

Geographiedidaktische Forschungen

Herausgegeben im Auftrag des
Hochschulverbandes für Geographiedidaktik e.V.
von

Michael Hemmer

Jürgen Nebel

Yvonne Krautter (geb. Schleicher)

Frühere Herausgeber waren Hartwig Haubrich (bis 2013), Helmut
Schrettenbrunner (bis 2013) und Arnold Schultze (bis 2003).

Kerstin Drieling

Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung

Ein Beitrag zur
geographiedidaktischen Rekonstruktion

Diese Arbeit wurde als Dissertation zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Philosophie der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg angenommen unter dem Titel:

Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung -
Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion

Erstgutachter: Prof. Dr. Peter Kirchner
Zweitgutachter: Prof. Dr. Karl-Heinz Otto

Tag der mündlichen Prüfung: 04.06.2014

Geographiedidaktische Forschungen

Herausgegeben im Auftrag des Hochschulverbandes für Geographiedidaktik e.V. von M. Hemmer, Y. Krautter (geb. Schleicher) und J. Nebel
Schriftleitung: J. C. Schubert

Kerstin Drieling: Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung - Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion

© 2015 der vorliegenden Ausgabe:
Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG Münster
www.mv-wissenschaft.com

© 2015 Kerstin Drieling
Alle Rechte vorbehalten

Druck und Bindung: MV-Verlag

ISBN 978-3-95645-468-4

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen bedanken, die mich auf dem Weg zur Promotion unterstützt haben. Herrn Prof. Dr. Peter Kirchner gilt mein Dank für die Übernahme der Betreuung und des Erstgutachtens einer sich schon im fortgeschrittenen Stadium befindlichen Forschungsarbeit, aber auch für ermutigende Gespräche dabei zu bleiben. Vielen Dank auch an Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Otto für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Herrn Prof. Dr. Jürgen Lethmate danke ich für die Betreuung der Arbeit während der ersten Phase und die vielen hilfreiche Impulse.

Weiterhin haben mich viele Menschen durch fachliche und methodische Anregungen aber auch persönliche Gespräche unterstützt und mich immer wieder motiviert, die Arbeit zu Ende zu bringen. Besten Dank an: Dr. Stephan Schuler, Peter Paulsen, Mirjam Kemper, Barbara Aichroth, Silke Marx, Dr. Dominik Conrad, Frau apl. Prof. Dr. Anke Thyen, Prof. Dr. Michael Hemmer, Prof. Dr. Rainer Mehren und die, die ich vielleicht vergessen habe aufzuzählen.

Ohne die Bereitschaft der Schülerinnen und Schüler an den Interviews teilzunehmen, wäre diese Studie nicht möglich gewesen. Vielen Dank!

Vielen Dank auch an meinen Freundeskreis für Zuspruch, Unterstützung und Ablenkung!

Meine Familie, die sich während der Promotionsphase vergrößert hat, hat die Promotion über Jahre mitgetragen. Meinem Mann Stefan Drieling möchte ich besonders für sein Verständnis danken und dafür, dass er mir sooft den Rücken freigehalten hat.

Marbach, Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	X
DIGITALER ANHANG	X
1 EINLEITUNG	1
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	6
2.1 DAS MODELL DER DIDAKTISCHEN REKONSTRUKTION ALS THEORETISCHER UND METHODISCHER RAHMEN	7
2.2 SCHÜLERVORSTELLUNGEN ALS UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND	12
2.2.1 <i>Begriffsklärung Schülervorstellungen</i>	12
2.2.2 <i>Charakteristika von Schülervorstellungen unter konstruktivistischer Perspektive</i>	13
2.2.3 <i>Schülervorstellungen im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion</i>	16
2.3 KONSTRUKTIVISTISCHE THEORIEN DES WISSENSERWERBES	17
2.3.1 <i>Conceptual Change</i>	17
2.3.2 <i>Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens</i>	19
2.3.3 <i>Multiple Mentale Repräsentationen</i>	23
2.4 SCHÜLERVORSTELLUNGEN IN DER GEOGRAPHIE	26
3 FACHLICHE KLÄRUNG - WISSENSCHAFTLICHE VORSTELLUNGEN ZU DEN GEGENSTÄNDEN BODEN UND BODENGEFÄHRDUNG	29
3.1 ZUM BEGRIFF DER FACHLICHE KLÄRUNG	29
3.2 METHODISCHES VORGEHEN BEI DER FACHLICHEN KLÄRUNG	30
3.3 AUSWAHL DER TEXTE	32
3.4 GÜTEKRITERIEN	33
3.5 ERGEBNISSE DER FACHLICHEN KLÄRUNG	33
3.6 VERGLEICH DER WISSENSCHAFTLICHEN VORSTELLUNGEN	33
4 SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUM BODEN	40
4.1 ZUM FORSCHUNGSSTAND	40
4.2 ZIEL DER ERHEBUNG UND UNTERSUCHUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN	53
4.3 METHODISCHE VORGEHENSWEISE	53

4.3.1	<i>Begründung der Methodenwahl</i>	54
4.3.2	<i>Entwicklung und Testung des Interviewleitfadens und der Struktur-lege-Technik</i>	58
4.3.3	<i>Durchführung der Untersuchung</i>	73
4.3.4	<i>Aufbereitung und Auswertung</i>	74
4.3.5	<i>Auswertung der Daten</i>	77
4.3.6	<i>Verallgemeinerung qualitativer Daten</i>	79
4.3.7	<i>Gütekriterien</i>	80
4.4	ERGEBNISSE	82
4.4.1	<i>Interview 1: Tineke (16 Jahre alt)</i>	83
4.4.1.1	Tineke: Geordnete Aussage	83
4.4.1.2	Tineke: Explikation	95
4.4.1.3	Tineke: Einzelstrukturierung	110
4.4.2	<i>Interview 2: Moritz (15 Jahre alt)</i>	116
4.4.2.1	Moritz: Geordnete Aussage	116
4.4.2.2	Moritz: Explikation	122
4.4.2.3	Moritz: Einzelstrukturierung	136
4.5	VERALLGEMEINERUNG DER SCHÜLERVORSTELLUNGEN	141
4.5.1	<i>Begriffe Boden und Erde</i>	142
4.5.2	<i>Aufbau des Bodens</i>	143
4.5.3	<i>Bestandteile des Bodens</i>	147
4.5.4	<i>Bodenentstehung/-bildung</i>	149
4.5.5	<i>Bodenfunktionen</i>	151
4.5.6	<i>Vorstellungen zu Veränderungen im Boden</i>	153
4.5.7	<i>Allgemeine Vorstellungen zu Umweltverschmutzung/ Umwelteinflüssen</i>	154
4.5.8	<i>Erosion durch Wasser</i>	163
4.5.9	<i>Erosion durch Wind</i>	167
4.5.10	<i>Bodenverdichtung</i>	171
4.5.11	<i>Bodenversauerung</i>	175
4.5.12	<i>Übergeordnete Vorstellungen</i>	180
4.5.13	<i>Widersprüche, Brüche, Probleme</i>	181
4.6	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	184
4.6.1	<i>Vergleich mit anderen Forschungsergebnissen</i>	184
4.6.2	<i>Entstehungshypothesen zu ausgewählten Schülervorstellungen</i>	187

5	VERKNÜPFUNG DER SCHÜLERVORSTELLUNGEN MIT DEN VORSTELLUNGEN DER WISSENSCHAFTLER	195
5.1	VERGLEICH DER SCHÜLERVORSTELLUNGEN MIT DEN FACHWISSENSCHAFTLICHEN VORSTELLUNGEN	195
5.2	LERNFÖRDERLICHE UND LERNHINDERLICHE KONZEPTE	208
6	DIDAKTISCHE STRUKTURIERUNG.....	212
6.1	KONSTRUKTIVISTISCHE UNTERRICHTSSTRATEGIEN	212
6.2	PROBLEME KONSTRUKTIVEN LERNENS	219
6.3	INTEGRIERTE POSITION ZUM LERNEN.....	221
6.4	KONSEQUENZEN FÜR DIE UNTERSTÜTZUNG VON WISSENSVERÄNDERUNGEN.....	221
6.5	LEITLINIEN FÜR DIE VERMITTLUNG BODENKUNDLICHER INHALTE	224
6.5.1	<i>Grundlegende Entscheidungen</i>	224
6.5.2	<i>Leitlinien für den Unterricht.....</i>	226
6.5.3	<i>Auswahl zentraler Denkfiguren für den Unterricht.....</i>	237
7	FAZIT UND AUSBLICK	243
8	LITERATUR.....	248

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Wahrnehmung geographischer Phänomene aus fachwissenschaftlicher und lebensweltlicher Perspektive</i>	6
<i>Abb. 2: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion</i>	9
<i>Abb. 3: Untersuchungsablauf: Iterative Abfolge der Forschungsschritte</i>	12
<i>Abb. 4: Erfahrung als Basis des Verstehens</i>	22
<i>Abb. 5: Das Modell zum Wissenserwerb</i>	24
<i>Abb. 6: Schülerzeichnung zum Aufbau des Bodens</i>	43
<i>Abb. 7: Schülerzeichnung zum Aufbau des Bodens</i>	44
<i>Abb. 8: Entwicklung des Erhebungsinstruments in der vorliegenden Arbeit</i>	59
<i>Abb. 9: Bodenerosion durch Wasser</i>	61
<i>Abb. 10: Struktur-Lege-Leitfaden für die Erstellung der Strukturdiagramme zu den Schülervorstellungen zum Thema Bodendegradation</i>	71
<i>Abb. 11: Strukturdiagramm zur Bodenversiegelung (Paula)</i>	72
<i>Abb. 12: Skizze zum Aufbau des Bodens (Tineke)</i>	84
<i>Abb. 13: SLT – Tineke: Umwelteinflüsse</i>	99
<i>Abb. 14: SLT – Tineke: Bodenversiegelung</i>	101
<i>Abb. 15: SLT – Tineke: Winderosion</i>	103
<i>Abb. 16: SLT – Tineke: Bodenverdichtung</i>	105
<i>Abb. 17: Strukturdiagramm zur Bodenversauerung (Tineke)</i>	107
<i>Abb. 18: SLT – Tineke: Nagelmethode</i>	108
<i>Abb. 19: Bodenaufbau: Korngröße nimmt mit der Tiefe zu (Moritz)</i>	116
<i>Abb. 20: SLT – Moritz: Bebauung</i>	125
<i>Abb. 21: SLT – Moritz: Verschmutzung durch Chemikalien</i>	126
<i>Abb. 22: SLT – Moritz: Wassererosion</i>	128
<i>Abb. 23: SLT – Moritz: Nagelmethode</i>	130
<i>Abb. 24: SLT – Moritz: Winderosion</i>	131
<i>Abb. 25: SLT – Moritz: Bodenverdichtung</i>	132
<i>Abb. 26: SLT – Moritz: Bodenversauerung</i>	134
<i>Abb. 27: Skizze zum Aufbau des Bodens (Alita)</i>	144
<i>Abb. 28: Skizze zum Aufbau des Bodens (Jette)</i>	145
<i>Abb. 29: Skizze zum Aufbau des Bodens (Tineke)</i>	145
<i>Abb. 30: Bodenaufbau: Korngröße nimmt mit der Tiefe zu (Moritz)</i>	146

Abb. 31: Synopse der Schülervorstellungen zur Umweltverschmutzung: Zentrale Denkfiguren: Wechselwirkung zwischen den Sphären/Belastungspfade	157
Abb. 32: Belastungspfade – Ausschnitt Strukturdiagramm zu Umwelteinflüssen (Paula)	158
Abb. 33: Belastungspfad Wasserkreislauf – Ausschnitt Strukturdiagramm zur Bodenversauerung (Jette)	159
Abb. 34: Beispiel für ein Synthesemodell zur Bodenversauerung (Paula)	162
Abb. 35: Strukturdiagramm zur Wassererosion (Tom).....	165
Abb. 36: Strukturdiagramm zur Wassererosion - Einsacken des Bodens durch zu viel Wasser (Paula)	166
Abb. 37: Strukturdiagramm zur Winderosion (Ben)	169
Abb. 38: Synopse der Schülervorstellungen zur Verdichtung.	174
Abb. 39: Strukturdiagramm zu den Ursachen der Bodenversauerung (Fabiano)	176
Abb. 40: Strukturdiagramm zu den Ursachen der Bodenversauerung (Ben)	176
Abb. 41: Strukturdiagramm zu den Folgen der Bodenversauerung (Jette)	179
Abb. 42: Vom Gestein zum Boden	183
Abb. 43: Boden in der Alltagssprache.....	188
Abb. 44: Primat der Instruktion	213
Abb. 45: Primat der Konstruktion	213
Abb. 46: Phasen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie nach DRIVER	216
Abb. 47: Wissensveränderung als Prozess.....	217
Abb. 48: Der modellbildende Ansatz zur Veränderung von Schülervorstellungen	218
Abb. 49: Problemorientierte Lernumgebung.....	223
Abb. 50: Für das Systemverständnis im Unterricht zu vermittelnde Schlüsselkonzepte.....	234
Abb. 51: Zehn Gründe für den Einsatz des Syndromansatzes im Unterricht	241

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Korrespondierende Termini für die Komplexitätsebenen im gedanklichen, sprachlichen und referentiellen Bereich.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 2: Synopse der Schülervorstellungen zu „weathering“ und „erosion“</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 3: Interviewleitfaden</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 4: Transkriptionsregeln</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Denkfiguren zum Thema Boden</i>	<i>141</i>
<i>Tabelle 6: Synopse der Schülervorstellungen zu den Bestandteilen der Erde.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabelle 7: Übersicht der Denkfiguren zu Veränderungen im Boden</i>	<i>153</i>
<i>Tabelle 8: Zentrale Denkfiguren zur Umweltverschmutzung in Bezug auf den Boden</i>	<i>155</i>
<i>Tabelle 9: Übersicht über die Schülervorstellungen zur Wassererosion (Zentrale Denkfiguren herborgehoben)</i>	<i>163</i>
<i>Tabelle 10: Übersicht über die Schülervorstellungen zur Bodenerosion durch Winderosion (Zentrale Denkfiguren hervorgehoben) .</i>	<i>168</i>
<i>Tabelle 11: Zentrale Denkfiguren zur Bodenversauerung.....</i>	<i>175</i>

Digitaler Anhang

Der Anhang kann online eingesehen werden unter:

<http://geographiedidaktische-forschungen.de/>

1 Einleitung

„Boden ist ziemlich wichtig für die Menschen, aber die Menschen machen sich darüber gar keine Gedanken.“

(Zitat Alita, 15 Jahre alt)

Was die 15-jährige Alita über den Boden denkt, ist bezeichnend für das Bewusstsein und den Umgang der Menschen in unserer Gesellschaft mit diesem wertvollen Gut: Seine Existenz wird kaum oder gar nicht wahrgenommen oder aber als selbstverständlich betrachtet. Diese Ignoranz beruht auf einer Reihe von speziellen Eigenschaften des Bodens. So ist Boden beispielsweise weder direkt zugänglich noch sichtbar und für menschliche Sinne daher nur schwer wahrnehmbar. Viele der Prozesse, die im Boden vor sich gehen, laufen sehr langsam ab und der Mensch kann sie nicht beeinflussen. Deshalb und nicht zuletzt aufgrund der heutigen Lebensweise der Menschen in der Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft fehlt ihnen der Bezug zum Boden und er bleibt in ihrem Alltag verborgen. Dies trägt zu einer Kurzsichtigkeit im Handeln des Menschen bei, die Bodenschutzmaßnahmen behindert oder gänzlich verhindert, zumal diese sich erst langfristig positiv auswirken. Schließlich erschwert auch die Vielfalt der Böden die Bewertung und Behandlung von Degradationserscheinungen. All dies führt dazu, dass Bodenbewusstsein im öffentlichen Denken noch nicht ausreichend verankert ist (BICKER 2013, HASSENPFUG 2000, HELD 1997).

Im Zuge der weltweiten Gefährdung der Böden wird es jedoch immer wichtiger, eben dieses Bodenbewusstsein zu schaffen. Die Tatsache, dass Boden vielfältige Funktionen erfüllen kann, als Ressource jedoch nur begrenzt verfügbar ist, macht Nutzungskonflikte unausweichlich. Meldungen über den nicht-nachhaltigen Umgang mit unseren Böden und ihre Zerstörung sind seit Jahren in der Tagespresse präsent. So verweist beispielsweise der Artikel „Mangel an Böden: Verbaut, verwüstet, verloren“ (KOTYNEK 2010) auf das Dilemma zwischen der ständig wachsenden Weltbevölkerung und dem stetig fortschreitenden Verlust von Böden bzw. fruchtbarem Ackerland durch Erosion, Versiegelung oder Vergiftung. So gehen UN-Experten von der Degradation von fast einem Viertel der weltweit vorkommenden Böden in einem Zeitraum von 1981 bis 2003 aus (GREFE 2009). Ferner zeigt KOTYNEK (2010) Folgen der Degradation auf, die bisher weniger berücksichtigt wurden. Insbesondere verweist er auf die zunehmende Zahl an Bodenflüchtlingen. In den nächsten Jahren werden etwa 135 Millionen Menschen aus China oder 60 Millionen Menschen aus Afrika flüchten und vielleicht auch nach Europa kommen. Der Artikel „Hungersnot wird von Menschen ge-

macht“ (DOERING 2011) stellt die Studie „The Economics of Desertification, Land Degradation and Drought“ des Zentrum für Entwicklungsforschung und des International Food Policy Research Institute vor, in welcher sich die Autoren vorwiegend mit den Ursachen der Hungerkatastrophe in Ostafrika beschäftigen. Bodendegradation ist jedoch nicht nur, wie häufig vermutet, ein Problem des Südens. Daher werden auch allgemeine Ursachen für die fortschreitende Bodendegradation benannt, die auch auf feuchtere Regionen zutreffen. Wie bereits der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung (WBGU 1994) fordern auch die Autoren der genannten Studie eine ökonomische Bewertung der Bodenzerstörung entsprechend der Berechnung der Kosten des Klimawandels. Dabei gehen sie davon aus, dass die Politik eher handelt, wenn klar wird, welche Unkosten durch die Zerstörung der Böden entstehen, und dass die Kosten bei einem nachhaltigen Umgang mit dem Boden langfristig niedriger sind (DOERING 2011). Doch nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die Politik wendet sich dem Thema Bodenschutz in den letzten Jahren intensiver zu. Seit 1998 gilt in Deutschland das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998), und auch die Europäische Kommission setzt sich trotz des vorläufigen Scheiterns der EU-Bodenrahmenrichtlinie 2006 weiter für ein verbindliches Handeln im Bodenschutz ein. Der Bericht „The state of soil in Europe“ vom Februar 2012 stellt die bedenklichen Ausmaße der Bodendegradation in Europa dar und war Anlass für die Forderung der Europäischen Kommission, die Verhandlungen über eine EU-weite Bodenschutzregelung wieder aufzunehmen (EUROPEAN COMMISSION 2012.1). Darüber hinaus wurden am 12. April 2012 Leitlinien für den Umgang mit Bodenversiegelung veröffentlicht, um die Bodenversiegelung in Europa zu begrenzen (EUROPEAN COMMISSION 2012.2). Diese aktuellen Entwicklungen unterstreichen die Bedeutung des Themas „Boden und die Gefährdung der Böden“ für die Gesellschaft ebenso wie für den Unterricht. Seit langem wird auch in der Bildung die Förderung von mehr Bodenbewusstsein verlangt. So schreibt HASSENPFUG (1996, S. 59):

„Der Rückgang der pro Mensch verfügbaren Bodenfläche sowie die Gefährdung dieser Fläche durch den Menschen sind die entscheidenden und völlig ausreichenden Gründe, dem Boden und dem Bodenschutz einen deutlich höheren Bildungswert als bisher zuzuschreiben“.

Die Behandlung der Themen Boden (bereits in der Grundschule) und Bodendegradation und Bodenschutz (an weiterführenden Schulen) im Unterricht kann dabei einen wichtigen Beitrag zur Bildung eines Bewusstseins für nachhaltige Entwicklung leisten. In exemplarischer Weise vernetzt das Thema ökologische, ökonomische und soziale Aspekte mit dem Ziel eines nachhaltigen Umgangs mit der Ressource Boden und damit einer Sicherung der Lebensgrundlagen für jetzige und zukünftige Generationen.

So gibt es inzwischen bereits eine Vielzahl an unterschiedlichen Medien und Materialien zum Thema Boden für den Einsatz im Unterricht. Während das Thema in Schulbüchern eher theoretisch abgehandelt wird, taucht es in fachdidakti-

schen Zeitschriften ausführlicher und mit handlungsorientierten Unterrichtsvorschlägen auf. Neben diesen klassischen Medien, wie Schulbuch und Arbeitsblatt, bieten zunehmend auch verschiedene öffentliche Einrichtungen, wie Ministerien (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2006) oder Hochschulen (Bodenkoffer der HOCHSCHULE OSNABRÜCK) Ideen und Inhalte zur Unterrichtsgestaltung an, zum Beispiel in Form von Broschüren oder Internet-Content (HASSENPFUG 2000, HASSENPFUG & MÜLLER 2003, DRIELING 2005). Eine im Jahr 2012 erschienene Bibliographie zum Bodenbewusstsein fasst etliche Artikel, Aufsätze, Buchpublikationen, Projekte, Internetauftritte und vieles mehr zusammen (KUCCHARZYK 2012). Eine fachliche Auseinandersetzung mit der Perspektive der Schüler¹ hat bisher aber nicht stattgefunden. Umfassende Erhebungen von Schülervorstellungen zum Thema Boden fehlen gänzlich. In Anlehnung an den conceptual-change-Ansatz und vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Schülervorstellungsforschung, die in den letzten Jahren in der Geographiedidaktik an Bedeutung gewonnen hat, sowie mit Blick auf eine wissensorientierte Umweltbildung (LETHMATE 2009.1) sollte Unterricht jedoch an eben diesen Alltagsvorstellungen der Schüler anknüpfen (Kapitel 2). An diesem Desiderat setzt die Forschung dieser Dissertation an.

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, individuelle Vorstellungen von Schülern der 10. Jahrgangsstufe des Gymnasiums zu den Themen Boden und Bodendegradation zu erheben und zu analysieren, diese mit der fachwissenschaftlichen Perspektive zu vergleichen und daraus Konsequenzen für den Unterricht für die Oberstufe abzuleiten.

*„...ohne Erde und dem was darauf wächst,
wäre das Leben ja unmöglich.“
(Ben, 16 Jahre alt)*

*„Ich glaube schon, dass die Erde wichtig
ist, weil man eben dadurch die Nahrung
bekommt, dass darauf was wächst. Die in
der Wüste wären sicher froh, wenn sie Er-
de hätten anstatt Sand.“
(Tom, 15 Jahre alt)*

Die hier erhobenen Vorstellungen der Schüler vom Gegenstand Boden weichen teilweise stark von fachwissenschaftlichen Theorien ab und unterscheiden sich auch untereinander erheblich. Obwohl den Schülern, wie die Zitate von Ben und

¹ Aus Gründen der Vereinfachung und besseren Lesbarkeit wird im Folgenden immer die männliche Form verwendet. Die jeweilige weibliche Form ist natürlich gleichberechtigt damit eingeschlossen und gemeint.

Tom zeigen, die besondere Bedeutung der Böden durchaus bewusst ist und sie verschiedenste Funktionen von Boden benennen können, sind viele ihrer Vorstellungen eher oberflächlich, unvollständig und durch die lebensweltliche Perspektive geprägt (Kapitel 4.5). Um ein Bewusstsein für den Wert des Guts Boden zu entwickeln, reicht es aber nicht, einzelne Funktionen des Bodens benennen zu können. Ein grundlegendes Verständnis über den Aufbau, die Bestandteile und die Entstehung des Bodens ist unerlässlich, um die Gefährdung und die Zerstörung der Böden und damit ihren Wert zu verstehen. Gerade in Bezug auf die unterschiedlichen Typen der Bodendegradation ist es nötig, die im Boden ablaufenden Prozesse zu kennen, um die Wechselwirkungen im Ökosystem nachvollziehen zu können. Erst das Verstehen des Zusammenwirkens verschiedener Systemelemente macht Lösungsansätze möglich und zeigt Entscheidungsmöglichkeiten für den nachhaltigen Umgang mit unseren Böden auf.

Das **Modell der Didaktischen Rekonstruktion** bietet in der vorliegenden Arbeit den theoretischen und methodischen Rahmen, um die Schülervorstellungen und die fachlichen Theorien für den Unterricht fruchtbar zu machen und den Unterrichtsgegenstand Boden didaktisch zu rekonstruieren. Dabei werden die Perspektiven der Schüler und die fachwissenschaftlichen Theorien miteinander in Beziehung gesetzt und gleichwertig für die Entwicklung von Unterricht genutzt (KATTMANN/GROPENGLIEBER 1998, GROPENGLIEBER 2001).

Kapitel 2 gibt Einblick in diesen theoretischen Rahmen. Nach der Darstellung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion mit den drei Modulen fachliche Klärung, Erfassen der Schülerperspektive und didaktische Strukturierung (Kapitel 2.1) geht das Kapitel genauer auf das Verständnis von Schülervorstellungen in dieser Untersuchung (Kapitel 2.2) und auf konstruktivistische Theorien des Wissenserwerbs ein (Kapitel 2.3). Diese drei Unterpunkte bilden die Grundlage für das Verständnis und die Interpretation der Ergebnisse sowie für die später entwickelten Leitlinien für den Unterricht.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit der fachlichen Klärung der Untersuchungsgegenstände Boden und Bodendegradation. Im Anschluss an die Erläuterung der Methode (Kapitel 3.2) und der Begründung der Quellenauswahl (Kapitel 3.3) werden in Kapitel 3.5 und 3.6 die Ergebnisse der fachlichen Klärung dargestellt. Dazu wurden eine historische Quelle (FALLOU 1865), ein interdisziplinäres Werk (WBGU 1994) und ein aktuelles bodenkundliches Lehrwerk (BLUME ET AL. 2004) entsprechend der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990) zusammengefasst, in der Explikation interpretiert und anschließend strukturiert. In Kapitel 3.6 werden die drei Werke in ihren Aussagen miteinander verglichen.

Kapitel 4 bildet das Herzstück der Forschungsarbeit, die sich als Grundlagenforschung² versteht. Nach einer Darstellung des Forschungsstandes über Schülervorstellungen zum Thema Boden (Kapitel 4.1) wird das Ziel der Erhebung präzi-

² Zur Klassifikation geographiedidaktischer Forschung siehe Hemmer 2012.

siert (Kapitel 4.2). Vorrangiges Ziel der Untersuchung ist die empirische Erhebung von Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodendegradation. In Kapitel 4.3 wird die Methodenwahl begründet, die Entwicklung der Untersuchungsmethoden erläutert und anschließend der Untersuchungsang mit Durchführung und Auswertung beschrieben. Ferner wird in diesem Kapitel auf Gütekriterien in der qualitativen Forschung sowie auf die Frage eingegangen, inwiefern sich qualitative Daten verallgemeinern lassen. In Kapitel 4.4 werden aus Platzgründen nur zwei von acht in die Auswertung eingegangenen Interviews dargestellt³. Die Untersuchung der Schülervorstellungen ist dabei inhaltlich breit angelegt und erhebt Alltagsvorstellungen von Schülern der 10. Jahrgangsstufe vom Boden im Allgemeinen und der Gefährdung der Böden im Speziellen. Dazu gehören die jeweiligen Phänomene der Bodendegradation, ihre Ursachen und die entsprechenden Auswirkungen. Die Denkfiguren der Schüler sind teilweise sehr komplex und werden in ihren Strukturen und Zusammenhängen in den erstellten Strukturdiagrammen deutlich⁴. Die Einzelergebnisse aller acht Interviews gehen in die Verallgemeinerung mit ein (Kapitel 4.5) und werden in Kapitel 4.6 mit anderen Forschungsergebnissen verglichen. Weiterhin werden Entstehungshypothesen zu ausgewählten Schülervorstellungen angestellt.

In *Kapitel 5* werden die Schülervorstellungen mit den Vorstellungen in der Wissenschaft verglichen. Dabei werden Gemeinsamkeiten, Eigenheiten, Verschiedenheiten und Begrenztheiten zwischen den beiden Perspektiven herausgearbeitet und lernförderliche sowie lernhinderliche Konzepte identifiziert (GROPENGIEßER 2001).

Um die Forschungsergebnisse der Analysen in Kapitel 3 und 4 für die didaktische Strukturierung nutzbar zu machen, werden in *Kapitel 6* theoretische Grundlagen zum Wissenserwerb dargelegt, welche für die Entwicklung von Leitlinien für den Unterricht nötig sind (Kapitel 6.1-6.4). In Kapitel 6.5 werden dann aus den Forschungsergebnissen in Verknüpfung mit den theoretischen Grundlagen und der aktuellen fachdidaktischen Diskussion die Leitlinien für den Unterricht entwickelt.

