluss auf deren Interesse im Schulunterricht haben. Aber auch sachbezogenes Wissen kann, ebenso wie gute Leistungen eine wesentliche Voraussetzung für die Interessensgenese sein (BERCK 1999: 69). Ebenso können didaktische Methoden wie beispielsweise die Anwendung von Gruppenarbeit aufgrund des entstehenden Wettbewerbs Interesse hervorrufen (BERCK 1999: 78).

Die Naturwissenschaften scheinen aufgrund der Ergebnisse mehrerer Studien aus dem Interessensfeld der Schüler herauszurücken. BLACK et al. (1996) stellen fest, dass Kurse naturwissenschaftlichen Inhalts in der Oberstufe der Gymnasien zunehmend abgewählt werden und universitäre Studiengänge der Mathematik und Naturwissenschaften geringe Studienzahlen aufweisen. PRENZEL et al. (2006a:7) verweisen darauf, dass in Deutschland ein erheblicher Anteil von hochkompetenten Jugendlichen (in einer Größenordnung von 44 Prozent) sich relativ wenig für Naturwissenschaften interessiert. Ähnliche Ergebnisse, die an sächsischen Gymnasien erhoben wurden, sind in Kapitel 1 dargestellt. PÜTZ (2007: 89) geht davon aus, dass die Studierenden den naturwissenschaftlichen Anforderungen im Studium immer öfter nicht mehr gewachsen sind. Er vermutet daher, dass die Qualität der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbesserungswürdig ist.

Scheinbar ist das Interesse an naturwissenschaftlichen Themen geschlechts- und altersabhängig. Auffallend ist jedoch auch, dass das Interesse am naturwissenschaftlichen Unterricht kontinuierlich abnimmt, je länger Mädchen und Jungen die Schule besuchen (HOFFMANN et al. 1986). KESSELS et al. (2004) konnten feststellen, dass Mädchen und Jungen naturwissenschaftliche Fächer im Vergleich zu sprachlich-geisteswissenschaftlichen Fächern als schwieriger, stärker maskulin konnotiert und als weniger Möglichkeiten zur Selbstverwirklichung bietend wahrnehmen. In der gleichen Studie wiesen sie nach, dass Schülerinnen und Schüler Jugendlichen, die sich für mathematisch-naturwissenschaftliche Fächer interessieren, unattraktive Eigenschaften nachsagen. So werden ihnen eine geringere physische und soziale Attraktivität, weniger soziale Kompetenz, mehr Arroganz und Selbstbezogenheit sowie weniger Emotionalität und Kreativität attestiert.

Auch die Ergebnisse der 2004 mit 1247 Schülern im Alter von 14-17 Jahren durchgeführten ROSE-Erhebung (SCHREINER et al. 2004) bestätigen diese Annahmen. So wurden in den Fragebogenteilen A-C-E „How interested are you in learning about the following?“ fast 50 Themen mit verschiedenen Inhalten³⁵ und Kontexten aufgelistet. Ohne im Folgenden weiter auf die Konstruktion der Befragung einzugehen, werden in Tabelle 10 die zehn

³⁵ Themen aus den Gebieten: Astrophysik und Universum; Erde und Geowissenschaften; Humanbiologie; Zoologie; Botanik; Chemikalien; Licht, Farben und Strahlung; Töne und Akustik; Energie und Elektrizität; Technik.

uninteressantesten Themen für Mädchen und Jungen dargestellt, kursiv die die Botanik betreffenden Themenfelder³⁶. Die Inhalte der Botanik sind in dieser Altersgruppe sowohl für Mädchen als auch für Jungen nicht interessant.

	Was Mädchen nicht interessiert	Was Jungen nicht interessiert
1	Wie Rohöl zu Materialien wie z.B. Plastik und Textilien verarbeitet wird	<i>Symmetrien und Muster bei Blättern und Blumen</i>
2	<i>Symmetrien und Muster bei Blättern und Blumen</i>	Eigenschaften von Lotionen und Cremes, welche die Haut jung erhalten
3	Berühmte Forscher/innen und ihr Leben	Berühmte Forscher/innen und ihr Leben
4	Wie Diesel- und Benzinmotoren funktionieren	<i>Wie Pflanzen wachsen und sich vermehren</i>
5	Atome und Moleküle	Reinigungsmittel, Seifen und wie sie wirken
6	<i>Wie Pflanzen wachsen und sich vermehren</i>	Wie Rohöl zu Materialien wie z.B. Plastik und Textilien verarbeitet wird
7	Wie man den Ernteertrag im Garten und Feld steigert	Plastische und kosmetische Chirurgie
8	Biologische und ökologische Landwirtschaft ohne Pestizide und Kunstdünger	Biologische und ökologische Landwirtschaft ohne Pestizide und Kunstdünger
9	Warum Naturwissenschaftler manchmal nicht gleicher Meinung sind	Essstörungen wie Magersucht oder Bulimie
10	Wie eine Atomkraftanlage funktioniert	<i>Pflanzen in meiner Umgebung</i>

Tab. 10: Die zehn für Jungen und Mädchen uninteressantesten Themenfelder nach ROSE-Erhebung (aus SCHREINER et al. 2004). Altersgruppe 14-17 Jahre, Studie 2004, 1247 Schüler befragt in Deutschland und Österreich. Kursiv sind die Themen der Botanik hervorgehoben.

Interessant dagegen sind für die Jungen Themen des Universums, der Humanbiologie und der Zoologie, für Mädchen hauptsächlich Themen der Humanbiologie. ELSTER (2007:248) formuliert weiter dazu: „Gesellschaftsrelevante Kontexte im Zusammenhang mit Bedrohungen und Gefahren für Mensch und Natur werden als interessant eingestuft, während Fragen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes im Vergleich zu früher weniger interessant sind. Mädchen sind interessiert an Phänomenen aber nicht so sehr an Kontexten der Ästhetik und Schönheit sondern vor allem an Wundern und Mystik. Jungen sind interessiert an Spektakulärem und an Horror. Sie sind interessierter an technischen Errungenschaften und modernen Technologie als Mädchen.“ Humanbiologische Inhalte sind innerhalb dieser Kontexte für Mädchen sehr wichtig, während Jungen sich besonders für Inhalte der Physik, Technik und Chemie begeistern. Diese Interessen spiegeln sich selbstverständlich auch in den Berufswünschen wider – und dies bereits um Grundschulalter. In einer nicht repräsentativen Studie des Deutschen Kinderschutzbundes in Dresden nannten nur sechs Prozent der Sieben- bis Zwölfjährigen einen naturwissenschaftlichen Beruf³⁷. Dies liegt vermutlich auch daran, dass die Schüler in der Schule kaum etwas über diese Berufsbilder erfahren, auch in den höheren Jahrgängen nicht. Einige Schulkonzepte versuchen daher gezielt, Berufsgruppen auch im Unterricht vorzustellen und die Schüler ihren Fähigkeiten entsprechend dafür zu begeistern.

³⁶ Eine Auflistung der zehn interessantesten Themen befindet sich in ELSTER, D. (2007:246).

³⁷ DKSB (2009): 20 Jahre Kinderrechte – Kinderrechtewahl 2009. persönliche Zusendung.

4.1.3 Didaktische Reduktion

Essentieller Bestandteil der Entwicklung von Unterrichtsmaßnahmen ist die vereinfachte Darstellung komplexer Sachverhalte. Diese didaktische Reduktion ermöglicht es dem Lehrer, Lerninhalte schülergemäß aufzuarbeiten und zu präsentieren. Dabei soll der Lernstoff jedoch nicht trivialisiert, sondern vielmehr quantitativ und qualitativ an das Vorwissen der jeweiligen Zielgruppe angepasst werden. Die Aussagen verlieren demnach nicht an Wahrheitsgehalt, sind gleichzeitig aber für die Lernenden verständlich.

Unterschieden wird zwischen einer quantitativen (Umfangs-) und einer qualitativen (Schwierigkeits-) Reduktion. Wie der Name bereits andeutet, wird bei der quantitativen Reduktion der geeignete Stoffumfang der Zielgruppe entsprechend gewählt, irrelevante Aspekte werden dagegen vernachlässigt. Gerade bei hochkomplexen Sachverhalten wird diese Methode häufig verwendet.

Demgegenüber steht die qualitative Reduktion. Die qualitative Reduktion beschäftigt sich mit der besseren Verständlichkeit des Unterrichtsstoffs (ASCHERSLEBEN 1993:9). Durch Vereinfachung des Sachverhalts wird dieser der Zielgruppe besser zugänglich. „Didaktische Vereinfachung ist damit so etwas wie die Übersetzung und Übertragung von Unterrichtsgegenständen in eine didaktische, meist sprachliche Form, die einer definierten Schülergruppe das Lernen erleichtern soll“ (ebd.:146). GRÜNER (1967) unterteilt diese Form der Reduktion noch einmal in eine horizontale und eine vertikale Reduktion. In der horizontalen Reduktion, auch Darstellungsreduktion genannt, erfolgt keine Veränderung des Inhalts, sondern eine Modifikation der Darstellungsweise. Abstrakte Sachverhalte werden mit Skizzen, Abbildungen oder anderen medialen Techniken illustriert und so dem Lernenden näher gebracht.

Die vertikale Reduktion engt dagegen den Gültigkeitsumfang von Stufe zu Stufe ein, was nur durch eine Ausschnittbildung möglich wird (GRÜNER 1967).

ASCHERSLEBEN (1993) nennt vier verschiedene Möglichkeiten dieser Elementarisierung:

1. Die *ikonische Vereinfachung* stellt eine Thematik bild- oder modellhaft dar.
2. Durch *sprachliche Vereinfachung* werden komplizierte Fachtexte in eine verständliche Sprache übersetzt.
3. *Graphische Vereinfachungen* können bei komplizierten Zahlentabellen die Übersichtlichkeit erhöhen.
4. Eine *symbolische Vereinfachung* kommt beispielsweise in der wissenschaftlichen Formelsprache zum Ausdruck.

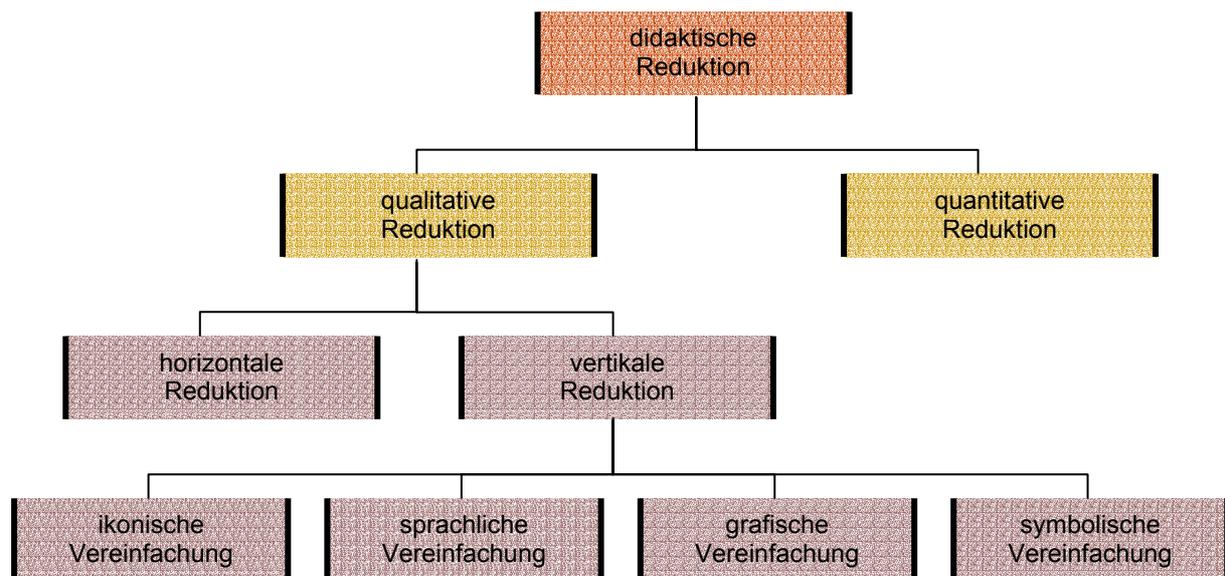


Abb. 12: Formen didaktischer Reduktion, verändert nach GRÜNER 1967, ASCHERSLEBEN 1993

Der sprachlichen Vereinfachung von zu vermittelnden Sachverhalten kommt hierbei eine besonders wichtige Rolle zu. Fremdwörter werden dabei weitgehend vermieden, Substantive durch Verben ersetzt, kurze Wörter gegenüber längeren bevorzugt. Auch die Satzstruktur ist von Bedeutung. Zwischen- und Nebensätze sollten sparsam eingesetzt werden, Sätze insgesamt kurz und mit nur einer Aussage beinhaltet sein. Besonders abstrakte Texte sollten gleichzeitig mit Beispielen, Bildern und Schemata ergänzt werden. LANGER et al. (1974) definieren daher vier Dimensionen, in denen sich ein Text bewegen muss. Er soll 1. einfach und konkret formuliert, 2. übersichtlich und folgerichtig gegliedert, 3. prägnant artikuliert und 4. zusätzlich interessant und stimulierend sein.

Entscheidend bei der didaktischen Reduktion ist die Frage nach dem Ausmaß der Vereinfachung des Sachverhalts. Minimal reduzierte Vereinfachungen stehen hier maximal reduzierten Vereinfachungen gegenüber. Optimal kann sie deshalb nur für eine bestimmte Zielgruppe mit bestimmtem Vorwissen sein.

Der Pädagoge muss Kenntnisse haben bzw. in der Lage sein, sich die Kenntnisse zu verschaffen, die es ihm erlauben, allein oder mit einem Fachmann zusammen zu erarbeiten, welche Ebenen der Vereinfachung, d.h. der Komplexitätsreduktion der strukturellen Gesetzmäßigkeit des zu behandelnden Sachverhalts angemessen sind (WEINBERG 1975).

4.1.4 Didaktische Rekonstruktion

Didaktische Rekonstruktion beschreibt den Vorgang, die durch didaktische Reduktion ausgewählten Sachverhalte lehr- und lerngerecht zu ordnen (WEINBERG 1975). Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen werden dabei miteinander verknüpft und so in Beziehung zueinander gesetzt, dass daraus ein Unterrichtsgegenstand entwickelt werden kann (KATTMANN et al. 1997).

Oft sind besonders die fachlichen und fachübergreifenden Bezüge, die von Wissenschaftlern vorausgesetzt werden, für die Vorstellungswelt der Schüler nicht tauglich. Fachliche Inhalte müssen daher in Kontexte gesetzt werden, die im gesellschaftlichen Umfeld der Schüler eine

Rolle spielen. Dabei werden sie deutlich komplexer (ebd.). KATTMANN et al. (1997) entwerfen dafür ein Triplet-Gefüge, deren wechselwirkende Teile starken Bezug zueinander haben. Didaktische und fachliche Aspekte der drei gleichberechtigten Bereiche *fachliche Klärung, Erfassung von Schülerperspektiven und didaktische Strukturierung* bedingen sich gegenseitig.

WEINBERG (1975) verweist für die altersgerechte Rekonstruktion auf zwei Modelle: Die Position des kognitiven Instrumentalismus und die etappenweise Ausbildung geistiger Handlungen. Für erste gilt: „Optimal ist ein Lernmaterial angeordnet, wenn erst der handelnde Umgang gewährt wird, danach anschauliche Symbolisierungen angeregt und schließlich die begriffliche Fixierung gefördert wird“ (SKOWRONEK 1968:155). Die zweite Position gliedert sich in drei Handlungsphasen: der Schaffung einer Orientierungsgrundlage, der eigentlichen Lernhandlung und einer Kontrollhandlung (LÖWE 1970:74).

4.1.5 Formulierung von Handlungsaufträgen

Handlungsanleitungen bedürfen einer klaren Sprache und präzisen Formulierungen. Dabei muss nicht nur die fachliche Komplexität oder Kompliziertheit einer zu beschreibenden Handlung entsprechend erfasst, sondern auch die Formulierung der Anleitung richtig gewählt werden.

So ist beispielsweise die Kompliziertheit von Faltanleitungen abhängig von der zu faltenden Figur. Je komplexer die Figur, desto schwieriger wird auch die fachlich richtige und gleichzeitig einfach zu verstehende Formulierung. Hinzu kommen jedoch auch das Vorwissen und die Routiniertheit des Verfassers, denn häufig sind Experten einer bestimmten Handlung nicht mehr in der Lage, über diese auch für den Laien verständlich zu kommunizieren (TIETZE 2007). Der Verfasser kürzt ungewollt den Erklärungsweg ab, da er sich nicht in seine eigene Naivität zurückversetzen kann. Wichtig sind demnach für die Formulierung einer „Gebrauchsanweisung“ logische und in sich schlüssige Zwischenschritte, die ein Handlungsziel und die dazugehörige Handlung thematisieren. Zudem ist die Struktur, die auf das Handlungsziel zustrebt, wichtiger als die sprachliche Perfektion der Texte (TIETZE 2007). Allgemein gebräuchliche Bezeichnungen sind unverständlichen oder nicht unbedingt für das Verständnis notwendigen Fachwörtern vorzuziehen.

Auch die bildliche Darstellung kann eine Handlungsanleitung verständlicher machen. „Wünschenswert sind Anleitungen, die sowohl auf Bildebene als auch auf Textebene verständlich sind. Die sozusagen eine doppelte Information darstellen“ (TIETZE 2007:1). Im Fall des Papierfaltens ist eine sprachliche Ausformulierung jedoch beispielsweise nur dann wünschenswert und effizient, wenn das zu faltende Papier mit Linien und Punktbezeichnungen markiert wird.

Wie bereits in Kapitel 4.1.1.4 und im Folgenden auch in Kapitel 4.1.6 beschrieben, empfiehlt sich für die Entwicklung eines motivationalen Interesses die Konstruktion eines Ankers, der in das Thema einführt. Unbedingt muss im Laufe der Auseinandersetzung mit der Thematik auf diesen Anker erneut eingegangen werden, um den Kreis des Verständnisses zu schließen. Ein solcher roter Faden ist besonders für komplexe interdisziplinäre Arbeitsaufgaben unerlässlich, um Zusammenhänge erkenntlich zu machen. Teilaufgaben innerhalb der Themenkomplexe hängen oft voneinander ab. Hier müssen die Zusammen-

hänge auf das Notwendige reduziert werden, damit sie sich nicht störend auswirken. Teilaufgaben haben daher idealerweise inhaltlich einen Bezug zueinander, sind aber in der Bearbeitung voneinander unabhängig.

4.1.6 Deduktiv-hypothetischer Erkenntnisweg und der geregelte Unterrichtskreislauf

PÜTZ (2010) entwickelte das Konzept des geregelten Unterrichtskreislaufs, welches sich in die fünf Phasen *Situation/Phänomen – Problem – Handlungsabsicht – Planung – Handlung – Reflexion* gliedert. Mithilfe einer „anchored instruction“ wird im Unterricht ein Phänomen oder Problem vorgestellt, welches auf die Lernenden motivierend wirken soll. Daraufhin erfolgt handlungsorientiert eine Hypothesenbildung, mit der eine Zielvorstellung festgelegt werden kann. Das Vorgehen wird hinsichtlich der zu verwendenden Materialien und Methoden geplant und praktisch vorbereitet. Anschließend erfolgen die praktische Durchführung der Experimente, sowie deren Dokumentation und die Präsentation der Ergebnisse. Entscheidend ist der letzte Schritt, die Reflexion. Hier werden die Ergebnisse und Schlussfolgerungen in Hinblick auf die zu Beginn definierten Zielvorgaben bewertet. Wurde das Problem nicht ausreichend gelöst, schließt hier ein neuer Unterrichtskreislauf nach dem gleichen Vorgehen an. Forschendes Lernen beinhaltet daher oft mehrere Lernzyklen.

Für ein solches deduktiv-hypothetisches Vorgehen wird jedoch vor allem eines benötigt: Zeit. Nicht nur PÜTZ (2010:12) fordert daher eine Entschlackung der „brimful biological curricula for secondary schools“, um den Fokus des Unterrichts auf das Erkennen von Problemen, das wissenschaftlich fundierte Lösen dieser Probleme und das Bewerten unter der Beachtung der gesellschaftlichen Normen zu legen.

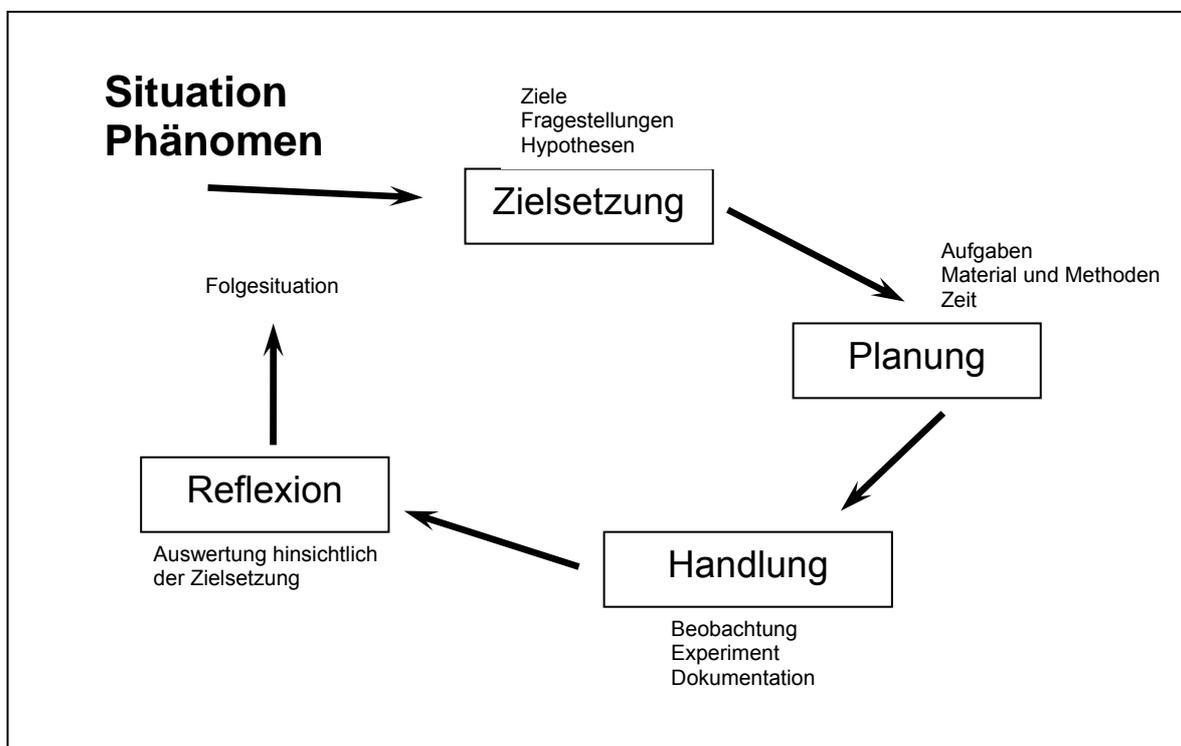


Abb. 13: Struktur des geregelten Unterrichtskreislaufs, aus PÜTZ (2010:7), leicht verändert.

4.1.7 Kontrolle der Lesbarkeit

Die Verständlichkeit von Texten spielt nicht nur für Journalisten und Autoren, sondern auch bei der Entwicklung von Lernaufgaben für den Schulunterricht eine große Rolle.

Selbstverständlich sollten die fachlichen Inhalte auf ihre Richtigkeit geprüft und in einer logisch zu erschließenden Reihenfolge angeordnet sein. Die Verwendung von Zusatzmaterialien wie Abbildungen, Zeichnungen, Grafiken oder Tabellen sowie ein übersichtliches und prägnantes Layout mit optimaler Anordnung von Text und Bild erhöhen die Anschaulichkeit von Aufgaben, so dass sie leichter lösbar werden (REISSE 2008).

Auch die Lesbarkeit ist ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg von Unterrichtsmaterialien bei Schülern. Die Überprüfung der Lesbarkeit ist dabei nicht nur subjektiv, sondern unterliegt bestimmten Kriterien, von denen zwei im Folgenden untersucht werden sollen.

1. Satzlänge

Kurze und präzise Sätze erhöhen die Textverständlichkeit. BERCK (1999) empfiehlt für Schüler der vierten und fünften Klasse Sätze, die im Mittel acht bis zehn Wörter lang sind. In zehnten Klassen sind es, abhängig vom Sprachgebrauch, bereits 15-25 Wörter. Ab 30 Wörtern in einem Satz, das gilt auch für Erwachsene, wird es schwer, den Text zu verstehen. Für diese Untersuchung wurden an drei Stellen eines jeden Themas je zehn aufeinander folgende Sätze auf ihre Länge hin untersucht. Schüler- und Lehrerteil wurden daraufhin miteinander verglichen.

2. Silbenanzahl

Sofern es im Aufgabenkontext und dem Schwierigkeitsgrad entsprechend möglich ist, sollten statt langer besser kurze Wörter verwendet werden. Die mittlere Silbenanzahl wird durch den Quotienten aus der Silbenanzahl eines Satzes durch die Wortanzahl desselben bestimmt. Für höhere Klassenstufen sind für eine gute Textverständlichkeit die Richtwerte bei 1,7 bis 2,0 angesetzt (BERCK 1999). Die auf Satzlänge untersuchten Sätze wurden deshalb gleichfalls auf ihre Silbenanzahl hin untersucht und wiederum miteinander verglichen.

3. Reading Ease-Index

Das Flesch Reading Ease-Verfahren³⁸, 1948 von Rudolf Flesch entwickelt, analysiert die Lesbarkeit eines Textes auf einer Skala von 1 bis 100. Dafür werden Silbenzahl und Satzlänge gemeinsam betrachtet und zueinander ins Verhältnis gesetzt. Die Satzlänge gilt hier als Index für syntaktische Komplexität, die durchschnittliche Wortlänge dagegen als Index für die Schwierigkeit des Vokabulars (MIHM 1973)³⁹. Je höher der Wert, desto verständlicher ist der Text aufgebaut.

³⁸ reading ease: (engl.) Lesbarkeit

³⁹ Im Deutschen wie in anderen europäischen Sprachen sind häufig vorkommende Wörter kürzer als selten vorkommende. Die durchschnittliche Wortlänge eines Textes gilt deshalb als Parameter für die Auftretenshäufigkeit des darin verwendeten Vokabulars (MIHM 1973).

$$FRE_{\text{englisch}} = 206,835 - (1,015 * ASL) - (84,6 * ASW) \quad [1]$$

ASL = durchschnittliche Satzlänge: Anzahl der Wörter im Text dividiert durch Anzahl der Sätze des Textes
 ASW = durchschnittliche Silbenzahl pro Wort: Anzahl der Silben des gesamten Textes dividiert durch Anzahl der Wörter im Text.

Da die Formel ursprünglich für den englischsprachigen Raum entwickelt wurde, die deutsche Sprache jedoch einen anderen Aufbau besitzt, der stark von zusammengesetzten Substantiven und nur wenig einsilbigen Wörtern geprägt ist, wurde die Formel von AMSTAD (1978) für den deutschsprachigen Raum abgewandelt.

$$FRE_{\text{deutsch}} = 180 - ASL - ASW * 58,5 \quad [2]$$

Andere Autoren (BACHMANN 2009) verwenden auch für den deutschen Sprachraum die englische Reading Ease-Formel. Um die Verschiedenheit der deutschen Sprache trotzdem zu integrieren, entwickelte MIHM 1973 eine Umskalierung, bei welcher auf die Werte der englischen Flesch-Formel jeweils 20 Punkte hinzu addiert werden. Diese Werte entsprechen der Mihm-Skala. Für die Auswertung der untersuchten Textstellen werden die gewonnenen Werte der oben stehenden Formel [2] mit der englischsprachig verwendeten sowie der Mihm-Skala verglichen.

LISCH et al. (1978) kritisieren die Flesch-Formel neben ihrer starken Wichtung kurzer Wörter auch aufgrund ihrer Auswahl berücksichtigter Faktoren: „Je nachdem, wie intelligent er [der Leser] ist und wie viel er bereits von dem in einem Text behandelten Thema weiß, kann ein und derselbe Text für verschiedene Leser unterschiedlich leicht zu lesen sein. Neben der fehlenden Berücksichtigung des Lesers bleiben Stilmerkmale wie Satzbau, Satzstellung und Flüssigkeit unbeachtet“ (LISCH et al. 1978:183). Deshalb kann auch der Flesch-Reading Ease-Index nur *eine* Möglichkeit sein, Lesbarkeit in Bezug auf eine definierte Zielgruppe zu analysieren und zu bewerten.

4.2 Aufgaben- und Lernformate

Die Vielzahl an angestrebten Kompetenzen bedingt die Anwendung verschiedener Methoden. Diese ermöglichen eine Anpassung des Unterrichtsgeschehens an unterschiedliche Zielvorgaben, Inhalte, Leistungscharaktere, Lernmaterialien und andere Rahmenbedingungen (BELL 2005). Passive Lernhaltung und mangelnde Anwendbarkeit des Erlernten sind die beiden Hauptprobleme, die erfolgreichem Unterrichten entgegenstehen. Daher sind neue Formen des Lernens notwendig, um Schüler zu aktiven Konstrukteuren ihres Wissens und kompetenten Nutzern ihrer Kenntnisse werden zu lassen. Neben Aufgabenformaten wie dem Experimentieren als Form des forschenden Lernens kann gemeinschaftliches Lernen in Gruppen eine Möglichkeit dafür sein. So genannten kooperativen Lern-Arrangements wird dabei eine große Aufmerksamkeit entgegengebracht. Im Folgenden werden einige für das entwickelte Bionik-Set relevante Aufgabenformate und Unterrichtsmethoden vorgestellt und die konkrete Anwendung im erstellten Material erläutert.

4.2.1 Experiment

„Ein Experiment ist die methodisch-planmäßige Herbeiführung von meist variablen Umständen zum Zwecke wissenschaftlicher Beobachtung“ (BROCKHAUS 2010). Reproduzierbarkeit sichert dabei die Überprüfbarkeit eines Experiments, deshalb ist es vom systematischen Variieren von Größen bei gleichzeitigem Konstanthalten anderer Faktoren bestimmt (GREINSTETTER 2008).

Das Experimentieren dient neben dem Beobachten und Entdecken vorrangig der Prüfung von vorher auf Basis von vorangegangenen Untersuchungen aufgestellten Hypothesen. Besonders der Auswertung kommt dabei eine wichtige Rolle zu, denn individuelle Lernprozesse werden besonders durch das Gespräch und die Diskussion geprägt (MAIER 2006).

Tabelle 11 stellt den fünf Phasen der experimentellen Arbeit die Fähigkeiten gegenüber, welche die Schüler durch dieses selbsttätige Forschen und selbstbestimmte Lernen erlangen können und sollten.

Experiment		Fähigkeiten (Beispiele)
Phasen	Anforderungen	
1. theoretische Vorbereitung	kognitiv	Kenntnis der Theorie, Verständnis des Problems
2. Planung	überwiegend kognitiv	Versuch verbal skizzieren, Gerät auswählen
3. Aufbau	überwiegend psychomotorisch	Gerät richtig handhaben, sinnvolle Reihenfolge beim Aufbau
4. Durchführung	kognitiv und psychomotorisch	Gerät richtig handhaben, Beobachten, Messungen durchführen, Produkt herstellen, Objekt prüfen
5. Auswertung	überwiegend kognitiv	Messwerte tabellarisch, grafisch aufbereiten, Berechnungen, Fehlerbetrachtungen, Dateninterpretation, Versuchsprotokoll

Tab. 11: Experimentierphasen, deren Anforderungen und zu erlangende Fähigkeiten; nach BÖHMER (1979), leicht verändert.

Die Fähigkeiten, die durch das Experimentieren als Form des forschenden Lernens unterstützt werden, decken sich formal mit den in den nationalen Bildungsstandards festgelegten Kompetenzbereichen (vgl. Kap. 4.1.1.1). Neben der Methodik der systematischen Erkenntnisgewinnung werden Ergebnisse kommuniziert und bewertet. MATTES (2002) definiert zahlreiche Chancen experimentellen Lernens, wobei das kreative Denken (Hypothesenbildung), das planvolle Handeln (Versuchsaufbau), die Schulung der Beobachtungsfähigkeit und die Reflexion und Formulierung von abzuleitenden Gesetzmäßigkeiten im Mittelpunkt stehen. BERCK (1999:120) fasst schließlich zusammen, welche Fähigkeiten durch die experimentelle Arbeit tatsächlich erreicht bzw. gefördert werden können:

1. Gewinnen von Einsichten in naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Entwicklung von positiven Einstellungen dazu,
2. Erwerb von Fähigkeiten zum Experimentieren (technische Fertigkeiten),
3. Erlernen von induktiven und deduktiven Beweisführungen,
4. Entwicklung von Fähigkeiten zum Lösen von Problemen,
5. experimentelle Überprüfung naturwissenschaftlicher Begriffe und
6. Förderung des Interesses an Biologie.

Allerdings zeigen verschiedene Untersuchungen aus Deutschland und den Niederlanden (GRÖGER et al. 2002, COENDERS et al. 2002), dass Schüler in der Praxis des naturwissenschaftlichen Unterrichts nicht grundsätzlich in der Lage sind, anhand von Experimenten Erkenntnisse zu gewinnen. „Demonstrations- und Schülerexperimente durchbrechen zwar das fragend-entwickelnde Unterrichtsmuster, doch kommt auch hier häufig das eigenständige Planen, Auswerten und Interpretieren zu kurz“ (PRENZEL 2001). GEUTHER (2002) führt dies neben der quantitativ geringen Anwendung von Experimenten auch auf deren Qualität zurück. Sie verweist daher auf die unterschiedlichen methodischen Einsatzvarianten von Schülerversuchen im Unterricht: dem Illustrations-, dem Erkundungs- und dem Voraussageexperiment. Da das Illustrationsexperiment, mit dem ein bereits theoretisch erarbeiteter Sachverhalt noch einmal „gezeigt werden“ kann, keine grundlegend neuen Erkenntnisse vermittelt und der Schüler dabei auch nicht lernt, eine wissenschaftliche Fragestellung zu entwickeln, empfiehlt GEUTHER (2002) eine Minimierung dieser Experimente im Unterricht. Abhängig vom Wissensstand der Schüler, welcher zielgerichtet genutzt werden kann, um neue Kenntnisse zu erwerben, kann entweder das Erkundungsexperiment oder das Voraussageexperiment angewandt werden.

Sind nutzbare Kenntnisse zum Thema nicht vorhanden, eignet sich im Unterricht bei einem ausreichenden Zeitrahmen das Erkundungsexperiment. Hierbei wird in einem vom Lehrer gemeinsam mit den Schülern bestimmten Rahmen frei „probiert“, beobachtet und anschließend ausgewertet. Beobachtung und Auswertung sollten dabei gründlich voneinander getrennt werden, d.h. während der Beobachtung sollten keine Schlussfolgerungen vorweggenommen werden. Erst anhand aller Ergebnisse werden Interpretationen, Vergleiche und Verallgemeinerungen möglich und sinnvoll.

Demgegenüber kann im Voraussageexperiment von einer bereits vorhandenen Kenntnisbasis der Schüler zum Thema ausgegangen werden, mit welcher ein Erkundungsexperiment eher „langweilig ist und wertvolle Erkenntnispotenzen ungenutzt verkümmern“ lässt (GEUTHER 2002). Im Voraussageexperiment wird zu Beginn relevantes Wissen zusammenfassend wiederholt und anschließend damit eine Voraussage zum Ausgang des Experiments entwickelt, die experimentell überprüfbar sein soll. Nach der selbst entwickelten Durchführung werden die Beobachtungsergebnisse zusammengetragen und ausgewertet. Ein Voraussageexperiment, durch das die gemachte Voraussage nicht bestätigt wird, beinhaltet ungeahnte Erkenntnispotentiale, da es motiviert und neugierig macht. Beide Resultate können somit einen Erkenntniszuwachs bedeuten. Allerdings verweist BERCK (1999) darauf hin, dass bislang in aller Regel im Biologieunterricht nur „nachvollziehend“ experimentiert wird. Diese didaktische Induktion (MEMMERT 1970) steht im starken Gegensatz zur wissenschaftlichen Induktion und führt dazu, dass einerseits der Lehrer in Gefahr ist, die Ergebnisse des Experiments bereits vorher bekannt zu geben und andererseits den Schülern die Beweiskraft einer gefundenen Aussage aufgrund einer zu geringen Anzahl an Versuchen und entsprechenden Kontrollversuchen fehlt.

Im Zusammenhang mit dem experimentellen Arbeiten soll an dieser Stelle noch einmal auf den geregelten Unterrichtsverlauf nach PÜTZ (2010) hingewiesen werden. Die Abfolge der experimentellen Arbeit erfolgt dabei gerichtet nach vorher definierten Zielvorgaben, an deren Ende eine Reflexion und Bewertung hinsichtlich dieser Zielvorgaben steht und unter Umständen zu immer neuen Unterrichtskreisläufen führt (vgl. Kap. 4.1.6).

Aus Fehlern lernen

Naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten im Schulunterricht bedeutet, dass die Schüler selbst im kleinen Maßstab nachvollziehen, wie Wissenschaft funktioniert: durch Forschen und Entdecken (BELL 2006). Für den Erwerb von anspruchsvollem Wissen sind selbständige, häufig aber auch mit Fehlern verbundene Lernaktivitäten wichtig (WODZINSKI 2006).

Zunehmend wird die Lernform des „Lernen aus Fehlern“ erforscht. So schreibt ROLLETT (1999): „Aus Fehlern kann nur jemand lernen, der sie nicht nur als solche erkennt, sondern sich gezielt bemüht, sie als Lernansatz zu nutzen und zu kontrollieren.“ OSER et al. (1999) beschreiben das konstruktive Umgehen mit Fehlern als sog. „Fehlerfähigkeit“, die durch vier Punkte charakterisiert ist:

1. erkennen, was falsch ist,
2. erkennen, was die Konsequenzen des Falschmachens sind,
3. den Fehler und dessen Ursachen verstehen,
4. Möglichkeiten finden, diesen Fehler zu umgehen.

Diesem so genannten negativen Wissen, d.h. dem Verstehen von Fehlern, kommt im Lernen eine wichtige Funktion für den Aufbau von Handlungswissen zu. Bislang aber wird eine didaktische Kultur mit dem Ziel, die „Fähigkeit, Fehler zu finden“ zu verbessern, in der Unterrichtspraxis vermisst (HESSE 2007, BLK 1997).

Auch HAMMANN et al. (2006) beschreiben Fehler beim Experimentieren als lernwirksam: „Sie fördern das Verständnis über die experimentelle Methode, wenn sie im Unterricht angemessene Berücksichtigung finden.“ Hintergrund dieser Aussage sind internationale Schulleistungsstudien, die die Schwäche deutscher Schüler bei der Bearbeitung experimenteller Aufgaben nachweisen. Die Diskrepanz entsteht besonders in der Vorstellung der Schüler zur experimentellen Methode: Schüler möchten vorrangig gute Ergebnisse erzielen, ohne jedoch Ursache-Wirkungs-Beziehungen systematisch zu erklären, so wie es wissenschaftliche Arbeit erfordert. Die von Schülern häufig verwendete Methode, lediglich bestätigende Daten zu erheben und als Evidenzen für die vermuteten Zusammenhänge zu werten, wird als „confirmation bias“ oder „failure to seek disconfirmation“ bezeichnet. Dieses positive Testen birgt jedoch die Gefahr von Fehlschlüssen.

4.2.2 Mikroskopisches Arbeiten

Mikroskopisches Arbeiten ermöglicht es, mithilfe eines Mikroskops Objekte, deren Größe unterhalb des Auflösungsvermögens des menschlichen Auges liegen, zu untersuchen. Der Einsatz des Mikroskops im Schulunterricht ermöglicht neben dem Erlernen elementarer Fertigkeiten und Begriffe der Mikroskopietechnik auch die Verdeutlichung von verschiedenen Lebenserscheinungen. RIEGER (1995) stellte in seiner Untersuchung fest, dass Schüler eine Mikroskopierstunde einem Videofilm über das betreffende biologische Thema vorziehen. Die Schüler formulierten hierfür verschiedene Gründe. Das eigenständige Erforschen eines Sachverhalts steht dabei im Mittelpunkt. Die für das Sehen und Verstehen benötigte Zeit kann selbst eingeteilt werden. Außerdem sind die Beobachtungen real und damit für den Schüler deutlich beeindruckender als in einer Fernsehsendung. Motivation und Interesse der Schüler werden mit dieser Arbeitsweise daher gefördert.

Die nationalen Bildungsstandards für das Fach Biologie (KMK 2004) definieren das mikroskopische Arbeiten als eine Komponente des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung (E1): „Die Schülerinnen und Schüler mikroskopieren Zellen und stellen sie in einer Zeichnung dar.“ Dies spiegelt sich auch in den bundesweiten Rahmenrichtlinien und Lehrplänen des Biologieunterrichts wider. So rücken im Biologielehrplan der Gymnasien und Mittelschulen in Sachsen bereits ab der Klassenstufe 6 lichtmikroskopische Strukturen von Pflanzen oder Tieren ins Blickfeld der Schüler. Aus diesem Grund stehen den weiterführenden Schulen auch ausreichend Lichtmikroskope für den Unterricht zur Verfügung.

4.2.3 Computer-Modellierung

Computersimulationen werden im Schulunterricht der Sekundarstufe II vermehrt eingesetzt, denn sie ermöglichen Zugang zu sonst nur schwer zu realisierenden Experimenten – daher spricht man an dieser Stelle auch vom virtuellen Experimentieren. Gleichzeitig erlauben sie den Schülern, vorher angeeignetes Wissen in realistischen Umgebungen darzustellen. Auch die Lernmotivation der Schüler steigt mit den Möglichkeiten der Interaktivität (URHAHNE et al. 2006). Zahlreiche Simulationsprogramme wurden bislang entwickelt, vornehmlich für die Fächer Physik, Mathematik und Biologie.

URHAHNE und HARMS (2006) verweisen jedoch in diesem Zusammenhang auch darauf, dass ohne instruktionale Unterstützung vergleichsweise wenig Wissen erworben wird und deshalb eine die Simulation begleitende interpretative, experimentelle oder reflektierende Unterstützung durch die Lehrperson für den Lernerfolg stark von Vorteil sind.

4.2.4 Gruppenzentrierter Unterricht

Das Grundprinzip der Gruppenarbeit blickt in Deutschland bereits auf eine lange Tradition zurück⁴⁰. Doch trotz der großen Anzahl didaktischer Schriften, die den Gruppenunterricht propagieren, findet es erst langsam Eingang in den Schulunterricht. Anspruchsvolle Organisationsstruktur, unökonomisches Lernverhalten und psychische Schranken der Lehrer gelten dabei als die Hauptgegenargumente (SCHREINER 1976). Insbesondere aber der zweite Grund vergisst aber, dass die Gruppenarbeit nicht nur die Übermittlung von Wissen beinhaltet, sondern ein Lernprozess ist, der auf die Entwicklung der Kooperationsfähigkeit unter den Schülern abzielt und gleichzeitig ihr forschend-entdeckendes Verhalten fördert. Auf diese Weise entspricht der gruppenzentrierte Unterricht erst recht seit der Festlegung der von der Kultusministerkonferenz 2004 beschlossenen bundesländerübergreifenden Standards den heutigen Anforderungen an den Schulunterricht (vgl. Kap. 4.1.1.1 „Kompetenzen“).

⁴⁰ Ausführungen dazu in SCHREINER (1976:7).

4.2.4.1 Gruppenpuzzle

Das Gruppenpuzzle ist eine Form der Gruppenarbeit, bei welcher die Lernenden gleichzeitig auch zu Lehrenden werden. Dabei gliedert sich die Arbeit im Gruppenpuzzle in vier Phasen: Einer Einführung in die Thematik folgt im zweiten Schritt die Ausarbeitung von Teilgebieten durch kleine Gruppen, so genannte Expertengruppen. Diese Gruppen lösen sich im dritten Arbeitsschritt wieder auf und bilden gemeinsam mit den Mitgliedern der anderen Gruppen neue Gruppen mit jeweils einem Experten der vorangegangenen Arbeit. Auch schwächere Schüler erhalten auf diese Weise die Möglichkeit, Sachverhalte zu erklären und Selbstvertrauen zu schöpfen. Der Abbau dysfunktional resignierender oder ängstlicher Haltungen einiger Schüler können daher als die Vorteile dieser Methode gewertet werden. Die vierte Phase dient zum einen der nochmaligen Bearbeitung des Stoffes im Klassenverband, zum anderen jedoch auch der Evaluation der vorangegangenen Arbeitsschritte (ARONSON et al. 1978, ARONSON 1984). LAZAROWITZ (1991) wies zudem nach, dass Schüler, die zu einem bestimmten Thema im Gruppenpuzzle arbeiteten, einen höheren Lernerfolg aufwiesen als die Kontrollgruppe, die einen normalen, lehrergesteuerten Unterricht erhielt.

4.2.4.2 Lernen an Stationen

Das Lernarrangement „Lernen an Stationen“ ist eine Form des weitgehend selbständigen Lernens. An verschiedenen Stationen, deren Reihenfolge oft beliebig ist, erarbeiten sich die Schüler eigenständig ein Thema, welches abschließend ausgewertet und präsentiert wird. Pflichtstationen werden durch Wahlstationen ergänzt, Zeitvorgaben haben eher Empfehlungscharakter. Auf diese Weise können die Stationen abhängig von der Lernbereitschaft im eigenen Lerntempo bearbeitet werden, ohne den Zeitrahmen aus den Augen zu verlieren. Für die Durchführung dieser Methode, in der die Lehrperson eher beratende Funktion trägt, sind auch ein Anfangsgespräch sowie ein gemeinsamer Rundgang für einen ersten Überblick essentiell (PÜTTMANN et al. 2009)⁴¹.

„Lernen an Stationen“ eignet sich nicht nur zum vertiefenden Bearbeiten eines Themas oder um den Schülern zu Beginn des Schulhalbjahres eine Übersicht über die inhaltlichen Schwerpunkte zu geben, sondern auch zur Erarbeitung eines neuen Themas. Dieses kann durch verschiedene Stationen aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden, so dass seine ganze Komplexität erfahrbar wird (PÜTTMANN et al. 2009). Einzelne Punkte können durch Referate vertieft und ergänzt werden.

4.2.4.3 Rollenspiel

In einem Rollenspiel übernehmen die Spieler, in dem Fall Schüler, die Rolle bestimmter Personen oder Personengruppen, versetzen sich in deren Situation oder Problem und spielen diese mit einem für die Person typischen Verhalten nach: „Im Rollenspiel wird eine

⁴¹ Weitere praktische und methodische Hinweise bei (PÜTTMANN et al. 2009).

mehr oder weniger präzise definierte Rolle zur Richtschnur des Handelns in einer vorgestellten Situation genommen.“ (MEYER 1987:357).

Um ein Rollenspiel erfolgreich im Schulunterricht durchzuführen, muss der Schüler die Gedanken der zu spielenden Personen klar verstanden haben (EMMER et al. 1974). Dafür werden vor Beginn des eigentlichen Spiels Argumente gesammelt, die aus den unterschiedlichen Positionen heraus von Bedeutung sein könnten. Kontinuität und Beibehaltung des Standpunktes sind zwar für den Schüler teilweise schwierig zu bewältigen, gerade wenn die gespielte Haltung mit der eigenen Haltung nichts gemein hat, sind aber gerade deshalb von essentieller Bedeutung, auch, um möglicherweise einen Haltungswechsel zu fokussieren. Der Vorbereitungs- und Durchführungsphase folgt ein abschließendes Gespräch, welches ein wichtiges Feedback für die Spieler darstellt. WARM (1981) stellt in ihrer Untersuchung fest, dass auch Rollenspiele aufgrund ihrer Realitäts- und Schülernähe motivierend und aktivierend auf die Schüler wirken können und diese eine solche Art des offenen Unterrichts selbst als sehr positiv bewerten. Auch COBURN-STAEGE (1977) hebt besonders die Förderung kommunikativer und sozialer Kompetenzen hervor.

4.2.4.4 Spiele

Spiele im Unterricht tragen ein hohes Potential in sich (KIRCHER et al. 2001). Sie bereiten den Schülern Freude und erlauben es, Problemstellungen aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten. Dadurch kann die Einstellung zum behandelten Stoff auch eher unbeliebter Fächer wie Physik und Chemie positiv beeinflusst werden. Schüler, die sonst mit ihrer Leistung oder in ihrem Verhalten im Klassenverbund eher im Hintergrund stehen, können hier Anerkennung und Selbstbewusstsein erhalten. Neben der fachlichen Komponente werden während des Spiels also auch kommunikative und soziale Kompetenzen gefördert.

4.2.5 Mindmap

Die Mindmap, auch Gedankenkarte genannt, beschreibt eine Darstellungsform, bei der Gesamtzusammenhänge eines Themengebietes kognitiv erschlossen werden. Begriffe werden dabei über Assoziationen zu Strukturen zusammengefasst.

TONY BUZAN entwickelte die Mindmap-Methode ausgehend von der Hemisphärentheorie des Gehirns, welche beiden Gehirnhälften jeweils unterschiedliche Funktionen zuweist. Der linken Gehirnhälfte werden dabei Funktionen wie Logik, Sprache, Linearität, Analyse und Planung zugeordnet, der rechten Gehirnhälfte dagegen Raumwahrnehmung, Fantasie, Emotionen, Farbe, Rhythmus, Gestalt, Dimensionalität, ganzheitliche Erfahrungen und Synthese (SPERRY 1969). BUZAN geht davon aus, dass die Gesamtkapazität des Gehirns besser genutzt wird, wenn die Potentiale beider Cortex-Hälften gleichzeitig genutzt werden. Aufgrund der individuellen Erstellung und der bildhaften Form bei der Kreation einer Mindmap werden Logik mit Bildern und Vorstellungskraft mit Struktur verknüpft (SVANTESSON 1992) und damit beide Gehirnhälften gleichzeitig angesprochen.

Alte Sachverhalte können mit einer Mindmap wiederholt, neue inhaltlich in das bestehende Gefüge eingepasst werden. Dadurch wächst die Struktur mit dem Denkprozess (BRINKMANN

2002). BRINKMANN formuliert weiter, dass Mindmaps nicht nur Schülern zu einem klaren Bild über die Zusammenhänge gemäß ihrer Denkstruktur verhelfen, sondern auch den Lehrern Informationen über Schülervoraussetzungen und -vorstellungen liefern, so dass in einer anschließenden Reflexion oder während des weiteren Arbeitens falsche Verknüpfungen korrigiert werden können.

Grundregeln zur Erstellung einer Mindmap sind klar definiert (SVANTESSON 1992, BUZAN 1999):

1. In die Mitte eines unlinierten Blatts wird ein Bild gesetzt, welches das Thema gut wiedergibt. Ersatzweise kann auch ein kurzer Begriff verwendet werden.
2. Ausgehend von diesem Zentrum werden für jeden neuen Unterpunkt Linien, so genannte Äste gezeichnet.
3. Gedanken, die diesen Unterpunkten unterzuordnen sind, werden an diese Linien geschrieben. Auch Verzweigungen und Nebenäste können entstehen. Entscheidend bleibt jedoch immer die Orientierung vom Allgemeinen zum Konkreten.
4. Um die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit zu erhöhen, sollten die einzelnen Gedanken kurz, möglichst in einem Wort, ausgedrückt werden.
5. Auch die Verwendung von Farben für einzelne Stränge kann von Vorteil sein. Die unterschiedlichen Formen und Inhalte von Mindmaps bleiben so gut in Erinnerung.
6. Entscheidend für den Denkprozess über das Bild bleibt auch der Sammelcharakter, dass heißt, es sollte nicht zuviel Zeit dafür aufgewendet werden, einzelne Gedanken auf ihre Relevanz zu überprüfen oder richtig zuzuordnen. Dies würde den Prozess deutlich verlangsamen und behindern.

4.2.6 Recherche

Selbstgesteuertes Lernen ermöglicht es dem Schüler, selbstbestimmt den Lernprozess zu steuern. Lerninhalte, Lernzeit, Lernmethode und Lernmedien sind für ihn frei wählbar. Das Recherchieren, d.h. die intensive Suche nach Informationen aus verschiedenen Quellen, ist ein wichtiger Teilaspekt dieses selbstgesteuerten Lernens. Auch neue Medien können hier eine entscheidende Rolle spielen. Sie stellen aktuelle, realitätsnahe Materialien und Lernumgebungen zur Verfügung und können über Fachgrenzen hinaus genutzt werden (Sächsisches Staatsinstitut für Bildung und Schulentwicklung 2002). Das Internet ermöglicht weltweit einen offenen Zugang zu internationalen Kommunikations- und Informationsangeboten. Da es mittlerweile allgegenwärtig ist und die Auseinandersetzung damit sogar in die Lehrpläne integriert wurde⁴², sollte die Arbeit mit dem World Wide Web auch in den vorliegenden Arbeitsmaterialien eine Rolle spielen. Grundlegende angestrebte Kompetenzen sind dabei neben der Informationsbeschaffung durch Rechercheaufgaben auch die Diskussionsfähigkeit über die Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Suchsystemen sowie die Fähigkeit zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Informationsquellen (ANONYMUS 1997). Zahlreiche Schulen sind bereits mit Informations- und Kommunikationstechnik ausgestattet, so dass im Fachunterricht auf selbsttätige Recherchearbeiten im Internet oder schulinternem

⁴² Aus dem sächsischen Lehrplan für Informatik 2007, Klasse 9/10: „Die Schüler nutzen Internetdienste und erkennen die vielfältigen Möglichkeiten, aber auch Grenzen des Internets.“

Intranet zurückgegriffen werden kann. Die Entwicklung von Medienkompetenz beinhaltet dabei nicht nur die Auswahl von für das Thema relevanten Informationen, sondern auch deren Überprüfung hinsichtlich Wahrheitsgehalt und Aktualität sowie den Vergleich verschiedener Medienquellen und die Beachtung urheberrechtlicher Fragen (Sächsisches Staatsinstitut für Bildung und Schulentwicklung 2002). Die Lehrerrolle verändert sich in diesem Zusammenhang deutlich. Die traditionelle Rolle als „Lehrender“ entwickelt sich zu einer begleitenden, koordinierenden Funktion. Die Schüler werden individuell beraten, der Lehrer vermittelt vermehrt verschiedene Lernstrategien⁴³.

Einschränkend muss jedoch festgehalten werden, dass das Internet zwar für zahlreiche Recherchen eine immer größere Rolle spielt, allerdings „sollte es im Unterricht immer nur als ein Medium unter vielen eingesetzt werden“ (DECKERS 1997)⁴⁴.

⁴³ Auf Unterrichtsorganisation und Lernumgebungen kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

⁴⁴ In diesem Rahmen bietet sich auch ein Medienvergleich an. Vor- und Nachteile des Internet können auf diese Weise hervorgehoben werden (vgl. dazu DECKERS 1997).

5 Durchführung

5.1 Zeitplan für die Entwicklung und Optimierung der Arbeitsmaterialien

Der für das Projekt entworfene Zeitplan gliederte sich in vier Phasen, die in der praktischen Umsetzung teilweise kaum voneinander zu trennen waren.

In der Anfangsphase des Projekts wurden in Kooperation mit Lehrern und Lehrerfortbildungsstätten praxisrelevante Probleme mit der bisherigen Sekundärliteratur, konkrete Vorschläge zur Set-Erstellung und mögliche Umsetzungsstrategien im Unterricht definiert, um Praxisnähe gewährleisten zu können.

Nach diesen grundlegenden Schritten begannen die praktischen Arbeiten zur Erstellung des Unterrichts-Sets. Bei der Erarbeitung der von den Schülern selbst durchzuführenden Experimente standen folgende Kriterien im Mittelpunkt:

1. Nutzung von in Schulen vorhandenen und/oder kostengünstig zu erwerbenden Arbeitsmaterialien,
2. verständliche Beschreibung der Durchführung mit Angabe eventueller Fehlerquellen,
3. sichere und erfolgreiche Durchführbarkeit und
4. Generierung von Interesse an Natur, Wissenschaft und Technik.

Diese vier Kriterien sollten eine größtmögliche Realisierbarkeit der Experimente innerhalb des Unterrichts garantieren.

Um die Umsetzbarkeit und Verständlichkeit des Experimentier-Sets zu prüfen, wurden die Themen einzeln an Pilot- und Kooperationsschulen sowie in außerschulischen Schülerprojekten beispielhaft angewendet. Da diese Phase sehr zeit- und organisationsaufwendig war, wurde sie teilweise mit Arbeitsphase III, der Optimierung der Arbeitsmaterialien, parallel bearbeitet. Im Anschluss an diese Testphase sollten die Aufgaben mit Lehrern und Schülern diskutiert und ihre Umsetzbarkeit verbessert werden. Dieses Monitoring wurde durch standardisierte Fragebögen unterlegt, die das Verständnis zum Experiment und dessen Hintergrund hinterfragen. Auf diese Weise sollten die Experimente optimiert werden.

Die abschließende Phase galt der Veröffentlichung der Experimente. Neben der ursprünglichen Idee einer Broschüre oder eines Buches wurde zeitweise auch die Veröffentlichung über eine Webseite in Betracht gezogen.

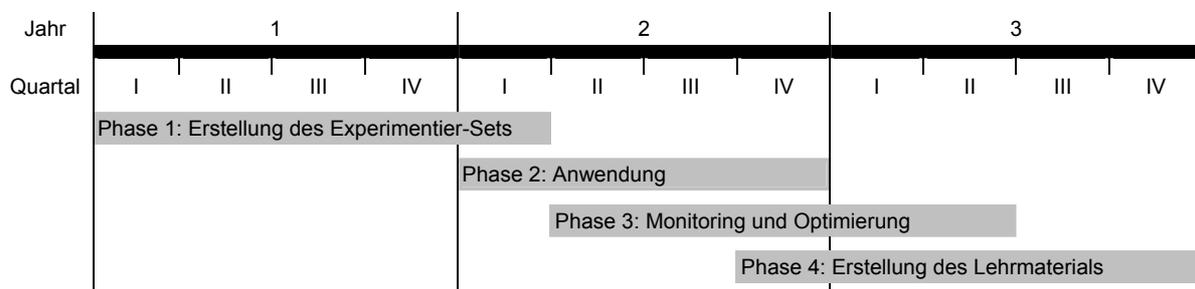


Abb. 14: Zeitplan für die Entwicklung und Optimierung der Arbeitsmaterialien.

5.2 Auswahl der Themen

Kurz nach Beginn des dieser Arbeit zugrunde liegenden Projektes im November 2007 wurde vom Duden-Schulbuchverlag ein Arbeitsmaterial veröffentlicht, welches auf den ersten Blick

die gleiche Zielsetzung zu haben schien: „Bionik – Erfinderwerkstatt Natur. 7 Projekte zum Experimentieren.“ Vier dem BIONIKON angeschlossene Institute übernahmen dabei die Autorentschaft, das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützte das Vorhaben finanziell. Die sieben vorgestellten Themen entsprachen den mit der Bionik oft in Verbindung gebrachten Begriffen⁴⁵. Sie traten jedoch in der vorliegenden Arbeit in den Hintergrund, da sie bereits oft im Fokus des öffentlichen Interesses lagen. Stattdessen wurde zu Beginn versucht, die Vielfalt aktueller bionischer Entwicklungen aufzulisten und nach entsprechenden Kriterien für eine Tauglichkeit im Schulunterricht zu überprüfen.

1. Es wurden Themen gesucht, welche einen eindeutigen bionischen Entwicklungsprozess vorweisen können.
2. Das biologische Vorbild sollte nach Möglichkeit im Schulunterricht untersuchbar sein.
3. Die Umsetzung sollte möglichst ohne außergewöhnliche technische Voraussetzungen realisierbar sein können.
4. Die Anwendungsbeispiele sollten sich in der Alltags- und Vorstellungswelt der Schüler bewegen.
5. Das notwendige Vorwissen zum Thema sollte nicht zu umfangreich sein.
6. Neue Themen der aktuellen Forschungslandschaft sollten die Bandbreite und vor allem das Fortschreiten bionischer Forschung zur Geltung bringen.

Diese Kriterien, die für die Umsetzbarkeit und das Gelingen im Schulunterricht von großer Bedeutung sind, engten den Spielraum und die zur Verfügung stehenden Themen stark ein. So scheiterten Untersuchungen zum Ameisenalgorithmus an der nahezu praktischen Unmöglichkeit eines Versuchsaufbaus zum biologischen Vorbild im Unterricht; Klimaregulationen wären technisch sehr aufwendig gewesen; biologische Vorbilder für neuartige Kanalisationsrohr-Innenstrukturen entpuppten sich als nachträglich gefundene Analogien. Andere Themen wurden wegen ihrer schwierigen experimentellen Umsetzung im Schulunterricht vorerst auf Eis gelegt oder werden nach Abschluss dieser Arbeit weiterentwickelt. Im November 2009 erfolgte die endgültige Themenauswahl. Sieben Themenkomplexe entstanden:

1. Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens
2. Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?
3. Flossenstrahleffekt – Das Geheimnis der Fischflosse
4. Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern
5. Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung
6. Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel
7. Joystick – beweglich wie eine Mimose

Auch hier muss einschränkend erwähnt werden, dass einige der Themen nicht allen oben aufgeführten Kriterien zu hundert Prozent entsprechen. Darauf soll in der Beschreibung der einzelnen Themen kurz eingegangen werden (vgl. Kap. 6.1).

⁴⁵ 1. Die Pflanze, die sich selbst reinigen kann, 2. Das haftet ja „tierisch“ – der Klettverschluss, 3. Bärenhitze – Wärmedämmung nach Eisbärenart, 4. Fliegen wie die Vögel, 5. Strom aus dem Teebeutel – die Biosolarzelle, 6. Können Roboter von Schleiereulen hören lernen?, 7. Wahre Multitalente: biologische Oberflächen. Ergänzt wurde das aus Schülerexperimentierunterlagen bestehende Heft mit einer DVD, auf welcher Interviews mit Wissenschaftlern sowie Lösungsvorschläge zu finden sind.

Der Vergleich der sieben Themen bei der Anzahl der Nennungen im ISI Web of Science in Abbildung 15 verdeutlicht, wie unterschiedlich häufig sie in der internationalen wissenschaftlichen Literatur genannt werden⁴⁶. Die inhaltlich sehr breit angelegten Themen *Faltungen* und *Faserverbundmaterialien* werden durchschnittlich zehnmal öfter besprochen als die anderen fünf Themen. Das recht spezielle Thema *Flossenstrahleffekt* wird dagegen überhaupt nicht erwähnt, trotzdem es bereits einige Anwendungsbeispiele dafür gibt. Eine mögliche Ursache könnten hier die Urheberrechte des Begriffs „Finray-Effect[®]“ sein. Das Thema „Mimose“ wurde erst aktuell in Kooperation mit dem Institut für Feinwerktechnik der TU Dresden entwickelt. Gerade die bislang auf technischer Publikationsebene fehlende Auseinandersetzung mit dem Bewegungsprinzip und dessen technischem Anwendungspotential waren für die Zusammenarbeit maßgebend.

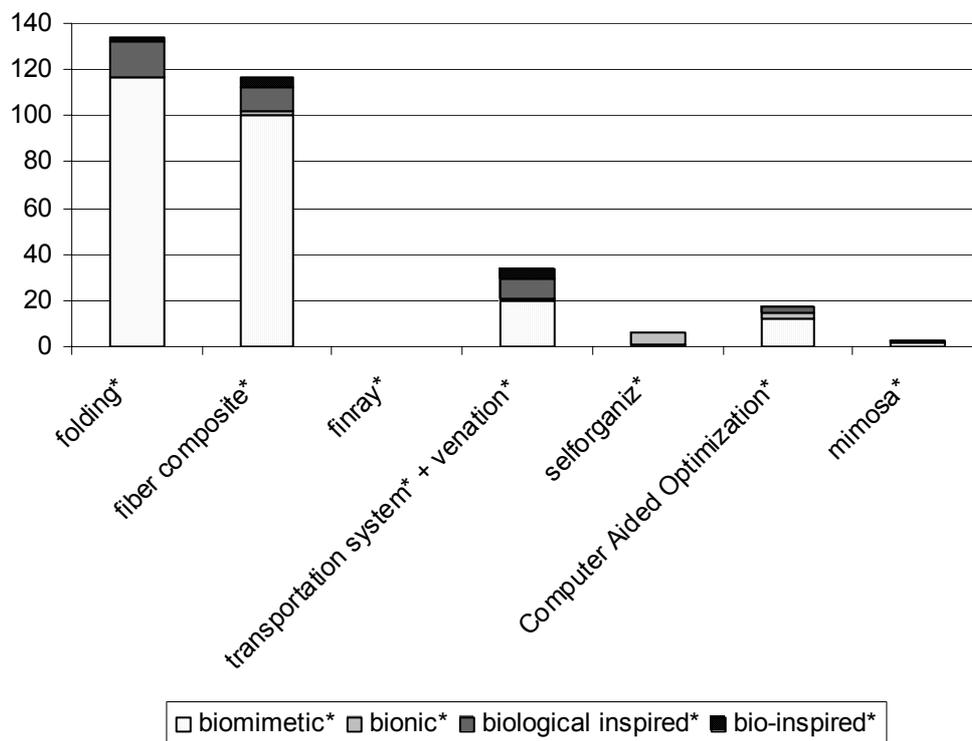


Abb. 15: Suchbegriffe entsprechend der sieben ausgewählten Experimentierthemen und ihre Häufigkeit in der gemeinsamen Nennung mit den vier Begriffen biomimetic*, bionic*, biological inspired* und bio-inspired* im ISI Web of Science, 06.09.2010.

5.3 Entwicklungsprozess

Der Entwicklung der einzelnen Experimente ging eine eingehende Recherche zu bereits vorhandenen Unterrichtsmaterialien, deren Themenbreite, inhaltliche Tiefe und didaktische Aufarbeitung voraus. Auf diese Weise konnte erfasst werden, an welcher Stelle Bedarf für Schulmaterial benötigt wurde. Gleichzeitig erfolgte eine Lehrplananalyse des sächsischen Lehrplans. Untersucht wurde dabei nicht nur der Lehrplan für das naturwissenschaftliche Profil der achten bis zehnten Jahrgangsstufe der Gymnasien, sondern auch der Lehrplan für

⁴⁶ Im Englischen ist der Begriff biomimetics deutlich häufiger anzutreffen als der Begriff bionics. Sie werden hier gemeinsam mit den Begriffen biological inspired und bio-inspired zusammengefasst, auch wenn es, wenn auch selten, zu Dopplungen kommen kann.

den Wahlgrundkurs Biotechnologie und Bionik in der Sekundarstufe II. Hier konnte aufgrund der Neuheit der Kurse/Themen und auch aufgrund zahlreicher Anfragen der Profillehrer sächsischer Gymnasien ein deutlicher Bedarf festgestellt werden. Die Zielgruppe wurde angesichts des neuen sächsischen Lehrplans deshalb auf die Jahrgangsstufen 9-12 angesetzt.

Die Themenauswahl wurde, wie bereits in Kap. 5.2 beschrieben, durch mehrere Kriterien beeinflusst. Die wichtigste Rolle spielten hierbei die im Zuge dieser Vorarbeit durchgeführten Expertengespräche mit Wissenschaftlern, die in ihrem jeweiligen Fachgebiet auf verschiedene Weise mit der Bionik in Berührung gekommen waren. Ingenieure und Verkehrswissenschaftler wurden ebenso kontaktiert wie Physiker, Biomathematiker oder Biologen. Im Vordergrund dieser Gespräche standen die biologisch beeinflussten Forschungsarbeiten der Gesprächspartner sowie Umsetzungsmöglichkeiten im Schulunterricht. Neben zahlreichen Treffen und Telefongesprächen erfolgten auch mehrere Kontakte per Email, so nach Zürich, Paris oder Japan. Aufgrund der zeitlichen Verschiebung von Fragen und Rückantworten bot es sich an, die Themen parallel zueinander zu bearbeiten.

Während der Erstellung des Lehrmaterials wurde eine erweiterte Lehrplananalyse durchgeführt, um den Lehrern zu verdeutlichen, wie die entwickelten Themen in den bereits bestehenden Kursunterricht integriert werden oder inhaltliche Parallelen gezogen werden können. Dafür wurden die Lehrpläne der Fächer Biologie, Chemie, Physik, Mathematik, Technik, Ethik und Religion untersucht.

Faltungen in Natur und Technik

Das Arbeitmaterial entstand als eines der ersten und wurde wie kein anderes in seinem Inhalt und Umfang ständig verändert und optimiert. Die Zusammenarbeit mit der Falteexpertin Biruta Kresling, die in Paris lebt und arbeitet und sich in ihren Designkursen sehr intensiv mit Faltungen in biologischen Systemen auseinandersetzt, war für die Erarbeitung dieses Themenkomplexes essentiell. So fand im April 2009 ein Treffen in Paris statt, bei welchem auch eine gemeinsame Veröffentlichung entstand⁴⁷. Biruta Kresling lieferte neben zahlreichen Anmerkungen auch wertvolle neue Ideen.

Für das Zusatzmodul 5 erfolgen mehrere Absprachen mit den Verantwortlichen des Kabeldurchführungsprojekts Dr. Tom Masselter aus der Plant Biomechanics Group Freiburg unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Speck.

Bereits Anfang 2008 fand mit einer 11. Klasse im Botanischen Garten der TU Dresden eine erste Erprobung des Grundmoduls statt. Zahlreiche weitere Unterrichtseinheiten an unterschiedlichen Gymnasien und auch einer Mittelschule wurden 2008 und 2009 durchgeführt. Auch im Schülerprogramm der TU Dresden „Juniordoktor“ wurden zwei Veranstaltungen zu diesem Thema angeboten. Aufgrund seiner faszinierenden Produkte eignete sich das Falten einiger ausgewählter Faltungen gleichzeitig für Kinderveranstaltungen im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaft an der TU Dresden und am Naturkundemuseum in Görlitz. Während der durch die Deutsche Botschaft in Delhi organisierten Schulwoche „Fit for life“ wurde das Thema auch in Indien unter dem Namen

⁴⁷ LAUTENSCHLÄGER, T., KRESLING, B., NEINHUIS, C. (2009): Faltungen in Natur und Technik. Ein Bionik-Experiment für den Schulunterricht. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 8/62, Seeberger Verlag, Dezember 2009.

„Unfolding the future“ mit insgesamt fast 300 Schülern sehr erfolgreich durchgeführt. Da bei den meisten Veranstaltungen nur zwei Unterrichtseinheiten zur Verfügung standen, wurde in den meisten Fällen nur das Grundmodul unterrichtet. Um jedoch auch die Zusatzmodule zu testen, wurden diese abwechselnd am Anschluss an das Grundmodul oder in Tagesveranstaltungen bzw. während verschiedener Schülerpraktika erprobt.

Das Faltextperiment wurde in der ersten Lehrerfortbildung im November 2008 den interessierten Lehrern vorgestellt, die dieses Thema auch sehr engagiert in ihrem Unterricht anwendeten. 175 Schülerfragebögen aus neun verschiedenen Klassen konnten dadurch ausgewertet werden.

Die teilweise recht komplizierten Faltanleitungen bestehen aus sprachlichen wie bildlichen Komponenten. Dabei wurde auf eine präzise und möglichst kurze Formulierung geachtet. Vorkenntnisse beim Falten erleichtern dem Schüler deutlich den Umgang mit Faltanleitungen. Gleichzeitig spielen für die erfolgreiche Anwendung jedoch auch Motivation sowie Hartnäckigkeit des Nutzers eine Rolle.

Faserverbundmaterialien

Faserverbundwerkstoffe sind eines der Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Bionik am Institut für Botanik. Für die Umsetzung dieses Themas in einem möglichst einfachen Schülerexperiment stand deshalb viel Erfahrung und technisches Know-How zur Verfügung. Erste Versuche erfolgten gemeinsam mit einem Schülerpraktikanten im Rahmen dessen zweiwöchigen Betriebspraktikums. Insbesondere die Wahl einer geeigneten Matrixsubstanz für die Herstellung der Modellziegel erwies sich als sehr schwierig. Zahlreiche Vorversuche mit Modellgips führten zu einer nur sehr niedrigen Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Nach mehreren Wochen führten Versuche mit definierten Mengen an Wachsgrenulat schließlich zu sehr konstanten Ergebnissen. Die Verwendung der Materialien vereinfachte sich zudem deutlich.

Bei der Entwicklung des mikroskopischen Arbeitsbereichs musste besonders auf die Möglichkeiten der Schulausstattung geachtet werden. Aus diesem Grund bildeten im biologischen Unterricht oft verwendete Sprossquerschnitte das Kernstück der Untersuchung, welche durch die Verwendung vorhandener Färbelösungen ergänzt werden kann.

Gespräche zu den bionischen Aspekten in Hinblick auf die neuesten Entwicklungen und die Anwendungspotentiale wurden mit Dr. Markus Rüggeberg vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam geführt.

Nach der Fertigstellung des gesamten Faserverbund-Experiments einschließlich mikroskopischer Komponente wurde es mit mehreren Schülerpraktikanten durchgeführt. Dabei entstanden zahlreiche Ergebnistabellen, deren Resultate dem Lehrerteil als zu erwartende Testergebnisse angefügt werden konnten. Bei der Durchführung mit einer Schulklasse wurden kleine Schülergruppen gebildet, die Wachsziegel mit unterschiedlichen Faseranordnungen selbständig anfertigen und anschließend testen sollten. In einer Abschlussdiskussion wurden diese Ergebnisse vorgestellt, miteinander verglichen und diskutiert. Hieran schlossen sich die Untersuchung pflanzlicher Gewebetypen, die Vorstellung anwendungsorientierter Forschungsbereiche und abschließende Aufgaben an.

Flossenstrahleffekt

Das Thema des Finray-Effects[®] wurde schon seit seiner Patentierung 2002 in der Sekundärliteratur als bionische Errungenschaft gefeiert, unter diesem Aspekt betrachtet aber für den Einsatz im Schulunterricht verhältnismäßig wenig beachtet. Prof. Bernd Hill beschreibt auf seiner Internetseite der Universität Münster⁴⁸ kurz die Funktionsweise sowie das Anwendungsbeispiel des Greifers. In dem im Duden-Verlag unter seiner Herausgabe erschienenen Lehrbuch „Bionik – Lernen von der Natur“ ist die Thematik allerdings nicht erwähnt. Aus diesem Grund wurde die Thematik für eine weitere Bearbeitung ausgewählt.

An erster Stelle standen die Untersuchung des biologischen Vorbilds „Fischflosse“ und die Modellgenerierung. Um einen direkten Anwendungsbezug herzustellen, wurde auch die Konstruktion eines adaptiven Greifers erprobt. Verschiedene Materialien kamen zur Anwendung, um die bestmögliche Verarbeitung bei gleichzeitig einfach und billig zu besorgenden Baumaterialien zu definieren. In einem Schülergespräch entstand zusätzlich die Idee, das Finray-Modell mithilfe eines Computerprogramms zu generieren. Ein Informatiklehrer half bei der technischen Umsetzung dieses Vorschlags, der sich als von den Schülern sehr gut angenommen erwies.

Ein wichtiger Aspekt der Erprobung war die didaktisch sinnvolle Reihenfolge der vier entwickelten Abschnitte. Insbesondere die Frage, ob an erster Stelle das biologische Vorbild oder das Modell behandelt werden sollte, stellte sich. Beide Varianten wurden getestet. Die ursprüngliche Variante „Flosse → Modell“ wurde daraufhin durch die Variante „Modell → Flosse“ ersetzt. Auf diese Weise kann das Flossenstrahl-Modell im Unterricht als Anker für die darauffolgenden Untersuchungen dienen, denn anhand des Modells wird den Schülern das Phänomen verdeutlicht und motiviert sie auf der Suche nach dessen Ursache. Allerdings erklärte ein Lehrer in den Lehrerfragebögen die erste Variante für die dem bionischen Arbeiten eher entsprechende und damit für die für den Unterrichtsverlauf günstigere Reihenfolge. Deshalb wurden die Arbeitsblätter so gestaltet, dass beide Varianten möglich sind.

Transportsysteme

Die Auseinandersetzung mit diesem sehr umfangreichen und schwer abgrenzbaren Thema bedurfte einer sehr umfassenden Einarbeitung, vieler Expertengespräche und einer intensiven Erprobung im Unterricht. Auf einige vielversprechende Themen musste verzichtet werden. So konnten beispielsweise Ideen zum Ameisenalgorithmus, die aus Gesprächen mit Verkehrswissenschaftlern der TU Dresden resultierten, aufgrund der sehr aufwendigen Handhabung von Ameisenstämmen nicht umgesetzt werden (vgl. Kap. 5.2). Andere experimentelle Komponenten wurden aus dem Themenkomplex Transportsysteme ausgegliedert und fanden Eingang in ein weiteres, wie das Fadenexperiment, welches ursprünglich mit Schülern im Rahmen der Wegekonzepte durchgeführt wurde, später jedoch infolge der Musterbildung dem Themenkomplex Selbstorganisation zugeordnet wurde.

Bei der Entwicklung des Schlauchexperiments wirkten Mitarbeiter des Instituts für Physikdidaktik der TU Dresden mit. Es wurden verschiedene Schlauch- und Verbindungs-

⁴⁸ <http://muenster-uni.biokon.net/finray/finray.htm>

materialien getestet und die Versuchsanordnung in Bezug auf eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse hin optimiert.

Während einer mehrtägigen Bionik-Tagung im Frühjahr 2008 konnte mit dem Bionic Award-Preisträger Dr. Michael Hermann, der am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme arbeitet, ein erstes Konzept zur geometrischen Rekonstruktion des von ihm entwickelten FracTherm[®]-Algorithmus entworfen werden, welches im Zuge der Erprobung im Laufe der Folgemonate verbessert wurde.

Der Vergleich mit einer Gepäckförderanlage eines Flughafens entstand in Kooperation mit dem Institut für Technische Logistik der TU Dresden.

Wie bereits erwähnt, gestaltete sich der Erprobungsprozess sehr langwierig. Durch den Umfang des gesamten Komplexes mussten die einzelnen Module bzw. deren Elemente einzeln durchgeführt werden. Zahlreiche Studien wurden im Rahmen von Schülerpraktika durchgeführt. Hier entstanden neue Ideen, wurden einer Prüfung unterzogen und bewertet. Andere Versuche mussten infolge der schlechten Ergebnisse aufgegeben werden. Kleinere Schülergruppen ermöglichten erste Versuche im Team. Diese Erfahrungen konnten während der Veranstaltungen zum Junordoktor-Programm vertieft werden.

Selbstorganisation

Die vier Themen unterscheiden sich inhaltlich deutlich voneinander. Das Fadenmodell, mit welchem Trampelpfade modelliert werden können, entstand aufgrund von Nachforschungen zu bionischen Entwicklungen im Bereich des Transportwesens. Es bietet daher auch Verknüpfungspunkte zum Themenbereich 4 der neuen Bionik-DVD. Maßgebend flossen hier Forschungsergebnisse des Lehrstuhlinhabers für Soziologie der ETH Zürich Prof. Dr. Dirk Helbing ein. Fadenmodelle nach dem Vorbild der Studien von Eva Schaur in den 90er Jahren ermöglichten einen Einblick in das Konzept der minimalen Umwege. Hier musste die Experimentieranordnung auch oft variiert werden bis ein respektables Ergebnis entstand.

Anregungen für das Schwarmverhalten und Musterbildungsprozesse mit dem mathematischen Modell des zellulären Automaten kamen von dem Biomathematiker der TU Dresden Prof. Dr. Andreas Deutsch. Er initiierte auch das Chorprojekt „Music of life“, welches versucht, den zellulären Automaten in Klänge und eine Performance zu übersetzen. Ausschnitte dazu sind ebenfalls auf der DVD zu finden.

Für die Entwicklung des Experiments zur Wölbstruktur, welches sich an der Entwicklung der Dr. Mirsch GmbH orientiert (www.woelbstruktur.de), steuerte Dr. Friedrich Ditsch vom Institut für Botanik der TU Dresden wertvolle Ratschläge und Hinweise bei.

Die Erprobung der vier Module gestaltete sich sehr unterschiedlich. Für die Untersuchung des Schwarmverhaltens wurden zuerst mit einer kleineren Gruppe Tests durchgeführt, später mit einer Klasse. Im Anschluss daran wurden anhand der Computersimulationen und des Moduls des Zellulären Automaten musterbildende Prozesse erklärt.

Infolge der ursprünglichen Zuordnung des Moduls Trampelpfade in den Themenkomplex Transportsysteme wurde es eine Zeitlang in diesem Zusammenhang getestet. Schülerpraktikanten halfen bei der Optimierung des Versuchsaufbaus und probierten sich an verschiedenen Nagelanordnungen und Fadenmaterialien. Auch das Experiment zur Wölbstruktur wurde von Schülerpraktikanten erprobt und optimiert. Ergänzende Aufgaben zu den

mathematischen Grundlagen der Bienenwaben- bzw. Sechseckstruktur wurden ebenfalls mit mehreren Klassen durchgeführt.

Kerbstrukturen

Der Themenkomplex beinhaltet neben einem Theorieblock außerdem einen umfangreichen experimentellen Teil, für welchen in einem etwas aufwendigeren Arbeitsschritt Modelle aus Styrodurplatten hergestellt werden, die mithilfe von Protokollen dokumentiert und ausgewertet werden können. Ergänzend stehen Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade zur Verfügung.

Die experimentelle Durchführung wurde durch die Autorin mehrmals gemeinsam mit Schülern getestet. Während des Entwicklungsprozesses wurden Styrodurplattenstärken variiert, zusätzliche Modellvarianten zugefügt und die Belastung der Kerbstruktur-Modelle durch verschiedenartige Gewichte erprobt.

In einer kleinen Schülergruppe wurden erste Erfahrungen mit der Umsetzung der ursprünglichen Ausgangsidee, insbesondere auch in der Formulierung der Aufgabenstellungen gesammelt. Schülerpraktikanten am Institut für Botanik arbeiteten folgend an bereits verbesserten Modellvarianten. Mit zwei Schulklassen wurde schließlich die Unterrichtstauglichkeit in einer größeren Gruppe erprobt. Parallel dazu wurde das Experiment in der ersten Lehrerfortbildung im November 2008 den interessierten Lehrern vorgestellt und in einigen Pilotschulen durchgeführt.

Als sehr sinnvoll in der praktischen Umsetzung des Moduls „Kerbstrukturen“ erwies sich die Aufteilung der gesamten Schülergruppe in mehrere kleinere Gruppen. Diese Aufteilung erlaubt eine zeitlich günstigere Verwendung der Schneidwerkzeuge, welche man für die Herstellung der Modelle benötigt. Die Gruppen rotieren von Station zu Station (vgl. Kap. 4.2.4 „Lernen in Stationen“).

Mögliche Stationen sind:

- I. Herstellung der Modelle
- II. Belastungstest an den Modellen
- III. Theoretische Herleitung der neuartigen Kerbstruktur
- IV. Untersuchung biol. Materials/Aufgabenbearbeitung

(Für diese Variante der Durchführung benötigt man ein bereits vorgefertigtes Modell-Set.)

Erfahrungsgemäß ist als Einstieg in das Thema ein Anker sinnvoll, der bei den Schülern Interesse sowie Wahrnehmung und Verständnis des Lernenden wecken soll (vgl. Kap. 4.1.6). In diesem Fall wurde die „bionische Schraube“ gewählt, deren Übergangskerbe zwischen Schraubenkern und Schraubengewinde nach dem Vorbild der Natur optimiert wurde. Diese in der Orthopädie eingesetzte Schraube hält einer deutlich stärkeren Belastung stand und verhindert durch ihre Langlebigkeit erneute Operationen. Um die Anschaulichkeit erhöhen zu können, erhalten die Lehrer im Lehrerteil Informationen, unter welcher Adresse sie eine „bionische“ Schraube auf Anfrage hin kostenlos bestellen können.

Mimose

Die Idee zur Erarbeitung dieses Themas entstand durch eine Kooperation mit dem Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design der TU Dresden. Das Institut orientiert sich mit seiner Arbeit bereits seit Jahrzehnten an biologischen Bewegungsmechanismen, insbesondere von Insekten. Aufgrund einer Anfrage für eine Studienarbeit eines Studenten der Feinwerktechnik rückte die Mimose in den Blickpunkt der Ingenieure. Aus den gemeinsamen Studien und Recherchen sowie der Modellherstellung durch den Studenten resultierten verschiedene Arbeitsmaterialien, die mit Schülerpraktikanten erprobt wurden. Da dort zu Beginn die Herstellung des Modells noch nicht fehlerfrei funktionierte, mussten Materialien ersetzt und die Konstruktionsanleitung verbessert werden.

Eine Juniordoktorveranstaltung konnte für die Erprobung im Klassenverband genutzt werden. Auch eine Schülerpraktikantin erklärte sich bereit, das erarbeitete Material zu testen. Da dieser Experimentierkomplex erst im zweiten Halbjahr 2009 entstand, konnten jedoch keine weiteren Schulen für eine Erprobung vor der Veröffentlichung gewonnen werden.