Kapitel 7 bietet eine Zusammenfassung mit Reflexion der Untersuchung und einen Ausblick für mögliche weitergehende Forschungsansätze.

³ In anderen Dissertationen zur Didaktischen Rekonstruktion werden alle in die Auswertung eingegangenen Interviews mit der geordneten Aussage, Explikation und Einzelstrukturierung mit in den Hauptteil der Arbeit aufgenommen. In der vorliegenden Arbeit werden aufgrund der umfangreichen Daten nur zwei Interviews exemplarisch dargestellt. Die Auswertungen der anderen sechs Interviews befinden sich im Anhang III der Arbeit und sind genauso gründlich bearbeitet worden wie die hier vorgestellten.

⁴ Die Strukturdiagramme sind, bis auf die exemplarischen Darstellungen von Tineke und Moritz, ebenfalls im Anhang III und den Explikationen zu finden.

2 Theoretische Grundlagen

Die Einführung in die Wissenschaft Geographie bedeutet für die Schüler eine Einführung in neue Denk- und Arbeitsweisen mit einer eigenen Fachsprache, die durch komplexe Konzepte und Theorien gekennzeichnet ist. Diese Konzepte und Theorien wurden und werden in der „scientific community“ immer weiter entwickelt, überarbeitet, aber auch verworfen um neue Theorien zu entfalten. Geographische Phänomene werden von Schülern anders wahrgenommen als von der Wissenschaft (Abb. 1). Ihre Alltagsvorstellungen beruhen auf Erfahrungen und Wissen aus dem Alltag. Diese sind durch die Sprache und Denkweise des Alltags geprägt, im Laufe des Schülerlebens erworben und vielfach bestätigt, wie das tägliche „Auf- und Untergehen“ der Sonne über dem Horizont. Schüler kommen also nicht als „tabula rasa“ in den Unterricht. Ihre Vorstellungen weisen meistens aber große Diskrepanzen zu den fachwissenschaftlichen Erkenntnissen auf. Dies gilt auch für den Bereich der Bodenkunde.

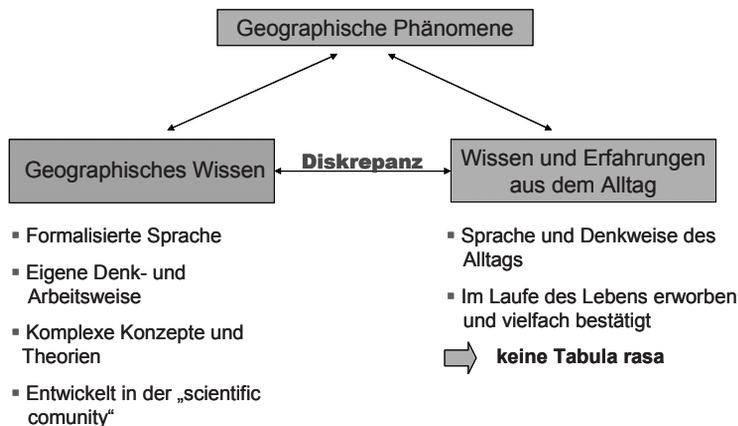


Abb. 1: Wahrnehmung geographischer Phänomene aus fachwissenschaftlicher und lebensweltlicher Perspektive (verändert nach HAMANN 2006)

Um diese Diskrepanz zu überwinden, ist es entscheidend „... in welcher Weise das Denken der Schüler auf die wissenschaftliche Sichtweise bezogen wird.“ (LJNSE 1995 zitiert nach KATTMANN/GROPENGLIEßER 1998, S. 3).

AUSUBELS immer wieder zitierte Aussage bleibt aktuell (AUSUBEL 1980, S. 5):
“Wenn wir die Psychologie des Unterrichts auf ein einziges Prinzip reduzieren müssten, würden wir dies sagen:

Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist das was der Lernende bereits weiß. Dies ermitteln Sie und danach unterrichten Sie Ihren Schüler.“

An diesem Punkt setzt das in der Lehr- und Lernforschung etablierte **Modell der didaktischen Rekonstruktion** an (KATTMANN et al. 1997, DUIT 2008). Es basiert auf einer moderat-konstruktivistischen Position (vgl. Kapitel 2.2.2) und wird zunehmend auch für die Geographiedidaktik entdeckt (LETHMATE 2007.1, REINFRIED 2007, MÜLLER 2009, SCHULER 2011). Das Modell dient der hier vorliegenden Arbeit als theoretischer und methodischer Rahmen und wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

2.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als theoretischer und methodischer Rahmen

„Die Gegenstände des Schulunterrichts sind als solche nicht vom Wissenschaftsbereich vorgegeben, sie müssen vielmehr in pädagogischer Zielsetzung erst hergestellt, d. h. didaktisch rekonstruiert werden.“ (KATTMANN ET AL. 1997, S. 4; KATTMANN 2007, S. 100)

Dieses Zitat findet man in fast allen Veröffentlichungen über das Modell der Didaktischen Rekonstruktion, das erstmals von GROPENIEßER (2001) in seiner Dissertation zur „Didaktischen Rekonstruktion des Sehens“ entfaltet wurde.

Ausgehend davon, dass Unterrichtsgegenstände vor allem von der lebensweltlichen Perspektive der Lernenden, also von ihren bis dahin entwickelten Vorstellungen zum Gegenstand bestimmt werden und dass die fachwissenschaftlichen Strukturen für den Unterricht weder leitend noch normsetzend sein dürfen, wurde Mitte der 1990er Jahre von einer Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Kattmann von der Biologiedidaktik in Oldenburg in Zusammenarbeit mit der Physikdidaktik in Kiel (IPN) das Modell der Didaktischen Rekonstruktion entwickelt. Die beschriebenen Defizite fachdidaktischer Forschung:

- das reine Nebeneinander empirischer Forschung und der Konzeptionierung von Unterricht,
- das Verständnis von Schülervorstellungen als „Fehlvorstellungen“ und
- die mangelnde Umsetzung der Forschungsergebnisse im Unterricht und die damit zusammenhängenden Forderungen nach
- dem Zusammenführen bisher getrennt wahrgenommener Aufgaben fachdidaktischer Forschung,
- der Abkehr von der Fixierung auf Fehlvorstellungen und
- der Umsetzung der Forschungsergebnisse im Unterricht

fürten zur Entwicklung dieses Modells. Inzwischen ist das Modell in vielen Fachdidaktiken etabliert (Biologie, Chemie, Deutsch, Geschichte, Sachunterricht

usw.) und bietet einen theoretischen und methodischen Rahmen für Forschungsprojekte in allen Fachdidaktiken (KATTMANN in GROPPENGIEBER 2001, S. 7).

Grundlegend ist, dass fachwissenschaftliche Inhalte einer pädagogischen Aufarbeitung bedürfen um zu Unterrichtsinhalten zu werden. Unterrichtsinhalte dürfen nicht durch die Fachwissenschaft vorgegeben werden bzw. ihre Sachstruktur widerspiegeln und gegebenenfalls vereinfacht, d. h. didaktisch **reduziert** werden. Vielmehr müssen fachliches Wissen, interdisziplinäres Wissen und die Lebenswelt der Schüler berücksichtigt werden um für den Lernenden bedeutungsvoll **rekonstruiert** zu werden. Es kommt zu einer fachlichen Vereinfachung aber auch zu einer Erhöhung der Komplexität durch das Aufzeigen von Sinnbezügen, durch Vernetzung und Systematisierung, durch die Einbettung der Lerngegenstände in gesellschaftliche und soziale Kontexte sowie den Rückbezug auf die Lebenswelt der Schüler. Ziel des Modells ist es daher fachlich geklärte wissenschaftliche Vorstellungen und die Perspektive der Schüler miteinander in Beziehung zu setzen und diese für den Unterricht fruchtbar zu machen.

Das **Modell der Didaktischen Rekonstruktion** beinhaltet drei Untersuchungsaufgaben (Abb. 2):

- Fachliche Klärung
- Erfassung der Lernerperspektive
- Didaktische Strukturierung

Ausgehend von einer Theorieähnlichkeit in den Schülervorstellungen werden im Forschungsprozess fachwissenschaftliche Theorien und Lernervorstellungen systematisch in Beziehung gesetzt und gleichwertig für die Entwicklung von Unterrichtsinhalten genutzt.



Abb. 2: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion (verändert nach GROPENGEIER 2001, S. 15)

Dazu werden in der **Fachlichen Klärung** die fachwissenschaftlichen Theorien mit Hilfe hermeneutisch-analytischer Forschung erörtert. Ausgehend von der Annahme, dass es sich bei den fachwissenschaftlichen Theorien um persönliche Konstrukte von Wissenschaftlern handelt, werden diese Theorien kritisch und methodisch kontrolliert unter fachdidaktischer Perspektive untersucht. In der fachlichen Klärung sollen Fragen zu zentralen fachlichen Aussagen, deren Genese, Funktion und Bedeutung gemacht und Kontexte hergestellt werden. Ferner sollen epistemologische und wissenschaftliche Positionen identifiziert werden. Es sollen Grenzüberschreitungen deutlich werden, „*bei denen bereichsspezifische Erkenntnisse auf andere Gebiete übertragen werden*“ (KATTMANN/GROPENGEIER, 1998, S. 6). Ein weiteres Interesse bezieht sich auf die Frage, wie die wissenschaftlichen Vorstellungen in ethische und gesellschaftliche Themen eingebunden sind bzw. welche weiteren Bereiche von einer Anwendung der Erkenntnisse betroffen sind (KATTMANN/GROPENGEIER 1998, KATTMANN 2007). Als Quellen für die fachliche Klärung dienen aktuelle wie auch historische Lehrbücher, Originalarbeiten, fachwissenschaftliche Abhandlungen, Monographien, usw. Die unterschiedlichen Quellen werden vorzugsweise nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990) untersucht, welche durch GROPENGEIER (2001) für fachdidaktische Zwecke adaptiert wurde.

Bei der **Erforschung der Lernerperspektive** stehen die individuellen Lernbedingungen und Lernvoraussetzungen im Fokus der Untersuchung. Diese können sich auf die kognitive, affektive und/oder psychomotorische Komponenten beziehen oder auch die Dynamik z. B. in Bezug auf Vorstellungsänderungen in den Blick nehmen. Schülervorstellungen werden als Ergebnis der bisherigen Lerngeschichte jedes Individuums aufgefasst. Diese Alltagsvorstellungen⁵ werden dabei nicht als Fehlvorstellungen im Sinne von fachwissenschaftlich falschem Wissen verstanden, da sie sich in alltäglichen Kontexten durchaus bewährt und als erfolgreich herausgestellt haben. Ziel ist es zentrale Konzepte und individuelle Denkmuster der Schüler zu erfassen und in einem weiteren Schritt zu verallgemeinern. Zentrale Fragen beziehen sich auf Vorstellungen der Schüler zu fachlich relevanten Phänomenen und die von Schülern benutzten Begriffe, Konzepte und Denkfiguren im fachlichen Kontext. Auch Vorstellungen über Wissenschaft oder die Verknüpfung von lebensweltlichen Vorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen können Teilziel der Untersuchung sein. Die Schülervorstellungen werden empirisch mit Hilfe sozialwissenschaftlicher Forschungsmethoden erhoben, aufbereitet und interpretiert. Dabei ist die Forschungsmethodik nicht vorgegeben, sondern auf den jeweiligen Forschungsgegenstand abzustimmen. Die Auswertung geschieht dabei nicht in Bezug auf die fachwissenschaftlichen Theorien, vielmehr berücksichtigt sie Kontexte aus dem Alltag, welche die Schüler nutzen.

Die Teile der fachlichen Klärung und der Erhebung der Schülerperspektive werden in Vermittlungsabsicht klar aufeinander bezogen. Im dritten konstruktiven Schritt, der **Didaktischen Strukturierung**, werden Leitlinien für den Unterricht entworfen. Es gilt zu erwähnen, dass natürlich nicht alle Teile dieses Modells als neu anzusehen sind. So finden sich die Wurzeln des Modells in der didaktischen Analyse nach Klafki, im Strukturmomentmodell der Berliner Schule bzw. im Vorgang der Elementarisierung, die an dieser Stelle jedoch nicht weiter aufgegriffen werden können⁶. Neu ist jedoch, dass die Teilbereiche der fachlichen Klärung und die Interpretation der Schülervorstellungen sowie der wechselseitige Vergleich der beiden nun explizit als Forschungsaufgabe behandelt werden (GROPENGIEßER 2001, KATTMANN ET AL. 1997, KATTMANN/GROPENGIEßER 1998, LETHMATE 2007.1). So wird

„aus fachdidaktischer Perspektive der wissenschaftliche Gegenstand in seinen bedeutsamen Bezügen wiederhergestellt, und es wird durch Rückbezug auf die verfügbaren Schülervorstellungen ein Unterrichtsgegenstand konstruiert“ (KATTMANN ET AL. 1997, S. 4).

⁵ Die Begriffe Alltagsvorstellungen und Schülervorstellungen werden in der vorliegenden Arbeit synonym genutzt. Zur Begriffsklärung vgl. Kapitel 2.2.1

⁶ Zum Weiterlesen: Kattmann et al. 1997.

Bei der didaktischen Strukturierung werden Entscheidungen über Ziel-, Inhalts- und Methodenfragen in Bezug auf die Vermittlung der Unterrichtsinhalte getroffen und begründet. Die gemeinsame Ebene der Vorstellungen in der Perspektive der Schüler und den fachwissenschaftlichen Theorien macht es möglich, diese auf der Ebene der Begriffe, Konzepte und Denkfiguren miteinander zu vergleichen und aufeinander zu beziehen (vgl. Kap.2.2.3). Es werden, soweit möglich, Gemeinsamkeiten, Eigenheiten, Verschiedenheiten und Begrenztheiten der Vorstellungen herausgearbeitet (Kap. 5). So sollen lernförderliche und lernhinderliche Vorstellungen identifiziert und für die Konstruktion von Unterricht nutzbar gemacht werden. Aus der Analyse der Vorstellungen ergeben sich die Folgerungen für die Vermittlung des Unterrichtsgegenstandes. Zur Förderung von Wissensveränderungen wird auf Prinzipien konstruktivistischen Unterrichts zurückgegriffen, welche in Kap. 6 näher erläutert werden.

Iteratives Vorgehen

KATTMANN/GROPENIEßER (1998) betonen, dass die einzelnen Untersuchungsaufgaben – die fachliche Klärung, die Untersuchung der Schülervorstellung und die didaktische Strukturierung nicht unabhängig voneinander durchgeführt werden können. Vielmehr ist ein „rekursives“ bzw. „iteratives“ Vorgehen notwendig, da sich die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsbereiche gegenseitig bedingen, in Wechselwirkung miteinander stehen und auch gegenseitig fördern. So werden die Untersuchungen in einzelnen Teilbereichen soweit fortgeführt, wie es die Erkenntnisse in den anderen Teilbereichen des Modells zulassen. Es wird mit vorläufigen Untersuchungsergebnissen und wiederholtem Perspektivenwechsel gearbeitet. Wie in Abb. 3 zu erkennen ist, findet dabei ein „Springen“ zwischen den Untersuchungsbereichen statt, um die jeweilige Vorgehensweise optimieren zu können.

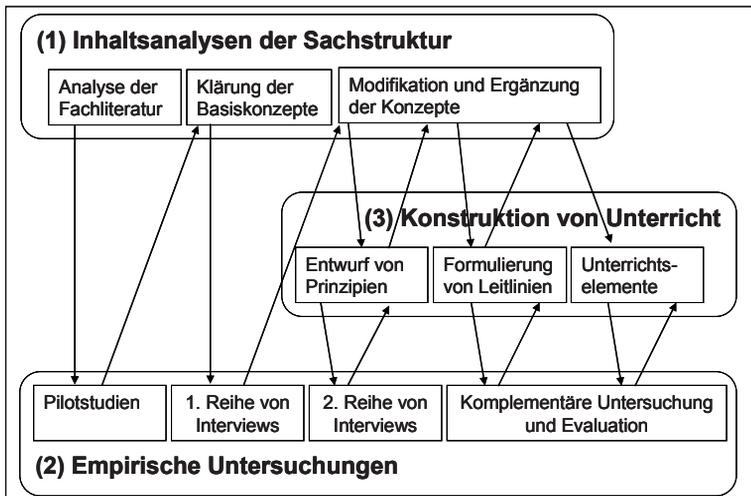


Abb. 3: Untersuchungsablauf: Iterative Abfolge der Forschungsschritte (KATTMANN et al. 1997, S. 13)

2.2 Schülervorstellungen als Untersuchungsgegenstand

2.2.1 Begriffsklärung Schülervorstellungen

Der Begriff Vorstellungen wird von verschiedenen Forschern sehr unterschiedlich benutzt. Ebenso wird ihm in den verschiedenen fachlichen Disziplinen wie der Unterrichts-Psychologie, der kognitiven Psychologie, der kognitiven Linguistik, der konstruktivistischen Naturwissenschaftsdidaktik und der Neurobiologie unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen⁷. Im Rahmen dieser Arbeit werden Schülervorstellungen, wie bei GROPEGIEßER (2001, S. 27) publiziert, im konstruktivistischen Sinne verstanden als:

- subjektive gedankliche Prozesse,
- die weder weitergegeben noch aufgenommen werden können,
- die jedoch im Unterricht vermittelt werden können.
- Außerdem können Vorstellungen im Kontext der bereits verfügbaren Vorstellungen gedanklich gebildet, verändert und reorganisiert werden.

Um vorunterrichtliche Vorstellungen oder lebensweltliche Vorstellungen von den wissenschaftlichen Vorstellungen abzugrenzen werden nach RUDTKE (2007) von den Wissenschaftlern neben dem Begriff „Schülervorstellungen“ weitere Begriffe wie „Falsche Vorstellungen“, „misconceptions“ oder „subjektive Theorien“,

⁷ Zum Weiterlesen Gropengießler 2001

Alltagstheorien“, „alternative conceptions“ oder „Alltagsvorstellungen“ verwendet, die jedoch nicht alle synonym genutzt werden dürfen. In dieser Arbeit wird zur Kennzeichnung der „Schülervorstellungen“ der Begriff „Alltagsvorstellungen“ synonym genutzt.

2.2.2 Charakteristika von Schülervorstellungen unter konstruktivistischer Perspektive⁸

Schüler setzen sich in einer vielfältigen Weise mit der Umwelt auseinander. Daher kommen sie auch nicht als tabula rasa, sondern mit Vorstellungen, die im Wesentlichen durch ihre Erfahrungen in der Alltagswelt geprägt sind, in den Unterricht. Das Bild vom Nürnberger Trichter, welches die kognitivistische Auffassung von Lernen widerspiegelt, kann nicht gehalten werden. Der traditionelle Unterricht gerät wie auch die kognitivistische Auffassung vom Lernen in die Kritik. „Träges Wissen“ wird als Folge eines unzureichenden Anwendungsbezuges und der fehlenden Einbettung in authentische Kontexte im Unterricht angesehen (GERSTENMAIER/MANDL 1995).

Im Gegensatz zum kognitivistisch geprägten Lernen hat sich eine konstruktivistische Position herausgebildet, die davon ausgeht, dass Wissen auf Grund von bereits vorhandenem Wissen bzw. Vorstellungen vom Individuum in einem aktiven und selbstgesteuerten Prozess konstruiert wird. Wissen kann nicht passiv – wie ein Buch – weitergegeben werden. Der Begriff Konstruktivismus ist dabei sehr vieldeutig und vielschichtig. Die konstruktivistischen Sicht- und Denkweisen in den verschiedenen Disziplinen sind uneinheitlich und verwirrend (SIEBERT 2000, GERSTENMAIER/MANDL 1995). GERSTENMAIER/MANDL (1995) geben einen Überblick über die verschiedenen Varianten des Konstruktivismus, die hier nur stark verkürzt dargestellt werden können. Radikaler Konstruktivismus wird dabei als Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie beschrieben, die davon ausgeht, dass eine direkte Erfassung der Realität nicht möglich, Wahrnehmung also Konstruktion und Interpretation ist. Objektivität und ein subjektunabhängiges Wissen sind unmöglich. Andererseits wird der Konstruktivismus als inter- und transdisziplinäres Paradigma verstanden, der in der Soziologie und Psychologie Anwendung findet. Gemeinsamer Ausgangspunkt der Ansätze ist, dass Wirklichkeit vom Beobachter abhängig ist, wobei die Existenz der Realität nicht angezweifelt wird (SIEBERT 2000, GERSTENMAIER/MANDL 1995). Die konstruktivistische Sichtweise wurde in den letzten Jahren in der pädagogischen Psychologie aufgenommen. Der so genannte moderate Konstruktivismus beschäftigt sich jedoch nicht mit der Frage, wie Erkenntnisse beim Menschen entstehen, sondern damit, wie sich entstandene Kenntnisse individuell verändern und nimmt somit den Prozess des Denkens und Lernens in den Fokus. Die Erkenntnisse des moderaten Konstruktivismus

⁸ Eine intensive Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen zu Schülervorstellungen in der Geographiedidaktik findet man bei Schuler 2011.

werden durch Forschungsergebnisse verschiedener Bezugswissenschaften wie z. B. der Kognitionswissenschaft, der Psychologie oder der Neurobiologie, gestützt (SIEBERT 2000). Im Mittelpunkt stehen Überlegungen zur Förderung des Wissenserwerbs mit Hilfe konstruktivistisch gestalteter Lernumgebungen (RIEMEIER 2005, REINFRIED 2007).

Der moderate Konstruktivismus bietet den theoretischen Rahmen zum Verständnis und zum Umgang mit Schülervorstellungen in der vorliegenden Arbeit. Lernen wird als konstruktive Eigentätigkeit von Individuen begriffen und findet durch eine ständige Auseinandersetzung mit der Umwelt statt.

REINMANN-ROTHMEIER/MANDL (2001, S. 615) stellen eine von KNUTH/CUNNINGHAM (1993) formulierte Annahme für die Belange der pädagogischen Psychologie ins Zentrum ihrer Überlegungen, wonach

„Wissen keine Kopie der Wirklichkeit ist sondern eine Konstruktion von Menschen: Wissen ist weder ein äußerer Gegenstand, der sich gleichsam vom Lehrenden auf den Lernenden ‚transportieren‘ lässt, noch eine getreue internale Abbildung desselben.“

TERHART (1999, S. 637) beschreibt Lernen im Sinne einer konstruktivistischen Didaktik folgendermaßen:

„Lernen im Wortsinne ist ein je individuelles, aber in sozialen Kontexten stattfindendes Konstruieren und Umkonstruieren von inneren Welten, das nur zu einem geringen Teil..., von außen‘ angestoßen werden kann, keinesfalls aber in Verlauf und Ergebnis, gesteuert‘ werden kann. Die Verantwortung für das Lernen liegt deshalb beim Lernenden“.

Sinnesdaten tragen also an sich keine Informationen, daher muss der Lernende diesen eine Bedeutung verleihen. Der Lernende trifft bei der Fülle an Sinnesreizen eine Auswahl und reduziert die vorhandenen Reize. Außerdem werden diese Reize in einer bestimmten Weise interpretiert. Diese Auswahl und Interpretation geschieht u.a. auf Grundlage der Motivation, des Interesses und der vorhandenen Vorstellungen des Lernenden. Die Wahrnehmung ist also subjektiv, d. h. man nimmt nur die Reize wahr, welche man auch wahrnehmen will (HÄUßLER ET AL. 1998, DUIT 1995, 2008). Jedoch sollte bedacht werden, dass Lernen auch ein sozialer Prozess ist, bei welchem die Klassengemeinschaft oder der Lehrer eine Rolle spielen. Da nicht jeder die Wissenschaften neu erfinden kann, geht man von einer „Weitergabe“ gesellschaftlich gesammelten Wissens aus. Jedes Individuum muss dieses jedoch für sich konstruieren, z. B. durch eine gelenkte Rekonstruktion durch den Lehrer (STORK 1995).

NIEDEDERER/SHECKER (1992) formulieren zusammenfassend Ergebnisse aus der Schülervorstellungsforschung, welche auch für die Strukturierung von Geographieunterricht ausschlaggebend werden können (in WODZINSKI 2004, S. 26):

1. *„Schülervorstellungen sind sehr resistent gegen Veränderungen.“*

2. *Bereichsspezifische Untersuchungen zeigen international ähnliche Ergebnisse.⁹*
3. *Es gibt eine begrenzte Anzahl an grundlegenden alternativen Konzepten, die das Schülerverhalten in verschiedenen Situationen hinreichend erklären.*
4. *Schüler aktivieren unterschiedliche Konzepte in Situationen, die für Wissenschaftler¹⁰ äquivalent sind.*
5. *Schüler passen ihre Konzepte der jeweiligen Situation an.*
6. *Schüler beobachten und argumentieren kontextabhängig. Das bedeutet, durch Experimente lassen sie sich nur begrenzt überzeugen.“*

WODZINSKI (2004) verweist auf die Doppeldeutigkeit, die sich in den Schülervorstellungen einerseits durch eine Stabilität der Schülervorstellungen (Punkte 1-3) als auch durch ein gewisses Maß an Flexibilität ausdrückt (Punkte 5-6).

Viele der Alltagsvorstellungen behindern das Lernen von fachwissenschaftlichen Gegenständen. So können stabile Vorstellungen mögliche Wege beim Problemlösen blockieren oder Beobachtungen auf das beschränken, was man beobachten will oder was die Schüler sowieso erwarten. Das Festhalten an alten Vorstellungen ist ein Grund für Lernschwierigkeiten. Schüler erkennen vielleicht experimentelle Ergebnisse, lassen sich aber von der Richtigkeit dieser Ergebnisse nicht überzeugen und glauben sie nicht. Sie erfinden ad-hoc-Begründungen, warum es in diesem Fall nicht so ist, wie sie es sich selbst vorgestellt haben, da ihre eigenen Vorstellungen sich im Alltag ja als erfolgreich erwiesen haben. Die Flexibilität von Schülervorstellungen wird durch Forschungsergebnisse deutlich, bei denen Schüler unterschiedliche Konzepte für die Erklärung der gleichen Problemstellung verwenden, wenn diese in unterschiedlichen Kontexten präsentiert wurden.

Da Lehrer und Lerner über unterschiedliche Vorstellungen verfügen, führt auch das häufig zu Lernschwierigkeiten und Missverständnissen, da jeder die Aussagen des anderen auf Basis seiner eigenen Vorstellungen interpretiert. Derselben Aussage werden so unterschiedliche Bedeutungen beigemessen (HÄUBLER ET AL. 1998, DUIT 1995, 2008). DUIT (1993) bezeichnet dieses Phänomen als den „Zirkel des Verstehens des Verstehens“. Wenn man die bisherigen Forschungsergebnisse berücksichtigt, erkennt man, dass es umso wichtiger ist Schülervorstellungen bei der Planung von Unterricht zu berücksichtigen, um Anknüpfungspunkte oder mögliche Lernhemmnisse zu erkennen und entsprechend reagieren zu können.

Neben tief verankerten Vorstellungen können auch ad-hoc-konstruierte Vorstellungen bei Schülern vorkommen, z. B. wenn Schüler mit einem Phänomen noch nicht vertraut sind. Schülervorstellungen können sich dabei auf grundlegende naturwissenschaftliche Inhalte, Begriffe, Prinzipien und Phänomene (chemische Bindung, Teilchenmodell, das Sehen...) oder auch auf Vorstellungen über die

⁹ Vgl. Kap.4.4 Ergebnisse zu Schülervorstellungen zum Thema Boden

¹⁰ (im Original: Physiker)

Natur der Naturwissenschaften, also über den Weg des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns beziehen (HÄUBLER ET AL. 1998, DUIT 1995).