Verschiedene Fassungen der Experimentierthemen

Entsprechend den oben beschriebenen Entwicklungsprozessen gab es verschiedene Fassungen der Experimentieranleitungen. Stellvertretend für die sieben Themen auf der Bionik-DVD soll hier im Folgenden der Entwicklungsprozess des Schülerteils „Kerbstrukturen“ dargestellt werden. Nicht nur Formulierungen wurden verbessert, auch die Gesamtstruktur wurde in Aufgaben-, Protokoll- und Schablonenteil untergliedert und das Layout angepasst. Ein entscheidender Aspekt war dabei auch die didaktische Aufarbeitung bezugnehmend auf die „anchored instruction“ nach Pütz. (vgl. Kap. 4.1.6).

1. Fassung April 2008

MATTHECK-DREIECK

- Vorlage für Schülerexperiment -

Vielleicht ist Euch schon aufgefallen, dass Bäume verschiedenartige Gestalt annehmen können. Je nachdem, ob sie im Wald oder auf einer Wiese stehen, ob sie unter stetigem Wind leiden oder vom Blitz getroffen wurden – sie vermögen ihre Gestalt an diese Umstände anzupassen und optimieren sich damit selbst.

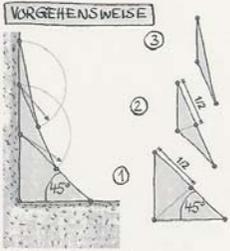


In der Natur gleichen Nadelbäume den Druck aus, indem sie an den stärker belasteten Stellen Holz anlagern und wachsen. Laubbäume dagegen bilden Zugholz aus, um einem Bruch zuvorzukommen. Dieses Holz nennt man Reaktionsholz. Es tritt z.B. auch an der Schnittstelle Baumstamm – Erdboden in Form von Brettwurzeln auf und entschärft die „scharfe Kante“.

Auch in Astgabeln wirken enorme Zug- und Druckkräfte, die durch eine Anlagerung von Material auf ein Minimum reduziert werden. Dieses Prinzip erkannte Claus Mattheck und entwickelte daraus die „Zugdreiecksmethode“, die nun im Folgenden vorgestellt werden soll.

Claus Mattheck geht davon aus, dass alle Kerbstrukturen Schwachstellen, sog. Sollbruchstellen, darstellen, an denen der Baum oder das entsprechende Bauteil versagen wird. (Findet in eurer Umgebung / zu Hause Bruchstellen an verschiedenem Material, die auf eine solche Kerbstruktur zurückgehen, z.B. Schussbohlen, Schrauben, etc.) Er erarbeitete ein Computerprogramm (CAO-Methode: „Computer Aided Optimization“), mit dessen Hilfe Spannungsspitzen abgebaut werden.

Eine Kerbe wird durch ein imaginäres Seil überbrückt, das im Falle einer 90°-Ecke mit den Schenkeln des Bauteils einen 45°-Winkel bildet. In der Mitte des gedachten Seils wird ein neues Seil im halben Winkel des ersten angesetzt und diese Prozedur noch weitere Male wiederholt. Die verbliebenen Knickpunkte werden, mit Ausnahme des untersten 45°-Knickes, ausgerundet und die Fläche zwischen Bauteil und Seilen wie bei der Brettwurzel des Baumes aufgefüllt.

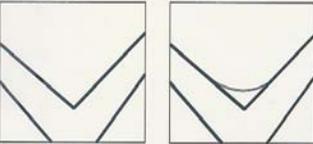


Quelle: www.mattheck.de

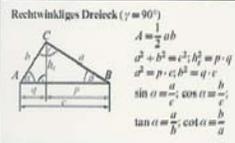
Thea Lautenschläger, TU Dresden 1 Thea.Lautenschlaeger@tu-dresden.de

Experiment

Auf eine Styrodur-Platte (im Baumarkt erhältlich) oder einem ähnlichen schneidbaren Material wird ein rechtwinkliges Bauteil aufgezeichnet (Seitenlänge 25 cm, Seitendicke 5 cm) und dieses mit einem Cutter/Teppichmesser ausgeschnitten. Anschließend wird erneut dieselbe rechtwinklige Form aufgetragen und mit Hilfe eines Zirkels eine Viertelkreis-Kontur in die Kerbe gelegt und dieses ausgeschnitten. In der Kerbe der dritten rechtwinkligen Form wird nach der Zugdreiecksmethode von Mattheck dessen optimierte Kontur eingefügt, ausgerundet und anschließend ausgeschnitten.



Rechtwinkliges Dreieck ($\gamma = 90^\circ$)



$$A = \frac{1}{2} ab$$

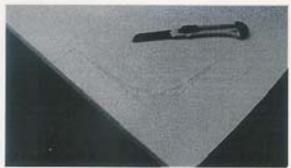
$$a^2 + b^2 = c^2; h^2 = p \cdot q$$

$$a^2 = p \cdot c; b^2 = q \cdot c$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}; \cot \alpha = \frac{b}{a}$$

Bei der Arbeit mit der Zugdreiecksmethode können Geodreieck oder Zirkel und Lineal sowie das Tafelwerk hilfreich sein.




Die so gewonnenen drei Bauteile sollen nun auf ihre Druckfestigkeit hin vergleichend überprüft werden. Wie könnte man einen solchen Versuch gestalten?

Thea Lautenschläger, TU-Dresden 2 Thea.Lautenschlaeger@tu-dresden.de

Abb. 16: Variante 1 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, April 2008.

2. Fassung Februar 2009

Bruchsicher wie eine Astgabel?

- Vorlage für Schülerexperiment -

Jahrmillionen der Evolution haben in der Natur sehr komplexe vielfältige Formen entstehen lassen, die in der Bionik auf ihre Biomechanik untersucht werden. Untersuchungsgegenstand sind zum Beispiel Bäume, Schalenpanzer von Seeigeln, Blätter und Dornen oder Knochen. Wesentlich sind dabei die Kraftverteilungen – in besonders belasteten Bereichen wird Material angelagert, während in unbelasteten Bereichen eingespart wird, um Ressourcen zu schonen und die Konstruktion leichter zu gestalten. Ein interessanter bionischer Ansatzpunkt.

Aufgabe 1: Suche nach Rissen

1. Suche in deiner unmittelbaren Umgebung Risse und kaputte Bauteile.
2. Aus welchem Grund hat das Objekt genau an dieser Stelle versagt?
3. Nehmt ein Blatt Papier, schneidet eine kleine Kerbe hinein, haltet es gut fest und zieht nun senkrecht zur Kerbe daran. Was könnt ihr beobachten?

Aufgabe 2: Die Zugdreiecksmethode



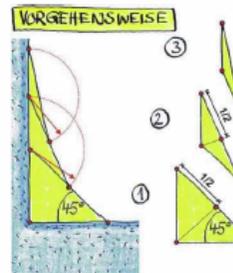
Quelle: Claus Mattheck

In Astgabeln wirken enorme Zug- und Druckkräfte, die durch eine Anlagerung von Material auf ein Minimum reduziert werden. Dieses Prinzip erkannte *Claus Mattheck* von der TU Karlsruhe anhand des Wurzelanlaufs bei Bäumen und entwickelte daraus die „Zugdreiecksmethode“, für die er 2003 den Deutschen Umweltpreis bekam und die nun im Folgenden vorgestellt werden soll.

Prof. Claus Mattheck geht davon aus, dass alle Kerbstrukturen Schwachstellen, sog. Sollbruchstellen, darstellen, an denen der Baum oder das entsprechende Bauteil versagen wird, da an diesen Stellen die Kerbspannung sehr hoch ist. Er erarbeitete ein Computerprogramm (CAO-Methode: „Computer Aided Optimization“), mit dessen Hilfe Spannungsspitzen abgebaut werden können.

Aber auch mit Hilfe eines Geodreiecks kann die Methode angewandt werden:

Eine Kerbe wird durch ein imaginäres Seil überbrückt, das im Falle einer 90°-Ecke mit den Schenkeln des Bauteils einen 45°-Winkel bildet. In der Mitte des gedachten Seils wird ein neues Seil im halben Winkel des ersten angesetzt und diese Prozedur noch weitere Male wiederholt. Die verbliebenen Knickpunkte werden, mit Ausnahme des untersten 45°-Knickes, ausgerundet und die Fläche zwischen Bauteil und Seilen wie bei der Brettwurzel des Baumes aufgefüllt.



Quelle: www.mattheck.de

M

Im Folgenden nun sollt Ihr versuchen, mit Hilfe dieser Methode die Kerbspannung in der hier gegebenen Astgabel zu verringern, indem ihr in die Struktur Zugdreiecke hineinkonstruiert.

Auf beiden Astgabeln soll im ersten Fall die gleiche Belastung liegen. Dafür errichtet man zuerst die Winkelhalbierende, legt auf dieser den Punkt S fest (in unserem Fall 4 cm von der Kerbe entfernt) und fällt von diesem Punkt aus auf beide Astgabeln das Lot. Beginnend vom Lot aus können nun in beide Richtungen die Zugdreiecke angelegt werden.

M

Nun gehen wir davon aus, dass die beiden Gabelschenkel verschieden starken Belastungen ausgesetzt sind, so dass die Materialanlagerung auf beiden Seiten unterschiedlich ausfällt: die rechte Seite soll um das Dreifache stärker belastet sein. Dementsprechend verschiebt sich die Winkelhalbierende in Richtung des minderbelasteten Schenkels im Verhältnis der Spannungen. Vom Punkt S (4 cm von der Kerbe entfernt) ausgehend wird wieder das Lot gefällt und die Zugdreiecke hineinkonstruiert.

Quelle: www.mattheck.de

Bionik – Experimentier-Set für den Schulunterricht

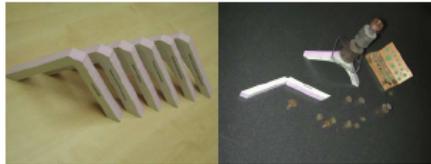
2

© Lautenschläger, TU Dresden

Aufgabe 3: Belastungstest

In folgendem Experiment soll nun überprüft werden, ob und inwieweit die Methode der Zugdreiecke die Kerbspannung im Vergleich zu bisher angewandten Methoden zu verringern vermag. Die Strukturen basieren alle auf einem Grundmodell entsprechend einer Astgabel mit der Fläche von 66 cm². 25 Prozent dieser Fläche werden additiv in verschiedenen Formen als Verstärkung angebracht:

- Modell mit Schenkelverstärkung
- Modell mit Dreieck
- Modell mit Viertelkreis
- Modell mit Zugdreiecken
- Modell mit gerundeten Zugdreiecken



Diese 6 Modelle werden mit Hilfe einer Delnpiersäge oder einem scharfen Teppichmesser (Cutter) aus einer 3 cm dicken Styrodur-Platte ausgeschnitten. Anschließend werden sie schrittweise durch Gewichte belastet - bis zum Versagen des jeweiligen Modells. Formuliert vor Beginn des Belastungstests Erwartungen hinsichtlich des Versagens. An welchen Stellen gibt es Sollbruchstellen?

Führt Protokoll zum Experiment und beobachtet, an welchen Stellen und auf welche Weise die Modelle versagen. Stellt die Ergebnisse in einem Diagramm dar.

Modell	max. Last [g]	Versagen [g]	Beobachtung
Grundmodell			
Schenkelverstärkung			
Dreieck			
Viertelkreis			
Zugdreieck			
Zugdreieck gerundet			

Abschließende Fragen:

1. Wodurch unterscheiden sich Kerbstrukturen in der Natur und in der Technik?
2. Auf welche Weise hat sich die Natur die optimierte Kerbstruktur „erdacht“?
3. Handelt es sich bei diesem Beispiel der Bionik um einen Bottom-up- oder Top-down-Prozess?
4. Vervollständigen Sie folgende Tabelle:

Vorbild aus der Natur	Prinzip	Technische Anwendung

Antworten:

1. In der Technik führen stache Spannungsspitzen (hohe Kerbspannung) in Bauteilen zu deren Versagen. In der Natur können diese Spannungsspitzen durch eine bestimmte Struktur, d.h. Materialanlagerung, ausgeglichen werden, so dass die Versagensschwelle bei gleicher Belastung deutlich höher liegen kann.
2. Lebewesen können sich aufgrund von Mutation und natürlicher Selektion den sich ständig verändernden Umweltbedingungen anpassen. Durch Evolution wurde durch zielgerichtetes biologisches Wachstum so über Jahrmillionen auch die Belastung, welche auf Kerbstrukturen lastet, minimiert.
3. Claus Mattheck untersuchte Spannungen bei Bäumen, entdeckte dabei eher zufällig die formbestimmende Art der Materialanlagerung und entwickelte daraus computergestützte Optimierungsverfahren. Es handelt sich demnach um einen Bottom-up-Prozess.
- 4.

Vorbild aus der Natur	Prinzip	Technische Anwendung
Kerbstrukturen in z.B. Astgabeln, Dornen, Knochen etc.	Abbau der Kerbspannung nach dem Vorbild des biol. Wachstums: Zugdreiecksmethode	optimierte (kerbspannungsarme) Bauteile (Beispiel: orthopädische Schraube, Balkenschulter)



Eine Schraube mit kerbspannungsfreien Gewindegründen: optimiert wurde hier der Übergang von Schraubenkern zur Scheibe.

Im Anhang dieser Version befinden sich sechs Schablonen, von denen hier zwei Schablonen stellvertretend dargestellt sind. In den folgenden Versionen werden diese sechs Schablonen beibehalten.

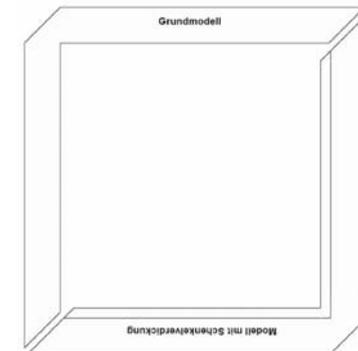


Abb. 17: Variante 2 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, Februar 2009.

3. Fassung Juli 2009

Astgabelstruktur – Zufall ?



(Prof. Mattheck nach Bildern fragen)

Orthopädische Schrauben finden sehr häufig Einsatz in OPs, um Implantate an der Wirbelsäule zu befestigen. Diese können jedoch bei plötzlichen Überbelastungen abbrechen - Schmerzen und eine erneute Operation sind vorprogrammiert. Doch warum bricht die Schraube? Und gibt es vielleicht ein Vorbild in der Natur, welches ein Abbrechen verhindern könnte?

Tatsächlich gibt es eine bionisch entwickelte Schraube, die im Belastungsversuch 20 mal stärker belastbar war, als herkömmliche orthopädische Schrauben. Der kleine Unterschied liegt in den Kerben...

Experiment: Kerbstrukturen

Folgende Materialien werden für das Experiment benötigt:

- Styrodurplatten
- Dekupiersäge
- Gewichte bis 5 kg
- 6 Schablonen für folgende Modelle:
 - Grundmodell
 - Modell mit Schenkelverstärkung
 - Modell mit Dreieck
 - Modell mit Viertelkreis
 - Modell mit Zugdreiecken
 - Modell mit gerundeten Zugdreiecken




Im Experiment werden unterschiedliche Kerbstrukturen untersucht und miteinander verglichen. Die Modelle basieren alle auf dem Grundmodell: 25 Prozent des Volumens des Grundmodells wurde den anderen Modellen in verschiedenen Strukturen hinzugefügt. Die insgesamt 6 Modelle werden mit Hilfe einer Dekupiersäge oder einem scharfen Teppichmesser (Cutter) aus einer 3cm dicken Styrodur-Platte ausgeschnitten. Anschließend werden sie schrittweise durch Gewichte belastet - bis das jeweilige Modell bricht.

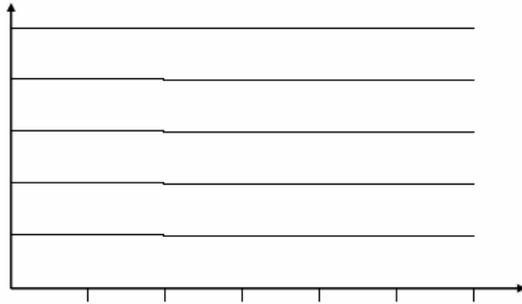
Tipp: Um die Gewichte gut auf den Modellen platzieren zu können, eignet sich eine Plastik-Petrischale als Unter-setzer. Auch Ein-Liter-Getränkkartons, 250 g-Salzpäckungen etc. kann man als Gewichte benutzen.

Formuliere vor Beginn der Belastungstests deine Erwartungen, unter welchen Gewicht die Modelle jeweils brechen.

An welchen Stellen gibt es Sollbruchstellen, also Stellen, an denen die meisten Spannungen wirken und die Modelle brechen werden? Markiere vor dem Test diese Stellen mit einem Marker.

Führe Protokoll zum Experiment und beobachte, an welchen Stellen und auf welche Weise die Modelle versagen. Stelle die Ergebnisse in einem Balkendiagramm dar.

Nr.	Modell	max. Last [g]	Versagen [g]	Beobachtung
1	Grundmodell			
2	Schenkelverstärkung			
3	Dreieck			
4	Viertelkreis			
5	Zugdreieck			
6	Zugdreieck, gerundet			



Bionische Schrauben werden nicht nur in der Medizin angewendet, sondern auch im Bau. Hier eine Schraube, die man beim Bau von Strohhallenhäusern verwendet. Vergleiche die bionisch entwickelte mit einer herkömmlichen Schraube. Leite aus den Ergebnissen des vorangegangenen Experiments ab, wie eine Optimierung stattgefunden hat.



eigenes Bild kommt hier ein

bionische Schraube	herkömmliche Schraube

In Kerben ist die Kerbspannung am höchsten, deshalb versagt genau an dieser Stelle das Material am schnellsten - die Schraube bricht. Durch verschiedene Materialanlagerungen, wie sie im Experiment angewendet wurden, kann die Spannung herabgesetzt werden.

Die optimierte Struktur der „Zugdreiecke“ wurde in Bäumen entdeckt: Astgabeln bestehen aus zwei Armen, die durch das Wachstum des Baumes so fest miteinander verbunden sind, dass ein Abbrechen an der Kerbe verhindert wird (meistens zumindest). Das Gleiche gilt für den Baumstamm, der die Kerbe zur Erdoberfläche mit einer Materialanlagerung überbrückt. Der Ingenieur würde, um Material anzulagern, zwischen zwei 90°-Schenkeln einen Viertelkreis konstruieren – im Baum findet man jedoch ein anderes Prinzip der Zugdreiecke.

Die Zugdreiecksmethode lässt sich leicht mit Geodreieck und Zirkel nachvollziehen. In der Natur ist die Struktur unterschiedlich stark ausgeprägt, immer in Abhängigkeit der Belastung:

Quelle: www.mattheck.de

1. In die Kerbe wird zuerst ein gleichschenkeliges Dreieck mit der Seitenlänge von 4 cm eingefügt. Dadurch entsteht eine neue, wenn auch stumpfere Kerbe darüber.
2. Die Hälfte der Basis des ersten Zugdreiecks wird zur Schenkellänge des neuen darüberliegenden Zugdreiecks u.s.w. Meist reichen drei Zugdreiecke, um die Kerbe zu entschärfen.
3. Die verbleibenden stumpfen Ecken werden nun angerundet.

Die Zugdreiecke können auch in beide Richtungen errichtet werden, wenn es eine doppelseitige Belastung gibt, wie in Astgabeln.

Quelle: www.mattheck.de

Die Struktur der aneinander liegenden Zugdreiecke lässt sich übrigens in vielen natürlichen Formen wiederfinden. Versuche, die Zugdreiecke in den Rosenstachel hinein zu skizzieren. Bedenke dabei, dass in beide Richtungen eine Belastung wirkt.

Nehmt ein A5-Blatt Papier und schneidet seitlich in die Mitte eine ca. 2 cm lange Kerbe hinein. Nun wird das Blatt auf der einen Seite fixiert (durch Festhalten oder einen Bücherstapel) und an der anderen Seite gezogen, so dass das Papier an der Kerbe abreißt. Erkläre, warum sich beim Reißen des Papiers die Zugdreiecksstruktur herausbildet.

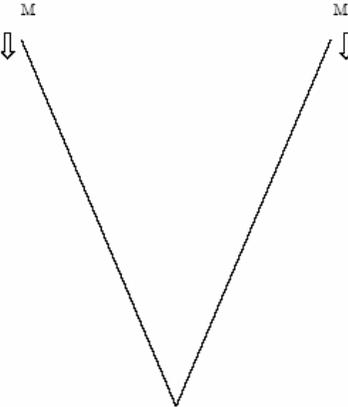
Formuliere anhand der „bionischen Schraube“ die Zwischenschritte der bionischen Entwicklung:

Vorbild aus der Natur	Prinzip	technische Anwendung

Wo überall könnte diese Kerbstruktur sinnvoll genutzt werden? Suche Beispiele in deiner unmittelbaren Umgebung und im Baumarkt. Recherchiere, welche weiteren Anwendungsgebiete in der Technik es für dieses Zugdreiecksprinzip gibt?

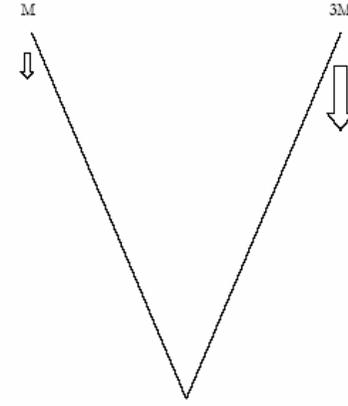
 *Bionischen Entwicklungen wird oft ein nachgesagt, sie seien umweltfreundlicher als ihre Vorgänger. Kann man im Fall der Zugdreiecksmethode davon sprechen?*

 *Zusatzaufgabe (für Fortgeschrittene):*



Im Folgenden nun sollst Du versuchen, mit Hilfe der Zugdreiecksmethode die Kerbspannung in der hier gegebenen Astgabel zu verringern, indem Du in die Astgabel Zugdreiecke hineinkonstruierst:

Auf beiden Astarmen soll im ersten Fall die gleiche Belastung liegen. Dafür richtet man zuerst die Winkelhalbierende, legt auf dieser den Punkt S fest (in unserem Fall 4 cm von der Kerbe entfernt) und fällt von diesem Punkt aus auf beide Astarme das Lot. Beginnend vom Lot aus können nun in beide Richtungen die Zugdreiecke angelegt werden.



Nun gehen wir davon aus, dass die beiden Astarme verschieden starken Belastungen ausgesetzt sind, so dass die Materialanlagerung auf beiden Seiten unterschiedlich ausfällt: die rechte Seite soll um das Dreifache stärker belastet sein. Dementsprechend verschiebt sich die Winkelhalbierende in Richtung des minderbelasteten Astarms im Verhältnis der Spannungen. Vom Punkt S (4 cm von der Kerbe entfernt) ausgehend werden wieder das Lot gefällt und die Zugdreiecke hineinkonstruiert.

5

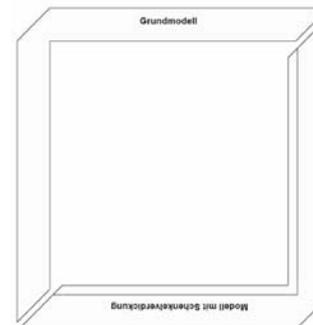
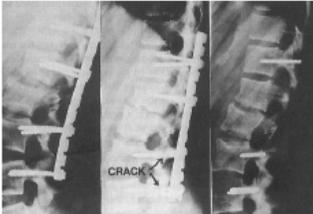


Abb. 18: Variante 3 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, Juli 2009.

4. Fassung März 2010

Kerbstrukturen S 6

Bruchsicher wie eine Astgabel



Orthopädische Schrauben finden sehr häufig Einsatz in Operationen, um Implantate an der Wirbelsäule zu befestigen. Diese können jedoch bei ständigen Lastwechseln abbrechen – Schmerzen sind vorprogrammiert und eine erneute Operation ist unter Umständen notwendig. Doch warum bricht die Schraube? Und gibt es vielleicht ein Vorbild in der Natur, welches ein Abbrechen verhindern könnte? Tatsächlich gibt es eine bionisch entwickelte Schraube, die im Belastungsversuch 20 mal länger hielt, als herkömmliche orthopädische Schrauben. Der kleine Unterschied liegt in den Kerben...

Experiment Kerbstrukturen

1. Untersuche die Belastbarkeiten von Kerbstrukturen im Experiment.

Im Experiment werden unterschiedliche Kerbstrukturen untersucht und miteinander verglichen. Die Modelle basieren alle auf dem Grundmodell: 25 Prozent des Volumens des Grundmodells wurde den anderen Modellen in verschiedenen Strukturen hinzugefügt.

Vorbereitung

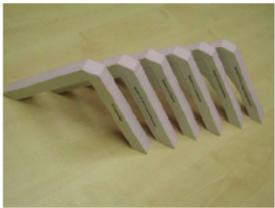
a) Materialien
 Styrodurplatten
 Dekupiersäge oder Heißdraht
 Gewichte bis 5 kg
 6 Schablonen für die Modelle:

- Grundmodell
- Modell mit Schenkelverstärkung
- Modell mit Dreieck
- Modell mit Viertelkreis
- Modell mit Zugdreiecken
- Modell mit gerundeten Zugdreiecken



b) Die insgesamt 6 Modelle werden mithilfe einer Dekupiersäge oder einem Heißdraht aus einer 3 cm dicken Styrodur-Platte ausgeschnitten. Anschließend werden sie schrittweise durch Gewichte belastet - bis das jeweilige Modell bricht.

Tip: Um die Gewichte gut auf den Modellen platzieren zu können, eignet sich eine Plastik-Petrischale als Unter-setzer. Auch Ein-Liter-Getränk-kartons, 250 g-Salzpackungen etc. kann man als Gewichte benutzen.



T. Lautenschläger, Bielefeld – Spannsende Entdeckungen aus der Natur — 1 — © DUDEN PAETEC GmbH, Bielefeld. Alle Rechte vorbehalten.

Kerbstrukturen S 6

c) Formuliere vor Beginn der Belastungstests deine Erwartungen, unter welchem Gewicht die Modelle jeweils brechen.

d) An welchen Stellen gibt es Sollbruchstellen, also Stellen, an denen die meisten Spannungen wirken und die Modelle brechen werden? Markiere vor dem Test diese Stellen mit einem Marker.

Durchführung

a) Belaste die Modelle wie auf der vorhergehenden Seite beschrieben.

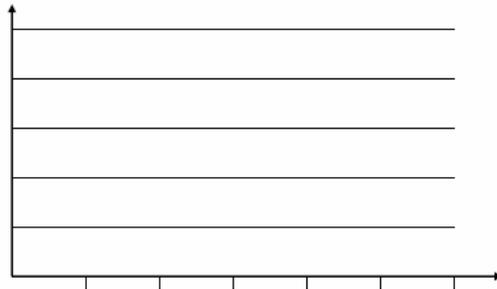
b) Führe Protokoll zum Experiment und beobachte, an welchen Stellen und auf welche Weise die Modelle versagen.

Modell	geschätzte max. Last [g]	max. Last [g]	Beobachtung
Grundmodell			
Schenkelverdickung			
Dreieck			
Viertelkreis			
Zugdreieck			
Zugdreieck gerundet			

T. Lautenschläger, Bielefeld – Spannsende Entdeckungen aus der Natur — 2 — © DUDEN PAETEC GmbH, Bielefeld. Alle Rechte vorbehalten.

Auswertung

- a) Stelle die Ergebnisse in einem Balkendiagramm dar.



- b) Interpretiere die Ergebnisse.

2. Bionische Schrauben werden nicht nur in der Medizin angewendet, sondern auch im Bau. Hier siehst du zwei Abbildungen einer Schraube, die man beim Bau von Strohhäusern verwendet. Vergleiche die bionisch entwickelte mit einer herkömmlichen Schraube. Leite aus den Ergebnissen des vorangegangenen Experiments ab, wo eine Optimierung stattgefunden haben könnte.



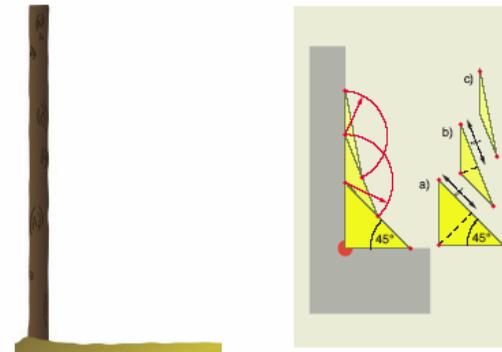
herkömmliche Schraube	bionische Schraube

In Kerben ist die Spannung am höchsten, deshalb versagt genau an dieser Stelle das Material am schnellsten – die Schraube bricht. Durch verschiedene Materialanlagerungen, wie sie im Experiment angewendet wurden, kann die Spannung herabgesetzt werden.



Die optimierte Struktur der „Zugdreiecke“ wurde in Bäumen entdeckt: Astgabeln bestehen aus zwei Armen, die durch das Wachstum des Baumes so fest miteinander verbunden sind, dass ein Abbrechen an der Kerbe verhindert wird (meistens zumindest). Das Gleiche gilt für den Baumstamm, der die Kerbe zur Erdoberfläche mit einer Materialanlagerung überbrückt. Der Ingenieur würde, um Material anzulagern, zwischen zwei 90°-Schenkeln einen Viertelkreis konstruieren – im Baum findet man jedoch ein anderes Prinzip: das Prinzip der Zugdreiecke.

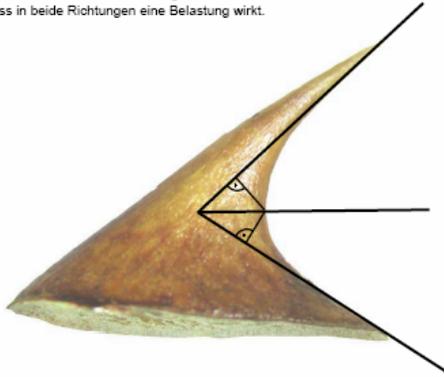
3. Die Zugdreiecksmethode lässt sich leicht mit Geodreieck und Zirkel nachvollziehen. In der Natur ist die Struktur unterschiedlich stark ausgeprägt, immer in Abhängigkeit der Belastung:



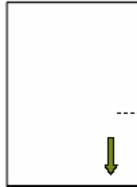
- a) In die Kerbe wird zuerst ein gleichschenkeliges Dreieck mit der Seitenlänge von 4 cm eingefügt. Dadurch entsteht eine neue, wenn auch stumpfere Kerbe darüber.
- b) Die Hälfte der Basis des ersten Zugdreiecks wird zur Schenkellänge des neuen darüberliegenden Zugdreiecks usw. Meist reichen drei Zugdreiecke, um die Kerbe zu entschärfen.
- c) Die verbleibenden stumpfen Ecken werden nun ausgerundet.

Die Zugdreiecke können auch in beide Richtungen errichtet werden, wenn es eine doppelseitige Belastung gibt, wie in Astgabeln.

4. Die Struktur der aneinander liegenden Zugdreiecke lässt sich übrigens in vielen natürlichen Formen wiederfinden. Versuche, die Zugdreiecke in den Rosenstachel hinein zu skizzieren. Bedenke dabei, dass in beide Richtungen eine Belastung wirkt.



5. Nimm ein A5-Blatt Papier und schneidest seitlich in die Mitte eine etwa 2 cm lange Kerbe hinein. Nun wird das Blatt auf der einen Seite fixiert (durch Festhalten oder einen Bücherstapel) und an der anderen Seite gezogen, so dass das Papier an der Kerbe abreißt. Erkläre, warum sich beim Reißen des Papiers die Zugdreiecksstruktur herausbildet.



6. Formuliere anhand der „bionischen Schraube“ die Zwischenschritte der bionischen Entwicklung:

Vorbild aus der Natur	Prinzip	technische Anwendung

7. Wo überall könnte diese Kerbstruktur sinnvoll genutzt werden? Suche Beispiele in deiner unmittelbaren Umgebung und im Baumarkt. Recherchiere, welche weiteren Anwendungsgebiete in der Technik es für dieses Zugdreiecksprinzip gibt.

8. Bionischen Entwicklungen wird oft nachgesagt, sie seien umweltfreundlicher als ihre Vorgänger. Kann man im Fall der Zugdreiecksmethode davon sprechen?

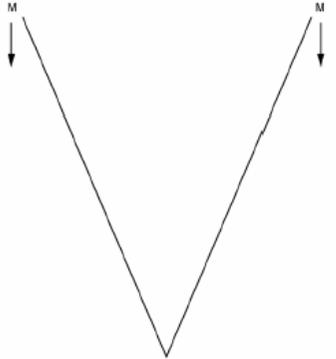
9. Recherchiere, in welchen Bereichen man Sollbruchstellen findet und stelle deinen Mitschülern Beispiele vor.

Kerstrukturen S 6

10. Zusatzaufgabe

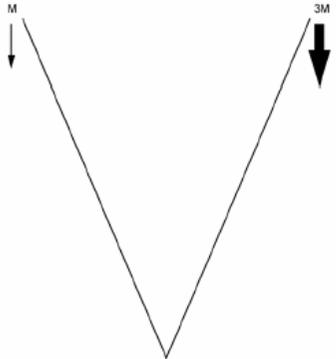
Im Folgenden nun sollst du versuchen, mithilfe der Zugdreiecksmethode die Kerbspannung in der hier gegebenen Astgabel zu verringern, indem du in die Astgabel Zugdreiecke hineinkonstruierst:

Auf beiden Astarmen soll im ersten Fall die gleiche Belastung liegen. Dafür errichtet man zuerst die Winkelhalbierende, legt auf dieser den Punkt S fest (in unserem Fall 4 cm von der Kerbe entfernt) und fällt von diesem Punkt aus auf beide Astarme das Lot. Beginnend vom Lot können nun in beide Richtungen die Zugdreiecke angelegt werden.



Nun gehen wir davon aus, dass die beiden Astarme verschieden starken Belastungen ausgesetzt sind (beispielsweise durch Wind oder Hanglage). Die Materialanlagerung fällt deshalb auf beiden Seiten unterschiedlich aus:

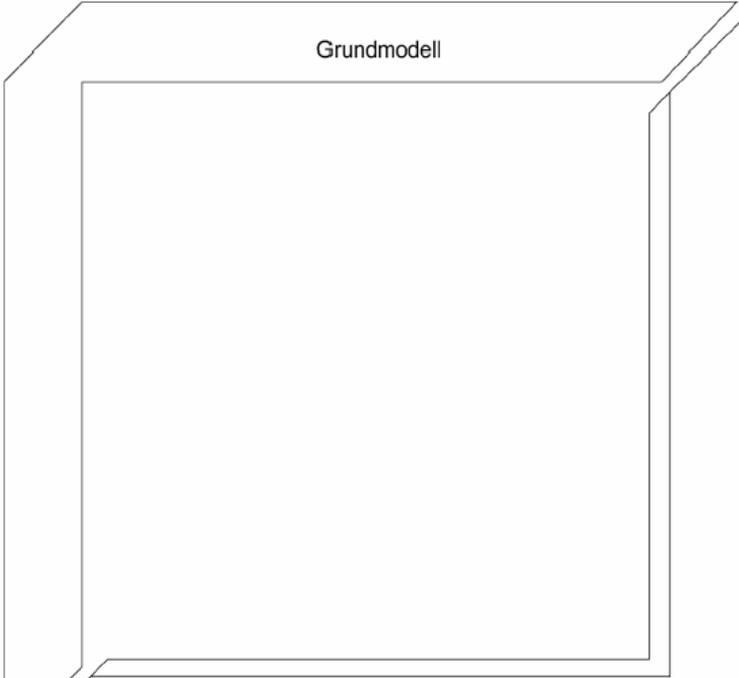
Der rechte Astarm der nebenstehenden Skizze soll um das Dreifache stärker belastet sein als der linke Arm. Dementsprechend verschiebt sich die Winkelhalbierende in Richtung des minderbelasteten Astarms im Verhältnis der Spannungen. Vom Punkt S (4 cm von der Kerbe entfernt) ausgehend werden wieder das Lot gefällt und die Zugdreiecke hineinkonstruiert.



T. Lauthschlößger, Steink - Spanvende Entdeckungen aus der Natur — 7 — © DUDEN PARETEC GmbH, Berlin. Alle Rechte vorbehalten.

Kerstrukturen S 6

Grundmodell



Modell mit Schenkelfverdickung



T. Lauthschlößger, Steink - Spanvende Entdeckungen aus der Natur — 8 — © DUDEN PARETEC GmbH, Berlin. Alle Rechte vorbehalten.

Abb. 19: Variante 4 des Experiments „Kerbstrukturen“; Schülerteil, März 2010.

5.4 Aufbau des Schüler- und Lehrermaterials

Die sieben Themen mit einem Seitenumfang von 150 A4-Seiten und zusätzlichen einhundert PowerPoint-Folien gliedern sich in Schüler- und Lehrerteil, farblich im Design auch voneinander zu unterscheiden.

Der Schülerteil beinhaltet neben einer Einleitung in die Thematik Versuchsanleitungen, Protokollvorschläge und Aufgaben zur Auswertung oder Nacharbeitung. Um dem Schüler eine optimale Lernumgebung zu schaffen, muss außerdem das sichere Auftreten des Lehrers mit dem Thema gewährleistet werden. Im Lehrerteil werden deshalb die Themen inhaltlich tiefer beleuchtet, Hintergrundinformationen zu Entwicklungsgeschichte und Anwendungsgebieten gegeben und die zu erwartenden Ergebnisse der Experimente aufgelistet. Für alle weiteren Aufgaben des Schülerteils werden Lösungen vorgeschlagen. Um ein erfolgreiches Experimentieren mit den teilweise für den Schulunterricht recht ungewöhnlichen Materialien zu ermöglichen, enthält der Lehrerteil zusätzliche Tipps zur Vorbereitung und optimalen Durchführung sowie eine ungefähre Zeitangabe für die einzelnen Schritte. Ergänzend werden Lehrplaninhalte anderer Fächer aufgelistet. Aufgrund des bundesweiten Vertriebs der DVD durch den Duden-Verlag mussten diese Unterrichtsbezüge sehr allgemein angesprochen werden, da sich die Lehrplaninhalte von Bundesland zu Bundesland doch erheblich unterscheiden. Außerdem fielen deshalb auch die anfangs skizzierten und eingeplanten Jahrgangsstufenbezüge weg.

Thema	Schülerteil	Lehrerteil	ppt-Folien
Faltungen in Natur und Technik	20	16	15
Faserverbundmaterialien	4	6	11
Flossenstrahleffekt	12	4	17
Transportsysteme	10	11	21
Selbstorganisation	12	16	14
Kerbstrukturen	10	6	15
Mimose	16	7	11
<i>Summe</i>	<i>84</i>	<i>66</i>	<i>104</i>

Tab. 12: Jeweilige Seitenanzahl der sieben Experimentierthemen im neu entwickelten Arbeitsmaterial „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur.“, unterteilt in Schüler- und Lehrerteil.

5.5 Erprobung

Die auf Basis der in Teil 1 beschriebenen Aspekte der Aufgabenentwicklung sowie der Breite von Aufgabenformaten erarbeiteten sieben Experimentierthemen der Bionik-DVD wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Schulunterricht getestet. Im Mittelpunkt dieser Untersuchungen standen die Schwierigkeit der Aufgaben, die Angemessenheit an die angesprochenen Jahrgangsstufen sowie die Verständlichkeit der Formulierungen. Gleichzeitig wurden kontextbezogene Aufgaben auf ihre Verbindung zur Lebenswelt der Schüler und andererseits materialbezogene Aufgaben auf die Anwendbarkeit ihrer Darstellungen, Skizzen und Versuchsbeschreibungen hin untersucht. Durch die Erprobungen sollten vorrangig versteckte Mängel in den Aufgaben sowie unvorhersehbare Probleme bei der Durchführung gefunden und behoben werden. Erprobungen tragen damit deutlich zur Qualitätssteigerung von Aufgaben bei.

Die Erprobungen im Schulunterricht erfolgten in einem ersten Durchlauf durch die Autorin selbst im Rahmen einer Unterrichtsstunde, zum Zwecke der Evaluation im Folgenden dann jedoch durch die Lehrer der Kooperationsschulen. Die Themen wurden aufgrund mehrerer Ursachen nicht in gleichem Maße erprobt. Einerseits entstanden die Themen nicht zeitgleich, sondern zu teilweise sehr unterschiedlichen Zeitpunkten. Dies wiederum schränkte die Erprobungsmöglichkeit im Schulunterricht ein, da die Bionik nur einen von insgesamt drei Lernbereichen des Profilunterrichts der Klasse 9 oder 10 ausmacht (vgl. Kap. 1.3) und die Kooperationsschulen somit nicht ständig für den Praxistest zur Verfügung standen. Andererseits wählten die Profillehrer sehr häufig das Thema „Faltungen“ für ihren Unterricht aus, da sie damit gute Erfahrungen gemacht hatten, auf sie keine Materialkosten zukamen und das Thema in zwei Stunden zu behandeln war.

Aus diesen Gründen wurde für die Erprobung der meisten Themenkomplexe an erster Stelle auf Schülerpraktikanten zurückgegriffen, die im Rahmen ihrer Praktika die Versuche durchführten und verbesserten. Die Schüler der neunten Jahrgangsstufe absolvierten am Institut für Botanik ihr zweiwöchiges Betriebspraktikum. Durch diesen Zeitrahmen konnte den Schülern die Möglichkeit gegeben werden, selbst Verbesserungen am Experimentieraufbau vorzunehmen. Je nach Vorwissen und Engagement des Schülers gab es hier unterschiedlich gute Ergebnisse. Über die bereits seit Jahren bestehende Kooperation mit dem Martin-Andersen-Nexö-Gymnasium Dresden, einem Gymnasium mit vertieftem mathematisch-naturwissenschaftlichen Profil, besuchten auch Schüler der siebenten Klasse das Institut und widmeten sich in ihrer Projektwoche einem Thema, welches sie abschließend auch präsentierten.

Für alle Themen erfolgte aber mindestens ein Testlauf mit einer Schulklasse. Die verschiedenen Entwicklungsprozesse wurden in Kap. 5.3 bereits detailliert beschrieben. Für den Teil „Kerbstrukturen“ ist dieser außerdem exemplarisch anhand des Schülerteils dargestellt. Die Erprobung dauerte in der Regel zwei Unterrichtseinheiten⁴⁹.

Weitere Möglichkeiten für die Erprobung der Materialien boten sich in außerschulischen Angeboten. So wurde in den Sommerferien 2008 für interessierte Schüler im Deutschen Hygienemuseum Dresden ein einwöchiger fakultativer Bionik-Kurs durchgeführt. 2009/10 konnten sechs Veranstaltungen im Rahmen des Juniordoktor-Programms des Netzwerkes „Dresden - Stadt der Wissenschaften“ angeboten werden. Auch wenn die Altersklassen hier nicht unbedingt mit der Zielgruppe des Bionik-Arbeitsmaterials übereinstimmten, konnten so doch wertvolle Erfahrungen in der Umsetzung im Unterricht gewonnen werden.

Aufgrund der Preisträgerschaft des Hochschulwettbewerbs „Alltagstauglich“ lud die Deutsche Botschaft in Delhi das Projekt „Bionik – Experimentierset für den Schulunterricht“ für eine Woche ein, gemeinsam mit anderen Preisträgern das Programm „Fit for Life“ zu gestalten und an indischen Schulen Neu Delhis zu unterrichten. Neben einem einleitenden Vortrag zur Bionik stand hier das Thema „Faltungen in Natur und Technik“ im Fokus, welches mit fast 300 Schülern an fünf Schulen sehr erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Nach den Durchführungen der Unterrichtsstunden durch die Autorin wurden diese in einer didaktischen Analyse beschrieben, Problempunkte definiert und die Themen nach Bedarf umkonzipiert.

⁴⁹ Eine Unterrichtseinheit entspricht 45 Minuten.

5.6 Evaluierung

Um eine stetige Optimierung der Arbeitsmaterialien zu gewährleisten, erfolgte ihre Evaluierung zeitgleich mit der Materialentwicklung. Erste Kooperationsschulen erhielten bereits im September 2008 Experimentiermaterialien, um diese zu erproben und zu bewerten. Durch Lehrerfortbildungen (27. November 2008, 26. März 2009), durchgeführt durch die Autorin, konnten zusätzlich interessierte Schulen für eine Kooperation gewonnen werden⁵⁰. Das Arbeitsmaterial wurde den teilnehmenden Lehrern kostenlos für ihren Unterricht zur Verfügung gestellt. Allerdings wurden die sieben Experimentierthemen von den Lehrern nicht gleichberechtigt nebeneinander durchgeführt. Mehrere Gründe mögen hier eine Rolle gespielt haben:

1. Der den Lehrern für den Bionik-Unterricht zur Verfügung stehende Zeitrahmen im Profilunterricht (28 Unterrichtseinheiten) und des Grundwahlkurses (38 Unterrichtseinheiten) ermöglicht lediglich die Erprobung einzelner Module.
2. Die Experimentierthemen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten fertig gestellt, so dass, je nachdem, in welchem Abschnitt des Schuljahres die Bionik unterrichtet wurde, den Lehrern eine unterschiedliche Anzahl an ausgearbeiteten Experimenten zur Verfügung stand.
3. Die in den Lehrerfortbildungen vorgestellten Themen entsprechen nicht hundertprozentig den Themen der endgültigen Version auf der DVD des DUDEN-Schulbuchverlags. So haben einige Lehrer beispielsweise das Thema der „Wandverstärkungen in Pflanzengefäßen als Vorbild für strömungsoptimierte Kanalrohrinnenauskleidung“ in einer Fortbildung kennengelernt, welches jedoch aus mehreren Gründen (vgl. Kap. 5.2) nicht in das endgültige Material einfluss. Auf diese Evaluationsbögen wird deshalb in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen.
4. Die Experimente sind in ihrer Durchführung, d.h. ihrem zeitlichen Rahmen sowie dem Bedarf an Materialien, unterschiedlich aufwendig.
5. Das Interesse der Lehrer an den sieben Themen variierte, u.a. in Abhängigkeit ihrer Fachkompetenz oder der eigenen Interessensfelder.

Diese Gründe führten dazu, dass die Experimente von jeweils einer unterschiedlichen Anzahl von Schülern durchgeführt wurden. Im Anschluss an die Unterrichtsstunde erfolgte deren Evaluation. Dafür erhielten die Lehrer zu allen Unterrichtsmaterialien Lehrer- und Schülerfragebögen. Diese wurden später ausgewertet und quantitativ analysiert (vgl. Kap. 8.1).

Im Anschluss an die Veröffentlichung wurden im März/April 2010 Interviews mit Lehrern durchgeführt und mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING ausgewertet (vgl. Kap. 8.3). Die Interviews fokussierten jedoch weniger auf die neu entwickelten Experimentierthemen, sondern sollten einen Überblick über die Unterrichtspraxis des seit 2005 neu eingerichteten fächerverbindenden Unterrichtsbereichs Bionik geben.

⁵⁰ Die erste Fortbildung fand im November 2008 statt und beinhaltete die Themen „Faltungen in Natur und Technik“, „Transportsysteme“ und „Kerbstrukturen“. Während der zweiten Fortbildung im März 2009 wurden diese Experimente gemeinsam ausgewertet sowie vier weitere vorgestellt: „Flossenstrahleffekt“, „Kanalrohr-Innenstrukturierung“, „Spinnenseide“ und „Kabeldurchführung“.

5.7 Veröffentlichung der optimierten Arbeitsmaterialien

Der ursprüngliche Projektplan sah eine Veröffentlichung der Arbeitsmaterialien in Buch- oder Heftform vor, die es dem Lehrer ermöglicht, wahlweise ein Thema herauszusuchen und zu bearbeiten. Das Material sollte nicht als Schüler-Klassenset an die Schulen gehen, da die Wahrscheinlichkeit, alle sieben Themen innerhalb des Bionikunterrichts durchzuführen, als gering eingeschätzt wurde und damit die Anschaffung des Arbeitsheftes für jeden Schüler nicht zu rechtfertigen gewesen wäre. Alternativ zu einer Printversion wurde die Veröffentlichung über eine Internetseite geprüft.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung schrieb im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2009 einen mit 10.000 Euro dotierten Preis zum Thema „Alltagstauglich?“ aus. Zielstellung des Preises war es, Ideen zu entwickeln, die aktuelle Forschungsfelder und die Bedeutung von Wissenschaft und Forschung einer breiten Öffentlichkeit und besonders Schülerinnen und Schülern näherbringen. Aufgrund des interdisziplinär ausgerichteten und stark anwendungsorientierten Projektes „Bionik – Experimentierset für den Schulunterricht“ wurde eine Bewerbung ins Auge gefasst, die schließlich auch Erfolg hatte. Mithilfe der 10.000 Euro konnte somit die Umsetzung einer Printversion weiterverfolgt werden.

Im Zuge dieses finanziellen Hintergrundes wurden Druckkosten über Druckereien geprüft und Angebote kleinerer Verlage eingeholt. Das Problem des Vertriebs einschließlich Werbung und Versand ließ sich dadurch allerdings nicht zufriedenstellend lösen. Aufgrund des sehr gut ausgeprägten Vertriebsnetzes der Schulbuchverlage lag deshalb eine Zusammenarbeit mit einem solchen sehr nah. Auf der MNU-Tagung in Regensburg 2009 wurden erste Kontakte mit verschiedenen Verlagshäusern geknüpft. Weitere Treffen folgten. Die Vorstellungen des Duden-Schulbuchverlags entsprachen dabei am ehesten den Vorstellungen des Gesamtkonzeptes des Arbeitsmaterials. Es sollte eine DVD entstehen, die neben den Schüler- und Lehrerteilen auch Powerpointpräsentationen zu den jeweiligen Themen beinhalten sollte. Zusätzlich prüfte der Duden-Schulbuchverlag erstmals den Einsatz der interaktiven Whiteboard-Technik. Diese elektronischen Tafeln werden an einen Computer angeschlossen, so dass der Bildschirm für die Schüler an der Tafel sichtbar wird. Über Sensoren in der Tafel lässt sich der Computer mithilfe eines speziellen Stifts steuern. Neben der Tafel wird für diesen Einsatz eine spezielle Software benötigt.

In den folgenden Monaten wurden die einzelnen Themenkomplexe gemeinsam mit der verantwortlichen Redakteurin für Naturwissenschaften, Frau Dr. Solveig Schmitz, didaktisch und gestalterisch geprüft, überarbeitet und dem Layout angepasst.

Im Dezember 2009 fand im Deutschen Hygienemuseum Dresden eine Präsentationsveranstaltung statt, zu welcher zahlreiche Lehrer und Mitarbeiter verschiedener Institute vornehmlich der TU Dresden geladen waren. Den meisten Teilnehmern war das Projekt „Bionik – Experimentierset für den Schulunterricht“ bereits bekannt. Die Lehrer hatten teilweise bereits an den Lehrerfortbildungen teilgenommen und in ihrem Unterricht mit einigen der präsentierten Experimente eigene Erfahrungen gesammelt. Die geladenen TU-Mitarbeiter wiederum wirkten mit ihrem Wissen und ihren Tipps indirekt bei der Entstehung der DVD mit.

Anfang März 2010 erschien die DVD „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur.“ unter der ISBN-Nummer 978-3-8355-3132-1 zum

Preis von 14,95 Euro⁵¹. Sie wurde recht erfolgreich auf der Leipziger Buchmesse sowie der Kölner didacta-Messe präsentiert, so dass die Auflage von 1.000 Stück voraussichtlich durch eine spätere 2. Auflage ergänzt werden kann. Die DVD wurde außerdem im Juni 2010 mit dem Comenius-Siegel der Gesellschaft für Pädagogik und Information e.V. ausgezeichnet. Dieses Siegel wird einmal jährlich an pädagogisch, inhaltlich und gestalterisch herausragende IKT-basierte Bildungsmedien verliehen.

5.8 Ergänzende Arbeiten

Die Arbeit am Institut für Botanik umfasste weitere Aufgabenbereiche, von denen einige einen deutlichen Bezug zur Bionik aufwiesen. Ein paar ausgewählte Beispiele seien der Vollständigkeit halber hier genannt.

2008 ergab sich auf Anfrage des Sächsischen Bildungsinstituts die Möglichkeit, an der Verbesserung des Lehrplans des Naturwissenschaftlichen Profils der Jahrgänge 9 und 10 mitzuwirken. Gemeinsam mit Dr. Friedrich Ditsch vom Botanischen Institut konnten einige Veränderungen vorgenommen werden, welche seit dem Schuljahr 2008/09 wirksam sind. Der Abgrenzung zwischen nachträglicher Analogiefindung und bionischer Entwicklung wurde im einleitenden Teil eine große Wichtung gegeben. Projektorientierter Unterricht wird als wesentlicher Bestandteil des Lehr- und Lernprozesses im Profilunterricht formuliert. Deshalb steht im Hauptteil des Lernbereichs Bionik nun die Gestaltung eines Projektes im Vordergrund. Diesem Lernziel, welches die Unterscheidung zwischen Bottom-up- und Top-down-Methode beinhaltet, werden zahlreiche Bemerkungen mit Empfehlungscharakter gegenübergestellt. Solcherlei Themen- und Methodenvorschläge können von den Lehrern im Unterricht genutzt werden, er ist jedoch nicht schon im Vorfeld aufgrund des Lehrplans auf bestimmte Themen festgelegt.

Seit 2006 gibt es im Botanischen Garten der TU Dresden einen Bioniklehrpfad, der an verschiedenen Stationen auf Pflanzen aufmerksam macht, welche für bionische Entwicklungen Pate gestanden haben. In diesem Zusammenhang entstanden zwei neue Pflaster mit den Themen „Von der Blattfaltung zum Weltraum-Sonnensegel“ sowie „Optimierte Transportwege in Blättern“. Gleichzeitig wurde gemeinsam mit Dr. Friedrich Ditsch ein Arbeitsblatt entwickelt, welches für die Botanikschule des Gartens für die Bionik-Veranstaltung genutzt werden kann.

Seit 2007 werden am Institut für Botanik regelmäßig Besondere Lernleistungen (BeLL) betreut. Diese in Sachsen freiwilligen Jahresarbeiten werden von den Schülern zum Großteil selbständig angefertigt und gemäß den wissenschaftlichen Ansprüchen bearbeitet und formuliert. Ihre Bewertung kann in Sachsen zu 20 Prozent in die Prüfungsergebnisse eingehen. Die Betreuung durch den Betreuungslehrer kann durch außerschulische Betreuer ergänzt werden. Gerade die Bionik bietet hier für Schüler einige interessante Forschungsvorhaben, so dass im Rahmen der Arbeit auch BeLLs betreut wurden.

⁵¹ Das Preisgeld des BMBF-Hochschulwettbewerbs kam zu einem Großteil dem Verlag für u.a. die Finanzierung des Drucks zugute.

6 Ergebnisse der Arbeitsmaterialentwicklung

6.1 Kurze Vorstellung der Themen der Bionik-DVD

Die im März 2010 erschienene DVD „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur.“ ist über den Duden-Schulbuchverlag zu beziehen. In den folgenden sieben Unterkapiteln werden die Themen deshalb nur kurz umrissen.



Abb. 20: DVD „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur.“, 2010 erschienen im DUDEN-Schulbuchverlag; ausgezeichnet mit dem Comenius-Siegel der Gesellschaft für Pädagogik und Information e.V. für pädagogisch, inhaltlich und gestalterisch herausragende IKT-basierte Bildungsmedien.

6.1.1 Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens

Das Thema „Faltungen in Natur und Technik“ gliedert sich in ein Grundmodul und fünf Zusatzmodule. Das Grundmodul beschreibt anhand kleiner Versuche die Prinzipien von Faltungen, die man auch in der Natur wieder finden kann. Eine Origami-Faltung zum Hainbuchenblatt und eine Sonnensegel-Faltung werden vorgestellt. Beschreibungen von Knospenquerschnitten und zusätzliche Aufgaben vervollständigen diesen Teil.

Im Zusatzmodul 1 werden weitere Sonnensegel vorgestellt, die von der biologischen Beschreibung der Blattfaltung inspiriert wurden. Zusatzmodul 2 beschreibt eine Analogie zwischen einer Tracheenluftsack-Faltung und der sog. Kreslingfaltung. Im Zusatzmodul 3 werden interessante Käferflügelfaltungen dargestellt und durch Schablonen ergänzt. Zusatzmodul 4 beinhaltet Erläuterungen, Versuche und Faltschablonen zur Ananasfaltung, die Pate für einen medizinischen Stent wurde. Abschließend wird im Zusatzmodul 5 der Top-down-Entwicklungsprozess eines neuartigen, von der Biologie inspirierten Kabeldurchführungssystems nachvollzogen.

Je nach zeitlichem Rahmen können so zusätzlich zum Grundmodul ergänzende Falt-Themen bearbeitet werden. Auch Gruppenarbeit oder Gruppenpuzzle bieten sich für die Durchführung und eine daran anschließende Präsentation an.

6.1.2 Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?

Faserverbundmaterialien sind Materialien, die aus mindestens zwei Komponenten, meist einer Matrix mit darin eingebetteten Fasern, bestehen. Aufgrund des Zusammenwirkens der beiden Bestandteile mit unterschiedlichen Eigenschaften besitzen die Faserverbunde höherwertige Eigenschaften: Festigkeit und Steifigkeit können durch die Zusammensetzung erhöht bzw. variiert werden. Funktionsweise in allen Faserverbundwerkstoffen ist einerseits die Druckbelastung auf die Matrix und andererseits die Zugbelastung auf die eingebetteten Fasern. Wichtig ist hier eine gute Faser-Matrix-Bindung. Ein Problem, welches bisher nicht gelöst werden konnte, ist das Versagen der Faserverbunde ab einer bestimmten Belastung an der Grenzfläche zwischen den beiden Komponenten. Hier setzt die Suche nach einer Analogie in der Natur ein.

In dem Schülerexperiment wird mit einfachen Mitteln die Wirkungsweise von Faserverbundmaterialien erklärt. Mithilfe von dünnen „Wachsziegeln“ und verschiedenen Faserstrukturen werden Faserverbunde hergestellt und anschließend die Unterschiede im Belastungstest erfasst. Als Kontrolle dient ein Wachsziegel ohne Fasern. Die Ergebnisse werden dargestellt, ausgewertet und durch zusätzliche Aufgaben ergänzt.

Auch Pflanzensprosse wirken wie Faserverbundsysteme. Im Anschluss an das Experiment werden deshalb Querschnitte verschiedener Pflanzenarten mikroskopisch untersucht, Gradienten zwischen Grundgewebe und Leitgewebe analysiert und deren mögliches Potenzial für technische Anwendungen diskutiert.

6.1.3 Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse

Die Finray-Struktur besteht aus zwei durch Querstreben miteinander verbundenen flexiblen Außenhäuten. Bei Außendruck auf eine der Seiten lenken die Querstreben die Enden der belasteten Außenhautseite gegen die Richtung der Krafteinwirkung. Hieraus wurde Idee eines Finray-Greifers entwickelt, welcher adaptiv Gegenstände jeglicher Formen auch ohne Kraftmessensoren behutsam zu greifen vermag. Er steht damit im Gegensatz zu einem Greifer aus steifen Materialien, welcher die ganze Druckkraft auf das zu greifende Objekt ausüben würde.

Das Experimentierthema „Flossenstrahleffekt“ besteht aus vier Komponenten. Im ersten Teil wird das Phänomen am Modell untersucht und patentrechtliche Hintergründe recherchiert. Anschließend soll in einem mikroskopischen Teil das biologische Vorbild Fischflosse analysiert und dokumentiert werden. In einem zusätzlich durchführbaren anwendungsorientierten dritten Teil wird ein Greifer mit Flossenstrahleffekt hergestellt, dessen Arme sich adaptiv an verschiedene Formen anpassen können.

Aufgrund der häufigen Anwendung von Computermodellen in der modernen Forschungslandschaft ermöglicht die abschließende Beschreibung für das kostenlos im Internet herunterzuladende Programm „PHUN – 2D physics sandbox“ die Modellierung des Flossenstrahlmodells oder -greifers auf einfache Weise.

6.1.4 Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern

Um das Thema natürlicher und technischer Transportsysteme näher zu beleuchten, entstanden zwei Module. Im ersten Modul „Y-Verzweigungen“ stehen Verzweigungsstrukturen im Mittelpunkt. Die sog. Y-Verzweigungen, die man sehr häufig in natürlichen Transportbahnen findet, sind strömungsmechanischer Sicht sehr günstig. Mithilfe eines Experiments wird diese Struktur mit einer T-Struktur verglichen. Kleine Versuche und Aufgaben komplettieren die Auseinandersetzung mit dem Sachverhalt. Für Jahrgangsstufen der Sekundarstufe II bietet sich die geometrische Konstruktion des Anwendungsbeispiels FracTherm[®], welches in diesem Modul beschrieben wird, zusätzlich an.

Das zweite Modul „Netzwerke“ beschäftigt sich mit der Vernetzung der Aderstrukturen untereinander, beleuchtet deren Vorteile und stößt im Hinblick auf technische oder logistische Systeme eine Diskussion über Nutzungsmöglichkeiten der herausgearbeiteten Prinzipien an.

6.1.5 Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung

Selbstorganisationsprozesse rücken immer mehr in den Fokus verschiedener interdisziplinärer Forschungsansätze. Das umfangreiche Thema der Selbstorganisation versucht, einige dieser Aspekte aufzugreifen und von anderen musterbildenden Prozessen, die nicht auf Selbstorganisation beruhen, abzugrenzen.

Der Komplex umfasst vier Module. In dem ersten Teil wird das Schwarmverhalten untersucht und in einem Schülerversuch simuliert. Das mathematisch ausgerichtete Modul „zellulärer

Automat“ erklärt die Musterbildung auf Schneckenschalen. Im Modul „Trampelpfade“ können anhand eines Fadenmodells Modellierungen für die Planung von Fußgängerpassagen nachvollzogen werden.

Im letzten Modul werden diesen vorangegangenen Modulen zur Selbstorganisation mit dem Bildungsprozess von Sechsecken verglichen. Dieser sehr ausführlich behandelte Gegenstand umfasst neben zahlreichen Versuchen und Aufgaben auch ein Experiment zur in der Technik mittlerweile häufig verwendeten Wölbstruktur.

6.1.6 Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel

In Kerben treten häufig Kerbspannungen auf. Sind diese Spannungen sehr hoch, bilden sich Risse, die später zum Versagen des Bauteils führen. Prof. Dr. Claus Mattheck von der Universität Karlsruhe entwickelte eine Methode, dank der diese Kerbspannungen nach dem Vorbild der Natur stark minimiert werden. Dafür untersuchte er die Strukturen der während des Wachstums an Bäumen angelagerten Materialien. In seinem Buch Die verborgenen Gesteinsetze der Natur beschreibt er, wie der rechte Winkel zwischen Stamm und Erdoberfläche durch den Wurzelanlauf abgeflacht und damit entschärft wird. Diese Zugdreiecksmethode, die man auch in Astgabeln sehr gut beobachten kann, lässt sich mit einfachen Mitteln, ohne aufwendige Computerprogramme, nachvollziehen. Hier setzt das Experimentierthema „Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel“ an.

6.1.7 Joystick – beweglich wie eine Mimose

Der letzte Komplex auf der Bionik-DVD thematisiert die Funktionsweise pflanzlicher Bewegungen am Beispiel der Mimose. Voruntersuchungen fördern den Zugang zu dem Phänomen der Blattbewegungen infolge von Berührungen oder Erschütterungen. An der lebenden Pflanze werden verschiedene Reaktionen getestet und dokumentiert. Im daran anschließenden mikroskopischen Teil rückt das Blattgelenk ersten Grades in den Mittelpunkt der Untersuchung. Quer- und Längsschnitte werden angefärbt und auf Besonderheiten hin untersucht. Die Ergebnisse leiten gemeinsam mit einer Recherche zur chemischen Funktionsweise der Blattbewegung über zum Hauptteil. Ein Modell, welches den Bewegungsmechanismus nachahmt, wird hergestellt. Zusätzliche Versuche, Aufgaben und eine abschließende Diskussion zur Anwendbarkeit im technischen Bereich vervollständigen die Materialien.

6.2 Beurteilung der Aspekte zu Anforderungen und Rahmenbedingungen an die Aufgabenentwicklung im Rahmen der Arbeit

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Anforderungen und Rahmenbedingungen, an welche eine Aufgabenentwicklung geknüpft ist, theoretisch vorgestellt und die praktische Vorgehensweise, d.h. Entwicklungsprozess, Erprobung und Ergebnisse beschrieben wurden, soll an dieser Stelle eine Bewertung und Stellungnahme der einzelnen Aspekte im erarbeiteten Material vorgenommen werden.

6.2.1 Die vier Säulen der Aufgabenentwicklung

6.2.1.1 Kompetenzbereiche der nationalen Bildungsstandards

Kompetenzen sind wichtige Kriterien der Aufgabenentwicklung. Aufgabenvielfalt wiederum kann mehrere Kompetenzen gleichzeitig fördern. Aus diesem Grund wurde bei der Erarbeitung der Aufgaben versucht, innerhalb eines Themenkomplexes möglichst alle vier Kompetenzbereiche anzusprechen. Dementsprechend vielgestaltig waren die verwendeten Operatoren, die aufgrund der von Bundesland zu Bundesland variierenden Anforderungsbereiche hier ohne diese dargestellt sind⁵²:

Kompetenzbereich	Operator	Kompetenzbereich	Operator
Fachwissen	<i>Beschreiben</i>		<i>Protokollieren</i>
	<i>Definieren</i>		<i>Sammeln</i>
	<i>Erklären</i>		<i>Untersuchen</i>
	<i>Nennen</i>		<i>Variieren</i>
Erkenntnis- gewinnung	<i>Beobachten</i>	Kommunikation	<i>Beschriften</i>
	<i>Berechnen</i>		<i>Darstellen</i>
	<i>Betrachten</i>		<i>Einordnen</i>
	<i>Dokumentieren</i>		<i>Informieren</i>
	<i>Entwickeln</i>		<i>Recherchieren</i>
	<i>Erarbeiten</i>		<i>Skizzieren</i>
	<i>Ergänzen</i>		<i>Zeichnen</i>
	<i>Konstruieren</i>		Bewertung
	<i>Messen</i>	<i>Interpretieren</i>	
	<i>Mikroskopieren</i>	<i>Vergleichen</i>	

Tab. 13: Operatoren, die im vorliegenden Bionik-Experimentierset verwendet wurden, und deren Anforderungsbereiche entsprechend den einheitlichen Prüfungsanforderungen (KMK 2004b).

Beispielhaft soll anhand der Aufgaben des Themas 6 „Kerbstrukturen“ die Bandbreite an Kompetenzen vorgestellt werden, die durch die Auseinandersetzung mit ihnen unterstützt werden kann⁵³. Grundlage dafür sind die nationalen Bildungsstandards der Fächer Biologie, Physik und Chemie für den Mittleren Schulabschluss (KMK 2004). Rot markiert sind die Ziffern des Fachs Physik, grün markiert die Ziffern des Fachs Biologie⁵⁴. Die Förderung von Kompetenzen mithilfe der anderen Experimentierthemen ist im Anhang (A4) aufgelistet. Im Hauptexperiment (Aufgabe 1), welches in die Thematik einleitet, werden Modelle mit unterschiedlichen Kerbstrukturen hergestellt. Diese werden auf ihre Belastbarkeit hin untersucht und bewertet. Aufgrund der rein physikalischen Ausrichtung dieses Aufgabenteils werden hier die Standards für das Fach Physik verwendet. Im Kompetenzbereich Fach-

⁵² Entsprechend den jeweiligen Bundesländern existieren Operatorenlisten, teils mit, teils ohne Zuordnung in Anforderungsbereiche. In den einheitlichen Prüfungsanforderungen für den Fachbereich Biologie (KMK 2004b) erfolgte keine Aufschlüsselung nach Anforderungsbereichen.

⁵³ Um fest zu definieren, ob Kompetenzen tatsächlich durch vorliegende Aufgaben gefördert werden, müssen drei Begutachter unabhängig voneinander die Aufgaben bewerten. Da dies für die vorliegende Arbeit nicht geschah, gelten die folgenden Beschreibungen lediglich als Empfehlungen für Kompetenzeinschätzungen.

⁵⁴ Die blau markierten Ziffern beziehen sich auf die Bildungsstandards des Unterrichtsfachs Chemie, sind im vorgestellten Beispiel aber nicht vertreten.

wissen entspricht die Aufgabe der Kompetenz F 3 („Die Schüler nutzen ihre Kenntnisse über physikalische Grundprinzipien, Größenordnungen, Messvorschriften, Naturkonstanten sowie einfachen physikalischen Gesetzen zur Lösung von Aufgaben und Problemen.“). Im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung werden mit dieser Aufgabe gleich mehrere Kompetenzen gefördert: „Die Schüler stellen einfache Hypothesen auf“ (E 6), „führen einfache Experimente nach Anleitung durch und werten sie aus“ (E 7), „planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse“ (E 8), „werten die gewonnenen Daten aus“ (E 9) und „beurteilen die Gültigkeit empirischer Ergebnisse und deren Verallgemeinerung“ (E 10). Aufgrund der empfohlenen Gruppenarbeit bzw. der Arbeit im Team kann auch die Kompetenz K 1 aus den Standards für die Biologie angesprochen werden („Schüler kommunizieren und argumentieren in verschiedenen Sozialformen.“). In Aufgabe 2 wenden die Schüler die vorher gewonnenen Ergebnisse in einem neuen Kontext an – dem Anwendungsbeispiel der bionischen Schraube (F 4) und vergleichen und bewerten diese technische Lösung unter der Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte (B 2).

Seite/ Aufgaben-Nr.	Aufgabe	Kompetenzbereich			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Untersuchung der Belastbarkeit von Kerbstrukturen im Experiment. Experimentvorbereitung, -durchführung und -auswertung.	3	6 7 8 9 10	1	
3: Nr.2	Vergleich der bionischen Schraube mit einer herkömmlichen Schraube. Diskussion im Zusammenhang mit den vorangegangenen Ergebnissen aus Aufgabe 1	4			2
4: Nr.3	Konstruktion der Zugdreiecksmethode	2.4	2		
5: Nr.4	Zugdreiecke im Rosenstachel	2.4	2		
5: Nr.5	Versuch: Abriss eines eingeschnittenen Papiers	4		1 5	
5: Nr.6	Formulierung der Entwicklungsschritte vom biologischen Vorbild zur bionischen Schraube	4	7		
6: Nr.7	Recherche nach Anwendungsgebieten dieser neuen Entwicklung			3	2
6: Nr.8	Beurteilung der Umweltfreundlichkeit dieser Zugdreiecksmethode	2.6			7 2
6: Nr.9	Suche nach Sollbruchstellen und Präsentation vor Mitschülern	4		7	
7: Nr.10	Zusatzaufgabe: Zugdreiecke mit unterschiedlichen Belastungen auf den Astarmen	2.4 3	2		

Tab. 14: Aufgaben des Themas 6 Schülerteil „Kerbstrukturen“ und zugehörige Kompetenzen nach den Bildungsstandards für die Fächer Biologie (grün), Physik (rot) und Chemie (blau) entsprechend der Kompetenzbereiche Fachwissen (F), Erkenntnisgewinnung (E), Kommunikation (K) und Bewertung (B).

Die auf das Experiment folgenden zwei Aufgaben beziehen sich aufgrund ihrer biologischen Grundlage auf die Standards des Fachs Biologie. Es werden im weitesten Sinne *Struktur und Funktion von Organen und Organsystemen*, fasst man die Wachstumsstruktur des Baumstammes hier mit hinein, *beschrieben und erklärt* (F 2.4). Aufgrund dieser

morphologischen Besonderheit wird auch die Kompetenz E 2 berührt: „Die Schüler beschreiben und vergleichen Anatomie und Morphologie von Organismen.“

Besonders hervorzuheben bleibt Aufgabe 8, in welcher die Umweltfreundlichkeit der neuen Methode beurteilen soll. Ausgehend vom Ausgangspunkt der Diskussion, nämlich der Angepasstheit der Bäume an mechanische Belastungen (F 2.6 „Schüler beschreiben und erklären Angepasstheit ausgewählter Organismen an die Umwelt“), vergleichen und bewerten die Schüler alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte (B 2).

Auch ohne auf alle Aufgaben im Einzelnen eingegangen zu sein, wird deutlich, dass die entwickelten Aufgaben die gesamten vier Kompetenzbereiche abdecken. Neben der Vermittlung von Fachwissen liegt ein großer Fokus auf dem Prozess der Erkenntnisgewinnung. Aufgrund der Arbeit in Gruppen sowie der Veranschaulichung der Messergebnisse, besonders auch durch Präsentationen, werden kommunikative und soziale Kompetenzen gefördert. An dafür geeigneten Stellen sollen die behandelten Sachverhalte auch diskutiert und bewertet werden.

An den Standards für die Kompetenzbereiche des Faches Biologie orientiert, entstand im Rahmen dieser Arbeit ein Entwurf für die Definition von Kompetenzbereichen im Arbeitsbereich Bionik.

<p>Kompetenzbereich Fachwissen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erwerb grundlegender Kenntnisse bionischer Entwicklungen sowie deren historische Einordnung - Erwerb von Wissen zur Erschließung der Zusammenhänge in Natur und Technik, z.B. Beschreibung/Erklärung von wiederkehrenden Strukturen und Funktionen
<p>Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschreibung/Vergleich von Anatomie und Morphologie von Organismen - eigenständige Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten - Erörterung von Tragweite und Grenzen der Untersuchungsanlage, -schritte und -ergebnisse - Anwendung von Modellen zur Veranschaulichung und Abstrahierung - Beurteilung der Aussagekraft von Modellen (Fehlerdiskussion) - Aneignung interdisziplinärer Arbeitsweisen - Übertragung des gelernten Wissens in einen neuen Kontext
<p>Kompetenzbereich Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschreibung und Erklärung von naturgetreuen und technischen Abbildungen und Zeichnungen - Darstellung und Auswertung von naturwissenschaftlichen und technischen Sachverhalten in Tabellen, Diagrammen, Karten, Grafiken - Auswertung von Informationen zu biologischen und technischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen - Erläuterung bionischer Entwicklungen und Inbeziehungsetzung mit Alltagsvorstellungen - Interaktionen innerhalb einer Arbeitsgruppe, Verantwortung übernehmen
<p>Kompetenzbereich Bewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unterscheidung beschreibender (naturwissenschaftlicher) und normativer (ethischer) Aussagen - Einschätzung der Anwendungspotentiale bionischer Entwicklungen - Beschreibung/Beurteilung von Erkenntnissen und Methoden zu aktuellen Bezügen unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte - Erörterung von Handlungsoptionen einer umwelt- und naturverträglichen Teilhabe im Sinne der Nachhaltigkeit - Begründete Positionierung und Reflexion der eigenen Haltung zu einem Thema

Tab. 15: Entwurf für die Definition von Kompetenzbereichen im Arbeitsbereich Bionik

6.2.1.2 inhaltliche und lebensweltliche Kontexte

Die vier in 4.1.1 beschriebenen Kontextbereiche nach HAMMANN (2008) finden auch im vorliegenden Bionik-Arbeitsmaterial Eingang. Zweifellos steht der Kontextbereich „Technologie“ im Vordergrund, denn die untersuchten Phänomene dienen vorrangig der Entwicklung innovativer Technologien. Doch aufgrund der Betrachtung und Diskussion hinsichtlich der Umweltverträglichkeit werden ebenso Aspekte des Kontextbereichs „Erde und Umwelt“ tangiert. Die sieben Themen stehen gleichzeitig auch im Kontext der Wissensgenese, denn neben den fachlichen Hintergründen werden zusätzlich die historischen Entwicklungsprozesse vorgestellt. Neben inhaltlichen spielen auch die lebensweltlichen Kontexte eine wichtige Rolle für die Aufgabenentwicklung. Die der Zielgruppe dieses Arbeitsmaterials entsprechenden Interessen sind in Kapitel 4.1.2 dargestellt und werden in Kapitel 6.2.2 hinsichtlich des Einflusses auf die Aufgabenentwicklung diskutiert.

6.2.1.3 Basiskonzepte und ihre Vernetzung

Die Inhalte der sieben entstandenen Experimentierthemen der DVD nehmen Bezug auf die in den Nationalen Bildungsstandards für den Mittleren Abschluss der Fächer Biologie, Physik und Chemie definierten Basiskonzepte, die im Kompetenzbereich Fachwissen integriert sind. Im Folgenden wird in Form einer Tabelle aufgezeigt, inwieweit die Themen mit den Basiskonzepten dieser Fächer korrelieren. Die Hauptschwerpunkte sind in der Biologie und der Physik zu finden.

Basiskonzept Biologie	Thema im Experiment
Struktur und Funktion	Faltstrukturen und ihre Funktionen (1) Aufbau von Pflanzensprossgeweben und deren mechanische Funktion (2) Aufbau und Funktion der Flossen und Flossenstrahlen (3) Vernetzungs- und Verzweigungsstrukturen in Blättern (4) Fraktale Strukturen in Natur und Mathematik (4) Struktur von Trampelpfaden als Ergebnis von Selbstorganisationsprozessen (5) Struktur und Entstehung von Sechsecken/Bienenwaben (5) Struktur und Funktion von Materialanlagerungen beim Wachstum von Bäumen (6) Strukturelle Merkmale der Mimosengelenke und deren Funktion (7)
Reproduktion	-
Kompartimentierung	Transportbewegungen und Versorgungssicherung in Pflanzenteilen (4) Schwärme in ihrer Umwelt (5)
Steuerung und Regelung	Dynamische Prozesse in Schwärmen und Steuerungsmechanismen für technische Systeme (5) Steuerung von Blattbewegungsmechanismen der Mimose (7)
Stoff- und Energieumwandlung	-
Information und Kommunikation	Kommunikation zwischen den Individuen eines Schwarms (5)
Variabilität und Anpasstheit	Knospen als Anpasstheit an klimatische Bedingungen (1) Graduelle Übergänge in Pflanzengewebe als Anpassung an mechanische Belastungen (2) Variabilität von Blattaderverzweigungen (4) An mechanische Belastungen angepasste Kerbstrukturen (6)
Geschichte und Verwandtschaft	Evolutionprozesse ermöglichen Optimierung von Anpasstheit (1-7)

Tab. 16: Basiskonzepte Biologie aus KMK 2004b. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.

Basiskonzept Physik	Thema im Experiment
Materie	Ordnungs- und Musterbildungsprozesse (5) Kerbstrukturen und ihre Kerbspannungen (6)
Systeme	Druckübertragung durch Strukturverformung (3) Kraftwandler im Mimosenmodell (7)
Wechselwirkungen	Funktionsweise von Faserverbundmaterialien (2) Strömungsoptimierung im Wasserdruck-Experiment (4)
Energie	Energiesparende Faltungen durch Prinzip der gekrümmten Falte (1) Anwendungsbereich Solarabsorber mit strömungsoptimierter Kanalstruktur (4)

Tab. 17: Basiskonzepte Physik aus KMK 2004d. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.

Basiskonzept Chemie	Thema im Experiment
Stoff-Teilchen-Beziehungen	Kaliumionen-Austausch bei Osmose in Mimosenblatt-Bewegung (7)
Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	Faserverbunde und die Eigenschaften ihrer Komponenten (2)
chemische Reaktion	-
energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen	-

Tab. 18: Basiskonzepte Chemie aus KMK 2004c. In Klammern die Nummer des Experiments entsprechend der Reihenfolge auf der DVD: (1) Faltungen, (2) Faserverbundmaterialien, (3) Flossenstrahleffekt, (4) Transportsysteme, (5) Selbstorganisation, (6) Kerbstrukturen, (7) Mimose.

Die Bionik kann aufgrund ihrer stark ausgeprägten Interdisziplinarität einen großen Beitrag zur horizontalen Vernetzung verschiedener Fachgebiete leisten. Neben vordergründig naturwissenschaftlichen Fächern können auch Themen aus anderen Fachrichtungen in die Arbeit mit einfließen und die Mehrperspektivität fördern. Wirtschaftliche wie ethische und sogar künstlerische Aspekte finden so Beachtung.

Doch auch die vertikale Vernetzung der naturwissenschaftlichen Fächer kann dank ebendieser fächerverbindenden Denkweise unterstützt werden, denn meist wird für die Bearbeitung der Themen Vorwissen verschiedener Fachbereiche benötigt. Das Wiederholen auch länger zurückliegender Stoffe kann so sehr gut in den Unterricht integriert werden. Dieses kumulative Lernen trägt dazu bei, den Schülern zu verdeutlichen, wie die Lerninhalte aufeinander aufbauen, um schließlich komplexe Sachverhalte verstehen zu können. Der Kompetenzzuwachs wird für den Schüler selbst erfahrbar.

6.2.1.4 Einbindung der affektiven Dimension

Auch die affektiven Aspekte des Lernprozesses nahmen bei der Entwicklung des Bionik-Sets Einfluss. Bei der Entwicklung von Lern- und Arbeitsmaterial spielt dieser jedoch, bis auf einzelne beeinflussbare Faktoren, keine vordergründige Rolle. So sollten Lerninhalte in für die Kinder und Jugendlichen lebensweltliche Kontexte gestellt werden. Neben dieser inhaltlichen Dimension, welche sehr altersklassenabhängig ist, spielt der Aspekt der Selbstbestimmung eine entscheidende Rolle. Daher wurde versucht, wo möglich, zu einem Thema jeweils verschiedene Module zu entwickeln und unterschiedliche Aufgabenformate zu verwenden.

6.2.2 Interesse an den Naturwissenschaften

Das Sächsische Bildungsinstitut formuliert in den Lehrplänen für die fächerverbindenden Profile mehrere Zielvorgaben. So auch: „Die Profile eröffnen verschiedene Zugänge zur Welt und kommen den Neigungen, Interessen und Fähigkeiten der Schüler entgegen. Diese werden genutzt, vertieft und gefördert.“ Die Interessen der unterschiedlichen Jahrgänge spielen für die Lehrplanentwicklung also auch eine zumindest formal ausformulierte Rolle.

In Kapitel 4.1.2 wird ausführlich beschrieben, welche Interessen Schüler besitzen, die für die vorliegende Arbeit als Zielgruppe definiert wurden. Diese Ausgangssituation, besonders hinsichtlich des Desinteresses gegenüber der Botanik könnte man für die Entwicklung von Arbeitsmaterialien zur fächerverbindenden Arbeitsweise Bionik als ernüchternd werten – oder aber als Chance. Bionik gilt unter anderem aufgrund ihrer starken Präsenz in den Medien bei den Schülern als sehr beliebt (vgl. Kap. 8.3.2 „Lehrerinterviews“). Sie kann deshalb durchaus eine wichtige Schlüsselrolle in der Vermittlung naturwissenschaftlicher, und besonders auch botanischer Themen einnehmen. Pflanzen weisen nicht nur zahlreiche Wirkmechanismen auf, die für die Technik interessant sind, sie sind im Rahmen des Schulunterrichts auch deutlich besser untersuchbar als zoologische Untersuchungsobjekte. Die Vermittlung sonst eher unbeliebter Themen innerhalb einer die Schüler faszinierenden Thematik kann damit als eines der Ziele der erstellten Arbeitsmaterialien „Bionik“ definiert werden.

Verschiedene Gründe könnten für das starke Interesse der Schüler an der Bionik verantwortlich sein. Wie in Kapitel 4.1.2 deutlich wird, sind Mädchen wie Jungen an Kontexten interessiert, die „Spektakuläres“ oder „Wunder“ thematisieren. Besonders für Jungen sind außerdem Inhalte der Physik, Technik und Chemie sehr interessant, für Mädchen dagegen Themen der Humanbiologie.

Die Bionik verbindet aufgrund ihrer zwingend notwendigen fächerverbindenden Arbeitsweise nicht nur naturwissenschaftliche Fächer miteinander und stellt Verbindungen zwischen sonst getrennt voneinander betrachteten Prinzipien in Biologie, Physik und Chemie her, sie erweitert das Spektrum auch um wirtschaftliche wie ethische Aspekte. Die Anwendungsnähe bionischer Arbeit spielt dabei für die Begeisterung der Schüler die wohl wichtigste Rolle. Für den Mathematikunterricht ist die Erfahrung ihrer Nutzbarkeit in Alltagssituationen bereits allgemein anerkanntes Ziel des Unterrichts. Trotzdem ist die Anwendungsorientierung im naturwissenschaftlichen Fachunterricht ein viel zu oft vernachlässigter Faktor, denn Inhalte werden meist losgelöst von ihren Ursprüngen oder Nutzungen betrachtet. Derweil bieten sich viele Gelegenheiten, Unterricht anwendungsnäher zu gestalten: Im Biologieunterricht mit den Themen Medizin und Biotechnologie, in der Mathematik mit Themen zu Verkehr, Population, Umwelt, Sport und Wirtschaft, im Physikunterricht mit Phänomenen des Alltags und der Erklärung der Funktionsweise technische Geräte oder in der Chemie beispielsweise mit einer Auseinandersetzung mit wirtschaftlichen Aspekten chemischer Produkte wie Pigmenten.

Mit den Inhalten des Lernbereichs Bionik werden zwangsläufig Anwendungsgebiete vorgestellt, die oft die Lebens- oder zumindest die Vorstellungswelt der Schüler tangieren. Technische Innovationen wie entfaltbare Sonnensegel oder medizinische Stents sind nachvollziehbar und vorstellbar. Transportprobleme mit dem Gepäck auf dem Flughafen hat beinahe jeder schon einmal erlebt, so dass das Lösungssuchen in der Natur auch dem

Schüler den Sinn der Analogiesuche verdeutlicht, ganz zu schweigen von dem Sinn einer erhöhten Stabilität orthopädischer Schrauben, deren Kerbstrukturen nach dem Vorbild der Natur konstruiert sind.