2.2.3 Schülervorstellungen im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion

Die gemeinsame Ebene der Vorstellungen in den beiden Teilbereichen der fachlichen Klärung als auch in den Schülervorstellungen führt bei der Auswertung auf die gleichen Komplexitätsebenen und macht einen Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus diesen Bereichen möglich. Die Vorstellungen im gedanklichen Bereich werden u.a. durch Sprache mit Hilfe von **Zeichen** ausgedrückt und beziehen sich z. B. auf Gegenstände oder Ereignisse, die als **Referenten** bezeichnet werden. Die drei Dimensionen: der referentielle Bereich, der gedankliche Bereich und der sprachliche Bereich lassen sich vier verschiedenen Komplexitätsebenen zuordnen (vgl. Tabelle 1 mit Beispielen). Auf der untersten Komplexitätsebene befinden sich die **Begriffe** als relativ einfache Vorstellungen. Sie bezeichnen bestimmte Ereignisse oder Dinge und werden durch (Fach-) Wörter in der Sprache ausgedrückt. In der nächst höheren Komplexitätsstufe werden einzelne Begriffe mit anderen Begriffen in Beziehung gesetzt und somit zu **Konzepten**. Sprachlich drückt sich das durch Behauptungen oder Aussagen aus. Konzepte beschreiben einen Sachverhalt. **Denkfiguren** dagegen haben bereits einen erklärenden Charakter und setzen sich durch verschieden kombinierbare Konzepte zu einer gestalthaften Vorstellung zusammen. Denkfiguren werden als Grundsatz formuliert und beziehen sich auf einen Wirklichkeitsaspekt. GROPENGEIER (2001) vergleicht die Denkfiguren – bezogen auf die Komplexitätsebenen – mit „idealisierten kognitiven Modellen“ (ICMs) (Kap. 2.3.2) im Sinne von LAKOFF/JOHNSON (2004). Auf der höchsten Komplexitätsebene entsteht die **Theorie**. Sie setzt verschiedene Denkfiguren und Konzepte miteinander in Beziehung. Die Theorie bezieht sich auf einen Wirklichkeitsbereich und kommt durch Aussagengefüge und Darlegungen sprachlich zum Ausdruck. Unter Theorie versteht GROPENGEIER (2001) im wissenschaftlichen Sinn komplexe Vorstellungsstrukturen, die bei den Schülern als „persönliche Theorie“ bezeichnet wird. Im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion wird von einer Theorieähnlichkeit in den Schülervorstellungen und den fachwissenschaftlichen Vorstellungen ausgegangen, die GROPENGEIER (2001) mit den subjektiven Theorien nach GROEBEN ET AL. (1988) vergleicht.

Tabelle 1: Korrespondierende Termini für die Komplexitätsebenen im gedanklichen, sprachlichen und referentiellen Bereich (Quelle: GROPENGEIER 2001, S. 30 ergänzt durch Beispiele)

<i>Referentielle Dimension</i> Referent	<i>Gedankliche Dimension</i> Vorstellung	<i>Sprachliche Dimension</i> Zeichen	Beispiel
Wirklichkeitsbereich	Theorie	Aussagengefüge, Darlegung	Umfassende Theorie zur Bodenentstehung
Wirklichkeitsaspekt	Denkfigur	Grundsatz	Physikalische Verwitterung
Sachverhalt	Konzept	Behauptung, Aussage, Satz	Boden entsteht aus dem Muttergestein
Ding, Objekt, Ereignis	Begriff	(Fach-)Wort	Boden
Individuum		(Eigen-) Name	

Neben der Differenzierung der Vorstellungen in den verschiedenen Komplexitätsebenen unterscheidet GROPENGEIER (2001) die Vorstellungen hinsichtlich des Grades der Bewusstheit in explizit und implizit. Ferner kennzeichnet er die Vorstellungen nach ihrer Herkunft in wissenschaftlich und lebensweltlich.

2.3 Konstruktivistische Theorien des Wissenserwerbes

In diesem Kapitel sollen einige auf konstruktivistischer Grundlage beruhende Theorien des Wissenserwerbs vorgestellt werden. Diese sind für das Verständnis der Schülervorstellungen und der fachwissenschaftlichen Theorien notwendig. Sie dienen aber auch als Basis für die in Kap. 6 vorgestellten konstruktivistischen Unterrichtsstrategien.

2.3.1 Conceptual Change

Basierend auf dem moderaten Konstruktivismus basierend wird der Lerner als ein „aktives und konstruierendes Wesen“ begriffen (KÜRSCHNER ET AL. 2007, S. 11), das auf Grundlage seiner vorhandenen Vorstellungen Informationen verarbeitet und Wissen konstruiert. Lernen wird als **Konzeptwechsel** angesehen, bei dem ein Individuum ausgehend von seiner bisherigen Vorstellungen die wissenschaftliche Sichtweise, bzw. das Schulwissen erlernt. Dabei kommt es nicht nur zu einer Erweiterung, sondern zu einer Umstrukturierung des vorhandenen Wissens.

„Beim Lernen verändert sich die kognitive Struktur, Teile werden ergänzt und erweitert, andere werden grundlegend revidiert und neu strukturiert, wieder

anderen ein veränderter Status und Anwendungsbereich gegeben.“ (DUI 1996.2, S. 97)

Da Forschungsergebnisse gezeigt haben, dass ein Konzeptwechsel im Sinne eines „Auslöschens“ der ursprünglichen Vorstellungen und ein „Annehmen“ des schulrelevanten Wissens nicht möglich ist, ist heute die Koexistenz beider Vorstellungen das Ziel. Schüler sollen zu einem kontextspezifischen Wissen kommen, das sie passend in den entsprechenden Situationen (Alltag, Schule, fachliche Diskussionen) anwenden können (DUI 1993, 1996.2). Beim **kontextspezifischen Wechsel** sollen Schüler erfahren, *„dass die naturwissenschaftliche Sichtweise in bestimmten Situationen angemessener und fruchtbarer ist als ihre Schülervorstellungen“* (DUI 2008, S. 4).

Bei der Planung werden in der Literatur zwei unterschiedliche Lernwege vorgeschlagen: der kontinuierliche und der diskontinuierliche. Beim kontinuierlichen Weg stehen die Schülervorstellungen der wissenschaftlichen Sichtweise nicht konträr gegenüber. So kann z. B. beim Erlernen von wissenschaftlichen Inhalten an vorhandenen Schülervorstellungen angeknüpft werden. Diese werden erweitert und ergänzt. Evtl. müssen kleinere Umstrukturierungen und Veränderungen vorgenommen werden. Dieser kontinuierliche Weg wird auch als **Conceptual Growth** bezeichnet. Im Gegensatz dazu besteht beim diskontinuierlichen Weg eine große Diskrepanz zwischen Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Theorien. Beim Lernen ist eine grundlegende Revision der Wissensstrukturen notwendig um zu einem wissenschaftlich angemessenen Konzept zu gelangen. Der diskontinuierliche Weg des Lernens wird auch als **Conceptual Change** bezeichnet, bei dem der kognitive Konflikt als Ausgangspunkt des Unterrichts eine wichtige Rolle spielt (HÄUBLER ET AL. 1998, DUI 1996.1, 1996.2). DUI (2008) spricht außerdem von **multiplen Konzeptwechseln**, da Konzeptwechsel nicht nur auf der Ebene der fachlichen Inhalte, sondern auch in Bezug auf naturwissenschaftliches Arbeiten, also auf die Art des Erkenntnisgewinns und auf der Ebene der Vorstellungen über das eigene Lernen stattfindet.

Wird Unterricht nach dem Conceptual-Change-Ansatz nach POSNER ET AL. (1982, S.214) geplant, sollte er vier Bedingungen aufweisen, die den Konzeptwechsel unterstützen sollen:

1. **Unzufriedenheit**

Die Lernenden müssen mit ihren vorhandenen Vorstellungen unzufrieden sein und merken, dass sie bei der Beantwortung von Fragen mit ihren Vorstellungen Schwierigkeiten bekommen und keine Antworten finden können.

2. **Verständlichkeit**

Für die Lernenden muss die neue Vorstellung logisch verständlich sein.

3. **Plausibilität**

Die neuen Erklärungen müssen für die Lernenden plausibel sein, d. h. eine besse-

re Erklärung für die entsprechenden Fragestellungen liefern als die vorhandenen „alten“ Vorstellungen.

4. Fruchtbarkeit

Die neuen Vorstellungen müssen sich als fruchtbar erweisen, d. h. dass diese auch auf weitere Fragestellungen und Probleme anwendbar sind.

Diesem Ansatz wird jedoch die fehlende Berücksichtigung motivationspsychologischer Aspekte vorgeworfen. Der Konzeptwechsel müsse in Bedingungen eingebettet sein, welche für denselben förderlich sind und daher durch affektive und emotionale Faktoren erweitert werden. Weiterhin wird kritisiert, dass der Ansatz nur inhaltliche Vorstellungen, nicht aber Vorstellungen über das Wesen der Naturwissenschaften im Allgemeinen bedacht werden, welche die inhaltliche Perspektive jedoch stark beeinflusst. Fehlende Erfolge beim Konzeptwechsel werden auf dieses Defizit zurückgeführt (HÄUBLER ET AL. 1998).

2.3.2 Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde von LAKOFF/JOHNSON (2004) erstmals 1980 publiziert. GROPENGIEBER (2003, 2004, 2007) hat diese Theorie in seine Forschungsarbeiten aufgenommen, für die Biologiedidaktik modifiziert und ausführlich dargestellt. Mit Hilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens können Schülervorstellungen in ihrer Genese untersucht werden. Sie macht Aussagen zum Verhältnis von Erfahrung, Sprache und Denken. Erfahrungen gelten als Basis des Verstehens der Welt. Es gibt aber auch Bereiche, in denen keine unmittelbaren Erfahrungen gemacht werden können. So können Theorien z. B. nur imaginativ beschrieben werden. Metaphern kommt dabei in der alltäglichen Sprache als auch in der wissenschaftlichen Sprache eine große Bedeutung zu. Sie erleichtern das Verstehen der Welt, wenn keine unmittelbaren Erfahrungen gemacht werden können. Im Folgenden sollen die wichtigsten Annahmen und Strukturen der Theorie dargestellt werden:

- **Erfahrungen stellen die Basis für unser Verständnis und führen zu verkörperten Vorstellungen**

Die Grundlage für unser kognitives System wird durch unmittelbare Erfahrungen gelegt, die wir mit unserer Wahrnehmung, der Körperbewegung aber auch mit der physischen und sozialen Umwelt machen. Es wird darauf verwiesen, dass alle Erfahrungen im jeweiligen kulturellen Kontext zu sehen sind. Trotzdem ist eine Abgrenzung zwischen physischen Erfahrungen und Erfahrungen, die kultureller Natur sind, möglich (LAKOFF/JOHNSON 2004). Diese Erfahrungen münden in ein direktes Verständnis und sind die Basis für reich strukturierte Vorstellungen, die auch als **verkörperte Vorstellungen** bezeichnet werden. Unter Verkörperung wird dabei das Erwaschen von konzeptuellen Strukturen durch physische Erfahrungen verstanden. Durch verkörperte Vorstellungen werden auf Erfahrung

beruhende Aktivitäten in verständlicher Weise organisiert und Ordnung konstruiert. Aus körperlichen Erfahrungen erwachsen so Konzepte, die sich in Basisbegriffe, einfache Raumkonzepte und Schemata einteilen lassen (GROPENGEIER 2003, LAKOFF/JOHNSON 2004).

Basisbegriffe sind grundlegende fundamentale Strukturen unserer direkten Erfahrungen. Durch diese Erfahrungen können wir z. B. Hunde von Katzen oder Giraffen unterscheiden. Sie bewegen sich auf einer mittleren hierarchischen Ebene von Kategorien, die für uns direkt verständlich und durch ein mentales Bild repräsentiert ist. GROPENGEIER (2007, S. 110) gibt folgende Beispiel für entsprechende Hierarchien an, bei denen die mittleren die Basiskategorien darstellen: Tier – Hund – Schäferhund oder Möbel – Stuhl – Schaukelstuhl.

Räumliche Beziehungen ergeben sich aus körperlichen Erfahrungen, aus der Orientierung unseres Körpers und beruhen überwiegend auf dem aufrechten Gang. So werden z. B. „oben und unten“ oder „vorne und hinten“ sowie „innen und außen“ unterschieden und direkt verstanden.

Etwas komplexere, aber trotzdem direkt verständliche verkörperte Strukturen sind die **Schemata**. Ein eingängiges Beispiel hierfür ist das Behälter-Schema. Unser Körper wird als Behälter empfunden, in den durch Nahrungsaufnahme oder Atmung etwas hinein gelangt oder aber durch Ausscheidungen oder Ausatmung auch wieder etwas den Körper verlässt. Das Schema ist durch eine Grenze gekennzeichnet, die ein Innen vom Außen scheidet. Weitere Erfahrungen zu diesem Schema beziehen sich z. B. auf das Ein- und Austreten aus Räumen oder das Hineinschlüpfen in eine Jacke. Andere Beispiele für solche komplexeren bildlichen Schemata sind bezeichnet als „Teil-Ganzes“, „Start-Weg-Ziel“, „Speicher-Fluss“, „Kreislauf“, „Gleichgewicht“ oder „Zentrum-Peripherie“ (NIEBERT 2010). GROPENGEIER (2003, 2007) unterscheidet somit zwei präkonzeptuelle Strukturen, die durch direkte Erfahrungen geprägt sind: die bildlichen Schemata und die grundlegenden Basisbegriffe, welche durch die Raumkonzepte ergänzt werden.

Metaphern und Imagination als Hilfen zum Verstehen

Nicht nur die Sprache, sondern auch das Denken ist imaginativ und metaphorisch. Die Metapher wird von LAKOFF/JOHNSON (2004) aber nicht als rein sprachliches Phänomen verstanden. Vielmehr stehen Metaphern als konzeptuelle Strukturen zur Verfügung, die unser Denken und Handeln durchdringen und unser Verständnis und unterschiedliche Auffassungen zu bestimmten Themen ausdrücken. Metaphern umfassen kohärente Systeme von Konzepten und dazu passenden sprachlichen Ausdrücken. Unser kognitives System funktioniert metaphorisch.

Wir denken, handeln, reden nach solchen metaphorischen Strukturen und nehmen bestimmte Dinge unter diesen Strukturen wahr. Die Konzepte der Metaphern sind so strukturiert, dass eine Anwendung der Ausdrücke auch für den

Zielbereich möglich ist, wobei nicht immer alle Teile des metaphorischen Konzeptes genutzt werden (Abb. 4). LAKOFF/JOHNSON (2004) unterscheiden verschiedene Metaphern, von denen hier vor allem die Orientierungsmetapher und die Strukturmetapher ausschlaggebend sind. Die **Orientierungsmetapher** hat ihre Wurzeln in physischen und kulturellen Erfahrungen und ist nur durch diese Erfahrungen verstehbar. So wird das Raumkonzept „oben-unten“ auf bestimmte Zustände z. B. Gesundheit oder Gemütszustände übertragen. Glücklich sein und Gesundheit ist „oben“. Man ist „oben auf“, hat einen „Höhenflug“, ein „gesundheitliches Hoch“. Geht es einem dagegen schlecht, wird davon gesprochen, dass man „down“ ist, „auf dem absteigenden Ast“ usw. Ein weiteres Beispiel ist die Gefäß-Metapher. So kann der Mensch als Gefäß aufgefasst werden, der durch eine äußere Begrenzung, die Haut, von der übrigen Welt abgegrenzt ist. Die eigene Innen-Außen-Orientierung kann wiederum auf andere physische Objekte, die durch Oberflächen abgegrenzt sind, projiziert werden, so wie auch auf den Boden. Bei der **Strukturmetapher** werden gedankliche Strukturen eines Ursprungsbereiches auf einen Zielbereich übertragen. Der Zielbereich wiederum wird durch die benutzte Metapher strukturiert. Erfahrungen dienen als Basis um die Metaphern und ihre Strukturen verstehen zu können. So kann eine Liebesbeziehung als Reise verstanden werden, wenn man gemeinsam in ein neues Leben „startet“ die Beziehung gut „läuft“ oder man sich „festgefahren“ hat und es nicht mehr „weiter geht“. Liebe kann aber auch als Zauber, Kampf oder Geschäft gesehen werden. Je nachdem, welches Verständnis wir von einer Sache haben oder ausdrücken möchten, verwenden wir die entsprechend passende Metapher. Andererseits kann dieselbe Metapher auf unterschiedliche Bereiche projiziert werden. So kann z. B. auch das Leben oder der Lehr-Lern-Prozess als Reise verstanden werden. Eine weitere wichtige Verständnishilfe ist die **Personifikation**. Etwas Nichtpersonifiziertes wird mit menschlichen Qualitäten, mit Eigenschaften und Tätigkeiten versehen. Die Personifikation hilft gerade wenig begreifbare Phänomene besser zu verstehen.

Körper mit kognitivem System

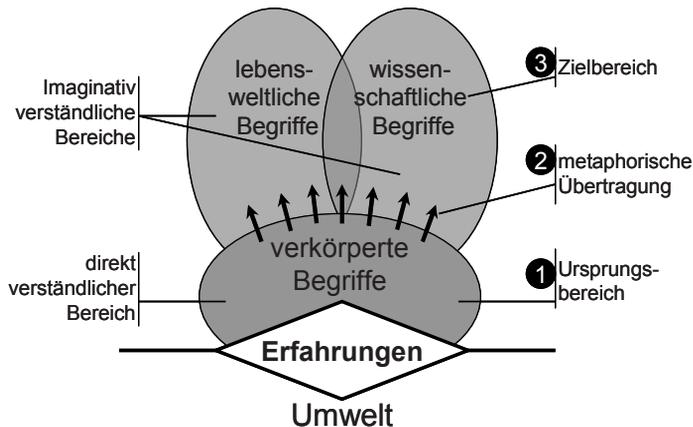


Abb. 4: Erfahrung als Basis des Verstehens (GROPENGBER 2007, S. 112)

Die Wissenschaftssprache wird im Vergleich zur Alltagssprache als exakter und formaler charakterisiert. Aber auch Wissenschaft und Wissenschaftstheorie kommen nicht ohne Metaphern aus, was bereits am Beispiel der Theorie als „Gebäude“, das „untermauert“ werden muss um „standzuhalten“, deutlich wird. Allgemein lässt sich sagen, dass verkörperte Vorstellungen aus den Ursprungsbe-
reichen zu imaginativem Verständnis im Zielbereich führen können, in denen unmittelbare Erfahrungen nicht möglich sind. Die Verwendung von Metaphern kann auch zu Verständnisproblemen führen, wenn sie nicht kohärent und konsequent bzw. systematisch eingesetzt werden. Vor allem das gleichzeitige Verwenden von verschiedenen Metaphern nebeneinander resultiert in Verwirrungen. Ferner kann die Systematik unter der wir ein bestimmtes Konzept erfassen, aber auch den Blick auf andere Aspekte des Konzeptes verstellen.

- **Idealisierte Cognitive Modelle (ICM)**

In ICM wird Wissen durch Strukturen organisiert. Es handelt sich um abstrakte Modelle, die als Ganzes verständlicher sind als seine Bestandteile. LAKOFF (2005) verdeutlicht das am Beispiel des idealisierten Modells der Woche, welche als Ganzes durch sieben Teile (Tage) organisiert ist. Das Konzept Wochenende wird nur unter diesem ICM verstanden. Idealisiert ist dieses Modell, da von Natur aus keine Sieben-Tage-Woche existiert und sich auch nicht alle Kulturen nach eben diesem Kalender richten. Es werden weitere Beispiele wie das des „Junggesellen“ oder das des „Gesprächs“ angegeben. Bildliche Schemata und Basisbegriffe können als Teile der ICM dienen. Ferner können die ICM durch Schemata struk-

turiert werden, beispielhaft am „Gespräch“, das als „Teil-Ganzes“ (Redebeiträge im Gespräch) oder „Start-Weg-Ziel“ (Beginn-Hauptstück-Ende) verstanden werden kann (LAKOFF/JOHNSON 2004, LAKOFF 2005, GROPENIEBER 2003).

Nutzen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens für die Didaktik

Innerhalb der Erforschung von Schülervorstellungen, aber auch bei der Untersuchung von fachwissenschaftlichem Verständnis, kann die Nutzung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens sinnvoll sein. So kann bei der Interpretation von Schülervorstellungen und fachlichen Theorien der Blick auf die Metaphern einen Hinweis auf die Genese der Vorstellungen, aber auch auf das jeweilige Verständnis und die Denkweise geben. Denkwege, die für den Unterricht relevant werden und evtl. zu Lernschwierigkeiten führen könnten, können so aufgedeckt werden. Andererseits werden Erfahrungen als wichtiger Bestandteil des Unterrichts angesehen. Dies zeigt sich in einer großen Auswahl an Arbeitsweisen, die sich auf direkte Erfahrungen beziehen, wie das Beobachten, Vergleichen, Untersuchen, Kartieren usw. So können aus dem Unterricht heraus verkörperte Vorstellungen erwachsen. Diese Erfahrungen sind durch die Begegnung mit der Wirklichkeit charakterisiert. Sind unmittelbare Erfahrungen nicht möglich, muss Unterricht über Proben, Modelle oder auch verschiedene Medien Erfahrung aus zweiter Hand vermitteln. Diese Erfahrungen ergeben sich aus Anschauungen, also aus Bildern, die man sich über die Wirklichkeit macht. Für den Unterricht muss eine gezielte Auswahl für den Lernprozess erfolgen, indem den Schülern entweder die Möglichkeit zu direkten Erfahrungen gegeben werden oder Vorstellungen über die Realität präsentiert werden (GROPENIEBER 2003, S. 97). Die Entscheidung wird unter anderem davon abhängig sein, ob es sich bei dem Unterrichtsthema um ein Thema mit breiter oder schmaler Erfahrungsbasis handelt. Unter einer breiten Erfahrungsbasis versteht GROPENIEBER (2003) Inhaltsbereiche, die direkt verstanden werden können. Eine schmale Basis ist gegeben, wenn das Verstehen nur indirekt und imaginativ möglich ist.

2.3.3 Multiple Mentale Repräsentationen

Ein weiterer kognitionspsychologischer Ansatz geht davon aus, dass Alltagsvorstellungen als *multiple mentale Repräsentationen* aufgefasst werden können und durch Alltagserfahrungen gebildet werden. Das bedeutet, dass das „*Wissen sowohl bildhaft (analog), motorisch-handelnd (handlungsmäßig) als auch symbolisch-verbal (aussageartig) während des Lernens verarbeitet wird*“ (REINFRIED 2006.2). SCHNOTZ (2001) unterteilt die multiplen mentalen Repräsentationen in propositionale Repräsentationen und in mentale Modelle (Abb. 5).

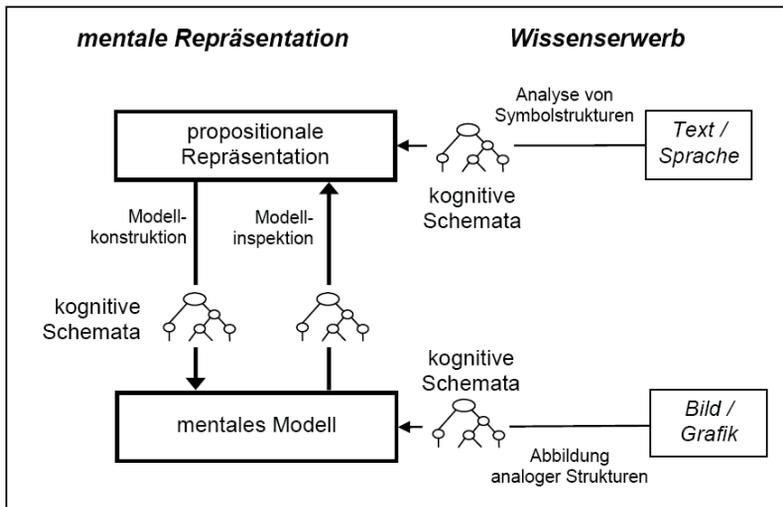


Abb. 5: Das Modell zum Wissenserwerb (SCHULER 2011, S. 114 nach SCHNOTZ 2001, S. 306, verändert)

Propositionale Repräsentationen sind symbolisch verbal und bestehen aus kleinsten Informationseinheiten (Symbolen/Begriffen), die durch Relationen nach bestimmten Regeln miteinander zu Bedeutungsnetzen verknüpft sind. SCHULER (2011) verdeutlicht die propositionalen Repräsentationen am Beispiel von Vorgängen an der Ozonschicht, welche durch FCKW zerstört wird. Die Begriffe „FCKW“ und „Ozonschicht“ werden mit der Relation „zerstören“ verknüpft. Werden verschiedene Propositionen funktionell oder strukturell zueinander in Beziehung gesetzt, entstehen größere Wissensseinheiten, die Schemata. Komplexe Netzwerke, die hierarchisch organisiert sind, werden als kognitive Schemata bezeichnet. Hier kann eine Analogie mit den Komplexitätsebenen nach GROPENGEIER (2001) hergestellt werden. Demnach würden die Konzepte auf der gedanklichen Ebene der Vorstellungen den Propositionen, die Denkfiguren bis hin zu den Theorien bei GROPENGEIER (2001) den propositionalen Netzwerken bzw. den kognitiven Schemata entsprechen. Ein mentales Modell wird von REINFRIED (2006.2, S. 39) als „*subjektives, anschauliches, mentales (d. h. inneres) Vorstellungsbild von Ausschnitten der Realität*“ definiert. Es steht in Funktions- und Struktur analogie zur Realität oder zum Wissensgegenstand und integriert bildhaftes, motorisch-handelndes als auch symbolisch-verbales Wissen. Beim Wissenserwerb interagieren beide Bereiche miteinander. So dienen propositionale Repräsentationen z. B. zum Aufbau oder zur Veränderung der mentalen Modelle. Andererseits können an einem mentalen Modell neue Informationen abgelesen

werden und zum Aufbau neuer propositionaler Repräsentationen führen oder diesen hinzugefügt werden (SCHNOTZ 2001, 2002, REINFRIED 2006.2).

Beim Lernen wird nun an ein Initialmodell angeknüpft, welches durch Alltagserfahrungen gebildet wurde. Wissensänderung wird als Prozess gesehen, bei welchem das Initialmodell durch weitere Alltagserfahrungen, kulturelle Erfahrungen aber auch Unterricht in ein synthetisches und weiterführend in ein wissenschaftlich korrektes Modell übergeleitet wird.

Wissenserwerb als Kommunikation

Den Ansatz der multiplen mentalen Repräsentation aufgreifend, wird der Prozess des medienbasierten Wissenserwerbs als Kommunikationssituation zwischen Lehrer und Lerner interpretiert. Für den Unterricht ist dieser Ansatz besonders wichtig, da für die Vermittlung von Inhalten verschiedenste Texte, Diagramme, Bilder und Tabellen eingesetzt werden. Texte und Graphiken sind dabei durch drei Aspekte charakterisiert (SCHNOTZ 1994). Sie besitzen eine:

- *Ausdrucksfunktion*: Texte und Graphiken verdeutlichen eine bestimmte Sichtweise des Autors.
- *Darstellungsfunktion*: Texte und Graphiken haben einen Bezug zum Gegenstand, der beschrieben wird.
- *Appellfunktion*: Texte und Graphiken werden mit einem bestimmten Ziel an die Lerner formuliert.

Texte und Graphiken

„stellen externe Repräsentationen eines Sachverhaltes dar, die ein Autor anhand einer mentalen Repräsentation, die er selbst über einen Wissensgegenstand besitzt, erzeugt. Diese externen Repräsentationen dienen dann als Grundlage für den Verstehensprozess eines Lerners. ... (Dieser) konstruiert abhängig von seinen bisherigen Erfahrungen und seinem Vorwissen eine spezifische mentale Repräsentation über einen Gegenstand“ (KÜRSCHNER ET AL. 2007, S. 12).

Der Lehrer hat ein bestimmtes Anliegen, wenn er dem Lerner einen bestimmten Text für die Wissensvermittlung präsentiert (Ausdrucks-, Darstellungsfunktion). Die Auswahl des Textes oder der Graphik erfolgt vor dem Erfahrungshintergrund des Lehrers. Der Lernende interpretiert dieselbe externe Repräsentation über den gegebenen Gegenstand in einer bestimmten Situation jedoch vor dem Hintergrund seiner eigenen Erfahrungen und Vorstellungen. Zu beachten ist, dass sich die Vorstellungswelt des Lerners und die des Lehrers unterscheiden und nur über die externe Repräsentation des Gegenstands in der gegebenen Situation miteinander in Verbindung treten (Abb. 5). Dieselbe externe Repräsentation kann daher vom Lerner ganz anders aufgefasst werden als der Lehrer es gemeint hat. Andererseits kann die Interpretation, je nachdem in welchem Kontext und mit welchem Vorwissen über den Autor dem Lerner der Text oder die Graphik präsentiert wird, variieren. Auch gibt es Unterschiede über die Deutung eines Textes in Bezug auf die Situation, in welcher er präsentiert wird oder auf

welche Situation er sich bezieht. Da jeder Lerner verschiedene Erfahrungshintergründe und Vorstellungen mit in den Unterricht bringt, kann es dazu kommen, dass verschiedene Lerner auf Grundlage gleicher Materialien über einen Gegenstand in derselben Situation unterschiedliche mentale Modelle konstruieren (KÜRSCHER ET AL. 2007).