6.2.3 Deduktiv-hypothetischer Erkenntnisweg und der geregelte Unterrichtskreislauf

Die Erkenntnisse und Vorschläge des Konzeptes „geregelter Unterrichtskreislauf“ von PÜTZ (2010) flossen so weit wie möglich in die Erarbeitung der Arbeitsmaterialien ein. Am Beispiel des Themas 6 „Kerbstrukturen“ soll das Vorgehen erläutert werden.

Im Schülerteil des Experimentierthemas „Kerben – bruchsicher wie eine Astgabel“ wird anfangs die technische Innovation der bionisch entwickelten orthopädischen Schraube in ihrem Kontext beleuchtet. Ihre im Vergleich mit normalen orthopädischen Schrauben viel höhere Belastbarkeit dient als „anchored instruction“, mit der das Interesse möglichst vieler Schüler geweckt werden soll. Nun werden Hypothesen formuliert und das experimentelle Vorgehen vorbereitet und durchgeführt. Mithilfe der Arbeitsblätter werden die Ergebnisse dokumentiert und grafisch aufgearbeitet, so dass sie von den verschiedenen Arbeitsgruppen anschließend miteinander verglichen werden können. Dabei erfolgt gleichzeitig eine Reflexion über die zu Beginn definierten Hypothesen. Da tatsächlich die neu entwickelte Kerbstruktur den anderen bislang auch in der Technik verwendeten weit überlegen ist, stellt sich nun die Frage nach der Konstruktion dieser Kerbstruktur. Diese wird nun in einem neuen Unterrichtskreislauf beleuchtet. Als Anker stehen hier der Baum und seine mechanischen Belastungen im Mittelpunkt. Die geometrische Konstruktion wird erläutert, vom Schüler selbstständig durchgeführt und bei der Analyse des Rosenstachels angewendet. Indirekt führt diese Beschäftigung hin zu den darauffolgenden Aufgaben, die sich im Rahmen von Recherche- und Diskussionsaufträgen mit den Anwendungsgebieten der neu entwickelten Zugdreieckmethode sowie der Umweltfreundlichkeit solcher Produkte auseinandersetzen und den Themenkomplex abschließen. Eine ähnliche Vorgehensweise wird auch für das „Schlauchexperiment“ im Thema 4 Transportsysteme gewählt. Hypothesenbildung, Erprobung, Messung und Diskussion der physikalischen Grundlagen können in mehreren Lernzyklen erfolgen. Der Faktor Zeit spielt jedoch für diese didaktische Vorgehensweise die entscheidende Rolle.

Auch in den anderen Themenkomplexen wurde versucht, zu Beginn einen Anker zu formulieren, der die Schüler motivieren soll, sich mit dem Thema intensiv auseinanderzusetzen. Die deduktiv-hypothetische Herangehensweise zur Lösung des Problems findet in der experimentellen Bearbeitung Beachtung. Arbeitsblätter ermöglichen vergleichbare Ergebnisdarstellungen und begleiten den Schüler bei seiner möglichst selbständigen Arbeit.

6.2.4 Didaktische Reduktion und Rekonstruktion

Die sieben Themenkomplexe, die in der vorliegenden DVD behandelt werden, beschäftigen sich mit teilweise fachlich sehr speziellen Arbeitsbereichen der naturwissenschaftlichen wie technischen Entwicklungsbranche. Oft tangieren die darin angesprochenen Phänomene die Lehrpläne und Rahmenrichtlinien der Bundesländer nur marginal. Sie bauen jedoch unbedingt auf den Inhalten der entsprechenden Fächer auf. Trotzdem mussten die Themengebiete quantitativ wie qualitativ eine didaktische Reduktion durchlaufen. In das sehr umfangreiche Thema „Faltungen“ beispielsweise hätten durchaus noch zusätzliche Module zu weiteren Faltstrukturen und -modellen in der Natur integriert werden können, darauf wurde jedoch im Rahmen einer quantitativen Reduktion verzichtet. Unter Umständen hätte auch auf das Modul 2 „Kreslingfaltung“ verzichtet werden können, wurde schließlich aber doch aufgenommen, um besonders interessierten Schülern weitere Faltungen vorzustellen, mit denen sie selbständig Ideen entwickeln können⁵⁵. So einfach das Thema Faltungen auf den ersten Blick erscheint, so steckt doch ein nicht geringer Theorieteil dahinter. Diesen den Schülern verständlich und vor allem anschaulich darzubieten war Ziel der qualitativen Reduktion. Neben dem Verzicht auf für den Schüler nicht relevante Fachtermini wurden einige theoretische Grundlagen nur im Lehrerteil ausführlich betrachtet, so dass der Lehrer entsprechend dem Wissenstand und der Altersklasse der Schüler zusätzlich darauf zurückgreifen konnte.

WEINBERGS Aussage (1975), Reduktionen unbedingt mit einem Fachmann des entsprechenden Sachgebiets durchzuführen, um die Gesetzmäßigkeiten der Aussagen nicht zu verändern, erklärt, warum während der Erarbeitung der hier vorliegenden Experimentierthemen zahlreiche Rücksprachen mit Experten geführt wurden. Allerdings muss hier einschränkend angefügt werden, dass einige Fachexperten, die sich in ihrer Forschungsarbeit einem Thema sehr intensiv widmen, oft nicht in der Lage sind, ihr hochkomplexes Thema tatsächlich mit einfachen Worten kurz und präzise zu erklären. Diese Schwierigkeit zu bewältigen und akzeptable Kompromisse zu finden, war deshalb eines der Hauptarbeitsfelder bei der Erarbeitung der Schülermaterialien zur vorliegenden DVD.

Um das Modell der didaktischen Rekonstruktion anhand eines konkreten Beispiels zu erläutern, wird das Thema Faltungen mithilfe des Modells nach DUIT (2004) analysiert. Ausgehend von dem Thema werden zuerst die Ziele beschrieben, die bei der Erarbeitung des Sachverhalts im Vordergrund stehen sollen. Anschließend werden die wichtigen elementaren Grundideen skizziert und Schülervorstellungen wie Schülerinteresse am Thema berücksichtigt, um schließlich die Sachstruktur für den Unterricht zu entwerfen.

Das Thema Faltungen dient hier, wie die anderen Themen auch, vorsätzlich als ein Beispiel zur Erläuterung der Arbeitsweise Bionik und deren Interdisziplinarität wie Aktualität. Diese Aspekte werden deshalb auch als vorrangiges Ziel definiert. Um in das Thema einzuführen, sind drei Grundprinzipien elementar und dienen gemeinsam mit den Schülervorstellungen und -interessen als Basis für die Entwicklung der Unterrichtssachstruktur.

⁵⁵ Diese Ausweitung des Inhalts wird insbesondere durch die Veröffentlichung auf einer DVD ermöglicht. Eine Printversion hätte eine deutlich stärkere Beschränkung des Inhalts zur Folge gehabt.

Die Entfaltungsmechanismen, die mithilfe der Origami-Faltmethode erarbeitet werden sollen, begeistern die Schüler und erlauben damit auch eine Überarbeitung teilweise falscher Schülervorstellungen.

Um Schülervorstellungen zu erfassen, welche mit den Vorstellungen der Wissenschaftler verglichen werden können, gibt es zahlreiche Methoden. Aufgrund des Arbeitsschwerpunkts auf der Erarbeitung der Bionik-Arbeitsmaterialien für Schüler und Lehrer konnte dieser Aspekt in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht vertieft werden. Mithilfe von Schülerfragebögen erfolgte nach Durchführung der Experimente eine Einschätzung durch die Schüler, die aber aufgrund des dafür notwendigen Umfangs kaum auf die Schülervorstellungen eingingen.

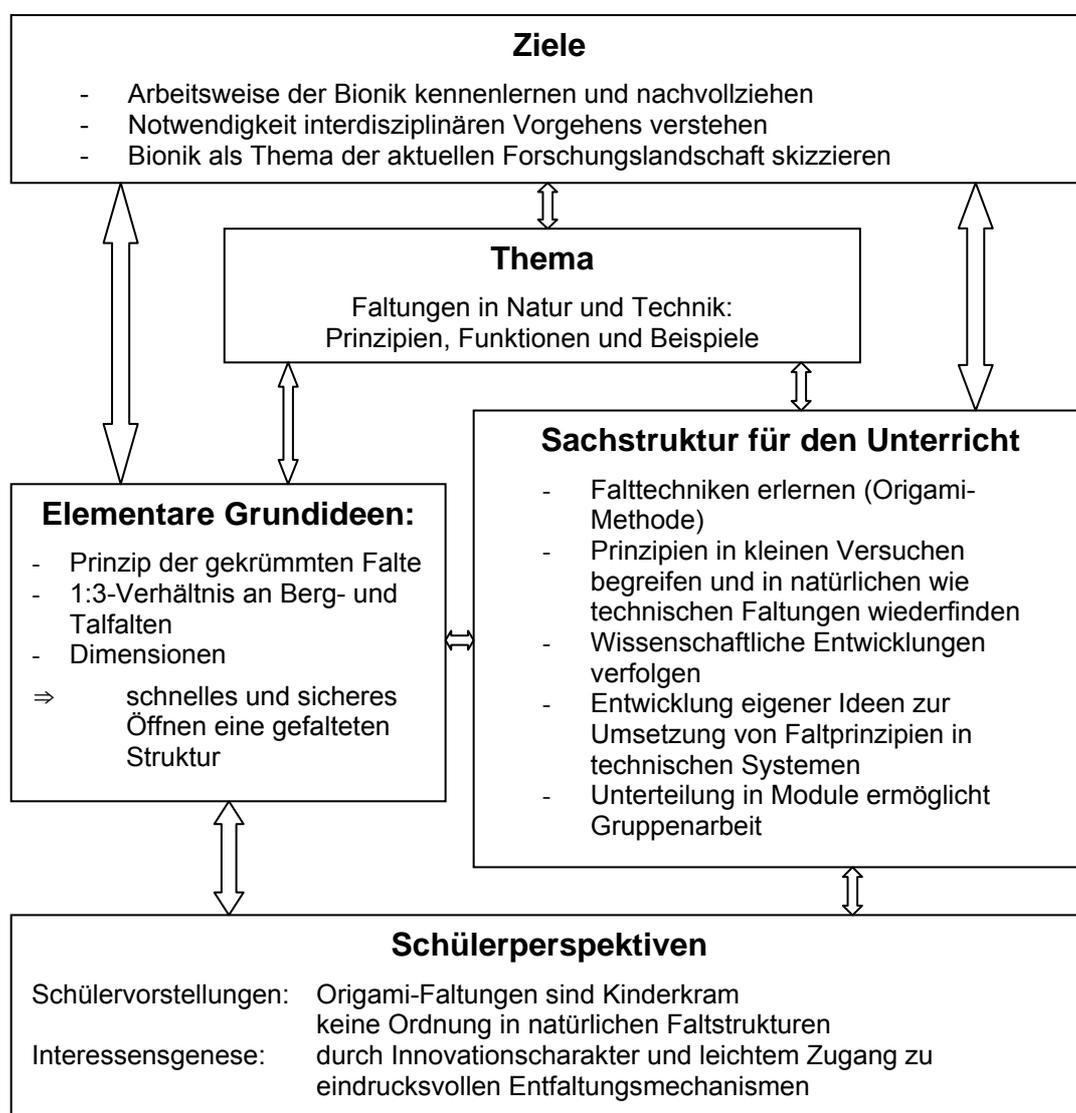


Abb. 21: Didaktische Rekonstruktion für das Thema Faltungen nach dem Modell von DUIT (2004).

6.2.5 Kontrolle der Lesbarkeit

Um die Verständlichkeit der Texte formal zu überprüfen, wurden die Schüler- und Lehrermaterialien aller sieben Themenkomplexe hinsichtlich Satzlänge, Silbenanzahl und Reading Ease-Index analysiert und miteinander verglichen. Pro Thema flossen 30 Sätze in die Analyse ein.

1. Satzlänge

Die durchschnittliche Anzahl der Wörter in einem Satz variiert in mehrerer Hinsicht deutlich. So gibt es Unterschiede zwischen Lehrer- und Schülermaterialien, zwischen den unterschiedlichen Themen und auch innerhalb der 30 ausgewählten Sätze eines Themas.

Im Lehrerteil liegt die durchschnittliche Wortanzahl bei 16,4, im Schülerteil dagegen bei 13,7, einem Unterschied von 2,7 Wörtern pro Satz.

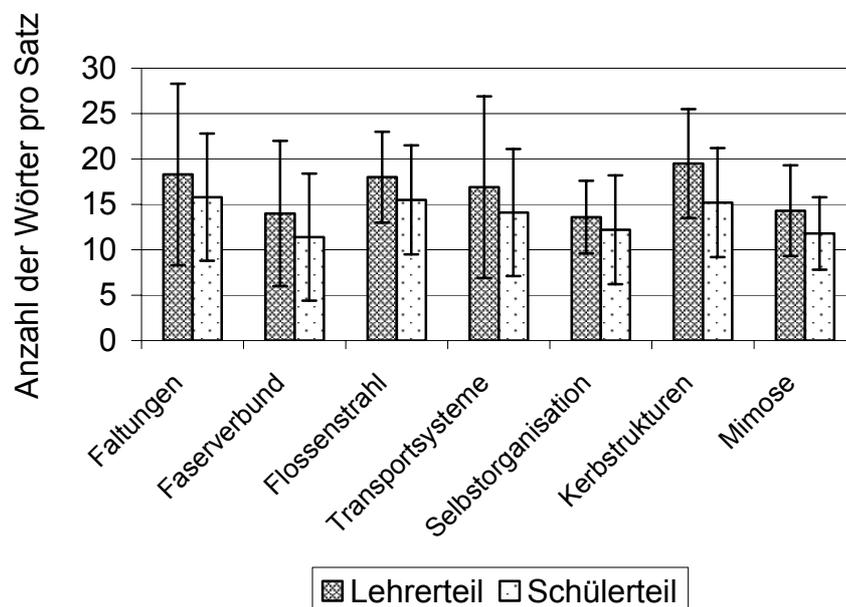


Abb. 22: Darstellung der durchschnittlichen Wortanzahl pro Satz entsprechend den sieben Themen und aufgeteilt in Lehrer- und Schülermaterial. Skala nach MIHM (1973).

Vergleicht man nun die einzelnen Themen des Schülerteils miteinander, so wird deutlich, dass es auch hier eine Varianz gibt. Im Thema „Faltungen in Natur und Technik“ werden durchschnittlich 15,8 Wörter pro Satz, im Thema „Faserverbund“ dagegen nur 11,4 Wörter gezählt – eine Differenz von 4,4 Wörtern zwischen maximalem und minimalem Wert. Im Lehrermaterial steht das Thema „Kerbstrukturen“ mit der maximalen durchschnittlichen Wörteranzahl von 19,5 pro Satz dem Thema „Selbstorganisation“ mit dem geringsten Wert 13,6 gegenüber – wiederum eine deutliche Differenz von 5,9.

Für die Darstellung der Unterschiede innerhalb eines Themas soll stellvertretend der Komplex „Faltungen in Natur und Technik“ näher betrachtet werden. Auch hier variiert die Anzahl der Wörter merklich. Die maximale Wortanzahl liegt im Schülerteil bei 29, gegenüber einer minimalen Anzahl von 7. Im Lehrerteil besitzt der längste Satz sogar 42 Wörter, der kürzeste lediglich 5. Abbildung 23 verdeutlicht die Verteilung der untersuchten Sätze inner-

halb von definierten Gruppen zur Wörteranzahl. Fast die Hälfte der analysierten Sätze des Schülerteils besitzen 11-20 Wörter. Auch im Lehrermaterial ist diese Gruppe am stärksten vertreten. Die weitere Verteilung unterscheidet sich jedoch. Hervorzuheben bleibt die Anzahl der Sätze mit über 30 Wörtern pro Satz im Lehrerteil (4), während im Schülerteil kein Satz mehr als 29 Wörter besitzt.

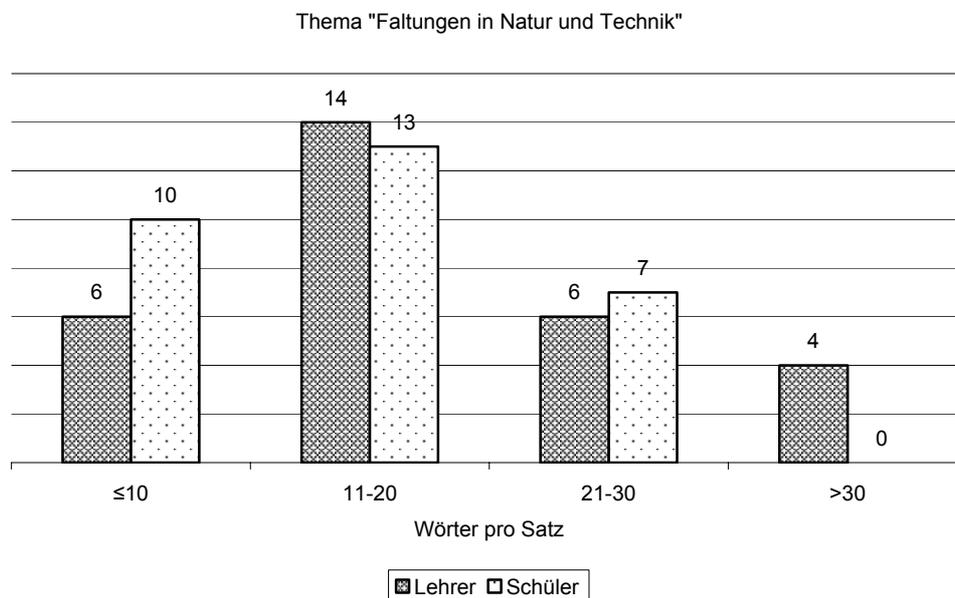


Abb. 23: Exemplarische Darstellung der Satzanzahl mit einer bestimmten Anzahl an Wörtern anhand des Experiments „Faltungen in Natur und Technik“, aufgeteilt in Lehre Lehrer- und Schülermaterial.

2. mittlere Silbenanzahl

Die mittlere Silbenanzahl bestimmt man durch den Quotienten aus der Silbenanzahl eines Satzes durch die Wortanzahl desselben. In der Literatur wird für höhere Klassenstufen ein Quotient von 1,7 bis 2,0 angegeben, um eine gute Textverständlichkeit zu erreichen (BERCK 1999).

Der durchschnittliche Quotient aller analysierten Sätze des Schülermaterials beträgt 1,97, der des Lehrerteils dagegen 2,15. Auch hier unterliegen die Ergebnisse der einzelnen Themen starken Schwankungen. Das Thema „Mimose“ weist mit 1,8 den niedrigsten Quotienten im Schülerteil, das Thema „Faserverbund“ den höchsten mit 2,07 auf. Im Lehrermaterial erreicht dieses Thema mit 2,03 wiederum den niedrigsten Wert, das Thema „Transportsysteme“ mit 2,28 den höchsten.

Einzelne, meist besonders kurze Sätze besitzen extrem hohe Werte. Hier ein Beispiel aus dem Schülerteil des Themas „Faserverbunde“: „Die Fasern übernehmen Zugbelastungen.“ – Vier Wörter stehen 12 Silben gegenüber – der Quotient beträgt deshalb 3. Auch Fachworte wie *Selbstorganisation* oder *Temperaturänderung* tragen aufgrund ihrer hohen Silbenanzahl zu einem besonders hohen Wert bei. Insgesamt jedoch besitzen die Texte des Schülerteils Silbenanzahlen, die eine gute Textverständlichkeit ermöglichen.

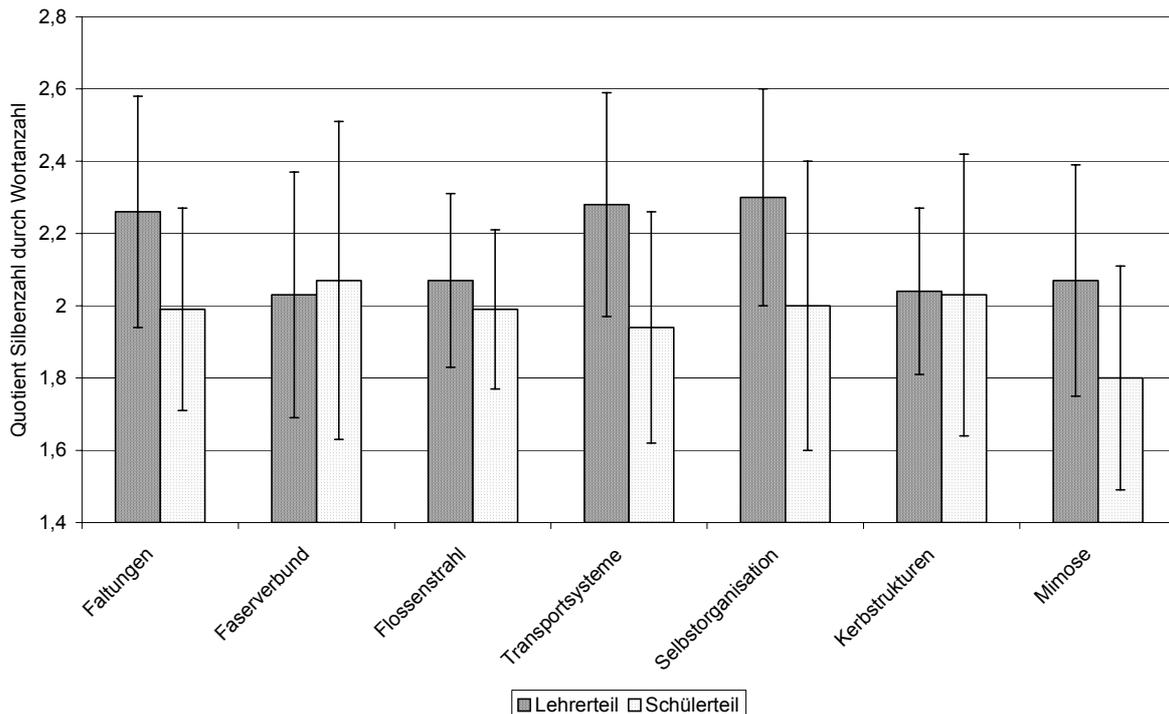


Abb. 24: Varianz der mittleren Silbenanzahl aller sieben Themenkomplexe, Lehrer- und Schülermaterial.

3. Reading Ease-Index

Die Flesch-Skala schlüsselt die Verständlichkeit von Texten hinsichtlich ihrer Zielgruppen auf. Tabelle 19 stellt die verwendeten Flesch-Werte den äquivalent verwendeten Mihm-Werten gegenüber, stellt die jeweiligen Schwierigkeitsgrade dar und listet auf, welche Texte beispielhaft diesen Schwierigkeitsgraden entsprechen.

Flesch-Wert	Mihm-Wert	Schwierigkeitsgrad	Typischer Text
0 bis 30	-20 bis +10	sehr schwer	Amtsdeutsch, wiss. Abhandlungen
31 bis 50	+11 bis 30	schwierig	Fachliteratur
51 bis 60	31 bis 40	anspruchsvoll	Sachbuch
61 bis 70	41 bis 50	normal	Roman
71 bis 80	51 bis 60	einfach	Unterhaltungsliteratur
81 bis 90	61 bis 70	leicht	Heftchenroman
91 bis 100	71 bis 80	sehr leicht	Comics

Tab. 19: Definition der Schwierigkeitsgrade von Flesch- und Mihm-Wert, nach MIHM (1973).

Die durchschnittlichen Werte, die mit der Formel [2] für den deutschsprachigen Raum errechnet wurden, betragen für den Schülerteil 55, für den Lehrerteil dagegen 39. Wie in Kapitel 4.1.7 erwähnt, lässt sich auch die Formel für englische Texte verwenden, auf deren gewonnene Werte 20 Punkte hinzu addiert werden. In diesem Fall besitzt der Schülerteil einen durchschnittlichen Wert von 46, der Lehrerteil jedoch nur 29 Punkte (vgl. Tab. 20).

	Lehrerteil	Schülerteil
Flesch-Skala deutsch	39	55
Flesch-Skala englisch	9 (29)	26 (46)

Tab. 20: Vergleich der deutschen und der englischen Flesch-Skala.

Beiden Berechnungen folgend entsprechen die Skalenwerte des Schülermaterials von 55 (Flesch-deutsch) bzw. 46 (Mihm) einem normalen bis leichten Schwierigkeitsgrad, während die um zehn Punkte voneinander divergierenden Bewertungen des Lehrermaterials 39 (Flesch-deutsch) bzw. 29 (Mihm) eher auf einen anspruchsvollen bis schwierigen Schwierigkeitsgrad hinweisen. BACHMANN (persönl. Kontakt) weist jedoch darauf hin, dass die Schwierigkeitsgrade aufgrund der teilweise widersprüchlichen Skalen oft Ermessenssache bleiben. Besonders der deutschen Flesch-Formel [2] weist er eine Nivellierung aller Texte auf ein ähnliches Niveau nach, so dass keine Trennschärfe mehr existiert. Tatsächlich kann auch in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass im Vergleich Schüler- und Lehrerteil-Datensätze der Flesch-Skala nach deutscher Flesch-Formel [2] weniger voneinander differieren als die Werte, die auf den Datensätzen der Mihm-Skala und somit der originalen Flesch-Formel [1] basieren (vgl. Abb. 25 und 26).

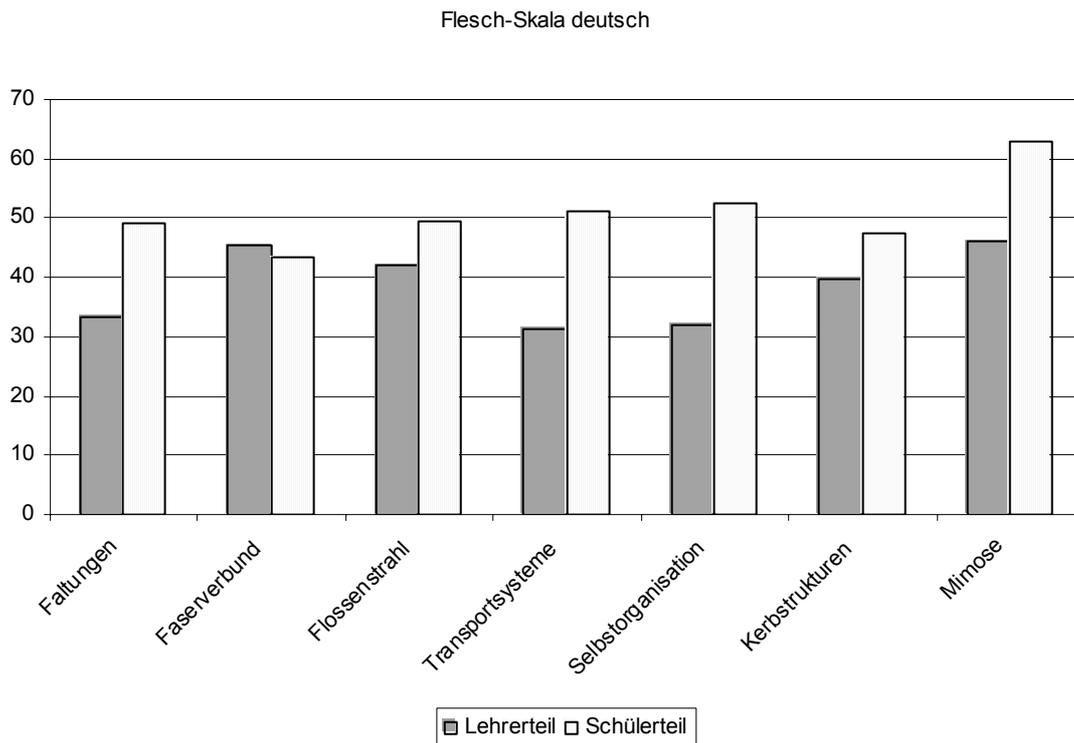


Abb. 25: Flesch-Werte für die sieben Themen entsprechend der deutschen Flesch-Formel, nach MIHM (1973).

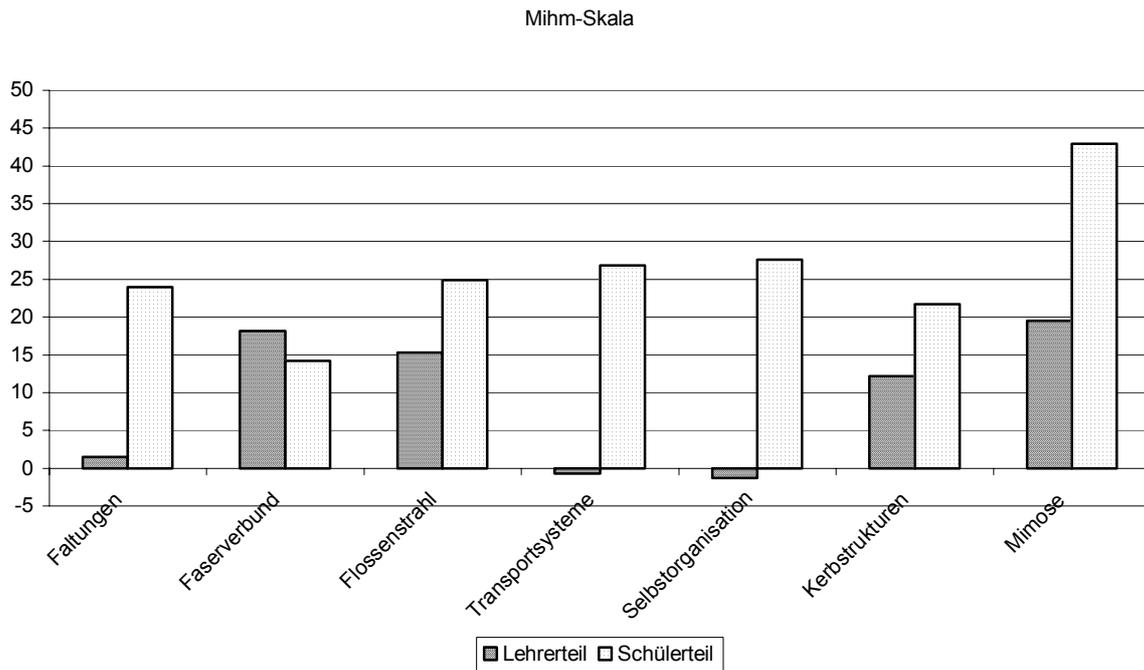


Abb. 26: Flesch- bzw. Mihm-Werte für die sieben Themen entsprechend der englischen Flesch-Formel, nach MIHM (1973).

Verdeutlicht werden soll die Diskrepanz der verschiedenen Formeln und Skalen an einem kurzen Text des Schülerteils „Faltungen in Natur und Technik“:

„Im Frühjahr erwacht die Natur wieder zum Leben, die Knospen platzen auf. Später, im Sommer und Herbst, bilden viele Pflanzen neue Knospen für das Wachstum im nächsten Jahr. In diesen meist sehr kleinen Knospen liegen die Pflanzenorgane geschützt vor den winterlichen Wetterbedingungen. Im Frühjahr strecken sich deren Zellen, so dass es zu einer Entfaltung der Strukturen kommt. Interessant bei diesem faszinierenden Vorgang sind dabei die vielen verschiedenen Faltmechanismen, die eine solch optimale Platznutzung ermöglichen.“

Der Text besteht aus fünf Sätzen mit 74 Wörtern, davon 64 verschiedene. Insgesamt befinden sich im Text 138 Silben. Der ASL-Wert beträgt damit 14,8, der ASW-Wert 1,96. Den beiden Flesch-Formeln [1, 2] werden die Ergebnisse zweier Internet-Analyseprogramme zur Optimierung der Textverständlichkeit gegenübergestellt⁵⁶ (vgl. Tab. 21).

Formel	Wert
Flesch-Skala englisch [1]	26
Flesch-Skala deutsch [2]	51
www.leichtlesbar.ch	34
www.textinspektor.de	9,2 (26 auf Mihm-Skala und 46 auf Flesch-Skala)

Tab. 21: Unterschiedliche Bewertungen eines Textes durch die Verwendung verschiedener Formeln.

⁵⁶ www.textinspektor.de und www.leichtlesbar.ch analysieren Texte anhand der Flesch-Formel [1].

Der Text entspricht einem Flesch-Wert von 26, der auf der Mihm-Skala dem Schwierigkeitsgrad „schwierig“ entspricht. Das Webportal www.leichtlesbar.ch errechnet einen Wert von 34, der einem anspruchsvollen Text entspricht.

In Abbildung 27 werden die Werte ASL und ASW gegeneinander aufgetragen. Zum Vergleich zu den sieben Experimentierthemen der Bionik-DVD wurden Ausschnitte aus dem Bionik-Lehrbuch des Duden Paetec Schulbuchverlag⁵⁷ sowie jeweils zehn Leitartikel aus Internetportalen dreier Zeitungen⁵⁸ untersucht und in der Abbildung dargestellt. Die Schwierigkeit, Texte zu verstehen, nimmt mit zunehmenden ASW- wie ASL-Werten zu. Texte nahe dem grünen Punkt sind deshalb leicht, nahe dem roten Punkt dagegen verhältnismäßig schwer zu verstehen.

Die Textbeispiele aus dem Bionik-Experimentierset weisen im Durchschnitt eine geringere mittlere Satzlänge, dafür aber eine höhere mittlere Wortlänge als die Zeitungstexte auf. Das Thema der Faserverbunde fällt besonders ins Auge. Dessen sehr hohe mittlere Wortlänge von 2,14 muss allerdings aufgrund der nur geringen ausgewerteten Satzanzahl von 10 eingeschränkt betrachtet werden⁵⁹. Betrachtet man die Werte des Bionik-Experimentiersets zusammen, so liegt der Punkt fast deckungsgleich auf dem Punkt des Bionik-Lehrbuchs.

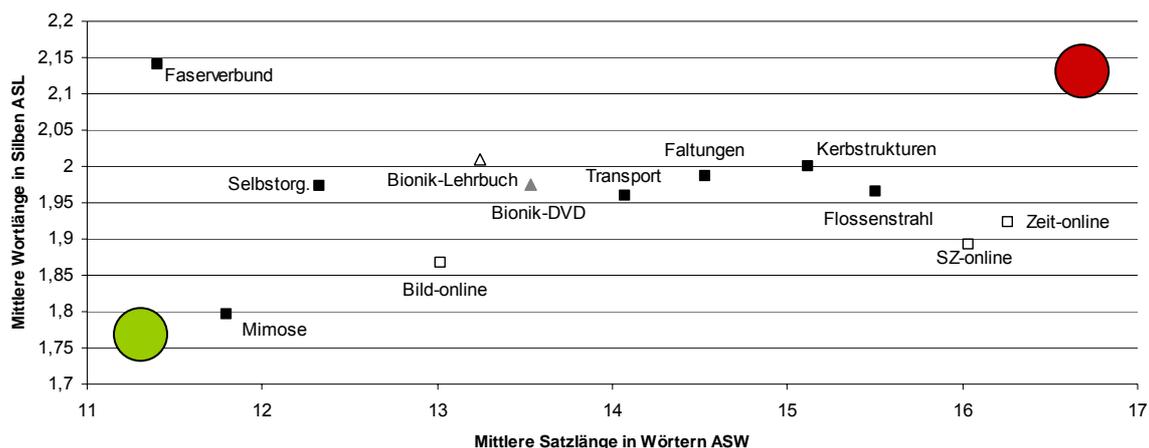


Abb. 27: Mittlere Satzlänge auf der mittleren Wortlänge abgetragen. Schwarzes Quadrat: Experimentierthemen Bionik-DVD; graues Dreieck: Mittelwert der sieben Experimentierthemen der Bionik-DVD; weißes Quadrat: Onlineportale dreier Zeitungen (BILD, Sächsische Zeitung, ZEIT); weißes Dreieck: Bionik-Lehrbuch Duden Paetec-Schulbuchverlag. Grüne Markierung: leichte Lesbarkeit; rote Markierung: schwere Lesbarkeit.

Durch die in den Bionikthemen teilweise sehr neuen Sachverhalte, die die Verwendung einiger Fachwörter erfordern, wurden im Mittel kürzere Sätze gewählt. Die hohen ASL-Werte konnten durch die entsprechend niedrigen ASW-Werte annähernd ausgeglichen werden.

Deutlich wird hier auch die starke Wichtung, die durch die Flesch-Gleichung auf die Wortlänge gelegt wird. Schon Lisch (1987) kritisierte diese Inadäquanz der Formel. Der Flesch-Reading Ease-Index soll deshalb auch hier nur als eine Möglichkeit aufgeführt sein, Lesbarkeit zu analysieren und zu bewerten.

⁵⁷ Duden Paetec Schulbuchverlag: Lehrbuch Bionik – Lernen von der Natur. ISBN: 978-3-8355-3018-8

⁵⁸ www.sz-online.de, www.zeit.de, www.bild.de

⁵⁹ Im Schülerteil des Faserverbund-Experiments ist der Anteil an Fließtext sehr gering, so dass für die Auswertung nur 10 Sätze zur Verfügung standen.

6.3 Beurteilung der Aufgabenformate im Rahmen der Arbeit

Der Name des entstandenen Arbeitsmaterials auf der DVD: „Bionik – Experimente für die Schule“ suggeriert eine Anhäufung von zahlreichen Experimenten. Dies ist jedoch nur teilweise der Fall und nur dort, wo der Einsatz von Experimenten tatsächlich didaktisch sinnvoll ist. Neben dem Einsatz von Illustrations-, Erkundungs- und Voraussageexperimenten finden auch andere Aufgabenformate wie Rechercheaufgaben oder Computersimulationen Anwendung. Die verwendete Vielfalt soll hier kurz vorgestellt werden.

6.3.1 Experiment

Experimente werden in jedem der sieben Themenkomplexe als Form des selbständigen Lernens angewandt. Illustrationsexperimente werden Erkundungs- und Voraussageexperimenten gegenübergestellt.

1. Im Thema „Faltungen in Natur und Technik“ werden mithilfe von Schablonen oder Faltbeschreibungen Beispiele aus Natur und Technik verdeutlicht. Dabei werden Prinzipien von Faltungen eigenständig erkundet.
2. Das „Faserverbund“-Modul beinhaltet ein sehr umfangreiches Experiment, in welchem die Schüler selbständig ihre Hypothesen überprüfen können. Mithilfe von selbst hergestellten Wachsziegeln, die unterschiedliche Faseranordnungen aufweisen und in einem Belastungstest überprüft werden, entdecken die Schüler die unterschiedlichen Wirkweisen von Faserverläufen und diskutieren diese.
3. Im Komplex „Flossenstrahleffekt“ wird neben dem Modell des Flossenstrahls auch das Modell einer daraus entstandenen technischen Anwendung konstruiert.
4. Mit dem Hauptexperiment des Komplexes „Transportsysteme in Natur und Technik“ sollen Verzweigungsmuster, die häufig in der Natur vorkommen, abstrahiert und modelliert werden, um sie auf ihre Strömungseffizienz hin zu untersuchen. Ausführliche Dokumentationen und Auswertungen der Ergebnisse schließen das Experiment ab.
5. Mehrere Experimente verdeutlichen die Prozesse der „Selbstorganisation“. Im Modul „Trampelpfade“ werden unterschiedliche Anordnungen von Nägeln in einem Holzbrett miteinander verglichen. Die Nägel sind mit Baumwollfäden untereinander vernetzt und verbinden sich bei Benetzung mit Wasser. Die entstehenden Muster unterscheiden sich je nach von den Schülern gewählten Nagel-Anordnungen.
6. Das Thema „Kerbstrukturen“ beinhaltet ein Experiment, für das in einem ersten Schritt Modelle mit unterschiedlichen Kerbstrukturen hergestellt werden. Sie werden bis zu ihrem Versagen belastet und die Ergebnisse anschließend ausgewertet.
7. In einem ersten Experimentierkomplex wird das Bewegungsverhalten der einzelnen Teile der Mimosenpflanze unter verschiedenen Bedingungen getestet. Das Bewegungsprinzip von Mimosenblättern wird anschließend in einem aufwendig herzustellenden Modell dargestellt, an möglichen Parametern variiert und abschließend diskutiert.

6.3.2 Mikroskopisches Arbeiten

Das mikroskopische Arbeiten findet sich in fast allen Experimentierthemen wieder. Strukturen und Funktionsweisen der den technischen Innovationen zugrunde liegenden biologischen Phänomene sind oft sehr klein und nur mit dem Auge kaum erfassbar. Um sie detailgerecht zu untersuchen, zu beschreiben und zu verstehen, ist die Mikroskopie essentiell.

Falt- und Einrollungsstrukturen von Blättern in Knospen werden unter dem Binokular beobachtet, schematisch gezeichnet und miteinander verglichen. Um natürliche Faserverbunde mit bislang in den Werkstoffwissenschaften verwendeten zu vergleichen, werden unter dem Mikroskop Zellgewebe in angefärbten Sprossquerschnitten auf ihre Zellgröße und ihren Verholungsgrad hin untersucht. Die für das Modell wichtigen Strukturen der Flossenstrahlen können am besten unter dem Binokular oder bereits mit einer Handlupe beobachtet werden. Blattnervaturen und deren Vernetzungsgrad bedingen ihrer Feingliedrigkeit wegen eine Beobachtung unter dem Mikroskop oder zumindest unter der Stereolupe. Auch für die Erklärungsfindung des Bewegungsmechanismus im Mimosenblatt wird ein Mikroskop benötigt. Erst damit sieht man in einem Längsschnitt durch das erste Blattgelenk sehr deutlich die Vereinigung der peripher angeordneten Leitbündel zu einem einzigen Leitbündelstrang innerhalb des Gelenks, welcher das Abklappen des Blattes an dieser Stelle ermöglicht, ohne Leitbündelstränge zu zerreißen. Die Schüler lernen hier das Mikroskop nicht seiner selbst wegen kennen, sondern nutzen es zielgerichtet für ihren Forschungs- und Lernprozess.

6.3.3 Computer-Modellierung

Um das computergestützte Arbeiten zu unterstützen, wurden in zwei Themenbereichen Aufgaben integriert, die Modellierungen am Computer in den Vordergrund stellen. Die zu verwendenden Programme sind kostenlos aus dem Internet herunterzuladen.

Für das Thema „Flossenstrahleffekt“ wird das Programm „Phun“ verwendet, welches vorrangig für den Physikunterricht entwickelt wurde. Mithilfe dieses Programms wird, basierend auf dem vorher handwerklich angefertigten Modell, ein Computermodell konstruiert. Um die Dynamik eines Schwarms simulieren zu können, gibt es zahlreiche Programme im Internet. Im Set aufgeführt wurde das Programm „swarm.bindick“. Hier können die entscheidenden Parameter eines Schwarms variiert sowie die daraus resultierenden Bewegungsabläufe und Muster beobachtet werden. Im Zusatzmodul „Zellulärer Automat und Musterbildung“ kann zu Illustrationszwecken unter dem Stichwort „Game of Life“ das Spiel des Lebens von CONWAY heruntergeladen und damit Vermehrungs- wie Sterbemuster simuliert werden.

6.3.4 Gruppenzentrierter Unterricht

6.3.4.1 Gruppenpuzzle und Lernen an Stationen

Die Themen des Bionik-Sets, die sich für Kleingruppenarbeit eignen, können teilweise auch durch Gruppenpuzzle bzw. Lernen an Stationen erarbeitet werden. Allerdings wurden sie nicht ausschließlich für diese Unterrichtsform konzipiert, so dass die Experimentiermodule nicht unbedingt in Struktur und Layout den Ansprüchen eines LaS-Materials entsprechen. Hilfreich ist jedoch bei der Umsetzung die Aufteilung der einzelnen Themen in mehrere Teilmodule, so dass diese von Kleingruppen einzeln bearbeitet und später, je nach Unterrichtsmethode, einander präsentiert werden.

Gerade der Themenkomplex „Faltungen in Natur und Technik“, der in seinem strukturellen Aufbau bereits deutlich in mehrere Abschnitte unterteilt ist, eignet sich sehr gut für diese Formen der Gruppenarbeit. Nachdem gemeinsam die Grundprinzipien und Beispiele aus der Natur erarbeitet sowie die zwei Grundfaltungen (Hainbuchenblatt und Miura-Sonnensegel) durchgeführt wurden, können sich die Schüler in verschiedenen Gruppen selbsttätig mit den fünf Zusatzmodulen beschäftigen. Dabei können die Schülergruppen alle die fünf Stationen besuchen (LaS) oder nach dem Prinzip des Gruppenpuzzles nach dem ersten Thema neue Gruppen bilden, in denen aus jeder der anderen Gruppen jeweils ein Schüler quasi als Experte über das erstbetrachtete Thema berichtet. Die Entscheidung, welches Lernarrangement gewählt wird, hängt dabei stark vom Zeitrahmen wie auch vom Interesse der Schüler ab. Auch in den anderen Themenkomplexen sind ähnliche Vorgehensweisen möglich.

6.3.4.2 Rollenspiel

Der Lernform des Rollenspiels sollte auf jeden Fall im naturwissenschaftlichen Unterricht Raum eingeräumt werden, auch wenn es dazu bislang kaum Studien gibt. Man unterscheidet hierbei Konflikt- und Bewertungsrollenspiele (BERCK 1999). Historische Begebenheiten wie Entdeckungen oder Erfindungen können nachgespielt, aber auch gesellschaftlich diskutiert und kritisiert werden. Besonders die Kompetenzbereiche Kommunikation und Bewertung rücken bei der Formung toleranter und selbstsicherer Schüler in den Fokus.

Im Themenmodul „Flossenstrahleffekt“ steht als Abschluss der Thematik ein Rollenspiel, welches die unterschiedlichen Arbeitsfelder und -bedingungen eines entwickelnden Ingenieurs denen eines von Wirtschaftlichkeit gelenkten Unternehmers gegenüberstellt. Das in den vorangegangenen Beobachtungen und Experimenten erlangte Hintergrundwissen wird dabei gefestigt, die Funktionsweise wiederholt – und schließlich der Nutzen für technische Entwicklungen eingeschätzt. So wird das Thema nicht nur noch einmal greifbar und lebendig, sondern auch aus der wirtschaftlichen Perspektive heraus beleuchtet.

6.3.4.3 Spiele

Das methodische Werkzeug des Spiels wurde in einigen Themen auf der DVD integriert. So kann das Schwarmverhalten in der Klasse simuliert und Bewegungsdynamiken erzeugt

werden – ein Beispiel für „gespielte Biologie“. Im Thema Flossenstrahleneffekt werden mithilfe eines Rollenspiels die technische Innovation und ihre Anwendbarkeit diskutiert. Der Brückenbau-Wettbewerb im Themenkomplex der Faltungen ist dagegen eher ein kompetitives Spiel.

6.3.5 Mindmap

Mindmaps können verschiedenen Zwecken dienen, insbesondere, um thematische Beziehungsgeflechte darzustellen und zu verbildlichen. Gerade bei interdisziplinären Themengebieten helfen sie, relevante Sachverhalte zu wiederholen und miteinander zu vernetzen. Aus diesem Grund wurde dieses Aufgabenformat ausgewählt, in das sehr umfangreiche und komplexe Thema der Transportwege zu Beginn des Experimentiermoduls einzuleiten. Zwei Mindmaps können hernach einander gegenübergestellt werden. Die erste zählt Bereiche auf, in welcher Beförderungen und Transporte in unserem Alltag vorkommen, während in der zweiten erarbeitet wird, in welcher Transportsysteme in der Natur zu finden sind. Der Schüler wiederholt auf diese Weise Wissen vorangegangener Schuljahre und setzt es in Beziehung zueinander. Gleichzeitig werden ungezwungen bereits Parallelen und Analogien zwischen natürlichen und teilweise technischen Transportsystemen aufgezeigt. Hier setzt bereits ein kognitiver Denkprozess zum Verständnis der bionischen Arbeitsweise ein.

6.3.6 Recherche

Aufgrund der teilweise recht speziellen Themen des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bionik-Sets ist eine Recherche für Schüler (wie im Übrigen auch für Lehrer) über Stadtbibliotheken nur sehr eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund beschränkt sich die Recherchearbeit häufig auf die Nutzung des Internets. Zahlreiche Informationen sind auf diesem Weg recherchierbar. Allerdings sind in Schulen etliche Seiten gesperrt, so dass besonders Webseiten von Firmen und Unternehmen nicht aufrufbar sind. Gerade Informationen aus erster Hand zu bionischen Produkten sind deshalb teilweise nur schwer abrufbar. An dieser Stelle muss der Lehrer diese Informationen zur Verfügung stellen oder diese Aufgaben als Hausaufgabe einigen Schülern mit Internetzugang zu Hause aufgeben.

Rechercheaufgaben finden sich, mehr oder weniger essentiell für das Verständnis des Inhalts, in allen sieben Themenkomplexen.

1. Im Grundmodul des Themas „Faltungen in Natur und Technik“ sind einige Rechercheaufgaben formuliert, die Begriffe betreffen, welche dem Schüler nicht aus seinem Allgemeinwissen heraus erklärbar sind, dies betrifft insbesondere technische Begriffe, wie *Sonnensegel* oder *mathematisches Origami*.
2. Im Abschnitt „Faserverbundmaterialien“ kann Recherchearbeit ergänzend ausgeübt werden, ist mit entsprechend physikalischem Vorwissen jedoch auch ohne externe Quellen zu bearbeiten.
3. Im „Flossenstrahleneffekt“ rücken patentrechtliche Fragen in den Vordergrund. Dieser für Schüler oft recht neue Aspekt lässt sich nur über das Internet recherchieren.

Fragen zur Funktion der verschiedenen Flossen dagegen sind auch mit (Schul)büchern zu beantworten.

4. Gleich als Einleitung in das Thema „Transportsysteme in Natur und Technik“ hilft eine Google Earth-Recherche, das Thema der fraktalen Strukturen in der Natur zu veranschaulichen. Auch die technische Anwendung von Verzweigungsmustern nach dem Vorbild der Natur lässt sich nachrecherchieren, auch wenn die notwendigen Informationen bereits im Material enthalten sind.
5. Der Themenkomplex „Selbstorganisation“ beinhaltet verhältnismäßig viele Rechercheaufgaben. Bereits für die Einleitung in das Thema Schwarmverhalten wird das Internet benötigt, um Videosequenzen der Webseite *youtube* auswerten zu können. Doch gerade auch für die beschriebenen Anwendungsbereiche wie beispielsweise für Verkehrssimulationen ist eine Internetrecherche unerlässlich. Fachwissensfragen sind dagegen mit Schulbüchern gut zu bearbeiten.
6. Auch der Abschnitt „Kerbstrukturen“ beinhaltet Rechercheaufgaben zur technischen Anwendbarkeit der bionischen Entwicklung.
7. Das Thema „Mimose“ bedarf dagegen eher weniger Recherche, der experimentelle Teil ist im Bereich der Naturbeobachtung wie auch mit der aufwendigen Bauanleitung deutlich stärker ausgeprägt. Die das Fachwissen betreffende Aufgaben können ebenso gut mit zahlreichen, auch populärwissenschaftlichen Büchern über Pflanzenbewegungen oder sogar Biologie-Schulbüchern erarbeitet werden. Im idealen Fall kann das Thema für die Wiederholung bereits im Unterricht behandelten Stoffs genutzt werden.

TEIL 3 EVALUATION DER ARBEITSMATERIALIEN UND EXPERTENINTERVIEWS

„Ich bin froh, wenn ich meine Sache machen kann und mich nicht mit den anderen Lehrern absprechen muss.“

Biologie-Lehrerin, im Interview 2010

Im Erziehungs- und Bildungsbereich wird die Evaluierung mittlerweile als eine unverzichtbare Maßnahme angesehen, da durch sie begründete Bewertungskriterien für die Planung, Auswahl, Wirkung und Kontrolle pädagogischer Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden (KROATH 1996). Die Evaluation kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten einer Untersuchung ein nützliches Instrument sein. Man unterscheidet daher zwischen Kontext-, Input-, Prozess- und Produktevaluation, zwischen Evaluationen also, die vor Beginn eines Projektes, während der Durchführung oder als Abschluss durchgeführt werden (STUFFLEBEAM 1972).

Im Folgenden werden die Evaluierungsmethoden, die für die vorliegende Arbeit relevant waren, sowie deren Ergebnisse vorgestellt. Die während der Erprobungsphase verwendeten Schüler- und Lehrerfragebögen werden erklärt und deren Einfluss auf den Optimierungsprozess verdeutlicht. Verglichen mit den Resultaten der qualitativen Inhaltsanalyse aus den durchgeführten Experteninterviews werden abschließend Empfehlungen für vertiefende Arbeiten hinsichtlich thematischer Erweiterungen, aber auch möglicher veränderter Rahmenbedingungen in der Bildungspolitik diskutiert.

7 Methodik der Befragungen

7.1 Evaluation durch Befragungen

7.1.1 Vor- und Nachteile der Interview- und der Fragebogenmethode

Befragungen gelten als Standardinstrument empirischer Sozialforschung bei der Ermittlung von Fakten, Wissen, Meinungen, Einstellungen oder Bewertungen im sozialwissenschaftlichen Anwendungsbereich (SCHNELL 1999: 299). Die Entscheidung, ob ein Fragebogen eingesetzt werden soll oder ob eine Befragung mittels Interviews durchgeführt werden kann, ist einerseits von ökonomischen Gegebenheiten, wie Zeit-, Material-, und Personalaufwand, andererseits von inhaltlichen und personenspezifischen (psychologischen) Faktoren abhängig (VÖLKL 1980: 18). Mithilfe des Fragebogens kann eine große Anzahl von Personen für statistisch zuverlässige Aussagen befragt werden. Interviews wiederum ermöglichen situationsbedingt eine Vertiefung der Befragung oder ein eventuelles Abweichen vom Interviewleitfaden. BURGER & GERHARDT (2003) listen daher eine Reihe von Vor- und Nachteilen für beide Befragungsmethoden auf, die in Tabelle 22 und 23 einander gegenübergestellt werden.

Fragebogenmethode

Vorteile	Nachteile
Anonym, deshalb u.U. größere Bereitwilligkeit, auch wenig „abgesichertes“ Wissen zu äußern	Das schriftliche Formulieren fällt vielen Schülern schwerer als mündliche Äußerungen. Dadurch u.U. kurze und ungenaue Antworten.
Die Zeit zum Überlegen kann individuell bestimmt werden.	Missverständnisse im Fragentext können ungeklärt bleiben.
Unangenehme Fragen können, ohne Erklärungen abgeben zu müssen, übersprungen werden.	Bei Schülern, die die Fragenabfolge nicht einhalten, können Gedanken geweckt werden, die sei beim Einhalten der Fragenabfolge bei bestimmten Fragen so nicht gehabt hätten.
Einfache Organisation für eine hohe Probandenanzahl.	
Schnellere Auswertung, da keine Verschriftlichung notwendig wird.	

Tab. 22: Vor- und Nachteile der Fragebogenmethode, nach BURGER & GERHARDT (2003).

Interviewmethode

Vorteile	Nachteile
Den Probanden unverständliche Fragen können erklärt bzw. umformuliert werden.	Durch flexibles Nachfragen können individuell weiterführende Gedanken initiiert werden. So kann z.B. durchaus eine erhoffte Reaktion durch die Formulierung der Frage impliziert werden (BERNHARD 1994).
Einzelne Aspekte können bei Bedarf vertieft werden. (Nachfragen erhöht die Verständlichkeit und verringert die Wahrscheinlichkeit des Missinterpretierens.)	Nachfragen kann dazu führen, dass sich der Befragte „genötigt“ fühlt und „ad-hoc-Antworten“ gibt.
Die Fragenabfolge kann situationsbedingt flexibel gehandhabt werden.	Sympathie und Antipathie zwischen Interviewer und Proband können das Ergebnis beeinflussen.
	Aufwendige Datenverwertung (Verschriftlichung).

Tab. 23: Vor- und Nachteile der Interviewmethode, nach BURGER & GERHARDT (2003).

Für die vorliegende Arbeit wurde auf Fragebogen- und Interviewmethoden zurückgegriffen. Für die Realisierung der Schülerbefragung zur Umsetzung der Experimentierthemen im Unterricht, welche in den meisten Fällen durch den Lehrer selbst durchgeführt wurde, kam lediglich eine Erhebung durch Fragebögen in Betracht. Durch die Anonymität wurden von den Schülern auch kritische Aussagen die Umsetzung betreffend getroffen. Eben solche Kritikpunkte förderten die anschließende Optimierung des Arbeitsmaterials und waren deshalb vordergründiges Ziel der Evaluation. Auch die Lehrer erhielten einen eigens für sie entwickelten Fragebogen. Versteckte Mängel wie z.B. Formulierungsungenauigkeiten, Fehler oder Probleme bei der experimentellen Umsetzung sollten so aufgedeckt werden.

Die den Optimierungsprozess begleitenden und nach Veröffentlichung der Arbeitsmaterialien durchgeführten Lehrerinterviews hatten dagegen neben der Optimierung der Arbeitsmaterialien das Hauptziel, einen allgemeinen Überblick über die Probleme mit der Unterrichtspraxis und dem Lernbereich Bionik zu geben. Die Interviewmethode erlaubte es hier, durch gezieltes Nachfragen einige wichtige Aspekte situationsbedingt zu vertiefen. Außerdem bot sie eine zusätzliche Möglichkeit, über die erprobten Experimente zu sprechen, Verständnisprobleme zu klären und die Module zu bewerten. Im Gespräch von Person zu Person fällt es den befragten Lehrern zudem nicht so leicht, ihre Unterrichtspraxis verschönt darzustellen.

7.1.2 Verwendung der Fragebogenmethode im Optimierungsprozess

7.1.2.1 Form und Auswertungsmethode der Fragebögen

Bevor die Sammlung der zu erfragenden Items erfolgte, wurde die strukturelle Form der Fragebögen festgelegt.

1. Anstelle von Statements wurden für die Beantwortung Fragen formuliert.
2. Als grammatikalische Form wurde die direkte Anrede in Form der zweiten Person Singular (Schülerfragebogen) und der dritten Person Plural (Lehrerfragebögen) gewählt.
3. Offene Fragen erfragten den Wissensstand, das Verständnis zum Thema wie auch Kritikpunkte. Angaben bei offenen Fragen wurden klassifiziert und nach ihrer Häufigkeit untersucht.
4. Geschlossene Fragen folgten einer Rating-Skala. Die Zahl der Antwortkategorien ist entsprechend der Themen und der zu erfragenden Aspekte von Thema zu Thema unterschiedlich. Zweistufige Urteile kamen dabei selten zur Verwendung. Dreistufige Skalen wurden am häufigsten verwendet. Ein dreistufiges System hat den oft diskutierten Nachteil, dass häufig auf eine „neutrale“ Antwortkategorie ausgewichen wird. Da in der vorliegenden Befragung aber oft Teilaufgaben oder Module direkt miteinander verglichen werden, können die Schüler ihre Wertung hier selbst entsprechend staffeln. Lediglich die abschließende Frage nach der Erklärbarkeit der Bionik anhand des Experiments wurde stets die gleiche Anzahl (5 Kategorien) verwendet. Hier entsprach die Bewertung der den Schülern aus der Unterrichtspraxis bekannten Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (überhaupt nicht)⁶⁰.
5. Im Lehrerfragebogen werden fast nur offene Fragen zur Umsetzbarkeit im Unterricht formuliert. Die Auswertung der Lehrerfragebögen diente ausschließlich der sofortigen Optimierung der Materialien und wird daher hier nicht veröffentlicht.
6. Vorab geführte Experteninterviews mit den Lehrern beeinflussten die Überlegungen zur Item-Auswahl für Schüler- und Lehrerfragebögen.
7. Die Datenaufarbeitung und -auswertung erfolgten mittels Codierung der erhobenen Variablen.

7.1.2.2 Inhaltliche Schwerpunkte der Fragebögen

Die Erprobung der entwickelten Arbeitsmaterialien (vgl. Kap. 5.5) erfolgte, abgesehen von einigen Schülerpraktikanten, welche die Experimente am Institut für Botanik durchführten, stets im Rahmen des Unterrichts. Die Autorin selbst führte einige Experimente durch, um Probleme beim Einsatz der Experimente festzustellen, grundsätzlich war jedoch die Durchführung durch die Lehrperson der jeweiligen Schule geplant. Dies ermöglichte den Lehrern eine selbständige und zeitlich spontanere Erprobung. Die Lehrpersonen konnten dabei über das Vorgehen im Unterricht und ihren Zeitrahmen selbst entscheiden.

⁶⁰ Für die Auswertung (vgl. Kap. 8.1) wurde einer besseren Darstellung wegen die Skala gedreht, so dass die Bewertung über die Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr gut) erfolgte.

Nach Beendigung der Stunde wurden bei den Schülern mithilfe der Fragebögen Sachverhalte, Interessen und Schwierigkeitsgrade zum jeweiligen Thema erfragt. Allen Themenfragebögen gemeinsam war die abschließende Frage „Wie wird Deiner Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“. Die Fragebögen waren so knapp wie möglich gehalten, um möglichst wenig Zeit vom eigentlichen Unterrichtsgeschehen in Anspruch zu nehmen.

Neben den Schülerfragebögen wurden zu jedem Thema auch Lehrerfragebögen entwickelt. Diese gliederten sich in mehrere Fragenkomplexe: Im ersten Item-Abschnitt wurden die Unterrichtsparameter (Jahrgangsstufe) aufgenommen. Hierzu gehörte auch eine Schätzung des idealen Zeitrahmens für das jeweilige Thema in der unterrichtspraktischen Umsetzung. Der Hauptkomplex des Lehrerfragebogens beinhaltet Items zum Schwierigkeitsgrad und zum Interesse der Schüler am Thema aus Sicht des Lehrers. Im Abschnitt Bewertung wurden die Lehrer nach der Eignung des Materials im Bionikunterricht befragt. Zusätzlich wurde hier aufgenommen, ob die Lehrer das Experiment erneut durchführen werden. Die Ergebnisse der Lehrer-Fragebögen fanden aufgrund der geringen statistischen Auswertbarkeit keinen Eingang in die folgenden Kapitel, wohl aber in den Optimierungsprozess des Arbeitsmaterials. In dem Kapitel Gesamtbewertung (vgl. Kap. 8.2) werden punktuell einige entscheidende Sachverhalte herausgegriffen.

7.1.3 Verwendung der Interviewmethode für Expertenbefragung

Die klassische Vorstellung der Verwendung standardisierter Interviews als Erhebungsinstrument basiert darauf, für alle Befragten durch die Vorgabe festgelegter Fragen (und Antworten) eine Gleichheit der Interviewsituation zu erzielen, um unterschiedliche Interpretationsvorgaben zu vermeiden. (SCHNELL 1999: 301). Durch die Beibehaltung der Messmethode werden Informationen von Fall zu Fall vergleichbar gemacht. Unterschiedliche Strukturierungs- und Standardisierungsgrade eignen sich für die Verwendung in verschiedenen Phasen der Untersuchung. Wenig strukturierte Interviewsituationen bieten sich besonders in frühen Untersuchungsphasen an, um Forschungsgegenstand und Dimension abzuschätzen und vorbereiten zu können.

Um eine qualitative Befragung der Lehrer zu ermöglichen, wurden deshalb im Rahmen der Arbeit Interviews mit unterschiedlichen Standardisierungsgraden (nach VÖLKL 1980: 19) durchgeführt. Die ersten Interviews erfolgten bereits im Jahr 2008 während der ersten Erprobungsphase. Im Mittelpunkt dieser Befragungen stand die Verwendbarkeit einiger Arbeitsmaterial-Entwürfe in der Unterrichtspraxis. Es wurde die Methode des ungeleiteten Interviews angewandt. Ein vorgegebenes Rahmenthema ist hier Grundlage für eine freie Unterhaltung, wobei der Interviewer lediglich Zwischenfragen für die Präzisierung stellt. Die interviewten Lehrpersonen berichteten während der Unterhaltung von ihren ersten Erfahrungen mit den Materialien, beschrieben ihr Vorgehen und unterbreiteten Verbesserungsvorschläge.

In einem zweiten Schritt erfolgten drei Befragungen mithilfe intensiver Interviews. Intensive Interviews, auch Leitfadengespräche genannt, besitzen einen Leitfaden, deren Fragen

jedoch nicht genau festgelegt sind, so dass die Reihenfolge und die Formulierung vom Interviewer bestimmt werden können.

Die abschließenden Interviews mittels Fragebogen, so genannte Einzel- oder Gruppeninterviews, waren in ihrem Ablauf dagegen genau definiert. Der Befragte muss sich hier an Reihenfolge und Formulierung halten. Diese hochstandardisierte Form des Interviews wurde ab März 2010 nach dem Erscheinen der DUDEN-DVD angewendet. Da die Interviewstudie explorativen und qualitativen Charakters ist, wurde auf die Ziehung einer repräsentativen Stichprobe verzichtet.

Diese letzten Interviews wurden anschließend transkribiert und mittels der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING ausgewertet. Diese Methode, um Befragungsdaten auszuwerten, wurde gewählt, um die Heterogenität der Einzelaussagen auf eine fassbare Anzahl von Einzelaussagen zu reduzieren.

7.1.3.2 Qualitative Inhaltsanalyse (nach MAYRING)

Viele Jahrzehnte standen *quantitative* Inhaltsanalysen im Mittelpunkt sozialwissenschaftlicher Studien. Erst seit den 70er Jahren wurde in Deutschland der *qualitativen* Inhaltsanalyse wieder mehr Beachtung geschenkt. Besonders PHILIPP MAYRING leistete hier einen entscheidenden Beitrag. Er entwickelte eine Methode, die es ermöglicht, gesammelte Materialien nicht mehr nur „frei“ zu interpretieren, sondern anhand eines Kategoriensystems intersubjektiv auszuwerten, ohne aber an Komplexität und „Interpretationsbedürftigkeit“ des sprachlichen Materials einbüßen zu müssen (MAYRING 1990b).

MAYRING differenziert dabei in drei Grundformen des Interpretierens, die jedoch auch in jeder Mischform denkbar sind: Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung. Mittels der Zusammenfassung wird das Material so reduziert, dass nur die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben. Dabei gibt es mehrere Abstraktionsebenen. In einem ersten Schritt werden die inhaltstragenden Textstellen paraphrasiert, um anschließend generalisiert und reduziert zu werden. Die Explikation nimmt sich zusätzliches Material zu Hilfe, um den Inhalt im Kontext analysieren zu können. Mit der strukturierenden Inhaltsanalyse können Textbestandteile, die einem vorher definierten Kategoriensystem entsprechen, systematisch extrahiert werden. Definitionen, Ankerbeispiele und Kodierregeln helfen bei dem schrittweisen Vorgehen und der eindeutigen Zuordnung zu den entsprechenden Kategorien.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Methode der strukturierten Inhaltsanalyse mit Elementen der zusammenfassenden Inhaltsanalyse ergänzt. Das Ziel der strukturierten Inhaltsanalyse ist es, aus dem vorliegenden Material bestimmte Aspekte herauszufiltern, die sich auf die anfangs formulierte Fragestellung beziehen. Dafür werden vorher Ordnungskriterien festgelegt, mithilfe derer die Texte durchsucht werden, um es anschließend einschätzen und bewerten zu können (MAYRING 1990b). Von der anfangs formulierten Fragestellung ausgehend werden Strukturierungsdimensionen abgeleitet, die in einzelne Ausprägungen aufgespaltet und in einem Kategoriensystem dargestellt werden. Neben der genauen Definition der Kategorien finden sich dort Ankerbeispiele, die konkrete Textstellen zu jeder Kategorie benennen, sowie Kodierregeln, welche der Abgrenzung voneinander dienen. In mehreren Durchgängen werden alle Textstellen des Materials, die durch eine der definierten Kategorien angesprochen werden, markiert und aus dem Text herausgeschrieben.

Nicht inhaltstragende Bestandteile des Materials werden fallengelassen. Nun wird die Abstraktionsebene der ersten Reduktion bestimmt. „Nach der Bearbeitung des Textes mittels des Kategoriensystems wird das in Form von Paraphrasen extrahierte Material zunächst pro Unterkategorie, dann pro Hauptkategorie zusammengefasst.“ (MAYRING 1990b:83) Die Paraphrasen werden generalisiert und zu Hauptaussagen in den jeweiligen Kategorien zusammengefasst.

Als Hauptfragestellungen für die Analyse des Interviewmaterials wurde eine Leitfrage aufgestellt, die mithilfe der im Interviewleitfaden aufgestellten Fragen (vgl. Anhang A2) beleuchtet und auf die mit der strukturierten Inhaltsanalyse eingegangen werden soll.

„Wie beurteilen die Lehrer die Umsetzbarkeit und die Zielvorstellungen des fächerverbindenden Unterrichts am Beispiel der Bionik?“

Festlegung des Materials

Für die Durchführung der qualitativen Inhaltsanalyse wurde zunächst die Grundgesamtheit der Einzelinterviews definiert. Alle befragten Lehrer, welche im Zeitraum 01. März 2010 bis 30. April 2010 interviewt wurden, arbeiten an sächsischen Gymnasien. Elf der vierzehn interviewten Lehrer kooperierten bereits über die gesamte Projektzeit hinweg mit dem Institut für Botanik der TU Dresden. Sie besuchten die Lehrerfortbildungen, die im Rahmen des Projekts stattfanden und wendeten die dort vorgestellten Experimente zur Bionik teilweise in ihrem Unterricht an⁶¹. Vereinzelt gab es außerdem Vorgespräche, die der Optimierung der Arbeitsmaterialien dienten. Tabelle 24 stellt die 14 befragten Lehrer kurz vor, beschreibt ihren Fächerkanon und listet auf, in welchem Unterrichtsfach sie die Bionik unterrichten. Sechs Interviewpartner unterrichten in der Stadt Dresden, sechs Lehrer im Landkreis Sächsische Schweiz/Osterzgebirge und jeweils einer im Landkreis Görlitz bzw. Landkreis Meißen.

Fall	Pseudonym	Fächerkanon	unterrichtet Bionik im	
			naturwissenschaftlichen Profil	Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“
1	Lehrer L.	Bio/Ch	seit 2004	-
2	Lehrerin P.	Bio/Ch	seit 2005	seit 2008
3	Lehrerin F.	Bio/Ch	seit 2007	-
	Lehrerin K.	Bio/Ch	-	seit 2010
	Lehrerin W.	Bio/Ch	-	geplant
4	Lehrerin N.	Bio/Ch	seit 2007	-
5	Lehrerin L.	Bio/Geo	aushilfsweise	geplant
6	Lehrerin S.	Bio/Ch	seit 2007	-
	Lehrerin B.	Bio/Ch	seit 2007	-
7	Lehrerin E.	Ma/Ph	geplant	-
	Lehrer H.	Bio/Ch	seit 2007	-
8	Lehrer E.	Bio/Sp	seit 2005	seit 1998 ⁶²
9	Lehrerin G.	Bio/Ch	seit 2005	-
	Lehrerin V.	Bio/Ch	seit 2005	-

Tab. 24: Ausgewählte Lehrer für die Experteninterviews. Die Lehrer wurden anonymisiert. Abkürzungen der Fächerkanons: Bio-Biologie, Ch-Chemie, Geo-Geografie, Ma-Mathematik, Ph-Physik, Sp-Sport.

⁶¹ Die Interviews fanden zu einem Zeitpunkt statt, in dem die von der Autorin erstellte DVD im DUDEN-Verlag erschien. Diese lag deshalb einigen Lehrern bereits vor, anderen noch nicht.

⁶² Schulinterner Entwurf Grundkurs Bionik

Analyse der Entstehungssituation

Die Teilnahme an den Interviews war freiwillig. Eine Gegenseitigkeit war durch die Bereitstellung der Experimentierunterlagen und der Übergabe einer DVD mit Kurzfilmen zu bionischen Entwicklungen gegeben. Die Interviews wurden von der Autorin durchgeführt. Sie fanden bis auf eine Ausnahme in den Schulen der Lehrer statt. Dies gab den Lehrern die Möglichkeit, auch während des Interviews in ihren Materialien zu recherchieren und Produkte der praktischen Schülerarbeit vorzustellen. Die Interviewten hatten während der Gespräche keinen Unterrichtsverpflichtungen nachzukommen.

Formale Charakteristika des Materials und Transkription

Die Interviews wurden mit einem digitalen Tonbandgerät aufgenommen und anschließend transkribiert. Die Protokolle haben einen Umfang von insgesamt 37 Seiten. Für eine ausführliche Auswertung ist die Herstellung von Transkripten zwar aufwendig, aber doch unabdingbar (MAYRING 1990a). Gründliche Interpretationen werden so erst möglich. Für die Transkription der vorliegenden Interviews wurde ein vereinfachtes Transkriptionssystem verwendet, welches auf die Verschriftlichung von Dialekten und parasprachlichen Äußerungen weitgehend verzichtet. In Ausnahmefällen, in denen die nonverbale Kommunikation auf die inhaltliche Analyse Einfluss nimmt, wird sie jedoch integriert. Diese Übertragungsmethode in normales Schriftdeutsch wird verwendet, wenn die inhaltlich-thematische Ebene, wie in dieser Arbeit, im Vordergrund steht. Auf die Transkription von Textstellen, in welchen Interviewer und interviewte Person stark vom Thema abweichen, wird verzichtet. Diese Stellen sind jedoch erkenntlich gemacht und verweisen kurz auf das abschweifende Thema. Persönliche Angaben oder Angaben, die auf die Person oder Schule schließen lassen könnten, werden anonymisiert. Gedankensprünge, nicht zu Ende geführte Sätze oder umgangssprachliche Redewendungen werden beibehalten. Für die Transkription wurde das Programm f4 verwendet, welches kostenlos im Internet erhältlich ist⁶³.

Theoriegeleitete Differenzierung der Fragestellung

Das Material enthält neun Interviews mit insgesamt vierzehn Lehrern, die über ihre Erfahrungen mit dem seit 2005 im sächsischen Lehrplan verankerten fächerverbindenden naturwissenschaftlichen Profil der Sekundarstufe I und dem seit 2008 im Lehrplan der Sekundarstufe II integrierten Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ berichten. Ein erster Fragenkomplex bezieht sich auf die Erfassung der Rahmenbedingungen des Unterrichts. Der zweite Teil vertieft die Beschäftigung mit der Thematik in der praktischen Umsetzung und ist oft etwas freier gestaltet. Anschließend erfolgt ein Bewertungskomplex, der Interessensunterschiede der Schüler und die Möglichkeiten des Kompetenzerwerbs erfassen soll. Der emotionale Bezug der Lehrer zum fächerverbindenden Unterricht, der Bionik im Speziellen, ist jedoch ebenso Bestandteil der Untersuchung wie die Darstellung der bisherigen Handlungen und Erfahrungen im Rahmen dieses neuen Lehrplanabschnitts. Die Analyse soll außerdem klären, inwieweit die aktuelle Umsetzung der neuen Lehrplansegmente (insbesondere der Bionik) im Unterricht Erfolg versprechend ist. Daraus ergeben sich zwei Hauptfragestellungen, die aus der Leitfrage heraus entwickelt wurden:

⁶³ www.audiotranskription.de/f4.htm

Hauptfragestellung 1: Welche Erfahrungen haben die Lehrer im Bionik-Unterricht gesammelt?

Hauptfragestellung 2: Wie schätzen die Lehrer die Rahmenbedingungen sowie die Auswirkungen des fächerverbindenden Unterrichts ein?

Festlegung der Einschätzungsdimension

Die Einschätzungsdimension der vorliegenden Analyse erstreckt sich auf die subjektiven Bewertungen der Lehrer hinsichtlich ihres Unterrichts im Fach Bionik. Um die Auswertung übersichtlicher zu gestalten, wurde genauer definiert, welche Bewertungskategorien dabei eine Rolle spielten.

1. strukturelle Probleme bei der Umsetzung im Unterricht
2. Interesse der Schüler an der Bionik
3. Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
4. Anteil an selbständiger Schülerarbeit

Bestimmung der Ausprägungen

Um diese Bewertungskategorien objektiv einschätzen zu können, werden Skalierungen mit jeweils drei Ausprägungen (A, B, C) vorgenommen. Für alle Fälle, in denen eine eindeutige Kodierung in eine dieser drei Ausprägungen nicht möglich ist, soll eine Restkategorie D („Nicht erschließbar“) geschaffen werden. Folgende Kategorien ergeben sich für die drei Fälle:

1. Probleme bei der Umsetzung im Unterricht
 - A: hoher Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht
 - B: mittlerer Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht
 - C: niedriger Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht
2. Interesse der Schüler an der Bionik
 - A: starkes Interesse der Schüler an der Bionik
 - B: mittelstarkes Interesse der Schüler an der Bionik
 - C: kein Interesse der Schüler an der Bionik
3. Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
 - A: hoher Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
 - B: mittlerer Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
 - C: kein Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
4. Anteil an selbständiger Schülerarbeit
 - A: zeitlicher Anteil sehr hoch
 - B: zeitlicher Anteil mittelmäßig
 - C: zeitlicher Anteil niedrig

In Tabelle 25 werden die Ankerbeispiele für die entsprechenden Kategorien den Kategorien zugeordnet und mithilfe von Kodierregeln voneinander abgegrenzt.

Definition der Analyseeinheiten

Kodiereinheit: Als Kodiereinheit wird jede Proposition (Satz) bzw. jede vollständige Aussage des Befragten zum interessierenden Sachverhalt festgelegt.

Kontexteinheit: Die Gesamtheit der Interviewprotokolle wird als Kontexteinheit definiert.

Auswertungseinheit: Als Auswertungseinheit wird der einzelne Fall bestimmt.

Definitionen, Ankerbeispiele, Kodierregeln

Variable	Ausprägung	Definition	Ankerbeispiele	Kodierregeln
Probleme bei der Umsetzung im Unterricht	1A: hoher Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht	schwerwiegende Probleme im Unterrichtsalltag A: fachliche Probleme <ul style="list-style-type: none"> - zu schwierige Sachverhalte - wenig Unterrichtsmaterial - ungenügend Vorbereitung - keine Kooperationen mit anderen Fachlehrern B: organisatorische Probleme <ul style="list-style-type: none"> - geringer Zeitrahmen 	„Davor hatte ich eigentlich Bammel, ob ich das noch leisten kann, nach meiner langen Abstinenz von Physik und diesen Grundlagen.“ „So viel Zeit bleibt mir gar nicht, mit den Schülern was zu machen.“	Aussage ist explizit problemorientiert, eine der definierten Probleme wird angesprochen
	1B: mittlerer Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht	schwankende Einschätzung der Probleme Probleme sind vorhanden, aber zu bewältigen	„Sagen wir mal so, um einen Einblick zu bekommen, ist das [der Zeitrahmen], denke ich, ok.“	Problemaussage wird relativiert
	1C: kein Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht	keine Probleme im Unterrichtsalltag	„das muss ich jetzt mal sagen, unsere drei Leute im Profil hier, das klappt super“	Aussage formuliert positive Unterrichtspraxis ohne Probleme
	1D: nicht erschließbar	Es wird zwar über den Unterricht berichtet, aber auf Schwierigkeiten im Unterrichtsalltag wird nicht eingegangen.	„da muss man natürlich vorsichtig sein, dass man sich selber nicht das Standbein absägt“	Aussage geht im weiteren Sinne auf Unterrichtspraxis ein, jedoch ohne Wertung
Interesse der Schüler an der Bionik	2A: starkes Interesse der Schüler an der Bionik	Bionik fasziniert die Schüler, sie interessieren sich deutlich mehr als für andere Themen	„Ja und da sieht man dann wieder, das Glück haben wir ja, dass der Kurs freiwillig ist, da hat man einen überwiegenden Prozentsatz von Wollen.“	Aussage formuliert deutlich das starke Interesse der Schüler an der Bionik
	2B: mittelstarkes Interesse der Schüler an der Bionik	Es ist Interesse der Schüler an der Thematik vorhanden, jedoch nicht überragend viel	„Bis zu einem gewissen Punkt, wenn man die Sachen populärwissenschaftlich macht, sind die alle interessant.“	Aussage formuliert das Interesse der Schüler an der Bionik, allerdings mit Einschränkungen
	2C: kein Interesse der Schüler an der Bionik	Die Schüler interessieren sich nicht für Themen der Bionik	„Die Schüler scheinen kein Interesse an der Thematik zu haben.“	Aussage formuliert Desinteresse der Schüler an der Bionik
	2D: nicht erschließbar	Das Interesse ist nicht auf einer Skala abschätzbar, wird nicht formuliert	„die Kommunikation [anderer Lernbereich] liegt vorn, weil man hier wirklich sehr schön die Verknüpfung hat von allen Dreien: Bio, Chemie und Informatik“	Es wird nur indirekt auf das Interesse der Schüler an den Bionik-Themen eingegangen.

Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht	3A: hoher Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht	Verschiedene Kompetenzen werden auf jeden Fall durch den fächerverbindenden Unterricht gefördert, z.B. aus dem <ul style="list-style-type: none"> - Bereich Fachwissen - Bereich Erkenntnisgewinn - Kommunikation - Bewertung 	„dass auch das Gros erwacht und feststellt, ich kann mein Wissen aus der Chemie und aus der Mathe hier anwenden.“ „die fangen ja dann an, kreativ zu werden, einer kam mit einem Modell, manche beginnen dann, Berechnungen zu machen, die melken richtig alles aus“	Aussage formuliert deutlich Kompetenzgewinn mindestens eines Bereichs
	3B: mittlerer Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht	In einigen Bereichen werden unter Umständen Kompetenzen gefördert	„Also bei der Protokollführung gibt es insgesamt immer Probleme.“	Aussage formuliert Kompetenzgewinn eines Bereichs, allerdings mit Einschränkungen
	3C: kein Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht	durch den fächerübergreifenden Unterricht werden keine Kompetenzen nennenswert gefördert	„Ich kann nicht sehen, dass die Schüler, die in der 11 ankommen als Schüler erkannt werden, die im Nawi, also im Profil drin waren. [...] Und das ist eigentlich ein schlechtes Zeichen.“	Aussage widerspricht Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht
	3D: nicht erschließbar	Es wird zwar über den Unterricht berichtet, aber auf einen eventuellen Kompetenzgewinn wird nicht eingegangen.	„Weiß ich nicht. Ich kann es nicht messen.“	Aussage geht nicht näher auf Kompetenzen ein
Zeit für selbständige Schülerarbeit	4A: zeitlicher Anteil sehr hoch	Zeitraumen für selbständige Schülerarbeit (inkl. Rechercheaufgaben, Präsentationen, Experimenten) wird als deutlich höher als im fachspezifischen Unterricht eingeschätzt	„60 Prozent auf jeden Fall.“	zeitliche Definition ab 60 Prozent oder Großteil des Unterrichts
	4B: zeitlicher Anteil mittelmäßig	Zeitraumen für selbständige Schülerarbeit wird als gleich oder nur gering höher als im fachspezifischen Unterricht eingeschätzt	„Bestimmt 50 Prozent.“	Ungefähr gleicher zeitlicher Rahmen oder die Hälfte
	4C: zeitlicher Anteil gering	Zeitraumen für selbständige Schülerarbeit wird als geringer als im fachspezifischen Unterricht eingeschätzt	„Weniger als die Hälfte des Unterrichts.“	Deutlich weniger als im Fachunterricht
	4D: nicht erschließbar	Der Zeitrahmen für die selbständige Schülerarbeit wird nicht näher definiert/quantifiziert	„ich denke, das ändert sich auch von der Masse, was bearbeitet werden muss“	Keine genaue zeitliche Angabe

Tab. 25: Definitionen, Ankerbeispiele und Kodierregeln für die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring. Leitfrage: „Wie beurteilen die Lehrer die Umsetzbarkeit und die Zielvorstellungen des fächerverbindenden Unterrichts am Beispiel der Bionik?“.

8 Ergebnisse der Fragebögen und Interviews

8.1 Auswertung der Schüler-Fragebögen

Die sieben veröffentlichten und im Vorfeld untersuchten Themenkomplexe wurden unterschiedlich häufig von den Lehrern der Kooperationsschulen im Unterricht verwendet. Dadurch stand für die Auswertung der Fragebögen themenabhängig jeweils eine unterschiedliche Anzahl an Fragebögen zur Verfügung. Aufgabe der Fragebögen war in erster Linie die Aufdeckung versteckter Mängel und Probleme bei der Umsetzung sowie die Gesamtresonanz bei den Schülern.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Fragebogen-Befragungen von fünf Themenkomplexen vorgestellt. Zu den Themen 5 (Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung) und 7 (Joystick – beweglich wie eine Mimose) liegen keine auswertbaren Mengen an Schülerfragebögen vor, so dass auf eine Darstellung hier verzichtet werden muss. In Kapitel 2.1.6 werden die Schüleraussagen dieser fünf Themen hinsichtlich eines entwickelten Verständnisses für die Bionik miteinander verglichen.

8.1.1 Thema 1: Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens

Insgesamt wurden 175 Fragebögen zum Thema Faltungen in Natur und Technik ausgefüllt. Aufgrund der veränderten Modulzusammenstellung und deren Umstrukturierung im Laufe der Optimierungsphase wurde zusätzlich für zwei Klassen (21 Fragebögen) ein später entwickelter Fragebogen verwendet, deren Aussagen nur qualitativ in die Auswertung, und damit in die Optimierung der Arbeitsmaterialien, einfließen konnten.

Um zu erfassen, ob es den Schülern gelingt, Blattfaltungen und Blattwicklungen mithilfe eines Knospenquerschnitts unter dem Binokular⁶⁴ zu beobachten, wurde dieser Erfolg auf einer Skala von 1 (nichts beobachtet) über 2 (teilweise) bis 3 (beobachtet) erfasst. Die Faltungen konnten mit einem Durchschnitt von über 2,5 recht gut untersucht werden, auch die Betrachtung der Blattwicklungen war gut durchführbar (2,4). Allerdings führten nur 70 Prozent der Schüler die Knospenbeobachtungen überhaupt durch. Die Ursache dafür liegt vermutlich in der notwendigen Beschaffung der Knospen, auch wenn diese fast das gesamte Jahr über kostenlos zur Verfügung stehen.

Das Interesse der Schüler an den Faltungen wurde auf einer Skala von 1 (langweilig) über 2 (ok) bis 3 (sehr interessant) erfasst. Auch der Schwierigkeitsgrad der unterschiedlichen Faltungen wurde mithilfe des Fragebogens und einer Skala von 1 (zu schwer) über 2 (ok) bis 3 (zu leicht) erfragt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 28 einander gegenübergestellt. Die Säulen geben dabei die von den Schülern empfundenen Schwierigkeitsgrade, die Linie dagegen das Interesse an der entsprechenden Faltung wieder.

⁶⁴ Alternativ wurden auch Mikroskope und Lupen verwendet.

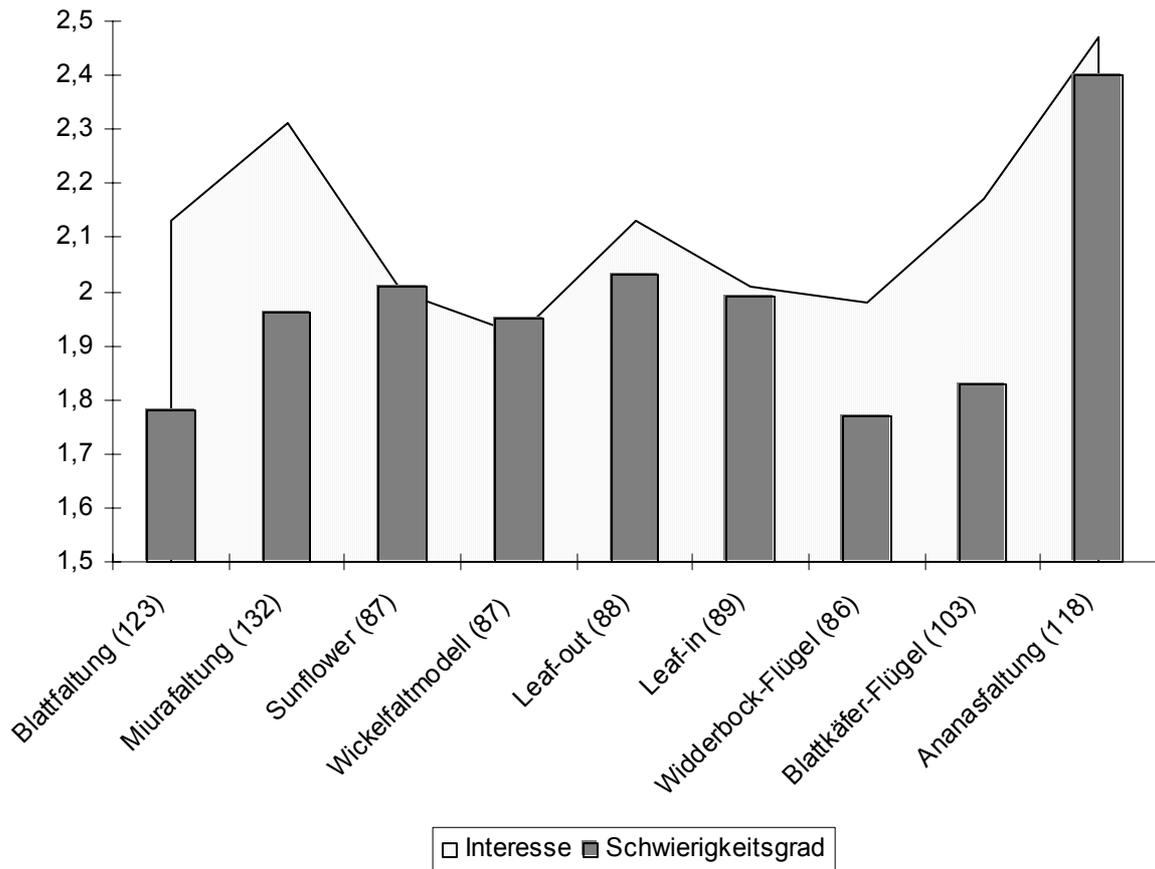


Abb. 28: Interesse und Schwierigkeitsgrad der einzelnen Faltmodelle, in Klammern die Anzahl der Schüler, die die entsprechende Faltung durchgeführt haben. Im Hintergrund ist als Fläche das Interesse an der jeweiligen Faltung dargestellt, davor als graue Säule der von den Schülern definierte entsprechende Schwierigkeitsgrad. Skala Interesse: 1 (langweilig), 2 (ok), 3 (sehr interessant), Skala Schwierigkeitsgrad: 1 (zu leicht), 2 (ok), 3 (zu schwer).

Das Interesse an den Faltungen wird von den Schülern im Durchschnitt mit einer 2,1 angegeben, die Abbildung verdeutlicht jedoch die Unterschiede zwischen den einzelnen Faltpatternen. Ebenso wird der durchschnittliche Schwierigkeitsgrad der Faltungen mit 2,1 beschrieben, die Werte variieren auch hier. Die nach Aussagen der Schüler am schwersten zu bewältigende Faltung, die Ananasfaltung, wird gleichzeitig als am interessantesten eingestuft. Die verschiedenen Sonnensegel-Modelle entsprechen alle einer mittleren Schwierigkeitsstufe, währenddessen die Blattfaltung ebenso wie die Käferflügelfaltungen als eher einfachere Faltpatternen angesehen wird. Hervorzuheben bleibt hier das vergleichsweise hohe Interesse an der Miura-Faltung, die besonders auch im Zusammenhang mit ihrem biologischen Analogon „Blattfaltung“ oft auf große Begeisterung stößt.

Einige Schüler nutzten auch die Möglichkeit, Kommentare zu den verschiedenen Experimenten zu formulieren. Hier ein paar Aussagen, die die Bandbreite der Meinungen repräsentieren:

„guter Ausgleich“
 „ich hätte mich über etwas knifflige Faltungen gefreut“
 „das erste mal das Prinzip der Sonnensegel hautnah“
 „Faltungen tragen nicht wesentlich zum Verstehen bei - nur Entspannung“
 „Ich fand, diese Fallexperimente waren eine gelungene, praktische Abwechslung zum normalen Schulalltag. Sie boten Herausforderungen für die eigenen Fähigkeiten und weckten gleichzeitig das Interesse an der Natur.“
 „Ananasfaltung ist nervenaufreibend“
 „Lehrerin hat Schüler erst falten lassen, dann Theorie erklärt“
 „nicht zu viele Faltungen zeigen“
 „mehr Faltungen“

8.1.2 Thema 2: Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?

Die Befragung zum Thema Faserverbunde, an der insgesamt nur 44 Schüler teilnahmen, beinhaltete neben strukturellen Fragen auch einige Fachfragen, die klären sollten, ob die Schüler den Mehrwert der bionischen Forschung in den Werkstoffwissenschaften erfassen konnten. Die entscheidende Frage lautete: „Was kann man vom biologischen Faserverbund für die Technik lernen?“. Die Antworten dieser offenen Frage wurden in Kategorien ähnlicher Aussagen zusammengefasst und in Abbildung 29 dargestellt.

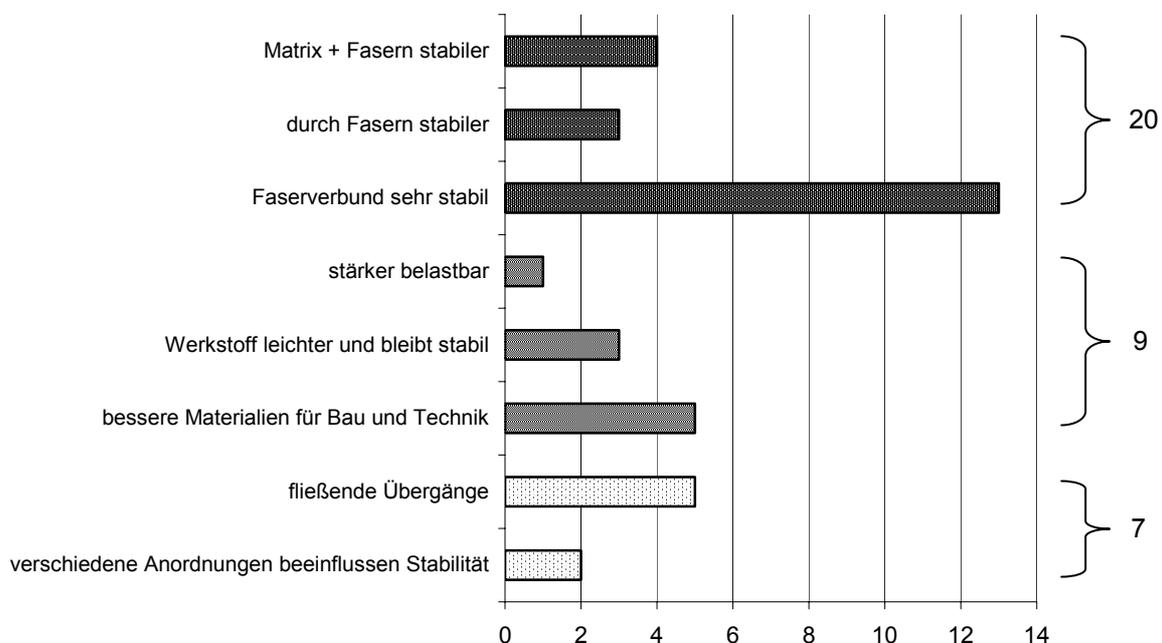
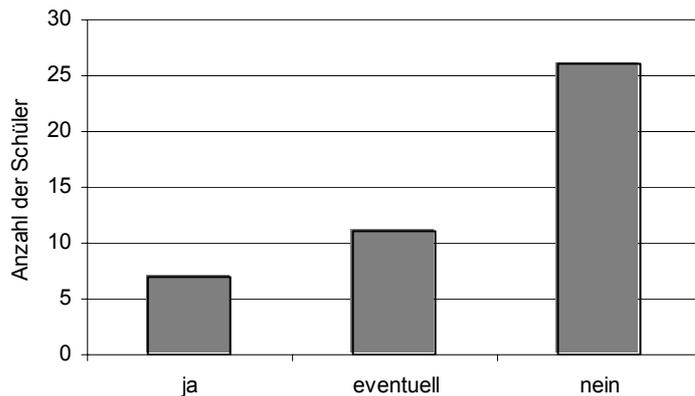


Abb. 29: Acht gebildete Antwortkategorien auf die offene Frage „Was kann man vom biologischen Faserverbund für die Technik lernen?“, dunkle Säulen beziehen sich auf die Stabilität des Faserverbunds allgemein, die grauen Säulen beschreiben eher funktionelle Eigenschaften bezüglich der Anwendung, die weißen Säulen beziehen sich auf die Ergebnisse der Experimente sowie die Untersuchungen der biologischen Vorbilder.

Die Mehrheit der Schüler beschreibt die Vorteile eines Faserverbunds nur allgemein. Lediglich knapp 20 Prozent gehen in ihrer Antwort direkt auf Ergebnisse der experimentellen Untersuchung ein: „*Fließende Übergänge*“ kennzeichnen die untersuchten biologischen Verbundsysteme. Hier spielt der Lehrer für den Vermittlungsprozess eine entscheidende Rolle. Er muss, auch um den Bezug zur Bionik herzustellen, unbedingt auf graduelle Übergänge in pflanzlichen Verbundsystemen hinweisen.

Die Aussage „*verschiedene Anordnungen beeinflussen Stabilität*“ bezieht sich auf die Variationen der Faseranordnung, die bei der Herstellung der Wachsziegel eine Rolle spielten.



Die Frage, ob die Schüler Interesse hätten, sich weiter mit dem Thema auseinanderzusetzen, beantworteten nur 16 Prozent mit JA, 59 Prozent dagegen mit NEIN (vgl. Abb. 30).

Abb. 30: Interesse der Schüler an einer Weiterführung des Themas „Faserverbunde“.

In den Kommentaren forderten die Schüler zur Verbesserung der Arbeitsmaterialien zusätzlich und konkretere Anwendungsbeispiele.

8.1.3 Thema 3: Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse

Insgesamt 69 Schülerfragebögen konnten zu diesem Thema ausgewertet werden. Auch diese Auswertung ist aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl nicht empirisch zu belegen und damit nicht repräsentativ. Doch sollen auch hier Tendenzen hinsichtlich Interesse und Schwierigkeitsgrad im Rahmen der Möglichkeiten aufgezeigt werden. Aufgrund zeitlich begrenzter Rahmenbedingungen führten einige Lehrer die Greiferkonstruktion und die Computersimulation nicht durch⁶⁵.

⁶⁵ Die Beschreibung zur Computersimulation wurde erst relativ spät in Zusammenarbeit mit einem Lehrer entwickelt.

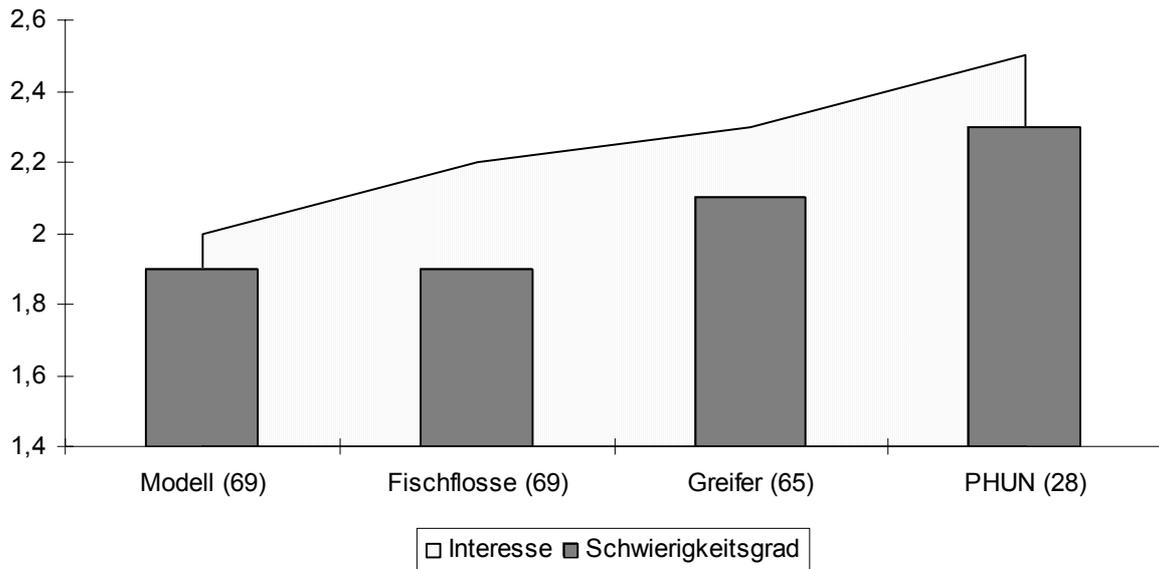


Abb. 31: Interesse und Schwierigkeitsgrad an den einzelnen Aufgaben zum Flossenstrahleffekt. Im Hintergrund ist das Interesse an der jeweiligen Aufgabe dargestellt, davor als graue Säule der von den Schülern definierte entsprechende Schwierigkeitsgrad. Skala Interesse: 1 (langweilig), 2 (ok), 3 (sehr interessant), Skala Schwierigkeitsgrad: 1 (zu schwer), 2 (ok), 3 (zu leicht). In Klammern die Anzahl der Nennungen.

In dem ersten Frageabschnitt wurde das Interesse an den vier unterschiedlichen Teilen Modell, Fischflossenuntersuchung, Greiferkonstruktion und Computermodellierung auf einer Skala von 1 (langweilig) über 2 (ok) bis 3 (sehr interessant) erfasst (vgl. Abb. 31). Die Computermodellierung mithilfe des Programms PHUN erhält mit 2,5 hier die beste Punktzahl, gefolgt von der Greiferkonstruktion mit 2,3 und anschließend der Fischflossenuntersuchung mit 2,2. Doch auch das Basteln des Modells zu Beginn des Experimentkomplexes erhält im Durchschnitt eine 2. Der zweite Befragungsabschnitt beleuchtet die Schwierigkeitsgrade der unterschiedlichen Bereiche. Die Skalierung gliedert sich in 1 (zu leicht) über 2 (ok) bis 3 (zu schwer). Als vergleichsweise schwer wird mit 2,3 die Modellierung mit dem Computerprogramm beschrieben. Die drei weiteren Abschnitte sind in ihren Bewertungen um $2 \pm 0,1$ eher ausgeglichen. Interessanterweise kann konstatiert werden, dass das Interesse an einer Aufgabe oder Thematik mit steigendem Schwierigkeitsgrad zunimmt.

Die wenigen Kommentare fanden, sofern möglich, bei der Optimierung der Arbeitsmaterialien Eingang:

„Zusammenfassung wäre hilfreich“

„ich finde drei Versuche zu viel, verliert an Spannung“

„bessere Beschreibung des Versuchsaufbaus“

8.1.4 Thema 4: Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern

Auch bei der Befragung zu diesem Thema gab es aufgrund von Hinzunahme und Wegfall einzelner Experimentiermodule zwei zeitlich aufeinanderfolgende Fragebögen. Hier werden nur die Aufgaben ausgewertet, welche in beiden Fragebögen thematisiert wurden. Dank der

Ergebnisse aus dem ersten Fragebogen konnten jedoch entscheidende Hinweise auf die Umsetzbarkeit der Versuche und der begleitenden Aufgaben gewonnen werden. Insgesamt 98 Fragebögen wurden ausgefüllt.

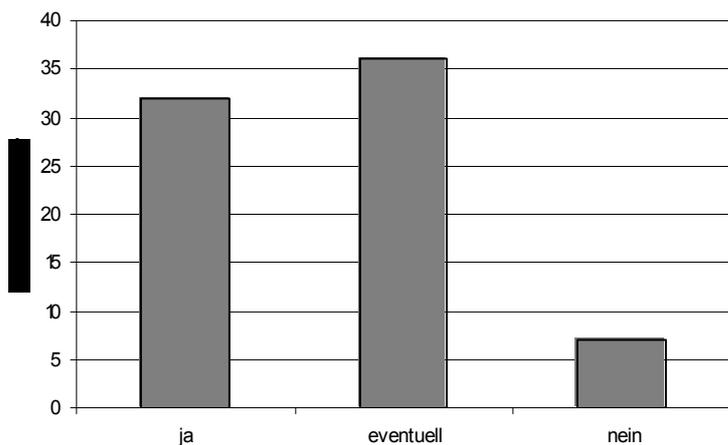
Aufgabe	Interesse
<i>Blattader-Untersuchung</i>	0,5
<i>Internetrecherche „Himalaya“</i>	0,5
<i>Schlauchexperiment</i>	0,2
<i>FracTherm-Konstruktion</i>	0,7
<i>Blattverletzung durch Schnitt</i>	0,1

Tab. 26: Bewertung des Interesses an den Aufgaben des Themenkomplexes Transportsysteme. Skala: hat Spaß gemacht (0), hat keinen Spaß gemacht (1). Dargestellt sind die Durchschnittswerte aus den Schülerfragebögen.

Die Schüler sollten in der Befragung angeben, ob ihnen die jeweilige Aufgabe Spaß gemacht hat (0) oder nicht (1). Die Ergebnisse, in Tabelle 26 dargestellt, zeigen, dass besonders die beiden Aufgaben mit hohem experimentellem Anteil sehr beliebt waren. Die Verletzung der Blätter an einer lebenden Pflanze und deren Beobachtung schnitten demnach ebenso wie das Schlauchexperiment, welches T- und Y-Verzweigungen miteinander vergleichen soll, sehr gut ab. Der Untersuchung von Blattaderstrukturen verschiedener Blätter wie auch unerwarteterweise der Internetrecherche wurden nur die Mittelränge zugewiesen (0,5). Die geometrische Konstruktion des Algorithmus, der der technischen Entwicklung FracTherm zugrunde liegt, schneidet sehr schlecht ab. 65 Prozent der Schüler hat diese Aufgabe keinen Spaß gemacht. Interessant ist hier der Unterschied zwischen den Klassenstufen 8 und 10. Während diese Aufgabe von den Achtklässlern (48 Schüler) mit 0,8 sehr schlecht bewertet wird, empfinden die Zehntklässler (50 Schüler) sie als vergleichsweise interessant (0,6). Trotzdem bleibt diese Konstruktionsaufgabe die bei den Schülern am unbeliebteste des gesamten Themenkomplexes.

In der Kommentarspalte wurde neben dem Wunsch nach einfacherer Sprache und ausführlicherer Erklärungen auch die Notwendigkeit eines deutlicher herausgearbeiteten Bezugs zur Bionik formuliert.

<p>„ausführlichere Erklärung“ „Bezug zur Bionik verstärken“ „FracTherm zu schwer“ „mehr Experimente“</p>



Die Frage, ob die Schüler Interesse hätten, sich weiter mit dem Thema auseinanderzusetzen, beantworteten 43 Prozent mit JA und nur 9 Prozent mit NEIN (vgl. Abb. 32).

Abb. 32: Interesse der Schüler an einer Weiterführung des Themas „Transportsysteme“.

8.1.5 Thema 6: Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel

Die Befragungen zu diesem Experimentierthema wurden mit 111 Schülern durchgeführt. Das erste Ergebnis stellt die Aufgaben vor, die den Schülern am meisten Spaß gemacht haben. An oberster Stelle steht der Belastungstest, der die verschiedenen Kerbstrukturmodelle mithilfe von Gewichten hinsichtlich ihrer Belastungsgrenze untersucht. 73 Prozent der Schüler fanden diese Aufgabe am interessantesten. Die anderen drei Aufgabenschwerpunkte wurden von jeweils etwa 10 Prozent der Schüler als beste Aufgabe bezeichnet.

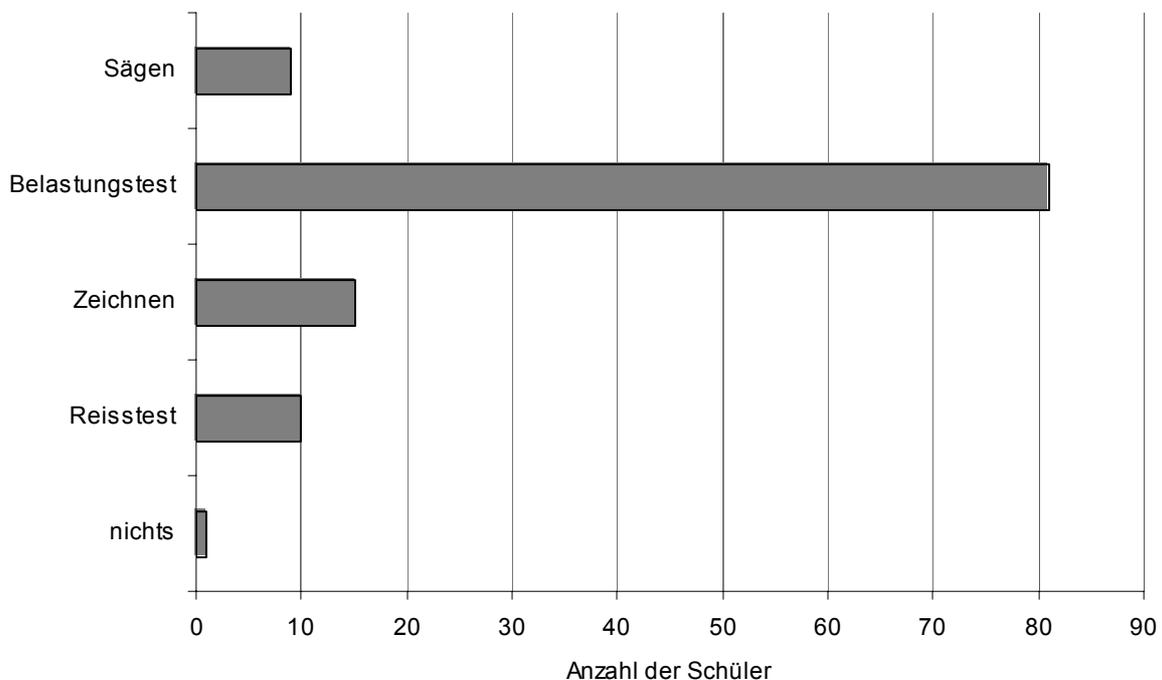
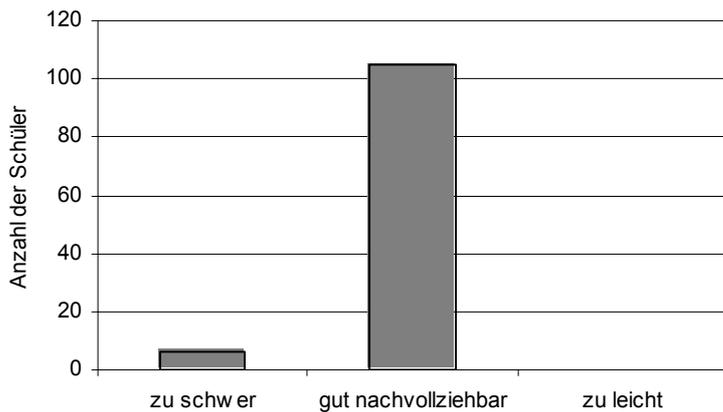


Abb. 33: Aufgaben des Experimentierthemas Kerbstrukturen und ihre Beliebtheit bei den Schülern. Die Nennungen beziehen sich auf die offene Frage: „Was hat Ihnen am meisten Spaß gemacht bei der Durchführung des gesamten Experiments?“, Mehrfachnennungen wurden berücksichtigt.



Die Frage nach der Verständlichkeit und Durchführbarkeit der Konstruktionsanleitung biologisch inspirierter Korbstrukturen mittels der Zugdreiecksmethode wurde von fast 95 Prozent mit der Wertung „gut nachvollziehbar“ beantwortet.

Abb. 34: Verständlichkeit der Konstruktionsaufgabe „Zugdreiecke“ des Themenkomplexes Korbstrukturen.

Die wenigen kritischen Kommentare beschäftigten sich mit der fehlenden Vorstellung für die Anwendbarkeit dieser Entwicklung:

„mehr Beispiele aus der Technik“
„Mir war bei den Experimenten nicht klar, was das mit Bionik zu tun hat bzw. wo das erworbene Wissen in der Praxis angewendet wird.“
„es könnte mehr Erklärungen zu den Experimenten geben“

Diese Kritikpunkte wurden bei der darauf folgenden Bearbeitung des Lehrerteils dieses Experimentierthemas berücksichtigt.

8.1.6 Vergleichende Auswertung zur Gesamtbewertung der Experimente

Die Fragebögen zu den jeweiligen Themen schließen alle mit der Frage: *„Wie wird Ihrer Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“*. Die Antwort auf diese Frage führt wieder zum Kern der Aufgabenstellung zur Entwicklung der Bionik-Experimente. Wie geeignet sind die Experimente für die Veranschaulichung der Funktionsweise bionischer Entwicklungen tatsächlich – und aus Schülersicht?

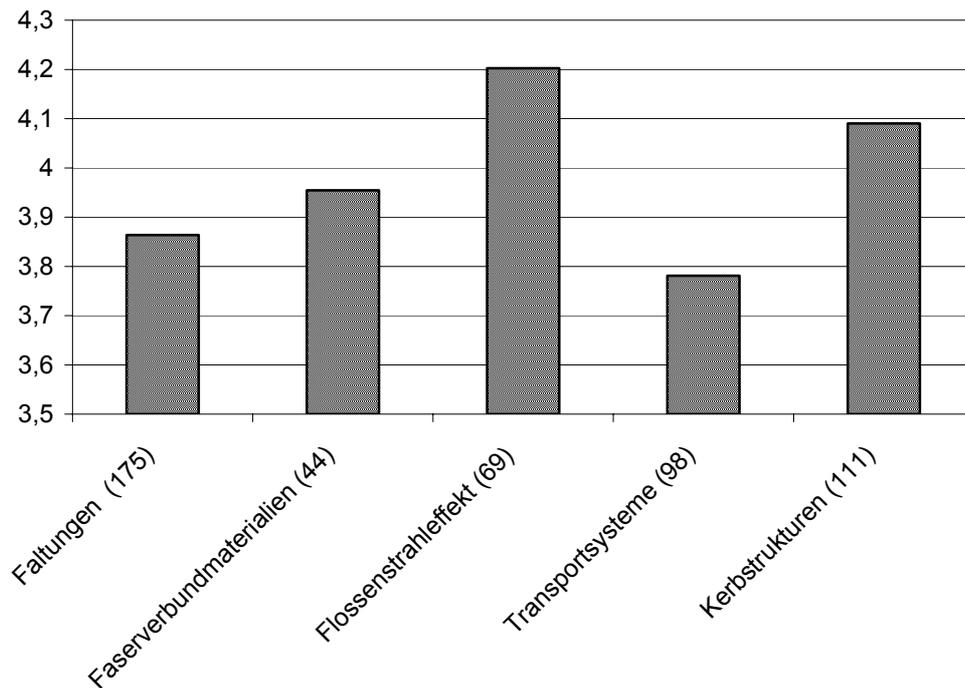


Abb. 35: Darstellung der Antworten zur Frage „Wie wird Ihrer Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“. Skala: 1 überhaupt nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 gut, 5 sehr gut. Dargestellt sind die Durchschnittswerte aus den Schülerfragebögen. Die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen sind in Klammer gesetzt.

Die zur Klärung dieser Frage verwendete Skala umfasste fünf Bewertungskategorien: „das Experiment erklärt die Arbeitsweise der Bionik...“ überhaupt nicht (1), kaum (2), mittelmäßig (3), gut (4), sehr gut (5)⁶⁶. In Abbildung 35 werden die fünf Experimentierthemen dargestellt, für die ausreichend Fragebögen ausgewertet werden konnten und somit einen, wenn auch nicht repräsentativen Vergleich untereinander ermöglichen. Die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen sind in Klammer gesetzt. Die fünf Themenkomplexe zeigen leicht unterschiedliche Werte. Der erreichte Durchschnittswert aller Bewertungen liegt bei 4 (gut). Den höchsten Wert mit 4,2 erreicht der Komplex Flossenstrahleffekt, den niedrigsten Wert der Komplex der Transportsysteme mit 3,8. In Abbildung 36 werden die Bewertungskategorien noch einmal in Betracht ihrer relativen Häufigkeit aufgeschlüsselt. Es wird deutlich, dass das Thema des Flossenstrahleffekts die höchste relative Anzahl der Kategorie 5-Bewertungen erhält und damit seine Durchschnittsnote über die der anderen Themen heben kann. Der niedrige Durchschnittswert des Themas Transportsysteme wird maßgeblich dadurch bedingt, dass es von 32 Prozent der befragten Schüler nur mit Kategorie 3 bewertet wird. Eingeschränkt wird das hier dargestellte Ergebnis dadurch, dass die unterschiedlichen Themen nicht von denselben Schülern durchgeführt wurden und somit verschiedene subjektive Bewertungskategorien einfließen.

⁶⁶ Im Schüler-Fragebogen wurden die Bewertungen andersherum definiert: überhaupt nicht (5), kaum (4), mittelmäßig (3), gut (2), sehr gut (1), um den Schülern eine Bewertung in dem ihnen bekannten Bewertungssystem vorzunehmen. Der optimalen Darstellung wegen aber wurde dieses für die Auswertung umgekehrt, die Werte beeinflusste dieser Vorgang nicht.

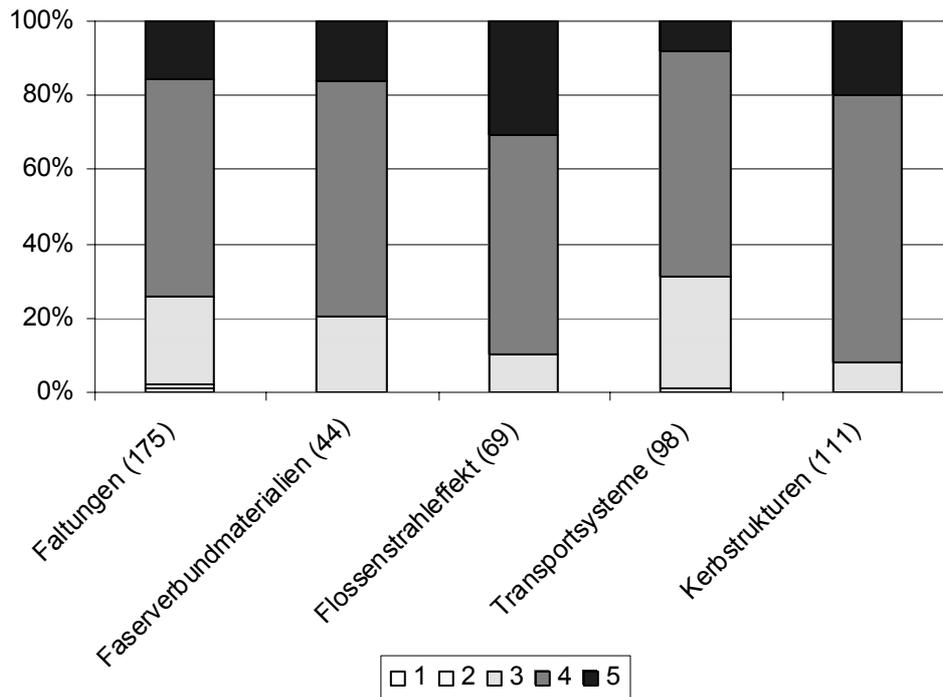


Abb. 36: Darstellung der relativen Antwortenhäufigkeit zur Frage „Wie wird Ihrer Meinung nach durch das Experiment die Arbeitsweise der Bionik erklärt?“ mit Aufschlüsselung der Skala: 1 überhaupt nicht, 2 kaum, 3 mittelmäßig, 4 gut, 5 sehr gut. Die Anzahl der ausgewerteten Fragebögen sind in Klammer gesetzt.

8.2 Gesamteinschätzung

Die sieben Experimentierthemen, die auf der Bionik-DVD zu finden sind, wurden hinsichtlich ihrer Entstehungs- und Entwicklungsprozesse gerade in Hinblick auf Anforderungen an die Aufgabenentwicklung dargestellt (Kap. 6.2), ihre inhaltliche Struktur wurde kurz wiedergegeben (Kap. 6.1), ihre Akzeptanz bei der Zielgruppe durch die Schülerfragebögen erfragt und analysiert (Kap. 8.1). In dem nun folgenden Kapitel soll abschließend für jedes Thema separat eine kurze Einschätzung erarbeitet werden, ohne die vorangegangenen Ergebnisse noch einmal zu wiederholen.

8.2.1 Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens

Die Module des Experimentierthemas „Faltungen in Natur und Technik“ wurden nicht nur sehr oft angewendet, sondern von Schülern wie Lehrern auch sehr interessiert und begeistert aufgenommen. Diese herausragende Stellung ist vor allem begründet in der billigen und leicht zugänglichen Beschaffung von Beobachtungs- und Bastelmaterial: Knospen sind fast das gesamte Jahr über auch in einem städtischen Umfeld zu finden. Für die Papierfaltungen benötigt man lediglich farbiges Papier – die Farbigkeit ist jedoch nicht Voraussetzung für das Gelingen. Auch die Theorie des Faltextperiments bedarf keiner außergewöhnlichen fachspezifischen Kenntnisse. Die Prinzipien der Faltungen (vgl. L 1 Seite 6) sind, auch wenn sie durchaus mathematisch-physikalischen Hintergrund besitzen, leicht zugänglich und durch die drei Kurzversuche „3:1-Verhältnis von Berg- und Tal falten“,

„Vergleich eindimensionaler und mehrdimensionaler Faltung“ und „gekrümmte Falte“ sehr gut zu illustrieren.

Die biologischen Vorbilder der Faltmodule haben starken Alltagsbezug. Besonders die Knospenentfaltung im Frühjahr führt wirkungsvoll die Funktionen von Faltungen in der Natur vor Augen (vgl. L 1 Seite 6). Die Abstraktion der Faltprinzipien als entscheidender bionischer Entwicklungsschritt ist aufgrund der handwerklichen Komponente des Experiments greifbar und logisch. Außerdem begeistert die Schüler die technische Anwendung dieser Faltprinzipien aus der Natur in Sonnensegeln oder medizinischen Stents, denn es handelt sich um Anwendungsbeispiele, deren Umfeld und deren Nutzen sie sich gut vorstellen können.

All diese Faktoren führen zu einer hohen Akzeptanz dieser Thematik seitens der Schüler. Die Lehrer berichteten in den Lehrerfragebögen wie auch in den Interviews durchweg von ihren positiven Erfahrungen und geben an, das Falt-Experiment unbedingt erneut durchführen zu wollen.

8.2.2 Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung und Rudern gemeinsam?

Die eigenständige Erarbeitung dieser für die Schüler auf den ersten Blick doch sehr fremden Thematik macht die Funktionsweise von Faserverbundmaterialien als Resultat eigener Überlegungen direkt erlebbar und erklärbar. Auch wenn die Schüler mit dem Thema im besten Fall im Technikunterricht unter dem Unterrichtsbereich Baustoffe in Berührung kommen, sind die Anwendungsgebiete wie beispielsweise der Bau mit Stahlbeton, aus dem Alltag nicht wegzudenken.

Der etwas umfangreiche experimentelle Aufbau, insbesondere der Herstellungsprozess, erfordert nicht nur die Besorgung nicht unbedingt alltäglicher Materialien wie Wachsgranulat und leere Frischkäsedosen, sondern auch einen zeitlichen Rahmen von mindestens zwei zeitlich voneinander getrennten Doppelstunden für Vorbereitung, Durchführung und Diskussion, da die Wachsziegel nicht nur hergestellt, sondern auch ausreichend trocknen müssen. Die zeitlichen Rahmenbedingungen sind aufgrund des sächsischen Lehrplans und dessen Raum für bionische Forschungen günstig. Die materiellen Bedingungen dagegen scheitern nach Aussagen der Lehrer am Beschaffungsaufwand oder aus finanziellen Gründen⁶⁷.

Dank der in Gruppenarbeit hergestellten zahlreichen Ziegel kann das Experiment im Unterricht auch statistisch ausgewertet werden. Jeder Schüler sollte hierbei einen eigenen Ziegel hergestellt und auch im Belastungstest geprüft haben. Die Durchführung der Belastungstests erwies sich in der Erprobung als sehr motivierend. Die Ziegel wiesen eine deutlich höhere Belastbarkeit als von den Schülern erwartet auf.

Das Experiment allein weist bis zu diesem Punkt keinen Bezug zur bionischen Forschung auf, sondern verdeutlicht lediglich die in Materialien wirkenden Kräfte. Erst die Diskussion um die Art und Weise des Versagens regt eine Analogiesuche in biologischen Systemen an –

⁶⁷ Eine Packung Wachsgranulat mit 1000 Gramm, ausreichend für etwa 33 Wachsziegel, kostet, abhängig vom Anbieter, zwischen 5 und 7 Euro.

und stellt damit einen Bezug zum Stand der aktuellen Forschung her. Damit hängt die Verknüpfung zur Bionik stark vom Bewusstsein und Engagement des Lehrers ab.

Folgendes Zitat aus einem Interview mit einer Lehrerin verdeutlicht sehr gut die Bedenken vor der Durchführung, aber auch den erreichten Erfolg:

„[...] Ich hatte nach ihrer Anleitung die Ziegel gebaut, nehme den Ziegel raus und da bricht mir schon die erste Ecke weg. Und da dachte ich, ach du Mist. Jetzt geht das schon ohne Belastung, wie soll dieser Ziegel hier überhaupt was halten und hatte ehrlich gesagt ganz große Bedenken und dann hatte ich den Schülern alles mitgebracht und gesagt, macht mal usw., und da haben die das teilweise gut gemacht, ich musste das in ein Protokoll einbetten, weil ich das gern bewerten wollte. Ich brauchte von denen noch eine Note. Und insofern musste ich auch absichern, dass das alles mit einer Vorbetrachtung abgesichert ist, da blieb dann nur noch Zeit, die Ziegel zu gießen und danach war die Stunde im Prinzip zu Ende. Und viele, die mit den mikroskopischen Zeichnungen dann noch zu lange gebraucht haben, die haben das nur am Schluss noch schnell gemacht. Und da habe ich denen gesagt, wer das jetzt nicht geschafft hat, der gießt Ziegel zu Hause, abwiegen könnt ihr Euch das Wachs, Fasern könnt ihr einlegen. Beachtet nur, die Richtung muss mindestens da sein, der Rest, den könnt ihr machen, wie ihr wollt, seid kreativ. Und gestern hatte ich nun erstens die Befürchtung, es wird wohl keiner einen Ziegel mit haben, zweitens, die Ziegel halten eh nichts usw. Ich bin wirklich mit einem ganz unguuten Gefühl in die Stunde hineingegangen, weil ich dachte, wie willst du das bewerten, und kannst das dann noch bewerten, wie machst du das, hättest du vielleicht doch zu Hause ein paar Ziegel gießen sollen - und komme dort rein und die hatten Ziegel ohne Ende mit. Da ging es mir schon erst mal besser. Und dann merkt man, da hat einer wirklich drüber nachgedacht, es war so schön, die Stunde hat mir so viel Spaß gemacht. Die haben dort mit den Eimern hantiert und mit dem Wasser. Ich hatte noch so gesagt, ihr könnt euch überlegen, ob ihr fortlaufend Wasser eingießen wollt, oder ob ihr abgemessene 100 ml zugeben wollt, halb-kiloweise, es ist mir vollkommen egal, wie ihr das macht, macht euch Gedanken. Meldet sich schon ein Schüler, und sagt, wenn die Ziegel überhaupt den Eimer abhalten, dann wäre es toll. Und da dachte ich, na ja gut, so hast du ja schließlich auch gedacht und habe nichts dazu gesagt. Da haben die, sie hätten die Jungs sehen müssen in der 12, das Ding draufgelegt und halber Wassereimer voll, dreiviertel voll, das kann jetzt nicht wahr sein, der steht bestimmt auf, guck mal, ob der nicht unten aufsteht, das kann doch nicht sein, dass der einen dreiviertel Eimer Wasser aushält - und als die gebrochen waren, das war gut, dass sie den Tipp noch mit hingeschrieben haben mit dem Umdrehen, das habe ich sie nämlich auch machen lassen - das hat den Schülern richtig Spaß gemacht. [...]. Das begeistert Jungs. Da können sich Jungs dusselig dran freuen. Da ging es z.B. "leg mal den Ziegel jetzt diagonal, was ändert sich denn dann?", da sagt der andere "Brauchen wir doch nicht, dafür haben wir doch die unterschiedlichen Faserrichtungen", "Das verstehe ich nicht, das musst du mir noch mal erklären.", "Gucke mal, wenn ich den Ziegel so hinlege, gehen die Fasern in die Richtung, wie wirkt denn jetzt die Zugkraft?", "Weiß ich nicht.", "Eh, überlege doch mal, hier untern wird gezogen" - so ging das untereinander, es war einfach nur schön. Und ein Schüler kam an und sagte, ich habe Spaghetti reingemacht, ich hatte gesagt, die können die Faserart auch mal ändern, können ganz andere Fasern nehmen, was ihnen gerade einfällt. Da habe ich ihn auch erstmal komisch angeguckt, weil ich auch erstmal nicht wusste, was das jetzt

soll. Da sagt er, na, wir müssen es mal angucken. Ich sagte, das interessiert mich auch. Er macht das und es bricht durch, so, als ob nur Wachs da wäre. Weil so ein trockener Spaghetti, ich habe ja versucht, es ihm zu erklären, nichts anderes ist als Wachs und bricht. Und das Tolle war aber, dass er gesagt hat, ich hätte doch auf meine Mutter hören sollen, ich hätte die Spaghetti kochen müssen, dann sind die doch elastisch und nehmen die Zugkraft auf. Das war toll. Solche Momente liebe ich, wenn so was dann kommt. Und dann sagt er, "und das probiere ich." Ich muss dazu sagen, auch wenn es ganz exakt dort steht, wie man es macht, man macht doch erst mal Fehler in den Materialien. Ich habe z.B. beim Ziegelgießen den Fehler gemacht, ich wollte genial sein und den Wachs nicht verlieren, indem ich umschützte, und da habe ich gesagt, wir können die Wachs ja doch gleich in der Schale warm machen und die Fasern dann reinlegen, das Draufgießen geht aber einfach besser, da hatte ich mir was dabei gedacht, aber na ja, man soll auf die hören, die Ahnung haben. das wäre besser gegangen. [...]“

Der hier sehr ausführlich beschriebene Effekt des Staunens und entdeckenden Lernens konnte auch bei der Durchführung dieser Thematik mit anderen Klassen beobachtet werden. Durch die der Schülererwartung entgegenlaufenden Ergebnisse wurden Experimentier- und Forscherfreude gefördert und Diskussionen zur Funktionsweise angeregt.

8.2.3 Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse

Der Experimentierkomplex ist sehr übersichtlich gegliedert, sein Inhalt leicht verständlich und der zeitliche Rahmen sehr variabel gestaltbar. In einer Doppelstunde können die beiden für ein Grundverständnis notwendigen Abschnitte, die Herstellung des Modells sowie die mikroskopische Untersuchung der Fischflossen, problemlos durchgeführt werden. Aus diesen Gründen ist das Experiment sehr geeignet für den Einsatz im Schulunterricht, insbesondere in den jüngeren Jahrgangsstufen, denn die inhaltlichen Anforderungen bzw. fachlichen Vorkenntnisse sind recht gering, die bionische Arbeitsweise lässt sich jedoch trotzdem sehr gut daran erklären. Aus diesen letztgenannten Gründen ist das Thema auch bei den Schülern sehr beliebt. Sie bewerten die durch das Experiment gezogene Verknüpfung zum bionischen Arbeiten als sehr gut.

Interessanterweise lassen sich während der Untersuchung am natürlichen Vorbild Fisch besonders bei den Mädchen Berührungsängste beobachten. Die Fische werden als furchtbar schleimig charakterisiert; das Abtrennen der Flossen mithilfe einer Schere ekelt einige Schüler sehr. Leider verzichteten einige Lehrer bei der Durchführung auf die Untersuchung der Fische, vorrangig wegen des Beschaffungsaufwands. Damit fällt die Naturbeobachtung als entscheidende Ausgangsstufe für die bionische Forschung weg, wodurch dem Themenkomplex nur noch der Erzählcharakter verbleibt – und es zu einem Illustrationsexperiment verkümmert.

Eine eigenständige Modellentwicklung auf der Basis der mikroskopischen Analysen ist im Schulunterricht kaum realistisch, daher wird die Konstruktion des Modells mittels einer Aufgabe vorgestellt. Beobachtungs- und Rechercheaufgaben ermöglichen jedoch eine

intensive Auseinandersetzung mit dem Modell und den Hintergründen seiner Entwicklung, auch bezüglich einer Patentanmeldung.

Die zusätzlich nutzbaren Angebote der Greiferkonstruktion und der Modellierung mithilfe des Computerprogramms PHUN bedürfen einiger Vorbereitung hinsichtlich der Besorgung der Materialien bzw. der Installation des Programms auf den Computern des Schul-Computerkabinetts. Sie stellen jedoch eine sinnvolle Ergänzung in Richtung Anwendung und computergestütztes Arbeiten dar. Gerade das Arbeiten mit dem Physikprogramm PHUN begeistert die Schüler sehr. Die Herstellung des Greifers eignet sich besonders für Zusatz- oder Projektaufgaben.

8.2.4 Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern

Bedingt durch mehrere Faktoren ist die Anwendung dieser Experimentier- und Aufgabenvorschläge deutlich komplexer als die der vorangegangenen Themen. Ein Faktor, der den Schwierigkeitsgrad für die Entwicklung dieser Experimente und Aufgaben erhöhte, ist die komplizierte Verdeutlichung der technischen Innovationen, die aufgrund von biologischen Transportsystemen entwickelt wurden – der Bezug zur Bionik also. Gerade im Bereich der Netzbildung gibt es zwar zahlreiche Projekte in der aktuellen Forschungslandschaft, die sich mit biologischen Systemen beschäftigen. Konkrete Ergebnisse oder Prinzipien, die auf technische oder logistische Konzepte übertragbar wären, lassen bislang jedoch noch auf sich warten. Die beiden gegenübergestellten Systeme, biologische und technische, sind in ihrem Aufbau grundverschieden. Natürliche Transportsysteme haben sich über Jahrtausende entwickelt und in Hinblick auf aktuelle Bedingungen optimiert, die zu transportierenden Stoffe verändern sich in Art und Menge kaum. Auch in technisch-logistischen Systemen verbessern ständige Neuerungen den Transportfluss. Die Güter ändern sich jedoch je nach Bedarf in ihrer Zusammensetzung und Menge oft und stark. Auch werden technische Transportsysteme im Gegensatz zu biologischen Systemen meist zentral gesteuert. Neuen Vernetzungsstrategien und dezentralen Organisationsformen wird daher auch in der Logistikforschung eine große Rolle eingeräumt. (Vergleich Experimentier-Thema „Selbstorganisation“). Ein weiterer entscheidender Unterschied ist die Mehrfunktionalität biologischer Systeme. Blattadern versorgen die Blattzellen mit allen lebenswichtigen Nährstoffen. Gleichzeitig dienen sie jedoch auch der Stabilität des gesamten Blattes. Technischen Systemen wird diese Mehrfunktionalität nicht abverlangt. Daher werden sie oft nur auf eine Funktion ausgerichtet. Ziel kann und wird es daher nicht sein, biologische Systeme zu kopieren und nachzubauen. Ziel ist es stattdessen, Transportsysteme in der Natur zu verstehen und Algorithmen zu identifizieren, die in ferner Zukunft auch für logistische Systeme angewendet werden können. Ein solches Beispiel lässt sich sehr gut mit den Schülern über das Thema des Solarabsorbers behandeln.

Ein weiterer schwieriger Aspekt während der Erarbeitung war der jahrgangabhängige Anspruch an die einzelnen Aufgaben. So kann das Schlauchexperiment im Modul Verzweigungen bereits in einer achten Klasse durchgeführt werden, während sich die geometrische Rekonstruktion des FracTherm[®]-Algorithmus eher für die Sekundarstufe II eignet. Dessen ungeachtet kann eine solche Divergenz auch als Vorteil für eine

wiederkehrende Behandlung eines Themas im Unterricht dienen. Gerade die Möglichkeiten des sächsischen Lehrplans schaffen die Voraussetzung für eine solche vertiefende Wiederholung: Im naturwissenschaftlichen Profilunterricht der Klassenstufe 9/10 kann das Prinzip der Y-Verzweigung experimentell untersucht und recherchiert, im Grundkurs der Sekundarstufe II darauf aufbauend die technische Anwendung vorgestellt, geometrisch konstruiert und unter Umständen wie unter Beachtung der Patentrechte sogar der Algorithmus nachvollzogen werden.

Ein deutlicher Vorteil des Themenkomplexes ist die unkomplizierte Besorgung von biologischen Untersuchungsobjekten. Eine große Vielfalt an Blattformen und Blattaderungen steht auch in jedem städtischen Umfeld kostenlos zur Verfügung. Selbst im Winterhalbjahr können Zimmerpflanzen als Ersatz dienen. Verschiedene Methoden und Techniken wie Mikroskopie, Mikrofotografie und Analyseverfahren ermöglichen Erfahrungen mit wissenschaftlichen Arbeitsweisen als auch mit Multimedia.

8.2.5 Selbstorganisation – Schwarmverhalten und Musterbildung

Im Vordergrund des Themenkomplexes Selbstorganisation stehen sich selbst organisierende Strukturen. Sie werden auf vielfältige Weise behandelt und aufgeteilt in die vier Module Schwarmbildung, Musterbildung, Trampelpfade und Sechsecke. Das Phänomen musterbildender Prozesse fasziniert die Schüler bereits allein aufgrund seiner regelmäßigen Struktur. Dieses Interesse dient als Motivationsmotiv und kann das forschende Lernen hier unterstützen. So können die Schüler ihre Bewegungsabläufe im Experiment zum Schwarmverhalten anhand des Computermodells nachvollziehen und erklären. Allgemeingültige Prinzipien werden erkannt und ein möglicher Nutzen für technische Systeme diskutiert. Auch das Thema der Trampelpfade stößt auf das Interesse der Schüler, da sich solche in ihrer unmittelbaren Erlebniswelt befinden. Dass auch dort eine Logik hinter dem Muster steht, begeistert die meisten. Im Modul werden eigene Beobachtungen zu Trampelpfaden der Umgebung durch ein in der biologischen Strukturanalyse bekanntes Experiment ergänzt. Dieses wird in den aufgrund der geringen Anzahl nicht statistisch ausgewerteten Schülerfragebögen auch als sehr interessant bewertet.

Die Eigenart der Sechseckbildung haben viele Schüler bereits im Unterricht kennengelernt. Hier kann auf bereits bestehendem Wissen aufgebaut, dieses notfalls wiederholt werden, um eine Anwendung aufzugreifen, die tatsächlich von den Schülern auch in ihrer unmittelbaren Lebenswelt entdeckt werden kann. Hier kann die Lehrperson aber auch erläutern, warum die Sechseckbildung keinen Selbstorganisationsprozess darstellt.

Die Vielgestaltigkeit des Themas ermöglicht den Lehrern eine Menge an Anknüpfungspunkten an den Lehrplan. Allerdings ist auch hier die Anwendbarkeit des erworbenen Wissens zur Verbesserung technischer Systeme aufgrund der Komplexität nur schwer fassbar. Der erarbeitete Lehrerteil versucht gerade in diesem Punkt, Antworten zu geben.

8.2.6 Kerbstrukturen – bruchsicher wie eine Astgabel

Mit der Thematik der Kerbstrukturen nach biologischem Vorbild wird eine der wirtschaftlich bislang wichtigsten bionischen Entwicklungen vorgestellt. Hierfür wird den Schülern zu Beginn mithilfe der orthopädischen Schraube ein didaktischer Anker zugeworfen, der ihr Interesse wecken und sie motivieren soll, sich intensiver mit der Thematik zu beschäftigen. Im Folgenden charakterisiert der Wechsel zwischen Experimenten und deren Auswertungen, Konstruktions- und Rechercheaufgaben die Struktur des Themenkomplexes.

Die Vorbereitungen für die experimentelle Durchführung sind aufwendig, werden jedoch hier von den Lehrern in Kauf genommen⁶⁸. Für die Beschaffung der für das Experiment unbedingt notwendigen Styrodurplatten ist die Nähe zu einem durchschnittlich großen Baumarkt von Vorteil. Der Beschaffungsaufwand ist damit deutlich höher als der finanzielle Aufwand der Platten. Die Herstellung der Modelle wiederum nimmt die Ressource Zeit stark in Anspruch. Die Modelle mit unterschiedlichen Kerbstrukturen, die nach ihrer Herstellung bis zu ihrer Versagensgrenze belastet werden, werden von den Schülern selbst zurechtgeschnitten – je nach Art der Sägewerkzeuge benötigen sie für diesen Arbeitsschritt unterschiedlich viel Zeit. Auch das Vorhandensein einer Dekupiersäge kann an Schulen nicht unbedingt vorausgesetzt werden. Deren Anschaffung empfiehlt sich jedoch nicht nur für die Herstellung der Modelle, sondern auch für Arbeiten außerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichts, beispielsweise in Kunstprojekten⁶⁹.

Die Konstruktionsweise der neuartigen Kerbstruktur wird anschließend erläutert und nachvollzogen. Nicht nur die sehr gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, sondern auch der geradlinige Entwicklungsprozess der Anwendungen dieses Phänomens ermutigt die Lehrer, die das Experiment durchgeführt haben, dazu, das Experiment in den kommenden Schuljahren erneut durchzuführen.

8.2.7 Joystick – beweglich wie eine Mimose

Eine einführende eigenständige Erarbeitung der Reaktions- und Funktionsweise der Mimosenblattbewegung anhand des lebenden Objekts erscheint angesichts des angestrebten Erkenntnisgewinns zur bionischen Arbeitsweise essentiell. Erst die genaue Beobachtung und Analyse des biologischen Untersuchungsgegenstands führt zum Verständnis der Wirkweise und des innewohnenden Prinzips, welches eventuell für die Technik nutzbar ist. Dieser Teil nimmt daher hier auch großen Raum ein. Die Beschaffung von Mimosenpflanzen gestaltet sich im Winterhalbjahr etwas schwierig. Die Blumenhändler können die Pflanzen aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Frost nicht anliefern lassen. Im Sommerhalbjahr ist die Beschaffung über den Blumenhandel unproblematisch. Eine alternative Variante ist die Anzucht aus Samen, welche man über Samenhandel im Internet bestellen kann. Hierfür muss ausreichend Zeit eingeplant werden – auch dafür gibt es eine Anleitung im Lehrerteil des Experimentierthemas.

⁶⁸ Styrodurplatten sind in einheitlicher Größe von ca. 60x120 cm in jedem Baumarkt erhältlich und kosten etwa 4 Euro pro Stück.

⁶⁹ Eine Dekupiersäge erhält man im Handel bereits ab etwa 50 Euro.

Die Konstruktion des Modells ist recht zeitintensiv. Mindestens eine Unterrichtseinheit ist dafür vorgesehen. Bei der Materialenauswahl wurde streng auf eine möglichst einfache und kostengünstige Beschaffung geachtet. Trotzdem ist es zugegebenermaßen etwas aufwendig, die benötigten Arbeitsmittel zu besorgen.

Optimalerweise sollte der Lehrer mindestens zweimal zwei Unterrichtseinheiten für das Thema einplanen. Gerade im Rahmen einer größeren Schülerprojektarbeit können hier mehrere Aspekte parallel bearbeitet werden: Anzucht, Pflege, Beobachtung der Bewegungsabläufe unter unterschiedlichen Bedingungen, Mikroskopie und Umsetzung der Prinzipien in ein Modell, welches durchaus auch von dem im Arbeitsmaterial vorgestellten abweichen bzw. variieren kann. Gerade in diesem letzten Punkt sind Schüler oft sehr kreativ.

8.3 Qualitative Inhaltsanalyse der Experteninterviews

Die Experteninterviews wurden durchgeführt, um den Umgang der Lehrer mit dem neuen Unterrichtsfach zu dokumentieren, dabei Probleme zu definieren, aber auch Chancen zu formulieren. Neun Interviews mit insgesamt 14 interviewten Lehrern wurden daraufhin hinsichtlich ihrer Hauptargumente analysiert und mit Zitaten unterlegt. Die Ergebnisse der neun Einzelanalysen unterteilen sich jeweils in die vier vorher definierten Bewertungskategorien „strukturelle Probleme bei der Umsetzung im Unterricht“, „Interesse der Schüler an der Bionik“, „Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht“ und „Anteil an selbständiger Schülerarbeit“. In der daran anschließenden Abschlussanalyse werden diese Abschnitte gesondert betrachtet und zusammenfassend diskutiert.

8.3.1 Einzelanalysen

Fall 1: Lehrer L.

Kurzbeschreibung

Lehrer L. ist Fachlehrer für Biologie und Chemie und unterrichtet seit vier Jahren Bionik in der Klassenstufe 10 des naturwissenschaftlichen Profils. Sein Gymnasium in unmittelbarer Umgebung zu Dresden (Landkreis Meißen) wurde 2004, ein Jahr vor der flächendeckenden Einführung des neuen Profillehrplans, als Pilotschule ausgewählt. In diesem Zusammenhang gab Lehrer L. auch seine Unterrichtserfahrungen des ersten Jahres an Lehrer anderer Schulen weiter.

Reduktion – Hauptaussagen

- Präzision und Tiefe der fachlichen Bearbeitung spielen in seinem Unterricht eine übergeordnete Rolle
- Schüler erfüllen seine Erwartungen kaum
- Interesse an der Bionik nimmt mit dem Unterrichtsverlauf ab
- Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht Bionik ist nicht feststellbar
- Umsetzbarkeit im Unterricht wird als ausreichend gut beschrieben

Interviewanalyse

Lehrer L. geht mit einem sehr hohen Anspruch in seinen Bionikunterricht hinein. Dieser Anspruch an sich selbst und in Folge dessen auch an seine Schüler prägt den Grundtenor des Interviews. Dementsprechend kritisch fallen einige seiner Äußerungen aus.

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht, insbesondere den Profilverricht hält er eine klar strukturierte, am wissenschaftlichen Arbeiten orientierte Herangehensweise der Schüler an die zu bearbeitenden Thematiken für unerlässlich: „*Und dann sollen die anfangen, Schritt für Schritt, alles mit Experimenten gekoppelt, sich daran zu tasten.*“ (Zitat-Nr. 3).

Präzision und Tiefe der fachlichen Bearbeitung spielen damit in seinem Unterricht eine übergeordnete Rolle. Erfüllen die Schüler diese Erwartungen nicht, ist er davon enttäuscht: „*Das ist eine Sache, die verstehen manche Leute in der 10 nicht. Das verstehen die einfach*

nicht“ (Zitat-Nr. 4). Oder er sagt provokant: „Das Problem ist, dass die Schüler nicht zuhören wollen“ (Zitat-Nr. 5). Die Schüler beschäftigen sich seinen Aussagen nach sehr gern mit praktischer Arbeit, nicht jedoch mit der theoretischen Abstraktion. Den Grund sieht der Lehrer nicht in seiner Didaktik, sondern im mangelnden Abstraktionsvermögen der Schüler bzw. in der "Unlust an Theorie". Hier kommt ein weiterer entscheidender Aspekt der Interviewaussagen ins Spiel.

In seinen Aussagen beschreibt der Lehrer die anfängliche Motivation und das Interesse der Schüler an der Bionik, welche aber im Verlauf der Unterrichtsstunden und der eingehenden Beschäftigung mit verschiedenen Themen stark sinken: „was am Anfang so motivierend und toll ist, das kann sich dort ins Gegenteil verkehren“ (Zitat-Nr. 6). Das Experimentieren selbst beschreibt er als von den Schülern gut angenommene Tätigkeit, während sich das Auswerten teilweise als sehr schwierig gestaltet. „Bis zu einem gewissen Punkt, wenn man die populärwissenschaftlich macht, die Sachen, sind die alle interessant“ (Zitat-Nr. 11). Die von ihm angestrebte Tiefe der Bearbeitung eines Themas kommt demnach bei den Schülern nicht im gewünschten Maße an. Das Interesse der Schüler sinkt stattdessen mit dem Einblick in die Thematik. Weiter beschreibt er die ungleichen Fähigkeiten der Schüler: „Also die Hälfte kriegt was Ordentliches raus. Die anderen halt nicht.“ (Zitat-Nr. 9). Aufgrund der zahlreichen Kompetenzen, die auch durch die praktische Arbeit angesprochen werden, erhalten jedoch auch Schüler, die sonst eher durch schlechte Leistungen auffallen, die Möglichkeit, ihr Können unter Beweis zu stellen: „Aber interessant ist, dass man in so einer Stunde mal Schüler erkennt, die irgendwelche Fähigkeiten, Kompetenzen haben, die man sonst nie erkennt. Also Leute, die sonst nie was schaffen, können plötzlich diese Faltungen“ (Zitat-Nr. 10). Die Förderung bestimmter Kompetenzen wiederum aber hält der Lehrer für eher unwahrscheinlich oder zumindest für nicht messbar: „Weiß ich nicht. Ich kann es nicht messen. Und ich müsste jetzt sagen, das ist hier die Kompetenz, mit den Mitteln können sie die ausmessen und das ist der Indikator dafür. Da könnte ich das machen, aber ich weiß es einfach nicht. Ich kann nicht sehen, dass die Schüler, die in der 11 ankommen als Schüler erkannt werden, die im Nawi, also im Profil drin waren“ (Zitat-Nr. 16). Diese Nichteinschätzbarkeit hält er selbst für ein schlechtes Zeichen (vgl. Zitat-Nr. 17). Den Unterrichtsaufbau hält er bei einer Kompetenzförderung für den entscheidenden Faktor. Zumindest trägt er so die Hoffnung in sich, „dass sie bestimmte Methoden besser drauf haben, dass ihnen einfällt, wenn sie ein Experiment auswerten wollen, wie ein Protokoll aussieht oder dass sie bestimmte Bereiche doch von verschiedenen Seiten gesehen haben“ (Zitat-Nr. 18).

Die Umsetzung der Bionik im Unterricht beschreibt er nicht explizit als schwierig. Die ihm zur Verfügung stehenden Materialien hält er zwar teilweise für etwas zu kompliziert, aber zumindest für genügend. Auch der Zeitrahmen wird als ausreichend eingeschätzt, sofern er sich auf einige Themen beschränkt. Lediglich die Kooperation mit anderen Fachlehrern wird aufgrund der Schulorganisation als sehr niedrig eingestuft. Für eine Durchführung des fakultativen Grundkurses „Biotechnologie und Bionik“ fühlt er sich allerdings zu unsicher: „Würde ich mich ehrlich gesagt nicht rantrauen, weil - na gut, wenn ich meine Schüler sehe vielleicht doch, aber es ist theoretisch gesehen ganz schön viel Physik dabei. [...] wenn ich dann die Mathe nicht mehr verstehe, die ich erklären soll, wird es schwierig“ (Zitat-Nr. 13).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	I	Lehrbuch-Material ist nett, aber für Schüler schon zu kompliziert	Zu hoher Schwierigkeitsgrad einiger Materialien/Themen	1B
2	I	Schüler sollen sich überlegen, wie man so was machen kann und sich eine Schrittfolge aufschreiben.	Klar strukturierte schülerzentrierte Herangehensweise unabdinglich	3B
3	I	Sollen sich mit Experimenten rantasten	Klar strukturierte schülerzentrierte Herangehensweise, experimentelle Bearbeitung	1D
4	II	Schüler verstehen nicht, dass ich bestimmte Dinge konstant lassen muss, andere kann ich variieren kann. Sie variieren zwei Sachen gleichzeitig	Probleme bei der wissenschaftlich korrekten Durchführung der Experimente	1A
5	II	Schüler wollen nicht zuhören	Unaufmerksamkeit/Desinteresse der Schüler	2C
6	II	was am Anfang motivierend ist, kann sich ins Gegenteil verkehren.	Erwartungshaltung der Schüler zum Thema wird enttäuscht Schüler möchten eher unterhalten werden	2B
7	II	Wenn ich es bis zu einem bestimmten Qualitätsprodukt führen will, muss ich mir Zeit nehmen	Zeit reicht nicht immer	1B
8	II	es ist schwierig, beim ersten Mal ein gutes Ergebnis zu erhalten	Lehrer muss Erfahrungen sammeln, um gute Ergebnisse zu erzielen	1B
9	II	und dass manche Leute das auf die leichte Schulter nehmen	wird es von den Schülern als nicht wichtig erachtet	2C
10	III	Man erkennt Schüler mit Fähigkeiten und Kompetenzen, die sonst nichts schaffen	Es werden zahlreiche Kompetenzen parallel angesprochen	3B
11	III	Bis zu einem gewissen Punkt sind alle Themen interessant, wenn man sie populärwissenschaftlich behandelt	Bei intensiverer Beschäftigung sinkt Interesse der Schüler	2B
12	III	Man muss erst Basiswissen aufbauen und über ein konkretes Beispiel die Schüler experimentell arbeiten lassen, sonst ist das naturwissenschaftliche Profil in Frage zu stellen	Wissenschaftliche Herangehensweise steht im Mittelpunkt des Profilunterrichts	1D
13	III	Würde sich nicht rantrauen am Wahlgrundkurs, denn es ist viel Physik dabei. Wenn ich die Mathe nicht mehr verstehe, die ich erklären soll, wird es schwierig	Wissen aus anderen Fachbereichen fehlt, Unsicherheit	1B
14	III	Bestimmt 50 Prozent.	Selbständige Schülerarbeit nimmt ca. Hälfte des Unterrichts ein	4B
15	IV	Nur beim Thema Boden arbeiten zwei Kollegen zusammen, ansonsten nur einer	Interdisziplinäre Zusammenarbeit der Lehrer fehlt	1B
16	IV	Kann nicht messen, ob fächerverbindender Unterricht Kompetenzen fördert	Zusätzlicher Kompetenzerwerb schwer abschätzbar	3D
17	IV	Das ist ein schlechtes Zeichen	Kein Kompetenzerwerb ersichtlich	3C
18	IV	Hofft, dass sie bestimmte Methoden besser drauf haben oder dass sie bestimmte Bereiche von verschiedenen Seiten gesehen haben	Methodenkompetenz verbessert	3B
19	IV	Wann ist Schule gut? Weiß es nicht, sieht jeder anders: Eltern anders als Lehrer und die anders als Schüler	Wichtung der Kompetenzen unterschiedlich	3D
20	IV	Es kommt drauf an, wie es gemacht wird, weil in der Bionik die Fächergrenzen verschwimmen	Unterrichtsaufbau für Kompetenzförderung entscheidend	3D

Tab. 27: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 1.

Fall 2: Lehrerin P.

Kurzbeschreibung

Die Lehrerin P. unterrichtet an einem Dresdner Gymnasium neben dem Lernbereich Bionik im naturwissenschaftlichen Profil der Klasse 10 auch seit 2008 den fakultativen Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ in der Sekundarstufe II. Für das Schuljahr 2010/11 wird sie Unterstützung durch eine weitere Lehrkraft bekommen.

Reduktion – Hauptaussagen

- Unsicherheit in der Themenauswahl und inhaltlichen Tiefe hinsichtlich Verwendung in zehnter und später zwölfter Klasse
- Interesse an Bionik ist bei den Schülern stark vorhanden und erleichtert Wissenserwerb und -festigung
- Umsetzung im Unterricht aufgrund hoher Schülerzahlen im Kurs und ungenügenden Arbeitsmaterialien eher schwierig

Interviewanalyse

Ein erstes Thema, welches Lehrerin P. anspricht, beschäftigt sich mit der Wiederholung des Themas Bionik im Lehrplan. Das naturwissenschaftliche Profil wird von fast allen sächsischen Gymnasien angeboten. Läuft im Anschluss daran auch der Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ für die Sekundarstufe II, so kommt es für einige Schüler teilweise zu einer Dopplung der Inhalte. Diese Tatsache bereitet Lehrerin P. durchaus Schwierigkeiten, so dass sie im Interview ihre Unsicherheiten hinsichtlich der Themenauswahl formuliert: *„Die 12 jetzt ist für mich sehr schwierig, weil ich mit einem hohen Anspruch in die 10 gegangen bin. Ich merke jetzt, ich muss irgendetwas Neues bieten, sonst wird das für die langweilig“* (Zitat-Nr. 6). Auch in vorangegangenen Interviews im Rahmen der Optimierungsphase hatte sie bereits von dieser Divergenz gesprochen. Hier tauchte vordergründig die Frage auf, ob in der 12. Klasse eher eine vertiefende Wiederholung der bereits behandelten Stoffgebiete erfolgen sollte, oder stattdessen eine Verbreiterung der Themenvielfalt bevorzugt werden sollte. Dies war für sie auch einer der Gründe, an den von der Autorin veranstalteten freiwilligen Lehrerfortbildungen teilzunehmen. Aufgrund der daraus resultierenden Kooperation und der Bereitstellung einiger Experimente zur Erprobung in ihrem Unterricht konnte sie so den Schülern der Sekundarstufe II neue Themen vorstellen. Hinsichtlich des Falt-Experiments sagte sie beispielsweise: *„Das sind so einfache Dinge, wo man eigentlich auch begeistern kann. Das muss gar nicht viel sein“* (Zitat-Nr. 12). Gerade die Experimente zum Thema „Faltungen in Natur und Technik“ übertrafen ihre Erwartungen an die Begeisterungsfähigkeit der Schüler. Sie führt dies auch darauf zurück, dass sie die Schüler selbst zwischen verschiedenen Faltungen und somit verschiedenen Schwierigkeitsstufen wählen lässt. Sehr ehrgeizig falteten ihrer Erfahrung nach besonders die Mädchen.

Viele der Schüler, die im Profilunterricht bereits die Bionik kennengelernt haben, wählen in der Sekundarstufe II den fakultativen Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“: *„Also da ist Interesse da“* (Zitat- Nr. 10). Sie schätzt demnach das Interesse der Schüler an dieser

Fachrichtung als sehr hoch ein, schränkt dies in ihren Aussagen auch nicht ein. Einer der Gründe scheint ihr in ihrer Vermittlung als Biologielehrerin zu liegen: *„dadurch, dass ich eben Biologie auch mache, und mit der Biologie kann man die Schüler eigentlich auch gut bekommen [...]“* (Zitat-Nr. 21). Anders sieht sie deshalb die Variante der Vermittlung der Bionik durch einen Physiklehrer: *„dann könnte es natürlich auch sein, dass das Interesse bei den Mädchen etwas eingeschränkt wäre“* (Zitat-Nr. 20). Ihren Unterricht schätzt Lehrerin P. selbst an anderer Stelle des Interviews aber als zu biologisch geprägt ein: *„Also ich denk mal, wenn da jemand meinen Unterricht einschätzen würde, der ist bestimmt zu biologisch ausgerichtet. Ich muss auch ganz ehrlich sagen, ich bin auch nicht so der Physiker“* (Zitat-Nr. 13). Andererseits bemerkt sie im Grundkurs auch, welches Wissen sich aus dem naturwissenschaftlichen Profilunterricht sich bei den Schülern ins Gedächtnis geschrieben hat, und beurteilt dies, verglichen mit anderen Fächern, als sehr hoch *„Und auch interessant für mich, die wissen wirklich vieles, das ist ja eigentlich etwas positives, was die sonst nach zwei Jahren alles vergessen haben, das kommt alles“* (Zitat-Nr. 7).

Die Umsetzung im Unterricht schätzt Lehrerin P. als teilweise recht schwierig ein. So fordert sie eine Neuregelung der Bionik-Stundenanteile in den beiden Fächern: dem Bionik-Profilunterricht sollte mehr zeitlicher Raum gegeben werden als dem Bionikteil des fakultativen Grundkurses der Sekundarstufe II. Auch berichtet sie von der zeitlichen Ausrichtung der Unterrichtsstruktur an Bewertungsmöglichkeiten aufgrund der notwendigen Klausurbewältigung.

Die Kurse sind mit 21 Schülern zu voll zum Experimentieren. Auch die Lehrbücher hält sie für wenig ergiebig, so dass sie auf selbst zusammengestellte Kopie-Sammlungen zurückgreift.

Lehrerin P. berichtet weiter, dass ihr Unterricht in einer Evaluation durch die Schüler eine durchweg positive Resonanz erfährt. Diese Aussage allein besagt allerdings nur wenig über den Kompetenzgewinn. Der fächerverbindende Aspekt taucht jedoch auch in ihrem Unterricht auf: *“aus der Chemie kennen die das ja alles und dass man das hier noch mal anwendet“* (Zitat-Nr. 14). Wie oben schon zitiert, scheint das Wissen, welches sie in der Klasse 10 vermittelt hat, bei den Schülern noch in Klasse 12 abrufbar zu sein – für sie ein gutes Zeichen.

Den zeitlichen Anteil der selbständigen Schülerarbeit definiert sie als: *„auf jeden Fall mehr als sonst im Unterricht. Und wenn ich es nicht experimentell mache, dann auf jeden Fall mit Literatur“* (Zitat-Nr. 19).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	IV	Faltungen sind auch bei den 12ern gut angekommen, hätte ich nicht gedacht	Unerwartete Akzeptanz verschiedener Themen	2A
2	IV	Schüler konnten aus verschiedenen Schwierigkeitsstufen selbst auswählen	Schüler selbst über Schwierigkeitsgrad entscheiden lassen	3B
3	IV	Mädchen sind sehr ehrgeizig mit der Ananasfaltung	Ehrgeiz bei Durchführung	2A
4	IV	Die 10er bringen es den Grundschulern bei	Lernen durch Lehren	3A
5	IV	Lehrbuch ist nicht so ergiebig, kopiere mir manches als Klassensatz	wenig gute Materialien	1B
6	V	muss irgendetwas Neues bieten, sonst wird es für die Schüler langweilig	Angst, Schüler zu langweilen	2B
7	V	interessant und positiv für mich, dass sie vieles noch wissen, wo sie sonst in 2 Jahren so vieles vergessen	Wissen über Bionik-Experimente bleibt lange hängen	3A
8	V	wenn Schüler etwas ausprobieren können, macht es ihnen Spaß	Praktische Arbeit fördert Interesse	2A
9	VI	Nächstes Jahr wieder einen Kurs, aber mit 21 Schülern, das ärgert mich ein bisschen, zum Experimentieren viel Stress, haben nicht die Ausstattung	Schlechte Ausstattung für Experimentieren	1A
10	VI	da ist Interesse da	Interesse vorhanden	2A
11	VI	Keine schriftliche Prüfung ist ok, warum keine mündliche Prüfung, kann ich nicht nachvollziehen	Allg. Wertschätzung des Wahlgrundkurses zu gering	1D
12	VI	mit einfachen Dingen kann man begeistern, muss nicht viel sein	Kein hoher Anspruch der Schüler	2D
13	VII	wenn jemand meinen Unterricht einschätzen würde, ist bestimmt zu biologisch ausgerichtet, bin nicht so der Physiker	Fachbereiche begrenzen Unterrichtsausrichtung	1B
14	VII	aus der Chemie kennen die das alles, hier noch mal anwenden	Wissen anwenden	3A
15	VII	habe mir vorgestellt, eine kleine Sammlung von Naturobjekten anzufertigen, um es zeigen zu können	Sammlung anfertigen	1D
16	VIII	Sollen sich selber überlegen, wie es gehen könnte	Schülerzentrierte Herangehensweise	3B
17	VIII	Muss jetzt ein bisschen Theorie machen, denn nächste Woche Klausur	Bewertung notwendig	1B
18	VIII	Zu viele Stunden im Wahlpflichtkurs, Relation müsste umgekehrt sein	Zeitlicher Rahmen ungünstig	1A
19	VIII	Selbständige Schülerarbeit auf jeden Fall mehr als sonst im Unterricht, wenn nicht experimentell, dann Literaturrecherche	Deutlich mehr selbständige Schülerarbeit möglich	4A
20	IX	Interesse liegt an der Vermittlung des Lehrers, Physiklehrer würde die Bionik anders ausrichten und Interesse der Mädchen einschränken	Interesse der Schüler Themen- und Vermittlungsabhängig	2B
21	IX	mit Biologie kann man Schüler gut bekommen	Biologie als Motivation	2D
22	IX	habe von den Schülern bisher eine positive Resonanz bekommen	Positive Resonanz	2A
23	IX	schreiben in Stundenprotokoll rein: die zwei Stunden sind schnell vergangen, ist ein Zeichen, dass es nicht langweilig ist	Positive Resonanz	2A

Tab. 28: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 2.

Fall 3: Lehrerinnen F., K. und W.

Kurzbeschreibung

Dieses an einem Dresdner Gymnasium durchgeführte Interview wurde als Gruppeninterview mit drei teilnehmenden Lehrerinnen konzipiert. Lehrerin F. unterrichtet die Bionik seit 2007 im naturwissenschaftlichen Profilunterricht, Lehrerin K. seit 2010 im neuen Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“, Lehrerin W. lehrt selbst erst ab dem kommenden Schuljahr die Bionik im Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“, äußert sich im Interview aber auch hinsichtlich der allgemeinen Umsetzung des naturwissenschaftlichen Profilunterrichts in der Schulpraxis.

Reduktion – Hauptaussagen

- Schwierigkeiten bei Materialbeschaffung und Einarbeitung in das Thema
- Fächerverbindender Unterricht durch eigene Fachgrenzen der Lehrer behindert
- Interesse der Schüler an der Bionik sehr stark ausgeprägt

Interviewanalyse

Die Lehrerinnen beschreiben die Umsetzung der Bionik-Thematik im Schulunterricht als überwiegend positiv. Der zur Verfügung stehende zeitliche Rahmen wird als ausreichend beschrieben, auch wenn nicht jedes Thema behandelt wird: „*Und wenn ich dann ein was [sic!] weniger schaffe, dann ist mir das vollkommen egal*“ (Zitat-Nr. 7). Ein Überblick über die Themenvielfalt und den Inhalt der Bionik kann aber ihren Aussagen nach den Schülern im Unterricht auf jeden Fall gegeben werden. Aufgrund der aus ihrer Sicht ungerechtfertigten Möglichkeit für den Schüler, mit einer guten Profilnote eine andere schlechte Note auf dem Zeugnis ausgleichen zu können, äußert die Profillehrerin F. jedoch den Wunsch nach einer eher tieferen Bearbeitung der Themen anstatt der Vorstellung der Bandbreite an bionischen Themen, um einen solchen Ausgleich auch fachlich rechtfertigen zu können.

Auch die Zusammenarbeit von anderen Fachbereichslehrern funktioniert sehr gut: „*wenn wir ein Problem haben, gehen wir aufeinander zu und da wird das geklärt. Das ist ja das Schöne an Schule, dass wir überall Fachmänner sitzen haben*“ (Zitat-Nr. 10).

Als durchaus etwas problematisch wird die Auseinandersetzung mit dem neuen Unterrichtsstoff beschrieben. Einerseits stand hier die Schwierigkeit der ersten Materialienbeschaffung sowie der Einarbeitung mit einer völlig neuen Materie im Vordergrund: „*Das ist wie so eine Wand gewesen, weil wir davon ja nie was gehört hatten, nie. [...] es ist nun mal so, dass man dann ein gutes Gefühl hat, wenn man weiß, man hat ein gewisses Basiswissen*“ (Zitat-Nr. 16). Denn gerade in der 12. Klasse möchte Lehrerin K. schon sehr fundiertes Wissen an die Schüler vermitteln (vgl. Zitat-Nr. 9). Hieraus resultierte eine Unsicherheit in der Wissensvermittlung den Schülern gegenüber, die aber mit der Routine des Unterrichts verschwand: „*je mehr man das macht, und man sieht ja auch, wie das bei den Schülern ankommt, und desto mehr Sicherheit und Erfolg nimmt man da für sich auch mit*“ (Zitat-Nr. 19).

Auf der anderen Seite wurde der fächerverbindende Aspekt in der Umsetzung aufgrund der eigenen Fachgrenzen als etwas problematisch eingeschätzt: *„Jetzt sehe ich die Grenzen in meiner Person, weil ich als Lehrer denen die Möglichkeit schaffen muss, auch über das Ziel hinauszugehen, also über die Sichtweise, die ich habe, hinauszugehen“* (Zitat-Nr. 11). Weiter aber wird formuliert, dass die Schüler diese Barriere nicht in diesem Maße erleben, da sie all die Fächer selbst noch belegen und damit mit dem Stoff gut vertraut sind, zumindest besser als die fachfremden Lehrer: *“Das ist eher so eine Normalität, denn wir scheitern ja auch an den Grenzen unseres Faches, und das haben die Schüler ja nicht so. Die machen ja alles“* (Zitat-Nr. 13).

Das Interesse der Schüler, insbesondere an den Experimenten zum Thema Bionik, wird als sehr stark beschrieben. Dies führt dazu, dass zahlreiche Schüler in der Sekundarstufe II auch den fakultativen Grundkurs wählen: *„Und dann kommen aber auch Schüler, die sagen, "Ach, mir hat das mit der Bionik in der 10 so gut gefallen, da wollte ich mehr wissen.“* (Zitat-Nr. 3). Kuriose Sachverhalte kommen nach Aussagen der Lehrerinnen in diesem Zusammenhang im Unterricht besonders gut bei den Schülern an.

Der Anteil der selbständigen Schülerarbeit wird als unterschiedlich hoch eingeschätzt. Profillehrerin F. gibt zwei Drittel der Zeit an, Grundkurslehrerin K., deren Unterrichtserfahrung sich aufgrund des gerade erst begonnenen Unterrichts auf die ersten Stunden der Einleitung ins Thema und die Theorie beschränkt, beschreibt den experimentellen Teil mit 25 Prozent, den Anteil selbständiger Arbeit als aber noch „wesentlich höher“.

Die Schüler werden in dem Unterricht zur Kreativität angeregt: *„Die fangen ja dann an, kreativ zu werden, einer kam mit einem Modell, manche beginnen dann, Berechnungen zu machen, die melken richtig alles aus“* (Zitat-Nr. 22). Besonders die Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinn“ und „Kommunikation“ werden nach der Meinung der drei Lehrerinnen gefördert.