2.4 Schülervorstellungen in der Geographie

Die Erforschung von Schülervorstellungen füllt in den Naturwissenschaftsdidaktiken einen eigenen Schwerpunkt fachdidaktischer Forschung aus. Alltagsvorstellungen zu fachlichen Inhalten werden bereits seit den 1970er Jahren, Vorstellungen auf metatheoretische Ebene zum „Verständnis über Naturwissenschaften“ und zu wissenschaftlichen Erkenntniswegen seit den 1980er Jahren intensiv untersucht. Hinzu kommen Lern-Prozess-Studien in Anlehnung an die Conceptual-Change-Forschung und die Entwicklung des Modells der didaktischen Rekonstruktion als theoretischer und methodischer Forschungsrahmen in den 1990er Jahren (DUIT 2006, SCHULER 2011).

In der Geographiedidaktik handelt es sich bei der Erforschung von Schülervorstellungen, egal in welchem der genannten Bereiche, um eine recht junge Forschungstradition. REINFRIED (2010) macht diese Erkenntnis daran fest, dass sich viele der derzeit laufenden Projekte noch in der Pilotphase befinden. REINFRIED selbst beschäftigt sich seit Jahren mit Schülervorstellungen und dem Conceptual-Change mit Schwerpunkten zu den Themen Grundwasser und Treibhauseffekt (z. B. REINFRIED 2006.2, REINFRIED ET AL. 2010, REINFRIED/TEMPELMANN 2013). Dennoch kann festgestellt werden, dass dieses Forschungsfeld in der Geographiedidaktik inzwischen bewusster wahr- und ernst genommen wird. Deutlich wird das einerseits durch das Erscheinen der „Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Alltagsvorstellungsforschung in den Geowissenschaften“ (LLBG-Bibliographie). In dieser Bibliographie wurde von REINFRIED/SCHULER (2009.1, 2009.2) der aktuelle internationale Forschungsstand zu Alltagsvorstellungsforschung zu geographischen und geowissenschaftlichen Themen zusammengestellt. Die Bibliographie umfasst inzwischen 604 Titel (Stand August 2011) und wird Interessierten frei zur Verfügung gestellt¹¹. Andererseits werden anhand der steigenden Anzahl an Publikationen und Fachvorträgen auf Tagungen intensivere Forschungsaktivitäten in Bezug auf die Schülervorstellungen sichtbar. Die Analyse der Veröffentlichungen hat ergeben, dass der Schwerpunkt auf physischgeographischen Themen liegt, welche oft Überschneidungen mit der Physik, Chemie oder Biologie aufweisen. Die meisten Veröffentlichungen stammen aus dem Bereich der Astronomie (z. B. Form der Erde, Jahreszeiten), gefolgt von der Geologie/Geomorphologie (Eigenschaften und Entstehung der Gesteine, Verwitterung) und der Atmosphäre (Wet-

¹¹ Online unter: <http://www.ph-ludwigsburg.de/llbg.html> (eingesehen am 11.01.2014)

ter und Klima, anthropogener Treibhauseffekt, Luftverschmutzung). Andere Themen der Physischen Geographie sind unterrepräsentiert und liegen nur in vereinzelt veröffentlichten Beiträgen vor. Da sich die vorhandenen Publikationen auf unterschiedliche Altersstufen oder verschiedene Forschungsansätze (Grundlagenforschung, Conceptual-Change-Ansätze...) beziehen, können jedoch in allen Bereichen Forschungsdefizite ausgemacht werden. Neueste, umfangreiche Forschungsarbeiten sind zu den Themen Klimawandel (SCHULER 2011), Wüsten und Desertifikation (SCHUBERT 2012), Gletscher und Eiszeiten (FELZMANN 2013) und Klimageographie (BASTEN 2013) erschienen. Humangeographische Themen fehlen in der Vorstellungsforschung überwiegend. Auf dieses Forschungsdefizit wird bereits im State-of-the-art-Bericht von REINFRIED/SCHULER (2009.1) aufmerksam gemacht. Auch die neueste Version der LLBG-Bibliographie, weist lediglich 28 Treffer mit dem Schlagwort Humangeographie auf, davon lediglich drei Titel aus dem deutschsprachigen Raum. Inhalte der Forschung sind z. B. ländliche Siedlungen/ländlicher Raum, die Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Umwelt oder Nachhaltigkeitsthemen. Viele der Treffer beschäftigen sich jedoch eher mit Raumvorstellungen als mit originär humangeographischen Themen. Als ein Grund für die geringe Anzahl an Titeln mit humangeographischem Schwerpunkt vermuten SCHULER und REINFRIED (2009.1) die Datengrundlage, die „Bibliography STCSE – Students' and Teachers' Conceptions and Science Education“ (Duit 2009), welche die naturwissenschaftliche Unterrichtsforschung im Fokus hat. Die Begründung wird von REINFRIED und SCHULER (2009.1) aber nicht als ausreichend angesehen, da neben dieser Grundlage intensive und weitergehende Recherchen in nationalen und internationalen geographischen Veröffentlichungen durchgeführt wurden. Aus den eigenständigen Recherchen der Autoren stammen inzwischen mindestens 50% der in der LLBG-Bibliographie aufgeführten Titel, die Anzahl der humangeographischen Forschungsarbeiten ist aber nicht merklich angestiegen. Weitere Gründe für das Forschungsdesiderat bei humangeographischen Themen sind spekulativ. Ein Grund könnte darin liegen, dass naturwissenschaftliche Theorien eindeutiger sind und es häufig eine derzeit anerkannte Theorie gibt. In den Forschungsarbeiten zu Schülervorstellungen zu physisch-geographischen Inhalten wird bei der fachlichen Klärung oft eine historische Entwicklung der wissenschaftlichen Sichtweise dargestellt, welche in der Diskussion der aktuell anerkannten Theorie(n) mündet. Die Theoriebildung in der Humangeographie ist dagegen weniger eindeutig. Die fachliche Klärung wäre wahrscheinlich durch unterschiedliche Perspektiven und konstruktivistische Ansätze gekennzeichnet, was einen Vergleich der fachwissenschaftlichen Theorien mit den Schülervorstellungen erschwert. REINFRIED und SCHULER (2009.1) schlagen aufgrund des Forschungsdefizites im Bereich der Humangeographie vor, spezifische Forschungsansätze für humangeographische Themen zu entwickeln, um auch diese Inhaltsbereiche besser erforschen zu können.

Neben den verstärkten Forschungsansätzen in Bezug auf Schülervorstellungen, wird in den neueren Publikationen auch die Bedeutung der Kenntnis und des Umgangs mit Schülervorstellungen im Unterricht deutlich (REINFRIED 2010, OTTO/SCHULER 2012, SCHULER/FELZMANN 2013).

Die vorliegende Studie wird als Grundlagenforschung zu inhaltlichen Vorstellungen in der physischen Geographie eingeordnet. Bisher liegen nach der LLBG-Bibliographie nur 7 Veröffentlichungen zur Pedosphäre vor, von denen sich zwei auf das hier vorgestellte Projekt beziehen (DRIELING 2006.1, 2010). Die weiteren Studien werden in Kapitel 4.1 näher vorgestellt. Mit der Erhebung von Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodenzerstörung im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion wird also ein großes Forschungsdefizit in der Geographiedidaktik reduziert.

3 Fachliche Klärung - Wissenschaftliche Vorstellungen zu den Gegenständen Boden und Bodengefährdung

Dem Begriff Boden werden aus den verschiedenen alltäglichen aber auch wissenschaftlichen Perspektiven unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen. Selbst innerhalb der Naturwissenschaften ist keine eindeutige Definition dieses Begriffs zu finden. Mit allen weiteren Termini aber auch weitergehenden Denkfiguren und Theorien sieht es ähnlich aus. Je nachdem aus welchem Blickwinkel Boden betrachtet wird, variiert das Verständnis vom Boden, seiner Beschaffenheit und Entwicklung sowie von der Gefährdung der Böden.

3.1 Zum Begriff der fachliche Klärung

Für die Planung und Durchführung von Unterricht ist die Klärung der fachwissenschaftlichen Inhalte unverzichtbar. An der für diesen Zweck früher meist durchgeführten „Sachanalyse“ wird jedoch Kritik geübt. Die Annahme, fachwissenschaftliche Inhalte könnten bedingungslos in ihrer Struktur, allein didaktisch reduziert, in den Unterricht übernommen werden, kann aus fachdidaktischer Sicht nicht geteilt werden. Vielmehr soll ein kritischer Umgang mit den fachwissenschaftlichen Ansätzen, als auch ein expliziter pädagogischer Bezug hergestellt werden. So sollen in der fachlichen Klärung die fachwissenschaftlichen Quellen zum Gegenstand Boden einer kritischen Analyse unterzogen und systematisch untersucht werden. Dies geschieht unter Berücksichtigung der fachdidaktischen Perspektive. Die Auswahl der Struktur, des Umfangs und der Tiefe der Darstellung der fachlichen Inhalte hängen von der Vermittlungsabsicht ab. Die Beschränkung auf rein bodenkundliche Inhalte soll vermieden und zwischenfachliche bzw. fachübergreifende Aspekte berücksichtigt werden. Die fachliche Klärung sollte es ermöglichen, Bezüge zwischen den Schülervorstellungen und den Vorstellungen der Wissenschaftler herzustellen. Vor allem historische Quellen können Parallelen zu den Schülervorstellungen aufweisen, da Alltagstheorien hier Eingang in die wissenschaftlichen Vorstellungen gefunden haben. Außerdem soll die fachliche Klärung zur fachwissenschaftlichen Darstellung der Erkenntnisse dienen und deren Aussagen und Ausdrucksweisen kritisch untersuchen. Ziel der fachlichen Klärung ist es, durch die kritische und systematische Untersuchung die wichtigsten Aussagen, Theorien und Termini herauszupräparieren und die Vorstellungen der Wissenschaftler auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren zu formulieren. Dabei erhebt die fachliche Klärung keinen Anspruch auf eine vollständige Darstellung des aktuellen Erkenntnisstandes innerhalb der Wissenschaften oder der umfassenden Darstellung der Wissenschaftsgeschichte. Vielmehr soll die fachliche Klärung zu einer breiteren Verständnisebene innerhalb des

Faches führen und so die Sensibilität gegenüber fremden und zunächst als unangemessen bewerteten Vorstellungen erhöhen. Eine solche Analyse stützt sich daher auf den gegenwärtigen Stand der Theoriebildung als auch auf historisch überholte Theorien. Außerdem erleichtert sie das Verständnis der Schülervorstellungen (GROPENGLIEBER 2001, RIEMEIER 2005).

Fragestellungen

Die Fragestellungen knüpfen an die in Kap. 2.1 genannten Bereiche an. In meiner Arbeit gehe ich dabei auf folgende **Leitfragen** ein:

Welche fachwissenschaftlichen Aussagen, Konzepte, Theorien gibt es zu Boden und zur Gefährdung der Böden? Hier gehe ich v. a. auf folgende Themenbereiche ein:

- Begriff Boden,
- Aufbau und Bestandteile des Bodens,
- Bodenentstehung,
- Bodenfunktionen,
- Veränderungen im Boden,
- Ursachen und Folgen der Bodengefährdung im Allgemeinen und
- Ursachen und Folgen von Bodenerosion, Bodenverdichtung, Bodenversauerung im Speziellen.

Wie haben sich diese Konzepte und Theorien entwickelt und in welchen Kontexten stehen sie?

Welche Fachbegriffe werden verwendet? (vgl. GROPENGLIEBER 2001, S. 36)

3.2 Methodisches Vorgehen bei der fachlichen Klärung

Die unterschiedlichen Quellen werden nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990), für fachdidaktische Zwecke adaptiert durch GROPENGLIEBER (2001), untersucht. Die Methode wurde von GROPENGLIEBER (2001) ausführlich dargestellt. Der Ablauf der Untersuchung ist durch ein systematisches und regelgeleitetes Vorgehen charakterisiert und gliedert sich in Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung der Inhalte (KATTMANN ET AL. 1997, GROPENGLIEBER 2001) Dieses Vorgehen ähnelt der Auswertung der Schülervorstellungen und führt ebenso auf die Ebene von Konzepten und Denkfiguren. Dadurch wird eine spätere Vergleichbarkeit der beiden Untersuchungsaufgaben gewährleistet.

Zusammenfassung

Nach MAYRING (2002, S. 58) ist das Ziel der Zusammenfassung „*das Material so zu reduzieren, dass wesentliche Inhalte erhalten bleiben, durch Abstraktion einen überschaubaren Corpus zu schaffen, der immer noch Abbild des Grundmaterials ist*“. Das umfassende Ausgangsmaterial wird anhand der Leitfragen gesichtet und

inhaltstragende Passagen für die Zusammenfassung ausgewählt. Zentrale Textstellen werden wörtlich zitiert, weitere Textstellen werden durch Streichung nicht inhaltstragender Textbestandteile und Wiederholungen paraphrasiert. Es findet eine Generalisierung und Abstraktion statt. Insgesamt wird das Material soweit reduziert, dass nur die für die Fragestellung relevanten Inhalte, mit eventuell auftretenden Widersprüchen oder Brüchen in der Argumentation, zusammengefasst dargestellt werden. Die Gliederung der Zusammenfassung orientiert sich dabei an der groben Strukturierung durch die Leitfragen der Untersuchung, richtet sich in der feineren Strukturierung aber an den Aussagen der Verfasser aus. Zur Kennzeichnung der verwendeten Textstellen sind die Seitenzahlen in Klammern angegeben.

Explication

Die Explication steht für die eigentliche Interpretation der jeweiligen Quelle. Dabei werden die Aussagen und theoretischen Denkbauwerke der Verfasser nachgezeichnet. Durch die Hinzunahme anderer Quellen und (Sekundär-) Literatur können diese Aussagen erklärt und verständlich gemacht werden. So können sie in ihren Bedeutungen hervorgehoben, verschiedene Aussagen miteinander verknüpft oder in einen größeren Rahmen gestellt werden. Widersprüche können aufgedeckt oder widerlegt werden. Weiterhin findet eine sprachliche Analyse der Aussagen statt. So wird z. B. die Verwendung von Metaphern oder Analogien untersucht. Wenn möglich findet eine Einordnung in bestimmte wissenschaftliche Richtungen oder bei historischen Werken in die Wissenschaftsgeschichte statt. Durch die Explication wird der nachfolgende Schritt, die Strukturierung der Inhalte, vorbereitet. Konzepte und Denkfiguren des jeweiligen Autors werden in einen größeren Gesamtzusammenhang gestellt (GROPENGEIEßER 2001, RIEMEIER 2005).

Strukturierung

Die Strukturierung des Materials ist das eigentliche Ziel der fachlichen Klärung und Bedingung für die Vergleichbarkeit und Zusammenführung der beiden Untersuchungen mit dem endgültigen Ziel der didaktischen Strukturierung des Gegenstands Bodens. Durch die Zusammenfassung und die Explication vorbereitet, werden die gedanklichen Konstrukte der Verfasser identifiziert und in Konzepten und Denkfiguren formuliert, mit treffenden Namen bezeichnet und in Bereiche gegliedert.

Analog zur Einzelstrukturierung bei den Schülervorstellungen werden folgende Kennzeichnungen für die Konzepte und Denkfiguren verwendet:

- Die Konzeptnamen werden kursiv geschrieben.
- Denkfiguren werden durch >Pfeile< eingeschlossen.

- Einrückungen von Konzepten werden vorgenommen, wenn sie dem darüberstehenden Konzept zugeordnet werden können oder wenn es sich um eine Aufzählung handelt.
- Werden Konzepte von den Autoren zustimmend vertreten, wird dies nicht weiter gekennzeichnet. Wird ein Konzept abgelehnt, wird dies ~~durchgestrichen~~ dargestellt. Stellt der Autor ein Konzept in Frage, wird es mit einem Fragezeichen vor dem Konzept gekennzeichnet (HILGE 1999, GROPENGEIEBER 2001, RIEMEIER 2005).

3.3 Auswahl der Texte

Die Auswahl der Texte orientiert sich an solchen Quellen, die sich im Wesentlichen mit den inhaltlichen Fragestellungen der Forschungsarbeit auseinandersetzen. Obwohl GROPENGEIEBER (2001) auf die Notwendigkeit der Nutzung von Originalarbeiten hinweist, wird in dieser Forschungsarbeit auf ein aktuelles Lehrbuch, das „Handbuch des Bodenschutzes“ (BLUME ET AL. 2004) und das Hauptgutachten des wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung globale Umweltveränderungen (WBGU 1994) „Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden“ zurückgegriffen. Die Auswahl begründet sich in dem umfassenden Blick auf den Gegenstand Boden und die Gefährdung von Böden. Die Auswahl von Originalarbeiten zu allen einzelnen Teilbereichen ist im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht möglich und würde einen anderen Forschungsschwerpunkt setzen. Alle aktuellen wissenschaftlichen Vorstellungen haben einen wissenschaftsgeschichtlichen Hintergrund. Zum vertieften Verständnis der aktuellen Sichtweise, aber auch der Schülervorstellungen, ist es sinnvoll einen historischen Text zur fachlichen Klärung hinzuzunehmen. Im Folgenden werden die einzelnen Quellen kurz vorgestellt:

Friedrich Albert FALLOU (1857/2. Auflage 1865): Die Anfangsgründe der Bodenkunde. Dresden.

FALLOU (1865) wird durch seine Sichtweise, dass Boden, als eigenständiger Naturkörper und unabhängig von anderen Kontexten, einen eigenen Untersuchungsgegenstand bildet, als Mitbegründer der Bodenkunde angesehen. Da es sich bei dem Werk „Anfangsgründe der Bodenkunde“ um das erste Buch handelt, das sich ausschließlich mit dem Gegenstand Boden befasst, ist davon auszugehen, dass es sich mit grundsätzlichen und allgemeinen Vorstellungen auseinandersetzt. Es ist eine gewisse Breite und ein stärkerer lebensweltlicher Bezug zu erwarten als dies in der aktuellen Literatur der Fall ist. Da FALLOU (1865) nur für die mineralogisch-geologische Richtung der Bodenkunde steht, stellt die Explikation noch die weiteren bodenkundlichen Richtungen vor.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (1994): Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden – Hauptgutachten 1994. Bonn.

Das Gutachten bricht die bodenkundliche Sichtweise auf und behandelt die Gefährdung der Böden zentral und als Problem mit globalen Ausmaßen. Nicht die fachwissenschaftlichen Grundlagen sind ausschlaggebend, sondern die interdisziplinäre bzw. multidisziplinäre und die systematische Perspektive auf den Boden. Die Probleme der Bodendegradation werden mit Hilfe sozialwissenschaftlicher, umweltökonomischer und ökologischer Zugangsweisen beleuchtet und systematisch miteinander verknüpft. Das Gutachten erfüllt daher die Anforderungen der fachlichen Klärung, fachübergreifende Sichtweisen zu berücksichtigen.

H.-P. Blume et al. (Hrsg.) (32004): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg.¹²

Dieses Werk steht für ein aktuelles Lehrbuch, welches sich aus bodenkundlicher Sicht mit Boden und der Gefährdung von Böden beschäftigt und den aktuellen Erkenntnisstand widerspiegelt. Es setzt sich aus Aufsätzen verschiedener Autoren zu den einzelnen Themenbereichen zusammen, wird aber aus den oben genannten Gründen als Gesamtwerk für die fachliche Klärung genutzt. Die Wahl fiel auf dieses Werk, da es sich intensiv mit den verschiedenen Teilbereichen der Gefährdung des Bodens auseinandersetzt, was vor allem für die Klärung von Bodenerosion, Verdichtung und Versauerung sinnvoll erscheint.

3.4 Gütekriterien

Für die fachliche Klärung gelten dieselben Gütekriterien, wie sie für die Schülervorstellungen in Kap. 4.3.7 formuliert werden.

3.5 Ergebnisse der fachlichen Klärung

Ausführlichen Ergebnisse der fachlichen Klärung: **siehe digitaler Anhang.**

3.6 Vergleich der wissenschaftlichen Vorstellungen

Im Folgenden werden die wichtigsten Konzepte und Denkfiguren der Verfasser miteinander verglichen. Dabei werden Gemeinsamkeiten dargestellt, aber auch Unterschiede im Verständnis hervorgehoben. Der Einfachheit halber wird das Handbuch des Bodenschutzes als Gesamtwerk aufgefasst und als BLUME (32004) zitiert. Die Autoren der einzelnen Kapitel tauchen hier nicht mehr auf.

¹² Nach der Fertigstellung dieses Teils der fachlichen Klärung erschien die 4. Auflage im Oktober 2010. Die bearbeiteten Kapitel haben sich in der neueren Auflage nicht erheblich geändert, so dass von einer Bearbeitung der neueren Auflage abgesehen wurde.

Bodenfunktionen

Boden spielt schon seit Jahrtausenden eine bedeutende Rolle für die Menschen, vor allem in Bezug auf den Ackerbau. Die fachliche Klärung setzt mit dem Beginn der Wahrnehmung des Bodens als eigenständiger Untersuchungsgegenstand bei Albert FALLOU (1865) ein. Davor wurde Boden vor allem im Zusammenhang mit der Landwirtschaft bzw. dem Ackerbau gesehen. Obwohl Bodenkunde von FALLOU (1865) als eigenständige Wissenschaft gefordert wird, begründet auch er die Beschäftigung mit dem Boden mit der Bedeutung des Bodens als Grundlage für das Leben. Die höchste Bestimmung des Bodens sieht FALLOU (1865) im Ackerbau. Die Bedeutung des Bodens ergibt sich also seit jeher aus den dem Boden zugewiesenen Bodenfunktionen. Dies spiegelt sich auch in den neueren Quellen, dem Gutachten der WBGU (1994) und dem Handbuch des Bodenschutzes (2004) wider. Einstimmig werden die Bedeutung, die Bewertung und die Schutzwürdigkeit des Bodens an den Bodenfunktionen angeknüpft, egal wie sehr sich die Definitionen und anderen Konzepte der verschiedenen Autoren zum Boden unterscheiden.

Boden allgemein

Das Verständnis von Boden, seinen Bestandteilen, seinem Aufbau und seiner Entstehung ergibt sich aus den jeweiligen vorhandenen Kenntnissen und der Abgrenzung hin zu anderen Geofaktoren oder Geosphären, bzw. durch die Einordnung des Gegenstands Boden in andere übergeordnete Denkfiguren oder sogar Wissenschaften wie z. B. die Ökologie oder die Ökonomie.

Boden als Naturkörper

Boden wird als dreidimensionaler, in sich gegliederter Körper aufgefasst. Die Benennung als Naturkörper findet sich dabei nur bei BLUME (2004, 2010), der auch auf die genaue Struktur des Bodens eingeht. Er gliedert Boden in Horizonte, die sich durch unterschiedliche Eigenschaften voneinander unterscheiden. FALLOU (1865) dagegen spricht noch von Schichten, wobei eine Unterscheidung von Gesteinsschichten und Bodenschichten fehlt.

Boden als Umwandlungsprodukt des Gesteins

Boden wird von FALLOU (1865) aber auch von BLUME (2004) als Umwandlungsprodukt des Ausgangsgesteins gesehen, auch wenn sich die Vorstellungen voneinander unterscheiden. FALLOU (1865) beschreibt die Umwandlung als *Zertrümmerung*, *Verwitterung* und *Verwesung*. BLUME (2004) benennt verschiedene Prozesse der *Transformation*. Beide nennen zusätzlich Prozesse der *Verlagerung*. Sie verstehen aber Unterschiedliches darunter. Bei FALLOU (1865) entspricht die Verlagerung der heute so benannten Erosion, also einer horizontalen, oberflächlich ablaufenden Verlagerung. Blume dagegen versteht darunter *Translokations-*

prozesse von Stoffen, die vertikal innerhalb des Boden mit dem Wasserstrom ablaufen.

Boden als Alluvion

Boden entwickelt sich aus dem vorhandenen Ausgangsgestein. Diese Vorstellung findet man in allen drei Quellen. FALLOU (1865) nimmt aber eine Differenzierung vor. Den sich direkt aus dem Ausgangsgestein durch Umwandlung entwickelten Boden benennt er als *angestammten Boden*. Davon abgegrenzt wird der *angeschwemmte Boden*, der auf dem Gestein auflagert und über diesem durch Wasser, Wind etc. abgelagert wurde.

Bestandteile des Bodens

Die Vorstellungen von den zum Boden gehörenden Bestandteilen sind sehr unterschiedlich. Für FALLOU (1865) gehören nur die mineralischen Bestandteile bzw. das unzeretzte Felsgetrümmer zum Boden. Diese Sichtweise hängt mit der Vorstellung über die Entstehung von Böden zusammen. FALLOU (1865) zählt alles, was locker ist, also auch das heute als Lockergestein benannte Sediment, das noch nicht der Verwitterung unterlag, zum Boden hinzu. Wird das Felsgetrümmer mit organischen Bestandteilen gemischt, bezeichnet er dieses als *gemengte Erden*. Organische Bestandteile kommen vor allem im Obergrund vor. Wasser oder Luft werden nicht als eigenständige Bestandteile benannt. BLUME (2004) dagegen geht vom *Dreiphasensystem* Boden aus. Die feste Phase des Bodens setzt sich aus *mineralischen* und *organischen Teilen* zusammen, das *Bodenwasser* entspricht der flüssigen, die *Bodenluft* der gasförmigen Phase.

Boden als Bestandteil von (Öko-) Systemen (bzw. Boden als System)

Boden wird vom WBGU als *eigenständiges Ökosystem* bezeichnet. Diese Zuordnung wird aber nicht weiter erörtert.

Bedeutsamer scheint, dass Boden vom WBGU (1994) und von BLUME (2004) als *Struktur- und Funktionselement von Ökosystemen* verstanden wird mit dem wichtigen Merkmal, dass die einzelnen Bestandteile eines Systems miteinander in Wechselwirkung stehen. Diese Sichtweise wird auch deutlich, wenn von Boden als Querschnittsmedium (WBGU 1994) oder von Boden als Durchdringungsbe- reich (Blume 2004) gesprochen wird. Nicht ganz in dieses Konzept passend ist die klare Abgrenzung des Bodens zum Gestein und zur Vegetation und Atmosphäre durch BLUME (2004).

Fließgleichgewicht, dynamisches Gleichgewicht

Dass Böden Bestandteile von Ökosystemen sind, begründet der WBGU (1994) mit der Tatsache, dass Böden mit anderen biotischen und abiotischen Bereichen im Sinne eines dynamischen Gleichgewichtes in Beziehung stehen. Außerdem

wird darauf hingewiesen, dass die Bodenentwicklung zur Annäherung an das Fließgleichgewicht führt.

Boden als abhängige Variable

Alle drei Quellen sehen Boden als eine abhängige Variable. Boden entwickelt sich unter dem Einfluss verschiedener Faktoren. Bei FALLOU (1865) ist der wichtigste den Boden prägende Faktor das Gestein, aus welchem er sich entwickelt bzw. das angehegerte Material, welches von einem Ort durch Wasser, Wind, Lawinen etc. abgetragen und an einem anderen Ort wieder abgelagert wird. BLUME (2004) und der WBGU (1994) benennen weitere, die Bodenentwicklung beeinflussende Faktoren wie Klima, Vegetation, Bodenlebewesen und menschliche Einflüsse. Diese Sichtweise widerspricht der ökosystemaren Denkweise, da einseitige Wirkungen der bodenbildenden Faktoren auf den Boden dargestellt werden, nicht aber die Wirkungen des Bodens auf die anderen Faktoren thematisiert wird.

Veränderungen des Bodens

Bei allen drei Quellen werden sowohl natürliche als auch durch den Menschen bedingte Veränderungen des Bodens beschrieben. Unter die *natürlichen Veränderungen* fallen die Prozesse der Bodenentwicklung wie Verwitterung oder Zersetzung als auch Vorgänge der Erosion oder Versauerung. *Künstliche* oder *anthropogen bedingte Veränderungen* werden dagegen durch die Nutzung des Bodens durch den Menschen ausgelöst bzw. natürliche Veränderungen werden verstärkt. So finden die meisten Prozesse wie Bodenversauerung oder Bodenerosion auch ohne Zutun des Menschen statt. Die Prozesse werden jedoch durch die anthropogene Nutzung der Böden beschleunigt und erreichen ein Ausmaß, bei dem es zur Schädigung von Böden kommt bzw. kommen kann. FALLOU (1865) geht dabei nur auf die Bodenbearbeitung und die damit zusammenhängende Bodenerschöpfung ein. BLUME (2004) und der WBGU (1994) stellen eine Vielzahl von anthropogenen Veränderungen dar, die von der stofflichen Kontamination der Böden über Versiegelung, Erosion, Versauerung bis hin zur Versalzung und vielem mehr reicht.