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	X	kuriose Dinge, über die man sich vorher noch gar nicht richtig Gedanken gemacht hat, wo man Effekte sieht, interessieren die Schüler (L1)	Kurioses erregt Interesse der Schüler	2B
2	X	der zeitliche Rahmen ist ausreichend, je mehr man weiß, desto mehr bringt man unter (L1)	Zeitraumen ist gut	1C
3	X	Es kommen auch Schüler, die sagen, "die Bionik im Profil mir hat mir so gefallen, da wollte ich mehr wissen (L2)	Einige Schüler wählen Wahlgrundkurs aufgrund ihrer positiven Erfahrungen im Profil	2A
4	X	Aber auch Experimente - da können die Schüler auch ohne Ende abfeiern (L2)	Experimente kommen gut an	2A
5	X	So viel Zeit bleibt mir nicht, mit den Schülern etwas zu machen (L1)	Zeitraumen ist begrenzt	1B
6	X	Schüler wissen von Anfang an, dass Biotechnologie und Bionik gelehrt wird (L1)	Schüler werden informiert über Kursinhalte	2D
7	X	Wenn ich ein Thema weniger schaffe, dann ist mir das vollkommen egal (L1)	Inhaltliche Tiefe statt Breite	1C
8	XI	selbständige Schülerarbeit Anteil wesentlich höher; nur experimenteller Teil bisher etwa bei 25 Prozent (L2)	Hoher Anteil selbständige Arbeit, nur Experimente 25%	4B
9	XI	In der 12. Klasse will man möglichst fundiert arbeiten, mit einem gewissen Anspruch (L1)	Inhaltliche Tiefe, fachliche Kompetenz des Lehrers gefragt	3B
10	XI	wenn wir ein Problem haben, gehen wir aufeinander zu, das ist das Schöne an Schule, überall sitzen Fachmänner (L1)	Kooperationen laufen sehr gut	1C
11	XI	sehe Grenzen in meiner Person, weil ich als Lehrer Schülern die Möglichkeit schaffen muss, über meine Sichtweise hinauszugehen (L1)	Fachbereiche begrenzen Unterrichtsausrichtung	1B
12	XII	meine Wahrnehmung ist anders als die der Schüler, ich sehe Ansatzpunkte für fächerübergreifende Stellen, Schüler vielleicht nicht (L1)	Fächerübergreifender Aspekt nicht omnipräsent	3B
13	XII	Wir scheitern an den Grenzen unseres Faches, Schüler machen alles. Wir merken unsere Grenzen, Schüler unter Umständen nicht (L2)	Lehrer arbeiten in Fachgrenzen, Schüler nicht	1B
14	XII	Finde es schön, wenn diese Schubfächer nicht aufgezogen werden, das mache ich als Bio- und Chemielehrer sehr häufig (L1)	Fächerverbindender Unterricht verhindert Schubladendenken	1C
15	XII	versuche zu vermeiden, diese Schubfächer bewusst aufzumachen (L2)	Fächerverbindender Unterricht verhindert Schubladendenken	1C
16	XII	Das ist wie eine Wand gewesen, weil wir davon nie was gehört hatten (L1)	Starke inhaltliche Unsicherheit	1A
17	XII	man hat nur ein gutes Gefühl, wenn man ein Basiswissen hat, dass man etwas einordnen kann (L1)	Starke inhaltliche Unsicherheit	1A
18	XII	hatte Bammel, ob ich das noch leisten kann nach langer Abstinenz von Physik und Grundlagen (L1)	Starke fachliche Unsicherheit	1A

19	XIII	je mehr man das macht, desto mehr Sicherheit und Erfolg nimmt man für sich mit (L1)	Routine mit der Zeit	1C
20	XIII	Das kriegen Schüler besser hin als wir (L3)	Schüler sehr lernfähig	3A
21	XIII	Sind viele Stunden in Vermittlung, Planung, Durchführung - passt nicht richtig in meinen Zeitplan (L3)	Zeitlicher Rahmen begrenzt	1B
22	XIV	Schüler fangen an, kreativ zu werden mit Modellen, Berechnungen, die melken richtig alles aus (L3)	Kreativität der Schüler wird gefördert	3A
23	XIV	um Einblick zu bekommen, ist zeitlicher Rahmen ok (L3)	zeitlicher Rahmen ausreichend für Überblick	1B
24	XIV	muss Stoff dahinter stehen, sonst ungerecht, weil Schüler mit Profilnote auch ausgleichen können (L3)	Zu starke Wichtung des Profils in Bewertung	1D
25	XIV	lieber weniger Teilgebiete und dafür mehr Inhalt (L3)	Weniger Themen, dafür tiefere Bearbeitung	1B
26	XIV	Zwei Drittel	Sehr hoher Anteil an selbständiger Schülerarbeit	4A

Tab. 29: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 3.

Fall 4: Lehrerin N.

Kurzbeschreibung

Lehrerin N., die aktuell für den Bionik-Unterricht des naturwissenschaftlichen Profils an ihrer Schule verantwortlich ist, unterrichtet außerdem die Fächer Biologie und Chemie in der Sekundarstufe I dieses Dresdner Gymnasiums. Aufgrund von schulinternen Regelungen und Veranstaltungen, die thematische Verschiebungen innerhalb des Profilunterrichts nach sich zogen, wurde die Bionik erst 2007 zum ersten Mal vertiefend unterrichtet. Außerdem fand 2009 eine „Bionik-Woche“ statt, die von der Autorin selbst durchgeführt wurde.

Reduktion – Hauptaussagen

- Schüler haben deutliche Defizite beim wissenschaftlichen Arbeiten
- eigene Unsicherheit im Umgang mit dem neuen Lernbereich Bionik
- Kompetenzzugewinn der Schüler hängt stark von der Vermittlung des Lehrers ab, generell ist fächerverbindender Unterricht jedoch sinnvoll

Interviewanalyse

Grundsätzlich beschreibt Lehrerin N. deutliche Defizite der Schüler beim wissenschaftlichen Arbeiten: *„bei der Protokollführung gibt es insgesamt immer Probleme, d.h. dass die immer viel zu viel schreiben [...] sie mussten eine Tabelle planen und da haben die meisten nicht richtig geplant“* (Zitat-Nr. 8/9). Aber sie äußert sich dabei eher optimistisch: *„Das sind einfach die Punkte, die ein Schüler noch nicht beherrscht. Das muss man eben lernen. In dem Moment, wo sie es dann kapiert hatten - aber nur so lernt man es“* (Zitat-Nr. 10). Somit geht sie von der Möglichkeit eines deutlichen Kompetenzzugewinns durch den fächerverbindenden Unterricht, im Speziellen durch den Lernbereich Bionik aus. Dies formuliert sie auch am Ende des Interviews noch einmal deutlich, wenn auch in Abhängigkeit der Unterrichtsgestaltung des Lehrers: *„das ist Sache des Lehrers, der muss das immer wieder in der Hand haben und immer wieder bewusst machen, diesen fächerübergreifenden Gedanken. [...] Wenn du das machst über drei Jahre, bin ich schon überzeugt, dass das dann irgendwo Früchte trägt“* (Zitat-Nr. 17).

Die Umsetzbarkeit der Bionik im Unterricht wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Bionik-Materialien gibt es an der Schule, wie beispielsweise das Bionik-Lehrbuch von Paetec oder DVDs der Stadtmedienstelle, sie bezeichnet dies jedoch als nicht genügend, scheint daher eher unzufrieden über das bisher zur Verfügung stehende Angebot. Den Zeitrahmen inklusive der „Bionik-Woche“ beurteilte sie dagegen als ausreichend. Von der Kooperationsbereitschaft ihres Kollegiums ist sie begeistert, die Zusammenarbeit des Teams funktioniert sehr gut. Eine Kooperation mit der Physik findet statt, *„zum Absprechen, aber auch noch mal selber auffrischen, auch die Verknüpfung, wo hat den die das im Lehrplan, worauf kann ich aufbauen“* (Zitat-Nr. 14). Trotzdem ist sie sich im Umgang mit diesem neuen Lernbereich teilweise unsicher.

Das Interesse der Schüler an der Bionik schätzt sie ebenfalls als relativ hoch ein, auch wenn sie den Lernbereich 3 „Kommunikation“ des naturwissenschaftlichen Profils in der Beliebtheitskala noch höher bewerten würde. Weitere Äußerungen zu diesem Thema fallen jedoch nicht. Aufgrund der oben erwähnten schulinternen Lehrplanverschiebungen kann Lehrerin N. zum Fragebereich „selbständiges Arbeiten“ nur anmerken, dass sie den Unterricht so anlegen möchte, *„dass also der Schwerpunkt auf dem Experimentieren liegt“* (Zitat-Nr. 6).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XV	Habe Fliegen noch nicht unterrichtet, kommt vielleicht bei den Jungs gut an. Faltungen würde ich den Mädchen zuordnen, beim Finray-Effekt gleichermaßen	Themen werden geschlechtsspezifisch unterschiedlich angenommen	2B
2	XVI	Kommunikation liegt vorn, weil Bio, Chemie und Informatik miteinander verknüpft werden, machen sie alles auch gern	Thema Kommunikation (Lernbereich 3) besitzt stärkstes fächerverbindendes Potential	2D
3	XVI	Jungs wollen richtig experimentieren und basteln	Praktische Arbeit sehr beliebt	3B
4	XVI	für Profilwoche können Schüler sich für unterschiedliche Bereiche eintragen, ihren Interessen nachgehen	Interessenorientierte Wahl der Profile	2B
5	XVI	Selbständige Arbeiten ist in der Hand des Lehrers, ist also unterschiedlich	Lehrer entscheidet über selbständiges Arbeiten der Schüler	3B
6	XVI	möchte das so anlegen, dass Schwerpunkt auf dem Experimentieren liegt	Experimentieren hat Priorität	4A
7	XVI	Schüler haben Aufgabenstellung bekommen, wir haben sie durchgesprochen, wie muss ein Protokoll aussehen, weil das immer Schwierigkeiten bereitet, dann mussten sie selbständig arbeiten	Wissenschaftliches Arbeiten bereitet Schülern Schwierigkeiten, muss geübt werden	1A 3C
8	XVI	Protokollführung bereitet immer Probleme, Schüler schreiben immer zu viel	Wissenschaftliches Arbeiten bereitet Schülern Schwierigkeiten	1A 3C
9	XVI	die meisten haben nicht richtig geplant	Wissenschaftliches Arbeiten bereitet Schülern Schwierigkeiten	1A 3C
10	XVI	Das sind die Punkte, die ein Schüler noch nicht beherrscht, muss man lernen, nur so lernt man es	Wissenschaftliches Arbeiten bereitet Schülern Schwierigkeiten	3C
11	XVI	Schüler haben experimentiert, und mussten Erklärung selber finden, mit dem Lehrbuch	Klar strukturierte Herangehensweise unabdinglich	3B
12	XVII	In der 10 sind viele Mädchen, die für Technik nicht so offen sind, aber das ist vielleicht nur der Jahrgang	Mädchen sind schwieriger für Technik zu begeistern	2B
13	XVII	Mit der Physik arbeiten wir eng zusammen, weil ich die Physikthematik in der Bionik mit dabei habe	Gute Kooperation mit Physik	1C
14	XVII	zum Absprechen wegen des Lehrplans, zum Auffrischen des eigenen Wissens	Gute Kooperation mit Physik	1C
15	XVII	muss ich jetzt mal sagen, unsere drei Leute hier, das klappt super	Gute Zusammenarbeit mit Lehrern im Profil	1C
16	XVII	ist wie überall, man muss versuchen, das Wichtige immer wieder bewusst zu machen, nur dann können sie das entsprechend nachvollziehen	Lehrer für Lernprozess sehr wichtig	1D
17	XVII	Von selber kommen Schüler nicht drauf, das ist Sache des Lehrers, der muss fächerübergreifenden Gedanken, Denkweise und Methodik immer wieder bewusst machen, über drei Jahre, kann das Früchte tragen	Lehrer für Lernprozess sehr wichtig, dann auch erfolgreich	3B

Tab. 30: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 4.

Fall 5: Lehrerin L.

Kurzbeschreibung

Lehrerin L. befindet sich gerade in der Elternzeit, weshalb das Interview nicht in der Schule, sondern bei ihr zu Hause durchgeführt wurde. Sie bereitet sich darauf vor, nach der Rückkehr in ihren Beruf an Ihrer Schule neben den Fächern Biologie und Geografie den Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ zu unterrichten. Auch wenn sie selbst noch keine Erfahrungen mit der Bionik im eigenen Unterricht sammeln konnte, erhielt sie durch den Schulalltag und den Kontakt zu Kollegen und Schülern bereits Einblick in die Themenvielfalt und in die Umsetzungsschwierigkeiten. In ihrer Vorbereitung stieß sie bereits auf Probleme, welche sie im Gespräch schilderte.

Reduktion – Hauptaussagen

- Motivation und Interesse der Schüler an der Bionik verlieren sich während des Unterrichtsverlaufs
- Passive und bewegungsarme Grundeinstellung der Schüler
- Einarbeitung in das Thema ist immens, die Unsicherheit gegenüber den Schülern aufgrund fehlender vertiefender Weiterbildungen ebenso
- Bionik wird im Unterricht bislang zu oberflächlich behandelt
- Ziel des fächerverbindenden Unterrichts wird bisher nicht erreicht

Interviewanalyse

Die hier interviewte Lehrerin L. äußert sich sehr kritisch gegenüber der Umsetzbarkeit und auch der Erreichbarkeit der Zielsetzung des fächerverbindenden Unterrichts. Sie beobachtete bei den Schülern einen deutlichen Motivationsverlust während des Bionik-Trimesters⁷⁰. Das zu Beginn des Bionik-Kurses stark ausgeprägte Interesse, welches ihrer Meinung nach bereits in der Bionik selbst begründet liegt, wird demnach enttäuscht: *„Die gehen da mit einer Traumvorstellung rein, wo sie gar nicht klar definieren können, was sie da erwartet und sind dann eher enttäuscht. Bionik muss ein Zauberwort sein“* (Zitat-Nr. 23). Sie verweist außerdem auf die eher passive und bewegungsarme Haltung der Schüler zum Unterricht. Ein Vorteil des „Biotechnologie und Bionik“-Kurses sieht sie darin: *„das Glück haben wir ja, dass der Kurs freiwillig ist, da hat man einen überwiegenden Prozentsatz von Wollen“* (Zitat-Nr. 18).

Die Vorbereitung, die der Lehrer leisten muss, um sich in dieses neue Thema einzuarbeiten, ist immens: *„Das liegt aber auch daran, dass man ein bisschen ins kalte Wasser geschmissen wird, man muss sich erst mal einarbeiten“* (Zitat-Nr. 26). Mehrere Male weist sie auf die dringende Notwendigkeit von Weiterbildungen, besonders für den Grundkurs hin. Der Profilunterricht gibt einen Überblick über die Themenvielfalt, der Grundkurs sollte ihrer Meinung nach die Themen nicht wiederholen, sondern, stark an mathematisch-physikalischen Grundlagen ausgerichtet, vertiefen. Gerade Biologie- und Chemielehrer

⁷⁰ Die sechs Lernbereiche des naturwissenschaftlichen Profils erstrecken sich über zwei Jahre, so dass jedem Lernbereich etwa ein Drittel eines Schuljahres zur Verfügung steht.

hätten hier deutlichen Nachholbedarf, da sie an ihre fachlichen Grenzen stoßen: *„Also vor der Bionik habe ich noch richtig Bammel, weil ich nicht weiß, zumindest derzeit, was ich weiterführend mache, ohne die, die Profil besucht haben, zu langweilen“* (Zitat-Nr. 10). Diese Unsicherheit im Umgang mit den fachlichen Inhalten ist im Interview sehr oft zu spüren: *„ich sitze unzufrieden davor und sage mir, ich könnte so Schönes machen und du kannst es nicht“* (Zitat-Nr. 15). Den bisherigen Unterricht an ihrer Schule, besonders im naturwissenschaftlichen Profil beurteilt sie sehr kritisch: *„da kniet sich auch der Lehrer nicht rein. Sondern man sagt, das ist ein Selbstläufer [...] Das ist eher eine Art Spaßwoche“* (Zitat-Nr. 2/3).

Den Anteil selbständiger Schülerarbeit macht sie stark von der Menge des Lehrplaninhalts abhängig: *„Das liegt aber daran, dass diese selbständige Schülerarbeit soviel Zeit kostet, dass dann das andere wieder hinten runterfallen muss“* (Zitat-Nr. 25). Da sie selbst noch nicht unterrichtet hat, kann sie zu diesem Fragenkomplex sowie zur Umsetzbarkeit in der Unterrichtspraxis keine weiteren Aussagen treffen. Lediglich den empfohlenen Zeitpunkt für die Bionik im Grundkurs [12-2] sieht sie als ungünstig an, da zu diesem Zeitpunkt bereits die Abiturvorbereitungen laufen.

Auch ihre Beurteilung zur Zielsetzung des fächerverbindenden Unterrichts fällt eher kritisch aus. So stellt Lehrerin L. gleich zu Beginn der Befragung die Frage in den Raum, ob das *„was so rauskommt“*, wirklich sinnvoll ist. Allerdings relativiert sie diese Aussage auch damit, dass die Einstellung der Lehrer zur fächerverbindenden Arbeitsweise zunehmend positiv einschätzt: *„jetzt, wo die Lehrer meiner Meinung nach aufgewacht sind und feststellen, dass fächerübergreifender Unterricht nicht gleich Spielen ist und nachdem wir uns langsam der Tatsache bewusst werden, geht es auch bei den Schülern“* (Zitat-Nr. 27).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XVII	Weiß nicht, wie sinnvoll fächerverbindender Unterricht ist, oder ob es die Zukunft ist, Probleme von verschiedenen Seiten zu beleuchten	Sinnfrage des fächerverbindenden Unterrichts, fächerverbindender Unterricht mit Zukunftscharakter?	3D
2	XVII	ist ein Selbstläufer	Findet Anklang	2A
3	XVII	ist eine Spaßwoche	Nicht sehr wissenschaftlich fundiert, eher populärwissenschaftlich	3C
4	XVIII	fächerverbindender Unterricht verlangt Selbsterarbeitung, was schwierig ist, an der Stelle wäre Frontalunterricht besser	Frontalunterricht versus Selbsterarbeitung	1B
5	XIX	Das bereitet mir Kopferbrechen	Umsetzung schwierig	1A
6	XIX	das Problem ist, dass man für die Bionik ganz viel Physik und Mathe bräuchte	Eigene Fachgrenzen beschränken Unterrichtsinhalte	1A
7	XIX	Wir gurken rum mit unserem Bionik-Wissen, beherrschen die biologische Seite. Aber theoretisch bräuchte man nur Wissen aus Physik und Mathe.	Physik und Mathe als Grundlage für Bionik-Unterricht besser als Biologie	1B
8	XIX	Weiterbildung wäre sehr sinnvoll	Weiterbildung erbeten	1B
9	XIX	Schüler sollen wissenschaftlich fundierte Meinung entwickeln, dabei wollen wir ihnen helfen. Mehr ist es nicht, aber das ist schon viel.	Ausrichtung der Kompetenzen auf Bewertungskomplex	3D
10	XIX	Habe vor Bionik Bammel, weil ich Schüler nicht langweilen will	Starke inhaltliche Unsicherheit	1A
11	XIX	Absprache ist wichtig, was man in 10 und in 12 macht, wo wird vertieft, Profil ist nicht so vertiefend	Wahlgrundkurs in der 12 sollte Profil der 10 vertiefen	1D
12	XX	man muss vorsichtig sein, dass man sich selber nicht das Standbein absägt	Angst vor beruflicher Zukunft	1D
13	XX	theoretisch ist Kooperation hilfreich	Kooperation ist möglich	1B
14	XX	oder es gibt eine entsprechende Ausbildung	Weiterbildung erbeten	1B
15	XX	sitze unzufrieden davor und sage mir, ich könnte Schönes machen und kann es nicht	Starke Unsicherheit	1A
16	XX	Bionik liegt ungünstig in der 12-2, wo Schüler vom Vorabitur ins Abitur kommen	Zeitlicher Rahmen der Bionik im Wahlgrundkurs ungünstig	1A
17	XX	Habe festgestellt, dass Schülern der BTB-Kurs als Bionik verkauft wird	Bionik kommt besser an als Biotechnologie	2A
18	XX	haben Glück, dass der Kurs freiwillig ist, der überwiegende Prozentsatz interessiert sich	Freie Kurswahl führt zu interessierten Schülern	2A
19	XXI	12er wollen Input, pinseln alles mit oder ziehen sich es auf den Stick, damit sie nicht abschreiben müssen	Eher passive Haltung der Schüler	2D
20	XXI	ab Klasse 9 sind die sehr bewegungsarm	Eher passive Haltung der Schüler	2D
21	XXI	Bionik in der Sek. II sollte technische Möglichkeiten vertiefen, egal, ob sie	Wahlgrundkurs in der 12 sollte Profil der 10 vertiefen	1D

		schon im Profil unterrichtet wurden oder nicht		
22	XXI	grundsätzliches Interesse bei der Bionik ist schon im Thema begründet, sind anfangs sehr motiviert	Starkes Interesse für die Bionik	2A
23	XXI	Die gehen mit einer Traumvorstellung rein, wissen nicht, was sie erwartet und sind dann eher enttäuscht. Bionik muss ein Zauberwort sein.	Erwartungen an Bionik werden enttäuscht	1D
24	XXII	Anteil selbständiger Schülerarbeit ändert sich auch von der Masse, was bearbeitet werden muss	Anteil selbständiger Schülerarbeit variiert	4D
25	XXII	selbständige Schülerarbeit kostet viel Zeit, anderes muss hinten runterfallen	Entweder selbständige Schülerarbeit oder viel fachlicher Inhalt	1B
26	XXIII	Man wird ins kalte Wasser geschmissen, muss sich erst einarbeiten	Unbedingt viel Vorbereitung notwendig	1A
27	XXIII	Lehrer sind aufgewacht sind und stellen fest, dass fächerübergreifender Unterricht nicht gleich Spielen ist	fächerübergreifender Unterricht = vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit	1B
28	XXIII	das Gros erwacht und stellt fest, ich kann Wissen aus Chemie und Mathe hier anwenden	Anwendbarkeit von Wissen	3A

Tab. 31: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 5.

Fall 6: Lehrerinnen S. und B.

Kurzbeschreibung

Die Lehrerinnen S. und B. unterrichten gemeinsam an einem Gymnasium im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge. Im Interview mit den zwei Lehrerinnen, welche sich jahrgangsweise mit dem Bionik-Unterricht des naturwissenschaftlichen Profils abwechseln, kam deutlich ein starkes Interesse und gleichzeitig ein großes Vergnügen an der Durchführung dieses fächerverbindenden Unterrichtsfach zum Ausdruck. Der Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ wird an diesem Gymnasium nicht angeboten.

Reduktion

- Projektarbeit steht im Mittelpunkt der Unterrichtspraxis
- Schüler bewerteten praktische und selbständig durchgeführte Arbeit trotz Mehraufwand als positiv
- Konkurrenz mit anderen Profilen räumt Spaßfaktor einen großen Stellenwert ein
- Unsicherheiten mit Fachwissen schränkt Themenvielfalt ein

Interviewanalyse

Im Vordergrund ihrer Arbeit stand die Projektarbeit, von deren Ergebnissen die Lehrerinnen beeindruckt waren, was auch stark im Interview betont wurde: „*Ich war wirklich begeistert von denen*“ (Zitat-Nr. 3). Die gute Lernatmosphäre führte Lehrerin S. nach auch zu guten Lernergebnissen.

Die praktische Arbeit mit hoher Eigeninitiative der Schüler wurde sehr hoch bewertet: „*60 Prozent [der Unterrichtszeit] auf jeden Fall*“ (Zitat-Nr. 22) werden der selbständigen Schülerarbeit zugewiesen. Dies ist vermutlich auch auf den hohen Zeitaufwand einer Projektarbeit zurückzuführen. Die Ergebnisse, von den Lehrerinnen als „Produkte“ bezeichnet, sollen sogar in den Schulvitritten der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt werden (vgl. Zitat-Nr. 15). Scheinbar unerwartete Ideen konnten auf diese Weise im Rahmen des Unterrichts umgesetzt werden. Auch die Schüler bewerteten diese praktische und selbständig durchgeführte Arbeit trotz des organisatorischen Mehraufwandes wie Heimarbeit als durchweg positiv (vgl. Zitat-Nr. 1). Inwieweit die bearbeiteten Themen wissenschaftlich fundiert präsentiert wurden, kann jedoch auf Basis des Interviews nicht beurteilt werden.

Die Vorbereitung auf den Bionik-Unterricht, der durch die beiden Lehrerinnen seit drei Jahren an ihrem Gymnasium durchgeführt wird, wurde durch zwei entscheidende Komponenten geprägt: durch Weiterbildungen, deren ganztägiges, stark vertiefendes Angebot die beiden eher überforderte (vgl. Zitat-Nr. 8,9), sowie durch Eigenrecherchen, welche laut den Angaben auch durchaus Spaß gemacht haben: „*als wir angefangen haben, haben wir erstmal recherchiert, haben viel probiert, weil wir keine Vorkenntnisse hatten, aber es war auch lustig*“ (Zitat-Nr. 6).

Die Durchführung im Unterricht ist neben der selbständigen Schülerarbeit jedoch auch von theoriegeleiteter lehrerzentrierter Arbeit geprägt, diese scheint jedoch etwas in den Hintergrund zu geraten. Vermutlich spielt hier das Schülerinteresse eine sehr große Rolle.

„Einfache schöne Sachen – und den Schülern macht es Spaß“ (Zitat-Nr. 7). Dieses Zitat impliziert nicht nur ein großes Interesse der Schüler an bionischen Sachverhalten, es zeigt gleichzeitig eine Schwachstelle: scheinbar werden schwierige Sachverhalte weniger gern von den Schülern bearbeitet. Der „Spaßfaktor“, so ist den Aussagen zu entnehmen, spielt aufgrund der Konkurrenz mit anderen Profilen, wie dem künstlerischen Profil eine große Rolle in der Unterrichtsumsetzung.

Eine weitere Rolle bei der Interessensentwicklung spielt nach Ansicht der Lehrerinnen auch die Praxisrelevanz der beobachteten Phänomene wie beispielsweise die Badeanzüge nach dem Vorbild der Oberflächenstruktur von Haien. Insgesamt wird das Interesse der Schüler an der Bionik als sehr groß eingeschätzt.

Grundlegende Lehrmaterialien für die Unterrichtspraxis sind an diesem Gymnasium vorhanden, auch technische Voraussetzungen für eine multimediale Unterrichtsgestaltung sind gegeben, die Internetrecherche innerhalb der Schule wird jedoch teilweise durch die Schulsperre ausgewählter Internetseiten etwas behindert, was im Gegenzug zu mehr Heimrecherche für die Schüler führt. Gleichwohl sprechen die Interviewten aber nicht von Schwierigkeiten bei der Umsetzung im Unterricht.

Die Themenauswahl ist stark vom Eigeninteresse bzw. den Fähigkeiten der Lehrerinnen geprägt: *„das war mir zu kompliziert, das kann ich denen vielleicht auch nicht so überbringen“* (Zitat-Nr. 19). Unsicherheiten mit dem Fachwissen zu einigen Themen schränkte damit die Themenvielfalt ein.

Eigeninitiative, die Umsetzung von Ideen in ein Modell und die abschließende Präsentation erlauben den Schülern nicht nur ein sehr selbständiges Arbeiten, sondern auch ein Produkt, über welches sie in der Lage sind, eigene Meinungen und Bewertungen zu äußern. Die beiden Lehrerinnen sind zudem der Meinung, dass fast alle im Fragebogen aufgeführten Kompetenzen durch den Bionikunterricht gefördert werden können.

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XXIII	Wollte, dass ein Produkt dabei entsteht; im Nachhinein haben Schüler das als gut bewertet (L1)	Praktische Arbeit im Vordergrund	4A 2A
2	XXIII	Schüler hatten selbst gute Ideen, habe das nicht vorgegeben (L1)	Eigene Ideen fördern	3A
3	XXIII	Ich war wirklich begeistert von denen. (L1)	Sehr gute Lernatmosphäre, Lernergebnisse	3A
4	XXIII	Arbeit auch zu Hause in Eigeninitiative, können aber auch an Schule arbeiten (L1)	Eigeninitiative der Schüler fördern	3A
5	XXIV	In der 10. Klasse sind Schüler schon reif dafür. (L2)	Thema passt zur Altersklasse	1C
6	XXIV	als wir angefangen haben, haben wir erstmal recherchiert, haben viel probiert, weil wir keine Vorkenntnisse hatten, aber es war auch lustig. (L2)	Erfahrungen gestalten den Unterricht	1B
7	XXIV	Einfache schöne Sachen machen Schülern Spaß. (L2)	Schüler spaßorientiert, Schwierigkeiten unerwünscht	2B 1B
8	XXIV	Bei einer Weiterbildung konnte ich am Schluss nicht mehr am Nachmittag. (L2)	Ganztägige Weiterbildungen zu anstrengend	1A
9	XXIV	Bei Ihnen war es gut, wir konnten zu zweit kommen am Nachmittag, war auch spannend, hatten Spaß. Das hat gut getan. (L2)	Weiterbildungen nur stundenweise, nicht ganztags	1B
10	XXIV	Ja, eigentlich schon, bei 18 Leuten hat jeder eins [Lehrbuch] (L2)	Lehrmaterialien stehen zur Verfügung	1C
11	XXV	viele Internetseiten nicht mehr zugänglich, war der Schulfilter drin; Schüler sollen zu Hause recherchieren (L2)	Internet-Schulfilter hindert teilweise die Recherche	1B
12	XXV	Schüler würden lieber nur experimentieren, machen sich dann aber keine Gedanken, wie und warum das so ist. (L1)	Schüler spaßorientiert, Schwierigkeiten unerwünscht	2B 1B
13	XXV	wir hatten immer so ein oder zwei helle Köpfe dabei. (L1)	Varianz der Schüler	1D
14	XXV	gehört auch dazu, zu untersuchen, wie funktioniert das (L2)	Theorie und Praxis ergänzen sich	2B
16	XXV	Produkte für Schulvitriolen, um interessierten Eltern Inhalte nahezubringen (L1)	Inhalte nach außen tragen	1D
17	XXV	Schüler fanden Auseinandersetzung mit einem Thema und eigene Versuche sehr gut (L1)	Eigeninitiative der Schüler fördern	2A 3A
18	XXV	das merken die sich, praktischer Bezug muss da sein und das ist ja hier überall und da ist es egal, welches Thema man nimmt (L2)	Bionische Themen sehr praxisorientiert, kommt deshalb gut bei Schülern an	2A
19	XXV	Thema Eisbärenfall zu kompliziert, kann ich nicht so überbringen. (L2)	Eigene Unsicherheit bei einigen Themen	1A
20	XXV	Aber alles, wo sie sagen können, das erkenne ich in der Natur wieder, ist gut. (L2)	Alltagsbezug wichtig	2B
21	XXV	Wir machen nicht so was Schönes wie künstlerisches Profil, wir brauchen auch Theorie und machen auch manchmal Experimente. (L2)	Künstlerisches Profil spaßorientierter als naturwissenschaftliches Profil	1B 2B

22	XXV	60 Prozent auf jeden Fall. (L1)	Viel selbständige Schülerarbeit	4D
23	XXVI	Geschlechter sind gleich interessiert (L1)	Keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Interesse	2A
24	XXVI	Physik- und Gelehrer sind interessant. Mehr hilft uns da niemand. (L2)	Kaum Kooperationen	1B
25	XXVI	gibt immer Variationen bei den Schülern. Wann kommt das vielleicht wieder im Unterricht oder war das vielleicht schon oder läuft das parallel? (L1)	Varianz der Schüler Bezug zu anderen Fächern nicht unbedingt ersichtlich für Schüler	1D

Tab. 32: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 6.

Fall 7: Lehrerin E., Lehrer H.

Kurzbeschreibung

Die an diesem Gruppeninterview teilnehmende Frau E., Fachlehrerin für Mathematik und Physik, hat selbst noch keine Bionik gelehrt, plant dies aber für das kommende Schuljahr. Lehrer H. dagegen, Fachlehrer für Biologie und Chemie, unterrichtet seit drei Jahren im Profilunterricht Bionik. Das Gymnasium befindet sich im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge.

Reduktion – Hauptaussagen

- Zusammenstellung des Unterrichtsmaterials war sehr mühsam
- Schüler erwarten unterhaltsamen Bionikunterricht, Berechnungen und Auswertungen fördern eher das Desinteresse
- Schülern und Lehrern fällt fächerübergreifender Ansatz gleichsam schwer

Interviewanalyse

Die Vorbereitung für den Unterricht des Lernbereichs Bionik im naturwissenschaftlichen Profil erfolgte durch Lehrer H.: *„Ich habe auch mit viel viel Mühe das Ganze zusammengestellt“* (Zitat-Nr. 10). Diese Erarbeitung des Unterrichts war sehr umfangreich: *„das war eben sehr mühsam sich dort erstmal reinzuknien und was aufzubauen, das ist dann schon ganz schön aufwendig“* (Zitat-Nr. 12). Auch Lehrerin E. findet: *„Niemand war dafür ausgebildet, man musste sich viel zusammensuchen und zusammenlesen, wie in anderen Stoffbereichen auch.“* (Zitat-Nr. 13). Die Umsetzung im Unterricht wiederum scheint im vorgegebenen zeitlichen Rahmen durchaus machbar, so dass ein Überblick über die Themenvielfalt der Bionik gegeben werden kann. Auch Arbeitsmaterialien (Lehrbücher) sind ausreichend vorhanden. Die Zusammenarbeit der beiden Lehrer funktioniert recht gut, gemeinsam decken sie die für die Bionik entscheidenden Fächer Biologie, Chemie, Physik und Mathematik ab.

Lehrer H. verweist im Folgenden darauf, dass die Schüler teilweise einfache handwerkliche Fähigkeiten nicht beherrschen: *„Die Probleme fangen schon damit an, was normal auszuschneiden“* (Zitat-Nr. 5). Auch scheint er etwas enttäuscht von seinen Schülern hinsichtlich der Lernmotivation und dem Arbeitsaufwand, den sie bereit sind zu leisten: *„die wollen schon gerne was tun, wobei der Trend bei den Schülern auch dahingehend ist, bisschen Spaß haben, aber es möchte möglichst nichts bewertet werden [...] Die möchten gern gute Noten haben für wenig Anstrengung“* (Zitat-Nr. 2/3). Auch die ironische Äußerung von Lehrerin E.: *„wenn ich da an den Enthusiasmus unserer Schüler denke“* (Zitat-Nr. 9) zeichnet ein eher desillusioniertes Bild der beiden Lehrer. Sie beschreiben beide ein grundsätzliches Interesse der Schüler an der Bionik und empfinden die Möglichkeiten der medialen Vielfalt als sehr förderlich. Auch sind sie sich aber einig darüber, dass eine lediglich oberflächliche Betrachtung dem fächerverbindenden Gedanken nicht zuträglich ist und verlangen daher von den Schülern auch intensive Auswertungen der Experimente, über welche diese wiederum ihren Aussagen nach das Interesse zu verlieren scheinen.

Beide Lehrer halten das selbständige Arbeiten im Rahmen des fächerverbindenden Unterrichts für sehr wünschenswert. Bislang nimmt es circa die Hälfte des Unterrichts ein. Die wissenschaftliche Herangehensweise wie beispielsweise die selbständige Erarbeitung von Themen oder die Dokumentation und Darstellung der Ergebnisse spielt dabei eine große Rolle. Doch bereits das Erarbeiten von Fachtexten muss geübt werden, denn es kommt schon hier zu Schwierigkeiten. Zudem fällt den Schülern die Verzahnung der Unterrichtsfächer sehr schwer. Aber auch die Lehrer sind mit dem fächerverbindenden Gedanken teilweise überfordert: *„Das fällt dir aber, denke ich, auch ein bisschen selber schwer als Lehrer. Weil man sich natürlich über die Jahre in seinem Stoffgebiet Fachwissen angeeignet hat [...] da fehlt mir einfach das Hintergrundwissen. Da fühle ich mich auch nicht sicher genug. Und in dem Fall macht ja trotzdem jeder von den Lehrern seine Strecke weiter“* (Zitat-Nr. 33).

Die Mehrperspektivität des fächerverbindenden Unterrichts gelangt so nur sehr schwierig in die Köpfe der Schüler: *„Sicher haben die Schüler begriffen nach 2-3 Jahren Profil, dass man eben manches aus vielen Winkeln betrachten kann, aber dass der Wunsch selber bei den Schülern entsteht, alles von mehreren Seiten zu betrachten, das mag ich wirklich zu bezweifeln“* (Zitat-Nr. 35).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XXVI	Schüler wollen gern etwas tun, Trend bei Schülern geht aber dahin, Spaß zu haben bei möglichst wenig Bewertung (L2)	Schüler wollen Spaß im Unterricht aber nur wenig Bewertung	1D 2B
2	XXVI	Schüler möchten gern gute Noten für wenig Anstrengung (L2)	Schüler wollen gute Noten für wenig Anstrengung	1D
3	XXVI	wir steuern gegen, wollen kein Jux und Dallerei, sondern es muss was rauskommen; Schüler müssen ordentlich dokumentieren, was sie erarbeitet haben (L2)	Ergebnisorientiertes, wissenschaftliches Arbeiten wird eingefordert	3A
4	XXVI	Vorbereitung ist schon ein bisschen aufwendig (L2)	Aufwendige Vorarbeiten	1A
5	XXVI	Probleme fangen schon damit an, etwas normal auszuschneiden (L1)	Einfache Techniken müssen geübt werden	1B 3D
6	XXVI	Ich finde die Faltungen schon faszinierend (L2)	Faltungen üben Faszination aus	2D
7	XXVI	Es ist auch faszinierend, weil ja da auch so viel Realität dahintersteckt. (L2)	Bionik sehr praxisnah und erreicht dadurch die Schüler	1B 2A
8	XXVI	Wachsgranulat gibt es hier und in der Nachbarstadt nicht. Muss also nach Dresden oder im Internet bestellen, was ich laut Stadtverwaltung nicht darf. Das sind dann die Sachen, die einem das auch noch mal vermiesen. (L2)	Erschwerte Bedingungen: auf dem Land Materialien teilweise nicht verfügbar, Internetbestellung unerwünscht	1A
9	XXVII	wenn ich da an den Enthusiasmus unserer Schüler denke... (L2)	Schüler im Unterricht schwer zu motivieren	2C
10	XXVII	habe mit viel Mühe das Ganze zusammengestellt (L1)	Aufwendige Vorarbeiten	1A
11	XXVII	Wir haben das einmal als Klassensatz wenigstens da. (L2)	Unterrichtsmaterialien grundsätzlich vorhanden	1B
12	XXVII	Es war sehr mühsam, sich einzuarbeiten und etwas aufzubauen, das ist sehr aufwendig (L1)	Aufwendige Vorarbeiten	1A
13	XXVII	Niemand war dafür ausgebildet, man musste sich viel zusammensuchen und zusammenlesen, wie in anderen Stoffbereichen auch (L2)	Aufwendige Vorarbeiten	1A
14	XXVII	Lotuseffekt und Klette sind geeignet, Faltungen aber kommen sicher gut an, weil Schüler selber daran arbeiten können, beim Klettverschluss eher nicht außer Kletten und Klettverschluss anschauen (L2)	Selbständige Erarbeitung eines Phänomens von Lehrern erwünscht	3A
15	XXVIII	ist es immer schöner, wenn Schüler selber handeln (L2)	Selbständiges Arbeiten erwünscht	3A
16	XXVIII	Fachtexte durchlesen und das Wichtigste herausfiltern fällt Schülern schon schwer genug (L2)	Einfache Techniken müssen geübt werden	1B 3D
17	XXVIII	Thematik der Hai-Oberfläche ist ziemlich anschaulich dargestellt, was wir ja nicht leisten können (L2)	Anschaulichkeit dank unterschiedlicher Medien gewährleistet	1B
18	XXVIII	Bionik interessiert sie, solange es nicht mit Arbeit verbunden ist (L2)	Schüler finden Bionik interessant für wenig Anstrengung	1D 2B
19	XXVIII	Für Schüler wird es lästig, sobald es ums Auswerten geht, protokollieren,	Auswertung für Schüler lästig	2B

		damit man es nachvollziehen kann, ordentlich auswerten, Fragen beantworten (L1)		3C
20	XXVIII	Interesse ist auch ein bisschen jahrgangsbabhängig (L2)	Interesse jahrgangsunterschiedlich	
21	XXVIII	zwanzig Leute, das sind zu viele (L1)	Klassen zu groß	
22	XXVIII	wie wir es machen ist der zeitliche Rahmen ok (L2)	Zeitlicher Rahmen ausreichend	1C
23	XXVIII	ungefähr die Hälfte ist selbständige Schülerarbeit (L1)	selbständige Schülerarbeit 50%	4B
24	XXVIII	es kann nicht alles Spaß sein, wenn sie merken, ich muss auch dort was machen, dann wird das geringer (L1)	Interesse nimmt mit Anforderungen ab	2B
25	XXIX	kann nicht sagen, dass das geschlechtsspezifisch wäre (L1)	Keine Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen	2D
26	XXIX	Interesse ist personenabhängig: Faltungen eher Mädchen aufgrund der Motorik; Jungs eher Kerbstrukturen (L2)	Jungs- und Mädchen-Themen	2D
27	XXIX	Möglichst nicht tief reingehen, sobald es ein bisschen problematisch wird (L2)	Populärwissenschaftliche Sendungen eher oberflächlich	1B
29	XXIX	Wir arbeiten miteinander, aber das ist ja der gleiche Fachbereich, sonst eigentlich nicht (L2)	Kaum Kooperationen	1B
30	XXIX	Niemand weiß, ob und wie viel man das noch unterrichtet oder an eine andere Schule muss (L2)	Unsicherheit wegen Stunden	1A
31	XXIX	Das Problem ist wirklich, vor allem bei den Kleineren, diese Schubladen zu verzahnen (L1)	Schubladendenken schwer abzulegen	1B 3B
32	XXIX	Da fehlt uns die Richtung und die Zeit (L2)	Zeit für Vorbereitung fehlt	1A
33	XXIX	Wir haben die Tiefe der anderen Fachbereiche nicht und da bleibt es eben doch Staub wischen an der Oberfläche (L1)	Oberflächlichkeit durch fehlendes eigenes Fachwissen	1A
34	XXIX	Schüler begreifen nach 3 Jahren Profil, dass man manches aus vielen Winkeln betrachten kann (L2)	Mehrperspektivität kommt bei den Schülern an	3B
35	XXIX	aber dass der Wunsch selber bei den Schülern entsteht, alles von mehreren Seiten zu betrachten, das mag ich wirklich zu bezweifeln (L2)	Aber nur eingeschränkt	3B

Tab. 33: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 7.

Fall 8: Lehrer E.

Kurzbeschreibung

Lehrer E. unterrichtet die Fächer Biologie und Sport an einem Gymnasium im Landkreis Görlitz. Die Bionik begleitet seine pädagogische Arbeit bereits seit 1998. Deshalb ist er derzeit nicht nur für das naturwissenschaftliche Profil seines Gymnasiums verantwortlich, sondern auch für den Grundkurs „Bionik“ der Sekundarstufe II, für welchen er einen eigenen Lehrplan entwickelte, der vom Sächsischen Bildungsinstitut (SBI) begutachtet und von der Sächsischen Bildungsagentur (SBA) genehmigt wurde.

Aufgrund der jahrelangen Unterrichtspraxis im Fach Bionik konnte Lehrer E. von seinen zahlreichen interessanten Erfahrungen berichten. Während des Treffens standen neben dem geplanten Interview auch der Erfahrungsaustausch und die Analyse einiger durchgeführter Experimente im Vordergrund.

Reduktion – Hauptaussagen

- Interessant gestalteter Bionikunterricht ermöglicht Wissenserwerb und -festigung
- Fehlender Austausch mit anderen Lehrern begrenzt seine Arbeit stark
- Lehrplanüberschneidungen der Profilthemen mit anderen Fächern sind ungünstig
- Fächerverbindender Aspekt kommt nicht zur Geltung, da Schubladendenken und erschwerte Stundenabrechnung Kooperationen behindern

Interviewanalyse

Das Gespräch wurde sehr stark geprägt durch den Enthusiasmus und die Begeisterungsfähigkeit des Lehrers, auch hinsichtlich der neu entwickelten Experimente: *„Das sind eigentlich wirklich ein paar schöne Sachen“* (Zitat-Nr. 2). Im Interview beschreibt er seine Erfahrungen mit dem Fallexperiment, brachte weiterführende Ideen ein und wies auf Komplikationen hin. Seine Begeisterung scheint auch auf die Schüler überzugehen. So berichtete er von Schülern, die sich noch Jahre später an die Experimente erinnern konnten: *„Das erzählen sie heute noch“* (Zitat-Nr. 4). Auch das Interesse der Schüler bewertet er als sehr gut und schränkt dies auch bei den Mädchen nicht ein: *„Keine Unterschiede, überhaupt nicht. Die Damen sind genauso interessiert an allem, was wir machen“* (Zitat-Nr. 15).

Als größtes Problem im Lernalltag bezeichnet er den geringen Austausch mit anderen Lehrern. Er ist der einzige an seiner Schule, der sich mit der Bionik beschäftigt, auch wenn die Bionik so zu seinem Standbein geworden ist: *„Das Problem ist, ich habe keinen mit dem ich mich mal austauschen kann, das ist mein Hauptproblem“* (Zitat-Nr. 6). So ist sein Unterricht deutlich von der Biologie geleitet (vgl. Zitat-Nr. 11). Auch verweist er auf Lehrplanüberschneidungen des naturwissenschaftlichen Profilunterrichts mit anderen Lernfächern, zum Beispiel dem Lernbereich Boden mit der Geographie, die zu Unmut seiner Kollegen führen. Die Bionik ist dabei aber nicht betroffen. Mit dem Zeitrahmen und den ihm mittlerweile zur Verfügung stehenden Unterrichtsmaterialien ist er jedoch zufrieden.

Der fächerverbindende Gedanke, welcher von Lehrer E. durchaus geschätzt wird, kann aufgrund des riesigen organisatorischen Aufwands seiner Meinung nach nicht zur Geltung kommen: „*der Profilunterricht, der fächerübergreifend hier stattfindet, das ist ein riesiger organisatorischer Aufwand*“ (Zitat-Nr. 18). Auch sagt er: „*das Fächerübergreifende hat nicht funktioniert. Es bleibt jeder in seiner Schublade*“ (Zitat-Nr. 17). Auch die schwierige Stundenabrechnung, die es verhindert, dass in einer fächerverbindenden Unterrichtsstunde regelmäßig zwei Lehrer unterschiedlicher Fächer gemeinsam unterrichten, erschwert es dem Lehrer, den Schülern wirklich vertieft den fächerverbindenden Gedanken näher zu bringen.

Die unterschiedliche Ausgangslage im Vorwissen der Schüler des fakultativen Grundkurses in der Sekundarstufe II erzwingt die Wiederholung einiger Stoffgebiete der Bionik, die anschließend vertiefend behandelt werden. Diese für einige Schüler auftretende Dopplung des Lernstoffs empfindet Lehrer E. als nicht sehr förderlich. Auch können bestimmte Fertigkeiten heute nicht mehr vorausgesetzt werden: „*weil heute keiner mehr Papierflieger bauen kann*“ (Zitat-Nr. 9).

Die Hälfte seines Unterrichts nutzt der Lehrer für die selbständige Schülerarbeit, schon allein aus der Notwendigkeit heraus, die Schüler mit praktischen Tätigkeiten in der neunten und zehnten Stunde eines Schultages⁷¹ zu beschäftigen.

⁷¹ entspricht etwa 15 – 17 Uhr

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XXX	Einige schreiben in ihrer Stundenbewertung, dass Mikroskopieren Spaß gemacht hat	Mikroskopie im Bionikunterricht macht Spaß	2A 3A
2	XXXI	Das sind wirklich ein paar schöne Sachen	Neue Experimente sind schön	1D
3	XXXI	viele Sachen haben die Schüler unbewusst richtig gemacht	Schüler handelt intuitiv	3D
4	XXXI	Davon erzählen sie heute noch.	Schüler sind angetan vom Bionikunterricht	2A
5	XXXI	Bionik ist mein Standbein geworden	Bionik ist Standbein geworden	1D
6	XXXI	Mein Hauptproblem ist, dass ich mich mit niemandem mal austauschen kann	Kein Austausch mit anderen Lehrern	1A
7	XXXI	es sind nicht alle aus dem Nawi-Profil und machen Bionik, daher auch Wiederholung des Stoffes	Unterschiedliches Vorwissen im Wahlgrundkurs	1B
8	XXXI	Mit einigen Themen sollen sie sich selbst beschäftigen, Kurzvortrag machen, sich gegenseitig bewerten	Schüler erarbeiten sich Themen selbständig	3A
9	XXXII	keiner kann heute mehr Papierflieger bauen	Bestimmte Fertigkeiten nicht mehr voraussetzen bei Schülern	3D
10	XXXII	wir haben viel Spaß in der Stunde	Macht allen Spaß	2A
11	XXXII	Da kommt meine biologische Ader durch	Biologie überprägend	1B
12	XXXII	Zum Bodenlernbereich kam viel Kritik von Geografielehrern, weil wir im Profil dasselbe machen wie im Geografielehrplan	Lernstoffüberschneidungen zwischen Profil und anderen Fächern	1A
13	XXXII	Zeitraumen im Profil ist ausreichend, den Großteil sehe ich ja auch wieder	Zeitraumen ausreichend	1C
14	XXXII	von den zwei Stunden, die ich da halte, ist eine mindestens Praxis	Hälfte Praxis	4B
15	XXXII	Keine Unterschiede zwischen Jungs und Mädchen, Mädchen sind genauso interessiert an allem, was wir machen.	Mädchen genauso interessiert wie Jungs	2A
16	XXXII	Mädchen sind geschickter und ausdauernder.	Mädchen geschickter/ausdauernder	3D
17	XXXIII	das Fächerübergreifende hat nicht funktioniert, es bleibt jeder in seiner Schublade	Nicht richtig fächerverbindend	1A
18	XXXIII	der Profilunterricht, der fächerübergreifend hier stattfindet, ist ein riesiger organisatorischer Aufwand	Riesiger organisatorischer Aufwand	1A
19	XXXIII	das ist eigentlich traurig	Bedauert wenig fächerverbindendes Arbeiten	1D
20	XXXIII	Stunden können auch nur so unflexibel abgerechnet werden	Schlechte Stundenabrechnung verhindert guten fächerverbindenden Unterricht	1A
21	XXXIII	es bleibt vieles auf der Strecke weil es eben organisatorisch schwierig ist	Organisation sehr schwierig	1A

Tab. 34: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 8.

Fall 9: Lehrerinnen G. und V.

Kurzbeschreibung

Beide Lehrerinnen unterrichten seit fast fünf Jahren mehrere Klassen pro Jahrgang im naturwissenschaftlichen Profil der Gymnasien, so auch den Lernbereich Bionik. Ihr Gymnasium befindet sich im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge.

Reduktion – Hauptaussagen

- Themenvielfalt und Erfahrungen mit der Unterrichtspraxis nehmen mit den Jahren zu
- Eigenständige Schülerarbeit nimmt großen Teil des Lernbereichs ein
- Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Rezeption/Mitarbeit im naturwissenschaftlichen Unterricht
- Lehrplanüberschneidungen mit anderen Unterrichtsfächern

Interviewanalyse

Als sie vor fünf Jahren mit der Bionik begannen, stand beiden Lehrerinnen kaum Unterrichtsmaterial für den Bionikunterricht zur Verfügung: *„wir hatten erst nur den Lehrplan, das war am Anfang ziemlich schwierig“* (Zitat-Nr. 17). Mittlerweile besitzt die Schule Klassensätze zwei verschiedener Lehrbücher. Auch die Themenauswahl hat sich in den vergangenen Jahren deutlich vergrößert, so dass sie von ihren wenig bionischen Anfangsthemen „Wasserstoff“ und „Humuskreislauf“ abgerückt sind. Neben dem Lotuseffekt beschäftigen sie sich nun regelmäßig mit dem Thema der Faltungen sowie mit dem Flossenstrahleffekt aus dem von der Autorin entwickelten Bionik-Set. Auch die Erfahrung mit dem Lehrstoff nimmt stetig zu: *„wenn man sich einmal reingearbeitet hat, dann geht das schon, dann weiß man auch, wie man das dann noch erweitern kann“* (Zitat-Nr. 4). Der Zeitrahmen des Lernbereichs Bionik in der Sekundarstufe II wird für einen Überblick für ausreichend befunden.

Einen sehr großen Teil des Unterrichtsgeschehens nimmt die eigenständige Erarbeitung eines durch die Schüler selbst ausgewählten und zu bearbeitenden Themas zur Bionik ein. Dazu gestalten die Schüler ein Modell und präsentieren dies, *„womit sie sich oft sehr schwer tun, es ist viel leichter, sich im Internet eine Seite rauszusuchen“* (Zitat-Nr. 1). Interessant die unterschiedliche Wahrnehmung des Anteils der selbständigen Schülerarbeit am Unterrichtsverlauf. Eine der beiden Lehrerinnen beschreibt den Anteil mit etwa 35 Prozent auf gleichem Niveau wie im normalen Fächerunterricht, während die zweite Lehrerin später im Interview erklärt, das etwa zwei Drittel, aber mindestens 60 Prozent von den Schülern selbständig erbrachte Leistungen sind.

Lehrplanüberschneidungen einiger Lernbereiche des naturwissenschaftlichen Profils mit anderen Fächern werden als etwas hinderlich angesehen, da für einige Schüler die Situation eintreten kann, bereits erlernten Stoff noch einmal hören zu müssen und sich damit zu langweilen, während die Thematik für andere Schüler neu und unter Umständen schwer zugänglich ist – für die Lehrer ebenfalls eine schwierige Situation. Kooperationen mit

anderen Fachbereichslehrerin sind gleichzeitig eher selten: *„man holt sich mal einen Ratschlag bei den Physikern“* (Zitat-Nr. 16).

Beide Lehrerinnen beschreiben einen Unterschied zwischen der Rolle der Mädchen und der Rolle der Jungen im Unterricht. Sie sind sich einig darüber, dass die Jungen aktiver am Unterricht mitwirken, Ideen einbringen und Fragen stellen, während die Mädchen eher passiv, aber trotzdem aufmerksam dem Unterricht folgen: *„die Jungs sind mehr interessiert, auch generell an den Naturwissenschaften, in dieser Altersgruppe. Die Mädels hören zu, sind fleißig, finden das auch durchaus schön, aber so dieses aktive Mitarbeiten, Ideen einbringen, das machen die Jungs eher“* (Zitat-Nr. 9). Dennoch kann die Gruppenheterogenität nach der Meinung einer Lehrerin durchaus prägender für eine Klasse sein als die Unterschiede zwischen den Geschlechtern. In der abschließenden, von den beiden Lehrerinnen selbst initiierten Unterrichtsevaluation der Schüler werden außerdem auch sehr viele positive Resonanzen gegeben.

Der fächerverbindende Gedanke hält sehr langsam Einzug: *„Ich würde jetzt nicht sagen, dass die Schüler jetzt fächerübergreifend denken, aber man gibt damit Anstöße und es fällt manchem Schüler leichter. Aber das ist ein Entwicklungsprozess, den man erst wirklich jetzt angeschoben hat“* (Zitat-Nr. 20).

Nr.	Seite	Paraphrase	Generalisierung	KE
1	XXXIII	Schüler gestalten ein Arbeitsblatt, basteln ein Modell, womit sie sich oft sehr schwer tun, im Internet eine Seite rauszusuchen ist viel leichter (L1)	Eigene Ideen und Formulierungen der Schüler gefragt und gefordert	3A
2	XXXIV	für den Greifer hatten wir keine Zeit nicht mehr (L1)	Für Vertiefung wenig Zeit	1B
3	XXXIV	Jetzt kann man fragen, was ist Bionik, und man bekommt auf jeden Fall eine Antwort; in den ersten zwei Jahren kam nichts (L1)	Vorwissen zur Bionik mittlerweile vorhanden	1D 2B
4	XXXV	Wenn man sich reingearbeitet hat, geht das schon, dann weiß man auch, wie man das noch erweitern kann (L1)	Viel Vorbereitung, Erfahrungen sammeln	1B
5	XXXV	Jetzt Lehrer hat ein Thema abbekommen, damit kann man eigentlich ganz gut leben (L1)	Aufteilung der Profilt Themen auf verschiedene Lehrer ist gut	1C
6	XXXV	Manche Themen werden erst in Chemie und dann im Profil behandelt, in anderen Gruppen leider umgekehrt, da langweilt sich die Hälfte der Schüler (L1)	Lehrplanüberschneidungen sind teilweise ungünstig	1B
7	XXXV	Für manche Themen wäre mehr Zeit gut, insgesamt ist es aber für einen Überblick ausreichend (L1)	Für einen Überblick reicht Zeitrahmen aus	1B
8	XXXV	Anteil der selbständigen Arbeit mit normalem Unterricht ungefähr gleich (L1)	Anteil der selbständigen Arbeit mit normalem Unterricht ungefähr gleich	4B
9	XXXV	Jungs sind an Naturwissenschaften in dieser Altersgruppe generell mehr interessiert und aktiver, Mädchen sind interessiert und fleißig (L1)	Jungs sind aktiver und interessierter als Mädchen	2B
10	XXXVI	Faltungen waren für Schüler ganz schwierig. (L2)	Schwierige Themen	1B 3B
11	XXXVI	Modelle bauen und fliegen lassen ruft immer Erheiterung hervor (L2)	Spaßfaktor während des Experimentierens wichtig	2B
12	XXXVI	ein paar saßen ratlos, weil sie keine Papierflieger bauen konnten (L2)	Vorausgesetzte Fähigkeiten werden nicht erbracht	1B
13	XXXVI	In der Schülerevaluation zeigen Schüler immer positive Reaktionen (L2)	Schüler schätzen Unterricht als gut ein	2A 3D
14	XXXVI	Anteil der selbständigen Arbeit fast zwei Drittel, mindestens aber 60 Prozent (L2)	Anteil der selbständigen Arbeit sehr hoch	4A
15	XXXVI	Jungs melden sich mehr, ist aber auch abhängig von Gruppenzusammensetzung (L2)	Jungs aktiver, Gruppen unterschiedlich	2D
16	XXXVI	man holt sich Ratschlag bei den Physikern (L1)	Kooperation mit Physik, wenn Fragen	1C
17	XXXVII	hatten erst nur den Lehrplan, das war am Anfang ziemlich schwierig (L1)	Erarbeitung am Anfang sehr schwierig	1A
18	XXXVII	Schüler haben das dann erklärt, mit den anderen diskutiert, waren sehr aktiv (L2)	Aktive Rolle der Schüler gefördert	3A
19	XXXVII	Kurier wurde gestrichen, Videoausleiher daher schwierig (L1)	Finanzielle Rahmenbedingungen schlecht	1A
20	XXXVII	Fächerverbindendes Denken fängt an, man gibt damit Anstöße und es fällt	Fächerverbindender Unterricht ist ein Entwicklungsprozess	1D

		manchem Schüler leichter; das ist ein Entwicklungsprozess, der erst angeschoben wurde (L1)		3D
--	--	--	--	----

Tab. 35: Paraphrasierung, Generalisierung und Kodiereinheiten des Interviews Fall 9.

8.3.2 Abschlussanalyse

Im Zeitraum von zwei Monaten wurden im Frühjahr 2010 neun Interviews mit insgesamt 14 Lehrern durchgeführt. Die drei Männer und elf Frauen sind an sächsischen Gymnasien beschäftigt. Neun Interviewte unterrichten die Bionik im naturwissenschaftlichen Profil der Sekundarstufe I, drei unterrichten den fakultativen Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ in der Sekundarstufe II und zwei gaben an, beides zu lehren oder zukünftig lehren zu wollen. Von den 14 Lehrern arbeiten elf mit dem Fächerprofil Biologie und Chemie, je einer unterrichtet in der Fächerkombination Biologie/Geographie, Biologie/Sport und Mathematik/Physik.

Im Folgenden werden die wichtigsten Kernaussagen der Interviews aufgelistet und anschließend entsprechend der vier Bewertungskategorien (1) Umsetzungsprobleme, (2) Schülerinteresse, (3) Kompetenzgewinn und (4) Anteil an selbständiger Schülerarbeit im Sinne der Leitfrage sowie der daraus entwickelten zwei Hauptfragestellungen (vgl. Kap. 7.1.3.2) diskutiert.

Die Leitfrage, die im Mittelpunkt der Untersuchung stand und in vier Bewertungskategorien untergliedert wurde, lautete:

„Wie beurteilen die Lehrer die Umsetzbarkeit und die Zielvorstellungen des fächerverbindenden Unterrichts am Beispiel der Bionik?“

8.3.2.1 Hauptaussagen

- Die Zusammenstellung der Unterrichtsmaterialien gestaltete sich sehr aufwendig, viel Eigenrecherche war dafür notwendig.
- Unsicherheiten der Lehrer im Umgang mit dem neuem Unterrichtsstoff prägen deren Themenauswahl und Unterrichtsgestaltung.
- Projekt- und Schülerarbeiten sind ein gern gewähltes methodisches Instrument im Bionikunterricht.
- Der „Spaßfaktor“ der Bionikthemen steht oft im Vordergrund des Schülerinteresses.
- Dagegen sind fachliche Tiefe wie Berechnungen oder Auswertungen vom Schüler eher unerwünscht, wirken regelrecht demotivierend.
- Der fächerverbindende Aspekt wird sehr unterschiedlich, teilweise sehr kritisch bewertet, der Lehrer spielt jedoch in jedem Fall eine entscheidende Rolle.

8.3.2.2 Aussagen entsprechend der vier Bewertungskategorien

Probleme bei der Umsetzung im Unterricht (Code 1)

	A	B	C	D
(1) Probleme bei der Umsetzung im Unterricht	33	45	15	21

Tab. 36: Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Probleme bei der Umsetzung im Unterricht“. (A) hoher Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (B) mittlerer Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (C) niedriger Schwierigkeitsgrad bei der Umsetzung im Unterricht; (D) nicht erschließbar.

2005 wurden die neuen Profile in den sächsischen Lehrplan für Gymnasien aufgenommen. Die Erarbeitungsphase des neuen Profil-Lernstoffs, insbesondere des Lernbereichs Bionik wurde von den interviewten Lehrern durchweg als sehr mühsam und aufwendig beschrieben. Viele hatten bis zu diesem Zeitpunkt nur am Rande etwas von Bionik gehört und mussten sich nun selbst in Eigenrecherche geeignete Materialien zusammentragen. Es gab kaum Unterstützung von außen. Diese Situation führte für die Lehrer auch im Unterrichtsverlauf zu Unsicherheiten. Manche sprachen davon, ihrer Rolle als Lehrer in der Vermittlung von Wissen ohne intensive Weiterbildungen zu diesem Thema nicht gerecht werden zu können. In den letzten Jahren sammelten die meisten Lehrer jedoch einige Erfahrungen mit der Bionik im Schulunterricht und der Durchführung von Experimenten. Neben einer Einleitung in die Thematik spielt der Lotuseffekt hierbei eine große Rolle, einige Lehrer nutzen aber zunehmend auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit neu entstandenen Experimentierkomplexe wie „Faltungen in Natur und Technik“, „Faserverbundsysteme“, „Flossenstrahl-effekt“ oder „Kerbstrukturen“. Einmal etablierte Experimente werden bei gutem Erfolg und positiver Resonanz der Schüler in den kommenden Jahren beibehalten.

Von den elf befragten Lehrern, die die Bionik im naturwissenschaftlichen Profil der Gymnasien lehren, gaben nur zwei Lehrer an, die Bionik in der Klassenstufe 9 zu behandeln, alle anderen unterrichteten diesen Lernbereich in der Klasse 10. Schulinterne Organisationsstrukturen hatten teilweise zeitliche Verschiebungen zur Folge. So führte beispielsweise die Möglichkeit, Lernbereiche komplett zu streichen (wie z.B. Lernbereich 4 „Boden“) zur Streckung anderer Lernbereiche (wie z.B. Lernbereich 6 „Bionik“). Andere Schulen richteten Profilwochen ein, in denen konzentriert in einer Woche Profilthemen bearbeitet werden können. Die Profilwochen bedürfen aufgrund ihres interdisziplinär angelegten Charakters einer intensiven Organisation, von einem Lehrer gar als „organisatorisches Monster“ bezeichnet.

Der fakultative Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ wird bislang nur an drei der befragten neun Schulen durchgeführt. Dies ist teilweise bedingt durch die Neuartigkeit des Kurses, der erst 2008 in den Lehrplan aufgenommen wurde. Andererseits stehen die Lehrer in der jetzigen Sekundarstufe II vor dem Problem des akuten Schülermangels aufgrund des „Wende-Geburtenknicks“ in Sachsen, so dass an den meisten Gymnasien zu den bislang etablierten Grundkursen momentan keine neuen Kurse zugefügt werden.

Für beide Bionik-Fächer wird der im Lehrplan vorgesehene Zeitrahmen von den meisten Befragten als ausreichend empfunden. Die 28 UE im Profil und 38 UE im Grundkurs geben einen guten Überblick über die Themenvielfalt. Nach Meinung einiger Lehrer wird eine wirklich tiefgehende Beschäftigung mit der Bionik so allerdings nicht erreicht. Hier spielt die Themenwahl eine entscheidende Rolle. Während einige Lehrer den Schülern einen Überblick über verschiedene Bereiche bionischer Arbeit geben, setzen andere Lehrer eher auf die Vertiefung einiger weniger Themen, die experimentell und mit hoher Selbständigkeit von den Schülern bearbeitet werden. Hier geben einige Befragte an, auch durchaus ein Lehrplanthema wegzulassen, um einem anderen mehr Raum geben zu können. Begünstigt

wird dieses Vorgehen dadurch, dass in diesem Fach keine verpflichtende Abschlussprüfung stattfindet.

Von den Lehrern, die den Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ durchführen, wird wiederum von einer Diskrepanz zwischen den Inhalten des Profils und des Grundkurses gesprochen. Da nicht jeder Schüler, der den Grundkurs belegt, zwingend auch das naturwissenschaftliche Profil besucht hat, müssen einige Aspekte im Unterricht wiederholt werden. Es kommt zu unterschiedlichem Vorwissen der Schüler und inhaltlichen Überschneidungen, wegen derer mancher Lehrer die Befürchtung hat, einen Teil der Schüler zu langweilen. In diesem Zusammenhang wiesen einige Befragte darauf hin, dass es zusätzlich auch ungünstige inhaltliche Überschneidungen von Lernbereichen des Profils mit anderen Fächern wie der Geografie oder der Chemie gibt.

Lehrbücher stehen mittlerweile allen Schulen zur Verfügung. Die befragten Lehrer sind alle im Besitz einer eigenen Sammlung an selbst zusammengestellten Arbeitsmaterialien. Diese werden zusätzlich als Kopien im Unterricht verwendet. Mittel für Experimentieraufbauten können von den meisten Schulen in einem gewissen finanziellen Rahmen aufgebracht werden. Allerdings scheint es auch hier zu Einsparungen zu kommen – einer Schule wurde bereits der Kurierdienst gestrichen, so dass DVDs aus der Stadtmedienstelle der angrenzenden Stadt nicht mehr kostengünstig bestellt werden können. Auch der Einkauf über das Internet wird durch behördliche Stellen teilweise erschwert, was besonders an Schulen, die sich nicht in unmittelbarer Nähe zu einer großen Stadt mit Baumarkt und Bastelladen befinden, die Umsetzung von Experimenten im Unterricht einschränkt.

Alle Schulen nutzen für die Recherche im Unterricht auch das Internet. Schulsperren können hier teilweise etwas hinderlich sein, da für die Bionik relevante Internetseiten oft Unternehmen zuzuordnen sind. In solchen Fällen werden Recherchen als Hausaufgaben gegeben, da für die meisten Haushalte ein Internetzugang vorausgesetzt wird. Für die Präsentationen sind PowerPoint und Beamer oft verwendete Hilfsmittel. Auch die Technik des Interaktiven Whiteboards wurde an einer Schule bereits intensiv im Unterrichtsverlauf genutzt.

Der Austausch mit anderen Lehrern zur Umsetzung der Bionik im Unterricht ist bislang trotz des eigentlich sehr interdisziplinären Ansatzes eher gering. Kooperationen finden nur von Profillehrer zu Profillehrer statt, Anregungen aus der Physik sind eher die Ausnahme. Dem steht eine große Unsicherheit der Lehrer hinsichtlich des tatsächlich sehr fachübergreifenden Stoffgebiets der Bionik gegenüber. Gerade Biologie- und Chemielehrer empfinden ihre Fachgrenzen als sehr bedrückend und bremsend. Eine Überprägung des Bionikunterrichts durch die Biologie ist die Folge. Das ist auch einer der Gründe, warum der Wunsch nach einem eher mathematisch-physikalisch ausgerichteten Grundkurs sowie der Wunsch nach vertiefenden Fortbildungen häufiger hervortraten.

Eine Schülerzahl über 20 wird von den Interviewten als für den Experimentalunterricht sehr hinderlich empfunden. Bereits jetzt haben einige Schulen mit recht hohen Schülerzahlen in

den Kursen zu kämpfen. Diese Tendenz wird gerade in den geburtenschwachen Jahrgängen durch die Zusammenlegung von Kursen weiter verstärkt werden.

Interesse der Schüler an der Bionik (Code 2)

	A	B	C	D
(2) Interesse der Schüler an der Bionik	22	20	4	11

Tab. 37: Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Interesse der Schüler an der Bionik“. (A) starkes Interesse an der Bionik; (B) mittelstarkes Interesse an der Bionik; (C) kein Interesse an der Bionik; (D) nicht erschließbar.

Die Schüler, die das naturwissenschaftliche Profil belegen, sind nach Aussagen der Lehrer oft sehr an der Bionik interessiert. Die Bionik erscheint manchen als eine Art Zauberwort, welches die Schüler hochmotiviert in den Unterricht gehen lässt. Populärwissenschaftliche Sendungen begünstigen die Begeisterung für die Bionik. Oft jedoch lässt diese Motivation schnell nach. Sobald sich die Schüler einem Phänomen wissenschaftlich nähern sollen, dies schließt neben dem Experimentieren auch die Dokumentation und Auswertung mithilfe eines Protokolls ein, kann sich das anfängliche Interesse in das Gegenteil umkehren. Das wissenschaftliche Arbeiten fällt den Schülern teilweise recht schwer und mancher Lehrer verzweifelt daran. So werden Experimente falsch geplant oder Protokolle nicht ausgewertet. Zwei Lehrer gestehen indirekt ein, in unmittelbarer Konkurrenz zu den anderen Profilen zu stehen. Besonders das künstlerische Profil steht aufgrund des hohen Spaßfaktors in unausgesprochener Kritik. Die Lehrer werden so ungewollt unter sehr hohen Erfolgsdruck gesetzt. Das ist auch einer der Gründe, warum häufiger der Wunsch nach einem eher mathematisch-physikalisch ausgerichteten Grundkurs sowie der Wunsch nach vertiefenden Fortbildungen geäußert wurden.

Die Lehrer, die einen Vergleich zwischen dem Profil und dem fakultativen Grundkurs ziehen können, stellen einen positiven Zusammenhang zwischen beiden Fächern her: wer im Profil die Bionik kennengelernt hat, wählt sie oft auch im Grundkurs wieder. Einerseits wegen der erhofften Einfachheit des Lernstoffs, andererseits aber auch wegen des Interesses am Thema. Mancher Lehrer ist darüber verwundert, was die Schüler sich alles aus dem Profilunterricht gemerkt haben – verglichen mit dem normalen Unterricht deutlich mehr. Zumindest bleiben den meisten Schülern spannende Experimente in Erinnerung. Einige Lehrer führen Evaluationen zu ihrem Unterricht durch und ermutigen die Schüler auch zu Kritik – oft aber erfahren sie eine unerwartet positive Resonanz.

Aufgrund der Beliebtheit der Bionik wird der fakultative Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“ teilweise auch mit der Bionik allein beworben, obwohl diese nur untergeordnet behandelt wird. Biotechnologie klinge zu abschreckend.

Ein markanter Unterschied zwischen den Jungen und Mädchen in ihrem Interesse an der Bionik wird von den Befragten nicht diagnostiziert. Abgesehen von der Gruppenheterogenität, die für Gruppendynamiken häufig entscheidender für den Unterrichtsverlauf und -erfolg ist, werden einige Themen eher den Mädchen oder den Jungen zugeordnet. So sind die Faltungen bei Mädchen beliebter, während das Faserverbund-Thema eher die Jungen zu eigenen Überlegungen herausfordert. Auch werden die Mädchen im Unterricht teilweise als

passiv, aber auch geschickter und ehrgeiziger als die Jungen beschrieben, die sich wiederum aktiver beteiligen und eigene Ideen beisteuern.

Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht (Code 3)

	A	B	C	D
(3) Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht	17	15	7	12

Tab. 38: Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Kompetenzgewinn durch fächerverbindenden Unterricht“. (A) hoher Kompetenzgewinn; (B) mittlerer Kompetenzgewinn; (C) kein Kompetenzgewinn; (D) nicht erschließbar.

Im Rahmen dieser Arbeit einen Kompetenzzuwachs aufgrund des Profilunterrichts feststellen zu wollen, wäre sicher vermessen gewesen. Die meisten befragten Lehrer sehen aber auch ohne einen detaillierten Kriterienkatalog einen deutlichen Gewinn an Kompetenzen eher skeptisch. Einige formulieren es vorsichtig als einen „gerade erst angeschobenen Entwicklungsprozess“, der von Lehrer- wie von Schülerseite noch sehr zaghafte begleitet wird.

Der fächerverbindende Gedanke, Phänomene zeitgleich aus verschiedenen Fachbereichen zu betrachten, ist durchaus möglich. Aber auch hier stößt man wieder auf das Problem der Wissensgrenzen des Fachlehrers, der aus verschiedenen Gründen nicht dazu bereit ist, mit Lehrern anderer Fachbereiche zu kooperieren. Die von den Befragten häufig erwähnte Wortkombination „Schublade aufmachen“ wird somit vordergründig durch den Lehrer bedient – die Schüler haben unter Umständen mit der fächerverbindenden Vermittlung von Wissen weniger Probleme.

Nach Einschätzung der Lehrer fällt den Schülern die Arbeit mit einigen Arbeitstechniken deutlich schwer. Besonders das wissenschaftliche Arbeiten, für welches im Fachunterricht realistisch betrachtet immer weniger Zeit zur Verfügung steht, bereiten ihnen Schwierigkeiten. Selbst einfache Arbeitstechniken wie Ausschneiden, Falten oder Papierfliegerbauen, können nach Aussagen einiger Lehrer heute nicht mehr unbedingt vorausgesetzt werden.

Von den vier Kompetenzbereichen der nationalen Bildungsstandards für das Fach Biologie können nach Aussage der vierzehn befragten Lehrer besonders die Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinnung“ und „Kommunikation“ im Bionikunterricht gefördert bzw. erworben werden. Selbständiges Arbeiten steht im Mittelpunkt des Unterrichts. Das Vorbereiten und der Aufbau von Experimenten, das Protokollieren, Auswerten und Darstellen können hier oft geübt werden. Modelle werden angefertigt, verschiedenartige Quellen bearbeitet und ausgewertet. Vor allem die handwerkliche Komponente, das „Begreifen“, ist dabei nicht zu unterschätzen. Gruppenarbeit und Präsentationen vor der Klasse sowie eine anschließende gegenseitige Bewertung bieten außerdem viel Raum für die Umsetzung eigener Ideen und unterstützen die Kommunikation und Argumentation. Die Lehrer, denen der selbstinitiierte Gedankengang der Schüler am Herzen liegt, geben den Schülern auch ausreichend Zeit, sich Themen selbst zu erarbeiten und durch Fehler zu lernen, auch wenn dies oft der mühsamere Weg für beide Seiten ist.

Anteil an selbständiger Schülerarbeit (Code 4)

	A	B	C	D
(4) Anteil selbständiger Schülerarbeit	5	5	0	2

Tab. 39: Gesamtanzahl aller Interviewaussagen entsprechend der Kodiereinheiten. Code 1 „Anteil selbständiger Schülerarbeit“. (A) zeitlicher Anteil sehr hoch; (B) zeitlicher Anteil mittelmäßig; (C) zeitlicher Anteil niedrig; (D) nicht erschließbar.

Keiner der befragten vierzehn Lehrer gab an, für die selbständige Schülerarbeit im Bionikunterricht weniger Zeit zu verwenden als im normalen Fachunterricht. Bei allen ist mindestens die Hälfte der Unterrichtszeit, bei den meisten sogar mehr, dafür vorgesehen. Diese selbständige Schülerarbeit konzentriert sich nicht allein auf das Experimentieren. Auch die Auswertung, Rechercheaufgaben oder Präsentationsvorbereitungen sind mit eingeschlossen. Selbständige Schülerarbeit hängt stark vom Lehrplaninhalt ab. Je mehr Stoff vermittelt werden muss, desto weniger Zeit wird den Schülern für eigenständige Arbeiten zur Verfügung gestellt. Auch hier wirkt sich der Fakt, dass für die Fächer keine zentrale Prüfung abgelegt werden muss, günstig aus.

9 Synthese

Die vorliegende Arbeit zielte darauf ab, Arbeitsmaterialien für den Bionikunterricht an sächsischen Gymnasien zu entwickeln, zu erproben und zu veröffentlichen. Das entstandene Produkt „Bionik – Experimente für den Schulunterricht. Spannende Entdeckungen aus der Natur“ erschien im März 2010 bundesweit als DVD im Duden-Schulbuchverlag. Für die Optimierung der Materialien erfolgten während des Entwicklungsprozesses Befragungen mithilfe von Fragebögen und Interviews, die anschließend ausgewertet wurden. Außerdem wurde für jeden der sieben Themenkomplexe eine Gesamteinschätzung der entwickelten Experimente und Aufgaben formuliert.

In der folgenden Synthese sollen die wichtigsten Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel noch einmal bezüglich der Befragungsauswertung als auch der Gesamteinschätzung kurz zusammengefasst und auf die einleitenden Fragestellungen hin diskutiert werden.

Auswertung der Schülerfragebögen

Während der am Institut für Botanik durchgeführten Lehrerfortbildungen erhielten die teilnehmenden Lehrer die entwickelten Experimentiermodule für ihren Schulunterricht zur Verfügung gestellt. Um diese anschließend individuell zu bewerten, erhielten sie zeitgleich Lehrer- und Schülerfragebögen, welche sie nach der durchgeführten Unterrichtseinheit selbst ausfüllten bzw. von den Schülern ausfüllen ließen und zur Auswertung an das Institut für Botanik zurücksandten. Aufgrund der verschiedenen Interessenslagen und dem Aufwand der Materialbesorgung zum experimentellen Arbeiten wurden die sieben Themen allerdings nicht in gleichem Maße verwendet, so dass für die endgültige Auswertung nur fünf Themen statistisch betrachtet werden konnten. Am häufigsten wurde das Thema „Faltungen“ von den Schülern bewertet (175), gefolgt vom Thema Kerbstrukturen (111). Die Auswertbarkeit des Themas „Transportsysteme“ ist mit einer Anzahl von 98 gut gegeben, die Themen „Flossenstrahleffekt“ (69) und „Faserverbundmaterialien“ (44) sind dagegen statistisch weniger aussagekräftig.

Die Auswertung der Schülerfragebögen erlaubt einen Überblick über erfasste Sachverhalte, Interessen und Schwierigkeitsgrade zu den einzelnen Themen. Als Konsequenz daraus wurden einzelne Module als für den Schulunterricht nicht geeignet eingestuft und in den folgenden Versionen nicht weiter verfolgt. Die Reihenfolge von Aufgaben wurde verändert, die Lehrermaterialien erhielten zusätzliche Hintergrundinformationen zu möglichen Ergebnissen, Fehlerquellen und weiterführenden Informationsquellen.

Die Einschätzungen der Schüler zu den fünf analysierten Themengebieten fallen positiv aus. Die Verdeutlichung der bionischen Arbeitsweise mithilfe der Experimente und Aufgaben wird im Durchschnitt als „gut“ bezeichnet, wobei die einzelnen Themen auf der fünfgliedrigen Skala mit $4 \pm 0,2$ Punkten nur geringfügig voneinander abweichen. Am beliebtesten ist das Thema „Flossenstrahleffekt“, gefolgt von den Themenbereichen „Kerbstrukturen“, „Faserverbundmaterialien“ und „Faltungen“. Am wenigsten beliebt wird das Thema der „Transportsysteme“ bewertet. Dieses letztgenannte Thema ist zugleich das komplexeste. Hier kann die bionische Arbeitsweise nicht so linear nachgezeichnet werden wie im sehr

übersichtlichen Thema des Flossenstrahleffekts. Dadurch erhöht sich die Schwierigkeit der Aufgaben. Interessanterweise denken jedoch 43 Prozent der Schüler darüber nach, sich mit dem vergleichsweise schlecht bewerteten Thema weiter auseinanderzusetzen, während nur 16 Prozent sich mit dem besser bewerteten Themengebiet der Faserverbundmaterialien weiterführend beschäftigen würden.

Aufgaben mit einem von den Schülern als erhöht eingeschätzten Schwierigkeitsgrad werden zugleich als interessanter beschrieben. So wird beispielsweise die tatsächlich sehr komplizierte, aber zugleich faszinierende Ananasfaltung als schwierigste und zugleich interessanteste Faltung aufgeführt. Auch im Themenbereich „Flossenstrahleffekt“ beschreiben die Schüler die etwas knifflige Computersimulation des Greifermodells mithilfe des Programms PHUN als am schwersten und gleichzeitig interessantesten.

Gesamteinschätzung

Die sieben Themen entstanden parallel zueinander mit jedoch unterschiedlichen Anlaufzeiten und Entwicklungsprozessen. Ihr übergeordnetes Ziel war und ist es, das Vorgehen der bionischen Arbeitsweise anhand aktueller Beispiele vorzustellen. Angepasst an die engen zeitlichen Rahmenbedingungen eines Lehrplans können die Experimente zeitlich variabel genutzt werden. Sie eignen sich dabei, abhängig von der inhaltlichen Tiefe, für eine Doppelstunde ebenso wie für die Gestaltung eines Projekttages. Gleichzeitig wurde versucht, die für die Experimente notwendigen Materialien finanziell als auch in ihrem Beschaffungsaufwand so wenig aufwendig wie möglich zu halten. Arbeitsblätter für die Schüler wie beispielsweise Experimentieranleitungen und Rechercheaufgaben sind für jedes Thema vorhanden, so dass die Lehrperson entsprechend der Vorgehensweise diese nutzen kann, aber nicht zwingenderweise nutzen muss. Ergänzende Hintergrundinformationen und zu erwartende Ergebnisse sind in den Lehrerteilen zusammengestellt. Gleichzeitig ermöglicht die Bereitstellung von Powerpoint-Vorträgen zu allen sieben Themen eine problemlose Präsentation der Inhalte. Interaktive Flipcharts ergänzen das Lehrangebot.

In ihrer Komplexität unterscheiden sich die Themen deutlich voneinander. Während bei einigen das bionische Entwicklungsverfahren sehr klar erkennbar ist und die einzelnen Schritte gut voneinander abtrennbar sind, kann bei anderen eine zielgerichtete Forschung zwar angedeutet und auch auf dieser Basis entwickelte Produkte vorgestellt werden. Die Vorgehensweisen und Prozesse sind allerdings kaum linear und stattdessen sehr vernetzt miteinander.

Für die Zukunft bleibt eine ständige Erarbeitung neuer Experimente und Themenmodule zu aktuellen Forschungen in der Bionik wünschenswert. Gerade gegenwartsnahe Entwicklungen vermögen es oft mehr als bekannte allgegenwärtige Beispiele, Schüler zu interessieren und langfristig zu motivieren.

Qualitative Inhaltsanalyse der Experteninterviews

Die Ergebnisse der Interviewstudie, die Umsetzungsprobleme und Rahmenbedingungen des fächerverbindenden Unterrichts näher beleuchten sollte, sind aufgrund der Anzahl nur bedingt repräsentativ und lassen sich damit nicht verallgemeinern, geben jedoch Hinweise über mögliche Schwierigkeiten, die in ihrer Konsequenz besonders für bildungspolitische Entscheidungsträger eine Rolle spielen dürften/könnten. Die ausgewählten Aussagen der befragten Lehrer verdeutlichen einerseits die Schwierigkeiten mit dem fächerverbindenden Thema Bionik in der Unterrichtspraxis, zeigen andererseits aber auch die Chancen dieser Arbeitsweise, besonders mit Blick auf die hoch motivierte Herangehensweise der Schüler.

Die Lehrer beschreiben in erster Linie den Mangel an geeignetem Unterrichtsmaterial zum Zeitpunkt der neuen Lehrpläneinführung wie auch die fehlende Begleitung durch Lehrerfortbildungen als problematisch, denn die Erarbeitungsphase und das Anlegen eigener Materialsammlungen wurden damit sehr mühsam und aufwendig. Die beschriebene inhaltliche Dimension in der Unterrichtspraxis weist jedoch Unterschiede auf. Einige Lehrer versuchen, in ihrem Bionikunterricht die Breite der Forschungslandschaft und der bionischen Produkte vorzustellen, während andere sich von der vertiefenden Bearbeitung ausgewählter Themen einen Kompetenzzuwachs der Schüler versprechen. Die Kooperation mit Lehrern anderer Fachrichtungen lässt nach Aussagen der meisten Lehrer leider zu wünschen übrig. Dem steht gleichzeitig aber eine große Unsicherheit der Lehrer hinsichtlich des interdisziplinären Themengebiets Bionik gegenüber. Besonders Biologielehrer empfinden deutlich ihre eigenen Fachgrenzen. Eine Überprägung des Bionikunterrichts durch die Biologie ist die Folge.

Das Interesse der Schüler an der Bionik wird meist bereits durch populärwissenschaftliche Fernsehsendungen hervorgerufen, so dass sie hoch motiviert in den Unterricht hineingehen. Allerdings beobachteten mehrere Lehrer, dass mit dem Unterrichtsverlauf und der damit einhergehenden intensiven Beschäftigung mit einem Thema diese Motivation erlischt. Können die Schüler sich für die Durchführung des Experiments noch begeistern, so gelten Auswertung und Dokumentation als langweilig und werden dementsprechend ablehnend behandelt.

Interessant ist das starke Interesse auch der Mädchen am Thema Bionik. Gerade im technischen Bereich liegen die Mädchen mit ihrer Interessensausbildung deutlich hinter den Jungen. Über das Trittbrett Biologie und ihre lebenden Phänomene, die traditionell besonders Mädchen begeistern, finden sie einen neuen Zugang zu ingenieurstechnischen Arbeitsweisen und möglichen Anwendungen.

Die Fragen zur Kompetenzförderung wurden mit dem Hinweis auf den „gerade erst angeschobenen Entwicklungsprozess“ meist sehr vorsichtig und kritisch beantwortet. Der aus den vier Bereichen (1) Fachwissen (2) Erkenntnisgewinnung (3) Kommunikation und (4) Bewertung bestehende Kompetenzkanon für die naturwissenschaftliche Grundausbildung wird mit der interdisziplinären Arbeitsweise Bionik zwar abgedeckt, nach Meinung der meisten befragten Lehrer werden jedoch hauptsächlich der zweite und dritte Bereich gefördert. Besonders das wissenschaftliche Arbeiten, für welches im Fachunterricht

realistisch betrachtet immer weniger Zeit zur Verfügung steht und welches unverkennbar Schwierigkeiten bereitet, kann hier erlernt und erprobt werden.

Der Anteil an selbständiger Schülerarbeit liegt im Bionikunterricht im Vergleich mit dem normalen Fachunterricht nach Aussagen der Lehrer höher, mindestens jedoch bei der Hälfte der Zeit.

10 Ausblick und Handlungsempfehlung

Während der Entwicklung und Evaluation der Arbeitsmaterialien strukturierten sich einige Handlungsfelder heraus, die einerseits für spätere Anschlussarbeiten eine Rolle spielen und andererseits im schulpolitischen Rahmen als Empfehlungen betrachtet werden können.

10.1 Fachliche Aspekte

Die Bionik-DVD wurde im März 2010 fertig gestellt. Einige Weiterentwicklungen, die dem Material zugefügt werden könnten bzw. Forschungsaufgaben, die sich mit der Thematik weiterführend auseinandersetzen, sollen kurz vorgestellt werden.

1. In einer neuen Auflage der Bionik-DVD können die bislang sieben Themen mit weiteren Experimenten und Aufgaben zu aktuellen Forschungsvorhaben ergänzt werden. Mögliche Themengebiete und deren experimentelle Darstellungen liegen teilweise schon vor oder werden momentan erarbeitet.
2. Für eine Neuauflage könnten gleichzeitig auch variabel zusammensetzbare Testaufgaben mit den dazugehörigen Lösungen entwickelt werden. Dieser Wunsch wurde von einigen Lehrern hinsichtlich der Notwendigkeit von Beurteilung und Bewertung der erbrachten Schülerleistungen geäußert.
3. Ein Internetportal könnte die für die Themen relevanten Links für Schüler wie Lehrer übersichtlich zusammenstellen und ständig aktualisieren. Gemeint sind hier nicht nur bereits vorliegende Forschungsergebnisse, die den Experimenten zugrunde liegen, sondern auch Seiten, auf denen Interessierte aktuell diskutierte Entwicklungen und Innovationen abrufen können. Eine Sammlung von für die Experimente wichtigen Internetseiten könnte zudem die Schüler zielgerichtet auf relevante Seiten lenken, ablenkendes Surfen könnte so zumindest teilweise eingeschränkt werden.
4. Ein interessantes Forschungsfeld wäre gerade mit dem Hintergrund der starken medialen Präsenz der Bionik die Erfassung von Schülervorstellungen zur Begrifflichkeit von Bionik – *vor wie nach* einer Thematisierung im Schulunterricht.
5. Eine Recherche und anschließende Gesamtaufzählung von auf Basis konkreter biologischer Phänomene basierender Produkte wäre für eine Bewertung des tatsächlichen Nutzens der Bionik sehr interessant.
6. Um weitere empirische Befunde zur fächerverbindenden Unterrichtspraxis zu erhalten, sollte eine flächendeckende bundeslandinterne Lehrerbefragung mithilfe von Fragebögen durchgeführt werden.

10.2 Schulpolitische Aspekte

Aufgrund der im Schulunterricht während des Erprobens der Experimente gesammelten Erfahrungen sowie aufgrund der Ergebnisse der Experteninterviewauswertung können gezielt einige Punkte benannt werden, die für weitere schulpolitische Planungen herangezogen werden können.

1. Bezugnehmend auf den Maßnahmenkatalog der KMK (2009) zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung muss das Erlernen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen deutlicher fokussiert werden. Im Handlungsfeld „Schulartspezifische Curriculumentwicklung/ Schulprofilbildung“ wird die Weiterentwicklung von methodischen Kompetenzen in Hinblick auf entdeckendes, eigenständiges und forschendes Lernen [...] gefordert. Experimenteller Unterricht und insbesondere die Profilmächer sollten daher deutlich weniger inhaltliche Vorgaben auflisten als bisher. In den Vordergrund sollten stattdessen in erster Linie Kompetenzen des Bereichs Erkenntnisgewinn rücken und inhaltliche Themen als Brücke dafür dienen. Diese sollten deshalb im Rahmen definierter Lernbereiche deutlich freier wählbar sein.
2. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass der Lehrplan zum Lernbereich Bionik für das naturwissenschaftliche Profil sächsischer Gymnasien zwar einen guten Überblick über die Arbeitsweise Bionik gibt, indem die Lernziele übergeordnet bleiben und konkrete Anwendungsbeispiele lediglich empfohlen werden, diese Empfehlungen jedoch von den Lehrern oft als zu behandelnder Lerninhalt wahrgenommen werden. Der im Lehrplan eigentlich angelegte Freiraum für vertiefendes selbständiges Arbeiten wird damit oft nicht wahrgenommen.
3. Statt einer Beschäftigung mit einer großen Bandbreite an Themen sollten die aufgeführten Themen mit Empfehlungscharakter in der Unterrichtspraxis an inhaltlicher Tiefe gewinnen, die im Lehrplan so auch definiert und konkretisiert werden sollte. Es sollte im Bionikunterricht also weniger um Vollständigkeit gehen, die aufgrund der Aktualität der Thematik ohnedies unmöglich ist, als um Gründlichkeit nach dem Modell des exemplarischen Lernens.
4. Die mit den Gegenständen des Fachs handelnden Teilschritte des naturwissenschaftlichen Arbeitens, das Beobachten und das Experimentieren, erfordern eine unbedingte Einbindung in das ganzheitliche naturwissenschaftliche Argumentieren. Neben der Durchführungsphase sind deshalb die dem Experimentieren vorangehende Planungsphase wie auch die nachfolgenden Analyse-, Interpretations- und Anwendungsphasen von zwingender Notwendigkeit. In Lehrerfortbildungen muss hierauf unbedingt ein Fokus gelegt werden, um den Lehrern zu verdeutlichen, dass experimentelle Unterrichtsphasen nicht zu lustigen Spaß- oder Entspannungsmomenten für die Schüler verkümmern dürfen. Gerade falsch durchgeführte Messungen bieten zum Beispiel sehr gute Lerngelegenheiten für Schüler – die Stoffvermittlung rückt hier in den Hintergrund.
5. Die Lehrer sehen ihre Probleme aus Sicht der Vermittlungsdidaktik, weniger die Chancen im Rahmen einer Ermöglichungsdidaktik, welche Bildungsgelegenheiten schafft, statt Wissen zu „vermitteln“. Für diesen selbstgesteuerten Lernprozess kann die Lehrkraft geeignete Rahmenbedingungen, wie z.B. ausreichend Zeit, ermöglichen.
6. Lehrerfortbildungen zu diesen aktuellen und teilweise hochdynamischen Forschungsgebieten wie Bionik und Biotechnologie sollten fortlaufend angeboten werden. Insbesondere Bio- und Chemielehrer müssen in physikalischen Sachverhalten, die der Bionik zugrunde liegen, unterrichtet und weitergebildet werden, um an Sicherheit in der Wissensvermittlung zu gewinnen und starke Überprägungen des

Bionikunterrichts und anderer interdisziplinärer Profildbereiche durch die Biologie zu vermeiden.

7. Grundsätzlich wird in den Lehrplänen der Profile die Unterrichtsform des Team-teachings nicht angesprochen. Tatsächlich wäre diese Form jedoch eine strukturelle Möglichkeit, interdisziplinäres Arbeiten zu fördern, denn gerade Lerninhalte mit unterschiedlichen fachlichen Aspekten erfordern die Sachkompetenz verschiedener Fachlehrer, die den Schülern mit ihrem Fachwissen für den zu bearbeitenden Sachverhalt beratend zur Seite stehen.
8. Die Kooperationsbereitschaft zwischen Lehrern unterschiedlicher Fachrichtungen muss deutlich erhöht werden, besonders, um Wissenslücken zu schließen und damit die Überprägung des interdisziplinären Unterrichts durch die *eine* Fachrichtung des Lehrers zu verhindern.
9. Die Diskrepanz zwischen Anspruch und Aufgabe populärwissenschaftlicher Sendungen zur Bionik und der eigentlichen Realität bionischer Arbeitsweise muss stärker verdeutlicht werden, ohne den Schüler dabei zu demotivieren. Unterschiedliche Quellenanalysen vermögen hier die Medienkompetenz zu schulen.
10. Neben der in ihrer Bedeutung in den letzten Jahren deutlich zugenommenen informatischen Bildung muss auch der Stellenwert des handwerklichen Arbeitens neu definiert werden. Früher selbstverständliche Fertigkeiten wie beispielsweise Falten oder Ausschneiden werden von den Schülern weniger erworben, teilweise sind kaum Vorkenntnisse zu diesen Fertigkeiten vorhanden. Diese sind aber Grundlage für darauf aufbauende Experimente und Konstruktionen, nicht nur im Schulunterricht.
11. Ein minimaler finanzieller Rahmen für experimentelles Arbeiten im Unterricht sollte jeder Schule zur Verfügung stehen.
12. Geringe Klassengrößen (max. 20 Schüler) sind aufgrund des Durchführungs- und Auswertungsumfangs für experimentelles Arbeiten unabdingbar.

Literaturquellen

- AMSTAD, T. (1978): Wie verständlich sind unsere Zeitungen? PhD thesis, Universität Zürich.
- ANONYMUS (1997): Finder book – das Internet für den Unterricht nutzen. Klett Schulbuchverlag Leipzig.
- ARONSON, E. (1984): Förderung von Schulleistung, Selbstwert und prosozialem Verhalten: Die Jigsaw-Methode. *In*: G.L. HUBER, S. ROTERING-STEINBERG & D. WAHL (Hrsg.), Kooperatives Lernen (S.48-59). Weinheim: Beltz.
- ARONSON, E., BLANEY, N., STEPHAN, C., SIKES, J. & SNAPP, M. (1978). The jigsaw classroom. Beverly Hills, CA: Sage.
- ASCHERSLEBEN, K. (1993): Welche Bildung brauchen Schüler? Vom Umgang mit dem Unterrichtsstoff. Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- BACHMANN, C. (2009): Textanalyse für Reading ease-Index; www.leichtlesbar.ch
- BECKER-HUBRICH, M., BEIER, K.-H., BIEDERBICK, DANKWART C.A., DONIUS, U., ELSCHENBROICH, H.J., FORTMANN, W., HASSELBECK, O., IX, I., KAMPHAUSEN, R., LOMEN, F., SÄMMER, G., SCHMIDT, E. (1999): Fachübergreifender und fächerverbindender Unterricht in der gymnasialen Oberstufe. Landesinstitut für Schule und Weiterbildung. <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/gymoberst/medio/doku/fufu.pdf>
- BELL, T. (2005): Methodenvielfalt: Methodische Großformen. *In*: Piko-Brief Nr. 3, IPN Kiel.
- BELL, T. (2006): Forschendes Lernen. *In*: Piko-Brief Nr. 6, IPN Kiel.
- BERCK, K.-H. (1999): Biologiedidaktik: Grundlagen und Methoden. UTB für Wissenschaft 8175; Wiebelsheim: Quelle und Meyer, 1999.
- BERNHARD, H.R. (1994): Research methods in anthropology - qualitative and quantitative approaches. Sage, California, 256-288.
- BLACK, P., ATKIN, J.M. (1996): Changing the Subject: Innovations in Science, Mathematics and Technology Education. Routledge in association with OECD, London.
- BLASS, W.-D., BRAUER, H., BRUNNER, T., FLADE-KRABBE, W., HAGEMANN, T., JELINEK, H., MAAß, W., WIECHMANN, I. (2003): Schriftliche Abiturprüfung Biologie - Hinweise und Beispiele zu den zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben. Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Bildung und Sport. www.mint-hamburg.de/abitur/Biologie.pdf
- BÖHMER, M (1979): Lernerfolgskontrolle in Naturwissenschaften. *In*: BÖHMER, M (Hrsg.) Lernerfolgskontrolle. Königstein/Ts. Scriptor, 63-91.
- BOLTEN, J. (1985): Die Hermeneutische Spirale. Überlegungen zu einer integrativen Literaturtheorie. *In*: Poetica 17 (1985), H. 3/4., S. 362 f.
- BONSER, R.H.C., VINCENT, J.F.V. (2007) : Technology trajectories, innovation, and the growth of biomimetics. *In*: Proc. IMechE Vol. 221 Part C: J. Mechanical Engineering Science, 1177-1180.
- BRINKMANN, A. (2002): Mind Mapping im Mathematikunterricht. *In*: MNU 55/1, 23-27.
- BUND-LÄNDER-KOMMISSION (1997): G zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Bund-Länder-Kommission-Projektgruppe „Innovationen im Bildungswesen“ *In*: Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung; 60, Bonn.
- BURGER, J., GERHARDT, A. (2003): Energie im biologischen Kontext. Empirische Untersuchung von Schülervorstellungen. Teil 2. Zur Diskussion gestellt. *In*: MNU 56/7 (15. 10. 2003).

- CANRIGHT, G., DEUTSCH, A., URNES, T. (2006): Chemotaxis-Inspired Load Balancing In: Bio-Inspired Methods, *Complexus* 3:8–23.
- CERMAN, Z., BARTHLOTT, W., NIEDER, J. (2005): Erfindungen der Natur: Bionik - was wir von Pflanzen und Tieren lernen können. Rowohlt, Reinbek.
- CLARKE, J. (1994): Pieces of the Puzzle: The jigsaw method. In: S. SHARON (Hrsg.), *Handbook of cooperative learning methods* (S.34-50). Westport, CN: Greenwood.
- COBURN-STAEGE, U. (1977): Lernen durch Rollenspiel. Fischer Verlag, Frankfurt am Main.
- COENDERS, F.; VAN HAREN, P.; DE BEURS, C.; GRÖGER, M.: Ein Blick über die Grenzen: Die Profilarbeit in den Niederlanden am Beispiel eines technischen Entwurfes im Fach Chemie. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* 51(2002)2, S. 6-9.
- COMENIUS-INSTITUT (2003): Profile am Gymnasium zwischen Kontinuität und Erneuerung. Unveröffentlichter Entwurf des SBI, Radebeul.
- COMENIUS-INSTITUT (2004): Fachübergreifender und fächerverbindender Unterricht. Reform der sächsischen Lehrpläne.
www.sachsen-macht-schule.de/apps/lehrplandb/downloads/grundsatzpapiere/Fachuebergreifender%20und%20faecherverbindender%20Unterricht.pdf
- DECI, E. (1975): *Intrinsic Motivation*. New York.
- DECI, E., RYAN, R. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 39/1993, 223-238.
- DE FOCATIIS, D., GUEST, S. D. (2002): Deployable membranes designed from folding tree leaves. - In: *Royal Society London B*, Nr. 360, 227-238.
- DECKERS, J. (1997): *World Wide Web @ School*. Nutzung des Internet in der Schule. Verlag Bertelsmann Stiftung, Gütersloh.
- DEMUTH, R., RALLE, B., PARCHMANN, I. (2005): Basiskonzepte – eine Herausforderung an den Chemieunterricht. In: *ChemKon* 2005, 12, Nr. 2, 55 – 60.
- DRACK, M., WIMMER, R., HOHENSINNER, H. (2004): Treeplast Screw – a device for mounting various items to straw bale constructions. In: *The Journal of Sustainable Product Design* 4:33–41.
- DUIT, R. (2004): Didaktische Rekonstruktion. In: *Piko-Brief* Nr. 2, IPN Kiel.
- DYER, J.R.G., IOANNOU, C.C., MORRELL, L.J., CROFT, D.D., COUZIN, I.D., WATERS, D.A., KRAUSE, J. (2007): Consensus decision making in human crowds. *The Association for the Study of Animal Behaviour*. Published by Elsevier Ltd., MS. number: 9179, 461-470.
- ELSTER, D. (2006): bik Aufgabenentwicklung. In: *Handreichungen für die Praxis im Projekt Biologie im Kontext*, Kiel: IPN <http://bik.ipn.uni-kiel.de>
- ELSTER, D. (2007): Interessante und weniger interessante Kontexte für das Lernen von Naturwissenschaften. Erste Ergebnisse der deutschen ROSE-Erhebung. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 60/4, Verlag Klaus Seeberger, Neuss, 243-249.
- EMMER, E.T.; MILLETT, G.B. (1974): *Lehren lernen durch Experimente*. Unterrichtstechnik, Lehrstrategien, Lehrerverhalten. Klett-Verlag Stuttgart.
- ESCHENHAGEN D., KATTMANN, U., RODI, D. (1998): *Fachdidaktik Biologie*. 4. Auflage, Aulis, Köln.
- FISCHER, S., WEGENER, A. (2009): Lebensähnliche Computersysteme. In: *Natur inspiriert Technik*. Nr. 37-38, 31-33.

- FORTH, E., SCHEWITZER, E. (Hrsg.) (1976): Meyers Taschenlexikon. Bionik. VEB Bibliographisches Institut Leipzig.
- FRANCÉ, R.H. (1920): Die Pflanze als Erfinder. Franckh, Stuttgart.
- GADAMER, H.G. (1959): Vom Zirkel des Verstehens. *In: Ders., H.-G. GADAMER, Gesammelte Werke/Hans-Georg Gadamer - Bd. 2 Hermeneutik: Wahrheit und Methode. Tübingen: Mohr, 1986, S.57-65.*
- GEUTHER, A. (2002): Experiment und experimentelle Methode im Chemieunterricht. Vortrag zur MNU-Landesversammlung am 28.08.2002, Darmstadt.
- GÖTH, C., FROHBERG, D., SCHABE, G. (2007): Von passivem zu aktivem mobilen Lernen. *In: Zeitschrift für e-learning 4/2007.*
- GREINSTETTER, R. (2008): Naturwissenschaftliches Experimentieren in der Grundschule. Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main.
- GRÖGER, M.; SCHARF, V.; SCHMITZ, J.; KRAUSE, R. (2002): Leben und Schaffen des Langensalzaer Chemikers, Apothekers und Lehrers Johann Christian Wiegleb – als Beispiel für eine Seminarfacharbeit in Thüringen. *In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 51(2002)2, S. 14-16.*
- GRUBER, P., HÄUPLIK, S., IMHOF, B., ÖZDEMIR, K., WACLAVICEK, R., PERINO, M. A. (2007): Deployable structures for a human lunar base, *In: Acta Astronautica 61, 484 – 495.*
- GRÜNER, G. (1967): Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik. *In: Die deutsche Schule. DDS. Münster: Waxmann Verlag.*
- HAMMANN, M., PHAN, T.T.H., EHMER, M., BAYRHUBER, H. (2006): Fehlerfrei Experimentieren. *In: MNU 59/5 (15.7.2006) S.292-299.*
- HAMMANN, M. (2006): Kompetenzentwicklungsmodelle. *In: MNU 57/4, S. 196-203.*
- HAMMANN, M. (2006): Kompetenzförderung und Aufgabenentwicklung. *In: MNU 59/2, S. 85-95.*
- HELBING, D. (1997): Verkehrsdynamik – neue physikalische Modellierungskonzepte. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- HERMANN, M. (2005): Bionische Ansätze zur Entwicklung energieeffizienter Fluidsysteme für den Wärmetransport. Dissertationsarbeit. <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000004236>
- HESSE, M. (2007): Zur didaktischen Kultur des Fehler-Entdeckens. Oder: wie man lernt, Fehler zu finden. *In: MNU 60/1 (15.01.2007) S.9-16. Verlag Klaus Seeberger, Neuss.*
- HIPPENMEYER, H., FURMANS, K., STOLL, T., SCHÖNUNG, F. (2009): KARIS, dezentral gesteuert. Ein neuartiges Element für zukünftige Materialflusssysteme. *In: Hebezeuge Fördermittel, Berlin 49.*
- HOFFMANN, L., LEHRKE, M. (1986): Die Untersuchung über Schülerinteressen in Physik und Technik. *In: Zeitschrift für Pädagogik 32/1986, 189-204.*
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGEIßER, H., KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3) 1997, S. 3-18.*
- KESSELS, U., HANNOVER, B. (2004): Entwicklung schulischer Interessen als Identitätsregulation. *In: J. DOLL, M. PRENZEL (Hrsg.): Bildungsqualität von Schule. Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung. S. 398-412, Waxmann, Münster.*
- KIRCHER, E., GIRWIDZ, R., HÄUßLER, P. (2001): Physikdidaktik. Springer-Verlag, Berlin.

KLIEME, E.; AVENARIUS, H.; BLUM, W.; DÖBRICH, P.; GRUBER, H.; PRENZEL, M.; REISS, K.; RIQUARTS, K.; ROST, J.; TENORTH, H.-E.; VOLLMER, H. (2007): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Bonn: BMBF, 224 S.

KOBAYASHI, H., KRESLING, B., VINCENT, J.F.V. (1998): The geometry of unfolding tree leaves. - *In: Royal Society London B*, Nr. 263, 147-154.

KRAPP, A. (1998): Entwicklung und Förderung von Interesse im Unterricht. *In: Psychologie, Erziehung, Unterricht* 44, 185-201.

KRAPP, A. (1992): Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. *In: KRAPP, A., PRENZEL, M. (HRSG.) Interesse, Lernen, Leistung. Aschendorff, Münster*, 297-329.

KRESLING, B., VINCENT, J.F.V. (1997): Adaptive growth mechanisms in unfolding tree leaves. *In: G. JERONIMIDIS - J.F.V. VINCENT: Conf. Plant Biomechanics*, 369-376.

KRESLING, B. (1997): Self deployable tabular systems in nature and engineering. *In: Structural morphology towards the new Millennium* (eds. J.C.CHITTON et al.) 188-195.

KRESLING, B. (2000): Coupled mechanisms in biological deployable structures. Proc. IUTAM Symp. Depolyable structures: theory and applications. Cambridge, UK 6-9. September 1998; *In: Kluwer Ac. Publ. Dordrecht*, 229-238.

KROATH, F. (1996): Evaluation. *In: Hirdeis/Hug (Hrsg.) (1996): Taschenbuch der Pädagogik 1-4, Hohengehren*. <http://www.lehrplan99.at/home/index.html>

KRÜGER, D. (2003): Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung – Ein Forschungsrahmen für die Biologiedidaktik. *In: Erkenntnisweg Biologiedidaktik (2003), Beiträge auf der 5. Frühjahrsschule der Sektion Biologiedidaktik im VdBiol in Salzburg*, 7-24.

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004a): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004b): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie.
http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbs/unterricht_und_pruefungen/pruefungen/abitur/epa/pdf/epabio.pdf

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004c): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004d): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004e): Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung. Beschluss vom 16.12.2004.
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Konzeption-Entwicklung.pdf

KULTUSMINISTERKONFERENZ (2005): Synopse der in den bisher überarbeiteten EPA aufgeführten Operatoren, Potsdam.
http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbs/unterricht_und_pruefungen/pruefungen/abitur/epa/pdf/synopse.pdf

- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2009): Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.05.2009).
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_05_07-Empf-MINT.pdf
- KÜPPERS, U., TRIBUTSCH, H. (2002): Verpacktes Leben – Verpackte Technik. Bionik der Verpackung. Wiley-VCH Verlag GmbH Weinheim.
- KURIBAYASHI, K., YOU, Z.: Innovative Origami Expandable Stents, University of Oxford. <http://www-civil.eng.ox.ac.uk/people/zy/old/research/stent.pdf>
- LANGER, I. et al. (1974): Verständlichkeit in der Schule, Verwaltung, Politik und Wirtschaft. München. *In: Sich verständlich ausdrücken*. 1990 (4.).
- LAZAROWITZ, R. (1991): Learning biology cooperatively. *In: Cooperatively learning* 11 (1991) Nr. 3:19-21.
- LICHTER, H.-D. (2007a): Strukturierendes Lernen in der Biologie mit Basiskonzepten. Überarbeitete Version des Beitrags mit dem Titel „Konzepte und Erschließungsstrategien als Instrumente des kumulativen Lernens“, erschienen in R. Ballmann u.a. (2003). Weniger (Additives) ist mehr – (Systematisches) Kumulatives Lernen – Handreichung für den Biologieunterricht in den Jahrgängen 5 – 10, Hrsg. Verband Deutscher Biologen und biowissenschaftlicher Fachgesellschaft e.V., <http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/Basiskonzepte.pdf>
- LICHTER, H.-D. (2007b): Zum Umgang mit Basiskonzepten im Unterricht (Schwerpunkt Sek I) <http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/Umgang%20Basiskonzepte.pdf>
- LISCH, R., KRIZ, J. (1978): Grundlagen und Methoden der Inhaltsanalyse. Bestandsaufnahme und Kritik. Rowohlt, Reinbek 1978.
- LÖWE, H. (1970): Einführung in die Lernpsychologie des Erwachsenenalters. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- MAIER, U. (2005): Formen und Probleme von fächerübergreifendem Unterricht an baden-württembergischen Hauptschulen. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 7(1), Art. 3, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs060130>.
- MASSELTHER, T., SCHARF, U., SPECK, T. (2008): Plants and Animals as Concept Generators for the Development of Biomimetic Cable Entry Systems. *In: Journal of Bionic Engineering* 5, 167-173.
- MATTES, W. (2002): Methoden für den Unterricht. Schöningh, Paderborn.
- MATTHECK, C., BETHGE, K. (2008): Schnitzeljagd – Die Wahlverwandtschaft von Optimalform und Risskontur. *In: Konstruktionspraxis, Digitale Konstruktion* 11, S. 24-28.
- MATTHECK, C. (2006): Design in der Natur – der Baum als Lehrmeister. Auflage 4, Freiburg i. Br. ; Berlin, Rombach-Verlag.
- MATTHECK, C. (1996): Stupsi erklärt den Baum – ein Kinderbuch für Erwachsene; ein Igel lehrt die Körpersprache der Bäume. Forschungszentrum Karlsruhe.
- MATTHECK, C. (1992): Die Baumgestalt als Autobiographie – Einführung in die Mechanik der Bäume und ihre Körpersprache. 2. Aufl., Braunschweig, Thalacker-Verlag.
- MATTHECK, C. (1991): Trees – the mechanical design, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- MAYRING, P. (1990a): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. Psychologie-Verl.-Union, Weinheim.
- MAYRING, P. (1990b): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Beltz Verlag, Weinheim.
- MEMMERT, W. (1970): Grundfragen der Biologiedidaktik, Essen.

- MIHM, A. (1973): Sprachstatistische Kriterien zur Tauglichkeit von Lesebüchern. *In: Linguistik und Didaktik* 14 (1973), S. 117-127.
- MILWICH, M., PLANCK, H., SPECK, T., SPECK, O. (2007): Der technische Pflanzenhalm: ein bionisches Schmaltextil. *In: Melliand Textilberichte – Band- und Flechtindustrie*, 44/2: 34–38.
- MITCHELL, M. (1993): Situational Interest. It's Multifaceted Structure in the Secondary Mathematics Classroom. *In: Journal of Educational Psychology* 85(3): 424-436.
- MIURA, K. (1980): Method of packaging and deployment of large membranes in space. *In: Proc. 31st Congr. Int. Astronautics Federation Tokyo*, 1-10.
- MUMMENDEY, H.D. (1999): Die Fragebogen-Methode. 3. Auflage, Hogrefe-Verlag, Göttingen
- NACHTIGALL, W. (2002): Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer Berlin Heidelberg, 2. Auflage.
- NACHTIGALL, W. (2008): Bionik. Lernen von der Natur. Verlag C.H. Beck oHG München.
- NEUMANN, D. (1993): Bionik. Technologieanalyse. Hg.: VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien. Düsseldorf.
- OECD/PISA (2006): Scientific Literacy Framework, 2004. www.oecd.pisa.org.
- OSER, F., HASCHER, T., SPYCHINGER, M. (1999): Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des negativen Wissens. *In: W. ALTHOF (Hrsg.): Fehlerwelten*. Opladen: leske und budrich 1999.
- PELLEGRINO, P., VINCENT, J.F.V. (2002): How to fold a membrane. – *In: S. PELLEGRINO (Hg.): Deployable Structures*. Wien: Springer, 59-76.
- PIRK, A., HEPBURN, CH.W.W., RADLOFF, H.R., HEPBURN, S.E., TAUTZ, C. & J. (2003): The structure of honeybee cells – round or hexagonal? *In: Apidologie* 34.
- PRENZEL, M. (2001): Die Ergebnisse von PISA. IPN-Blätter 18(2001)4, S.3.
- PRENZEL, M., BAUMERT, J., BLUM, W., LEHMANN, R., LEUTNER, D., NEUBRAND, M., PEKRUN, R., ROST, J. & SCHIEFELE, U. (Hrsg.) (2006a): PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres. Münster: Waxmann.
- PRENZEL, M., ALLOLIO-NÄCKE, L. (2006b): Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Waxmann, Münster.
- PRENZEL, M., ARTELT, C., BAUMERT, J., BLUM, W., HAMMANN, M., KLIEME, E., PEKRUN, R. (2007): Pisa 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster: Waxmann.
- PRENZEL, M., ARTELT, C., BAUMERT, J., BLUM, W., HAMMANN, M., KLIEME, E., PEKRUN, R. (2008): Pisa 2006 in Deutschland. IPN Kiel. http://pisa.ipn.uni-kiel.de/Zusfsg_PISA2006_national.pdf
- PÜTTMANN, C., ROGOWSKI, H. (2009): Lernen an Stationen im Pädagogikunterricht, Band 1, Schneider Verlag Hohengehren GmbH. Reihe PropädiX.
- PÜTZ, N. (2010): The regulated teaching cycle in biology lessons. *In: Zeitschrift für Didaktik der Biowissenschaften (ZfdB)* 1, 1-14.
- PÜTZ, N. (2007): Studienhilfe Biologiedidaktik. *In: Vechtaer Fachdidaktische Forschungen und Berichte*. Heft 15, Vechta.
- PÜTZ, N. (2005): Das Hauptfach „Natur und Technik“ als konsequente Innovation im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe I. *In: PÜTZ, N. (ed.). Allgemeine Biologiedidaktik – Grundlagen und Perspektive*. Vechtaer Fachdidaktische Forschungen und Berichte. Heft 11, Vechta.

- REISSE, W. (2008): Kompetenzorientierte Aufgabenentwicklung. Ein Lehrhandbuch für die Sekundarstufen. Aulis Verlag Deubner, Köln.
- RIEGER, W. (1995): Das Mikroskop als Arbeitsmittel im Biologieunterricht der Hauptschule und sein Einfluss auf Lernerfolg und Motivation. Dissertation. Institut für die Didaktik der Biologie der Universität München.
- ROLLETT, B. (1999): Auf dem Wege zu einer Fehlerkultur. Anmerkungen zur Fehlertheorie von Fritz Oser. In W. Althof (Hrsg.): Fehlerwelten. Opladen: leske und budrich 1999.
- RÜGGERBERG, M., SPECK, T., BURGERT, I. (2009): Structure–function relationships of different vascular bundle types in the stem of the Mexican fanpalm (*Washingtonia robusta*). *In: New Phytologist* 182: 443–450.
- RÜGGERBERG, M., SPECK, T., PARIS, O., LAPIERRE, C., POLLET, B., KOCH, G., BURGERT, I. (2008): Stiffness gradients in vascular bundles of the palm *Washingtonia robusta*. *In: Proc. R. Soc. B*, 275, 2221–2229.
- SÄCHSISCHES BILDUNGSINSTITUT (2009): Rahmenvorgaben Neigungskurse. aus: Lehrplan Mittelschule. http://www.sachsen-macht-schule.de/apps/lehrplandb/downloads/lehrplaene/lp_ms_neigungskurse_-2009.pdf
- SÄCHSISCHES STAATSLINSTITUT FÜR BILDUNG UND SCHULENTWICKLUNG (2002): Dokumentation zum BLK-Modellversuch „Weiterentwicklung des Lernens insbesondere in der Sekundarstufe II durch systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien 20plus“, Radebeul 2002.
- SCHMIDT, S., FRIES, S., HOFER, M., DIETZ, F., REINDERS, H., CLAUSEN, M. (2006): Die Theorie motivationaler Handlungskonflikte. Empirische Untersuchungen und praktische Konsequenzen. *In: PRENZEL, M., ALLOLIO-NÄCKE, L.: Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Waxmann, Münster.*
- SCHNEIDER, C. K. (1905): Illustriertes Handwörterbuch der Botanik. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann.
- SCHNELL, R., HILL, P., ESSER, E.: (1999): Methoden der empirischen Sozialforschung, 6. Auflage, München, Oldenbourg-Verlag.
- SCHÖPFER, P., BRENNICKE, A. (2006): Pflanzenphysiologie, Spektrum Akademischer Verlag.
- SCHREINER, H. (1976): Gruppenunterricht in der Schulpraxis. *In: S. UND Y. SHARAN: Gruppenzentrierter Unterricht. Klett, Stuttgart.*
- SCHREINER, C., SJØBERG, S. (2004): The relevance of Science Education. Sowing the Seed of ROSE. Oslo, *In: Acta Didactica* 2004.
- SIMONS, P. (1994): Pflanzen in Bewegung - Das Muskel- und Nervensystem der Pflanzen, Birkhäuser Verlag.
- SKOWRONEK, H. (1968): Psychologische Grundlagen einer Didaktik der Denkerziehung. Schroedel, Hannover.
- SPECK, T., SPECK, O. (2008): Bionik – Innovative Wege zu neuen Materialien und Technologien. *In: Ingenieur Nachrichten* 08/2: 1 & 5.
- SPERRY, R.W., GAZZANIGA, M.S., BOGEN, J.E. (1969): Interhemispheric relationships: the neocortical commissures; syndromes of hemisphere disconnection. *In: Handbook Clin. Neurol. P. J. VINKEN AND G.W. BRUYN (Eds.), Amsterdam: North-Holland Publishing Co. 4: 273-290.*
- STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (2001): Allgemein bildende Schulen im Freistaat Sachsen. Gymnasien. Schuljahr 2000/01. Kamenz.

- STUFFLEBEAM, D.L. (1972): Evaluation als Entscheidungshilfe. *In:* (Hrsg. WULF, C.) Evaluation. Beschreibung und Bewertung von Unterricht, Curricula und Schulversuchen. Piper, München.
- SVANTESSON, I. (1992): Mind Mapping und Gedächtnistraining. Bremen, GABAL Verlag.
- TIETZE, B. (2007): Zur Psychologie der Gebrauchsanweisung: Zusammenfassung der ersten zwei Seminar-Termine. <http://komfort.blogspot.de/images/Papierflieger.pdf>
- TODT, E. (1987): Das Interesse – empirische Untersuchungen zu einem Motivationskonzept, Bern.
- URHAHNE, D. & HARMS, U. (2006): Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. Instructional Support for Learning with Computer Simulations. *In:* Unterrichtswissenschaft, 34, 358-377.
- VOGT, H. (2007): Theorie des Interesses und des Nicht-Interesses. *In:* KRÜGER, D., VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Springer Verlag Berlin.
- VÖLKL, F., LOIBNEGGER, G., VORDEREGGER, P., OFFNER, K. H. (1980): Empirische Methoden der Erziehungs- und Unterrichtsforschung. Band 1, Hrsg.: Völkl, F., Ferdinand Schöningh, Paderborn.
- VON GOEBEL, K. (1924): Die Entfaltungsbewegungen der Pflanzen und deren teleologische Deutung. Jena: Fischer.
- WARM, U. (1981): Rollenspiel in der Schule. Theoretische Analysen – kommunikationseffektive Praxis. Max Niemeyer Verlag, Tübingen.
- WASSERTHAL, L. (1998): The Open Hemolymph System of Holometabola and Its Relation to the Tracheal Space. *In:* Microscopic Anatomy of Invertebrates, Vol. 11B: Insecta, 583-620.
- WEBER, T. (2006): Entwicklung und Bau eines Greifers für einen autonomen Roboter. Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für die Sekundarstufe I. Wilhelms-Universität Münster.
- WEINBERG, J. (1975): Didaktische Reduktion und Rekonstruktion. *In:* KAHLKE, J., KATH, F.M. (Hrsg.): Didaktische Reduktion und methodische Transformation. Schriftenreihe: Erziehen – Beruf – Wissenschaft. Leuchtturm-Verlag 1984, S. 217-247.
- WEINERT, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. *In:* F. E. WEINERT (Hrsg.), Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim und Basel: Beltz Verlag, S. 17–31.
- WILD, K. P., KRAPP, A., WINTELER A. (1992): Die Bedeutung von Lernstrategien zur Erklärung des Einflusses von Studieninteressen auf Lernleistungen. *In:* KRAPP, A., PRENZEL, A. & M. (Hrsg.): Interesse, Lernen, Leistung, Münster.
- WODZINSKI, C.T. (2006): Lerndiagnose und Leistungsbeurteilung – Perspektiven aus Theorie und Forschung. *In:* Piko-Brief Nr. 8, IPN Kiel.
- WORLD WIDE FUND FOR NATURE (1993): Bionik – Natur als Vorbild. Umweltstiftung WWF Deutschland (Hrsg.). Verlag Pro Futura.
- ZUCKERMAN, M., PORAC, J., LATHIN, D., SMITH, R., & DECI, E. L. (1978): On the importance of self-determination for intrinsically motivated behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 4, 443-446.

Verwendete Internetseiten

Dr. Mirtsch GmbH	www.woelbstruktur.de
Firma FESTO	www.festo.de
Patentrecherche	www.freepatentsonline.com/EP1203640.html www.patentstorm.us/patents/7060092.html www.patent-de.com
Lehrpläne Sachsen	www.sachsen-macht-schule.de
Lehr- und Bildungspläne, Rahmenrichtlinien der Bundesländer	www.bildungserver.de
Brockhaus-Enzyklopädie	www.brockhaus-enzklopaedie.de
Schulstatistiken	www.statistik.sachsen.de/
ISI Web of Science	http://apps.isiknowledge.com
Wrapping-Faltung Simon Guest	www2.eng.cam.ac.uk/~sdg/dstruct/wrapping.pdf
Mikrobiologische Vereinigung München e. V.	www.mikroskopie-muenchen.de/livedabei.html
PISA-Studien	www.oecd.pisa.org
Literaturhinweise Bionik	www.biokon.net

Alle Internetquellen zuletzt besucht am 20.01.2011.

Abkürzungsverzeichnis

AFB	Anforderungsbereich
ASL	durchschnittliche Satzlänge: Anzahl der Wörter im Text dividiert durch Anzahl der Sätze des Textes
ASW	durchschnittliche Silbenzahl pro Wort: Anzahl der Silben des gesamten Textes dividiert durch Anzahl der Wörter im Text
BeLL	Besondere Lernleistung
B/OKON	Bionik-Kompetenz-Netz
BLK	Bund-Länder-Kommission
BMBWK	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur
BtB	Grundkurs „Biotechnologie und Bionik“
CAO	Computer Aided Optimization
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DKSB	Deutscher Kinderschutzbund
EPA	Einheitliche Prüfungsanforderungen
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
KMK	Kultusministerkonferenz
LaS	Lernen an Stationen
LIS	Landesinstitut für Schule, Bremen
MBWK	Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PISA	Programme for International Student Assessment
ROSE	Relevance of Science Education (Studie)
SBA	Sächsische Bildungsagentur
SBI	Sächsisches Bildungsinstitut
SKO	Soft Kill Option
TIMSS	Third International Mathematics and Science Study 1994-1995
UE	Unterrichtseinheit
Ustd.	Unterrichtsstunden
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

ANHANG

A1. Interview-Transkriptionen

Fall 1

F: Seit wann unterrichten sie das Thema Bionik?

L: Da müsste ich jetzt nachgucken. Seit drei Jahren, also seitdem es möglich ist.

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?

L: 10. Seit 2007. Die letztes Jahr in der Zwölften waren, waren die Ersten. also schon seit 4 Jahren. Also seit 2006.

F: Ja, da Sie eine Pilotschule waren, haben sie ein Jahr eher begonnen.

L: Ja.

F: Sie sind Fachlehrer der Fächer...?

L: Biologie und Chemie.

F: Bio-Chemie. Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen für die Bionik zur Verfügung?

L: Insgesamt 26.

F: 26 - also wie im Lehrplan.

L: Ja, ein Drittel des Schuljahres zwei Stunden die Woche. Manchmal sind es 22, manchmal 24.

F: Je nachdem, wie das Schuljahr ist. Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen für den Bionik-Unterricht zur Verfügung?

L: Also, wir haben das Bionik-Themenheft von Paetec, das ist das eine Unterrichtsmaterial. Ansonsten -

F: Haben sie das kleine Buch von DUDEN-Paetec?

L: Nein, ich habe nur das grüne Heft.

F: Aha.

L: Ja, das ist im Prinzip ganz schön strukturiert. Definition, Vorstellung der Methodik, wie geht man an die Bionik heran, dann werden die Teilgebiete vorgestellt, **das ist alles ganz nett, aber es ist eigentlich für Schüler schon zu kompliziert**. Man muss schon sagen - im Detail kann man nicht rein gehen, erst mal ist es von der Menge her zuviel, das ist ja gut, da kann man ja auswählen, aber teilweise driften die ersten schon wieder weg... ansonsten alles was so Bio, Chemie hergibt, Internet, was man so machen kann.

F: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt oder planen Sie durchzuführen?

L: Also ich fang an mit einer allgemeinen Begriffsdefinition. Das ist der erste Punkt, das dauert meistens so 90 Minuten, das wird dann noch diskutiert und zugeordnet, dieses Kunstwort und dann gibt es eine schöne Definition aus dem Themenheft, da kann man das auseinandernehmen, was ist jetzt der Biologie- und der Technikanteil. Nach der Begriffsdefinition mache ich mit denen - den Lotuseffekt. [Pause, holt Materialienhefter]. Nachdem das allgemein vorgestellt wird, mache ich das so, dass ich den Schülern Pflanzenmaterial gebe und sie frage, wofür könnte das Vorbild gewesen sein, das ist jetzt ein bisschen problematisch, weil es so durch die Medien geistert und viele Sachen kennt man schon. Und dann erwarte ich von denen, dass sie sich mal eine Schrittfolge überlegen, wie kommt man von dem biologischen Vorbild zu einer technischen Lösung - ohne Lehrbuch. **Die sollen einfach mal überlegen, wie könnte man so was machen und sollen sich mal so eine Schrittfolge aufschreiben** und das ist dann der Punkt, wo ich einsteige in die bionische Arbeitsweise, und wenn wir das geklärt haben, machen wir dann dieses Bottom-Up/Top-Down-System, richtig, wie es im Lehrbuch drin steht. Und dann fangen wir mit dem Lotuseffekt an, indem ich am Anfang die ganzen chemischen Grundlagen kläre, damit die verstehen können, was es überhaupt damit auf sich hat. Also Eigenschaften von Wasser, von Fetten und Wachs, also hydrophile und hydrophobe und solche Sachen, dass die erst mal mitkriegen, was für Chemie dahinter steht. Dann machen wir den Blattbau noch mal. **Und dann sollen die anfangen, Schritt für Schritt, alles mit Experimenten gekoppelt, sich daran zu tasten**. Da sollen sie mal Benzin mischen mit Wasser und Alkohol und dann ein Salz auflösen. Und was unterscheidet den unpolaren Schmutz von Lehmstaub, der polar ist, und dann läuft das darauf hinaus, dass die mitkriegen sollen, dass die Struktur auf der Blattoberfläche eigentlich immer wasserabweisend ist, weil da Wachs oben drauf ist und das ein abstoßender Effekt für das Wasser ist. Und wenn ich diese Nanostruktur dort draufpacke, kommt es eben dazu, dass dieser Tropfen oben drauf sitzt.

F: Ich meine, die Struktur an sich sieht man ja nicht.

L: Kann man nicht sehen. das ist der Punkt. Also die müssen wissen, dass alle Blätter oben drauf Wachs haben auf der Cuticula, aber nur eine bestimmte Gruppe hat diese Nanostruktur – und können dann den Tropfen oben drauflagern, dass es nicht so eine Haflfläche gibt, nicht festgehalten wird. Dann schauen wir uns Pflanzen an und gucken, was wird abgewaschen und was nicht.

F: Wie viele Stunden haben Sie dafür?

L: Viele. Also bis zu diesem Ende Bottom-Up/Top-Down sind vier Stunden weg von 26, und dann brauche ich mindestens für das andere 8 bis 10 Stunden. Weil das alles einzeln gemacht werden muss. Also wenn die so eine Wasseruntersuchung machen, da dauern die Experimente 10 Minuten, dann Protokoll anfertigen, dann können sie sich das noch mal erarbeiten. Dann geht eine Gruppe vor und wir diskutieren das und da gehen immer zwei Stunden ins Land. Also nach ungefähr 14 Stunden bin ich mit diesem Lotuseffekt durch. Und dann geht's weiter nach dem Lotuseffekt, dass wir sagen, jetzt haben wir das spezielle Gebiet mal bis zum Schluss durchgemacht und dann machen wir nur noch eine Überblicksreise über Teilgebiete der Bionik. Also ich stell was vor, dann teile ich Kurzvorträge aus, dann müssen sich Schülergruppen auf solche Sachen vorbereiten und dann habe ich das Lehrbuch als Grundlage, je nachdem, wie viel Schüler da sind - und dann gibt es so Gruppen, eine macht Baubionik, eine diese langlebigen Bauteile, Klimabionik und Sensorbionik, Neurobionik, Evolutionsstrategie. Dann Vorträge, meist mit schönen Bildern kombiniert.

F: mit Powerpoint auch?

L: Ja, genau. Ach so, am Ende von diesem Lotuseffekt mache ich das noch mit dieser Modellbildung, das mit dem Objektträger und dem Wachs.

F: das mit der Knete?

L: Nein, mit Wachs. Ich schmelze Wachs ein, bringe es auf die Objektträger, können sie eintauchen, und dann sollen sie sich mal selbst überlegen, wie könnte man hier ein Erklärungsmodell aufstellen, weiter kommen wir da nicht. Dass sie noch mal den Bezug haben, am Anfang zu der Theorie, also ich hab da was untersucht, und jetzt brauche ich ein Erklärungsmodell, um die Basis zu haben, daran weiterzuforschen. Da müsste man die Materialien dann ändern, das können wir ja nicht. Aber irgendwann ist dann vorbei. Also **schon die Idee, dass man, um zu untersuchen, wie unterschiedlich etwas wird, muss ich bestimmte Dinge konstant lassen, andere kann ich variieren. Das ist eine Sache, die verstehen manche Leute in der 10 nicht. Das verstehen die einfach nicht. Die variieren zwei Sachen gleichzeitig, vielleicht ist es zu komplex, ich weiß nicht.** Ich sage, ihr müsst zuerst das Material kombinieren, das läuft unter dem Thema "Material und Struktur". Da habe ich Glasobjektträger, da machen wir eine Wachsschicht drauf, da kann man Wunder gucken, ist das jetzt Wachs, ist das kein Wachs, wasserabweisend, wasseranziehend. Dann kann ich an dem Wachs immer noch rumkratzen. Da kommen die nicht drauf. Die machen dann immer zwei-drei Sachen gleichzeitig, aber wie wollen sie das vergleichen, das geht doch dann nicht, das muss ich ja erstmal sagen...

F: Ja gut, das ist ja eine Technik, die man erlernen kann. Es ist ja gut, wenn es eine Möglichkeit gibt, so etwas Mal zu machen. Haben Sie sonst im Biologie- und Chemieunterricht Raum für Experimente?

L: Nein, der Experimentieranteil in der Chemie ist ja so, dass man immer wieder chemische Reaktionen selbst im Schülerexperiment machen lässt. Aber solche Geschichten, wo man dann wirklich mal experimentelle Methode fährt, also mit ‚was könnte es sein‘, Hypothesenbildung, experimentieren lassen, ist schwierig.

F: Das dauert dann noch länger.

L: Das ist nicht das Problem. **Das Problem ist, dass die Schüler nicht zuhören wollen.** Also die machen, aber irgendwann muss man ja im Klassenverband die Auswertung so weit kommen, dass man mal auf einen Strich kommt. **Und dann ist es so, dass das, was am Anfang so motivierend und toll ist, das kann sich dort ins Gegenteil verkehren.** Es gibt Klassen, da kann man fast nichts auswerten. Ja, das ist einfach zu kompliziert. Zusammenschütten und die Beobachtung richtig aufschreiben, ja, aber dann zu fragen, warum ist das so, das ist schwierig. Da gibt es so ein Drittel der Schüler, die können das. [...Beispiel aus dem Unterricht]

F: Gut, also die Anwendung wird nicht im Vorfeld schon erwähnt.

L: Nein.

F: Aber das wissen die Schüler vielleicht auch, es ist ja ein eher bekanntes Beispiel der Lotuseffekt.

L: Ja, manche wissen das. Also so 10 Prozent. [kurzer Gedankensprung]

F: Ja, also der Hauptteil liegt auf dem Lotuseffekt, welcher exemplarisch für die Bionik vorgestellt wird, und dann werden verschiedene Themen noch vorgestellt.

L: Und diese Faltungsstrukturen kann ich nur machen, wenn Blätter sind und wir haben eben diesen Dritteleffekt und ich habe Probleme, wirklich frische Knospen zu kriegen. Aber man kann es vielleicht auch an einem Salatkopf machen, den man aufschneidet.

F: Die Knospen hat man eigentlich den ganzen Sommer über da. Jetzt gehen sie ja bald auf. Je nachdem, was man machen möchte. Beobachten, wie sie sich entfalten -

L: Genau, und dann, **wenn ich es bis zu einem bestimmten Qualitätsprodukt führen will, dann muss ich mir auch Zeit nehmen.** So eine Faltung, wenn ich es nur im Unterricht mache, ist es fast nicht zu machen. da müssten die sich zu Hause bemühen, oder ich mache tatsächlich mal Probephase, wo die mal durchgehen, diese Berg- und Talfalte. das die erstmal das Prinzip erfassen und dann mitkriegen, worauf man achten muss. Das ist ja eigentlich überhaupt kein Problem. [private Äußerung] Und wie gesagt, für diese Blattfaltungen, also für diese simpelste Geschichte, wo die das Blatt falten sollen und die Rundungen schneiden, da brauch man, ohne dass sie die Blätter untersuchen, einen Doppelstunde. Was lesen, mal fragen, was ist Origami, mal ein bisschen was zu den Ursprüngen erklären, dass man das mit diesen Falten erklärt, dass es Berg- und Talfalten gibt, dass eine räumliche Struktur entsteht, wenn das aufeinander folgt. Und dann ist das Problem, wenn da kein Druck dahinter ist, ich sammle das ein oder so, **dann ist es wirklich schwierig, beim ersten Mal ein gutes Ergebnis herauszubekommen und dass manche Leute das auf die leichte Schulter nehmen. Also die Hälfte kriegt was Ordentliches raus. Die anderen halt nicht.**

F: Die sitzen da so ein bisschen gelangweilt da, "ach die Faltungen" ...?

L: **Aber interessant ist, dass man in so einer Stunde mal Schüler erkennt, die irgendwelche Fähigkeiten, Kompetenzen haben, die man sonst nie erkennt. Also Leute, die sonst nie was schaffen, können plötzlich diese Faltungen.** Das hatte ich letztes Mal wieder, da waren zwei, die haben gefaltet und nach einer kurzen Zeit das anderen gezeigt, die sonst so auf 4 stehen. Da gibt es vielleicht eine Anlage dafür, dass man irgendwie - keine Ahnung.

F: Ja, man braucht Genauigkeit und Geduld für das Falten, man muss sich darauf einlassen. Welche Bionik-Themen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern? Gibt es ein Thema, wo Sie sagen...

L: Also ich kann es ehrlich gesagt nicht sagen, weil ich den Schüler ja auch eine Auswahl gebe. **Bis zu einem gewissen Punkt, wenn man die populärwissenschaftlich macht, die Sachen, sind die alle interessant.** Sicherlich sind einige Themen von ihrer Schwierigkeit eher wenig interessant. Also das mit diesen langlebigen Bauteilen; Evolutionsbionik ist schwierig, weil die es nicht verstehen, aber ansonsten. Aber diese praktischen Dinge, Sensorbionik und [kurzer Exkurs in Lehrbuchmaterial]. Bewegungsbionik, das ist denen zu abstrakt. **Es müsste im Prinzip so funktionieren, dass man diese Hinführung über Basiswissen aufbaut und ein konkretes Beispiel hinkriegt, dass die sich wirklich mal experimentell herantasten können. Sonst ist dieses naturwissenschaftliche Profil wieder in Frage zu stellen.**

F: Ja, da komme ich jetzt auch dazu. Es geht um die 6 Lernbereiche des naturwissenschaftlichen Profils. Machen Sie nur Bionik oder machen Sie z.B. Boden?

L: Ich mache nur die Bionik, mache aber die gesamte Klasse 8 im Profil.

F: Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht? Auf einer Skala 1 (zu wenig), 2 (ausreichend), 3 (zu viel).

L: Ich sag mal 2 - ausreichend. ich könnte auch ein ganzes Jahr machen. Da hat man dann wieder das Problem, macht man dann wieder mehr Beispiele oder man macht es genauer.

F: Machen Sie auch den Wahlgrundkurs "Biotechnologie und Bionik", gibt es den auch an Ihrer Schule?

L: **Würde ich nicht machen, würde ich mich ehrlich gesagt nicht rantrauen, weil - na gut, wenn ich meine Schüler sehe vielleicht doch, aber es ist theoretisch gesehen ganz schön viel Physik dabei. Wenn ich das machen will, muss ich auch rechnen können, muss ich auch mal mathematische Modelle aufbauen können. Da ist in der Bionik sicherlich ein Mathe-Physiklehrer dran. Oder einer, der ein Faible für Mathe und Physik hat. Man kann sich in alles reinarbeiten, aber wenn ich dann die Mathe nicht mehr verstehe, die ich erklären soll, wird es schwierig.**

F: Macht das jemand anderes an der Schule?

L: Nein, wir haben den Kurs nicht. das ist auch eine Wundertüte. Man kann den Kurs vorbereiten und hat dann keine Schüler. Es ist ja nicht so, dass es einen Automatismus gibt. Die Frage ist, was ist die Alternative, wenn es zusätzlich kommt, ist es schwierig, oder auch wenn es ersetzt werden soll. Da muss man aber eine große Schule sein, zurzeit geht das bei uns gar nicht.

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für das Experimentieren zur Verfügung steht.

L: Während des Unterrichts?

F: Ja

L: **Bestimmt 50 Prozent.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch auf einer Skala 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert)?

L: Soll ich jetzt für die Jungs und Mädchen einzeln angeben?

F: Ja, wenn es sich voneinander unterscheidet.

L: Das ist nichts zwischen Jungs und Mädchen, sondern die Gruppen sind heterogen.

F: Die Klassen?

L: Nein. Es gibt Jungs, die gar nicht interessiert sind oder sehr interessiert sind, und es gibt Mädchen, die gar nicht interessiert sind oder sehr interessiert sind.

F: Ist das auch themenabhängig?

L: Na ja, so unterschiedlich sind die Themen hier nicht in der Bionik, das ist schon als kompaktes Gebilde zu sehen. Also im Durchschnitt würde ich eine 3 ankreuzen. Also mäßig interessiert.

F: Ok. Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L: Ich mach nur was mit Informatiklehrern zusammen.

F: Ja, also mit Geografielehrern oder Physik nicht?

L: Das ist technisch schwierig bei uns an der Schule. **Also wir haben das System in der 9/10, dass ein Lehrer ein Thema unterrichtet, wenn er sich in der Vorbereitung mit den Kollegen abstimmt. Also wenn ich jetzt Boden mache, muss ich mit den Geografen und Chemikern und Biologen zusammenarbeiten. Das ist bei uns die einzige Thematik, wo zwei Kollegen zusammenarbeiten, der Geograf und der Biologe. Ansonsten nur einer.**

F: Und jetzt in der Bionik gibt es ja auch eine Zusammenarbeit mit der Informatik wegen des Hypertextes.

L: Ja.

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken, auf einer Skala 1 (überhaupt nicht) bis 5 (in jedem Fall)?

L: **Weiß ich nicht. Ich kann es nicht messen. Und ich müsste jetzt sagen, das ist hier die Kompetenz, mit den Mitteln können sie die ausmessen und das ist der Indikator dafür. Da könnte ich das machen, aber ich weiß es einfach nicht. Ich kann nicht sehen, dass die Schüler, die in der 11 ankommen, als Schüler erkannt werden, die im Nawi, also im Profil drin waren.** Weiß ich nicht, kann ich nicht sehen. Wenn ich nicht vorher wüsste, hier mit einem Aufkleber auf der Stirn, der war das - gleich gut - gleich schlecht. **Und das ist eigentlich ein schlechtes Zeichen.** Ob nun die Künstler nun aus dem Stand eine Interpretation einer Scharfschützenhinkriegenszene hinkriegen, weiß ich auch nicht. Die Lateinleute haben natürlich ein begrenztes Wissen einer dritten Fremdsprache, das ist tatsächlich zusätzlich. **Ich hoffe mal, dass sie bestimmte Methoden besser drauf haben, dass ihnen einfällt, wenn sie ein Experiment auswerten wollen, wie ein Protokoll aussieht oder dass sie bestimmte Bereiche doch von verschiedenen Seiten gesehen haben. Das ist sowieso so ein Problem mit Schülern. Wann ist Schule gut? Ich weiß es nicht. das sieht jeder anders. Eltern anders als Lehrer und die anders als Schüler.**

F: Und wie empfinden Sie das jetzt im Unterricht, wenn Sie sagen, wir gehen jetzt an ein Problem, an ein Phänomen von verschiedenen Fachbereichen heran, von der Biologie, der Chemie, der Physik - ist das eher ein Schubfachdenken, dass man sieht, ah, das ist jetzt Bio,...

L: **Es kommt drauf an, wie es gemacht wird, weil in der Bionik ist es so, dass es schwimmt. Es gibt keine Chemie und Bio mehr, und das ist eine Einheit und in der Klasse 8 genauso. Wir haben da so eine Einheit, weil ich alles unterrichte, mit meinem Kollegen zusammen bereiten wir Experimente gemeinsam vor und dann stimmen wir uns ab.** Der ist Mathe-Physik, ich bin Bio-Chemie, ist es wie eins.

F: Machen Sie auch Unterricht zusammen?

L: Teilweise, das ist schwierig, weil es sich schlecht planen lässt. Wir haben zwei Gruppen und zwei Kollegen und da müsste jetzt ein dritter und vierter Kollege dazukommen, dass man das mal gemeinsam machen könnte, das sind wir nicht genug Leute. Aber teilweise. Es funktioniert, wenn man kann. Dann wird es praktisch eine Einheit, das ist dann naturwissenschaftlicher Unterricht. Aber man macht trotzdem Themen, dass man sagt, ich mach jetzt die physikalischen Eigenschaften von irgendwas und dann wendet man die auf das nächste Thema an und dann kommt tatsächlich die Anwendung.

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 2

Einleitung. Die Interviewpartnerin möchte gern vor Beginn der eigentlichen Fragen über ihre Erfahrungen mit den neu entwickelten Experimenten sprechen.

L: **Ich habe auch die Faltungen mit den Schülern gemacht. Das ist bei den 12ern gut angekommen, hätte ich nicht gedacht. Ich habe alles rausgelegt, sie konnten sich also etwas heraussuchen vom Schwierigkeitsgrad, ich denke mal, das ist auch immer gut.** Und habe auch gesagt, dass das eben was Kniffliges ist, wer jetzt vielleicht nicht soviel Geduld hat. Aber ich denke mal, das ist gut und die 12er sind dann auch so ehrlich und sagen dann eben "Das ist nichts für mich, das macht mich nur wuschig". **Und die Mädels waren natürlich auch sehr ehrgeizig mit der Ananasfaltung.**

F: Ja, das kann ich mir vorstellen, wenn man vorher sagt, dass es knifflig ist, dass das gerade ein Anreiz sein kann...

L: Und wir haben es sogar ausgetestet, das war auch interessant, die Sache, zum Tag der offenen Tür. **Und zwar habe ich das so organisiert, das 10er, die das bei mir schon praktiziert haben, den kleinen, also Grundschulern, das gezeigt haben** - die haben sich natürlich schwierig getan. Aber wir haben ja auch noch andere Experimente gemacht, Lotuseffekt und auch den Zanon-Gleitflieger. Haben als Beispiel auch die Naturobjekte mit hingelegt. Hatten auch ganz viele Zweige mit Knospen - nur allein, dass man das mal sieht. Die Insektenkästen habe ich mit hingetan - dass die dann eben so Beispiele haben. Und mit der Klette, das macht sich ja auch super. Da haben wir unterm Binokular, in der Außenstelle haben wir kein Binokular, das war für mich auch eine Erfahrung, wie schön das unterm Binokular aussieht, noch schöner als unterm Mikroskop. Und da haben die das auch wunderschön erklärt. Die hatten dann ja auch Hintergrundwissen mit dem George de Mestral, wie das passiert ist, mit dem Hund spazieren, also da haben die sich richtig ins Zeug gelegt. Im Fachhandel habe ich auch mal so ein Klettband zu kaufen bekommen, beides, das Haken- und das Schlaufenband, und das ist mit Klebeeffekt und das ist auch schön. Da schneide ich immer für jeden Schüler ein Stück ab und das sollen die sich immer direkt mit dazukleben. Sie zeichnen erstmal die Klettfrucht, erklären das Biologische, dann Beobachten, Zeichnen, dann bekommen sie von mir Literatur - ich weiß nicht, ob Sie das kennen, ich habe mal alles mitgebracht. Da sind ein paar brauchbare Dinge dabei. **Und das Lehrbuch ist ja auch nicht so ergiebig. Und da kopiere ich mir manches eben als Klassensatz.** Und nehme das aber immer wieder, weil soviel Kopien hat man ja gar nicht.

F: Sie nutzen also auch das Paetec-Bionikbuch.

L: In der Klasse 10 nutze ich es.

F: Und in der 11/12? Haben Sie da die gleichen Materialien?

L: Wir haben ja nichts, aber da gibt es ja jetzt, das habe ich vergessen, so ein dünnes Buch vom Nachtigall "Von der Natur lernen" und da ist so die Arbeitsweise von der Bionik dargestellt und dann von einzelnen Teilbereichen Beispiele. Das lässt sich eigentlich gut in der 12 einsetzen, habe ich jetzt festgestellt. **Die 12 jetzt ist für mich sehr schwierig, weil ich mit einem hohen Anspruch in die 10 gegangen bin. Ich merke jetzt, ich muss irgendetwas Neues bieten, sonst wird das für die langweilig. Und auch interessant für mich, die wissen wirklich vieles, das ist ja eigentlich etwas positives, was die sonst nach zwei Jahren alles vergessen haben, das kommt alles. Und das ist auch ein Beweis, dass wenn die was** [Pause]

F: handwerklich machen?

L: Ja, **ausprobieren können, dass es dann Spaß macht.**

F: Also sie erinnern sich noch daran, was sie in der 10 gemacht haben.

L: Ja.

F: Das sind teilweise auch die gleichen Schüler?

L: Ja. In dem Wahlgrundkurs Biotechnologie und Bionik sind am Schluss 38 Stunden Bionik.

F: Das ist sehr viel?

L: Ja, das finde ich eigentlich zu viel. Wenn man das das erste Mal gemacht hat...

F: Ja, da kann man die Schüler auch wirklich mal eigene Projekte machen lassen und braucht dafür Ideen.

L: In der 10. Klasse mache ich immer folgendes und habe damit auch immer sehr gute Erfahrungen gemacht. Und zwar gleich am Anfang, die sollen also ein Projektthema bearbeiten, ihrer Wahl. Es wird sich sicher irgendwann erschöpft haben und da muss ich überlegen, wie ich es mache, oder ich fange dann einfach wieder von vorne an. Dass sie aber nicht solche Sahnebonbons wie z.B. Delphin und Modem oder Haihaut und Schwimmanzug, das ist ja alles schon etwas durchgekaut, das können wir auch im Unterricht machen. Also die sollen schon mal ein paar andere Sachen erarbeiten. Und das wird eine komplexe Leistung und wir haben auch von der Schulleitung so eine Handreichung bekommen, was alles eine komplexe Lernleistung, welche Parameter da eine Rolle spielen. Und ich erkläre ihnen auch alles, was für Abforderungen gestellt werden sollen. Sie sollen sich ein Thema suchen, dann, dafür gebe ich ihnen auch Internetadressen, sollen sie sich auch an Institute und Hochschulen wenden, ob die ihnen was zur Verfügung stellen können. Und ich will dann einen Ausdruck, auch wenn ihr eine Negativmeldung oder gar keine Rückmeldung bekommen habt. Aber dass ihr euch wenigstens befließigt habt, aber ich finde schon, auch mal Kontakt zu suchen, wendet euch an die Abteilung Öffentlichkeitsarbeit, schildert euer Anliegen und dann werdet ihr sehen. Es gab auch schon Schüler, die haben auch richtig schönes Material auch geliefert bekommen. Und dann formulieren wir das Thema gemeinsam genau, meistens eine Fragestellung, das finde ich immer ganz gut, also z.B. Spinnenseide - härter als Stahl. Dann kommt das Literaturstudium, seit diesem Jahr auch nicht mehr nur Internet, sondern auch zwei Bücher mindestens.

F: Und wo besorgen sich die Schüler die Bücher?

L: Das müssen sie dann recherchieren.

F: In der Bibliothek?

L: Ja, im World Trade Center, die haben schon ein gutes Angebot. So, und dann müssen sie eine Powerpoint erstellen, richtig mit Gliederung, dann das biologische Objekt vorstellen, aber die Folien wirklich nur stichpunktartig, das Wesentliche, das Markante. Dann das, was man sich abgeschaut hat, wie es umgesetzt wurde, da habe ich wunderschöne Sachen schon bekommen. Dann Literaturquelle, ein Arbeitsblatt mit Lücken und eine Webseite, aber das machen sie in der Informatik, da habe ich überhaupt keine Ahnung davon, und ich finde, wie wir das jetzt organisiert haben, ist das auch ganz gut. Also ich habe zwei Stunden Bionik, mein Kollege hat eine Stunde Informatik. Sobald dann die Themen stehen, kriegt der die von Ganze präsentieren. Da hatte einer jetzt, von der Schlangenhaut abgeschaut, ein Langlaufski.

F: Aha, das habe ich auch noch nicht gehört.

L: Ja, und dann hat der seine Langlaufski mitgebracht, das erklärt, super. Da kommen also meistens ganz schöne Sachen.

F: Ja, weil sie sich selber mit einem Thema vertiefend beschäftigen müssen.

L: Genau.

F: Wie lange sind die Powerpoint-Präsentationen?

L: 10 Minuten so. Ja, dann können die Mitschüler noch Fragen stellen. [kurz Gedankensprung zu Achatschnecken]

F: Ich habe ja auch noch ein paar Fragen.

L: Ja, die Fragebögen, das habe ich ja leider etwas vergessen, aber das kann ich ja noch machen, wenn Sie wollen.

F: Welche Themen hatten Sie bearbeitet?

L: Das Falten, weiter bin ich noch nicht. [Fragebogenorganisation, CD als Geschenk]

F: Seit wann unterrichten Sie das Thema Bionik? Seit 2005 gab es den neuen Profillehrplan.

L: Also zwei Jahre mache ich das schon, ich mache jetzt das dritte Mal die 10.

F: Also haben sie 2008 angefangen [Schuljahr 2007/08].

L: Ja genau.

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer...?

L: Bio und Chemie

F: und das Profil.

L: genau, und **eben diesen Kurs auch in der 12 "Biotechnologie und Bionik". Eigentlich, weil mich beides interessiert. Auch, weil der Leistungskurs ja weggefallen ist, ich mach das also auch ein bisschen aus Weitsicht.** Und da kommt jetzt der nächste Aspekt, dass kaum Chemielehrer da sind, und dass die Biolehrer in die Chemie gedrückt werden.

F: Und den Wahlgrundkurs gibt es dieses Jahr das erste Jahr?

L: Nein, letztes Jahr hatte ich die 11 gemacht und hab jetzt die 12. **Und nächstes Jahr haben wir wieder einen und, das ärgert mich ein bisschen, mit 21 Schülern. Also da ist Interesse da. Wenn es noch 2-3 mehr gewesen, hätten wir zwei Kurse aufgemacht. Es ist zum Experimentieren viel Stress. Aber was will ich machen. Vor allem, wir haben ja auch nicht die Ausstattung.**

F: 21 sind natürlich wirklich viel- es ist also Interesse da.

L: Ja, [kurz Austausch über Bioteach, außerschulische Lernstätte].

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie die Bionik?

L: In der 10 und der 12.

F: Und dieser Wahlgrundkurs kann in der 11 oder 12 gemacht werden?

L: Nein, da gibt es eine Einbringungspflicht, d.h. wenn sie sich einmal entscheiden, dass müssen sie 11 und 12 belegen. Das wird auch richtig eingebracht. Es ist aber kein Prüfungsfach. **Keine schriftliche Prüfung, das find ich ok, aber warum es keine mündliche Prüfung gibt, kann ich nicht so richtig nachvollziehen.**

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung? Lehrplanbezogen?

L: Wir haben das so organisiert, Dienstag die 6. Stunde haben die Informatik und die 7. und 8. haben die Bionik. Das ist für mich auch schwierig. Es ist aber in der Hinsicht gut, wenn die was zu tun haben, praktisch oder so, dann ist das vollkommen ok. Währenddessen wenn man jetzt nur Theorie, das ist schwierig. Und es ist schon mal interessant, wie unterschiedlich die Gruppen sind. Die sind ja geteilt, aber das ist jetzt Gott sei Dank anders geregelt. Das sind ja immer so 17-18 Schüler und da ist der Kern einer Klasse auch wieder zusammen. Und wenn die eben nicht so funktionieren, wie man das will, da hat man das so geballt. Also die Gruppe, die ich gerade hab, die sind sehr anstrengend. Da sind auch nur 2 Mädels drin, das andere sind alles Jungs. Die sind nicht böse aber die sind so was von stressig.

F: Dass jede Klasse so anders ist...

L: Da muss man dann auch sagen "Das liegt nicht an dir." Das darf man dann nicht an sich festmachen. Ich hatte auch mal einen Kurs, donnerstags immer 7./8. Stunde und freitags die dritte Stunde. Und es waren auch viele Jungs. Und Donnerstag habe ich oft gedacht "Du bist unfähig als Lehrer." und freitags waren die wie umgewandelt. Und da habe ich dann auch gedacht: Nein, das bist nicht du, das sind die. Die sind dann eben fertig.

F: Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L: Da habe ich ein bisschen was mitgebracht, das sind die Videos, die es in der Medienstelle gibt. Die sind zum Teil sehr schön, das ist sogar in Englisch. Das ist dann wieder eine Sache, mit Arbeitsblättern auch, das habe ich schon ausgetestet. Und dann habe ich mir im Fernsehen aufgenommen, oder als DVD, Bionik, die Materialien, die Bewegung und Energie, und das ist auch sehr anschaulich dargestellt für die Schüler, da sind die auch wie hin und weg.

F: Kenne Sie auch den Finray?

L: Nein, das habe ich noch nicht gemacht.

F: [kurze Erläuterung zur DVD und Finray]

L: Ja und dann gibt es noch ein Buch, das habe ich mal durch Zufall gekriegt, das finde ich auch so schön. Da sind auch ein paar Themen aufgearbeitet, die bisher nicht so ausgeschlachtet sind. Da ist zu Faltungen auch so eine Darstellung zur Mohnblüte, wie sie sich so aus der Kapsel entfaltet, das ist so schön dargestellt, dass der Schüler auch sieht, auf kleinstem Raum soviel Material. **Das sind so einfache Dinge, wo man eigentlich auch begeistern kann. Das muss gar nicht viel sein.** So, was ich auch habe, ist das Max-Planck-Institut, die sind da auch sehr großzügig. Die haben ja keine reinen Bionik-Themen,

aber die haben so Zeug rausgesucht. Das hier mit dem Gecko ist ja auch super. Das ist was, da kann ich auch sagen, gerade mit den van-der-Vaals-Kräften, das ist wieder was mit den 12ern, das muss ich jetzt nicht schon alles in der 10 machen.

F: Arbeiten Sie da auch mit dem Physiklehrer zusammen?

L: Müsste ich. **Also ich denk mal, wenn da jemand meinen Unterricht einschätzen würde, der ist bestimmt zu biologisch ausgerichtet. Ich muss auch ganz ehrlich sagen, ich bin auch nicht so der Physiker.**

F: Ja, das kann ich mir auch vorstellen, die physikalischen und chemischen Kenntnisse wieder zu aktivieren.

L: Na, chemische ja. Aber von der Physik her denke ich mal, da müsste ich mich vielleicht mal mit dem Physiklehrer austauschen.

F: Sie haben ja wirklich viel Material.

L: Ja, das hier ist z.B. was, das habe ich auch mit der Kollegin hier gemacht, die hat das auch zum ersten Mal gemacht. Aus einem Kinderbuch habe ich das rausgekriegt. Auch noch schön laminiert, aber das hat den Kleinen auch so einen Spaß gemacht.

F: Hier der Zanonaflieger, den man auch mit Alufolie gut bauen kann.

L: Ich vergesse jedes Mal die Alufolie. So, den Lotuseffekt machen wir immer mit Kohlrabi, geht super. Weihnachtsstern, Kapuzinerkresse im Sommer, wenn ich habe. Und dann lasse ich sie immer Kopfsalat oder so was mitbringen. Eine Klassenarbeit habe ich auch mal mitgebracht.

F: Wie viel Zeit haben die Schüler dafür?

L: 45 Minuten, aber da schreiben sie auch fleißig. Und da habe ich auch eine Frage, da sieht man auch, wer ein bisschen Ahnung hat und auch ein bisschen kreativ ist, dass sie aus bionischer und ökologischer Sicht praktisch mal ein Haus entwickeln sollen.

F: Ja, je nachdem, was man vorher behandelt hat, kann man da gut Sachen kombinieren.

L: Und beim Lotuseffekt ist auch wieder die Chemie sehr gut, dass ich auch die Fachbegriffe hydrophil und hydrophob und lipophil und lipophob, **aus der Chemie kennen die das ja alles und dass man das hier noch mal anwendet.** Ich nehme dann auch die verschiedensten Stoffe, ich nehme dann Grafit, aber mit entsprechenden Arbeitsunterlagen geht das, Lehm, was mache ich noch, mit Sudan-3-Pulver, das geht auch ganz gut. Und da kriegen die von mir auch konkrete Aufgaben, müssen Protokoll erstellen und kriegen das eigentlich auch gut raus.

F: Also mit der Blattoberfläche?

L: Ja, genau, und was ich in einer Lehrerfortbildung mal gesehen habe, aber das liegt vielleicht bei mir an dem Sandpapier, das ist wahrscheinlich zu fein. Das ist eigentlich auch nicht schlecht, das Experiment. Dass die praktisch mit Knetmasse zwischen zwei Objektträgern zusammendrücken die Knetmasse, dass eine richtige glatte Oberfläche entsteht. In dem zweiten Experiment wird diese glatte Oberfläche noch mal mit dem rauen Sandpapier bearbeiten, also draufdrücken, und da müsste ja rein theoretisch das dort besser abperlen.

F: Und klappt das?

L: Das hat eben letztes Mal nicht geklappt.

F: Ja vielleicht liegt das daran, dass die entstehenden Strukturen nicht in Nano-Größe sind.

L: Aber auf der anderen Seite, ich habe dann versucht zu begründen, warum das nicht so funktioniert hat, aber die Schüler haben wenigstens, und in diesem Fall hat mir das schon gereicht, das Prinzip verstanden und transformiert jetzt auf dieses Beispiel.

F: Ja, ich denke, es gehört auch dazu, dass man Fehler macht, dadurch beginnen die Schüler darüber nachzudenken, warum es jetzt nicht geklappt hat. Wenn immer alles funktioniert, hinterfragt man das vielleicht gar nicht mehr.

L: Und was ich unbedingt noch machen will, das hab ich nur noch nie geschafft zeitlich, aber mit dem Eisbären. Da sollten die dann auch Materialien mitbringen, da wollte ich auch das Experiment durchführen mit dem schwarzen und dem weißen Ding, aber das habe ich zeitlich nicht mehr geschafft. Dann sollten sie Dämmmaterial mitbringen, da hatte ich ihnen verschiedene Sachen genannt. Und da gibt es ein Glas, wo man dann die Temperatur feststellt. Mit Styropor und mineralischer Dämmwolle das Mal macht.

F: Es gibt auch den Dämmstoff im Spezialhandel zu kaufen, der aus den kleinen Glasröhrchen besteht. Wenn man diesen Dämmstoff bestrahlt, also die Sonne simuliert, wird danach die Temperatur gemessen und von einem herkömmlichen Dämmmittel. Und der Unterschied war deutlich, es hat sehr gut funktioniert.

L: Und, das habe ich den Schülern auch erklärt, gibt es ja die verschiedensten Dämmstoffe. Auch Schafwolle, da gucken die großartig, weil sie gar keine Vorstellung haben. **Und da hatte ich mir eigentlich vorgestellt, mal wie so eine kleine Sammlung von Naturobjekten, mit Proben, dass man das einfach mal zeigen kann.** [Auszug Experimentierkoffer] Ja, das Thema will ich auf jeden Fall durchführen, theoretisch habe ich es noch geschafft, aber praktisch nicht.

F: Das bietet sich ja auch in der 12. Klasse an, wo die Schüler auch mal selber experimentieren und sich einen Experimentieraufbau überlegen sollen. Dass man nicht ein Experiment hinstellt und sagt, wie es geht...

L: ... **sondern sie sich überlegen, wie könnte das gehen, genau. Ich habe nur das Problem, dass ich erst mal ein bisschen Theorie machen muss, weil ich nächste Woche Klausur schreibe.** Und das habe ich denen auch gesagt, es tut mir leid, wir müssen jetzt erstmal nur Theorie machen, das Praktische kommt dann.

F: Ja, da haben Sie ja eigentlich viele Materialien für den Unterricht. Themen, die sie im Unterricht behandeln, haben wir jetzt eigentlich auch schon besprochen - viele und weit gefächert. Welche Bionik-Themen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern?

L: Der Gecko interessiert schon stark, der Sandfisch auch, da habe ich auf vom Ministerium für Bildung eine kostenlose CD bestellt, das ist eigentlich auch nicht schlecht, dann wie gesagt, die Faltung, hätte ich nie gedacht, wie das anspricht. Lotuseffekt und Klette, die Klette ist oft der Einstieg, das ist so nach Begriff und Einordnung so das Erste, was sie bearbeiten müssen. Ich finde das eigentlich auch erstmal gut, das ist nicht so anspruchsvoll, vom Niveau, dass man das zeigen kann. Das Prinzip und der Alltagsbezug auch. Dann haben wir die Frage gestellt, zu welcher Pflanzenfamilie gehört denn die Klette? Und da gucken die schon wieder wie...Aber ich finde es gut, dass man an der Stelle dann noch mal hinterfragen kann oder das abzurufen. Oder gestern z.B. hatte ich das Thema Delphin und habe überlegt, wie könnte ich die denn da mal stimulieren, hinter dem Ofen hervor, aber in der 10. Klasse, und da habe ich einen Videoausschnitt, das hatte ich damals im fächerverbindenden Arbeiten der Klasse 5 hier. "Von der Natur abgeschaut, Delphin", eingesetzt habe ich hier "Einsatz mit Behinderten", in Nürnberg ist das gedreht, wo die mit Trisomie-21-Kindern arbeiten und da habe ich denen den Ausschnitt gezeigt und aber erklärt, dass das eigentlich unter einer anderen Thematik läuft, sie sich aber trotzdem mal die Baumerkmale des Delphins anschauen sollen und und und. Dann habe ich noch mal den Bogen zur Bio gezogen, Erbkrankheiten, und dann sind wir zum Delphin übergegangen.

F: Und das fanden die Schüler auch gut.

L: Ja, sehr gut. Ja, und dann habe ich eine CD mit Delphingesängen, einfach nur die Musik beim Arbeiten, dazu habe ich Literatur ausgeteilt, aber die waren da nicht so angetan, aber das war auch die anstrengende Gruppe, aber ich denke mal, mit einer anderen Gruppe, die kriegt man da sehr schön.

F: Das ist ja eben der Vorteil eines fächerverbindenden Unterrichts, dass man verschiedene Sachen einfließen lassen kann.

L: Genau.

F: Machen Sie auch die anderen Lernbereiche "Astronomie",...

L: Nein, da haben wir uns aufgeteilt.

F: Es gibt ja die sechs Lernbereiche. Machen Sie nur die Bionik?

L: Ich mache nur die Bionik.

F: Gut, dann ist die Frage auch irrelevant. Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht? Auf einer Skala von 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel). Für den Lernbereich im Profil sind das ja 28 UE und im Wahlgrundkurs 38 UE. Wie empfinden Sie die 38 UE?

L: **Zu viel. Die Relation müsste eigentlich umgekehrt sein.** Wir haben pro Schuljahr zwei Gruppen. Ein halbes Jahr mache ich die eine Gruppe und das andere halbe Jahr die zweite Gruppe. Also alle Schüler der Klassenstufe 10. Der andere Kollege macht Messen und Steuern, das ist ein Physiklehrer.

F: Und der Informatiklehrer macht den dritten Kurs parallel?

L: Ja, aber das ist gut so. Der führt dann erstmal ein, wie so ein Hyperlink aufgebaut ist, wie der funktioniert und dann hilft er auch mit bei der Powerpoint-Präsentation.

F: Also anders herum wäre es schon sinnvoller, meinen Sie?

L: Ja. Zumal in der 12 ist das ja wirklich das letzte Thema, im April hört das ja eh schon auf. Da kommen dann die Prüfungen.

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht.

L: **Also auf jeden Fall mehr als sonst im Unterricht. Und wenn ich es nicht experimentell mache, dann auf jeden Fall mit Literatur.** Ich habe das Buch von der Kesel und noch eines. Die sind auch nicht so teuer. 8 Euro oder so. Und da habe ich immer 10 Stück und kann pro Bank immer eines austeilen und da sind auch schöne Beispiele erklärt. Ich finde, nur das Buch alleine ist nicht so gut.

F: Das hat aber jeder?

L: Das hat jeder.

F: In der 10. und in der 12 auch?

L: Nein, nur in der 10. Für die 12. habe ich gar nichts, weder für die Biotechnologie ein Lehrbuch, noch für Bionik. Da haben wir uns eines rausgesucht, das ist eigentlich eher ein wissenschaftliches Buch. Aber ich finde das gerade gut in der 12, dass man in das wissenschaftliche Arbeiten übergeht. Das wäre so meine Vision, dass man eine kleine Bibliothek zusammenstellt, wo die Schüler dann während des Unterrichts selbständig arbeiten. Aber für die 10 und 12, das habe ich durchgesetzt, haben wir dieses große Buch "Faszination Bionik", das nehme ich auch oft zum Einstieg, auch die Origami-Faltungen, da sind lauter

schöne Sachen.

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch auf einer Skala von 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert). Sind die Mädchen mehr interessiert als die Jungs oder die Jungs als die Mädchen?

L: Bei beiden. **Das liegt auch immer am Lehrer, wie der das vermittelt, wenn das jetzt ein Physiklehrer machen würde die Bionik, dann wäre das sicher ganz anders ausgerichtet, dann könnte es natürlich auch sein, dass das Interesse bei den Mädchen etwas eingeschränkt wäre. Aber dadurch, dass ich eben Biologie auch mache, und mit der Biologie kann man die Schüler eigentlich auch gut bekommen.**

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L: Also Informatik, sonst bisher eigentlich noch nicht. Eher dann schulübergreifend, dass ich mich mit anderen Kollegen austausche.