Bodengefährdung und Bodendegradation

Der WBGU (1994, S. 49) definiert Bodendegradation als dauerhafte oder irreversible Veränderungen der Strukturen und Funktionen von Böden durch externe Eingriffe unter Missachtung des Prinzips der Nachhaltigkeit. BLUME (2004, S. 165) dagegen verwendet den Begriff nicht, er benennt das entsprechende Kapitel mit der Überschrift „Veränderungen und Belastungen von Böden“. Weder im Sachregister noch im bearbeiteten Text taucht der Begriff Bodendegradation auf.

Bodenverdichtung

Der WBGU (1994) sieht Verdichtung als *Volumenveränderung* bzw. als Verringerung des Bodenvolumens. Die Denkfigur *Verformung* von BLUME (2004) dagegen erweitert das Konzept der *Abnahme des Porenvolumens bzw. der Komprimierung* um die *Scherung*, bei welcher die einzelnen Bodenvolumina gegeneinander verschoben werden. Die Folgen der Verdichtung werden entsprechend auf die Komprimierung und die durch die Scherung eingeregelter Poren bezogen.

In beiden Quellen wird Bodenverdichtung auf zwei wichtige Faktoren zurückgeführt: auf die *Bodeneigenschaften* bzw. auf die *Kompaktierbarkeit* des Bodens einerseits und auf die *Belastung* des Bodens durch schwere *landwirtschaftliche Maschinen* andererseits, auch wenn dieses Konzept von BLUME (2004) noch durch eine weitere Ursache (den Viehbesatz) ergänzt wird.

Bodenerosion

Bodenerosion wird als *Abtrag* (WBGU 1994) bzw. als *Verlagerung* (BLUME 2004) verstanden. Verlagerung beinhaltet den Bodenabtrag, ergänzt ihn aber durch die Ablagerung des Materials an einem anderen Ort. Obwohl der WBGU (1994) nur den Abtrag für die Definition hinzuzieht, werden Folgen für die Gebiete beschrieben, in welche die transportierten Substanzen eingebracht werden. Wichtige Denkfiguren sind die der *Erosivität* des Klimas und der *Erodierbarkeit* des Bodens, welche sich in beiden Darstellungen wiederfinden. Diese Denkfiguren beziehen sich auf die Bedingungen, welche Erosion verstärken und sind enorm wichtig für Überlegungen zu Folgen und zum Schutz vor Bodenerosion. Im Handbuch des Bodenschutzes werden die Schäden im Bereich des Abtragungsgebietes folglich als *flächeninterne (Onsite-) Schäden* und die Schäden außerhalb des Abtragungsgebietes als *flächenexterne (Offsite-) Schäden* bezeichnet.

Bodenversauerung

WBGU (1994) und BLUME (2004) nennen als ein Merkmal der Bodenversauerung die *Absenkung des Boden-pH-Wertes*. Daneben beschreibt BLUME (2004) zusätzlich den Verlust der *Säureneutralisationskapazität*, die *Entbasung* und *Aluminisierung* als wichtige Charakteristika der Bodenversauerung. Beide Quellen sehen Bodenversauerung als *natürlichen Prozess* an, der durch *anthropogene Einflüsse*, konkret durch industrielle Prozesse und die Landwirtschaft, verstärkt und beschleunigt wird.

Nach BLUME (2004) werden die Luftschadstoffe in *atmosphärischen Prozessen* in den Niederschlag aufgenommen und umgewandelt und über *Depositionsprozesse* in den Boden eingetragen. Bei letzterem kann es zu *trockener* und *nasser Deposition* kommen. Auch der (1994) WBGU weist auf die Umwandlung der Emissionen in Regen hin.

Nach dem WBGU (1994) werden Säuren über trockene und nasse Deposition und zusätzlich über die Landwirtschaft als *direkter Säureeintrag* in den Boden eingebracht. Ergänzend dazu findet eine durch Düngung und Biomasseexport verstärkte *bodeninterne Säurebildung* statt. Als einen weiteren, die Bodenversauerung beeinflussenden Faktor benennt der WBGU (1994) die *Pufferfähigkeit* des Bodens. Dieser Faktor wird von BLUME (2004) nicht direkt zu den die Versauerung beeinflussenden Faktoren dazugezählt. Hier werden eher die Folgen der Versauerung auf verschiedene, z. B. carbonathaltige Böden, behandelt. Dafür unterscheidet Blume noch zwischen *freier* und *potenzieller Acidität*, was beim WBGU (1994) nicht unterschieden wird.

Im Gutachten des WBGU (1994) werden einzelne Folgen vor allem in Bezug auf den Kationenaustausch im Boden beschrieben, aber auch die Versauerung von Gewässern berücksichtigt. BLUME (2004) weist dagegen als erstes auf allgemeine Reaktionen des Ökosystems hin und beschreibt einen durch die Versauerung auftretenden Zustand des *Ungleichgewichtes* in Bezug auf *Oxidations-/Reduktionsvorgänge* sowie die Verlagerung des Gleichgewichtes bei den *Stickstoffverbindungen*. Weitergehende Veränderungen werden als Folgen dieser Ungleichgewichte gesehen. So beschreibt er einerseits *strukturelle Veränderung bei der Horizontierung* von Böden und andererseits *ökosystemare Veränderungen*, die von *Nährstoffverlusten* über *Artenverschiebungen* bis hin zu *Waldschäden* reichen.

Als Schutz- bzw. Gegenmaßnahmen werden vom WBGU (1994) *Kalkungsmaßnahmen* genannt. BLUME (2004) geht dagegen einerseits auf umweltpolitische Instrumente wie *internationale Vereinbarungen*, das *Critical-Loads-Konzept* oder nationale *Gesetze* ein. Als konkrete Maßnahmen nennt er die *Luftreinhaltung*, *Düngung* und *Kalkung* sowie *landwirtschaftliche* und *forstwirtschaftliche* Maßnahmen.

Boden als umweltökonomisches Gut

Eine dem WBGU (1994) eigene Sichtweise, ist die Umweltökonomische. Boden wird als *umweltökonomisches Gut* gesehen, das aufgrund seiner Funktionen Leistungen und Nutzen für den Menschen erbringen kann. Dem Boden wird ein ökonomischer Wert zugesprochen. Wird Boden verbraucht, ausgebeutet und geschädigt, verliert der Boden diesen Wert und es kommt zu Produktionseinbußen. Um den Wert des Bodens und die Schäden durch Bodendegradation erfassen zu können, wird eine *umweltökonomische Gesamtrechnung* für den Boden gefordert. Interessant ist dieser Punkt aus Sicht FALLOUS (1865), der genau die Vorgehensweise, Boden nach rein ökonomischen Gesichtspunkten zu bewerten ablehnt. Er fordert den Boden um seiner selbst willen zu untersuchen, unabhängig davon, ob es sich um nutzbaren oder nutzlosen Boden handelt.

Tragfähigkeit und Belastbarkeit

Für die Bewertung von Bodendegradation werden vom WBGU (1994) die Denkfiguren der *Tragfähigkeit* und *Belastbarkeit* angewendet. Um die Tragfähigkeit zu erhalten, soll die Belastbarkeit nicht überschritten werden. Dazu werden Belastungen beschrieben, die eine Überlastung des Systems hervorrufen. Darunter fallen: *kritische Einträge*, *kritische Austräge* und *kritische Eingriffe*, die zu *kritischen Zuständen* und damit zu einer dauerhaften oder irreversiblen Schädigung der Böden führen. Bei BLUME (2004) findet sich mit dem *Critical-Loads-Konzept* ein ähnlicher Ansatz, der Belastungsgrenzen festsetzt, um die tolerierbare Belastung eines Systems nicht zu überschreiten und so Strukturen und Funktionen der Böden zu erhalten. Dieses Konzept deckt dabei aber nur einen Teilbereich des umfassenderen Konzepts des WBGU (1994) ab.

Syndromansatz

Boden wird in allen drei Quellen als *Naturkörper* bezeichnet. FALLOU (1865) untersucht diesen Naturkörper auf seine Wesenheit, Beschaffenheit, Räumlichkeit und Verschiedenheit, wobei er die Entwicklung des Bodens mit einbezieht. Bei BLUME (2004) bezieht sich der Begriff Naturkörper vorwiegend auf die Dreidimensionalität. Das Konzept des Naturkörpers mit weitgehenden Konsequenzen für die Denkfigur des *Syndromes* findet sich nur beim WBGU (1994) wieder. Ein Körper ist nicht nur dreidimensional. In Anlehnung an den Alltag und die Medizin kann ein Körper krank oder gesund sein. Im kranken Zustand weist er verschiedene *Symptome* wie Erosion oder Verdichtung auf, die sich zu Krankheitsbildern (Syndromen) wie dem Dust-Bowl-Syndrom, zusammenfügen lassen. Für den Boden als Haut der Erde wird eine *geodermatologische Diagnose* gestellt. Durch diesen Ansatz wird eine ganzheitliche, systematische und interdisziplinäre Betrachtung angegangen.

Der Syndromansatz beruht auf einem *bodenzentrierten globalen Beziehungsgeflecht*, in welchem Boden mit den anderen Kompartimenten des *Systems Erde* in Wechselbeziehung steht. In dem System werden *Einwirkungen* und *Auswirkungen* von einem auf andere Kompartimente ausgewiesen. So werden im Hauptgutachten des WBGU (1994) die wichtigsten Entwicklungen im Rahmen des globalen Wandels identifiziert und in ihren Wechselwirkungen mit dem Boden als *Haupttrends* beschrieben.

4 Schülervorstellungen zum Boden

4.1 Zum Forschungsstand

Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen zum Thema Boden sind nur wenige vorhanden. So gibt es in der internationalen Literatur lediglich drei umfassendere Studien zu diesem Themenbereich: HAPPS (1981, 1982, 1984), RUSSELL ET AL. (1993) und DOVE (1996, 1997, 1999). Diese englischsprachigen Studien befassen sich eher mit den Grundlagen der Bodenkunde. So werden bei HAPPS (1981, 1982, 1984) und RUSSELL ET AL. (1993) Fragen nach der Beschaffenheit des Bodens, des Bodenaufbaus, der Bodenentstehung, des Alters und möglichen Veränderungen gestellt. Sie legen die bisher umfassendsten Studien zu den Grundlagen der Bodenkunde vor. DOVE (1996, 1997, 1999) dagegen legt den Schwerpunkt auf die Unterschiede zwischen Verwitterung und Erosion und befragt Schüler zum sauren Regen. In der deutschen Forschungslandschaft sind bisher nur zwei Arbeiten direkt zum Thema Boden bekannt: BONEKAMP (2006) zu Boden als Puffer und DITTMANN (2009) zur Bodenversalzung. Weiterhin gibt es eine Studie innerhalb eines DFG-Projektes, welche subjektive Modelle von Laien über Umweltprobleme erforscht (KARGER/WIEDEMANN 1996). Diese Studien beschäftigen sich mit Teilbereichen der Bodendegradation (Belastung von Ackerböden) und den dazugehörigen Prozessen (Erosion, Versalzung, Versauerung), oder mit den Bodenfunktionen (Boden als Puffer). Außerdem findet man in einigen biologiedidaktischen Arbeiten Anknüpfungspunkte z. B. zum biologischen Gleichgewicht (SANDER 1998) oder zu Abbauprozessen durch Mikroorganismen (HILGE 1999). Im Folgenden werden die für die vorliegende Arbeit relevanten Ergebnisse der genannten Studien zusammengefasst.

HAPPS (1981, 1982, 1984) führte in einer qualitativen Querschnittsstudie Interviews mit 30 Schülern (11-17 J.), sechs Studenten und vier Referendaren durch. Dabei sollten die Schüler ihr Verständnis von Boden und der Entwicklung von Boden darlegen. Die Begriffe Boden und Dreck wurden von 17 Schülern synonym genutzt. Die Mehrzahl der Probanden differenziert die beiden Begriffe jedoch mit Hilfe verschiedener Merkmale. Für die meisten Schüler ist Boden im Gegensatz zu Dreck belebt, bietet also kleinen Lebewesen und Insekten einen Lebensraum. Fast alle Probanden definierten Boden als Substrat für das Pflanzenwachstum. Nur von einem Studenten wird Boden durch seine Bestandteile wie organische und mineralische Materialien, aber auch durch seinen dynamischen Charakter definiert. Die Schüler beschrieben Boden eher durch physikalische Merkmale wie den Geruch, die Farbe und dadurch, wie sich Boden anfühlt. Die Schüler haben unterschiedliche Vorstellungen zur Bodenentwicklung. Sechzehn, vor allem jüngere Schüler, gehen davon aus, dass Boden schon immer existiert. Er ist zur selben Zeit entstanden wie die Welt. Einige dieser Schüler gehen davon aus, dass

der Boden von Gott geschaffen wurde als er auch die Welt erschaffen hat. Es gibt aber auch ältere Schüler, die davon ausgehen, dass Boden schon immer da war. Die Vorstellungen dieser Schüler differenzieren sich aber von denen der jüngeren. Sie meinen, dass die Nährstoffe im Boden erst durch die Pflanzen in den Boden gelangen. Andere Schüler gehen davon aus, dass Boden sich aus verschiedenen Materialien entwickeln kann. Acht Schüler stellen sich Boden als Produkt der Verrottung/Zersetzung von Pflanzen vor. Fünf Schüler glauben, dass der Ursprung der Böden in vulkanischen Eruptionen liegt. Vor allem die älteren Probanden sehen die Bodenentwicklung als einen vielfältigen Prozess der Verwitterung/Zerkleinerung von Steinen und Humifizierung/Verrottung an. Von einzelnen Interviewpartnern werden eher ungewöhnliche Vorstellungen geäußert. So geht ein Schüler davon aus, dass Boden aus Dinosaurierdung entsteht, ein anderer sieht Boden als Ablagerungen von Flüssen oder Gletschern. Zwei Probanden hatten keinerlei Vorstellungen davon, wie Boden entstehen könnte. Die Vorstellungen zum Alter der Böden hängen stark mit der Vorstellung zur Entstehung von Böden zusammen. Die einen sagen, dass der Boden mehr oder weniger so alt wie die Erde ist. Die anderen Zeitangaben variieren zwischen 20-100 Jahre bis 100 Millionen Jahre. Die Vorstellungen von der Mächtigkeit des Bodens sind ebenfalls sehr unterschiedlich, aber weniger altersabhängig. So vermuten 13, dass Boden bis ca. 1 Meter tief ist. 14 Probanden nannten eine Tiefe von ca. 1-10 Metern, vier eine Tiefe zwischen 100 Metern und einem Kilometer, und fünf Interviewpartner gehen von einer Tiefe von über einem Kilometer aus. Um auf die Frage hinzuweisen, welchen Veränderungen Boden unterliegt, sollten die Probanden verschiedene Bodenproben beschreiben und mögliche Zusammenhänge erläutern. Auch bei dieser Frage können keine altersabhängigen Antworten ausgemacht werden. Neun Schüler konnten sich keinerlei Veränderungen des Bodens vorstellen. Einige andere beschrieben oberflächliche Veränderungen, wie das Nass- oder Feuchtwerden des Bodens bei Regen. Acht Probanden nannten kleinere Veränderungen, z. B. durch Erosion. Zweiundzwanzig Probanden konnten sich Veränderungen des Bodens in Zusammenhang mit weiteren vorhandenen Proben vorstellen:

- Boden > Ton

Vier Schüler beschreiben den Übergang von Boden zu Ton durch Druck.

- Boden > Ton > Gestein

Neun Schüler beschreiben einen Vorgang, bei dem Boden immer tiefer sinkt, unter Druck gerät und zu Ton wird. Sinkt dieser weiter, erhöht sich der Druck und es entsteht Gestein.

- Boden > Ton > Gestein > Boden

Diese Vorstellung knüpft an der vorhergehenden an. Fünf Probanden erweitern die Vorstellung zu einem Kreislauf. Das entstandene Gestein wird, wieder an der Erdoberfläche anstehend, durch Erosion zerkleinert und dem Boden hinzugefügt.

- Ton > Boden

Drei Probanden erwähnten Veränderungen von Ton zu Boden. Einer davon geht von einer abschließenden Umwandlung des Bodens zu Gestein aus.

- Boden > Gestein > Boden

Ein Student beschreibt, dass Boden in der Tiefe zu Gestein werden kann. Gelangt dieses später an die Erdoberfläche, wird es durch Verwitterung wieder in Boden umgewandelt.

Ein einziger Student benennt bodenbildende Faktoren und die dynamische Entwicklung von Boden mit differenzierten Prozessen. Der Proband kann aber nicht als typisch angesehen werden, da er vor der Befragung über ein Jahr lang verschiedene Vorlesungen zur Bodenkunde besucht hat.

RUSSELL ET AL. (1993) führte 1990 mit 58 Grundschulern (5-11 Jahre) eine Studie über Vorstellungen zu Boden und Gestein durch. Innerhalb dieser Studie sollten die Vorstellungen einerseits erhoben, andererseits aber auch die Möglichkeit der Veränderungen der Vorstellungen durch den Unterricht erforscht werden. Dazu waren folgende Fragen leitend:

- Welche Vorstellungen haben Kinder zu Boden und Gestein entwickelt und welche Erfahrungen sind ausschlaggebend für diese Vorstellungen?
- Ist es möglich, die Vorstellungen der Schüler durch Unterricht in stärker wissenschaftlich orientierte Vorstellungen zu verändern?

Die Studie ist in zwei große Phasen eingeteilt. In einer Explorationsphase werden die Schülervorstellungen erhoben. Die Schüler bekamen vor der Befragung die Möglichkeit, sich mit verschiedenen Bodenproben auseinanderzusetzen und diese zu untersuchen. Fachliche Inhalte wurden nicht vermittelt. Die Autoren versprachen sich davon stärker reflektierte Antworten als wenn die Schüler in einem Interview mit dem Thema „überrascht“ würden. Nach der Erhebung der Vorstellung wurde eine Intervention durchgeführt, welche den Schülern die Möglichkeit gab, ihre eigenen Vorstellungen zu reflektieren, zu überprüfen, zu diskutieren und im Endeffekt zu bewahren oder zu verwerfen. In abschließenden Interviews wurden die Schüler dann erneut zu ihren Vorstellungen befragt.

In der Explorationsphase bekamen die Schüler vier verschiedene Aufgaben. Im Anschluss an diese Phase wurden die Schüler in einem Interview befragt. Die Vorstellungen zu ausgewählten Fragen werden hier vorgestellt und den Fragen direkt zugeordnet.

1. Die Schüler sollten verschiedene Bodenproben untersuchen, beschreiben und miteinander vergleichen.

Die Aufgabe sollte auf die Fragen „Was denkst du, was Boden ist“ und „Was denkst du, ist im Boden enthalten“ vorbereiten. Viele jüngere Kinder benannten die vorgelegten Proben mit alternativen Begriffen (Lehm, Matsch, Sand, Steine, Kompost, Staub...) oder beschrieben Funktionen des Bodens. Nur zehn Prozent der Kinder benannten direkt Bestandteile der Bodenproben. Ältere Schüler bezogen die Proben direkt auf die Herkunft des Bodens, seine Bestandteile oder die Beschaffenheit. Die Benennung der Bodenfunktionen nahm mit dem Alter ab. Als

wichtigste Aufgabe des Bodens wurde das Pflanzenwachstum genannt. Daran schließt sich der Lebensraum der Tiere an. Viele (34) Schüler konnten keine Bodenfunktionen nennen.

2. Die Schüler sollten sich vorstellen, was sich unter ihren Füßen befindet, wenn sie

- vom Asphalt aus,
- von einer Wiese aus ein Loch graben würden.

Sie sollten überlegen, wodurch sie sich graben würden und was sie in dem Loch finden würden. Ferner sollten die Schüler Aussagen über die Mächtigkeit der verschiedenen Materialien machen. Jüngere Schüler stellten Boden als ungeschichtetes Substrat dar. Es wurde nur beschrieben, was im Boden enthalten ist (z. B. Käfer, Insekten, Würmer...) (Abb. 6). Die älteren Schüler zeichneter verschiedene Schichten, welche größtenteils ohne weitere Details blieben. Es gab aber auch Abbildungen mit horizontaler Schichtung, welche sehr ausdifferenziert waren und eine Abfolge von Boden über Gestein mit Fossilien, Kreide und Gold, Ton usw. bis hin zum Erdkern aufwiesen (Abb. 7).

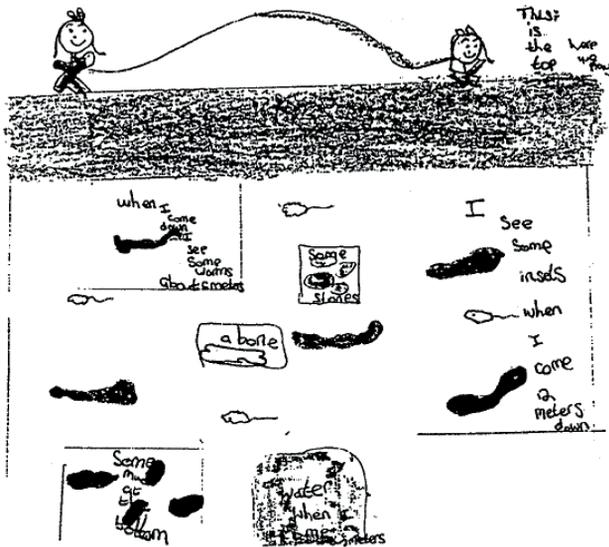


Abb. 6: Schülerzeichnung zum Aufbau des Bodens (RUSSELL et al. 1993, S. 52)

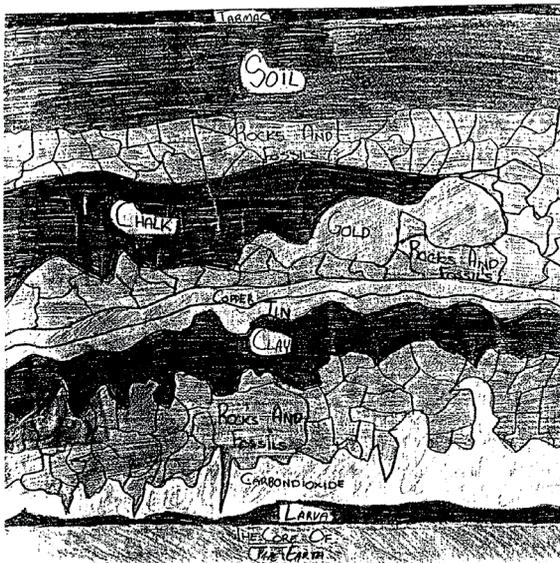


Abb. 7: Schülerzeichnung zum Aufbau des Bodens (RUSSELL et al. 1993, S. 54)

Die Schüler sollten sich über Veränderungen des Bodens und über Veränderungen in der Umwelt in Bezug auf abgestorbene Pflanzen, Holz, Gemäuer, Gestein (z. B. Grabsteine) äußern.

Die am häufigsten genannten Veränderungen bezogen sich auf die Erscheinung und Textur des Bodens. So wurden Veränderungen in Bezug auf die Feuchtigkeit, die Farbe oder die Festigkeit beschrieben. Weiterhin wurden von einzelnen Schülern, mit abnehmender Häufigkeit, als Veränderungen das Pflanzenwachstum im Boden, der Transport des Bodens durch Menschen, aber auch die Verlagerung des Bodenmaterials durch kleine Lebewesen innerhalb des Bodens, die Veränderung der einzelnen Lagen, das Zusammenpressen des Bodens, die Umwandlung des Bodens in Gestein, die Anlagerung von weiterem Boden, die Anreicherung des Bodens durch Regenwürmer, aber auch Wind- und Wassererosion genannt. Auf die Frage, woher der Boden kommt, konnten nur 19% der Schüler eine Antwort geben. Sechs Schüler benannten anorganische Ausgangsmaterialien. Nur ein älterer Schüler verwies auf organische Ausgangsmaterialien und ein weiterer gab beide Möglichkeiten (Boden ist organischen und anorganischen Ursprungs) an. Ein anderer Schüler ging davon aus, dass Würmer den Boden produzieren. In einer weiteren Aufgabe sollten die Kinder die Veränderungen durch Verwitterung anhand von Grabsteinen oder Mauerwerk in ihrer Lebensumwelt beobachten. Zur Erklärung der Veränderung/Beschädigung der ver-

schiedenen Materialien (Grabstein, Steintreppen...) benannten die Schüler vor allem verschiedene wirksame Faktoren. Als wichtigste Verursacher der Schäden wurden verschiedene Wetterelemente wie Regen, Sonneneinstrahlung oder Sturm als verantwortlich gezeichnet. Nur sehr wenige Kinder gingen auf Prozesse oder Mechanismen der Verwitterung ein. Wieder andere Schüler gingen davon aus, dass es sich bei den entstandenen Schäden nicht um einen allmählichen Prozess handelt, sondern das Ergebnis menschlichen Handelns ist. Weiterhin benannten die Schüler das Altern des Bodens als einen Prozess des Verfalls. Einige Schüler nannten nur einen Faktor, andere Schüler machten eine Kombination von unterschiedlichen Faktoren, z. B. verschiedene Wetterelemente oder die Wirkung von Verwitterung in Kombination mit menschlichem Handeln verantwortlich.

Während der Interventionsphase traten noch einige sehr interessante Vorstellungen auf. Die Kinder sollten sich intensiver mit den Bodenproben beschäftigen. Sie konnten sieben, pusten, die Proben mit dem Hammer bearbeiten, eine Schlammprobe durchführen oder die Proben mit der Lupe betrachten. So kamen sie dazu, einzelne Bestandteile auszusortieren. Die Schüler sortierten z. B. Äste, Wurzeln und Blätter aus und sagten, dass diese Teile nicht zum Boden gehörten. Für die Schüler war Boden eine homogene, dunkle, braune einheitliche Substanz. Diese Vorstellungen führen zu Schwierigkeiten, den Bezug zwischen den einzelnen Bestandteilen und den entsprechenden Ausgangsstoffen wie dem Gestein und den Pflanzen herzustellen. Auch auf weitere Fragen, woher die einzelnen Bestandteile kommen, konnten die Schüler nur auf ihre eigenen Erfahrungen zurückgreifen. Sie konnten sagen, dass Blätter vom Wind angeweht werden, hatten aber keine Idee von organischen und anorganischen Elementen im Boden. Sie konnten sich nicht vorstellen, dass ein Material in ein anderes umgewandelt werden kann. Selbst als zwei Steine aneinander gerieben wurden und ein Pulver entstand, brachten die Schüler das Produkt der Zerkleinerung nicht mit dem Boden in Verbindung. Sie glauben, dass Menschen die Steine auf den Boden werfen. Ebenso werden Luft und Wasser nicht als Bestandteil des Bodens gesehen. Boden ist die braune Masse, nicht der Raum dazwischen, der mit Wasser oder Luft gefüllt sein kann.