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (sehr stark)? Halten sie den fächerübergreifenden Unterricht für eine wichtige Maßnahme?

L: Ganz wichtig. Ganz wichtig, weil sonst dieses Schubkastendenken, jetzt die Stunde, jetzt die Stunde.

F: Und das kommt bei den Schülern auch gut an?

L: **Also ich habe von den Schülern bisher eine positive Resonanz bekommen** und ich mach folgendes, jede Stunde müssen zwei Schüler ein Stundenprotokoll führen, ganz einfach, damit die auch mal stichpunktartig das Wesentliche erfassen könne. Ich gebe denen aber auch Zeit und sage, ihr könnt es mir handschriftlich geben oder mit dem Computer eine Woche drauf. Das machen die ja so akribisch. Ich habe auch gesagt, dass muss nicht mit der Stoppuhr genau sein. Und zum Schluss möchte ich dann immer noch eine Einschätzung haben, sollt ihr mal ganz kritisch einschätzen, was ihr gut gefunden habt, was nicht so gut war. Da betone ich auch immer, ihr könnt das wirklich ehrlich hinschreiben, also keine Sorge, dass wenn ihr eine Kritik an mir übt, dass ihr dann eine schlechtere Note bekommt. Sie bekommen eine halbe Note auf das Stundenprotokoll und da kommt noch eine zweite Sache dazu, z.B. in der Botanikschule im Botanischen Garten haben die Stationen selber bearbeitet, haben sich auch viel Mühe gegeben, und die beiden Sachen waren dann eine Note. **Und da schreiben sie eben auch rein: die zwei Stunden sind so schnell vergangen. Das ist ja auch ein Zeichen, dass es nicht langweilig ist.**

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 3

F: Die erste Frage wäre, seid wann unterrichten Sie die Bionik?

L1: Seit Dezember.

F: Vorher noch nicht?

L1: Nein.

F: Gut, also seit Dezember 2009. Sie sind Fachlehrer für die Fächer...

L1: Biologie und Chemie, wir alle drei.

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?

L1: 11/12, meine Kollegin im Profil.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung?

L1: Also zwei Wochenstunden.

F: Wie im Lehrplan festgesetzt?

L1: Ja, genau.

F: Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L1: Da kann ich jetzt nur sagen, dass im Profilunterricht dieses Heftchen Paetec verwendet wird. Und ich selber habe jetzt gar keine, und das habe ich ganz bewusst getan, weil ich für mich selber erst mal Ahnung haben möchte, was, ach so, für uns war es schwer abzuschätzen, was ist nun für uns brauchbar und was nicht. Und deshalb haben wir gesagt, wir warten jetzt erst mal ab. Bei der Biotechnologie haben wir uns gleich für ein Buch entscheiden können, was wir gut fanden, bei der Bionik war das erst mal nicht so.

F: Sie suchen sich also aus verschiedenen Materialien etwas zusammen?

L1: Ja, Filme, aus Fachbüchern mal was lesen, Internet.

F: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt oder welche planen Sie durchzuführen?

L1: Ich hab mich da wirklich an den Lehrplan gehalten, weil ich erstmal sage, ich habe noch keine großen Vorkenntnisse, also

nehme ich das, wo ich sicher bin, dass sich andere darüber Gedanken gemacht und je mehr ich das mache und je mehr ich das durchsteige, desto mehr merke ich, dass hat wirklich jemand gemacht, der Ahnung davon hat, der das konzipiert hat. Also ich hab es genau so gemacht, wie es im Lehrplan steht. Und habe mir natürlich, das muss ich hier noch sagen, habe mir auch bei der Anwendung die Beispiele von Ihnen genommen, wo ich dann froh war, dass ich das Material von Ihnen hatte. Das merkt man, dass das durchdacht ist, dass man erst einmal die Teilgebiete abgrenzt voneinander, die Arbeitsweise der Bionik: das biologische Vorbild, den Prinziptransfer, Abstraktion usw., also ganz logisch.

F: Die Beispiele sind ja eigentlich auch nebensächlich, weil es ja eigentlich darum geht, wie funktioniert die Bionik, die Arbeitsweise ist ja hier das Entscheidende und man kann hier so viele verschiedene Beispiele wählen.

L1: Und wenn man das so aufbaut, dann kann das auch gar nicht groß schief gehen, weil man sich die Beispiele X-beliebig wählen kann. Ich habe auch Ideen, wie man einiges anders machen könnte.

F: Welche Bionikthemen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern? Was ist das Thema von dem Sie sagen, dass Sie die Schüler am meisten damit herauskitzeln können?

L1: **Einfach kuriose Dinge, also Dinge, über die man sich vorher noch gar nicht richtig Gedanken drüber gemacht hat, wo man dann Effekte sieht.** Es gibt ja auch diese wunderschöne CD "Bionik", wo meine Schüler schon gespannt sind, wann ich dann den dritten Teil endlich noch zeige, es ist total interessant, was es da alles noch gibt, wo in der Breite mal vorgestellt wird, was alles so machbar ist. **Aber auch Experimente - da können die Schüler auch ohne Ende abfeiern.** Also das kann man gar nicht so richtig sagen. Also sie waren über die Faserverbundstoffe genauso überrascht wie über Niedrigenergiehäuser, Termitenbau usw. Die Faltungen waren wieder eine Sache, die den Mädels großen Spaß gemacht hat.

F: Also man kann nicht so genau sagen, das ist das Thema, sondern es gibt viele verschiedene Themen, die, je nachdem wie man das Thema aufgearbeitet wird.

L1: Genau. Wie man es denen entgegenbringt, das kann Leichtbau sein, das kann alles Mögliche sein. Oder wie die Roboter durch den Wald stiefeln und dort nirgendwo anecken oder irgendwelche kuriosen Methoden, die man hat, um irgendwas zu erforschen, also wie viel Bastelarbeit auch dabei ist usw.

F: Die nächste Frage richtet sich dann eigentlich an ihre Kollegin, weil sie wahrscheinlich den Vergleich hat zwischen den 6 Lernbereichen im Profilunterricht. Ich weiß nicht, ob sie auch in der Sekundarstufe 1 unterrichten?

L1: Nein.

F: Dann können Sie diese Frage nicht beantworten. [Organisation des Profils] Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Bionikunterricht zur Verfügung steht auf einer Skala 1 (zu wenig), 2 (ausreichend), 3 (zu viel)?

L1: **Ich denke, in Ordnung- ausreichend (2). Da habe ich aber auch noch einen zu geringen Überblick. Also jetzt finde ich es erstmal in Ordnung. Je mehr man weiß, desto mehr bringt man sicherlich auch unter, das ist wie überall, aber jetzt im Moment.**

F: Es ist ja auch mehr Zeit für die Bionik in Klasse 12 als im Profil der 10 eingeplant, hier 38, dort 28 Unterrichtseinheiten. Sind auch viele Schüler in der 12., die den Profilunterricht vorher gemacht haben?

L2: Ja, dann kann ich vielleicht auch was dazu sagen, weil ich am Anfang der 11 die Schüler immer frage, warum habt ihr den diesen Wahlgrundkurs gewählt? Weil es ja schon etwas Besonderes ist, diesen Kurs zu wählen. Solche Antworten "damit ich Geografie abwählen kann" oder "weil es keinen Bio-Leistungskurs mehr gibt". **Und dann kommen aber auch Schüler, die sagen, "Ach, mir hat das mit der Bionik in der 10 so gut gefallen, da wollte ich mehr wissen.", Also da gibt es schon einen Zusammenhang, weil die das gehört haben in der 10, dass die sagen, „oh, das ist schön, man kommt ja hier gar nicht so weit, da will ich jetzt noch mehr“.**

L1: Da sind wir jetzt dran, aber das ist eben. **So viel Zeit bleibt mir gar nicht, mit den Schülern was zu machen.** Wenn sie was ausführlich macht, Flugobjekte oder so, da bleiben mir gar nicht mehr, da habe ich mal kurz die Faltungen gezeigt, aber viel mehr Zeit hab ich dann gar nicht mehr. Insofern, wir haben uns schon mal so grob abgesprochen, aber das war gar nicht nötig, weil letztendlich, soviel Zeit, dass wir was doppelt machen können, ist letztendlich gar nicht da.

F: Also gibt es da keine Kursüberschneidung?

L1: Nein.

F: Ja, es ist ja interessant, eigentlich heißt der Kurs "Biotechnologie und Bionik", der Hauptteil ist aber Biotechnologie. Wie nehmen die Schüler das auf? Es hat ja mit der Bionik nichts zu tun, aber sie sind schon auch interessiert an der Biotechnologie.

L1: **Na, die wissen von Anfang an, dass es beides ist,** und da sind die, also, ich glaub, ich habe denen auch nicht so gesagt, dass wir, ich habe denen ganz grob gesagt, dass wir in der gesamten 11 Biotechnologie und dass dann ab den Herbstferien, das wusste ich doch damals nicht, wie ich vorwärts komme. Und ich muss jetzt auch mal ehrlich sagen, dass ich das auch nicht verbissen gesehen habe, weil ich mir ja sage, es ist ein Wahlgrundkurs, es steht keine Prüfung hinten an. **Und wenn ich dann ein was weniger schaffe, dann ist mir das vollkommen egal.** Aber an der Stelle muss ich mal ehrlich sagen, man muss da auch erst mal Erfahrung sammeln und so habe ich das den Schülern auch vermittelt, und insofern haben die das nicht so gewichtet.

L2: Dadurch, dass auch eindeutig "Biotechnologie und Bionik" heißt, auf der Homepage steht der Lehrplan, da können sie auch gucken. Ich meine, wir werben natürlich auch für die Kurse. Erzählen wir, was passiert, die Schüler erzählen sich das untereinander, das ist denen schon klar. Ich meine gut, wer Medizin oder so studieren will, die machen das natürlich der Biotechnologie zuliebe, andere, die etwas mit der Physik am Hut haben, machen es der Bionik zuliebe. Die Motive sind zahlreich, aber den Zusammenhang zwischen 10 und Kurs wählen, den gibt es auf alle Fälle.

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht, für das Experimentieren, für das selbständige Erarbeiten.

L1: Wenn ich es jetzt an dem messe, was ich bisher unterrichtet habe, würde ich denken, bis jetzt, ich hoffe, dass sich das noch ändert, würde ich 25 Prozent praktische Arbeit sagen. Aber wie gesagt, die Anwendungsbeispiele kommen ja jetzt erst. Ich habe denen auch mal eine ganze Stunde nur Video gezeigt, damit die mal die verschiedenen Denkansätze kennen oder auch mal Beispiele zu haben oder ich habe sie mal recherchieren lassen, was so die Wurzeln der Bionik sind, einfach, um erstmal reinzukommen in das Thema. **Wenn es nur selbständige Schülerarbeit ist, dann ist der Anteil wesentlich höher. Aber Experimentelles, wo wir richtig probiert haben, da bin ich momentan erst bei 25 Prozent.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch?

L1: Also wir haben gestern ja auch die Faserverbundwerkstoffe gemacht, das war wirklich so interessant, die Jungs mit so einer Begeisterung, die großen Kerle, und ich dachte, o Gott, die Stunde, die geht gar nicht und die ist so schön geworden, die war so genial, also da waren die Jungs richtig begeistert, während wenn ich an letztes Jahr denke, da habe ich mal die Faltungen gemacht, da war es genau umgekehrt. Da waren die Mädchen begeisterter und die Jungs eher so, na ja, dieses Problem gibt es, ja gut.

F: Es ist also sehr themenabhängig? Faltungen sprechen eher Mädchen an? Was hatten Sie noch gemacht an Experimenten?

L1: Finray-Effekt hatte ich noch gemacht, das eher auch bei beiden eher gleich. Zu mehr bin ich jetzt auch noch gar nicht gekommen.

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L1: Die Physiklehrerin habe ich dieses Jahr schon stark strapaziert mit Zug- und Druckkräften. Ich hatte gedacht, da gibt es ganz eindeutige Definitionen, was ich dann von den Schülern auch voraussetzen könnte und wollte jetzt nicht, wenn man mit großen Schülern arbeitet. **12. Klasse, da will man ja auch nicht so ein Pillepalle machen, sondern möglichst fundiert, also man hat da auch einen gewissen Anspruch** und da stellte sich heraus, dass das gar nicht so eng gesehen wird, wie ich das gedacht hatte, dass das eher mehr aus dem Bauch heraus erklärt wird, was da nun das eine oder das andere ist.

F: Ja, das hilft im Unterricht, die Schüler haben ja auch ein Bauchgefühl.

L1: Ich hatte gedacht, es gibt eine klare Definition mit irgendwelchen Vektoren und so weiter.

F: Es gibt also eine Kooperation mit der Physik.

L1: **Sagen wir mal so, wenn wir ein Problem haben, gehen wir aufeinander zu und da wird das geklärt. Das ist ja das Schöne an Schule, dass wir überall Fachmänner sitzen haben.**

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken auf einer Skala 1 (überhaupt nicht) bis 5 (in jedem Fall)? Das bezieht sich jetzt eher auf den fächerverbindenden Profilunterricht, da dieser wirklich fächerverbindend angelegt ist, aber in der Bionik ist es ja auch so.

L1: Also es ist auf alle Fälle so angelegt, es könnte so sein. **Jetzt sehe ich die Grenzen in meiner Person, weil ich als Lehrer denen die Möglichkeit schaffen muss, auch über das Ziel hinauszugehen, also über die Sichtweise, die ich habe, hinauszugehen.** Das machen die bei Vorträgen eigentlich ganz gut, dass die, wenn sie die historischen Wurzeln gebracht haben, vom Flugwesen usw., da habe ich Teile überhaupt nicht verstanden, dass ich gesagt habe, ihr werdet schon recht haben, dass das so ist. Also irgendwelche Kräftegleichungen, wo ich dann sage, ja ja, das klingt logisch und könnte mit der Einheit dann auch hinhalten, aber wo ich ehrlich gesagt das den Schülern nicht hätte erklären können, das finde ich ja gut. Wo wir immer sehr interdisziplinär arbeiten ist mit der Chemie, Stoffe, Fasern, Werkstoffe, welche Eigenschaften haben die, und gestern Druck- und Zugkräfte, da haben wir gestern schon drüber nachgedacht, ob die [in den Wachsziegel] eingeflossenen Spaghetti als Fasern dienen oder nichts anderes als eine Matrix sind, das war ein arges Problem, ob [lacht laut] - das muss ich vielleicht ganz kurz erzählen: ich hatte nach ihrer Anleitung die Ziegel gebaut, nehme den Ziegel raus und da bricht mir schon die erste Ecke weg. Und da dachte ich, ach du Mist. Jetzt geht das schon ohne Belastung, wie soll dieser Ziegel hier überhaupt was halten und hatte ehrlich gesagt ganz große Bedenken und dann hatte ich den Schülern alles mitgebracht und gesagt, macht mal usw., und da haben die das teilweise gut gemacht, ich musste das in ein Protokoll einbetten, weil ich das gern bewerten wollte. Ich brauchte von denen noch eine Note. Und insofern musste ich auch absichern, dass das alles mit einer Vorbetrachtung abgesichert ist, da blieb dann nur noch Zeit, die Ziegel zu gießen und danach war die Stunde im Prinzip zu Ende. Und viele, die mit den mikroskopischen Zeichnungen dann noch zu lange gebraucht haben, die haben das nur am Schluss noch schnell gemacht. und da habe ich denen gesagt, wer das jetzt nicht geschafft hat, der gießt Ziegel zu Hause, abwiegen könnt ihr Euch das Wachs, Fasern könnt ihr einlegen. Beachtet nur, die Richtung muss mindestens da sein, der Rest, den könnt ihr machen, wie ihr wollt, seid kreativ. Und gestern hatte ich nun erstens die Befürchtung, es wird wohl keiner einen Ziegel mit haben, zweitens, die Ziegel halten eh nichts usw. ich bin wirklich mit einem ganz unguuten Gefühl in die Stunde hineingegangen, weil ich dachte, wie willst du das bewerten, und kannst das dann noch bewerten, wie machst du das, hättest du vielleicht doch zu Hause ein paar Ziegel gießen sollen - und komme dort rein und die hatten Ziegel ohne Ende mit. Da ging es mir schon erst mal besser. Und dann merkt man, da hat einer wirklich drüber nachgedacht, es war so schön, die Stunde hat mir so viel Spaß gemacht. Die haben dort mit den Eimern hantiert und mit dem Wasser. Ich hatte noch so gesagt, ihr könnt euch überlegen, ob ihr fortlaufend Wasser eingießen wollt, oder ob ihr abgemessene 100 ml zugeben wollt, halb-kiloweise, es ist mir vollkommen egal, wie ihr das macht, macht euch Gedanken. Meldet sich schon ein Schüler, und sagt, wenn die Ziegel überhaupt den Eimer abhalten, dann wäre es toll. Und da dachte ich, na ja gut, so hast du ja schließlich auch gedacht und habe nichts dazu gesagt. Und da haben die, sie hätten die Jungs sehen müssen in der 12, das Ding draufgelegt und halber Wassereimer voll, dreiviertel voll, „das kann jetzt nicht wahr sein, der steht bestimmt auf, guck mal, ob der nicht unten aufsteht, das kann doch nicht sein, dass der einen dreiviertel Eimer Wasser aushält“ - und als die gebrochen waren, das war gut, dass sie den Tipp noch mit hingeschrieben haben mit dem Umdrehen, das habe ich sie nämlich auch machen lassen - das hat den Schülern richtig Spaß gemacht.

F: Ja, weil man sich nicht vorstellen kann, dass dieser dünne Ziegel so viele Kilo trägt.

L1: Und das begeistert Jungs. Da können sich Jungs dusseelig dran freuen. Da ging es z.B. "leg mal den Ziegel jetzt diagonal, was ändert sich denn dann?", da sagt der andere "Brauchen wir doch nicht, dafür haben wir doch die unterschiedlichen Faserrichtungen", "Das verstehe ich nicht, das musst du mir noch mal erklären" "Gucke mal, wenn ich den Ziegel so hinlege, gehen die Fasern in die Richtung, wie wirkt denn jetzt die Zugkraft?", "Weiß ich nicht", "Eh, überlege doch mal, hier unten wird gezogen" - so ging das untereinander, es war einfach nur schön. Und ein Schüler kam an und sagte, ich habe Spaghetti reingemacht, ich hatte gesagt, die können die Faserart auch mal ändern, können ganz andere Fasern nehmen, was ihnen gerade einfällt. Da habe ich ihn auch erstmal komisch angeguckt, weil ich auch erstmal nicht wusste, was das jetzt soll. Da sagt er, na, wir müssen es mal angucken. Ich sagte, das interessiert mich auch. Er macht das und es bricht durch, so, als ob nur Wachs da wäre. Weil so ein trockener Spaghetti, ich habe ja versucht, es ihm zu erklären, nichts anderes ist als Wachs und bricht. Und das Tolle war aber, dass er gesagt hat, ich hätte doch auf meine Mutter hören sollen, ich hätte die Spaghetti kochen müssen, dann sind die doch elastisch und nehmen die Zugkraft auf. Das war toll. Solche Momente liebe ich, wenn so was dann kommt. Und dann sagt er, "und das probiere ich." Ich muss dazu sagen, auch wenn es ganz exakt dort steht, wie man es macht, man macht doch erst mal Fehler in den Materialien. Ich habe z.B. beim Ziegelgießen den Fehler gemacht, ich wollte genial sein und den Wachs nicht verlieren, indem ich umschütete, und da habe ich gesagt, wir können die Wachs ja doch gleich in der Schale warm machen und die Fasern dann reinlegen, das Draufgießen geht aber einfach besser, da hatte ich mir was dabei gedacht, aber na ja, man soll auf die hören, die Ahnung haben. Das wäre besser gegangen - und genauso bei den Greifern, kann ich ihnen ja nachher mal zeigen, da hängt es eben auch sehr von der Pappe ab [Bezug zur Lehrerfortbildung, ideale Materialien].

Was für die Jungs auch alle interessant war, die hatten alle gedacht, dass wenn ich ein Netz nehme, wird die Belastbarkeit eindeutig höher sein. Diese Überlegung, dass es dann in der Querrichtung es auch dann wieder aufhebende Momente gibt, das fanden die besonders kurios.

F: Ja, aufgrund der Grenzflächen kann das tatsächlich passieren. Im Stahlbeton werden auch netzartige Strukturen verwendet, nicht nur in eine Richtung gelagerte Fasern.

L1: [Organisation Fragebögen]

F: Jetzt habe ich aber noch keine Antwort auf die Frage bekommen - also die Frage war: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken? auf einer Skala von 1 bis 5, also von nein bis auf jeden Fall. Können Sie sich da konkret äußern, ob...

L1: Ich denk schon, aber es ist wahrscheinlich nicht sehr stark ausgeprägt, denk ich mal. **Und dann denke ich auch, dass meine Wahrnehmung auch anders ist als die der Schüler. Ich sehe da schon, dass da Ansatzpunkte für fächerübergreifende Stellen an ganz vielen Stellen sind, aber ob die Schüler das auch so...**

L2: **Das ist eher so eine Normalität, denn wir scheitern ja auch an den Grenzen unseres Faches, und das haben die Schüler ja nicht so. Die machen ja alles. Da merken wir, wo unsere Grenzen sind und die Schüler merken es unter Umständen gar nicht so.**

F: Ja gut, da kommt es vielleicht auch darauf an, wie man als Lehrer die Grenze noch mal öffnet und sagt, hier kommt jetzt übrigens wieder die Chemie ins Spiel

L1: **Wobei ich das gerade schön finde, wenn man diese Schubfächer nicht unbedingt aufzieht, das mache ich als Bio- und Chemielehrer sehr häufig und das Schöne an dem finde ich ja, dass die mich gar nicht mehr als den Biolehrer betrachten, sondern ich bin für die Bio und Chemie.** Da wissen die, egal, ob man jetzt das Material hinterfragt, Eiweißfäden, Seidenfäden, was ist denn das jetzt, ne Wasserstoffbrückenbindung oder hängt das eher mit den Van-der-Vaals-Kräften zusammen - und da stecken die mich Gott sei Dank nicht mehr in eine Schublade und das finde ich eigentlich schön. Und deshalb mache ich das nur dann, wenn ich meine Unsicherheit mit der Physik hab - ich sage, ist das in der Physik nicht so, weil ich schon weiß, hast du hier wirklich die Ahnung.

L2: **Je mehr man diese Schubfächer aufmacht, trägt man die Schüler da rein - ich versuche auch zu vermeiden, diese Schubfächer bewusst aufzumachen.** Einfach um zu vermeiden "Oh, ist das jetzt hier Chemie, oder was?" kriegt man dann manchmal in Bio zu hören. "Wir machen doch jetzt Bio, was willst du denn mit deinen blöden Formeln".

L1: **Das ist wie so eine Wand gewesen, weil wir davon ja nie was gehört hatten, nie. Man hat zwar immer die Veröffentlichungen am Rande...aber jetzt auch nie gezielt oder nie irgendwie etwas einordnen können. Und es ist nun mal so, dass man dann ein gutes Gefühl hat, wenn man weiß, man hat ein gewisses Basiswissen. Es ist klar, dass man nicht alles wissen kann, aber zumindest, dass man etwas einordnen kann, dass man weiß, wo etwas hingehört.** Und man liest zwar vorher, man geht einmal in eine Weiterbildung, man hat so punktuell, aber dann, wenn du richtig musst, dann gehst du los und fängst an, so sind wir nun mal, vorzubereiten, also kurz vorher, vor den Ferien einen Plan zu machen, wie könnte es sein. Und dann wächst das so. Und in der Phase erlebt sie mich eben. (lachen)

L2: Ich habe sie auch erlebt, wie sie sagte "Scheiße, jetzt muss ich damit anfangen, mir graut es..."

L1: Ja, ich habe es auch von mir weg geschoben, und dass ich mir das überhaupt zugetraut habe, war eigentlich dank ihrer Vorgehensweise und das fand ich so schön bei den Weiterbildungen und deswegen auch wirklich ein herzliches Dankeschön, dass sie dieses Prinzip, das hatte ich vorher für mich nicht verinnerlicht, nicht aus den Büchern heraus, erst, als sie uns das wirklich gezeigt haben: das Vorbild in der Natur, das biologische Phänomen und jetzt der Transfer und was macht die Technik daraus. Und das mit einfachen Dingen und das ist ja genau das, was man den Schülern abmag. Weiter sind gar nicht die physikalischen Hintergründe, die dahinterstehen und die Kräfte und was weiß ich...und **davor hatte ich eigentlich Bammel, ob ich das noch leisten kann, nach meiner langen Abstinenz von Physik und diesen Grundlagen. Und deshalb, je mehr man das macht, und man sieht ja auch, wie das bei den Schülern ankommt, und desto mehr Sicherheit und Erfolg nimmt man da für sich auch mit.** [...] Ich habe auch Fotos gemacht und gefilmt.

L1:[Beschreibung des Faserverbundexperiments]

Eine dritte Lehrerin betritt den Raum.

F: Seit wann unterrichten Sie das Thema Bionik?

L3: Drei Jahre

F: also seit 2007?

L3: Ja.

F: Seit 2005 ist es ja neu im Lehrplan.

L3: Genau und 2007 ist es dann in der 10. Klasse angekommen.

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer...?

L3: Bio – Chemie.

F: In der Unterrichtsstufe?

L3: 10.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung?

L3: 28 UE, das ist aber nicht realistisch.

F: Was heißt das?

L3: Ich habe realistisch 12 Doppelstunden, ein was geht für die Informatik ab, und dann ist es so, am Anfang hatten wir 15 Doppelstunden und da kamen dann Exkursionen etc. mit dazu - es hat sich dann bei 11 oder 12 Doppelstunden im Profilunterricht eingeepegelt. Mehr Zeit hab ich nicht. Genau. Da mache ich z.B. bionische Anwendungen, da habe ich Materialien gesammelt. Die stellen sie sich vor - das sind mal 45 Minuten. Also ich rechne ja 45 Minuten. Ja, was mache ich noch so, soll ich mal meinen Hefter holen?

F: Das ist auch eine der nächsten Fragen: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt/ welche planen Sie durchzuführen?

L3: Ich mache Oberflächenstrukturen, das, was wir bei dem Dr. Ditsch gehört haben, dann mache ich die bionische Denkweise, was ist das, und mache das eben an den Flugsamen. Die habe ich gesammelt und dann sollen die eben Flugsamen basteln, die ein Überraschungsei, das von hier oben, wenn man es aus dem dritten Stock wirft, unten ankommt. Wir messen auch Zeiten, aber auch das Flugverhalten, die genaue Übertragung, das Flugverhalten ist ganz wichtig, dass das also auch wirklich so trudelt wie die Hainbuche,...und das wird dann bewertet, auch die Verarbeitung.

F: Wie lange haben Sie dafür Zeit?

L3: Sie müssen das ja auch noch Protokollieren, also auch die Schritte der bionischen Denkweise und daneben, was sie auch konkret gemacht haben. Vier Doppelstunden, das dauert einfach auch so lange.

F: Gut, Oberflächen, Fliegen,...

L3:...und Falten, aber das ist immer so, da habe ich ihnen natürlich erzählt, Faltungen sind notwendig, haben wir hier einen Frauenmantel gesucht, ein paar Beispiele gezeigt, und dann haben wir gefaltet. Von den 15-20 Schülern, die das sitzen, sagen zwei Nein, das ist es nicht, aber 18 finden das richtig gut und die staunen auch, wie schnell oder wie leicht oder wie klein man etwas verpacken kann und die finden das schon interessant.

F: Ich könnte mir vorstellen, dass es am Anfang auch viele Hemmungen gibt, weil man das Falten so nicht gewöhnt ist, oder diese Genauigkeit, die man auch benötigt für das Falten.

L3: **Aber das kriegen Schüler besser hin als wir.** Dann habe ich z.B. auch gemacht diese Röhrensysteme, wie man Papier falten kann, damit es haltbarer wird und möglichst viele Lehrbücher übereinander gestapelt aushält. Und dann habe ich noch keine Ziegel macht. Was mich interessiert ist dieses Abflusssystem, wie kann man das so gestalten, dass möglichst nichts liegen bleibt. **Aber das sind ja dann schon wieder so viel Stunden in der Vermittlung, Planung, Durchführung - dass es dann nicht richtig in meinen Zeitplan reinpasst.** Also ich variiere auch, weil es sonst langweilig wird. Da wollten schon mal ein paar einen Vortrag machen unbedingt, und da habe ich dann das mit dem Flossenstrahleffekt gegeben.

F: Das wäre meine vorhergehende Frage gewesen: welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L3: das Lehrbuch, das grüne Arbeitsmaterial

[Unterbrechung: Ziegeldemonstration/Greiferoptimierung: L1 demonstriert die entstandenen Modelle aus dem Unterricht]

F: Das sind ihre ganzen Materialien?

L3: Ja, das hier sind alles Ihre Faltungen, die ich alle nachgefaltet habe, ich wollte ja alles ausprobieren. Wie gesagt, ich falte ja durchaus gerne.

F: Es sind auch noch ein paar neue Sachen dazugekommen auf der DVD.

L3: Ganz am Anfang 2007, was man alles machen kann. aus dem Lehrplan, wie denke ich bionisch, da hatten wir Teilgebiete zur Einführung. Flugsamen, haben wir versucht, Kriterien zu finden. Flugverhalten, wie filigran,...

F: Die Schüler sind ja eigentlich auch ziemlich streng mit sich.

L3: Ja, das sind sie. Das ist nicht irgendwie wischiwaschi, dass da Punkte verschenkt werden. Genau, ein Test, Fliegen, Schweben. **Die fangen ja dann an, kreativ zu werden, einer kam mit einem Modell, manche beginnen dann, Berechnungen zu machen, die melken richtig alles aus.** Das sind so Dinge, die ich nicht schaffe,...eigentlich komme ich dazu nur noch am Rande. Selbstreinigungseffekt: Tulpe, Kohlrabi, Frauenmantel, was sich eben so findet, und da gucken die, wo was aberflut. Das ist immer ein mächtiges Gematsche,... [Diskussion Selbstreinigungseffekt, Optimierung des Knetexperiments für Lotuseffekt]

F: Vielleicht können Sie sagen, welche Bionik-Themen stoßen ihrer Meinung nach bei den Schülern auf das größte Interesse, haben Sie da ein Thema?

L3: Es geht immer um Praxis, also grundsätzlich wollen sie was tun, und ansonsten kann ich das nicht so sagen.

F: Es gibt ja in den Klassen 9/10 sechs verschiedene Lernbereiche im naturwissenschaftlichen Profil. Sie machen davon nur eines, nur die Bionik?

L3: Ja.

F: Gut, dann können Sie die nächste Frage gar nicht beantworten, es ging um den Vergleich des Interesses der Schüler zwischen den Lernbereichen. Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen für den Bionik-Unterricht zur Verfügung steht? (1,2,3)

L3: Also ich finde es zu wenig. Da wir ja zwei Gruppen dieses Jahr haben, habe ich in meinem Leichtsinn gedacht, wir ... aber die müssen ja drei Themen belegen in der zehnten Klasse und sind zeitlich absolut eingeschränkt. **Sagen wir mal so, um einen Einblick zu bekommen, ist das, denke ich, ok, gibt ja auch noch andere wichtige Fächer: Bio, Chemie, Chemie, Bio. Das ist ja sonst auch ungerecht, weil die mit der Profilnote auch wirklich ausgleichen können - also wenn da eine Zwei steht, können die ne Mathe-5 ausgleichen. Da muss natürlich auch Stoff dahinter stehen. Kommt man soweit in der Behandlung, dass es das wert ist. Ob man nicht lieber hätte weniger Teilgebiete und dafür mehr Inhalt. Für den Überblick geht das schon. Aber für die Wichtung im Verhältnis zu Mathe und Deutsch dann nur ein Einblick und der kann ne Mathe-5 ausgleichen, finde ich ungerecht.**

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht.

L3: **Zwei Drittel.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch [in Prozent]? Auf einer Skala 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert).

L3: Man muss sie machen lassen. Eher kann man sagen, Jungs "Hier muss ich was basteln" basteln in unserem Auge.

F: Ist das Interesse eher hoch oder niedrig.

L3: Na ja, die sind 10. Klasse, die sagen sich, mal sehen was kommt. Mal abwarten, so schätz ich das ein.

(...) *Tonbandgerät-Akku leer*

Fall 4

F: Seit wann unterrichten Sie das Thema Bionik?

L: Ja, 2005 hat das begonnen, da war 2005 die achte Klasse, 2006 die neunte und 2007 die zehnte. Also 2007.

F: Also in der 10. findet die Bionik auch statt.

L: Ja, bei uns in der Zehnten.

F: Jedes Jahr auch?

L: Ja.

F: Das ist immer ein Drittel des Jahres.

L: Genau.

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer...

L: ...Bio und Chemie, und eben dieses Profil.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung, wie im Lehrplan vorgesehen die 28 UE?

L: Also wir haben das die vergangenen Jahre etwas anders aufgeteilt, weil wir ein ganz anderes Konzept hatten. Da kann ich jetzt aus dem Kopf gar nicht mehr so viel sagen. Im ersten Jahr war es ganz knapp, da habe ich bestimmt maximal 6 Stunden nur gemacht, weil wir das ja auch an diesem Abend der Wissenschaft hatten. Und das war ja unser Schwerpunkt. Da haben wir die meiste Zeit für die Präsentationen dann verwendet und eben für diese Vorbereitung.

F: Das hatte sozusagen auch wenig mit Bionik zu tun.

L: Ja genau. Wir fangen dann mit der Kommunikation an und dann war das hintendran nur noch die Bionik und damals war es auch noch so, dass unsere Teamzusammensetzung auch anders war. Da war eine andere Kollegin noch mit dabei und da hat sie ein bisschen Bionik gemacht und ich ein bisschen. Und da hatten wir vielleicht zusammen 12 Stunden, schätze ich mal, im ersten Jahr gemacht. Da hatten wir das Thema Fliegen und ich habe da die Einführung gemacht und den Lotuseffekt. Und im Jahr darauf war es ein bisschen anders, da hatten wir ja den Abend der Wissenschaft außerhalb des Theaters, da lag auch dort der Schwerpunkt, so dass eigentlich erst dieses Jahres [gemeint ist das Schuljahr 2009/10] die Bionik durchgeführt haben. [kurze Beschreibung Abend der Wissenschaft]

F: Gut. Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung für den Bionikunterricht?

L: Ja, das sind DVDs von der Stadtmediensstelle, die wir dort ausleihen können.

F: Stadtmediensstelle? Ist es eine Bibliothek?

L: Nein, da gibt es die Stadtmediensstelle, die haben Videofilme, Dias, DVDs...

F: Da kann jeder hin oder ist das nur für Schulen zugänglich?

L: Erstmal für Schulen, aber ich kann mir vorstellen, es geht auch privat.

F: Gut, also Videos, DVDs,...

L: Ja, und dann die Physiksammlung, die Biosammlung.

F: und direkt ein Bionikmaterial?

L: Haben wir noch nicht sehr viel.

F: Das Paetec-Buch?

L: Ach so, ja, das Paetec-Lehrbuch haben wir.

F: Und die grüne Experimentiermappe?

L: Die habe ich, privat.

F: Aha, das ist also kein Schülersatz?

L: Nein.

F: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt/ welche planen Sie durchzuführen?

L: Also im vergangenen Jahr war das bei mir als erstes eine Einführung, z.B. Klette und dann Klettverschluss, dann Lotuseffekt, die Kollegin in der Physik hat das Fliegen behandelt und in diesem Zusammenhang hatte ich dann auch diese Modelle gebastelt, und wie gesagt, war das dann erschöpft. In diesem Jahr waren das also Lotuseffekt, Kerbstrukturen, Flossenstrahl, Faltungen und Faserverbund.

F: Welche Bionik-Themen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern, bei den Schülerinnen? Vielleicht kann man das sogar trennen voneinander. [Pause] Vielleicht kann man das auch nicht so einengen.

L: Ja, ich kann mir vorstellen, das Fliegen habe ich ja selbst noch nicht unterrichtet, dass das vielleicht bei den Jungs ganz gut ankommt. Die Faltungen würde ich mehr bei den Mädchen ansiedeln. Bei dem Finray-Effekt hatte ich den Eindruck, da gab es keine Unterschiede.

F: Hier nun eine Tabelle. Vergleichen Sie die das Interesse der Schüler mit den anderen Lernbereichen. In dem naturwissenschaftlichen Profil existieren diese 6 Lernbereiche. Sind die Interessen dafür unterschiedlich? Welche Lernbereiche führen Sie durch? z.B. Boden?

L: Nein. Kommunikation, astronomische Beobachtungen und Bionik und das haben wir in diesem Jahr so angesiedelt, dass wir uns in die Kommunikation reinteilen, Physik und Bio, also wir haben ja immer Biolehrer, Physiklehrer und Informatik ist ja sowieso für sich. Kommunikation haben wir also Physik und Bio geteilt. Dann übernimmt die Physiklehrerin allein die astronomischen Beobachtungen und ich übernehme erstmals dieses Jahr die Bionik allein.

F: Und die drei Lernbereiche der neunten Klasse macht ein ganz anderer Lehrer?

L: Also wir haben drei Teams. Zwei, die in der achten Klasse arbeiten, zwei in der Neun und zwei in der Zehn und immer Bio- und Physiklehrer. Und in der 9 und in der 10 machen wir zurzeit diesen Blockunterricht über fünf Wochen ein Lehrer.

F: Da wird die Biolehrerin das Thema Boden behandeln?

L: Bio und Licht und Farben macht auch der Bio-Chemielehrer. Steuern und Regeln ist dann die Physik.

F: Aha, dass heißt, Sie können nun nicht vollständig die Tabelle auswerten, im Vergleich der Lernbereiche zueinander.

L: Nein, nur für meine drei Lernbereiche. **Ich glaube, die Kommunikation liegt vorn, weil man hier wirklich sehr schön die Verknüpfung hat von allen Dreien: Bio, Chemie und Informatik. Da habe ich wirklich das Gefühl, die gucken von drei Seiten drauf. Die Informatik interessiert sie mächtig und auch die physikalische Seite machen sie gern.**

F: Was beinhaltet da die physikalische Seite?

L: Da haben wir Telefon, Radio gebaut und sowas, da haben die Jungs vor allem Interesse. Es gibt ja im naturwissenschaftlichen Profil doch mehr Jungs, die Mädchen gehen verstärkt ins musische Profil. **Und die Jungs wollen dann ja auch richtig experimentieren und mit basteln.**

F: Und Astronomie?

L: Das hat sie eigentlich auch interessiert. Ich war mit in der Sternwarte dieses Jahr. Also Kommunikation eine 5 und Bionik eine 4 würde ich schon geben.

F: Die Reihenfolge wird so bestehen bleiben in der 9. und 10. Klasse?

L: Ja.

F: Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht auf einer Skala von 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel)?

L: Also durch unser Praktikum finde ich es eigentlich in Ordnung.

F: Ja, das Praktikum eine Woche war ja aber etwas Besonderes.

L: Ja, aber das wollen wir so beibehalten. Ich möchte das nächste Jahr selbst durchführen. Das war jetzt für mich zum Lernen so ein bisschen, weil mir das selbst auch nicht so ganz einfach fällt, auch dieses ganze Falten und ich möchte das schon gern in dieser Form weiterführen. **Und wir haben mit der Profilwoche die Möglichkeit, dass die Schüler sich erstmal für die unterschiedlichen Bereiche eintragen können, auch ihren Interessen nachgehen können und ich denke, durch diese Woche ist das gut.**

F: Diese Woche steht allen Profilen zur Verfügung.

L: Ja, das ist dieser fächerverbindende Unterricht, der an unserer Schule in dieser Form organisiert wird und dadurch hat jedes Profil eine Woche. [kurze Erläuterung der strukturellen Möglichkeiten des Profilunterrichts]

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für das Experimentieren zur Verfügung steht.

L: **Ja, das ist ja eigentlich in der Hand des Lehrers. Das ist also unterschiedlich und ich möchte das so anlegen, dass also der Schwerpunkt auf dem Experimentieren liegt.** Und wie gesagt, beim Lotuseffekt haben wir dann oft Experimente gemacht und zum Experimentieren gehört natürlich auch dazu, dass sie zu den Erklärungen vordringen - selbständige Schülerarbeit würde ich hier sagen, und das haben sie ganz allein gemacht. **Sie haben also eine Aufgabenstellung bekommen, wir haben vorher noch mal durchgesprochen, wie muss ein Protokoll aussehen, weil das ja immer Schwierigkeiten bereitet. Und dann mussten sie eben selbständig arbeiten.**

F: Und fiel ihnen das schwer oder hatten sie darin schon Übung?

L: **Also bei der Protokollführung gibt es insgesamt immer Probleme, d.h. dass die immer viel zu viel schreiben** und darauf weist du noch mal hin, aber was da eben spannend ist bei dem, es waren ja 4 Experimente, die sie machen mussten und sie hatten erstmal die Aufgaben, die Experimente durchzulesen, sich die Protokolle erstmal zu überlegen, für die Beobachtung durften sie nur eine Tabelle anfertigen und nur in Stichpunkten schreiben, sie mussten also eine Tabelle entwerfen und ganz kurz und knapp und diese auch planen. **Und da haben die meisten nicht richtig geplant.** Beim Experiment 3 muss man die Struktur zerstören, beim Experiment 4 brauchten sie diese dann wieder. Da kam dann erst der Effekt. **Das sind einfach die Punkte, die ein Schüler noch nicht beherrscht. Das muss man eben lernen. In dem Moment, wo sie es dann kapiert hatten - aber nur so lernt man es.**

F: Mit Fehlern.

L: Ja genau. **Und die haben dann auch experimentiert, d.h. es standen nur die Geräte vorn, sie hatten die allgemeinen Aufgaben und mussten dann die Erklärung selber finden, mit dem Lehrbuch eben.**

F: Also der Hauptteil wird für das Experimentieren verwendet?

L: Ja.

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch? Gibt es da Unterschiede zwischen dem Interesse der Jungen und Mädchen?

L: Ich würde sagen, dass die Jungs mehr an den Techniksachen interessiert sind, mehr Bescheid wissen als die Mädchen. **Also**

bei der 10 jetzt fällt es mir auch auf, dass du eine ganze Reihe an Mädchen dabei hast, die für Technik nicht so offen sind, aber das ist vielleicht nur der Jahrgang.

F: Und bei der Bionik auch?

L: Ja, da man immer versucht, den Bezug zur Technik hinzubekommen.

F: Und da haben die Mädchen nicht so den Draht dazu?

L: Ja. Ich würde den Jungs eine 4 geben und den Mädchen eine 3. Du hast natürlich auch sehr interessierte Mädchen [Beschreibung eines Mädchens], aber das sind dann Mädels, die wirklich auch insgesamt gut sind. Aber es gibt auch welche, für die ist etwas ganz anderes wichtig.

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L: Mit der Physik, wir arbeiten eng zusammen. Ganz einfach, weil ich die Physikthematik in der Bionik mit dabei habe.

F: zum absprechen.

L: zum absprechen, aber auch noch mal selber auffrischen, auch die Verknüpfung, wo hat den die das im Lehrplan, worauf kann ich aufbauen.

F: und die Informatik?

L: ja, da muss ich jetzt mal sagen, unsere drei Leute hier, das klappt super, echt. Die 8er arbeiten auch sehr gut zusammen und die 9er sind in diesem Jahr neu zusammengesetzt.

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken? Es geht ja in dem naturwissenschaftlichen Profil darum, aus drei verschiedenen Bereichen oder gar mehr Bereichen ein Thema zu bearbeiten. Kann das wirklich auch dahin führen, dass es fächerübergreifendes Denken anregt? Merken die Schüler, dass sie etwas von verschiedenen Seiten her betrachten?

L: Das hängt davon ab, ob man es immer wieder bewusst macht. **Das ist ja wie überall, du musst versuchen, das was wichtig ist, immer wieder bewusst zu machen, nur dann können sie das ja entsprechend nachvollziehen**, z.B. die Methodik, dass du immer wieder sagst, zack zack zack, das ist die Methodik, das wollen wir jetzt machen an dem und dem Beispiel. Und wenn sie das immer wieder machen, denke ich schon, dass der Effekt erreicht wird.

F: also auch über die Fachgrenze hinaus?

L: Ja, wichtig ist, dass es immer wieder Thema im Unterricht ist, dass du immer wieder darauf hinweist, bei der Einführung Kommunikation zum Beispiel, was ist Kommunikation, dann kommen ja verschiedene Sachen, dass die das also den verschiedenen Fachbereichen zuordnen, das machen die dann in Physik, in Informatik und das machen wir jetzt in Bio. Da kommt dann auch immer mal wieder die Verknüpfung.

F: Die Verknüpfungen sind also sehr wichtig, es ist schwer, selber darauf zu kommen?

L: Also von selber kommen sie nicht drauf, das ist Sache des Lehrers, der muss das immer wieder in der Hand haben und immer wieder bewusst machen, diesen fächerübergreifenden Gedanken. Und auch die Denkweise, die Denkschritte musst du immer wieder bewusst machen oder die Methodik, das ist insgesamt ja auch wichtig. Wenn du das machst über drei Jahre, bin ich schon überzeugt, dass das dann irgendwo Früchte trägt.

F: Also auf jeden Fall?

L: Ja.

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 5

[Einleitung, CD-Übergabe, Austausch über Bionik-DVD]

zum fächerverbindenden Unterricht:

L: Wo ich nicht so weiß, wie sinnvoll das ist, was so rauskommt, was im Endeffekt, ob es immer nur eine Ergänzung sein kann, oder ob man sagt, das ist eigentlich die Zukunft, dass man das Problem in den Mittelpunkt stellt und dann von verschiedenen Seiten beleuchtet. Aber das hat ja mit der Bionik jetzt in der Sek. I nur zu tun an unserer Schule, in der Sek. II ist es sehr wichtig, eigentlich ständig. Ich denke immer nur, für die [nicht zu verstehen auf dem Tonband] ist weiterhin nur alles Spaß. Und so, wie es bei uns an der Schule auch durchgezogen wird, der fächerverbindende Unterricht, **da kniet sich auch der Lehrer nicht rein. Sondern man sagt, das ist ein Selbstläufer.**

F: Da spielt der Lehrer auch eine entscheidende Rolle. um darauf aufmerksam zu machen, hier kommt die Biologie, hier die Chemie, hier die Physik ins Spiel - eine Art Supervision.

L: Ja, die fehlt, zumindest so, wie ich es beobachte, wie es bei uns umgesetzt wird, das fehlt total. **Das ist eher eine Art Spaßwoche.**

F: Es gibt ja auch noch die anderen Lernbereiche, z.B. Boden. Ich könnte mir vorstellen, dass man das dort schon gut umsetzen könnte. Boden, da gibt es viele Tiere, chemische Prozesse, Physik -

L: Na klar, physikalische Erosion.

F: Oder das Wasserverhalten.

L: Richtig. Tonminerale. Also, so was finde ich wieder gut. Aber da weiß ich, dass an Boden, da trauen sich wenige ran, weil das schon schwierig ist.

F: Ja, gerade die Kooperation der verschiedenen Fachbereiche Bio, Chemie, Physik scheint da ja auch unabdingbar, dass das aber manchmal nicht funktioniert. Man muss sich also auch außerhalb des Unterrichts mal zusammensetzen...

L: Das wurde an unserer Schule einmal gemacht, da wurde ein Lehrplan entworfen und die Materialien. Und da ist es jetzt so, dass wir dann hingehen zu dem Hefter, etwas rausnehmen und rein reihen und das war es dann. Im Profil weiß ich das nicht so, da kriege ich nur mit, dass die Absprachen dahingehend laufen, wer ist diese Woche dran, aber ansonsten.

F: Und was gibt es außer dem Profil für fächerverbindenden Unterricht?

L: Jede Klasse hat ja richtig fächerverbindenden Unterricht, die laufen dann eine Woche an unserer Schule, da bearbeiten die Kinder dann jahrgangsstufenspezifisch Themen.

F: Eine Art Projektwoche?

L: Na nicht ganz, es bleibt der Fächerkanon erhalten. Z.B. Klasse 5 ist Thema Fliegen, da ist dann die Bio dabei und, die Geographie war nicht dabei, aber Mathe war dabei, viel ist ja da noch nicht, jedenfalls vier verschiedene Fächer, und am besten noch Sport und Kunst, die bearbeiten dann jeweils das Thema Fliegen aus ihrem Blickwinkel heraus. Und das wird eine Woche gemacht. Ich finde Idee an sich nicht schlecht, aber die anderen, dadurch, dass es nicht richtig rausgelöst ist, dass man sagt, man macht jetzt wirklich drei Tage das Thema Fliegen, sondern das die Schüler weiterhin Französisch und Englisch haben, wieder was ganz anders, habe ich das Gefühl, das kommt gar nicht so richtig an.

F: Das müsste also eher wie ein Block sein, so dass wirklich alle sich mit dem Thema beschäftigen.

L: Ja, so kannte ich es von meiner anderen Schule, fand ich jetzt persönlich besser. Allerdings ist es hier einfacher umzusetzen, wenn der Unterricht so erhalten bleibt. **Und was der fächerverbindende Unterricht auch in den Vordergrund stellt, sind ja Selbsterarbeitung usw., was ich auch wieder schwierig finde, weil vielleicht viele Dinge, meiner Meinung nach über den Frontalunterricht an dieser Stelle besser wären, dass man sagt, man kriegt einen Input.** Das ist ja auch im Profilunterricht so.

F: Ist es direkt nicht gewollt, dass man Frontalunterricht macht?

L: Na ja, z.B. habe ich dieses Jahr das Thema Elbekomplex gemacht, und das mal von der Geografie aus beleuchtet und die haben dort 90 Minuten. Und dann mach mal in 90 Minuten eine alternative Lernmethode, und wenn ich dann sage, jetzt gebe ich erstmal noch einen Input, passiert gar nichts.

F: Ja, nun zu den Fragen. Seit wann unterrichten Sie Bionik?

L: Ich werde es erst 2010 unterrichten.

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer...

L: Bio und Geo [kurzer Exkurs zu diesem Fächerkanon]

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?

L: In der 12, obwohl man theoretisch auch die Inhalte jetzt tauschen kann.

F: Durfte man das vorher nicht?

L: Ich habe das jetzt auf einer Fortbildung mitbekommen, da wurde gesagt, man darf Inhalte in der 11 und 12 tauschen. Vorher war das ja immer deutlich schwierig, da durfte man nur halbjahresweise tauschen, wenn die Schüler wechseln.

F: Ah ja.

L: Damit das gewährleistet wird und jetzt aber haben wir ausdrücklich gesagt bekommen, dass man die Inhalte in der 11 und 12 auch tauschen kann. Den Grund weiß ich nicht.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung?

L: Das habe ich vergessen, da muss ich noch mal gucken.

F: Wie im Lehrplan 38 UE?

L: Na ja. Nicht ganz so viel.

F: Haben Sie auch den Profilunterricht unterrichtet?

L: Ja, einmal habe ich Vertretung machen sollen, aber weil ich das erst eine Woche vorher erfahren habe,...

F: Ja, sich mal schnell in die Bionik einarbeiten, wäre schwierig geworden. Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L: Ihr Material, welche Sie auch schon ausgegeben hatten und ansonsten Unterrichtsmaterial nicht. Das muss ich mir selber zusammenbasteln. Es gibt ja viel zu dem Thema, finde ich. Aber erarbeiten muss man es sich selber.

F: Es gibt ja dieses Paetec-Lehrbuch. Verwenden Sie dieses?

L: Das verwendet ja meine Kollegin im Profil. Das ist das Riesenproblem, was ich sehe, weil es genau das ist.

F: Da ist die Frage, was man in der 12 macht?

L: Richtig. Und vor diesem Problem stehe ich dieses Jahr erstmalig. **Und das ist eigentlich auch das, was mir Kopfzerbrechen bereitet.**

F: Weil es auch eine größere Stundenzahl als im Profilunterricht ist?

L: **Ich denke, dass das Problem eher ein anderes ist. Und zwar, dass man für die Bionik ganz viel Physik bräuchte, Physik und Mathe.** Dann könnte man unheimlich viel an Berechnungen anstellen und Optimierungen machen. Dafür gibt es ja Beispiele mit Vektorrechnungen, wo ich sage, mein Gott, das hatte ich mal. **So, und damit gurken wir also mit dem Wissen, was für über die Bionik haben - also, schön, dass wir die biologische Seite beherrschen. Aber theoretisch bräuchte man einfach nur Wissen aus Physik und Mathe.**

F: Und sich für so einen Zweck mit dem Physiklehrer zusammensetzen, ist dann zu umfangreich? Wahrscheinlich muss man da sehr viel sich zurückrufen ins Gedächtnis.

L: Na, da ist dann die Frage - dieser Kurs BtB [Biotechnologie und Bionik] ist für einen Lehrer und einer Doppelstunde vorgesehen.

F: Also kann sich keiner reinteilen?

L: Man könnte, das stimmt. Und vielleicht wäre das auch sinnvoll. **Was ich aber, was aber vielleicht noch sinnvoller fände, wäre Weiterbildung.** Und dort dann aber wirklich intensiv, dass man sagt, bionische Mathematik und Physik, dass man einfach so ein paar Sachen. Und dann könnte man meiner Meinung nach sehr einfach sagen, in der 10 macht man die schönen Faltungen und den Spaß, dass man den von außen betrachtet und in der 12, da geht es dann richtig ans Eingemachte. Dass man da also mehr macht.

F: [kurzer Exkurs in Praxisrelevanz Bionik durch den Interviewer]

L: **Laut Lehrplan sollen die Schüler ja auch befähigt werden, eine wissenschaftlich fundierte Meinung zu entwickeln, und dabei wollen wir ihnen ja helfen. Mehr ist es ja eigentlich nicht, aber das ist schon viel.** Das man dann verbindet, Unterricht vor Ort bei Bionikern, da guckt, wie reagiert der Markt und dann solche Optimierungsaufgaben macht, dann wäre es sinnvoll, aber da fehlt mir die Zeit und das Wissen, hauptsächlich Physik und Mathe. So ein bisschen Chemie traue ich mir noch zu, mir selbst zu erarbeiten, so wie ich mir auch zutraue, die biologischen Inhalte zu erarbeiten. Aber ich denke, der wirtschaftliche Aspekt sollte da wirklich mit rein, denn es gibt ja wirklich wunderschöne Sachen, die gemacht werden, und ich denke mal, dass weiß ich gar nicht mal sicher, aber was so der Kostenfaktor ist, wer das umsetzt und ob es sich wirklich lohnt. [Pause] **Also vor der Bionik habe ich noch richtig Bammel, weil ich, zumindest derzeit, was ich zumindest weiterführend mache, ohne die, die Profil besucht haben, zu langweilen.**

F: Ja, das sind vielleicht sowieso dieselben?

L: Derzeit ist es so. Und das finde ich richtig tragisch und bin eigentlich froh, noch ein bisschen Zeit zu haben. Und habe dann die Hoffnung, mir das noch anzueignen.

F: Ja, haben Sie auch das grüne Heft von Duden-Paetec?

L: Ja.

F: Da sind ja auch noch mal ein paar Experimente drin, die man machen könnte, sie sind zumindest etwas anders, als das, was man schon kennt.

L: **Also ich denke, da ist es wirklich wichtig die Absprache, was macht man in der 10 und in der 12. Und vor allem, wo liegt dann der wissenschaftlich vertiefende Aspekt. Weil das Profil an sich meiner Meinung nach auch nicht so vertiefend ist.**

F: Ja, da geht es sicher auch um den Überblick. Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt/ welche planen Sie durchzuführen?

L: Ja obwohl, dass ist ja das, was ich eben schon gesagt habe, etwas hereinzunehmen, dass man am biologischen Vorbild etwas sieht und das dann in irgendeinen Algorithmus überführt, also dass man das zumindest mal nachvollzieht, also dass man jetzt nicht unbedingt selber was entwickelt. Aber hier also wirklich das Verständnis dafür zu kriegen, wie man vorgeht, wenn man etwas sieht und das dann in irgendeinen Algorithmus überführt und dann [Telefon der Lehrerin klingelt]

F: Also eher noch mathematisch-physikalische Vertiefung bearbeiten?

L: Ja, aber das wäre ein Traum, weil ich es noch nicht kann. Aber ich habe ja die Hoffnung - also ich denke, das wäre ja auch genau auch in der 12. ja auch Vektorrechnung und so was haben, wäre das ja auch mal Sinn und Zweck. Das wäre dann ja auch der fächerübergreifende Gedanke. Aber vielleicht ist es wirklich eine Idee, sich wirklich auch den Mathe- oder Physiklehrer ins Boot zu holen, die nehmen vielleicht auch mal ein Thema mit rein und haben Ideen. Denn alle machen Mathe und alle machen Physik, aber nur ein Bruchteil macht den Kurs. Insofern würde das dann nur für den Bruchteil, die das besuchen, dass die das merken. In Mathe könnte man es bestimmt reinkriegen, als Anwendungsaufgaben. Gibt es da Überlegungen, dass man solche Berechnungen mit rein nimmt?

F: Es gibt ein paar Berechnungen, aber ich habe eher mit den Schülern aus dem Profil gearbeitet, denn der Kurs wird ja erst in diesem Schuljahr von den Schulen angeboten. [Behandlung der Bionik erst in der 12. Klasse] Als es 2008 mit dem Wahlgrundkurs begann, führte nur eine Schule den Kurs durch [Erläuterung des Solarabsorber-Moduls und Finray-Computerprogramm der DVD].

L: Ja so etwas wäre ja dann günstig, setzt aber auch wieder voraus, dass die Lehrer sich entsprechend durchfinden.

F: Dass die Informatiklehrer die Schüler eventuell auf das Programm vorbereiten, die Beschreibung auf der DVD ist aber so entwickelt, dass man das auch ohne Informatiklehrer durchführen kann. Es ist nur die Frage, ob es dann ein Biologielehrer auch macht, wenn er mit der Informatik auf Kriegsfuß steht und sich vor den Schülern nicht blamieren will. Da wäre eine Kooperation schon hilfreich.

L: **Ja, da muss man natürlich vorsichtig sein, dass man sich selber nicht das Standbein absägt. Aber theoretisch wäre so eine Kooperation schon sehr hilfreich oder aber es muss wirklich eine entsprechende Ausbildung geben**, weil der Lehrer sagt, ich möchte das und das unterrichten, weil ansonsten in Heimarbeit, abends nebenbei sich zu erarbeiten. Es müsste so ungefähr ablaufen wie im Profilunterricht, dass man sagt, man teilt sich in ein Thema rein.

F: Ja, das ist sicher mit dem Wahlgrundkurs etwas schwierig, weil hier auch die Biotechnologie den größten Teil ausmacht und ich nehme mal an, das macht der Biologielehrer allein.

L: Sagen wir mal die Biotechnologie ist in dem Zusammenhang pure Genetik, Ethik, gut das kriegt man mal glaube ich noch gut hin, und ansonsten ein bisschen Mikrobiologie - das ist eigentlich gut abdeckbar.

F: Ja, es ist dann nur der Bionikteil, in dem fächerverbindende Arbeit wünschenswert wäre.

L: **Ja, da finde ich es richtig schade, dass man eben, also ich sitze unzufrieden davor und sage mir, ich könnte so Schönes machen und du kannst es nicht.**

F: Gut, man könnte die Zeit auch nutzen, den Schülern hier ein eigenes Projekt ans Herz zu legen, welche man dann betreut, eine Arbeit Freiarbeit, denkt euch ein Projekt aus zu einem Thema, baut ein Modell, präsentiert es.

L: So etwas wäre ja wünschenswert, wenn ich aber an meine Grenzen stoße - und **man muss bedenken, es liegt auch noch ungünstig in der 12-2, wo sie vom Vorabitur ins Abitur reinkommen**, wo die letzten Wochen sowieso schon. Und dort zu sagen, dort noch ein Projekt rein, oder man muss dann wirklich sagen, dass man Inhalte tauscht, dass man sagt, man nimmt es in die 12-1, macht dort das große Bionik-Projekt und setzt dann noch ein bisschen Biotechnologie hintendran. **Ich habe ja eh festgestellt, dass den Leuten dieser BtB-Kurs als Bionik verkauft wird.**

F: Obwohl der Großteil ja Biotechnologie ist?

L: Ja und das habe ich damals auch gar nicht gewusst, als ich selbst die Werbetrommel in der 10 gerührt habe. Und als es dann hieß, dass ich das selber machen soll, habe ich festgestellt, da ist ja gar nichts, nur irgendwo ganz hinten. Jetzt sage ich ihnen ja schon immer die Wahrheit. Wir nennen es dann einfach Genetik, Genetik in der Anwendung.

F: Ich könnte mir vorstellen, dass viele auch den Unterschied nicht sehen zwischen Biotechnologie und Bionik?

L: Richtig. Ich hatte ja am Anfang das Gefühl, das ist ein geschickter Werbetrick gewesen, um auch noch Leute reinzukriegen, weil die Biotechnologie als Wort ja erstmal abschreckend klingt. Also dass habe ich festgestellt, aber wenn man dann erst mal klar macht, was es eigentlich für Inhalte sind, und das bietet sich ja an, weil man in der 10 schon Genetik hat, dass man dann sagt, die, die irgendwie weitergehen wollen in Richtung Bio, die sollten unbedingt beide Kurse belegen, weil der eine die Genetik schon vertieft und der andere gibt einen allgemeinen biologischen Überblick. Ja aber das finde ich jetzt so schade zum Thema Bionik, dass es so hinten dranhängt zu einem ungünstigen Zeitraum. Und das einfach da jegliches vertiefendes Material bislang schwierig zu bekommen ist. Was nicht schon wieder so tief ist, das findet man ja auch, dass man davor steht wie das Schwein vorm Uhrwerk, das findet man ja auch, dass man sagt, schöne Diagramme, aber.

F: [Hinweis auf DVD Thema Schwarmverhalten, Verweis auf Computersimulation]

L: Und da hängt es nicht unbedingt daran, dass wir nicht wollen, sondern dass die technischen Voraussetzungen an der Schule bescheiden sind.

F: Aber es gibt schon ein Computerkabinett?

L: Ja, aber da prügeln sich drum.

F: Oder man gibt es mal als Hausaufgabe auf.

L: **Ja und da sieht man dann wieder, das Glück haben wir ja, dass der Kurs freiwillig ist, da hat man einen überwiegenden Prozentsatz von Wollen.** Aber man hat ja auch solche Pappnasen drin, die sagen, ich mache lieber BtB als Bio, in der Hoffnung, es ist leichter. Da sitzen in meinem Kurs zwei, die haben Bio abgewählt, das sind dann so die Kurssprenger, die dann mit Unterpunkten rausgehen. Und wenn Sie sagen, mit Schwarm nachstellen, ich sehe dann immer die

sofort vor mir.

F: Die das absichtlich zerstören?

L: **Und in der 12, auch in der 11 ist es so, die haben am Liebsten einen Input, pinseln alles mit, am besten ziehen sie sich das auf den Stick, damit sie das nicht mal mehr abschreiben müssen und das ist harter Unterricht.** Und alles, wo ich sage, Projekt oder, egal wie ich das antreibe. Was gut ankommt, sind außerschulische Praktika, und wenn wir jetzt in der sächsischen Bildungsgesellschaft waren und Mikrobio gemacht haben. Das kommt gut an. Die Drei waren natürlich an dem Tag krank.

F: Aber solche Leute hat man ja immer.

L: Ja, die hat man ja mittlerweile durch den neuen Lehrplan, wo alle alles machen müssen. Ja, und da einen Weg zu finden, dass man sagt, man stellt so was wirklich nach, aber ich sehe dann die überlangen Menschen, die dann einen Schwarm simulieren sollen. Ich sehe die vor mir, die werden mir einen Vogel zeigen und gelangweilt auf der Bank hängen. Wenn man einfach mal in einem anderen Raum ist, sind die Leute auch ganz anders motiviert.

F: Oder auf dem Schulhof.

L: **Also ich sehe das wirklich als Problem, dass so ab Klasse 9, in Klasse 10 ist es schon sehr extrem, sind die sehr bewegungsarm, wollen das nicht. Und so einen gelangweilten Schwarm, da habe ich dann auch keine Lust.** Solche Computersimulationen würden die wieder begeistern, eher, aber das andere ist vielleicht auch spannend, aber das finde vielleicht auch wieder nur ich spannend.

F: Ja, vielleicht finden die Schüler das tatsächlich auch albern, aber sie werden trotzdem darüber nachdenken, was es soll. Ich glaube nicht, dass es total an ihnen vorbei geht.

L: Ja, oder man nimmt so was wirklich als Einstieg, dass man sagt, man ist jetzt ein Vogelschwarm und kann das dort noch mal zeigen.

F: Das habe ich auch so mit eingebaut. Bei „youtube“ sieht man auch sehr schöne Heringsschwärme, wie sie sich bewegen. Schaut euch mal ein Individuum an, wie bewegt es sich im Verhältnis zu den Nachbarn, wodurch kommt die Richtungsänderung zustande. Gerade von Filmen, youtube, sind sie ja immer ganz angetan davon. oder man schaut sich erst die Filme an und sagt dann, jetzt versuchen wir einmal, solche einen Fischschwarm nachzustellen, ob uns das gelingt mit den Regeln, die wir aufgestellt haben.

L: Oder so rum. Ich kann mir vorstellen, wenn man sagt, weil das ja wirklich beeindruckend ist bei den Fischen, dass man sagt, darüber, da kann ich mir zumindest vorstellen, dass die die wollen das ganz interessant finden und die anderen setzen sich an den Rand.

F: Jemand, der es nicht so interessant findet, kann das Ganze auch filmen, dass man ihm andere Aufgaben gibt. das liegt dann immer in der Hand des Lehrers. Am Ende kann ich auch nur Angebote machen, die möglich sein könnten. Und Schwarmverhalten ist eigentlich ein tolles Phänomen, das begeistert eigentlich jeden - gerade im Herbst, wenn die Vogelschwärme wieder ziehen. Gut, Herbst wäre wieder schwierig vom Zeitpunkt des Unterrichts her. Aber plötzlich betrachtet man auch Schwärme mit andern Augen, wenn man sie mal selbst simuliert hat.

L: Ich habe jetzt gerade vor mich hingeträumt, dass wenn man so was auch mit kleineren Schülern machen kann, sie sozusagen auch im Regelspiel weiterkommen und von den Großen unter dem bionischen Aspekt erklären lassen lässt. Weil dann können die wirklich von oben gucken, weil dort nur 18 Leute einen Schwarm bilden, weiß ich nicht, ob das

F: Also zumindest klappt das schon. [Erläuterung des Experiments, siehe Lehrerteil Modul Schwarmverhalten]

L: Das ist ja spannend, das kann man ja auch in Verhaltensbio mit reinbringen. **Also ich denke tatsächlich, dass die Bionik in der Sek. II dann vertieft die technischen Möglichkeiten beleuchten sollten. Und dann ist es nämlich auch vollkommen Wurst, ob man Sachen, die man im Profil schon mal gemacht hat, noch mal macht.** Denn ich würde ja ungern denen, die kein Profil hatten, das Ganze dann vorenthalten wollen. Und da wäre dann diese Diskrepanz dann keine mehr, die jetzt meine Kollegin hat, die jetzt ganz deutlich wird.

F: Ich würde noch die anderen Fragen weiter abarbeiten. Welche Themen stoßen ihrer Meinung nach...haben Sie da schon einen Überblick oder Erfahrung?

L: [schüttelt den Kopf]

F: Machen Sie auch noch andere Lernbereiche in dem Profil?

L: Ja, ich habe nur einmal das gemacht und mich dann erstmal zurückgezogen.

F: Denn die nächste Frage wäre: Vergleichen Sie das Interesse der Schüler mit den anderen Lernbereichen auf einer Skala von 1 (kein Interesse) bis 5 (sehr großes Interesse). Oder können Sie da keine Einschätzung geben.

L: **Da weiß ich, dass das grundsätzliche Interesse bei der Bionik schon allein im Thema begründet ist, die gehen da also ganz motiviert rein.** Und was ich mitkriege, ich habe also dieses Jahr die 9. und 10. und auch die 8. gehabt, das kriege ich ja auch viel Pausengespräche mit, also motiviert rein und dann kommt aber so irgendwie. **Die gehen da mit einer Traumvorstellung rein, wo sie gar nicht klar definieren können, was sie da erwartet und sind dann eher enttäuscht. Bionik muss ein Zauberwort sein.**

F: Sicher auch durch die Medien bedingt: "die große Show der Naturwunder", jedes Thema wird nur eine Minute angerissen,

bunte Bilder dazu. Aber das ist es am Schluss wirklich nicht. Da steckt das biologische Grundwissen dahinter, das kann trocken sein, da steckt das Prinzip dahinter und da steckt die technische Anwendung dahinter.

L: Und wenn ich mir da anschau, was es da für Bücher gibt von der Bionik, die Reisser für 9.99. Die bestehen aus schillernden Farben.

F: Natürlich ist die Theorie dahinter immer trockener.

L: Aber das fällt mir nicht auf wenn ich mir meine Bände dann anschau, man muss wirklich anfangen zu lesen, es wird überall gezeigt und einem vorgegaukelt.

F: Der Hype hat also auch Nachteile?

L: Genau, und deswegen stelle ich fest, dass Schüler in der 8. Klasse über das Jahre motivierter bei der Sache sind als beim Thema Bionik.

F: Und können Sie die Lernbereiche auch miteinander vergleichen Skala von 1 bis 5?

L: Na, dadurch, dass ich viel mitkriege.

F: Vielleicht können Sie sagen, das ist das beste Thema...

L: Vorher, währenddessen oder danach?

F: So trennen Sie das?

L: Na ja, es ist immer unterschiedlich. z.B. Messen, Steuern, Regeln, da weiß ich, dass es sehr schwierig ist und die dort selber Programme schreiben, berechnen die meistens. Und das sind auch die Stimmen, die ich höre, aber diejenigen, die das können, die sich dafür interessieren, die haben natürlich eine 5 auf der Skala. Aber das Gros, weil das eben so schwierig ist und weil auch die Noten so schlecht sind, die sind dann hier so. Aber einfach aus Verwerfen heraus. Also Licht und Farben, da würde ich sagen, sind sie eher interessiert und hier [Messen, Steuern, Regeln], na ja, man darf ja nur ein Kreuz machen. Aber eben wegen der schlechten Leistung. Zur Kommunikation kann ich nichts sagen. Boden ist immer so ein Thema, das kommt dann wirklich auf den Lehrer an, um den Leuten klarzumachen. Hier weiß ich, dass das Interesse auch sehr groß ist, und hier, wie gesagt, geht hier los und rutscht dann meist hier hin. Das ist dann sozusagen das böse Erwachen.

F: Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht auf einer Skala 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel) im Profil und im Kurs?

L: Also im Profil denke ich ist es zuviel und im Kurs ist es an sich gut aber an der falschen Stelle.

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht.

L: Ich sehe es jetzt an der Biotechnologie und die selbständige Schülerarbeit, **ich denke, das ändert sich auch von der Masse, was bearbeitet werden muss**, ändert sich das nicht und da ist das sicher natürlich wieder ein bisschen wenig. **Das liegt aber daran, dass diese selbständige Schülerarbeit, und wenn es jetzt ein Praktikum ist, soviel Zeit kostet, dass dann das andere wieder hinten runterfallen muss.** Also der Kurs an sich mit zu vielen Inhalten, aber wie immer.

F: Wenn man weniger Inhalte hätte, könnte man die Schüler eher selbständig arbeiten lassen?

L: Da kann man sagen, man macht das.

F: Ja, in der Bionik könnte man das ja umdrehen und sagen, da ist ja viel Zeit, da muss man ja nicht so viele Themen reinsetzen, da ist der Lehrplan ja ziemlich offen.

L: Es sind auch viele Sachen, ja, das ist ja das schöne an dem neuen Lehrplan, also ich denke mal aus Unsicherheit heraus, steht noch nicht so viel drin. Aber wenn da ein Wort steht "Proteinbiosynthese", da denkt man ja super, aber was dann alles dazu gehört, an Theorie. Ansonsten kann ich es mir dann wirklich schenken. Und da vermute ich, aber das kann ich bisher nur vermuten, das wird in der Bionik nicht anders sein.

F: Obwohl es ja kein Prüfungsfach ist.

L: Das entspannt schon. Ich habe dann auch mutig einfach weggelassen.

F: Wenn sie es dann studieren, müssen sie es neu lernen.

L: Und wir sollen ja auch um Himmelswillen davon wegkommen, die ersten beiden Semester zu ersetzen. [persönliche Einschätzung]

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch?

L: Also beide sehr interessiert.

F: Gleich?

L: Ja, das ist wirklich erstaunlich, weil für mich hinter Bionik sofort der Begriff Physik leuchtet irgendwie, aber es ist wirklich auch fifty-fifty, bei uns im Kurs auch, eigentlich in beiden Kursen. das hätte ich nicht erwartet. Ich hätte erwartet, dass mehr Jungs

dafür interessieren, aber ich denke, das liegt daran, dass die Fächerwahl oder die Motivation, den Kurs zu wählen, anders ist als ich erwarte. Also die gehen nicht nach Interesse, meiner Meinung nach, sondern die sagen, ich möchte dann mal Medizin studieren, ich möchte gern Bio studieren.

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L: Im Profil war es so, ja, aber die Kooperationen waren sehr gering, also man hat sich abgesprochen mit der Informatik und Physik. Ich weiß nicht, wenn eine Kooperation darin besteht zu sagen, gebt ihr mir mal das Gerät, da habe ich natürlich auch Kooperationen mit der Physik. Aber ansonsten. **Das liegt aber auch daran, dass man ein bisschen ins kalte Wasser geschmissen wird, man muss sich erst mal einarbeiten.** Und dann, wenn man es einmal gemacht hat, dann vielleicht noch ein zweites Mal, dann sagt man sich, da könnte man ja vielleicht und ich denke, die Kooperationen werden sich daraus dann ergeben.

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken auf einer Skala 1 (überhaupt nicht) bis 5 (in jedem Fall)?

L: **Ich denke jetzt, wo die Lehrer meiner Meinung nach aufgewacht sind und feststellen, dass fächerübergreifender Unterricht nicht gleich Spielen ist und nachdem wir uns langsam der Tatsache bewusst werden, geht es auch bei den Schülern.** Die erschrecken nicht mehr wenn ich sage, nehmt mal den Taschenrechner raus. Ich denke, dieser ganz starre Fächerkanon wird damit tatsächlich aufgelöst und die Schüler sind ein bisschen entspannter. Ich rede jetzt nicht von den Dreien Vieren, die das scheinbar schon immer gut fanden, sondern **dass auch das Gros erwacht und feststellt, ich kann mein Wissen aus der Chemie und aus der Mathe hier anwenden.** Also ja, aber ist noch ein langer Weg. ich würde sagen, wir sind jetzt hier.

F: In der drei [auf der Skala].

L: Aber mit der Tendenz hoch, weil das bei den Kleinen auch immer mehr gefordert wird, werden die dann auch entspannter.

F: [Studie zur Interessensbekundung der Schüler der Sek. II am fächerverbindenden Unterricht]

L: Ich denke auch, dass es daran liegt, dass die Schüler im Grundschulalter und im frühen Gymnasialalter, das relativ wenige wissen, wenn wir mal Allgemeinwissen, was man sich sonst woher geholt hat, beiseite lassen, noch gut vernetzen können. Ich denke auch, dass das Wissen in der 10, 11 und 12 so umfassend ist, so wie es heute eigentlich auch keinen Diplombiologen mehr geben dürfte. Und in der 8 bis 10 stelle ich auch fest dass sie lieber in Ruhe gelassen werden wollen, um wirklich ihre einzelnen Netze, die sie dann haben, mit dem großen Thema und er Fächer, die sie dann im Stundenplan haben. das würde ich eher als Grund sehen. Und natürlich kommt dann irgendwann der Stressfaktor dazu, dass dann das Abitur vor der Tür steht.

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 6

[Einleitung, Lehrer zeigen Produkte, die im Bionik-Unterricht entstanden sind]

L1: **Den Schülern habe ich gesagt, ich würde mir gern mal vorstellen, dass ein Produkt dabei entsteht. Im Nachhinein haben sie (die Schüler) gesagt, dass sie das gut fanden.** Klettverschluss hatten wir noch dabei. Und die hatten das dann aber eben auch als Powerpoint und hatten dann mit einen Klettverschluss praktisch an verschiedene Materialien angebracht und Gewichte aus der Physik. Und dann im Prinzip so und mit ziehen lassen und so haben sie das demonstriert. Und dann habe ich noch gemacht, jetzt fällt es mir gerade ein, die erste Gruppe, die hatte solche Nebelnetze, die hatten sie mit verschiedenen Materialien selber gewebt auf so einem ganz kleinen Webstuhl. Den hatte eine von den drei Mädels zu Hause. Und dann hatten sie Lebensmittelfarbe mit und haben das praktisch besprüht mit der Rinne untendrunter. In dem einen Material ist das hängengeblieben und in dem anderen lief das blank runter zum Auffangen von Wasser eben. Die **hatten wirklich gute Ideen von sich aus. Ich habe das nicht vorgegeben.** Nur als Einleitung wurde geklärt: „Was ist Bionik etc. und dann habe ich gesagt: „Ich würde mir folgendes vorstellen: dass wir uns mit Bionik auseinandersetzen, dass ihr euch mit Bionik auseinandersetzt, was heißt es, von der Natur abzugucken oder in der Technik dann anzuwenden. Und ich würde mir vorstellen oder wünschen, dass wir dabei auch ein Produkt entstehen lassen. Und als Vorlage hatten wir ja das hier unten, das Grüne [zeigen auf grünes Duden Paetec-Material], so dass die Schüler auch mal Einblick nehmen konnten, was gibt es da schon oder wo kann man da mal gucken, wo man sich orientieren kann. Und das haben sie sich angeguckt und dann hab ich gesagt: Gruppenbildung, drei Mann eine Gruppe, weil das sind 18. Die andere Gruppe ist kleiner, 13 Schüler. Jeder muss einen bestimmten Sprachanteil haben. Aber so ein Produkt wäre gut. Und es haben sich eben alle für den Powerpoint-Vortrag entschieden. Hatten aber auch Episkop dabei. Also weil manches ging ja nicht über den Beamer. Die Schüler kennen ja die Technik schon aus dem Physikunterricht und hatten gefragt, ob sie es mit nehmen können. [Exkurs über die Möglichkeiten eines Episkops] **Ich war wirklich begeistert von denen.**

Die Gruppe, die ich mir dafür ausgesucht habe, um den Versuch zu starten, sind sehr emotional auch dabei. Wie das mir der Kollege auch bestätigt hatte bei seinen Präsentationen. Die machen das im Prinzip auch zu Hause. Auch die mit dem Boot, die haben sich gefilmt, wie sie die einzelnen Teile gebaut haben. Und auch die mit dem Bionik-Tower haben die verschiedenen Stationen, wie der Bionik-Tower entstanden ist, warum das unten eben breit ist, vom Baum abgeguckt. Ständermäßig. Dass der Baum nicht einfach so umkippt. Das haben sie alles mit Kücherolle und Pappmaché und Kleister zusammengebaut.

F: Wie viele Stunden Zeit hatten sie für dieses Projekt?

L1: Im Prinzip hier hatten wir immer die Doppelstunde und da hab ich im Prinzip sechs Stunden. Also drei Doppelstunden. **Aber zuhause müssen sie ja auch was machen. Alles können sie hier nicht machen. Also sie haben zwar die Möglichkeit, ihr Material mitzubringen und wenn sie das eben hier bauen wollen, wie z.B. Geckfuß, die haben alles hier gebaut.** Aber manche, gerade so wie Schneeschuh, die haben viel zu Hause gemacht. Da hat zum Teil viel Arbeit dahinter gesteckt. Dann haben sie noch Versuche gemacht. Gerade mit dem Entenfuß in der Wanne, genauer gefilmt hatte die Gruppe, ob der Entenfuß nun gerade ist oder dieses Dreieck, was er ja dort hinten dann als Wasserwiderstand, hat er das Boot, und das Boot hat sich

wirklich in die Richtung gedreht, wo eben die größere Oberfläche war. Das Boot drehte sich dann so in der Wanne rum.

F: Ja, ich fange vielleicht mal von vorne an, damit wir die Fragen auch etwas in der Reihenfolge haben. Seit wann unterrichten Sie das Fach Bionik?

L2: Seit 3 Jahren. Seit der 10. Die Schüler sind jetzt 12. Seit 2007. Profilunterricht seit der 10.

F: Das gibt es immer jedes Jahr?

L2: Ja genau. Im Naturwissenschaftlichen Profil gibt es das jetzt jedes Jahr. Immer 2 Gruppen. Und dafür werben wir. Da kann man immer gut wechseln. Wir (Frauen-Kollegen) haben ja beide Bio und Chemie als Kombinationsfach. Und unsere Männer-Kollegen Physik. Wir haben auch schon mal zusammengemacht. Aber nur in der 8. Klasse. Und jetzt haben wir die 9 und 10 und wechseln immer mit den Physik-Kollegen. Weil das vom Lehrplan her ja so fortlaufend ist. Ich hab jetzt die 9 und geh nächstes Jahr in die 10.

F: Sie machen dann beide beides?

L1+2: Ja immer so im Wechsel. Boden, Luft, Bionik. Und da das ja übergreifend ist, 9./10. geht das auch gut auf bei zwei Gruppen.

F: Und machen Sie in der 11./12. auch diesen neuen Wahlgrundkurs?

L1: Nein. Das existiert nicht. Bei Marie-Curie machen die das.

F: Es gibt ein paar, die das machen. Sie sind Fachlehrer für die Fächer?

L2: Bio/Chemie.

F: Und in welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?

L2: In der 10. Klasse. Weil sich das so aus dem Lehrplan heraus ergeben hat. **Für die 10. Klasse ist das auch okay. Da sind die Schüler schon reif dafür.** Ich habe damals viel Internetrecherche gemacht. **Damals, als das angefangen hat, da haben wir erstmal recherchiert, Haifischhaut und da haben wir versucht, die Experimente aus dem Versuch zu machen, wir haben viel daraus gemacht, weil wir eben keine Vorkenntnisse hatten, aber es war auch lustig. Einfache schöne Sachen – und den Schülern macht es Spaß.**

F: Da muss man sich ja erst mal reinarbeiten in das Thema.

L2: **Die eine Weiterbildung war ja so, da sollten wir am Ende noch was basteln, ich habe gesagt, ich kann nicht mehr nach dem ganzen Nachmittag, weil wir noch bedenken sollten, wie hoch die eine Leiste ist, das habe ich überhaupt nicht mehr geschallt um fünf.**

F: Welche Fortbildung war das?

L2: Das war bei einem Mann, der hat das ganz allein gemacht [kurzer Austausch über Lehrerfortbildung], das war von um 9 bis um 5 [Erschöpfung in der Stimme]. **Bei Ihnen war es ja gut, da konnten wir zu zweit kommen am Nachmittag, das war auch spannend, wir hatten ja auch Spaß. Das hat gut getan.**

F: Ja, wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen für die Bionik zur Verfügung?

L1: Ich guck mal in unserem Plan. 24 Stunden ungefähr, wir dritteln ja ungefähr das Jahr mit den Kollegen rein. Durch die Vorträge ja dann noch fächerverbindend an der Schule, dadurch hat sich dann noch was verschoben, aber da kann man sich ja dann mit den Physikkollegen noch mal absprechen. das variiert eigentlich so von 22 auf 24 Stunden, je nachdem.

F: Die Erstellung des Hypertextes muss ja auch noch in den Bionikteil integriert werden.

L1: Ja. das machen die Informatikkollegen extra. Da teilen wir uns etwa ein Drittel rein. Wir haben ja auch mehr Noten.

F: Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L1: Nur das eine Buch haben wir auch für die Schüler, alles andere ist nur für uns.

F: Das Buch hat dann jeder?

L1: **Ja, eigentlich schon, bei 18 Leuten hat jeder eins.** Ich lasse es öfter auch lieber da, aber grundsätzlich, wenn sie es mal ausleihen wollen, schreiben wir es auf. Wenn ich jetzt sage Test, dann würde ich es auch mal eine Woche ausleihen, aber ansonsten versuchen wir es eigentlich da zu lassen.

L2: Medienwagen, Internet, das steht uns auch zur Verfügung. [Ausführung zum Medienwagen]

F: Wie funktioniert eigentlich die Internetrecherche? Kommen Sie an alle Sachen aus dem Internet ran oder gibt es Sperrungen?

L2: Oh nein, es gibt viele Schulsperren, das ist schlimmer geworden mit den Sperrungen.

F: Gerade in der Bionik ist es ja sehr praxisorientiert, d.h. Unternehmen bauen etwas - kommt man auf Unternehmensseiten?

L2: Nicht überall. Als ich das damals gemacht habe, da ging das wunderbar, da haben die alles gefunden, aber jetzt weiß ich,

die haben was geändert. Bei Boden waren **auch viele Seiten nicht mehr zugänglich, was das soll, ich weiß nicht, da war richtig der Schulfilter drin. Ich sag dann immer, bisschen was zu Hause müsst ihr auch noch mal gucken.**

L1: Der Vorteil ist ja auch, wenn man in den Gruppen arbeiten lässt, da geht es schon so auf, dass einer einen Internetzugang hat. Den Stick bringen die Schüler eigentlich hier nur mit und da geht das auch gleich los. [Technikbeschreibung, Whiteboard, Beamernutzung]

F: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt oder welche planen Sie durchzuführen?