Dove (1996, 1997, 1999) führte verschiedene Studien über Schülervorstellungen zu verschiedenen physischgeographischen Themen durch. Für die vorliegende Arbeit interessant sind ihre Studien über Verwitterung und Erosion und über den sauren Regen. Mit Hilfe eines Fragebogens erhob Dove (1997, 1999) die Vorstellungen von 236 16-17-jährigen Schülern zu den wichtigsten Unterschieden von Verwitterung („weathering“) und Erosion („erosion“). Vor der Umfrage wurden die Begriffe fachlich geklärt. Die beiden Begriffe werden als problematisch angesehen, da beide Prozesse mit einem „Absenken“ der Landoberfläche einhergehen und sich über einen langen Zeitraum hinziehen. Unter „weathering“ wird dabei der Zerfall/die Verwitterung des Gesteins direkt vor Ort, „in situ“ verstan-

den. „Weathering“ verläuft in physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, es findet aber kein Transport statt. Unter „erosion“ wird dagegen die Abnutzung der Landoberfläche durch den Transport von Schutt durch Eis, Wind, Wellen und fließendes Wasser verstanden. Eine weiter gefasste Definition von „Erosion“ beinhaltet die Verwitterung, Korrosion, Lösung und den Transport der entsprechenden (Verwitterungs-) Produkte. Der Transport muss in dieser Definition aber nicht zwingend gegeben sein. Die Schüler hatten nun im Fragebogen die Aufgabe dreizehn spezifische Prozesse mit Begründung als „weathering“ oder „erosion“ zu klassifizieren und drei weitere Aussagen zu Prozessen zu bewerten. Die Ergebnisse der Begründungen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Synopse der Schülervorstellungen zu „weathering“ und „erosion“ (eigene Darstellung nach DOVE 1997)

Weathering	Erosion
<p>Der Prozess findet „in situ“ statt. Der Prozess hat einen engen Bezug zum Wetter, (alle Prozesse, die nicht mit dem Wetter in Verbindung gebracht werden, werden ausgeschlossen). „Weathering“ wird zeitweise unterbrochen. Der Prozess findet nur statt, wenn das Wetter, z. B. der Sturm, Regen das Gestein berührt. „Weathering“ wird als „Auseinanderbrechen“, „Aufbrechen“ des Gesteins gesehen. „Weathering“ kann nicht reduziert oder verhindert werden. Es kann aber durch die Luftverschmutzung beeinflusst werden. „weathering“ ist schneller als „erosion“. Verwitterungsprozesse laufen chemisch ab.</p>	<p>Das wichtigste Merkmal des Prozesses ist Bewegung und Transport. Der Prozess kann in keinerlei Weise mit dem Wetter in Verbindung gebracht werden. „Erosion“ findet immer statt (wie ein fließender Fluss) „Erosion“ wird als Abnutzung bezeichnet. Der Prozess kann verhindert werden. Mit Erosion werden physikalische Prozesse verbunden.</p>

Die wichtigsten Unterscheidungen der beiden Prozesse in den Schülervorstellungen bezogen sich einerseits auf den Aspekt der Bewegung und andererseits auf den Bezug zum Wetter. „Weathering“ findet immer „in situ“ statt und wird durch das Wetter bestimmt. Für diesen Prozess wurden vor allem chemische Abläufe angenommen. „Erosion“ dagegen beinhaltet immer Bewegung und Transport eines Materials (Boden, Steine). Das Wetter spielt dabei keine Rolle. Die Prozesse werden von den Vorstellungen der Schüler als physikalisch eingestuft. Dove

(1997) weist darauf hin, dass es durch dieses enge Verständnis der beiden Prozesse zu problematischen Einordnungen kommt. Einerseits sind beide Prozesse durch chemische und physikalische Vorgänge charakterisiert. Andererseits wird z. B. die Winderosion als „weathering“ klassifiziert, da das Wetterelement Wind im Spiel ist. DOVE (1997) merkt an, dass ähnliche Schwierigkeiten auch in der Fachliteratur auftreten und ein wichtiges Ziel sein sollte, die Subjektivität solcher Klassifikationen ins Bewusstsein zu rufen! Insgesamt werden fünf „Fehlvorstellungen“ formuliert:

- Alle Erosionsprozesse sind physikalisch.
- Alle Erosionsprozesse hängen nicht mit dem Wetter zusammen.
- Alle Verwitterungsprozesse sind chemisch.
- Bei allen Verwitterungsprozessen sind Wetterelemente involviert.
- Alle Verwitterungsprozesse finden „in situ“ ohne Bewegung statt.

In einer weiteren Studie erhob Dove (1996, 1999) u.a. die Vorstellungen von 60 Lehramtsstudenten in den ersten beiden Semestern zum sauren Regen. Die Ergebnisse lassen sich knapp zusammenfassen. Die Studenten sollten in einem Fragebogen verschiedenen Aussagen zum Themenbereich „zustimmen“, „nicht zustimmen“ oder „weiß ich nicht“ ankreuzen. Die Antworten sollten begründet werden. Zusätzlich sollten Stoffe angegeben werden, welche den sauren Regen bilden.

Als Ursache von saurem Regen benannten die Studierenden Schwefeldioxid und Stickoxide aus verbrannter Kohle, Öl, Braunkohle und Kupferschmelze und das Kohlendioxid von Autoabgasen. Natürliche Ursachen des saueren Regens wurden nicht erkannt. Die Studierenden waren sich bewusst, dass der Schaden, den saurer Regen verursacht, vom Gestein abhängt, auf welches er einwirkt. Sie führten diese Unterschiede jedoch auf die Gesteinhärte und nicht auf das Vorkommen von Mg- und Ca-Ionen, die im Gestein enthalten sind, zurück. Die Probanden wussten auch, dass die skandinavischen Bäume durch sauren Regen geschädigt wurden. Nur wenige hatten aber Vermutungen, warum dies so ist. Einige gingen davon aus, dass der Wind die verschmutzte Luft nach Skandinavien bringt. Die Verstärkung des Effektes durch den (sauren) Gesteinsuntergrund wurde von den Studenten nicht erkannt. Ebenso vermutet Dove (1996, 1999), dass die pH-Wert-Skala nicht als logarithmisch wahrgenommen wird.

In den deutschen Studien werden bisher nur einzelne Teilbereiche der Bodendegradation behandelt.

KARGER/WIEDEMANN (1998) stellten die Ergebnisse einer Untersuchung über „Subjektive Modelle von Umweltproblemen - Ursachenszenarien von Umweltproblemen aus Laiensicht“ innerhalb eines DFG-Projektes zusammen. Im Rahmen dieser Studie wurden 54 Probanden zwischen 17 und 74 Jahren zur „Belastung von Ackerböden“ befragt. Es handelte sich vorwiegend um Studierende in höheren Semestern bzw. um Probanden mit abgeschlossenem Studium. Die subjektiven Theorien wurden mit Hilfe der Struktur-lege-Technik direkt erhoben. Die Probanden bekamen 15 Minuten um die Ursachen der Umweltprobleme auf Kärtchen zu schreiben und diese über Pfeile miteinander in Verbindung zu bringen. Das gleiche Vorgehen wurde für die Folgen der Umweltprobleme durchgeführt. Die einzelnen Modelle wurden inhaltsanalytisch ausgewertet und verschiedenen Kategorien zugeordnet.

Was genau unter den einzelnen Kategorien zu verstehen ist, wird in der Studie nicht genauer definiert. Es werden nur einzelne Beispiele zugeordnet. Insgesamt finden sich verschiedene Modelle von landwirtschaftlicher Produktion, die zu einer Belastung der Ackerböden führten. Die einzelnen Ursachen werden im Folgenden den vorgegebenen Kategorien zugeordnet. Die Kategorien sind von der Häufigkeit der Nennung nach unten hin absteigend.

- Produktion und Dienstleistung (> 80% Nennungen): Einsatz von Kunstdünger, chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln, Monokulturen, maschinelle Bodenbearbeitung, Emissionen der Industrie, Mülldeponien und Abholzung der Wälder.
- Umweltprozesse (natürliche und anthropogen verursachte Umweltveränderungen) (> 80% Nennungen): Schädlingsausbreitung, Zerstörung des ökologischen Gleichgewichts, Erosionsprozesse, saurer Regen, Überschwemmungen, Dürrekatastrophen, Ozonbelastung.
- Präferenzen und Ziele (~70% Nennungen): Herstellen billiger Konsummittel, Konsumgesellschaft allgemein, Orientierung des Landwirtes (Streben nach Geld).
- Konsum (~ 60% Nennungen): Emissionen aus dem Privat-Verkehr, Hausbrand.
- Ökonomie(46% Nennungen): Konkurrenzdruck, wirtschaftlicher Überlebenskampf, Preissituation.
- Politische Rahmenbedingungen (22% Nennungen): EU-Politik, Orientierung der Agrarpreise am Weltmarkt, umweltpolitische Auflagen und Verordnungen (z. B. Düngemittelverordnung).
- Wissen und Erfahrung (11% Nennungen): Mangelnde Kenntnis des Landwirtes in Bezug auf alternative Anbaumethoden.

Auf die Auswertung der Folgen wurde nicht genauer eingegangen. Es wurden eher Kausalreaktionen dargestellt. Neben den direkten Ursachen, wie sie oben dargestellt wurden, gaben z. B. 69% der Befragten an, dass Produktionsprozesse Umweltveränderungen hervorrufen, welche wiederum die Belastung der Ackerböden bedingen. Andererseits wurden Rückwirkungen von veränderten Umweltbedingungen auf die Produktionsprozesse beschrieben. Ferner wurden Auswirkungen von Präferenzen und Zielen (56%) und ökonomischen Rahmenbedingungen (41%) auf Produktions- und Dienstleistungsfaktoren angeführt.

DITTMANN (2009) beschäftigte sich in seiner Examensarbeit mit Schülervorstellungen zum Thema Bodenversalzung, welche er innerhalb des Modells der didaktischen Rekonstruktion erhob. DITTMANN fand in vier problemzentrierten Interviews mit Schülern heraus, dass die beiden gegensätzlich verlaufenden Prozesse der Versickerung und des kapillaren Aufstiegs des Wassers im Boden für die Schüler schwer verständlich sind. Die weiteren Ergebnisse zum Thema Bodenversalzung sind für die Interpretation der hier vorliegenden Forschungsarbeit nicht ausschlaggebend. Die Ergebnisse zur Sichtweise des Menschen und der natürlichen Umwelt dagegen sind wiederum interessant. Dittmann stellte fest, dass die Schüler dazu neigen, die Natur zu personifizieren bzw. dem Boden organismische Eigenschaften zuzuschreiben. So wurde davon gesprochen, dass „Boden vertrocknet“, „Boden zu totem Boden wird“ oder dass „Boden einen Nährstoffbedarf hat“. Weiterhin fand DITTMANN (2009) teleologische Ansätze in den Schüleräußerungen. Die Schüler meinten, dass die Natur nutzbringende Ziele verfolgt. Sie gingen davon aus, dass es in der Natur nichts geben kann, was nichts nützt bzw. was nichts Positives hat. Die Schüler folgerten daraus, dass Versalzung nur durch menschliche Einflüsse entstehen kann, da sie nichts Positives hat.

Auch **BONEKAMP (2006)** verwendete als Rahmen für ihre Examensarbeit das Modell der didaktischen Rekonstruktion. Mit Hilfe von qualitativen Interviews erhob sie die Vorstellungen von fünf Oberstufenschülern zum Thema Boden als Puffer. Dabei sprach sie auch Bodenbestandteile, Bodenfunktionen und die Bodenversauerung an. Da die Vorstellungen mit einer ähnlichen Methodik wie in der vorliegenden Forschungsarbeit erhoben und die Vorstellungen bis auf die Konzeptebene zurückgeführt wurden, können die gewonnenen Daten gut miteinander verglichen werden (Kap.4.6.1). Böden wurden von den Schülern unterschiedliche Eigenschaften (Fruchtbarkeit, Säuregehalt) zugesprochen, welche von der jeweiligen Herkunft und von den im Boden enthaltenen Bestandteilen abhängig sind. Diese Eigenschaften führen nach Meinung der Schüler dazu, dass verschiedene Böden den Pflanzen unterschiedliche Lebensgrundlagen bieten. Boden wurde einerseits als Organismus verstanden, andererseits aber als notwendiger Bestandteil von Ökosystemen aufgefasst. Die Schüler gingen davon aus, dass sich Böden über einen längeren Zeitraum hin entwickeln und verändern. Böden wür-

den aus anorganischen (Gestein) und organischen Bestandteilen (pflanzliche Reste/Biomasse) bestehen und Mineralien und Nährstoffe ebenso wie Tiere, Pflanzen und Wasser beinhalten. Boden dient für die Schüler als Fläche für Verkehr und Siedlungen, als Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion und die landwirtschaftliche Nutzung, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen und indirekt als Nahrungs- und Sauerstoffquelle für Menschen und Tiere. Weiterhin wäre Boden ein Energieträger für Kohle und Holz. Unter Säuren verstanden die Schüler unnatürliche Schad- oder Giftstoffe. Diese beständen aus H_3O^+ und haben einen pH-Wert zwischen 1 und 7. Säuren wurden als Lösungen aufgefasst. Die Schüler unterschieden bei der Bodenversauerung zwischen natürlichen Ursachen und durch den Menschen verursachte Versauerungen. Die anthropogene Versauerung wurde auf die Luftverschmutzung durch Autoabgase und Schadstoffe aus der Industrie sowie die Düngemittel aus der Landwirtschaft zurückgeführt. Die Verdunstung von belasteten Feldern und von Gewässern mit verschmutztem Wasser führe zu saurem Regen. Ursachen der natürlichen Versauerung wurden in der Verwesung von Tieren (Magensäure und Zersetzungsprozesse) und in der Eutrophierung gesehen. Es besteht auch die Vorstellung, dass große Moorgebiete sauren Regen produzieren. Der Prozess der Versauerung wurde durch die Vorstellung des Versickerns dominiert. Einerseits bestand die Vorstellung, dass das saure Wasser durch den Boden bis ins Grundwasser sickert, andererseits wurde der Boden als Filter verstanden, in welchem sich die Säuren beim Versickern des Wassers ablagern. Saurer Boden wurde als feinkörniger beschrieben, in dem die Atome (Säure) hängen bleiben. Eine andere Formulierung dazu ist widersprüchlich. Dabei geht es darum, dass feste Böden mehr Säure herausfiltern als lockere Böden. Wenn die Böden locker bzw. feinkörnig wären, würden die Schadstoffe nicht aus dem Wasser gefiltert, so dass sie am Boden vorbeifließen würden. Feinkörnig und locker wurden hier synonym genutzt. Die Stärke der Versauerung wurde von den Schülern auch in Abhängigkeit von den Bodenbestandteilen gesehen. So könnten nicht saure Böden oder alkalische Bodenlösungen die Säure (ersteinmal) ausgleichen. Bei einem zu hohem Eintrag von Säure würde aber auch dieser Boden mit der Zeit sauer. Eine andere Vorstellung war, dass Böden durch Schadstoffe überschwemmt und somit alle Bestandteile des Bodens sauer wären. Die Schüler waren sich nicht einig, wie die Versauerung bewertet werden muss. Es gab die Vorstellung, dass Boden sich durch die Versauerung nicht weiter verändert. Andere Schüler meinten, dass versauerter Boden schlecht, ungesund, schädlich und dementsprechend nicht mehr zu gebrauchen wäre. Boden würde durch die Versauerung austrocknet. Eine weitere genannte Folge bezog sich auf die im Boden stattfindenden Zersetzungsprozesse. Diese Prozesse würden durch die Versauerung gestört, weil die zersetzenden Bakterien absterben. So könnten keine Nährstoffe mehr in den Boden gelangen, in dessen Folge der Boden ausgelaugt würde. Die umfassendsten Folgen wurden für Tiere/Pflanzen und Menschen beschrieben. Pflanzen würden keine sauren

Böden vertragen und gingen ein. Die von den Pflanzen abhängigen Tiere „*wollen auch nicht mehr in saurem Boden leben*“ (BONEKAMP 2006, S. 95). Dadurch, dass die Würmer absterben, würde der Boden nicht mehr aufgelockert und verklumpt. Er würde sich evtl. zu Stein verwandeln. Gerade bei den Folgen der Bodenversauerung wurden ökologische Konzepte des Gleichgewichts und des Kreislaufes deutlich. Es wurde z. B. davon gesprochen, dass sich „das Bodengleichgewicht“ durch die Versauerung verändert, oder dass „*Pflanzen, Tiere und Menschen die Säure in sich aufnehmen und sie in den Kreislauf mit einbauen. Sie gehen daran zugrunde*“ (BONEKAMP 2006, S. 94-95). Die Schüler nannten die Notwendigkeit der Anpassung. Blicke ein Boden sauer, würden sich neue Pflanzen ansiedeln, welche in dem neuen Milieu überleben könnten. Außerdem gingen die Schüler davon aus, dass sich der Boden innerhalb von mehr als tausend Jahren wieder regenerieren könnte. Als Möglichkeit zur Neutralisierung wurde Kalk genannt.

Auch in der Biologiedidaktik finden sich einzelne Studien, die für die Interpretation der Ergebnisse dieser Arbeit von Interesse sind. So beschäftigte sich SANDER (1998) mit Schülervorstellungen zum biologischen Gleichgewicht. Dabei stellte sie fest, dass der Begriff Gleichgewicht positiv besetzt ist. Die Schüler gingen vom Gleichgewicht als idealen, optimalen Zustand der Natur aus. Das biologische Gleichgewicht hat dadurch einen normativen Charakter. Der Mensch wurde zwar als Teil der Natur gesehen, ist gleichzeitig aber auch Zerstörer des Gleichgewichts. Die Schüler dachten, dass sich der Gleichgewichtszustand immer wieder einstellt. In den Vorstellungen traten teleologische Sichtweisen zutage, so wurde z. B. vom „*Plan der Natur*“ gesprochen, in welchem das biologische Gleichgewicht angestrebt wird. Die Vorstellung vom biologischen Gleichgewicht und der „*Sinnhaftigkeit*“ findet sich z. B. bei HILGE (1999, S. 296). Weiterhin werden der Natur Antropomorphismen zugesprochen, d. h., dass menschliche Eigenschaften auf die Natur übertragen werden. Dies äußert sich z. B. durch die Aussage eines Schülers, dass die Natur einen „*Kampf mit dem Menschen*“ führt, um das biologische Gleichgewicht wieder herzustellen (SANDER 1998, S. 33-43). Diese anthropomorphen Vorstellungen finden sich auch in der Studie von JOHANNSEN/KRÜGER (2005, S. 26) zu Schülervorstellungen zur Evolution. Die Schüler gingen davon aus, dass Tiere und Pflanzen eigenständig handeln und „*ihr Verhalten auf einen Zweck oder ein Ziel*“ ausrichten. Bei HILGE (1999, S. 294-295) finden sich in den Schülervorstellungen außerdem weitere biologische Konzepte wie z. B. das des „*systemaren Kreislaufs*“ oder das der „*Nahrungskette*“.

HILGE (1999) beschäftigte sich in ihrer Untersuchung mit Schülervorstellungen zu Mikroorganismen und zu mikrobiellen Prozessen. Die Vorstellungen erstreckten sich dabei von Erklärungsmustern, die vollständig im abiotischen Bereich angesiedelt waren und sich auf chemische und physikalische Prozesse bezogen, bis

hin zu Erklärungen von Abbauprozessen durch die Tätigkeit von Mikroorganismen. Die Schüler nannten innere und äußere Ursachen für Abbauprozesse. Liegt die Ursache des Zersetzungsprozesses im Stoff bzw. Organismus selbst, wurde dies als innere Ursache bezeichnet. Bei der äußeren Ursache wäre der Prozess jedoch von außen veranlasst oder beeinflusst. Die Zeit spielte für die Schüler eine bedeutende Rolle. Dabei wurde der Zeit einerseits eine ursächliche Bedeutung zugeschrieben, wobei Gegenstände in der Umwelt zwangsläufig einem Wandel unterlägen. Andererseits wurde Zeit als Auslöser des Abbauprozesses betrachtet, da die Veränderungen ab einem bestimmten Zeitpunkt begännen. Wurden von den Schülern andere Faktoren als die Zeit als ursächlich angesehen, trat die Zeit als Ursache zurück. Als eine weitere Grundvorstellung wurde Verlust als Motiv für Abbauprozesse gesehen. Dabei wurde zwischen verlustbedingter Zersetzung und dem Verlust des Zusammenhalts unterschieden. Bei ersterem ging es um den Verlust bestimmter Bestandteile oder Eigenschaften des Materials. So führe z. B. Wasserverlust zu einer Verkleinerung des Materials oder zu Veränderungen in Form und Farbe. Unter „Verlust des Zusammenhalts“ wurden Veränderungen auf molekularer Ebene verstanden, die dazu führen könnten, dass Moleküle gespalten würden und so den Halt untereinander verlören. Ferner gehört zu diesem Konzept die Überlegung, dass Bindungen zwischen den Komponenten des Materials getrennt würden und die Elemente durch die fehlende Anziehung auseinander fielen. Eine weitere vorherrschende Vorstellung bei Schülern war der mechanische Zerkleinerungsprozess. Das organische Material verkleinert sich, bis nur noch winzige Stücke (humusreiche Erde) vorhanden wären. Viele Schüler brachten Abbauprozesse vor allem mit abiotischen Faktoren wie Licht, Wärme, Luft und/oder Wasser aber auch dem Sauerstoff in Zusammenhang. Diese Faktoren *„lösen in den Vorstellungen der Schüler entweder direkt eine Veränderung an Stoffen aus oder stehen in Zusammenhang mit chemischen Reaktionen“* (HILGE 1999, S. 283-284). Die Rolle der Mikroorganismen bei Abbauprozessen schätzten die Schüler unterschiedlich ein. Einige Schüler waren der Meinung, dass es ohne Mikroorganismen grundsätzlich keine Zersetzung gäbe. Andere Schüler meinten, dass die Mikroorganismen lediglich eine beschleunigende Wirkung auf Abbauprozesse haben. Wieder andere Schüler sahen Mikroorganismen als abbauende Lebewesen, welche die organische Substanz mechanisch zerkleinern bzw. welche die Bindungen zwischen den Molekülen trennen oder die Moleküle an sich spalten.

Diese Übersicht zeigt, dass es einige Ergebnisse zu Schülervorstellungen zu Teilbereichen der Bodenkunde gibt. Eine umfassende Erhebung von Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodenzerstörung liegt bisher jedoch noch nicht vor. Die hier vorliegende Forschungsarbeit setzt an eben diesem Defizit an und erforscht diese fehlenden Grundlagen.

4.2 Ziel der Erhebung und Untersuchung von Schülervorstellungen

Ziel dieses Teils der Arbeit ist die Erhebung und Untersuchung der individuellen und heterogenen Alltagsvorstellungen im kognitiven Bereich, nicht des fachlichen Vorwissens von Schülern zum Thema Boden und Bodendegradation. Dabei ist es nicht wichtig, mit wie viel Prozent die eine oder andere Vorstellung bei den Schülern vertreten ist, sondern mit welchen individuellen Mustern von Denkstrukturen Schüler in den Unterricht kommen. Diese sollen durch die Studie erkannt, benannt und verstanden werden. Dafür werden erkennbare Konzepte und Denkfiguren herausgearbeitet, verallgemeinert und kategorisiert, um diese in einem späteren Schritt mit den fachwissenschaftlichen Vorstellungen vergleichen und Vorschläge für die schulische Vermittlung machen zu können.

In meiner Arbeit gehe ich dabei auf folgende **Leitfragen** ein:

- Welche Vorstellungen haben Schüler zu Boden und Bodendegradation? Der Schwerpunkt der Befragung soll v. a. auf folgende Themenbereiche eingegangen werden:
 - Begriff Boden, Aufbau und Bestandteile des Bodens,
 - Bodenentstehung,
 - Bodenfunktionen,
 - Veränderungen im Boden,
 - Ursachen und Folgen der Bodenzerstörung im Allgemeinen und
 - Ursachen und Folgen von Bodenerosion, Bodenverdichtung, Bodenversauerung.
- Stammen die genannten Vorstellungen aus lebensweltlichen Erfahrungen oder aus fachlichen Kontexten, z. B. aus dem Schulunterricht?
- Welche Bedeutungen werden zentralen Fachbegriffen zugewiesen?

4.3 Methodische Vorgehensweise

Entscheidung für ein qualitatives Forschungsdesign

Bei der Auswahl einer geeigneten Methodik kommt es nicht auf die Abwägung zwischen quantitativen und qualitativen Methoden an. Nach MAYRING (1999) gibt es keine richtige oder falsche Methode per se. Die Entscheidung für eine bestimmte Forschungsmethodik leitet sich aus der wissenschaftlichen Fragestellung, der Zielsetzung der Untersuchung und dem Untersuchungsgegenstand ab. FLICK (1998) spricht dabei von der Gegenstandsangemessenheit von Methoden und Theorien. Auch BORTZ/DÖRING (2006, S. 303) stellen fest, dass *„Qualität und Stellenwert einer Forschungsarbeit nicht allein an der Methode festzumachen sind, sondern allenfalls an der Angemessenheit einer konkreten Untersuchungsmethode für eine spezielle Forschungsfrage“*.

Sollen nun Schülervorstellungen zum Thema Boden erhoben werden, muss eine Methode gefunden werden, mit welcher genau dieses Ziel erreicht werden kann.

Die Ergebnisse der Untersuchung müssen weiterhin mit den Ergebnissen aus der fachlichen Klärung vergleichbar sein. Neben der Angemessenheit der Methode in Bezug auf die Forschungsfrage muss sich die Methode in den theoretischen Forschungsrahmen, das Modell der didaktischen Rekonstruktion, eingliedern lassen (GROPENGIEßER 2001).

Für die empirische Erhebung von Schülervorstellungen eignen sich qualitative Verfahren in besonderer Weise, da nur mit diesem Ansatz Tiefe und Qualität individueller Denkstrukturen erfasst werden können. Es sollen unbekannte und individuelle Schülervorstellungen, die durch eine subjektive Sichtweise und Komplexität charakterisiert sind, erforscht werden. Durch eine offene Methode, können individuelle Denkstrukturen erfasst und in ihrer Komplexität dargestellt werden, was z. B. innerhalb eines geschlossenen Fragebogens nicht möglich wäre. Die so erzielten Ergebnisse lassen sich gut mit den Ergebnissen der fachlichen Klärung vergleichen, welche durch hermeneutisch-analytisch Untersuchungen gewonnen werden. In Abgrenzung zu quantitativen Methoden geht GROPENGIEßER (2001) davon aus, dass in realen Lerngruppen keine statistische Verteilung von Vorstellungen zu erwarten ist. Daher ist es irrelevant, mit welchen Prozentanteilen bestimmte Vorstellungen bei Schülern vorkommen. Für die Planung des Unterrichts ist es bedeutender, welche Vorstellungen vorkommen und welche Möglichkeiten sich Lehrern bieten, mit diesen umzugehen. Weiterhin gibt GROPENGIEßER zu bedenken, dass quantitative Untersuchungen erst nach einer qualitativen Analyse und der Kategorisierung von Schülervorstellungen erfolgen könnten (KATTMANN 1997, GROPENGIEßER 2001).

Um die Gültigkeit der hier dargestellten qualitativen Studie zu gewährleisten werden in Anlehnung an GROPENGIEßER (2001, S. 129)

- die Angemessenheit der Methodik begründet (Kap. 4.3.1),
- Maßnahmen zur Sicherung der Qualität beachtet und eingeplant (Kap. 4.3.7)
- die Einzelergebnisse in einem Verfahren der Verallgemeinerung zur Kategorienbildung genutzt (Kap.4.3.6).

4.3.1 Begründung der Methodenwahl

Entscheidung für das problemzentrierte Interview

In der qualitativen Sozialforschung stehen unterschiedliche Erhebungsverfahren zu Auswahl. Das große Spektrum der Methoden kann übergreifend in Interviews, Gruppendiskussionen und teilnehmende Beobachtungen eingeteilt werden. Die Wahl der Methode ist im Forschungsgegenstand begründet. Da individuelle Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodenzerstörung in ihrer kognitiven Dimension erhoben werden sollen, scheint der Einsatz eines Interviews für die Erhebung gut geeignet. Die Literatur differenziert bei den Interviewverfahren grob zwischen narrativen Interviews und Leitfadeninterviews. Die beiden Verfahren unterscheiden sich im Freiheitsgrad des Befragten und des Interviewers. Das

narrative Interview ist sehr offen und nur wenig strukturiert angelegt und fordert den Befragten zum freien Erzählen auf. Ziel ist es subjektive Bedeutungsstrukturen in Bezug auf bestimmte Ereignisse offen zu legen. Das Leitfadenterview dagegen ist stärker strukturiert und bezieht sich auf einen vorher bestimmten Gegenstand. Während des Interviews orientiert sich der Forscher zwar an den vorformulierten Fragen, es bestehen aber viele Spielräume in der Fragenformulierung, der Abfolge der Fragen und der Nachfragestrategie (HOPF 2007, FRIEBERTSHÄUSER 1997, MAYRING 2002, BORTZ/DÖRING 2006). Ein Vorteil des Leitfadenterviews ist die spätere Vergleichbarkeit der einzelnen Ergebnisse.

Nach FLICK (1998) lassen sich verschiedene Typen des Leitfadenterviews unterscheiden, u.a. das problemzentrierte Interview nach WITZEL (1982, 2000). MAYRING (2002) benutzt den Begriff problemzentriertes Interview synonym zum Terminus Leitfadenterview (FLICK 1998, HOPF 2007) und fasst darunter alle Formen der offenen, halbstrukturierten Befragung zusammen. MAYRING (2002, S. 69) formuliert vier Grundgedanken, zum Verfahren des problemzentrierten Interviews:

- *„Das problemzentrierte Interview wählt den sprachlichen Zugang, um seine Fragestellung auf dem Hintergrund subjektiver Bedeutungen, vom Subjekt selbst formuliert, zu eruieren.*
- *Dazu sollte eine Vertrauenssituation zwischen Interviewer und Interviewten entstehen.*
- *Die Forschung setzt an konkreten gesellschaftlichen Problemen an, deren objektive Seite vorher analysiert wird. Die Interviewten werden zwar durch den Interviewleitfaden auf bestimmte Fragestellungen hingelenkt, sollen aber offen, ohne Antwortvorgaben, darauf reagieren.“*

Für die hier vorliegende Forschungsarbeit scheint das Verfahren des problemzentrierten Interviews als Leitfadenterview angemessen. Die gewählte Methode für die Erhebung individueller Schülervorstellungen muss sich durch Problemzentrierung, Offenheit und Interaktivität auszeichnen. **Problemzentrierung** setzt dabei einerseits an einem konkreten gesellschaftlichen Problem, der Bodendegradation an, bezieht sich andererseits aber auch auf das „Problem“ des Interviewpartners, seine Sichtweise zum Boden und zur Bodenzerstörung zu erläutern und zu begründen. Es wählt den sprachlichen Zugang, in dem der Interviewte seine Vorstellungen verbalisiert. Das Interview wird aber nicht nur auf das Mündliche beschränkt. So kommen Fotos oder Diagramme zur Interpretation zum Einsatz, um die entsprechenden Phänomene zu veranschaulichen. Andererseits wird der Interviewpartner gebeten, eine Skizze zu erstellen. Das Interview ist durch **Offenheit** geprägt. Der Interviewte bekommt die Möglichkeit, sich ohne Antwortalternativen frei zum Gegenstand zu äußern, seine Vorstellungen zu formulieren und in seiner ganzen Komplexität darzustellen. Ein **interaktives** Verfahren macht es bei Verständnisschwierigkeiten seitens des Forschers möglich, Nachfragen zu stellen, um den Interviewpartner besser zu verstehen. Vo-

oraussetzung für die Bereitschaft des Interviewten, seine Sicht der Dinge zu prä-sentieren, ist ein Vertrauensverhältnis zwischen ihm und dem Forscher. So soll sich der Interviewte mit seinen Vorstellungen ernst genommen und nicht ausge-fragt fühlen, was z. B. durch einen verstehenden und akzeptierenden Kommuni-kationsstil gefördert werden kann (MAYRING 2002; GROPENIEBER 2001).

Entscheidung für ein Struktur-lege-Verfahren

Durch Struktur-lege-Verfahren¹³ sollen subjektive Theorien rekonstruiert, visualisiert und präzisiert werden. Die Methode beruht auf dem Forschungsprogramm „Subjektiven Theorien“ und erfolgt im Rahmen einer dialogischen Hermeneutik. Das bekannteste und zugleich historisch erste entwickelte Verfahren ist das der Heidelberger Struktur-lege-Technik, welchem jedoch eine Fülle weiterer Verfahren folgte (DANN 1992; GROEBEN/SCHEELE 2000). Im Rahmen des Modells der didak-tischen Rekonstruktion (GROPENIEBER 2001) wird wie im Forschungsprogramm „Subjektive Theorien“ (GROEBEN ET AL. 1988) von einer Strukturparallelität von Schülervorstellungen zu „objektiven“ wissenschaftlichen Theorien ausgegangen. Im Forschungsprogramm „Subjektive Theorien“ werden subjektive Theorien als *„...komplexes Aggregat von Konzepten...“* verstanden, *„...deren Struktur und Funktion in Parallelität zu wissenschaftlichen Theorien konzipiert bzw. postuliert werden. Das heißt(...), dass die in der subjektiven Theorie enthaltenen (kogniti-ven) Konzepte in Form von zumindest impliziten Argumentationsstrukturen ver-bunden sind“* (GROEBEN ET AL. 1988, S. 18).

Diese Argumentationsstruktur ist dem Bewusstsein des Handelnden zugänglich (SCHNAITMANN 2004). Sie wird als statischer Aspekt der subjektiven Theorien be-zeichnet und durch einen dynamischen Aspekt ergänzt. Die Dynamik bezieht sich darauf, dass subjektive Theorien für das reflexive Subjekt Mensch die Funktion von Erklärung, Prognose und Technik (Wissensanwendung) einnimmt. Subjektive Theorien bekommen also eine handlungsleitende oder handlungssteuernde Funktion. Diese Funktionen beziehen sich inhaltlich auf das eigene Ich, als auch auf ich-unabhängige Ereignisse der Außenwelt. Weiterhin werden subjektive Theorien als relativ stabile kognitive Konstrukte aufgefasst, die aber durch Erfah-rungen veränderbar sind.

Eine weitere Feststellung in einem enger gefassten Verständnis der subjektiven Theorien ist, dass Erkenntnis immer auch Selbsterkenntnis ist. Die enger gefasste Begriffsexplikation des Konstruktes der subjektiven Theorien wird durch folgende Merkmale definiert:

- *„Kognitionen der Selbst- und Weltsicht*
- *die im Dialog-Konsens aktualisierbar und rekonstruierbar sind*
- *als komplexes Aggregat mit (zumindest) impliziter Argumentationsstruktur,*

¹³ Das Struktur-lege-Verfahren wird synonym auch als Struktur-lege-Technik bezeichnet.

- *das auch die zu objektiven (wissenschaftlichen) Theorien parallelen Funktionen*
- *der Erklärung, Prognose, Technologie erfüllt,*
- *deren Akzeptierbarkeit als ‚objektive‘ Erkenntnis zu prüfen ist.“ (GROEBEN ET AL. 1988, S. 22)*

GROEBEN ET AL. (1988, S. 21) folgern daraus, dass erstens „*die Selbsterkenntnis der reflexiven Subjekts unter Umständen ... auch als objektive Erkenntnis akzeptierbar ist*“. Zweitens wird vorausgesetzt, dass das reflexive Subjekt ‚Mensch‘ als ‚Erkenntnis Objekt‘ mit dem Forscher in Kommunikation treten kann und so die subjektiven Theorien im Dialog festgestellt werden können.

Aus dieser Feststellung heraus ist eine Dialog-Konsens-Variante in der Methode unbedingt nötig. Im Untersuchungsablauf werden die Schülervorstellungen durch einen Dialog zwischen Erkenntnisobjekt (Untersuchungsperson) und Erkenntnissubjekt (Forscher) erhoben. Dabei wird zwischen den Dialogpersonen ein Konsens über das Verstehen getroffen. Als Methode bietet sich das qualitative Interview an (GROEBEN ET AL. 1988, SCHNAITMANN 2004).

In den Schülervorstellungen, wie auch in den subjektiven Theorien gehen die Autoren von unterschiedlichen Komplexitätsebenen in den Vorstellungen aus. Bei GROPEGIEBER (2001) werden hierarchisch aufsteigend Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien voneinander unterschieden (vgl. Kap 2.2.3). Denkfiguren haben dabei einen erklärenden Charakter und setzen sich durch verschieden kombinierbare Konzepte zu einer gestalthaften Vorstellung zusammen. Im Forschungsprogramm „Subjektive Theorien“ wird ebenfalls davon ausgegangen, dass inhaltliche Konzepte durch formale Relationen zu Denkfiguren miteinander verknüpft werden. Durch die Methode der Struktur-lege-Technik können diese Strukturen rekonstruiert und in Schaubildern visualisiert werden. Es kommt zu einer Externalisierung der Vorstellungen, einerseits durch die Sprache und andererseits durch das Legen eines Strukturbildes.

Um eine Überforderung der Untersuchungsperson zu vermeiden, wird im Allgemeinen im Untersuchungsablauf die Trennung der Erhebung von Inhalten und der Erhebung der Strukturen als wichtiges Prinzip angesehen. In einem ersten Schritt werden die Subjektiven Theorien der Untersuchungsperson durch ein halbstandardisiertes Interview als Ausgangsmaterial erhoben. Das Ausgangsmaterial wird vom Interviewer bearbeitet, es werden die Konzepte und Schlüsselbegriffe auf weiße Kärtchen geschrieben. In einer weiteren Sitzung rückt die Visualisierung und Strukturierung der Vorstellungen ins Zentrum des Interviews. Die Kärtchen werden von der Untersuchungsperson mit Hilfe von festgelegten Regeln in eine Struktur gebracht und mit Relationen versehen, so dass ein umfassendes Bild entsteht (DANN 1992, FRIEBERTSHÄUSER 1997, MARTSCHINEK 2001).

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit hat die Methode der Struktur-lege-Technik verschiedene Funktionen und Vorteile. Neben den augenscheinlichen Funktionen

der Externalisierung und Rekonstruktion der Vorstellungen sowie der Visualisierung von Vorstellungsstrukturen gilt das Verfahren als Ergänzung des Interviews und dient zur methodischen Triangulation. Die aktive Rekonstruktion der Vorstellungen in Begriffsnetzen ist durch eine leichte Manipulierbarkeit gekennzeichnet. Das heißt, dass die Kärtchen während des Prozesses immer wieder verschoben und ergänzt oder dass neue Kärtchen hinzugefügt werden können. Verständnisprobleme durch den Forscher in Bezug auf die Vorstellungen der Untersuchungspersonen lassen sich in den Interviews direkt lösen (DANN 1992, MARTSCHINEK 2001). Da dieses Verfahren gerade für die Erhebung komplexer subjektiver Theorien empfohlen wird, eignet es sich in hervorragender Weise auch für die Erhebung und Darstellung der Schülervorstellungen zum komplexen Thema Bodendegradation. Da in dieser Arbeit Schülervorstellungen erhoben werden, musste die Forderung nach Anpassung des Verfahrens und des Regelsystems an Forschungsgegenstand und an die Kompetenzen der Untersuchungspersonen erfüllt werden (SCHEELE ET AL. 1992). Die Entwicklung des Verfahrens und die genaue Vorgehensweise während der Untersuchung werden in Kap.4.3.2 und Kap.4.3.3. erläutert.

4.3.2 Entwicklung und Testung des Interviewleitfadens und der Struktur- Lege-Technik

In Anlehnung an das Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews nach MAYRING (2002) wurde eine Methodik entwickelt, welche das problemzentrierte Interview als auch den Einsatz der Struktur-Lege-Technik berücksichtigt (Abb. 8). Der generierte Interviewleitfaden und die Vorgehensweise bei der Struktur-Lege-Technik orientieren sich dabei an den Leitfragen der Forschungsarbeit in Bezug auf die Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodendegradation. In einer Pilotphase wurde nach Empfehlung von FRIEBERTSHÄUSER (1997) und MAYRING (2002) die Methodik mehrmals getestet und überarbeitet. Dazu wurden zwei unterschiedliche Vorgehensweisen geprüft:

- Das Interview und die Struktur-Lege-Technik wurden in einer Sitzung durchgeführt.
- Das Interview und die Struktur-Lege-Technik wurden in zwei Sitzungen unabhängig voneinander im Abstand von 1-2 Wochen durchgeführt.

Auf Grund der ausführlicheren Ergebnisse und der Möglichkeit der besseren kommunikativen Validierung fiel die Wahl für die weitere Vorgehensweise auf die zweite Methode, die auch der Forderung nach der Trennung der Erhebung von Inhalten und der Erhebung der Strukturen nachkommt (DANN 1992). Die vier Interviews aus der Pilotstudie wurden außerdem auf Verständnisschwierigkeiten geprüft und die Materialien überarbeitet. Zwei weitere Interviews wurden durchgeführt und transkribiert. Der Interviewleitfaden und die Interviewtechnik wurden in der Pilotphase anhand von transkribierten Interviews immer wieder mit Experten (Prof. Dr. Lethmate, Münster; Prof. Dr. Gropengießer, Hannover

und Prof. Dr. Kattmann, Oldenburg) diskutiert und überarbeitet. Mit Hilfe des endgültigen Leitfadens wurden die Einzelinterviews mit Schülern der Jahrgangsstufe 10 durchgeführt.

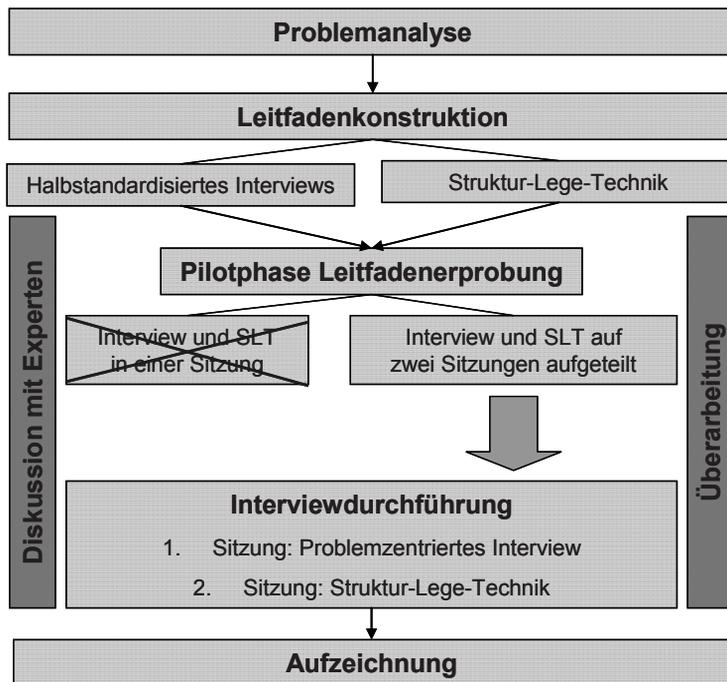


Abb. 8: Entwicklung des Erhebungsinstruments in der vorliegenden Arbeit (Interviewleitfaden und SLT)

Interviewleitfaden

Das Thema des Interviews ist im Interviewleitfaden zur besseren Orientierung für den Interviewer in einzelne Teilbereiche und Interventionen vorstrukturiert. Die Fragen und Interventionen zu den Themenbereichen orientieren sich an den oben genannten Leitfragen (Kap. 3.2). Für die inhaltliche Entwicklung des Interviewleitfadens wird eine erste fachliche Analyse durchgeführt. Dazu werden die Fachliteratur wie Schulbücher und –materialien sowie der Lehrplan von NRW gesichtet (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung 1999). Weiterhin sollten die Fragen und Interventionen Nähe zur Lebenswelt der Schüler aufweisen. Der Umgang mit den Fragen, Interventionen und Materialien während des Interviews wird flexibel gestaltet. Die Reihenfolge

der gestellten Fragen richtet sich nach der entsprechenden Situation. Auf die von den Schülern neu angesprochenen Aspekte kann mit Ad-hoc-Fragen eingegangen werden.

Der Aufbau des Leitfadens orientiert sich an folgenden Kriterien (nach GROPENGIEBER 2001, S. 134 und MAYRING 2002, S. 70):

- Zu Beginn eines neuen Themas werden sehr weit gefasste Sondierungs- bzw. Einstiegsfragen gestellt, z. B. „Stell dir vor, du hebst mit einem Spaten ein Stück Boden aus. Was könntest du darin finden?“. Diese Fragen erleichtern es den Schülern ins Gespräch zu kommen. Oft fallen bei diesen sehr offen gehaltenen Fragen Begriffe oder es werden spezielle Situationen erläutert, an die man im folgenden Interviewverlauf anknüpfen kann. Es kann sich ein Gespräch entwickeln, ohne dass die Schüler sich „ausgefragt“ vorkommen.
- Im Anschluss an die Einstiegsfragen (z. B. „Was ist unter deinen Füßen?“) werden vertiefende Fragen gestellt, z. B. „Wodurch sind die verschiedenen Schichten charakterisiert?“. Die Leitfadenfragen beziehen sich auf die wesentlichen Themenaspekte des Leitfadens. Bevor weitere Fragen nachgereicht werden, die das Interview in eine bestimmte Richtung steuern können, wird immer erst auf Gesagtes eingegangen.
- Es gibt Aufgabenstellungen mit und ohne Material, z. B. Bodenproben oder Fotos zur Bodenerosion (Abb. 9) und die Aufgabe zur Erstellung einer Skizze.
- Innerhalb des Interviews werden Kontrollfragen und methodisch variierte Interventionen zu einem Themenbereich eingebaut, um Aussagen überprüfen zu können, z. B. „Was wäre, wenn es den Boden nicht geben würde?“ oder „Stell dir vor, man würde über den Boden eine Betonschicht oder Asphaltsschicht aufbringen. Welche Bedeutung hätte das für den Boden?“ Beide Aufgaben zielen unter anderem auf Bodenfunktionen, aber auch auf Prozesse im Boden ab.
- Die Verwendung von Fachbegriffen während des Interviews seitens des Interviewers wird vermieden, da es sich dabei um Wörter handelt, welche für die Schüler keinerlei Bedeutung haben und die auch in der Fachwissenschaft unterschiedlich besetzt sind. Darum werden Phänomene und Situationen dargestellt, in welchen sich die Erscheinungen manifestieren. Um die Vorstellungen der Schüler zu Bodenfunktionen zu erheben, wird folgendermaßen gefragt: „Was wäre, wenn es den Boden nicht geben würde?“. Oder es werden Erklärungen für auf Fotos dargestellte Phänomene gesucht. Erst am Ende des Interviews wird direkt nach der Bedeutung der Fachbegriffe Bodenerosion, Bodenverdichtung und Bodenversauerung gefragt.
- Kommen während des Interviews Aspekte zur Sprache, die im Leitfaden nicht berücksichtigt wurden, welche aber für die Thematik oder für die Verständlichkeit der Vorstellungen bedeutsam sind, werden spontan *Ad-hoc-Fragen* formuliert.



Abb. 9: Bodenerosion durch Wasser
(Quelle: Kerstin Drieling¹⁴)

Der Interviewleitfaden ist in Anlehnung an GROPPENGIEBER (2001) tabellarisch aufgebaut und thematisch gegliedert (Tab.3). In der ersten Spalte werden die verwendeten Interventionen (Fragen, Aufgabenstellungen) beschrieben. In der zweiten Spalte werden von der Autorin vermutete Antworten benannt. In der dritten Spalte werden z. B. Anmerkungen zu den zu verwendenden Materialien gemacht (z. B. Vorlage einer Abbildung).

Im Folgenden werden die Fragen des Interviewleitfadens innerhalb einer Tabelle dargestellt:

(Die Materialien zum Interviewleitfaden befinden sich im Anhang I)

¹⁴ Da die Urheberrechte des ursprünglich im Interview genutzten Bildes nicht geklärt werden konnten, wird hier ein ähnliches Foto zur Verdeutlichung des Phänomens eingesetzt.

Tabelle 3: Interviewleitfaden

Themenbereich Boden		
Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Boden		
Beschreibe/benenne was du siehst.	Es fallen Begriffe wie Boden, Erde, Muttererde, Humus...	Es werden verschiedene Bodenproben vorgelegt (leh-miger Waldboden/Rendzina und eher feinsandiger Boden mit hohem Humusan-teil/Gartenerde)
Was verbindest du mit den von dir genannten Begriffen Boden/Erde/Humus.	Boden: ist das, worauf man geht, steht, lebt. ist die oberste Erdschicht, Erdoberfläche. besteht aus verschiedenen Schichten.	Differenzierung der Vorstellungen
Was stellst du dir unter Boden vor?		Erzählen lassen und Assoziati-onen aufschreiben
Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Bestandteile/Zusammensetzung des Bodens		
Stell dir vor, du hebst mit einem Spaten ein Stück Boden aus. Was könntest du darin finden?	Boden besteht aus verschie-den Materialien.	Aussagen später auf Skizze beziehen.
Was ist deiner Meinung nach außerdem im Boden enthal-ten?	Boden ist unterschiedlich zusammengesetzt. Gestein, Mineralien, Humus, Wasser, Luft, Lebewesen, Nährstoffe, Erde	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Aufbau des Bodens		
Was ist unter deinen Füßen? (Unter Asphalt, Gras) Bringe deine Vorstellungen in einer Zeichnung unter.	Skizze mit verschiedenen „Schichten“ des Bodens Lebewesen (Pflanzen, Tiere) auf und im Boden	Erstellen einer beschrifteten Skizze Bei Angabe verschiedener Schichten dort weiter fragen
Erkläre was du gezeichnet hast. Wodurch sind die verschiedenen Schichten charakterisiert? Gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Schichten? Was passiert an den Grenzen der Schichten? Wie erklärst du dir, dass es verschiedene Schichten gibt?	Verschiedene Farben Unterschiedliche Bestandteile und Inhaltsstoffe Verschiedene Ablagerungen, unterschiedliche Entstehung der einzelnen Schichten	Auf Skizze beziehen
Mächtigkeit des Bodens		
Wie tief/mächtig ist Boden? Wo fängt Boden an und wo hört er auf?	cm, einige/wenige Meter, km, bis zum Erdkern Abgrenzung zum Gestein	Auf Skizze beziehen
Entstehung des Bodens		
Beschreibe, was du siehst. Was glaubst du, wie der Boden entsteht?	Beschreibung der Abbildung Verwitterung, Zersetzung, Verfaulen	Anhang I, Material 1: Abbildung Bodenentwicklung
Gibt es Boden schon immer? Wie lange dauert es, dass sich Boden bildet?	Ja, Nein Bildung in wenigen Jahren bis Jahrtausenden, Jahrtausenden	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Bodenfunktionen		
Was wäre, wenn es den Boden nicht geben würde?	Es würde fehlen: Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen, Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion, Landwirtschaft	Mit den nachfolgenden Fragen wird an Gesagtes angeknüpft.
<p>In welcher Beziehung siehst du dich zum Boden? Ist Boden für dich wichtig?</p> <p>In welcher Beziehung siehst du die Menschen zum Boden?</p> <p>In welcher Beziehung siehst du andere Lebewesen (Tiere, Pflanzen) zum Boden?</p>	<p>Lebensraum für Mensch, Pflanzen, Tiere</p> <p>Nahrungsmittelproduktion, Landwirtschaft</p>	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Veränderungen im Boden		
Wo begegnet dir Boden? (Umgebung des Schülers)	Acker, Straße, Wiese, Waldboden	
Wie stellst du dir den Boden in der Zukunft (20, 100, 1000 Jahren) vor?	Veränderungen im Boden: Vollständig bebaut bis keine Änderungen, verschmutzt	Einzelne Veränderungen werden aufgeschrieben
Welche Ursachen haben die Veränderungen?	Veränderungen durch natürliche Prozesse (Klima) und durch den Menschen	
Gibt es einen Zusammen- hang zwischen der Verände- rung des Bodens und den Menschen? Wenn ja, welche?	Menschen brauchen Platz zum Leben (Wohnen, Nah- rung, Verkehr...)	
Was bedeuten diese Verän- derungen für dich? Was bedeuten sie für Lebe- wesen allgemein?	Positive wie negative ökolo- gische, ökonomische und soziale Folgen.	Bezug nehmend auf die bei den Bodenfunktionen genannten Lebewesen
Welche Folgen können Veränderungen im Boden haben?	Positive wie negative ökolo- gische, ökonomische und soziale Folgen.	
In welchen Zeiträumen kann sich Boden verändern?	Wochen bis Jahrtausende	
Gibt es noch andere Verän- derungen im Boden?	Ja oder Nein	Genauer nach Beispielen fragen, auch hier Ursachen und Folgen

Themenbereich Bodengefährdung/-zerstörung allgemein		
Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Allgemeine Vorstellungen Bodenzerstörung		
Stell dir vor, man würde über den Boden eine Betonschicht oder Asphaltsschicht aufbringen. Welche Bedeutung hätte das für den Boden?	Bestimmte, vorher genannte Prozesse können nicht mehr ablaufen und der Boden könnte verschiedene Funktionen nicht mehr erfüllen.	Dient zur Überprüfung der Bodenfunktionen/Abschließende Klärung zum Boden und leitet in Bodengefährdung ein
Könntest du dir vorstellen, dass der Boden durch irgendetwas gefährdet ist?	Ja/Nein Verschmutzung, Bebauung, Abtrag...	Frage nach Ursachen und Folgen

Bodenerosion		
Welche Bedeutung können - Wind und - Wasser für den Boden haben?	Wind bläst den Boden weg. Wasser ist wichtig für die Pflanzen, es durchfeuchtet den Boden	
Beschreibe, was du siehst. Hast du ein solches Phänomen schon einmal gesehen? Kannst du dir vorstellen, wie das Phänomen entstanden ist?	Boden wird durch Wind oder Wasser abtransportiert	Anhang 1: Material 2: Foto Was-sererosion Material 3: Foto Nagelme-thode Material 4: Foto Winderosi-on Fotos werden nacheinander gezeigt. Erst, wenn eines erschöpfend besprochen ist, kommt das nächste Foto.
Kannst du dir vorstellen, dass das irgendwelche Auswirkungen hat?	Boden verschwindet.	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Bodenversauerung		
Kannst du dir vorstellen, dass Luft eine Bedeutung für den Boden hat?	Bestandteile aus der Luft gelangen auch in den Boden z. B. durch Regen	
Kennst du das Phänomen? Welche Ursachen könnte es haben? Welche Folgen gibt es?	Verseuchung des Bodens Bäume bekommen nicht genug Nährstoffe oder wurden vergiftet -> Wälder sterben	Anhang I: Material 5: Schlagzeile -Waldböden in NRW sind zur Hälfte „sauer wie Essig“
Kannst du dir einen Zusammenhang zwischen saurem Regen und dem Boden vorstellen? Wie könnte dieser aussehen?	Säure wirkt über den Boden auf die Pflanzen ein.	Fragen nach Ursachen und Folgen
Weißt du, was der pH-Wert ist? Von einem Boden wurden in einem zeitlichen Abstand von 20 Jahren (1980, 2000) die pH-Werte gemessen. Kannst du dir vorstellen, warum die Ergebnisse so unterschiedlich sind?	Eintrag von Säure saurer Regen	Anhang I: Material 6: Skala: Übersicht pH-Werte (mit Beispielen) Material 7: Vergleich der pH-Werte der Bodenproben (4;7)
Kann der pH-Wert einen Einfluss auf den Boden haben?	Ja/Nein Veränderungen der Lebensbedingungen für Tiere und Pflanzen	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Bodenverdichtung		
<p>Beschreibe, was du siehst. Was bedeutet das für den Boden?</p> <p>Welche Ursachen könnten verantwortlich sein?</p>	<p>Boden wird zusammengedrückt.</p> <p>Etwas Schweres fährt/kommt auf den Boden.</p>	<p>Anhang I: Material 8: Foto „Verdichteter Boden durch Traktorreifen“</p>
<p>Beschreibe die beiden Bodenproben.</p> <p>Welche Unterschiede fallen dir auf?</p> <p>Wodurch könnten diese Unterschiede bedingt sein? In welchem Zusammenhang stehen die beiden Bodenproben mit dem Foto?</p>	<p>Eine Probe ist fester, dichter als die andere. Eine Probe wurde durch Druck festgedrückt/gepresst.</p>	<p>Zwei Bodenproben: Eine lockere und eine fest zusammengedrückte.</p> <p>(Die Proben könnten den Reifenspuren zugeordnet werden)</p>
<p>Welche Auswirkungen könnte es haben, wenn der Boden so fest ist?</p>	<p>Es gibt keinen Platz für Tiere und Pflanzen.</p>	

Interventionen	Erwartete Vorstellungen	Anmerkungen
Je nach Interviewverlauf werden für die jeweiligen Beispiele noch folgende Fragen gestellt:		
Welche Ursachen gibt es für diese Veränderung?	Anthropogen bedingte und natürliche Ursachen	Jeweils auf die Ursachen und Verursacher der vorher aufgeschriebenen Zerstörungsarten eingehen.
Welche Folgen gibt es und wer sind die Betroffenen bzw. was ist betroffen? Betrifft dich oder andere diese Veränderung?	Ökonomische, soziale, ökologische Folgen Folgen beziehen sich auf die Funktionen des Bodens	Jeweils auf die Folgen und Betroffenen der vorher aufgeschriebenen Zerstörungsarten eingehen.
Welche Bedingungen müssen herrschen, dass es zu dieser Veränderung kommt?		
Begriffe		
Kannst du dir etwas unter den folgenden Begriffen vorstellen?		Vorlage folgender Begriffe: Bodenversauerung, Bodenverdichtung, Bodenerosion
Interesse und Herkunft der Vorstellungen		
Welche Themengebiete zum Boden interessieren dich?		
Woher stammen deine Vorstellungen? Was habt ihr schon einmal im Unterricht durchgenommen?		
Hast du noch Ergänzungen zum Thema Boden?		

Struktur-Lege-Technik

Nach der Erhebung der Inhalte durch das Leitfadenterview bekommen die Schüler ein Regelwerk für die Struktur-Lege-Technik an die Hand, mit welchem sie sich bis zum nächsten Termin auseinandersetzen sollen (Anhang II). Die Erläuterungen zu diesem Regelwerk wurden, mit Veränderungen und beispielhaften Ergänzungen, der Arbeit von Meyer (2003) entnommen und verändert, und beruhen auf Vorschlägen von Scheele et al. (1992). Die grundlegende Struktur-Lege-Technik wurde an den Forschungsgegenstand und die Fähigkeiten der Schüler angepasst. Die mit einem Mini-Disc-Player aufgezeichneten Interviews werden abgehört und die zentralen Begriffe und Aussagen der Schüler durch die Autorin und eine studentische Hilfskraft getrennt voneinander notiert und später miteinander verglichen. Die einzelnen Aspekte werden auf Kärtchen geschrieben. Mit den Kärtchen wird, auf Basis der abgehörten Interviews, von der Autorin ein Strukturdiagramm von den Ursachen über das Phänomen zu den Folgen verschiedener Typen der Bodendegradation, z. B. zur Bodenverdichtung, gelegt. Die Begriffskärtchen werden mit Relationskärtchen verbunden (z. B. „führt zu“, „das heißt“), um dadurch Beziehungsstrukturen in den Vorstellungen zu rekonstruieren. An diesem Punkt wird eine Anpassung des sehr umfangreichen Regelwerkes vorgenommen (Scheele et al. 1992, S. 171-185). So findet eine Beschränkung auf acht Kernrelationen und eine Ergänzungsrelation („führt zu“) statt (Abb. 10).