L2: Was habe ich mir denn da aufgeschrieben.

L1: Wenn es so funktioniert, da machen wir es natürlich so wieder, wenn es nicht funktionieren würde, würden wir sagen gut, probieren wir was Neues. Da haben wir angefangen mit Einführung, dann habe ich Hai gemacht mit dem Airbus, Problemlösen nach Naturvorbildern, das ist eben der Hai, dann die Lotuspflanze mit der Selbstreinigung der Blätter, das hatte ich gemacht, das waren mindestens vier Stunden. dann hatte ich die Klebstoffe als Internetrecherche und dann biologische Oberflächen ging es weiter. Und da mussten sie z.B. auch gucken, mit Wasser und Honig mussten sie Schülerexperimente durchführen und Protokoll anfertigen. Wie auch mit dem Klettverschluss und diesen Wägeteilchen, das war herrlich. da hatten wir schon auch was vorgegeben, immer so ein paar Stichpunkte, da habe ich relativ viel bewertet durch das Protokoll. **Da haben die gesagt, wir würden lieber nur experimentieren, und da habe ich gesagt, da würden sie sich ja keine Gedanken machen, wie und warum das so ist. Und wir hatten immer so ein oder zwei helle Köpfe dabei.** [Austausch über Namen] Der hat wirklich jedes Experiment ausgewertet, hat wirklich die Gründe gesucht, die Ursachen, mit dem Bau, mit den Eigenschaften. das haben wir dann, gebe ich ehrlich zu, kopiert, und das war eben die Eins. Der hat es uns eigentlich einfach gemacht. Man brauchte nur noch das Protokoll von dem nehmen, der hatte sich wirklich damit beschäftigt, die anderen machen das oberflächlich. Sie ärgerten sich dann, dass sie nur eine Drei hatten, **aber das gehört ja auch dazu, zu untersuchen, wie funktioniert das.** Die anderen haben ja auch die Möglichkeit, den zu fragen, wir sagen da ja gar nichts, wenn die Gruppenarbeit machen. Da sind die einfach nicht clever. Wenn die den gefragt hätten, leise. Aber da waren auch trotzdem ein paar Mädels, die waren ganz fleissig, die das auf ihre Art eben geschafft haben. Die Ergebnisse waren immer gut.

L2: Na wie gesagt, ich habe das diesmal ein bisschen anders gemacht. Weil ich mir das einfach bei der Gruppe so vorgestellt habe, dass hinterher wirklich so ein Produkt entsteht, ich hatte ja auch mit dem Kollegen aus der Physik geredet, deswegen habe ich gleich gesagt, ich werde das mal so probieren. Und da hab ich am Anfang gemacht, was ist Bionik, die verschiedenen Teilgebiete, habe dann Faltungen gemacht, also mit den Büchern, die wir so hatten, konnten die sich auch gegenseitig mal austauschen, und die Kabeldurchführung, die Sie uns gegeben hatten, habe ich auch mal vergrößert, dass sie das mal selber probieren konnten, das war dabei. Dann hatten wir den Weihnachtsstern gefaltet und dann ging das los an die Arbeit, selbst entwerfen, überlegen, in welche Richtung könnte es gehen, auch bewertet, nachdem die Kollegin gesagt hatte, ich solle vielleicht auch die Produkte mit bewerten, weil es auch wirklich viel war, nicht nur das, die haben auch wirklich viel Anschauungsmaterial gebracht, was sie eben noch so zusätzlich gezeigt haben. Und da haben auch alle ihre Eins gekriegt, das kann man ja gar nicht anders bewerten. Und das andere ist dann eben der Vortrag. **Die Produkte behalten wir auch und wollten die eigentlich mal in die Vitrinen stellen, das interessiert ja auch die Eltern.**

L1: **Ich glaube auch, das macht den Schülern auch Spaß, wenn sie selber was machen können.**

L2: Ja, und da habe ich dann am Anfang immer eine Stunde Theorie und dann eine Stunde Falten, so habe ich das immer kombiniert, vor Weihnachten, da hat das mit der Gruppe gut geklappt. Bei der anderen Gruppe klappt das weniger.

F: Es geht ja jetzt los mit dem Frühling, da kann man sehr gut die Blattenfaltung sehen.

L2: Ja, unter dem Mikroskop, das hätten wir nie gedacht mit der Knospe, herrlich. Das könnte man schön machen.

F: Welche Bionik-Themen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern?

L1: **Also was die Schüler gesagt haben, die fanden es gut, dass sie sich damit so auseinandersetzen konnten und das auch selber versuchen konnten, dass in solchen Sachen umzusetzen.**

L2: **Und wo eben der praktische Bezug ist. Haifisch mit diesen Anzügen, oder bei dem Flugzeug mit der Beschichtung, das merken die sich, da muss ein praktischer Bezug da sein und das ist ja hier überall und da ist es egal, welches Thema man nimmt.** Da bin ich bei keinem abgeneigt. Hier [zeigt auf ein Buch] waren ein paar Dinge drin wo ich gesagt habe, nein, Körpertemperatur von dem Bär- **das war mir zu kompliziert, das kann ich denen vielleicht auch nicht so rüberbringen. Aber alles, wo sie sagen können, das erkenne ich in der Natur wieder, ist gut.**

F: Die folgende Frage können Sie sicher beide beantworten, weil Sie beide verschiedene Lernbereiche durchführen. Vergleichen Sie das Interesse der Schüler mit den anderen Lernbereichen auf einer Skala von 1 (kein Interesse) bis 5 (sehr großes Interesse).

L1: Das haben wir gerade vorher noch gesagt, das schwächste ist das Thema Boden. Boden, Atmosphäre und Bionik machen wir. Bei Boden mache ich Zwei, das bekomme ich heute noch gesagt, oh der Boden, wissen Sie noch - Boden. [lacht]

L2: [Abschweif zum künstlerischen Profil] **Wir machen nicht so was Schönes wie die, wir brauchen auch Theorie und machen auch manchmal Experimente.**

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für das Experimentieren zur Verfügung steht.

L2: Mehr als die Hälfte.

L1: **60 Prozent auf jeden Fall.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch auf einer Skala 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert), also interessieren sich Jungs mehr als Mädchen...?

L1: **Nein, die sind gleich interessiert**, die Gruppen waren ja auch gemischt bei mir. Also Vier bei beiden.

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L2: Mit den Physikern, und in der Luft auch mit Geo. Ich habe da mal meinen Arbeitshefter hingegeben. **Physik- und Geolehrer sind interessant. Mehr hilft uns da niemand.**

F: Fördert fächerübergreifender Unterricht fächerübergreifendes Denken?

L2: Es kommt immer darauf an, was du gerade gemacht hast. Der eine oder andere, der daran interessiert ist, kann das sicher schon...

L1: **Es gibt ja auch immer Variationen bei den Schülern. Wann kommt das vielleicht wieder im Unterricht oder war das vielleicht schon oder läuft das parallel?**

F: Ja, es geht um die Fähigkeit, auf Probleme aus verschiedenen Perspektiven heraus zu sehen, Bio, Physik, Chemie.

L2: Eigentlich doch. Ich denke doch.

L1: Ich denke auch. Ich würde es jetzt nicht in jedem Fall, also eine Drei.

L2: Ja, eine Drei.

F: Ja, jetzt kommen wir zu den Kompetenzen.

L2: Oh ja, die liebe ich.

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 7

[Einleitung, Erläuterung einiger Experimente des DUDEN-Materials auf Wunsch der Lehrer, beginnend mit dem Thema Faltungen]

L1: Ich habe das auf dieser Fernsehserie, die auch als DVD gekommen ist, aufgebaut. Die eine allgemein was Bewegung betrifft, die zweite, da ging es um Material und bei der dritten bin ich jetzt, um Energie. Da haben wir dann theoretisch was rausgesucht, dass die dort von ein paar Begriffen Ahnung haben. Dann haben wir den Lotuseffekt mal gemacht am Blatt und so. Das Material haben wir ja auch [zeigt auf Lehrerfortbildungsmaterialien], natürlich ist es ziemlich aufwendig, man muss es eben einmal machen, einmal sich rangetrauen.

F: Es ist natürlich immer sehr umfangreich. Es ist so gedacht, dass die Lehrer sich ein Thema raussuchen, welches sie dann machen. Ein Grundmodul gibt es, welches man machen kann uns aufbauend darauf mehrere Zusatzmodule, wenn die Schüler noch mehr Lust haben.

L2: Da würde ich auch gern mal gucken, ob man die Schüler damit begeistern kann, weil **die wollen schon gerne was tun, wobei der Trend bei den Schülern auch dahingehend ist, bisschen Spaß haben aber es möchte möglichst nichts bewertet werden**, zumindest bei uns und in den letzten Jahrgängen auch ein bisschen verstärker. **Die möchten gern gute Noten haben für wenig Anstrengung**, sag ich mal. **Dem wollen wir natürlich auch ein bisschen entgegensteuern, indem wir auch gesagt haben, also nur aus Jux und Dallerei machen wir das nicht, da muss schon auch was rauskommen dabei. Die müssen das ordentlich dokumentieren, was sie da erarbeitet haben und wie gesagt, es ist schon ein bisschen aufwendig die Vorbereitung**, weil man kriegt ja im Prinzip pro Woche als Lehrer. [Ausführung über innerschulische Aufteilung der Profilstunden] Wahlgrundkurs gibt es nicht, wir haben auch zu wenig Schüler.

F: [Ausführungen zu Faltungen]

L2: Es wäre eigentlich auch nicht verkehrt, wenn man das als Arbeitsheft für die Schüler schon mal hätte, damit man nicht ständig die Kopien reinreichen muss, weil wir auch nicht immer am Computer sitzen, wo die das bloß abrufen können.

F: [Ausführungen zu Faltungen]

L1: **Die Probleme fangen schon damit an, was normal auszuschneiden. (betrachtet die Faltung) Ich find es schon faszinierend.**

L2: **Es ist auch faszinierend, weil ja da auch so viel Realität dahintersteckt.**

F: [Ausführungen zu Kerbstrukturen, Erfahrungen im Unterricht, Ausführungen zu Faserverbund]

L2: **Bei uns geht es dann schon los, dass es hier das Wachsgrenulat nicht gibt. Wir haben in der Nachbarstadt einen Bastelladen, da gibt es das schon mal gar nicht. Also fahre ich bis nach Dresden oder bestell mir das irgendwo im Internet, aber im Internet darf ich wieder nicht bestellen, weil unsere Stadtverwaltung keine Bestellungen oder Rechnungen übers Internet, sondern dass muss ich also per Post hinschicken können, per Fax, also das ist ganz kompliziert. Das sind dann die Sachen, die einem das auch noch mal vermiesen. Wo man dann sagt, oh nein, eigentlich...**

F: [Erfahrungen mit Faserverbunden im Unterricht, Faltungen]

L2: Ja, zumindest bei den Faltungen könnte ich mir vorstellen, wenn die das einmal erschmeckt haben, dass da ein paar Mädchen schon dabei sind und Jungs, die ein bisschen interessiert sind, könnten sich dann mit dem Fotoapparat in der Natur hinstellen und das Entfächern einer Knospe dokumentieren. **Aber, na ja, wenn ich da an den Enthusiasmus unserer Schüler denke**, [zum anderen Lehrer gewandt] Du guckst auch gerade so nach oben. Der nächste Jahrgang wird besser als jetzt.

F: Wie lange unterrichten Sie das Thema Bionik?

L1: Also ich habe jetzt das dritte Jahr. **Ich habe auch mit viel viel Mühe das Ganze zusammengestellt**. Wir hatten ja gewechselt, der damalige Astronomielehrer hat Astro und Bionik gemacht und da habe ich die die dreißig Stunden verwendet für "Was ist überhaupt Bionik?" und dann eben so ein paar Sachen herausgegriffen, was man dort über die DVD hat, was man da an Theorie reinbringt und dass man dann das versucht. Den Lotuseffekt, dann hatte ich mir die Klette mal mit vorgenommen, Kletten mit dazu genommen, Klettverschluss und so. Das sie davon eine Ahnung haben. So weit [zeigt auf Faltungen] habe ich es dann noch nicht getrieben. Da kamen ja dann auch erst mit der Zeit dann diese Materialien, von Paetec dieses kleine grüne Buch.

F: Haben Sie das auch als Klassensatz?

L2: **Wir haben das einmal als Klassensatz wenigstens da.**

L1: **das war eben sehr mühsam sich dort erstmal reinzuknien und was aufzubauen, das ist dann schon ganz schön aufwendig.**

L2: **Weil im Prinzip dafür ja auch niemand ausgebildet war, das muss man jetzt auch mal so sagen. Man hat sich da viel zusammensuchen und zusammenlesen müssen, aber das ist ja in den anderen Stoffbereichen eigentlich genau dasselbe gewesen.**

F: Aber es kam sehr plötzlich.

L2: Ja, das war wie alles, wie bei dem Taschenrechner damals. Das ist eben so. [Abschweif in Schulsystem]

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer?

L2: Physik, Mathe

L1: Bio, Chemie und bisher die Bionik.

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?

L2: 10.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen für den Bionik-Unterricht zur Verfügung?

L1: Es sind doch 90 Stunden.

L2: Nein, wir machen definitiv mehr als im Lehrplan, aber nicht soviel. Wir teilen uns da rein, jeder hat eine Stunde. Definitiv also zwei Stunden und die dritte nimmt die Informatik weg. Im Prinzip halbjahresweise. Bis Dezember habe ich das Messen, Steuern, Regeln gemacht und ab Dezember macht er die Bionik. Also knapp 40 Stunden - viel mehr werden es dann auch nicht.

L1: Ende April will ich fertig sein. [interne Stundendiskussion]

F: welche Unterrichtsmaterialien...

L2: Also das Paetec-Buch, die Materialien, mehr eigentlich nicht, die neue CD.

F: Aus dem Internet?

L2: Ja, worüber man so stolpert.

L1: Bionikartikel aus Zeitschriften und kleinen Broschüren (Geomax).

L2: Das kommt kostenfrei als Klassensatz an die Schulen.

F: Welche Bionikthemen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern?

L2: **Ich denke, Lotuseffekt und Klette, das ist schon was, aber ich könnte mir vorstellen, das die das gut finden [zeigt auf Faltungen], weil man hier wirklich selber arbeiten kann als Schüler, das kann man ja beim Klettverschluss nicht wirklich machen. Man kann die Klette angucken und den Klettverschluss aber viel mehr ist ja dann nicht.**

F: Ja, auch beim Lotuseffekt sieht man die eigentliche Struktur nicht richtig, das Wasser perlt zwar schön ab, aber die Struktur kann man nicht richtig beobachten. Das ist ja bei den Faltungen anders.

L2: Für den Lotuseffekt gibt es ja solche Anstriche, aber trotzdem, kann man nur im Vergleich dann dazu gucken, wie die eine und die andere Seite aussieht.

F: Man könnte mikroskopische Bilder verwenden.

L2: **Na ja, eigentlich ist es immer schöner, wenn sie selber handeln.**

[Lehrer kommt wieder mit Geomax-Heft]

L1: Da habe ich jetzt letztes "Arbeiten am Fachtext" gemacht mit Fragen. das haben Sie eigentlich ganz gut bewältigt. Gut, ich habe auch sehr auf den Punkt gefragt, aber.

F: Ja, das ist ja auch mal ganz wichtig, sich einen Fachtext durchzulesen und das Wichtigste herauszuziehen.

L2: **Ja, das fällt denen ja schon schwer genug.**

F: Welche Bionikthemen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern?

L1: Ja, das Größte ich eigentlich das mit der Bewegung, denke ich, von der Sache her.

F: Was machen Sie da genau mit der Bewegung? Roboter?

L1: Ja, wir haben uns das angeschaut auf der DVD, ich weiß nicht, ob Sie das kennen. 3 Folgen, die auf 3sat kamen, die gibt es auf DVD. Nach diesen habe ich das ein bisschen aufgebaut, das wir das angeguckt haben und ich versucht habe, Fragen zu stellen. Die gehen immer 45 Minuten und dann haben wir dazu verschiedenes Material. Die Bewegung hat da am meisten.

L2: **Da kommt auch das mit der Hai-Oberfläche, die ja ziemlich strömungsarm ist. das ist ziemlich anschaulich, was wir ja nicht leisten können.**

L1: Ja, da sieht man auch mal was.

F: Sie haben ja jetzt beide Erfahrungen mit den 6 Lernbereichen im Profil. Vergleichen Sie das Interesse der Schüler an der Bionik mit den anderen Lernbereichen, auf einer Skala von 1 (kein Interesse) bis 5 (sehr großes Interesse).

L2: Also bei uns an der Schule können Sie Messen, Steuern, Regeln bei einer 2 machen, weil, das hängt damit zusammen, weil man keine richtigen Steuerungs- und Reglungsprozesse mit den machen kann von der physikalischen Seite her. Wir haben einfach nichts. Wir haben da kein material dazu. Ich bräuchte dann wenigstens mal so ein paar Lego-Roboter, wo das Ganze dann wenigstens mal, wo das Ganze mal ein bisschen technisiert wird. Ich mache das mit den gleichen Unterrichtsmitteln, die ich auch im normalen Physikunterricht einsetze. da habe ich meinen Schwerpunkt natürlich mehr auf das Messen gelegt, weil sie dort eh noch genügend Schwierigkeiten haben. Wir haben neue Messegeräte gekriegt, damit die mit denen richtig umgehen können. Wie macht man eine Skala. das hebt die Schüler natürlich nicht richtig an. Fehlerberechnung spielt da eine Rolle. Licht und Farben kommt schon ganz gut an. Die Gruppe jetzt hat sehr gut mitgemacht in dem Bereich. das hat denen gefallen. Eine 5 würde ich jetzt nicht geben, aber eine Vier. Kommunikation mache ich jetzt gerade, da haben wir den Lehrplan etwas abgeändert. [Beschreibung, auch Boden und Astronomie] **Aber Bionik würde ich schon sagen ja, das interessiert sie, solange es nicht mit Arbeit verbunden ist.**

L1: Ja, das ist das Problem. Mal sehen, ob wir sie damit kriegen [neue DVD]. Ich habe schon bei dem Lotuseffekt gesehen, wir machen das mit den Kohlrabiblättern. Das ist alles schön und gut, wenn man da ein bisschen rumbröseln kann. **Aber sobald man dann, und das gehört meines Erachtens dazu, ums Auswerten geht, dass man sagt, protokollieren, das muss nachvollziehbar sein, und da muss ich eine ordentliche Auswertung haben und da gehören ein paar Fragen dazu und dann wird es lästig.**

L2: Aber ich denke, **das ist auch ein bisschen jahrgangsabhängig.** Der erste Jahrgang, den wir im Profil hatten, das sind die, die jetzt in der 12 sind, die waren richtig gut damals, die haben richtig mitgemacht, die konnte man richtig begeistern. Und der zweite Jahrgang lief dann schon nicht mehr toll und wie gesagt, die ich jetzt in der 8 habe, die sind eigentlich wieder interessierter.

L1: Das Problem, was ich auch sehe, das **sind paar Zwanzig Leute, das sind zu viele.** Mit 15 kein Problem.

L2: [kurze Diskussion schulinterne Regelung] Das ist das Problem, dass das gesetzlich nicht verankert ist, eine Klassenteilung vorzunehmen. Genauso wie im Profil nicht angedacht ist, dass da jeder Schüler an seinem Computer arbeitet, sondern zwei an einem Computer - so ist das jetzt. Das sehen die im Kultusministerium als kein Problem an. Zwei Schüler immer, auch in diesem Informatikteil am Computer. Machen wir uns nichts vor. Von Zweien ist einer immer der Schnellere, der macht dann immer alles und der andere sitzt immer daneben und staubt dann nur ab.

F: Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht? Auf einer Skala von 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel).

L2: **So wie wir es machen ist es eigentlich ok.**

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für das Experimentieren zur Verfügung steht, experimentieren, Recherche, protokollieren,...

L1: Ich habe schon versucht, weniger Experimente, na doch, das ein oder andere hatten wir schon mal, dass sie sich selbständig anhand des Buches oder so Wissen erwerben, dass man nicht immer vorne steht. **Ungefähr die Hälfte.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch [in Prozent]? Auf einer von Skala 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert).

L1: Schwierig zu beantworten. Wenn man anfängt mit so einem Film, und das ist erst mal alles schön neu. **Aber es kann nicht alles Spaß sein, und wenn man ein bisschen tiefer geht, wenn sie dann merken, ich muss auch dort was machen, was**

leisten, dann wird das geringer. Ich könnte eigentlich nicht sagen, dass das jetzt geschlechtsspezifisch wäre.

L2: **Das ist sehr personenabhängig. Ich könnte mir vorstellen, dass bei diesen Faltungen die Mädchen einfach aufgrund des Handlings und der Motorik eher anspricht, da kommen sie eher zurecht. Und bei den Kerbstrukturen sagen eher die Jungs, aber das muss man erst mal testen.**

F: Es ist auch für Mädchen mal gut, wenn sie mal so eine Maschine bedienen und ihre Hemmungen da verlieren.

L2: Die machen das auch gerne, so ist das nicht. Also so direkt würde ich jetzt auch nicht sagen, dass die irgendwie besonders.

F: Mit der Motivation, das ist natürlich auch sehr durch die Medien beeinflusst, im Fernsehen, die Show der großen Naturwunder.

L2: Das wird ja aber alles nur angerissen.

F: Ein Gecko springt kurz durchs Bild - toll, aber was dort tatsächlich auch für eine Theorie dahinter steckt, kommt dabei nicht rüber.

L2: Das ist ja sowieso das Manko der populärwissenschaftlichen Sendungen. Da kommt als Fazit für mich immer nur raus, gut das wir mal drüber geredet haben. **Möglichst nicht tief reingehen, sobald es ein bisschen problematisch wird.**

L1: [Bringt Beispiel aus der DVD] Das sehen unsere Schüler nicht, dass da so viel dahintersteckt eigentlich. Das ist ja Grundlagenforschung, dass man sich eigentlich Jahre in der Grundlagenforschung bewegt, eh da mal was rauskommt, dass man erst mal sehen muss, wie funktioniert es im Tier- oder Pflanzenreich und was kann ich dann wirklich in der Bionik übernehmen, dass da was rauskommt. Das ist ja nicht 100 zu 100.

F: [kurz über den Projektdruck eines Forschers] Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L2: **Wir arbeiten miteinander, aber das ist ja der gleiche Fachbereich, sonst eigentlich nicht.** Kein Kunst- oder Deutschlehrer, ja, warum nicht. Sportlehrer wäre ja noch eine Variante.

L1: Wir haben uns das damals so aufgeteilt. natürlich könnte auch ein Kunstlehrer in der Bionik mitmachen.

L2: Wir haben die beiden Stoffbereiche auch ziemlich autark voneinander gemacht. In der Klasse neun bei Licht und Farben, da wechseln wir uns mehr ab. Oder wir gehen auch mal zusammen rein. Das war in der 10 getrennter, aber das ist einfach so gewachsen aufgrund der Astronomie. Muss man sicher noch mal überdenken, wie man das nächstes Jahr machen wird. **Aber weiß man, ob man das dann noch mal unterrichten darf oder an einer anderen Schule ist, das weiß ja keiner.**

F: Fördert fächerverbindender Unterricht das fächerübergreifende Denken? Etwas provokativ gefragt, auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 5 (in jedem Fall).

L2: Also weder noch.

L1: **Das Problem ist wirklich, vor allem bei den Kleineren, diese Schublade ist das Fach, diese Schublade ist das Fach und das dann wirklich zu verzahnen.**

L2: **Das fällt dir aber, denke ich, auch ein bisschen selber schwer als Lehrer. Weil man sich natürlich über die Jahre in seinem Stoffgebiet Fachwissen angeeignet hat - und mir dann eben auch selber schwerfällt, jetzt eben die Biologie, mich an solchen Stellen reinzudenken, da fehlt mir einfach das Hintergrundwissen. Da fühle ich mich auch nicht sicher genug. Und in dem Fall macht ja trotzdem jeder von den Lehrern seine Strecke weiter.** Er beleuchtet das schon mehr von der biologisch-chemischen Seite und wenn ich jetzt reingehen würde mit dem Thema Bewegung, da würde ich mehr auf Bewegungsarten, Bewegungsformen, Geschwindigkeit usw. eingehen, wobei er mehr auf die Oberflächenstrukturen eingeht, die dann vielleicht einen Reibungseffekt verhindern. da kann man vielleicht auch noch eine Verbindung herstellen, aber es gibt auch gewisse Sachen wie bei diesen Kerbstrukturen, da fehlt mir einfach das Wissen, wie ein Baumstamm aufgebaut und strukturiert ist. Das weiß ich einfach nicht. Und wenn ich mir das drei mal angelesen habe, habe ich es noch nicht wirklich verinnerlicht. Das ist wirklich ein Problem, denke ich. Und wenn man es dann drei-vier Mal gemacht hat, kann man dann eher was dazu sagen, aber bei den Schülern in dem Fach denke ich, ist das nicht ganz so. Fächerübergreifend heißt doch trotzdem nur, dass der Fachlehrer mit den Schülern, dass sein Fachwissen dazu beiträgt, um eine rundere Sicht der Welt zu kriegen, so habe ich es mal von einem Didaktiker gelernt. Also es muss nicht sein, dass alle drei Lehrer gleichzeitig immer irgendetwas zusammen erklären, sondern jeder trägt seinen Teil dazu bei, damit der Schüler eine neue Sicht auf das Problem gewinnt. Und dass er eben mal in einem Unterrichtsfach einen Biologielehrer und dann mal einen Physiklehrer und mal einen Chemielehrer vor sich stehen hat - ob das wirklich ausreichend ist, um so ein fächerübergreifendes Denken zu fördern...

F: Kurze Beschreibung einer anderen Schule, die den fächerverbindenden Unterricht innerhalb einer Woche in allen Fächern integriert]

L2: Ich denke, das würde nur funktionieren, wenn der, der unterrichtet, so ein Multifunktionslehrer ist.

L1: Und das geht eigentlich nicht.

L2: **Da fehlt uns eigentlich auch die Richtung und die Zeit.**

L1: **Da sehe ich dann auch die Gefahr, dass wir zu sehr Staub wischen, weil, wie gesagt, sie kann ihr Tiefe nicht so reinbringen und wir auch nicht, und da bleibt es eben doch Staub wischen an der Oberfläche.**

L2: Also ich würde es bei einem Mittelmaß anbieten. **Sicher haben die Schüler begriffen nach 2-3 Jahren Profil, dass man eben manches aus vielen Winkeln betrachten kann, aber dass der Wunsch selber bei den Schülern entsteht, alles von**

mehreren Seiten zu betrachten, das mag ich wirklich zu bezweifeln. Das ist ja Kernstück des sächsischen Lehrplans.

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 8

[Einleitung, Gespräch über neuen Wahlgrundkurs und dessen Anteil Biotechnologie]

F: Seit wann unterrichten Sie Bionik?

L: 1998/99, ungefähr. Damals war es aber nur ein Jahr, aber sehr streng flugbezogen, weil es damals auch mit ins Abitur sollte. Wir fächern das aber immer mehr auf, die Geschichte mit der Faltung werden wir mal mit aufnehmen, das habe ich ja mit meinen 11ern auch schon mal probiert. Wobei ich nicht weiß, wo ich das reinnehme. Bei der Baubionik werde ich es mal streifen, das kann ich mal sagen, Faltungen aus der Natur. [Zeigt auf Ananas-Faltung] Daran sind sie verzweifelt. Haben wir auch geschafft, aber nur zwei Schülerinnen.

F: [kurz über Ananasfaltung] Das mit dem Blatt haben Sie auch gemacht?

L: Ja, das kann ich Ihnen schon mal geben. [überreicht Fragebögen]

F: Sie haben sich auch mal die Knospen angeschaut?

L: Ja, das ging gut. Erstaunlicherweise, war die Birke oder die Buche besser? Längs und quer, wir haben alles probiert.

F: Ich hatte die Buche auch ausprobiert und fand, dass es schlecht zu sehen war wegen der vielen Haare der Buche in der Knospe.

L: Ja, eigentlich aber richtig schön, wie es hier in dem Material war. Ich habe den Beamer mal mit laufen lassen und gezeigt, was wir sehen wollen. **Und das schreiben auch einige, dass das Mikroskopieren Spaß gemacht hat.**

F: Ja, hier wird das Mikroskopieren mal nicht des Mikroskopierens wegen gemacht, sondern um mal was zu sehen.

L: Genau, ja und dann haben wir losgefaltet. Ich habe tatsächlich auch so angefangen mit dem Blatt, und da haben wir gleich erste Probleme gehabt, ich hatte das auch selber erst mal zu Hause probiert. Ich weiß nicht, wie die Erfahrungen mit anderen Klassen waren? Wir hatten also das Problem [beschreibt Problem mit einer Formulierung zur Faltung mit Berg- und Talfalten]. Ich habe die Schüler das am Anfang auch mal knittern lassen, auch aus Stoff und habe dann auch mal einen Videoausschnitt dazu bekommen von dem Japaner, wie hieß er gleich?

F: Miura?

L: Ja, da ist ein kurzer Ausschnitt drin, da erklärt er das. Die DVD war von der Stadtmedienstelle, mit fehlt der Name jetzt. Die Schüler sollten sich das mal anschauen, aber das Verhältnis haben sie nicht hingekriegt.

F: Das 3:1-Verhältnis? Ja, das ist schwierig.

L: Ich habe auch mal Silberfolie probiert, weil es dann stabiler ist, jetzt zählt mal aus, welche Zahlen da auftauchen.

F: Es wird einfacher, wenn man es nicht total klein macht, dann hat man nicht so viele Falten, es muss schon zusammen sein und vor allem in einer Bewegung zusammengedrückt werden. Wenn man das wieder eins nach dem anderen zusammenfaltet, dann hat man schon wieder diese eine Bewegung verloren. Das ist ja gerade der Sinn dieser Faltung, dass man dieses Sonnensegel, das auf dieser Faltung basiert, sich in einer einzigen Bewegung in beide Richtungen öffnet. [Beispiel Wollstrumpf]

L: Ja, dann haben wir uns das Video angeguckt und dann kamen sie der Sache etwas näher. Bevor ich das bei Ihnen gesehen habe, hatte ich schon mal eine andere Sache. [zeigt Kopie]

F: Ja, das gibt es im Internet.

L: Aus einer Zeitschrift, hier wird der Winkel nicht gefaltet.

F: Ist das vorgezeichnet?

L: Das ist hier nur gerade gefaltet.

F: Wenn es gerade gefaltet ist, dann hat es ja nicht mehr diese Beweglichkeit.

L: Doch. [demonstriert die Faltung], das geht ja dann genau so auf.

F: Ok, aber es sind eigentlich zwei Schritte, man zieht erstmal in die eine und dann in die andere Richtung. Hier geht es aber gleichzeitig in beide Richtungen und das ist erst möglich, wenn der Winkel nicht 90 Grad ist. [kurze Demonstration des Winkel-Versuchs]. Das findet man auch im Blatt und im Sonnensegel, dessen Vorteil auch. Und wenn man das jetzt mal betrachtet, sich vorstellt hier in einem Winkel nur einen Motor oder irgendeinen Aktuator zu setzen, der das ganze öffnet, oder ein Hydrogel. Wenn man das an die eine Stelle setzt, öffnet es die ganze Struktur auf einmal, und hier kann man auch sagen, dass es in gewisser Weise auch energiesparend sein kann, weil man eben nur einen Schritt braucht.

L: Wir haben das auch mal probiert mit verschiedenen Größen, dadurch wird die Struktur länger, ja?

F: Die Struktur wird länger wenn der Winkel steiler wird.

L: Und wenn man kurz-lang macht?

F: Dann bekommt das eine Wölbung, es wird etwas blattähnlicher.

L: Wie gesagt, wir haben dann auch alle Sonnensegel durchgefaltet mal. Das kam mir ja auch wie gerufen, da hat man auch mal die Chance, so was auszuprobieren. Das [Ananasfaltung] haben nur 2 Schüler geschafft.

F: Da sage ich immer, wem es Spaß macht, das Falten, der kann das noch zusätzlich ausprobieren.

L: Ja, das **hat eine auch geschrieben, das war am Ende auch zuviel falten**, sie konnten sich zwar aussuchen, was sie falten wollten am Ende, aber.

F: [Erklärung technische Anwendung Stent]

L: Und was auch gut geklappt hatte, das mit dem Tannenzapfen, einwandfrei.

F: Besonders am Ende einer Stunde, wenn sie schon etwas müde sind.

L: Ja, ich habe sie auch am Anfang den Kegel kleben lassen und am Schluss, nachdem sie mich immer gefragt hatten, was wird denn das. **Das sind eigentlich wirklich ein paar schöne Sachen.**

F: Wie gesagt, das ist so aufgebaut: Grundmodul, dazu gehört auch die Blattfaltung und das Miura-Sonnensegel und die Knospentrachtung, so dass man das biologische Vorbild noch hat, die anderen Sachen sind in den Zusatzmodulen, je nachdem, wie viel Zeit man noch hat, wie die Schüler sich dafür interessieren, da können sie sich auch mal ein Modul mit nach Hause nehmen. Die anderen Themen, z.B. Faserverbund, da geht es darum, diese zu erklären und auf die aktuelle bionische Forschung einzugehen.

L: Verpackung und Natur habe ich mal gemacht. Da habe ich ihnen ein rohes Ei gegeben und Verpackungsmaterialien, und sie mussten das so verpacken, dass es nicht kaputt geht. Jedenfalls habe ich es etwas rumgeschmissen und geguckt, welches Ei ganz bleibt - und da hatten sie es wirklich auch mehrschichtig drauf, auch was wenig gefaltet ist raus, und **viele Sachen haben sie schon richtig gemacht, unbewusst. Das erzählen sie heute noch.** Die Kokosnuss hatte ich mal aus so einem Nachtigall-Buch, auch mehrfach verpackt, Faserverbund.

F: [kurze Erläuterung des Faserverbund-Experiments] Sie sind Fachlehrer für die Fächer?

L: Sport und Bio.

F: Chemie machen sie nicht.

L: Nein, ich hatte auch mit der Bionik nichts zu tun. Ich bin da so reingerutscht, aber mittlerweile bin ich ganz froh, **das ist so mein Standbein geworden** gerade bei den Schulzusammenlegungen, da war die Bionik im Prinzip mein drittes Standbein, da hatte ich die zwei Stunden schon mal sicher, die muss man auch erst mal haben. **Das Problem ist, ich habe keinen mit dem ich mich mal austauschen kann, das ist mein Hauptproblem.** In den anderen Kursen wechseln die sich aller drei Jahre ab. Ich habe immer die Schüler angespitzt, horcht, alles was ihr seht, lest oder auf Video seht. In das Profil bin ich auch erst neu reingekommen. Jetzt wurde das Thema Boden rausgestrichen und ich kann relativ viel Bionik machen, da bin ich froh.

F: Welche Themen behandeln Sie oder haben Sie behandelt?

L: Also in der 10, muss ich mal überlegen, weil ich es dieses Jahr wieder anders gemacht habe. Auf alle Fälle machen wir Lotus, das machen wir richtig mit Fotografie und Kontaktwinkelbestimmung, das müssen sie selber fotografieren, können sie ihre Apparate mitbringen, das ging mehr als zwei Stunden.

F: Wie viele Schüler haben sie eigentlich?

L: 16, und die Zehner sind auch sehr interessiert. Also Lotus mache ich, dann Klimabionik, also Termiten, Präriehund, dann den Eisbären, mit einem Lichtleitkabel den gezeigt, wie es geht, also analog wie es in dem Paetec drin ist, mache ich das dann auch. Flug habe ich mit drin, Geschichte. Dann mache ich auch einfach zwei Stunden was ist Bionik, und was nicht, da habe ich mal gesammelt, also Bionicle, Figuren, die es gibt, Stifte-Bionik, dann war ich im Sportgeschäft, da gibt es ja Bionik-Unterwäsche [Erläuterung]. Oder Bionik-Musik. Ja. Das mache ich im Profil. Ich muss ja auch wissen, wie kriege ich die Leute in meinen Kurs. Da mache ich ein bisschen Eigenwerbung.

F: Und in de 11/12 kommen neue Themen dazu oder diese werden vertieft?

L: **Teilweise vertieft, denn es sind ja nicht alle aus dem Nazi-Profil und machen Bionik**, aber das ist ganz schön, da sage ich zu denen, die es schon gemacht haben, hier, hört mal zu, ihr seid jetzt verantwortlich, denen das zu erklären, da mache ich noch mal ein paar praktische Sachen, das geht gut. In den Teilgebieten mache ich dann wesentlich mehr Beispiele, die Flossen kommen mit rein. **Mit einigen Themen sollen sie sich dann selbst damit beschäftigen, einen Kurzvortrag machen und sich gegenseitig bewerten**, da haben wir Kategorien entworfen, Anschaulichkeit, Verständlichkeit, das geht sehr gut.

F: Gibt es auch Themen wo sie sagen, die kommen am allerbesten an?

L: Lotusstunde klappt immer.

F: Warum? Weil die Schüler das schon kennen und nun wissen wollen, was dahinter steckt?

L: Dieses Phänomen, wie der Wassertropfen das saubermacht. Ihr Kollege hatte das auch gezeigt mit der Knete, aber ich bleibe bei den Kohlblättern und dem Ruß, das ist ja phänomenal. Die Stunde kommt eigentlich immer gut an. Die ganze Klimabionik eigentlich auch. Da habe ich Videoausschnitte und -mitschnitte. Eher praktisch ist dann der Flug, Samenflug, da müssen sie immer selber einen Samen bauen aus einem Stück Papier, Büroklammer als Gewicht dran, das ist der Samen. Das sollen sie selber bauen, und was die alles bauen, Kreise. Ja, und wir stoppen die Zeit, welcher am langsamsten runterfliegt, das ist das Ziel. Da stehen sie immer auf dem Tisch. Die Stunde ist immer gut, die Fliegerei. Das ist manchmal gar nicht Bionik, ich lass ich Papierflieger bauen, das ist schon viel Spaß. **Weil heute keiner mehr Papierflieger bauen kann. Da haben wir viel Spaß in der Stunde.**

F: Mädchen auch?

L: Ja, Mädchen auch, bauen alle mit. Ich mache dann auch Tierbiologie, Angepasstheit des Vogels ans Fliegen, ich mache also den Vogel komplett durch, von der Feder angefangen über das Skelett über die inneren Organe. Das gucken wir uns auch erstmal alles an. **Da kommt meine biologische Ader durch.** Dann schauen wir uns technische Fluggeräte an und schauen mal, was ist denn nun umgesetzt worden, Tragflächenkonstruktion usw.

F: Da müssen sie als Biologielehrer auch viel technisches Know-how haben.

L: Ja, ich bin selber auf dem Flugfeld groß geworden, von Kind auf damit zu tun gehabt, das Interesse war immer da. [persönliches Interesse]

F: Die anderen Lernbereiche des Profils machen Sie gar nicht?

L: Boden habe ich gemacht, der ist jetzt nicht mehr drin. **Da kam sehr viel Kritik von den Geografielehrern, denn das, was wir im Nawi machen, steht alles im Geografielehrplan drin, exakt dasselbe.** Die haben gesagt, die Hälfte der Klasse sitzt da, dreht Däumchen und ist gelangweilt und deshalb hat unsere Fachbereichsleiterin mit uns gesprochen, ob wir das nicht rauslassen können und dafür das andere strecken, eben die Bionik. Ich habe jetzt zwei mal zwei Stunden. Das ist auch mit dem Informatiklehrer abgesprochen, weil alle Webseiten, die die machen, bionische Themen sind.

F: Sie sind aber nicht gemeinsam im Unterricht, sondern wechseln sich ab?

L: An dieser Stelle sind wir beide da. Er macht den Informatikteil und sage den Schülern das Inhaltliche. Das dauert so zwei Stunden, bis die ein Thema abgegrenzt haben. Dann bauen die das zusammen.

F: Die anderen Lernbereiche machen Sie nicht?

L: Nein [Ausführung zu Licht und Farben, Boden], das Interesse ist stark lehrerabhängig.

F: Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen für den Profilunterricht Bionik?

L: **Ausreichend auf alle Fälle, ich muss das ja auch so sehen, dass ich den Großteil auch wiedersehe,** gerade wenn wir Boden weglassen in der 10, dann langt das allemal. dann verstehen die auch, was Bionik ist, wir schreiben ja auch in der 10 eine Arbeit, eine komplexe Lernleistung [Thema BeLL].

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung, wieviel Zeit den Schülern für die selbständige Schülerarbeit im Bionikunterricht zur Verfügung steht.

L: Bei uns ist es so, wir können nicht drei Stunden am Stück. Am Mittwoch ist Profiltag, der wird geblockt, da müssen auch alle Lehrer da sein, da wechseln wir uns ab. Und **von den zwei Stunden, die ich da halte, ist eine mindestens Praxis,** wenn es nicht gerade etwas Schwieriges ist. Fliegerei machen wir sehr viel, Lotus haben wir. Aber drei Stunden am Stück, die haben das auch in der 8.-10. Stunde, da muss ich was Praktisches machen, weil die nach einer Stunde fertig sind. Mit den Großen, das geht dann, die haben Informatik - und wenn ich die am Rechner sitzen lasse, dann geht das kurioserweise wieder.

F: Wie erleben sie die Akzeptanz der Bionik geschlechtsspezifisch?

L: **Keine Unterschiede, überhaupt nicht. Die Damen sind genauso interessiert an allem, was wir machen.**

F: Oder themenabhängig?

L: Das ist ja witzig, ich habe das ja unabhängig voneinander das gemacht mit den Powerpoint-Präsentationen in der 11 und in der 10. Das erste Mal in dieser Form. Da haben die das mit dem Autoreifen mit der Katzenpfote gemacht, letztes Jahr haben das die Jungs gemacht, dieses Jahr waren es nur Mädchen. Sandfisch waren nur Jungs dieses Jahr, Lotus mal Jungs, mal Mädchen, also das kann man nicht so sagen. Kofferschiff, die Geschichte ein bisschen mit erklären, das sind eigentlich immer nur Jungs.

F: Die Faltungen werden eher den Mädchen zugeschrieben.

L: Die **Mädchen sind geschickter und ausdauernder.** Die Ananasfaltung haben auch nur Mädchen geschafft.

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?

L: Informatik, ein Biologe, der mich unterstützt. Ich habe auch eine Lehrerfortbildung an unserer Schule gemacht, ich mache auch externe Exkursionen z.B. auf den Flugplatz [Beschreibung der Exkursion und dem Kontakt zu einer Berufsschule].

F: Die letzte Frage: Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken? Auf einer Skala von 1, überhaupt nicht, bis 5, auf jeden Fall.

L: Das ist schwierig zu sagen. Sagen wir mal so, wir wollen ja eigentlich mit dem Profilunterricht in der Klasse 10 das erreichen, **das Fächerübergreifende hat nicht funktioniert. Es bleibt jeder in seiner Schublade.**

F: Dadurch, dass jeder Lehrer sein Fach weiterverfolgt?

L: Teambildung, dass der mal 20 Minuten mit in der Klasse ist, überhaupt nicht, da bleibt jeder in seiner Schublade, so kommt das auch bei dem Schüler an, das ist da, das ist da.

F: Aber trotzdem steht ja ein Problem im Mittelpunkt und die verschiedenen Lehrer geben ihres

L: Wenn das parallel laufen würde, aber das kommt ja wieder mit der Planung nicht hin. Ich sag mal ganz ehrlich, **der Profilunterricht, der fächerübergreifend hier stattfindet, das ist ein riesiger organisatorischer Aufwand**, da muss man die Lehrer blocken, die Informatikräume blocken, das gesellschaftliche Profil auch noch, das gibt Zoff und Ärger, das ist ein riesiges organisatorisches Monstrum geworden. Wir haben das Erfahrungsmodell eines anderen Gymnasiums genommen, alle Profile an einem Tag, sonst geht es ja gar nicht. Obwohl viel guten Unterricht machen, dümpelt jeder für sich rum. Wenn ich die Natur und die Technik nehme, da verstehen die das sofort, es gibt bestimmte Stellen, aber das Große, was wir wollen, also ich glaube nicht.

F: Wenn der komplette andere Unterricht nur in Schubladen stattfindet und in den zwei Stunden soll dann alles fächerübergreifend sein, mit aber den gleichen Lehrern des Bio- und Chemieunterrichts.

L: Ja, **das ist eigentlich traurig, aber, es ist ja auch so unflexibel, dass die Stunden nicht abgerechnet werden können. Also es bleibt vieles auf der Strecke weil es eben organisatorisch schwierig ist.**

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

Fall 9

[Einleitung]

F: Sie unterteilen das noch einmal innerhalb des Bionik-Lernbereichs?

L1: Einmal in den html-Teil, dann die ersten 12 Stunden Grundlagen, dann gehen sie in die Informatik, haben sich dann ein Thema aus den vielen, die möglich sind, herausgesucht, was sie dann genauer untersuchen sollen, dazu machen sie dann die html-Seite, dann kommen sie wieder zu uns und sie machen ihre Präsentation. **Da haben sie Zeit, ein Arbeitsblatt zu gestalten, ein Modell eventuell zu basteln, womit sie sich oft sehr schwer tun, es ist viel leichter, sich im Internet eine Seite rauszusuchen.**

F: Sie können sich selbst ein Thema raussuchen?

L1: Sie können sich selbst ein Thema raussuchen.

F: Ist das nicht für die Schüler auch motivierend, wenn sie sich selbst zu einem Thema informieren können?

L1: Ja, es gibt eben nicht zu allen Themen so viel umfassendes Material, dass man sagen könnte, man macht jetzt einen 20minütigen Vortrag. Wir hatten das mit der Haifischhaut, da haben die schon schönen Modelle gemacht von den Haifischschuppen aus Gips. Oder diese Wellblechfaltungen.

F: Gibt es denn diese Badeanzüge zu kaufen mit dem Ribleteffekt?

L1: Es gibt einige, die ihre Badeanzüge mitbringen, die schwimmen, aber das ist immer schwer zu sagen, ob dieser Effekt da ist.

F: Die Faltungen haben Sie auch ausprobiert?

L1: Ja, und das hat eigentlich auch Spaß gemacht.

F: Wie viele Stunden haben Sie dafür?

L1: Drei einfache Stunden. Erst mal eine Stunde allgemein und dann zwei, wo wir was richtig machen, auch die Käferflügel, die lassen sich auch gut machen. Da haben sie auch einen Bezug dazu, das können sie sich vorstellen, wie die Käfer ihre Flügel ausklappen.

F: Haben Sie auch eine Käfersammlung?

L1: Ja, die nehme ich dann immer mit.

F: Jetzt ist ja auch gerade eine gute Zeit für die Faltungen, wo die Schüler auch mal dokumentieren können, was da draußen passiert an so einer Knospe. [Fotoabfolge] Haben Sie auch noch andere Experimente erprobt?

L1: Den Flossenstrahleffekt, den habe ich das letzte Mal das erste Mal gemacht und das hat eigentlich auch ganz gut geklappt. Da hatten wir Schwanzflossen, man tut sich erst mal ein bisschen schwer mit dem Schneiden, dass die dann auch dünn genug sind. Aber dann ist es schön zu sehen.

F: Haben Sie Binokulare?

L1: Nein, wir haben es mit dem Mikroskop gemacht, es geht.

F: Und haben Sie auch den Greifer gebaut?

L1: Nein, den Greifer direkt nicht, das Modell haben wir gemacht, **für den Greifer hatten wir die Zeit nicht mehr.**

F: Seit wann unterrichten Sie Bionik?

L1: Bestimmt jetzt seit 5 Jahren.

F: Haben Sie den Wahlgrundkurs gar nicht?

L1: Nein.

F: Sie sind Fachlehrer für die Fächer?

L1: Biologie und Chemie.

F: In welcher Klassenstufe unterrichten Sie die Bionik?

L1: In der 9.

F: Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung für die Bionik?

L1: Wir machen das in Trimestern, und das sind insgesamt pro Trimester etwa dreiunddreißig Stunden.

F: Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?

L1: [gehen zum Schrank], das grüne Buch von Paetec. Das hier [zeigt ein Lehrbuch von Bernd Hill (2001)] hatten wir früher, aber das verwende ich eigentlich gar nicht mehr, nur vorn die Einleitungsseiten oder das hier, aber das ist nicht so anschaulich. Das grüne ist wesentlich besser. [Aufnahme schwer zu verstehen]

F: Und haben Sie auch das dünne Experimentierheft von Paetec von z.B. dem Eisbärenthema?

L1: Ja, das hat die Kollegin einmal da.

F: Aber sonst haben Sie keine Materialien?

L1: Nein.

F: Haben Sie das Buch als Klassensatz da?

L1: Ja, das geben wir dann immer aus. Das ist eigentlich auch ausreichend da, solange wir die kleinen Gruppen haben, reicht das eigentlich auch immer.

F: Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt oder planen Sie durchzuführen?

L1: Na ja, ich sag mal so, das sind eigentlich auch die, die wir ein bisschen tiefgründiger machen, dann kommen Lotuseffekt, Vogelflug machen wir, dass sie erst mal einen Einstieg kriegen, wie funktioniert denn das jetzt, das geht eigentlich gut.

F: Arbeiten Sie auch in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern?

L1: In der Bionik selber nicht, also nur mit der Informatik.

F: Manchmal ist es ja interessant, mal den Blick von der Physik zu bekommen, oder die Chemie für den Lotuseffekt.

L1: Ja, das wäre toll, so eine Möglichkeit zu haben, so eine Lotuspflanze mal zu züchten. Ich kenn das aus Italien, da habe ich die gesehen, da wusste ich noch nicht, was eine Lotuspflanze ist. da war ich auch begeistert davon. Man kann es ja hier nicht sehen. Erst in der 10. Klasse machen wir mal eine Exkursion in den Botanischen Garten nach Dresden.

F: [Beschreibung Bionikpfad]. Sie machen also den Lotuseffekt, Fliegen, eine Einführung auch?

L1: Ja, ich habe da hier so eine Kopie gemacht, da habe ich einfach ein paar Dinge draufgeschrieben, da müssen die Schüler mal versuchen zuzuordnen. Und das ist manchmal ganz schön schwer, also das Bionic-Car zum Beispiel.

F: Mit dem Kofferfisch?

L1: Ja, genau.

F: Haben Sie das Gefühl, dass die Schüler schon viel Vorwissen haben zur Bionik?

L1: **Jetzt kann man auf jeden Fall fragen, was ist Bionik, und man bekommt auf jeden Fall eine Antwort. Als wir das in den ersten zwei Jahren gemacht haben, da kam nichts.** Aber im Prinzip ist es ja..., denn so viel kennt man ja eigentlich nicht.

F: Ja, man kennt vielleicht den Lotuseffekt, oder aus Fernsehsendungen.

L1: Ja, der Saugnapf eben, das hat man schon hundert Mal zu Hause benutzt. [zeigt die Analogien-Kopie, kurzer Austausch dazu]

F: Schreiben Sie auch eine Klausur oder bewerten Sie die Protokolle?

L1: Ich schreibe einen Test für die Grundlagen.

F: Und Protokollbewertung machen Sie nicht?

L1: Nein, die Präsentation wird auch bewertet. Die Informatik noch zwei Noten.

F: Die Profilnote kann ja auch ausgleichen.

L1: Ja, aber das kommt weniger im naturwissenschaftlichen Profil vor, dass man dann wirklich ausgleichen kann, dann schon eher mal die Künstler. Wo dann eine Zwei da ist und eine Mathe-5 ausgeglichen werden kann. Das passiert auch wirklich. **Wenn man sich einmal reingearbeitet hat, dann geht das schon, dann weiß man auch, wie man das dann noch erweitern kann**, aber es war ja angedacht, weil es sich eben schwer planen lässt, dass alles auf eine Schiene zu bringen, dass einzelne Lehrer Profillehrer werden, die dann Boden, Kommunikation, Bionik machen. Sich in die ganzen Profile reinarbeiten und hauptsächlich das machen. **Jetzt hat jeder so ein Thema abgekriegt und das haben wir uns aufgeteilt und damit kann man eigentlich ganz gut leben.**

F: Ja, sonst hat man wieder einen Lehrer, der alles macht, das ganze "Fach".

L1: In der Optik, da teilen sich Bio- und Physiklehrer rein in der 8. Klasse. Aber vieles wiederholt sich da auch, das ist ungünstig. Ich sehe es zum Beispiel in Chemie Klasse 8, das Wasserprofil, da gibt es ja ganz viel mit Anomalie des Wassers. **Bei der einen Gruppe arbeite ich das vor im Chemieunterricht und das Profil kommt dann hinterher, da wissen die das alles schon und manchmal, das was ungünstiger ist, dass im Profil schon Vorleistung gebracht wird, und dann komme ich, und muss das denen, die aus dem sprachlichen und künstlerischen Profil kommen, neu vermitteln, und die anderen langweilen sich.** [schulinterne Regelung] Wir schreiben dafür in der neunten Klasse eine Jahresarbeit, eine komplexe Lernleistung, die ist ja jetzt gefordert vom Lehrplan her [kurze Beschreibung der komplexen Lernleistung in der Schulpraxis].

F: Welche Bionikthemen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern? Fällt Ihnen da eines ein, oder ist das geschlechtsabhängig, oder personenabhängig?

L1: Die Faltungen kommen bei den Mädels schon sehr gut an, das muss ich schon sagen. Und der Flossenstrahleffekt, weil wir es eben auch experimentell etwas unterlegt haben, das hat denen schon Spaß gemacht. Aber gerade auch die Bewegungs-bionik, das merkt man dann bei den Themen, die sie sich so raussuchen, das kommt auch gut an, aber das ist dann schon sehr unterschiedlich. Es gibt auch alles, ein paar trauen sich an die Klimabionik heran.

F: Machen Sie das eigentlich einzeln oder in Gruppen?

L1: Zu zweit oder zu dritt.

F: Die anderen Lernbereiche führen Sie selbst gar nicht durch?

L1: Nein.

F: Gut, dann ist die Frage auch irrelevant. Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht? Auf einer Skala von 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel).

L1: **Für manche Themen bräuchte man schon ein paar Stündchen mehr, aber das ist schon ausreichend. Einfach von daher, dass man überall ein bisschen Einblick erhält.**

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wieviel Zeit den Schülern im Bionikunterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht. Neben dem Experimentieren auch Eigenrecherche, Protokollieren.

L1: Das kann ich wegen des Informatikanteils schwer sagen.

F: Nur für Ihren Teil.

L1: 30-35 Prozent.

F: Mehr als im normalen Unterricht?

L1: **Ungefähr gleich.**

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch? Gibt es da Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen, auf einer Skala von 1 bis 5?

L1: **Ich denke, die Jungs sind mehr interessiert, auch generell an den Naturwissenschaften, in dieser Altersgruppe. Die Mädels hören zu, sind fleißig, finden das auch durchaus schön, aber so dieses aktive Mitarbeiten, Ideen einbringen, das machen die Jungs eher.**

[die andere Lehrerin betritt den Raum]

F: Sie sind auch Fachlehrerin für Bio und Chemie?

L2: Ja.

F: Sie haben jetzt unterschiedliche Klassen, in denen Sie Bionik unterrichten?

L2: Ja.

F: Aber die gleichen Materialien?

L2: Ja.

F: Behandeln Sie auch ungefähr die gleichen Themen?

L2: Ich habe am Anfang mit der Energie angefangen, ich habe dann auch so ein bisschen hin- und herüberlegt nach den ersten Jahren, aber dadurch, dass die Energiedebatte ja immer wieder aktuell ist und die Schüler sind ja damit auch konfrontiert, und die letzten Kurs haben auch gesagt, das hat uns gefallen. Gerade wo sie auch merken, wo der Nachhaltigkeitsgedanke ist, was passiert denn hier so um uns herum. Dann die Faltungen, da haben wir verschiedene so ausprobiert oder vorgestellt erstmal. Der letzte Kurs, wo Sie da waren mit den Faltungen, die haben dann gefragt, kommt das noch mal dran in der Arbeit? Tun Sie uns das nicht an. Das ist ja so schwierig.

F: War das denn so schwierig?

L2: **Für die war das ganz schwierig.**

F: Vielleicht lag es an mir?

L2: Nein. Wir haben dann noch Flugmodelle gebaut. Und mal geschaut, was sind denn so typische Merkmale, **das ruft ja immer Erheiterung hervor, wenn sie dann ihre Modelle bauen und fliegen lassen dürfen.** Da machen wir Wettfliegen, aber man stellt eben auch fest, dass **ein paar eben ganz ratlos dasaßen, weil sie keine Papierflieger bauen konnten.** Mit dem Flossenstrahleffekt, das geht auch relativ gut.

F: Gut, dann ist die Frage auch irrelevant. Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht? Auf einer Skala von 1 (zu wenig), 2 (ausreichend) bis 3 (zu viel).

L2: [zur anderen Lehrerin] Was hast Du da gesagt?]

L1: Ich habe gesagt ausreichend.

L2: Die Schüler sagen das auch selber. manchmal fragt man sie ja auch, oder sagt, schätzt mal ein, und die sagen dann auch immer, das macht denen auch wirklich viel Spaß.

F: Machen Sie eine Art Evaluation am Schluss?

L2: Ja, einfach mal fragen, das ist eigentlich vorwiegend positiv. Sie sollen auch sagen, was ihnen nicht so gefallen hat, was sie anders machen würden, **aber die haben eigentlich immer positive Reaktionen.** Dinge, die man eben zu Hause hat, die sie eben technisch entdecken, die sagen dann auch, dass sie merken, dass man als Lehrer einen ziemlich straffen Zeitplan hat, dass man nicht mal krank werden darf oder ausfallen.

F: Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wieviel Zeit den Schülern im Bionikunterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht. Neben dem Experimentieren auch Eigenrecherche, Protokollieren.

L2: **Wenn man mal grob rechnet, dann fast zwei Drittel, mindestens aber 60 Prozent.**

F: Also schon relativ viel, mehr als sonst im Unterricht?

L1: Das kommt sicher immer drauf an, manchmal macht man Stationsbetrieb im Unterricht, wo man sehr viel selbständiges Arbeiten hat. Da kann man das schlecht einschätzen, wie das jeder so im Unterricht macht.

L2: Wenn man das jetzt hier sieht, wir machen ja im Prinzip erst die Stunden Einleitung, dann Informatik

L1: Da weiß ich ja eben nicht, was man da oder inwieweit die dort selbständig arbeiten.

L2: Im ersten Teil machen Sie schon informatische Sachen, da recherchieren sie, stellen es zusammen.

F: Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch? Gibt es da Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen, auf einer Skala von 1 bis 5?

L2: **Die Jungs melden sich vielleicht mehr, aber das kommt auch immer auf die Gruppenzusammensetzung drauf an.**

F: Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern?

L2: Eigentlich nur eben mit der Informatik.

L1: **Na, man holt sich mal einen Ratschlag bei den Physikern.**

L2: Das Hauptaugenmerk liegt hier ja auch auf den biologischen und chemischen Sachen, früher haben wir auch mit Wasserstoff Experimente gemacht.

F: Sie haben sich am Anfang ja auch alles zusammensuchen müssen?

L1: Ja, **wir hatten erst nur den Lehrplan, das war am Anfang ziemlich schwierig**. Da haben wir uns lange Zeit auch auf den Wasserstoff ein bisschen versteift. Da kommen dann solche schönen Sachen [zeigt auf Faltungen] und da haben wir dann gesagt, nein, da kann man dann doch was anderes machen.

F: Woher haben Sie die Themen herbekommen oder Informationen? Das Lehrbuch kam ja erst 2007 heraus.

L2: Wir haben da dieses andere Buch gehabt, wenn man das denen gibt, die arbeiten sich da wirklich ein, ob das jetzt geschichtlich ist.

L1: Am Anfang waren wir mal im Humuswerk und haben den Stoffkreislauf angeschaut, aber da geht natürlich Zeit drauf.

L2: Die Zeit ist jetzt auch anders verteilt, weil wir eben durch diese Anregungen hier viele Beispiele haben, also diese Faltungen oder der Flossenstrahleffekt. Wenn man diese Anregungen hat, da freuen die sich unheimlich. Ich habe auch die Erfahrungen gemacht, dass da gar nicht so viel aufgeschrieben werden muss, die stellen das mal vor, da klingt das dann schon durch, was ist Bionik, man lernt von der Natur, mit diesem Beispielen, und für den Anfang hatte die Kollegin so ein kleines Blatt entworfen mit Begriffen, da gehen zwei Stunden rum wie im Fluge. [schlechte Qualität der Tonaufnahme], **die haben das dann erklärt, mit den anderen diskutiert und so, da werden sie schon sehr aktiv**.

L1: Da kommt ja manchmal auch die große Show der Naturwunder, Lotuseffekt.

F: Verwenden Sie auch DVDs aus der Stadtmedienstelle?

L1: **Dadurch, dass sie jetzt den Kurier uns gestrichen haben, ist das eher schwierig** [kurze Diskussion zu finanziellen Mitteln].

F: Fördert Ihrer Meinung der fächerübergreifende Unterricht auch das fächerübergreifende Denken? Etwas provokativ gefragt, aber kann man sagen, dass das Ganze was bringt?

L1: **Sagen wir mal, es fängt an. Ich würde jetzt nicht sagen, dass die Schüler jetzt fächerübergreifend denken, aber man gibt damit Anstöße und es fällt manchem Schüler leichter. Aber das ist ein Entwicklungsprozess, den man erst wirklich jetzt angeschoben hat.**

L2: Mir ist aufgefallen, dass wenn man sagt, am Anfang [schlechte Qualität der Tonaufnahme], wobei wir eben manchmal auch feststellen, das ist für die Schüler auch manchmal Wiederholung aus der Chemie oder Physik.

F: Da könnte man sagen, es ist ungünstig, wenn es sich wiederholt, andererseits sehen die Schüler so eine Parallele, dass das Wissen auch etwas nutzt [kurze Beschreibung einer Themenwoche einer anderen Schule].

[Kompetenzabfrage, Dankeschön]

A2. Halbstandardisiertes Interview mit Interviewleitfaden

Bionik im Schulunterricht

1. Seit wann unterrichten Sie das Thema Bionik?
2. Sie sind Fachlehrer für die Fächer.....
3. In welcher Klassenstufe unterrichten Sie Bionik?
4. Wie viele Unterrichtsstunden stehen Ihnen zur Verfügung?
5. Welche Unterrichtsmaterialien stehen Ihnen zur Verfügung?
6. Welche Themen haben Sie im Unterricht behandelt/ welche planen Sie durchzuführen?
7. Welche Bionik-Themen stoßen Ihrer Meinung nach auf das größte Interesse bei den Schülern?
8. Welche Erklärung haben Sie dafür?
9. Vergleichen Sie das Interesse der Schüler mit den anderen Lernbereichen:
Skala 1 (kein Interesse) bis 5 (sehr großes Interesse)

	1	2	3	4	5
Licht und Farben					
Messen, Steuern, Regeln					
Kommunikation					
Boden					
Astronomische Beobachtungen					
Bionik – Lernen von der Natur					

10. Wie empfinden Sie den zeitlichen Rahmen, der Ihnen im Unterricht für die Bionik zur Verfügung steht?
Skala 1 (zu wenig), 2 (ausreichend), 3 (zu viel)

	1	2	3
Bionik-Zeitrahmen			

11. Geben Sie eine prozentuale Schätzung ab, wie viel Zeit den Schülern im Bionik-Unterricht für die selbständige Schülerarbeit zur Verfügung steht.
12. Wie erleben Sie die Akzeptanz der Thematik Bionik geschlechtsspezifisch [in Prozent]?
Skala 1 (nicht interessiert) bis 5 (sehr interessiert)

	1	2	3	4	5
Jungen					
Mädchen					

13. Arbeiten Sie in Kooperation mit anderen Fachbereichslehrern? Wenn ja, welche?
14. Fördert fächerübergreifender Unterricht tatsächlich das fächerübergreifende Denken?
Skala 1 (überhaupt nicht) bis 5 (in jedem Fall)

	1	2	3	4	5
Fächerübergreifendes Denken					

15. Kompetenzentwicklung spielt in didaktischen Überlegungen eine zunehmend wichtige Rolle. Welche Kompetenzen können Ihrer Meinung nach im Bionikunterricht erlangt werden? Bitte kreuzen Sie dazu die Tabelle an und nennen Sie ein Thema.

Skala 1 (ja, auf jeden Fall), 2 (eventuell, unter Umständen), 3 (nein)

	1	2	3	Thema
Kompetenzbereich Fachwissen				
Beschreibung von Organismen und Organismengruppen als System				
Verständnis für grundlegende Kriterien nachhaltiger Entwicklung				
Beschreibung/Erklärung von Struktur und Funktion von Organen und Organsystemen, z.B. bei Stoff- und Energieumwandlung, Steuerung und Regelung, Informationsverarbeitung, Vererbung und Reproduktion				
Beschreibung vom Verlauf/Ursachen der Evolution an ausgewählten Lebewesen				
Erörterung von Eingriffen des Menschen in die Natur und Kriterien für solche Entscheidungen				
Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung				
Mikroskopie und Zeichnung von Zellen				
Beschreibung/Vergleich von Anatomie und Morphologie von Organismen				
Planung/Durchführung/Auswertung einfacher Experimente				
Anwendung von Modellen zur Veranschaulichung				
Erörterung von Tragweite und Grenzen der Untersuchungsanlage, -schritte und -ergebnisse				
Beurteilung der Aussagekraft von Modellen (Fehlerdiskussion)				
Kompetenzbereich Kommunikation				
Kommunikation und Argumentation in verschiedenen Sozialformen				
Beschreibung und Erklärung von naturgetreuen Abbildungen und Zeichnungen				
Darstellung von Ergebnissen/Methoden und deren Argumentation				
Auswertung von Informationen zu biologischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen				
Referat zu gesellschafts- und alltagsrelevanten biologischen Themen				
Erklärung biologischer Systeme und Inbeziehungsetzung mit Alltagsvorstellungen				
Kompetenzbereich Bewertung				
Unterscheidung beschreibender (naturwissenschaftlicher) und normativer (ethischer) Aussagen				
Beurteilung verschiedener Maßnahmen und Verhaltensweisen zur Erhaltung der eigenen Gesundheit und zur sozialen Verantwortung				
Beschreibung/Beurteilung von Erkenntnissen und Methoden zu aktuellen Bezügen wie zu Medizin, Biotechnik und Gentechnik, unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Werte				
Beschreibung/Beurteilung der Auswirkungen menschlicher Eingriffe in einem Ökosystem				
Erörterung von Handlungsoptionen einer umwelt- und naturverträglichen Teilhabe im Sinne der Nachhaltigkeit				

A3. Nationale Bildungsstandards für die Kompetenzbereiche des Faches Biologie

Im Folgenden sind für die vier Kompetenzbereiche Regelstandards formuliert, die von Schülerinnen und Schülern mit Erreichen des Mittleren Schulabschlusses im Fach Biologie zu erwerben sind (KMK 2004a).

A3.1 Standards für den Kompetenzbereich Fachwissen

Lebewesen, biologische Phänomene, Begriffe, Prinzipien und Fakten kennen und den Basiskonzepten zuordnen

F 1 System

Die Schülerinnen und Schüler ...

- F 1.1 verstehen die Zelle als System,
- F 1.2 erklären den Organismus und Organismengruppen als System,
- F 1.3 erklären Ökosystem und Biosphäre als System,
- F 1.4 beschreiben und erklären Wechselwirkungen im Organismus, zwischen Organismen sowie zwischen Organismen und unbelebter Materie,
- F 1.5 wechseln zwischen den Systemebenen,
- F 1.6 stellen einen Stoffkreislauf sowie den Energiefluss in einem Ökosystem dar,
- F 1.7 beschreiben Wechselwirkungen zwischen Biosphäre und den anderen Sphären der Erde,
- F 1.8 kennen und verstehen die grundlegenden Kriterien von nachhaltiger Entwicklung.

F 2 Struktur und Funktion

Die Schülerinnen und Schüler ...

- F 2.1 beschreiben Zellen als strukturelle und funktionelle Grundbaueinheiten von Lebewesen,
- F 2.2 vergleichen die bakterielle, pflanzliche und tierische Zelle in Struktur und Funktion,
- F 2.3 stellen strukturelle und funktionelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Organismen und Organismengruppen dar,
- F 2.4 beschreiben und erklären Struktur und Funktion von Organen und Organsystemen, z. B. bei der Stoff- und Energieumwandlung, Steuerung und Regelung, Informationsverarbeitung, Vererbung und Reproduktion,
- F 2.5 beschreiben die strukturelle und funktionelle Organisation im Ökosystem,
- F 2.6 beschreiben und erklären die Anpasstheit ausgewählter Organismen an die Umwelt.

F 3 Entwicklung

Die Schülerinnen und Schüler ...

- F 3.1 erläutern die Bedeutung der Zellteilung für Wachstum, Fortpflanzung und Vermehrung,
- F 3.2 beschreiben die artspezifische Individualentwicklung von Organismen,
- F 3.3 beschreiben verschiedene Formen der Fortpflanzung,
- F 3.4 beschreiben ein Ökosystem in zeitlicher Veränderung,

- F 3.5 beschreiben und erklären stammesgeschichtliche Verwandtschaft von Organismen,
- F 3.6 beschreiben und erklären Verlauf und Ursachen der Evolution an ausgewählten Lebewesen,
- F 3.7 erklären die Variabilität von Lebewesen,
- F 3.8 kennen und erörtern Eingriffe des Menschen in die Natur und Kriterien für solche Entscheidungen.

A3.2 Standards für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Arbeitstechniken anwenden

Die Schülerinnen und Schüler ...

- E 1 mikroskopieren Zellen und stellen sie in einer Zeichnung dar,
- E 2 beschreiben und vergleichen Anatomie und Morphologie von Organismen,
- E 3 analysieren die stammesgeschichtliche Verwandtschaft bzw. ökologisch bedingte Ähnlichkeit bei Organismen durch kriteriengeleitetes Vergleichen,
- E 4 ermitteln mithilfe geeigneter Bestimmungsliteratur im Ökosystem häufig vorkommende Arten,
- E 5 führen Untersuchungen mit geeigneten qualifizierenden oder quantifizierenden Verfahren durch,
- E 6 planen einfache Experimente, führen die Experimente durch und/ oder werten sie aus,
- E 7 wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an,
- E 8 erörtern Tragweite und Grenzen von Untersuchungsanlage, -schritten und -ergebnissen,
- E 9 wenden Modelle zur Veranschaulichung von Struktur und Funktion an,
- E 10 analysieren Wechselwirkungen mit Hilfe von Modellen,
- E 11 beschreiben Speicherung und Weitergabe genetischer Information auch unter Anwendung geeigneter Modelle,
- E 12 erklären dynamische Prozesse in Ökosystemen mithilfe von Modellvorstellungen,
- E 13 beurteilen die Aussagekraft eines Modells.

A3.3 Standards für den Kompetenzbereich Kommunikation

Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- K 1 kommunizieren und argumentieren in verschiedenen Sozialformen
- K 2 beschreiben und erklären Originale oder naturgetreue Abbildungen mit Zeichnungen oder idealtypischen Bildern,
- K 3 veranschaulichen Daten messbarer Größen zu Systemen, Struktur und Funktion sowie Entwicklung angemessen mit sprachlichen, mathematischen oder bildlichen Gestaltungsmitteln,
- K 4 werten Informationen zu biologischen Fragestellungen aus verschiedenen Quellen zielgerichtet aus und verarbeiten diese auch mit Hilfe verschiedener Techniken und Methoden adressaten- und situationsgerecht,

- K 5 stellen biologische Systeme, z. B. Organismen, sachgerecht, situationsgerecht und adressatengerecht dar,
- K 6 stellen Ergebnisse und Methoden biologischer Untersuchung dar und argumentieren damit,
- K 7 referieren zu gesellschafts- oder alltagsrelevanten biologischen Themen,
- K 8 erklären biologische Phänomene und setzen Alltagsvorstellungen dazu in Beziehung,
- K 9 beschreiben und erklären den Bedeutungsgehalt von fachsprachlichen bzw. alltagssprachlichen Texten und von Bildern in strukturierter sprachlicher Darstellung,
- K 10 wenden idealtypische Darstellungen, Schemazeichnungen, Diagramme und Symbolsprache auf komplexe Sachverhalte an.

A3.4 Standards für den Kompetenzbereich Bewertung

Biologische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Die Schülerinnen und Schüler ...

- B 1 unterscheiden zwischen beschreibenden (naturwissenschaftlichen) und normativen (ethischen) Aussagen,
- B 2 beurteilen verschiedene Maßnahmen und Verhaltensweisen zur Erhaltung der eigenen Gesundheit und zur sozialen Verantwortung,
- B 3 beschreiben und beurteilen Erkenntnisse und Methoden in ausgewählten aktuellen Bezügen wie zu Medizin, Biotechnik und Gentechnik, und zwar unter Berücksichtigung gesellschaftlich verhandelbarer Werte,
- B 4 beschreiben und beurteilen die Haltung von Heim- und Nutztieren,
- B 5 beschreiben und beurteilen die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in einem Ökosystem,
- B 6 bewerten die Beeinflussung globaler Kreisläufe und Stoffströme unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung,
- B 7 erörtern Handlungsoptionen einer umwelt- und naturverträglichen Teilhabe im Sinne der Nachhaltigkeit.

A4. Erwartungshorizont

Die für das Fach Bionik festgelegten Zielvorstellungen erfordern gesonderte Standards in den vier Kompetenzbereichen, insbesondere Bezug nehmend auf die Arbeitsweise und den Prinzipientransfer aus der Natur und technische Systeme. Da es weder bundesweite Vorgaben zum Einsatz des Themas Bionik im naturwissenschaftlichen Unterricht noch dementsprechende Anforderungen an Bildungsstandards gibt, wurden im Folgenden die Standards für den Fächerkanon „Biologie – Physik – Chemie“ verwendet. Definiertes Ziel des Lernbereichs Bionik ist es, dass die Schüler die Bionik als eine Wissenschaftsdisziplin kennenlernen, bei der Vorgänge und Strukturen der belebten Natur zur Lösung technischer Probleme beitragen. Im Mittelpunkt steht dabei die Aneignung interdisziplinärer Arbeitsweisen.

Die Standards werden mithilfe der Abkürzungen der nationalen Bildungsstandards dargestellt.

- F = Fachwissen,
- E = Erkenntnisgewinnung,
- K = Kommunikation,
- B = Bewertung.

Die Zahlen innerhalb der Spalten beziehen sich auf die Nationalen Bildungsstandards der Fächer Biologie (grün), Physik (rot) und Chemie (blau).

Die Seitenzahlen wiederum beziehen sich auf das Schülermaterial der im DUDEN-Schulbuchverlag neu erschienenen Bionik-DVD.

„Faltungen in Natur und Technik – Origami des Lebens“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	„Wo findest du in der Natur Falten...“	1.2	2		
1: Nr.2	„Zerknülle ein Blatt Papier...“	3			
1: Nr.3	„Zwei Faltstrukturen werden miteinander verglichen...“	8			
1: Nr.4	„Zerschneide ein A5 Blatt in...“	8			
1: Nr.5	„Was befindet sich in einer Knospe?“	1.2			
2: Nr.6	„Samle möglichst große Knospen...“	2.4	1 2		
2: Nr.7	„Beobachte und dokumentiere den Vorgang des Knospenaustriebs...“	2.4 3.1	6	1 2 5	
2: Nr.8	„Überlege, welche Funktion...“		2		
2: Nr.9	mathematisches Origami			3	
5: Nr.1	Origami-Blattfaltung		9		
5: Nr.2	Unterschiedliche Abstände zwischen Berg- und Talfalten		6		
6: Nr.1	Miura-Sonnensegel		9		
6: Nr.2	Recherche Nutzung von Sonnensegeln	1			2
6: Nr.3	Anforderungen an Entfaltungsmechanismus von Sonnensegeln	4		3	
6: Nr.4	Mögliche weitere Verwendungen?	4		7	

6: Nr.5	Analogie Mohnblüten- mit Miurafaltung	5 2.3	2		
7-10:	Sonnensegel-Schablonen		9	1	2
11: Nr.1	Skizziere entstandenes Faltmuster.		9		
11: Nr.2	Entwickle daraus eine Schablone.		9		
11: Nr.3	Vergleich der Faltung mit vorangegangenen.		9		
11: Nr.4	Überlegung zur technischen Verwendbarkeit		13		2
14: Nr.1	Papierbrückenwettbewerb	1	8	1 1	
15: Nr.2	Summe der Winkel	2			
15: Nr.3	Reduktion der Fläche berechnen	2			
16:	Schablone	3			
17:	Schablone	3			
19: Nr.1	Untersuchung der Blütenöffnungsmechanismen	1.2 2.3	2		
19: Nr.2	Selbständige Konstruktion eines Modells		9		
20: Nr.1-3	Bionisches Kabeldurchführungssystem		9		

„Faserverbundmaterialien – Was haben Stabhochsprung-Stab und Rudern gemeinsam?“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1a	Versuch, Beschreibung der Reaktion des Materials	2	7		
1: Nr.1b	Skizze vervollständigen	2	9		
1: Nr.2	Bezug vom Versuch zum Stahlbeton herstellen	4		7	
3: Nr.3	Faserverbund im Experiment		7	1	
3: Nr.3d	Durchführung Belastungstest			1 5 1	
3: Nr.3a	Vergleich der Ergebnisse verschiedener Faseranordnungen			7	
3: Nr.3b	Vergleich der Ergebnisse verschiedener Orte der Fasern			7	
3: Nr.3c	Fehlerquellenanalyse		10		1
4: Nr.4	Mikroskopieren eines Pflanzenspross	1.2	1 2		
4: Nr.5a	Definition der Eigenschaften	3 4			
4: Nr.5b	Skizze möglicher Faserausrichtungen		6	7	

„Flossenstrahleffekt – das Geheimnis der Fischflosse“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Herstellung des Modells		9		
1: Nr.2	Beobachtung der Veränderung bei seitlichem Druck	2			
1: Nr.3	Beobachtung der Veränderung bei Variation der Querverstrebungen	2			
1: Nr.4	Erklärung zur Beweglichkeit	2	3		
1: Nr.5	Recherche: Finray-Patent Nr.			3 4 1	
1: Nr.6	Recherche: von der Idee zum Patent			3	

2: Nr.7a	Recherche: Funktionen der Fischflossen	2.4	2		
2: Nr.7b	Skizze der Flossenstrahlen			3	
2: Nr.7c	Längs- und Querschnitt der Flossenstrahlen		1		
2: Nr.7d	Skizze der Beobachtung, Beschriftung		1		
3: Nr.8	Umsetzung im Modell		9		
3: Nr.9	Finray-Effect in welchen Fischflossen?		2		
3: Nr.10	Nutzen für die Flosse?	2.4			
3: Nr.11	Konstruktion des Greifers		9	1	
4: Nr.12	Welche Formen können gegriffen werden?	4			2
4: Nr.13	Top-down oder bottom-up?			6	
4: Nr.14	Nutzung des Finray-Effekts	5		3	
4: Nr.15	Diskussion zur Umweltfreundlichkeit			1	2 7
4: Nr.16	Rollenspiel: Ingenieur - Unternehmer			1	
5-12	PHUN-Modellierung		4		

„Transportsysteme – Energiesparen durch Blattadern“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Mindmap „Transportsysteme, die ich nutze“	1.5		8 1	
1: Nr.2	Analyse von Verzweigungstypen in Blättern	1.2	2 3		
1: Nr.3	Fraktale Strukturen in Google Earth			3	
1: Nr.4	Erzeugung von Fraktalen		7		
2: Nr.5	Druckunterschiede im Experiment	1	7	1	
3: Nr.5a	„Miss die Höhe des Wasserstrahls ...“		9	5	
3: Nr.5b	„Warum sollte sich in der Wasser ...“		6		
3: Nr.5c	„Miss die Zeit, die benötigt wird, um ein ...“		9	5	
3: Nr.5d	„Stelle die Ergebnisse aus Aufgabe ...“			1	
3: Nr.5e	„Erkläre mit deinen eigenen Worten ...“			6	
3: Nr.5f	„Wofür könnte man das Phänomen ... nutzen?“				2
4: Nr.6	„Verzweigungen in der technischen Anwendung“				2
5: Nr.6a	„Vorgehensweise“	1			
6 Nr.6b	„Probiere es selbst.“	2			
7: Nr.1	Konstruktion Sierpinski-Dreieck	2 3			
7: Nr.2	Konstruktion Binärbaum	2 3			
8: Nr.1	Versuch Blattverletzung	2.4	6	1	
8: Nr.2	Vergleich „Blattnerven- und Modell“	2.4 2.3	5		
9: Nr.3	Ähnlichkeiten/Unterschiede? „Flughafen-Blatt“	4			
9: Nr.4	Blattnervenaufbau		1		
9: Nr.5	Skizze „Transportbahnen im Baum“	2.4	2		
10: Nr.6	Tabelle „Vergleich Pflanze-Säuger“	1.4			
10: Nr.7	Gründe, warum Thema interessant?			6	
10: Nr.8	Welche Probleme bei techn. Umsetzung?			1 6	
10: Nr.9	Diskussion Umweltfreundlichkeit			1 8	7 2

„Selbstorganisation - Schwarmverhalten und Musterbildung“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Schwarmanalyse	1.4 2.5		2	
1: Nr.2	Im Schulhof nachstellen		6	1	
1: Nr.3	Welche Vorteil bietet ein Schwarm?	2.5			
1: Nr.4	Computerprogramm Simulation		10 12		
1: Nr.5	Sinnesorgane von Tieren	2.4			
2: Nr.6	Vergleich Nerven- und Immunsystem	2.4		8	
2: Nr.7	Roboterquallen	1		3	
4	Skizzen Zellulärer Automat	2			
5: Nr.1	Beobachtung Wegeabkürzungen		9	1	
5: Nr.2	Skizze dieser Trampelpfade		9		
5: Nr.3	Modell		9	1	
6: Nr.4	Umwege-Systeme in Fußgängerzonen	3			
6: Nr.5	Google Earth: Trampelpfadsuche		2		
6: Nr.6	Fußgängeranlagen	3			
7: Nr.1a	Versuch Erbsen quellen		5 6		
8: Nr.2-5	Das Problem der Dido, lückenloses Parkett		4	1	
10: Nr.6d	Wölbstruktur-Experiment	4		1	
11: Nr.6a	Beschreibe die Beobachtungen.		7 9 10		
11: Nr.7	Recherche Vorteile			3	2
11: Nr.8	Recherche Anwendungen			3	2
12: Nr.9	Sandexperiment	4	7	1	

„Kerbstrukturen - Bruchsicher wie eine Astgabel“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Untersuchung der Belastbarkeit von Kerbstrukturen im Experiment. Experimentvorbereitung, -durchführung und -auswertung.	3	6 7 8 9 10	1	
3: Nr.2	Vergleich der bionischen Schraube mit einer herkömmlichen Schraube. Diskussion im Zusammenhang mit den vorangegangenen Ergebnissen aus Aufgabe 1	4			2
4: Nr.3	Konstruktion der Zugdreiecksmethode	2.4	2	9	
5: Nr.4	Zugdreiecke im Rosenstachel	2.4	2	9	
5: Nr.5	Versuch: Abriss eines eingeschnittenen Papiers	4		1 5	
5: Nr.6	Formulierung der Entwicklungsschritte vom biologischen Vorbild zur bionischen Schraube	4	7		
6: Nr.7	Recherche nach Anwendungsgebieten dieser neuen Entwicklung			3	2
6: Nr.8	Beurteilung der Umweltfreundlichkeit dieser Zugdreiecksmethode	2.6			7 2
6: Nr.9	Suche nach Sollbruchstellen und Präsentation vor Mitschülern	4		7	
7: Nr.10	Zusatzaufgabe: Zugdreiecke mit unterschiedlichen Belastungen auf den Astarmen	2.4 3	2		

„Joystick - Beweglich wie eine Mimose“

Seite/ Aufgabe-Nr.	Aufgabe	Standards			
		F	E	K	B
1: Nr.1	Beobachtung und Fragensammlung	2.6	2		
1: Nr.2a	Untersuchungen an der Mimose	1.4	5	6 1	
2: Nr.2b	„Wo befindet sich am ersten Gelenk die ...?“		2	2	
2: Nr.2c	„Wird die Geschwindigkeit der Bewegungen ...?“		6		
2: Nr.2d	„Welches Gelenk ist am trägersten?“		2		
2: Nr.3	Recherche Tropismen	1.2 1.4		4	2
3: Nr.4	Mikroskopische Untersuchung	1.1	1	2	
3: Nr.4Aa	Beschreibung Lage der Leitbündel	2.4		2 10	
3: Nr.4Ab	„Welche Aufgaben haben die Leitbündel?“	1.2 2.4			
3: Nr.4Ac	„Welchen Vorteil birgt diese Anordnung?“	2.4			2
4: Nr.5	Modell drittes Gelenk		9 1	2	
5: Bauanleitung.	Bauanleitung Mimosengelenk		7	1	
12: A	Fragen – „Erkläre die Funktionsweise der Mimose anhand des Modells.“	1.2	9 13		2