Struktur-lege-Leitfaden zur Erstellung der Strukturdiagramme

- Zentrale Begriffe der Subjektiven Theorien über Bodendegradation werden auf weiße quadratische Kärtchen geschrieben.
- Formale Beziehung zwischen den Konzepten, die beim Definieren oder Bewerten auftreten, werden auf schmale weiße Kärtchen geschrieben.
- Es wird eine Grundlagenstruktur des gesamten Strukturbildes festgelegt, in welchem das Phänomen in der Mitte, die Ursachen dessen links davon und die Folgewirkungen rechts davon platziert werden, so dass eine Abfolge von den Ursachen über das Phänomen hin zu Folgewirkungen zu erkennen ist.
- Folgende Formalrelationen stehen zur Auswahl:

Kernrelationen

- **Das ist/das heißt** ●——
Steht für: eine Erklärung, was ein bestimmtes Konzept (ein bestimmter Begriff) bedeutet.
- **Und**
steht für: die Verbindende Aneinanderreihung von Konzepten (Begriffen) und Sätzen.
- **Oder**
Steht für: verschiedene Möglichkeiten, was ein Konzept bedeuten kann. Die Möglichkeiten können sich gegenseitig ausschließen („entweder-oder“) müssen es aber nicht („oder-auch“).
- **Damit/um zu**
Steht für: ein Ziel, das mit einer bestimmten Handlung erreicht werden soll/ eine Absicht, ein Zweck, der verfolgt wird.
- **Zum Beispiel / so wie**
Steht für: Dinge oder Ereignisse, die als Beispiel für den gemeinten Begriff in der Realität angesehen werden können.
- **Merkmal (Erkennbar an)**
Steht für: ein Zeichen, das das gemeinte Objekt in der Realität anzeigt (z.B. Symptom einer Krankheit)
- **Notwendige Voraussetzung**
steht für: Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, damit ein bestimmter Prozess in Gang kommt und von denen das Eintreten eines Ereignis abhängt.
- **Oberbegriff/Unterkategorie**
Steht für: Unterkategorien zu einem Begriff, der in Bezug auf diese Kategorie einen Oberbegriff darstellt.

Ergänzungsrelation

- **Führt zu** —————>
Steht für: die Verbindung von Ursachen und Wirkungen.
- Die vorgegebenen Relationen können von den Schülern jederzeit ergänzt werden.

Abb. 10: Struktur-lege-Leitfaden für die Erstellung der Strukturdiagramme zu den Schüler-vorstellungen zum Thema Bodendegradation (nach SCHEELE et al. 1992, S.171-185; 191-192, verändert)

Im Abstand von 1-2 Wochen nach dem Interview werden, in einem Dialog-Konsens-Verfahren, die Aussagen aus dem Interview mit Hilfe der Struktur-Lege-Technik als Schaubild dargestellt (abgewandelt nach SCHEELE 1992). In den Strukturdiagrammen werden die von den Schülern erkannten bzw. vermuteten Wirkungszusammenhänge zwischen Ursachen, Zerstörungsart und Folgen deutlich. Diese Gesamtstruktur wird vorgegeben (siehe Struktur-Lege-Leitfaden), da sie die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und auch die Orientierung der Schüler während des Struktur-Lege-Verfahrens erleichtert. Außerdem passt sich diese Struktur über Ursache-Phänomen-Folge der Fragestellung der Untersuchung an. Weiterhin können die Strukturdiagramme für die Interpretation der Texte hinzugezogen werden. In diesem Schritt wurden den Schülern die Begriffe, vorerst ohne die Relationskärtchen, einzeln vorgelegt. Diese sollen sie in eine für sie logische Abfolge von links nach rechts nach Ursache, Phänomen und Folgen ordnen und anschließend ebenfalls durch Relationen verbinden. Es können jederzeit Kärtchen verschoben, entfernt oder auch ergänzt werden. Während dieses Prozesses vergleicht der Interviewer in einem Dialog-Konsens-Verfahren die vom Schüler gelegte Struktur (vgl. Abb. 11) mit der von ihm aus dem Interview entwickelten Struktur. Bei Unterschieden oder auch Widersprüchen besteht nun die Möglichkeit diese direkt beim Schüler anzusprechen und Fragen zum Verständnis der Schülervorstellungen zu klären.

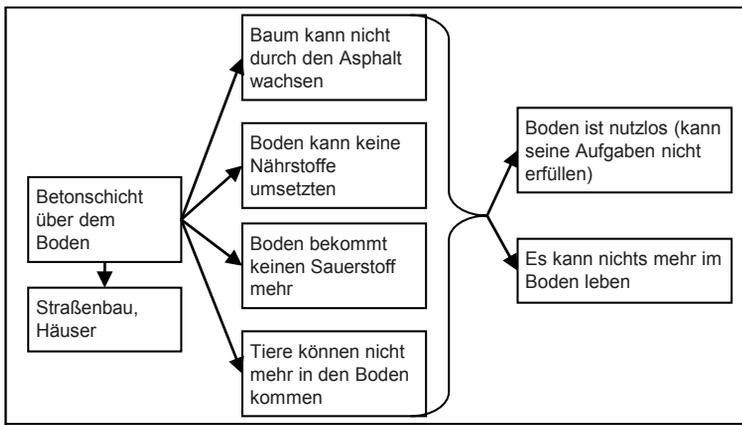


Abb. 11: Strukturdiagramm zur Bodenversiegelung (Paula: Anhang III, Interview 4)

4.3.3 Durchführung der Untersuchung

Auswahl der Interviewpartner

Die Forschungsarbeit zielt darauf ab, mit Hilfe des Modells der didaktischen Rekonstruktion Leitlinien für den Unterricht zum Thema Boden und Bodendegradation für die gymnasiale Oberstufe zu entwickeln. Daher sollen die Vorstellungen der Schüler vor dem Eintritt in die Oberstufe erhoben werden. Die Interviews wurden mit Schülern der 10. Jahrgangsstufe im zweiten Schulhalbjahr durchgeführt. Die Schüler waren zwischen 15 und 17 Jahre alt. Da in diesem Alter das Thema Boden sicherlich bereits Gegenstand des Unterrichts war, wurden Probanden aus drei (mit der Pilotstudie vier) verschiedenen Gymnasien befragt. So konnte ausgeschlossen werden, dass die Schüler einseitig von den gleichen Lehrpersonen geprägt waren und sich die einzelnen Vorstellungen dadurch gleichen. Weiterhin wurde auf ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen weiblichen und männlichen Probanden geachtet. Als letztes fand die Untersuchung einerseits in zwei städtischen Gymnasien und in einem ländlichen Gymnasium statt. Bei der Auswahl der Probanden im ländlichen Raum wurde darauf geachtet, dass einzelne Schüler mit der Landwirtschaft aufgewachsen sind, da vermutet werden kann, dass diese Schüler intensivere Erfahrungen mit dem Boden und dessen Nutzung gemacht haben als Schüler aus dem städtischen Raum. Die Kontaktaufnahme erfolgte über die Lehrer an den Schulen. Diese benannten mir entweder Schüler, die von ihnen leistungsmäßig weder als sehr gut, noch als besonders schwach bewertet wurden und eher kommunikativ waren. Andere Lehrer gaben mir die Möglichkeit, direkt in der Klasse vorzusprechen, so dass sich Freiwillige melden konnten. In einer großen Pause nahm ich zu diesen Schülern Kontakt auf. Die Schüler wurden darüber informiert, dass ein geographisches Thema zu Sprache kommen soll, bei dem es aber nicht um fachliches Wissen geht, sondern um die eigenen Vorstellungen. Es wurde klargestellt, dass es sich um eine außerschulische Untersuchung handelt, mit dem Ziel, Unterricht zu verbessern. Die Schüler wurden auf die Anonymisierung der Daten hingewiesen und darauf, dass die Antworten nicht als Leistung bewertet werden und die Ergebnisse nicht an die Lehrer weitergegeben werden. Es wurden Termin und Ort für das Interview vereinbart, wobei der Zeitbedarf mit zwei Sitzungen von je ein bis eineinhalb Stunden angegeben wurde. Ein Honorar wurde angekündigt. Die Interviews fanden nach Möglichkeit und nach Wunsch der Schüler im Büro der Autorin in einer angenehmen Atmosphäre statt. Bei den Probanden aus der ländlichen Schule fanden die Interviews aus organisatorischen Gründen in einem Besprechungsraum der Schule statt. Insgesamt wurden für die Voruntersuchung 6 und für die Hauptuntersuchung 10 Schüler befragt.

Durchführung der Interviews

Nach einer Begrüßung, der Vorstellung meiner Person und einem kurzen „Small-talk“ wird die Anredeform nach Wunsch der Interviewpartner für das Interview festgelegt. Den Schülern wird die Anonymisierung der Daten zugesichert. Im Forschungsprozess werden daher die Namen mit dem Transkript geändert. Die Interviewpartner erklären sich einverstanden, dass die Interviews mit Hilfe eines Mini-Disk-Rekorders aufgezeichnet werden.

Angaben zur Person

Damit die Mini-Disks später eindeutig einem Interviewpartner zugeordnet werden können, werden vom Interviewer einige Angaben zur Person erhoben. Dies ist besonders wichtig, da sich an das erste Interview eine zweite Sitzung mit der Struktur-lege-Technik anschließt.

„Mir gegenüber sitzt: (Name); Es ist der: (Datum); Wir sitzen hier (Ort); (Name) ist (Anzahl) Jahre alt und geht in die (Ziffer) Klasse der (Name der Schule, Ort)“

Einleitung

Die Einleitung dient dazu, den Schülern den Zweck des Interviews näher zu bringen und auf die Besonderheit der Kommunikationssituation aufmerksam zu machen. So ist es den Schülern möglich, sich in die Rolle als Interviewpartner besser einzufinden.

„Du bist heute hier, weil mir deine Vorstellungen zum Thema Boden wichtig sind. Mit Hilfe deiner Ansichten soll Unterricht zu diesem Thema verbessert bzw. entwickelt werden. Das Interview wird aufgenommen, bleibt aber anonym, so dass ein Rückschluss auf deine Person in der Auswertung nicht möglich ist. Es wäre schön, wenn du auf meine Fragen ganz frei antwortest und von dir aus erzählst. Bei deinen Antworten gibt es kein richtig oder falsch. Es sind ja deine Vorstellungen, die mich interessieren. Ich möchte nicht wissen, was du über das Thema im Unterricht gelernt hast. Ich werde mir zwischendurch Notizen machen, um genauer auf deine Antworten eingehen zu können. Wenn ich zwischendurch weitere Fragen stelle oder Bemerkungen mache, so dient das dazu, dass ich deine Vorstellungen besser verstehe.“

4.3.4 Aufbereitung und Auswertung

„Durch Erhebungsverfahren versucht man der Realität Informationen zu entlocken; dieses Material muss aber erst festgehalten, aufgezeichnet, aufbereitet und geordnet werden, bevor es ausgewertet werden kann. Die beste Erhebung nützt nichts, wenn hier unsauber gearbeitet wird“ (MAYRING 2002, S. 85).

Um die Qualität der Ergebnisse zu sichern, wird eine schrittweise, nachvollziehbare Abfolge von Operationen durchgeführt. Die Aufarbeitung und Auswertung der Interviews orientiert sich an der von GROPENGEIER (2001, 2005) vorgeschlagenen Vorgehensweise im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion. In der Aufbereitung des Materials werden die Interviews transkribiert und in eine redigierte Aussage überführt. Die Auswertung erfolgt anschließend über die Schritte des Ordnen der Aussagen, die Explikation und die Strukturierung. Nach diesen ersten Auswertungsschritten gehen letztlich nur acht Interviews von den zehn Interviews in die weitere Auswertung mit ein, da die anderen beiden Interviews keine neuen Erkenntnisse als die Sättigung gebracht haben. Das bedeutet, dass die in diesen Interviews enthaltenen Schülervorstellungen bereits durch andere Interviews abgedeckt waren. Nach der Bearbeitung der einzelnen Interviews können nun die Aussagen verallgemeinert und interpretiert werden.

Aufbereitung der Schülerinterviews

Transkription

Um die im Erhebungsverfahren durch die Interviews gewonnenen Daten auf die Auswertung vorzubereiten und Informationen erlangen zu können, werden die Daten in einem nachvollziehbaren und dem Untersuchungsgegenstand angepassten Verfahren aufbereitet. Da in der hier vorliegenden Untersuchung die inhaltlich-thematische Ebene im Vordergrund steht und weder der Dialekt noch sprachliche Feinheiten bedeutungsvoll sind, geschieht die Aufbereitung des Materials durch Transkription in normales Schriftdeutsch. Der Dialekt wird bereinigt, Satzbaufehler werden aber nicht behoben. Der Stil bleibt beibehalten (MAYRING 2002). Es werden jedoch Rezeptionssignale wie „Mh“ oder lange Pausen transkribiert, da diese bedeutungstragend sein können. Sie können *„Hinweise auf Gesprächssituationen geben ... und besser einschätzbar machen, inwieweit eine Vorstellung dem Interviewpartner vertraut ist“* (GROPENGEIER 2005, S. 177). Auffällige Betonungen, Erhöhung der Lautstärke, nicht-sprachliche Vorgänge wie Lachen oder organisatorische/technische Vorgänge werden gekennzeichnet. Die Zeilen werden zur einfacheren Bezugnahme durchnummeriert (GROPENGEIER 2005). Transkribiert werden alle Passagen, die Inhalt tragend sind. Daher wird die Einleitung nicht transkribiert. Um die Persönlichkeitsrechte zu schützen, wurden die Namen der Schüler mit dem Beginn der Transkription geändert. Die Transkriptionsregeln sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Transkriptionsregeln (nach PEEZ o.J. und GROPENIEBER 2001)

S.:	Abkürzungen für den interviewten Schüler
I.:	Äußerungen der interviewenden Person (Autorin)
(unverständlich)	unverständliche Äußerungen
(bis es ganz heiß ist?)	vermuteter Wortlaut
(...) oder [...]	Auslassung durch die transkribierende Person
<u>ja</u>	auffällige Betonung (unterstrichen)
ja	Laut gesprochen (fett)
jaaa	Dehnung
(Lachen) bzw. (lacht), (zeichnet)	Nicht sprachliche Vorgänge, technische Hinweise
(-)(kurze Pause),(--)(lange Pause), (---)(3 Sek. Pause)	Pausen im Gespräch
//	Satz wurde abgebrochen
Mh	Zweigipfliges Rezeptionssignal, neutral bis zustimmend
(MATERIAL 1)	Vorlage der Materialien (siehe Anhang I)
,,:!?	Satzzeichen zur Verbesserung der Lesbarkeit

Redigierte Aussagen der Schüler

Die Transkripte werden in einem nächsten Schritt in die redigierte Aussage überführt. Ziel ist es die Aussagen des Interviewpartners lesbarer, deutlicher und klarer zu machen. Dazu werden die Aussagen unter Berücksichtigung des Kontextes aus den Transkripten entnommen. Satzbaufehler werden behoben und der Stil leicht geglättet. Das Redigieren erfolgt durch vier Operationen, wodurch es zu einer Reduktion des Materials kommt (GROPENIEBER 2001, 2005).

Selektieren der bedeutungstragenden Inhalte: Aus den Transkripten werden nur die inhaltlich relevanten Passagen, die einen deutlichen Bezug zur Fragestellung haben, selektiert. Aussagen, die in größeren Argumentationketten oder Zusammenhängen stehen, werden im gleichen Abschnitt zusammengestellt. Die Abschnitte werden mit der jeweiligen Anfangs- und Endzeilennummer belegt und in Klammern dazu gesetzt. Zur besseren Orientierung werden die bearbeiteten Materialien kursiv hinzugefügt.

Auslassen von Redundanzen und Füllseln: In der redigierten Aussage der Schüler werden Unterbrechungen im Interviewverlauf (z. B. durch „MH“ des Interviewers), Füllwörter oder –sätze, und Propositionen, die an mehreren Stellen bedeutungsgleich auftreten, weggelassen. Variationen einzelner Wörter und Präzisionen werden in Klammern gesetzt.

Transformieren in eigenständige Aussagen des Interviewpartners: Die Aussagen der Schüler sind häufig nur in Bezug auf die durch den Interviewer gestellten Fragen oder Beiträge, also aus dem Gespräch heraus, zu verstehen. Aus diesem Zusammenhang werden die Aussagen des Interviewpartners aus dem Kontext unabhängig vom Interviewer formuliert.

Paraphrasierung: Im letzten Schritt, der Paraphrasierung, werden die Aussagen in eine grammatikalisch akzeptable Form gebracht. Dabei sollte die für den Interviewten charakteristische Sprache aber erhalten bleiben. Vor allem verwendete Metaphern und Analogien sollen in ihrer ursprünglichen Formulierung bewahrt werden.

4.3.5 Auswertung der Daten

SCHMIDT (2003, S. 545) beschreibt den Auswertungsprozess als „*Austausch zwischen erhobenem Material in Form von Interviewtranskripten und Feldnotizen auf der einen Seite und dem theoretischen Vorverständnis auf der anderen Seite*“. Das „Material“, also die durch die Transkription und Redigierung für die Auswertung aufbereiteten Interviews, bilden den Ausgangspunkt für die weitere Auswertung. Obwohl die Auswertung mit Bezug auf die Forschungsfragen, wie dem Aufbau oder den Bestandteilen des Bodens, erfolgt, sollten keine vorfixierten Auswertungskategorien feststehen. Die grobe Klassifizierung ist zwar durch die Forschungsfragen bereits vorgegeben, diese dient aber nur als Orientierung, welche verfeinert, ersetzt und ergänzt werden muss. Die weiteren Auswertungskategorien werden „am Material“ entwickelt. Das problemzentrierte Interview zeichnet sich gerade dadurch aus, dass keine Antwortalternativen vorgegeben sind. Die alltagssprachlichen Formulierungen der Befragten sollten daher aufgenommen und im Sinngehalt wiedergegeben werden. Nur so können neue, unvorhergesehene Vorstellungen der Schüler entdeckt werden. Dies geschieht in einer intensiven Auseinandersetzung mit den Interviews und wird auch als offenes bzw. als thematisches Kodieren bezeichnet (BÖHM 2007, SCHMIDT 2003). Das methodische Vorgehen orientiert sich an der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990), adaptiert nach GROPENGEIER (2001) und erfolgt in den Schritten Ordnen der Aussagen, Explikation und Strukturierung.

Ordnen der Aussagen mit Hilfe von MAXQDA

Die geordnete Aussage orientiert sich im Gegensatz zur späteren Strukturierung noch stärker an den Fragestellungen der Untersuchung. In diesem Schritt werden die Aussagen der Schüler zu Komplexen zusammengefasst, um in einer schüler-nahen Sprache deren Denkgebäude darzustellen. Die redigierten Aussagen werden klassifiziert. Dabei werden die Vorstellungen inhaltlich darauf untersucht, ob sie sich auf den Aufbau und Bestandteile des Bodens, die Bodenentstehung, Bodenfunktionen, Veränderungen im Boden oder auf Ursachen und Folgen der Bodenzerstörung im Allgemeinen und Speziellen beziehen. Bedeutungsgleiche Aussagen werden gebündelt und Variationen wiederum in Klammern gesetzt (GROPENGEIER 2001, S. 146).

Da es sich bei den redigierten Aussagen immer noch um eine immense Textmenge handelt, wird eine computergestützte Analyse durchgeführt und das Ordnen

der Aussagen mit Hilfe der Software MAXQDA bewerkstelligt. Dazu werden die redigierten Aussagen in MAXQDA eingefügt und bearbeitet. Trotz der Möglichkeit des automatischen Codierens wird die von KUCKARTZ (2005, S. 60) als intellektuelles Codieren bezeichnete Vorgehensweise durchgeführt. Unter Codierung versteht KUCKARTZ (2005) dabei die Zuordnung von Textpassagen zu einer bestimmten Kategorie bzw. zu einem Code, welche entweder vorgegeben ist (theoretisches Codieren) oder in Bezug auf die Aussagen neu benannt wurde (offenes Codieren). Die Codierung ist daher immer das Resultat menschlicher Interpretation auf Grundlage der intensiven Bearbeitung eines vorliegenden Textes, wie die redigierte Aussage in der vorliegenden Arbeit. Durch das Ordnen der redigierten Aussagen kann so eine weitere Reduzierung des Materials sowie eine Zusammenfassung der Aussagen innerhalb bestimmter Kategorien erfolgen. Die Herkunft der Aussagen wird, als Zeilennummer in Bezug auf das Transkript, wiederum in Klammern hinter den jeweiligen Kategoriennamen gesetzt.

Explikation

In der Explikation werden die Charakteristika der Schülervorstellungen zum Boden und zur Bodenzerstörung erstmals interpretativ erschlossen. Dazu werden auch die Strukturdiagramme aus dem Struktur-lege-Verfahren herangezogen. Durch die Interpretation soll die folgende Einzelstrukturierung vorbereitet werden. Neben der Darstellung des individuellen Verständnisses werden Kontraste zu einzelnen fachlichen Konzepten herangezogen. Weiterhin werden sprachliche Aspekte wie inhaltlich zentrale Bezeichnungen, aber auch Metaphern und Analogien beachtet. Teilweise lassen sich die Quellen der Vorstellungen in lebensweltliche oder auch in mediale oder durch Unterricht geprägte Kontexte einordnen. Zusätzlich werden Brüche oder Widersprüche in den Vorstellungen sowie Interessen erhoben. Eine systematische Untersuchung des Schülerinteresses ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Einzelstrukturierung

Die Einzelstrukturierung auf der Ebene der Konzepte vervollständigt die Auswertung der Interviews. Nach GROENIGER (2001, S. 148) muss „*das Ergebnis der Untersuchung zu den Schülervorstellungen (...) kommensurabel sein mit dem Ergebnis der qualitativen Inhaltsanalyse einzelner Texte der wissenschaftlichen Theorien*“. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten führt die Strukturierung daher in beiden Untersuchungsaufgaben auf die Ebene der Konzepte. Die Konzepte werden durch einen treffenden Namen aus dem Material heraus benannt, der sich auf die individuellen Vorstellungen des Befragten bezieht.

- Die einzelnen Konzepte werden durch *kursive Schreibweise* kenntlich gemacht.
- Werden Konzepte vom Interviewpartner **antithetisch** angeführt, werden diese Konzepte ~~durchgestrichen~~ markiert.

- ? **Fragend** diskutierte Konzepte werden mit einem **Fragezeichen vor** dem Konzept gekennzeichnet.
- !! Zwei !! vor dem Konzept deuten auf Widersprüche in den Aussagen der Schüler hin.

4.3.6 Verallgemeinerung qualitativer Daten

Mit der Entscheidung für ein qualitatives Verfahren bei der Erhebung von Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodendegradation stellt sich die Frage nach der Generalisierbarkeit der Daten. Ziel der Untersuchung ist es, auf Basis der qualitativen Ergebnisse allgemeine Schlussfolgerungen für den Unterricht zu ziehen. Verallgemeinerung setzt dabei ein Mindestmaß an Regelmäßigkeit und Konstanz gesellschaftlicher Lebensbedingungen voraus (HEINZE 2001).

Aus Sicht der quantitativen Forschung belässt die qualitative Sozialforschung mit ihrem „*methodischen Zugang zu Einzelfällen die sozialwissenschaftlichen Erkenntnisse in der Singularität des Besonderen*“ und ist „*im strengen Sinne also höchstens eine Vorform wissenschaftlicher Erkenntnis*“ (HEINZE 2001, S. 37). GRO-PENGLIEBER (2001, S. 148) und LAMNEK (1995, S. 192) aber argumentieren, dass sich das Allgemeine zweifellos im Besonderen zeigt. Mit diesem Verständnis von Verallgemeinerung kann auf Grundlage qualitativer Ergebnisse das Allgemeine interpretativ bzw. analytisch erschlossen werden. In der hier vorliegenden Studie geht es um die Identifizierung themenspezifischer Denkstrukturen, nicht aber um die Häufigkeit, mit welcher eine bestimmte Vorstellung in einer Klasse vorkommt. Repräsentative Ergebnisse einer quantitativen Untersuchung wären für die Planung des Unterrichts nicht weiter hilfreich, da man es mit konkreten Personen und deren Vorstellungen zu tun hat. Es geht eher um die Frage des adäquaten Forschungsansatzes mit angemessenen Methoden, welche die Form der Verallgemeinerung in Abhängigkeit von der Forschungssituation, dem Erkenntnisinteresse und den Zielen der Forschung festlegt (JANßEN-BARTELS/SANDER 2004). In der Literatur werden verschiedene Verfahren der Verallgemeinerung vorgeschlagen (JANßEN-BARTELS/SANDER 2004):

Verallgemeinerung auf Grundlage theoretischer Grundlagen

HEINZE (2001, S. 37) verweist darauf, dass die jeweiligen Daten erst durch den theoretischen Kontext „*ihre eigentliche wissenschaftliche Validität und Relevanz gewinnen*“. Die theoretischen Vorannahmen schaffen die Grundlage für die wissenschaftliche Erkenntnis und dienen als Interpretationsrahmen. Die in dieser Studie verwendeten konstruktivistischen Theorien des Wissenserwerbs erklären, warum verschiedene Menschen über ähnliche/vergleichbare Vorstellungen verfügen. Weiterhin wird angenommen, dass Individuen einer Kultur prinzipiell ähnliche grundlegende Erfahrungen machen und diese Erfahrungen die Entwicklung von Vorstellungen beeinflussen. Es handelt sich um eine theoretische Inter-

pretation der Daten (in dieser Arbeit verwendete Theorien vgl. Kap. 2.3; Diskussion der Ergebnisse mit Bezug auf die verwendeten Theorien Kap.4.6.2).

Verallgemeinerung durch vergleichende Verfahren

a. Interner Vergleich

Beim internen Vergleich handelt es sich um einen Vergleich der Ergebnisse der Probanden derselben Studie. In der hier vorliegenden Arbeit werden dazu die Konzepte der einzelnen Schüler miteinander verglichen und zu Denkfiguren verallgemeinert (Kap.4.5).

b. Vergleich mit fachlichen Vorstellungen

Im Vergleich der Schülervorstellungen mit fachwissenschaftlichen als auch historischen Vorstellungen kann gezeigt werden, ob eine vielfältige und differenzierte Darstellung der Denkfiguren gelungen ist (GROPENIEßER 2001, S. 149) (Kap.5).

c. Vergleich mit anderen empirischen Studien

Auch dieser Vergleich dient dazu, die Validität der eigenen Ergebnisse abzuschätzen. Dazu werden andere empirische Untersuchungen hinzugezogen und mit den eigenen Ergebnissen verglichen. Es handelt sich jedoch meist um Untersuchungen, die nur einen Randbereich der eigenen Untersuchung abdecken oder andere Untersuchungsvoraussetzungen erfüllen. Zur Validierung können diese Studien dennoch sehr hilfreich sein (Kap.4.6.1).

FLICK (1998, S. 254) verweist darauf, dass die Generalisierbarkeit der Ergebnisse abhängig von der Einbeziehung unterschiedlicher Fälle und Kontexte ist. Zur Realisierung der Auswahl schlägt er als Strategie das theoretische Sampling vor. Dabei sollten die Bedingungen, unter denen ein Phänomen empirisch untersucht wird, möglichst stark variiert werden. LAMNEK (1995) ersetzt im Vergleich zur quantitativen Forschung in der qualitativen Sozialforschung die vorab zu ziehende Zufallsstichprobe durch dieses „theoretical sampling“. Es handelt sich um eine gezielte Vorauswahl der Probanden, welche sich aus einer theoretischen Vororientierung ergibt. Diese setzt voraus, „*dass der Forscher weiß, worauf er sein Augenmerk zu richten hat*“ (LAMNEK 1995, S. 239). Eine solche Vorauswahl wurde auch im Rahmen dieser Studie getroffen (Kap. 4.3.3).

4.3.7 Gütekriterien

Am Ende eines Forschungsprozesses werden die Forschungsergebnisse anhand von Gütekriterien eingeschätzt und beurteilt. Die Autorin schließt sich der Position von MAYRING (2002), LAMNEK (1995) und STEINKE (2000) an, dass sich die Kriterien quantitativer Forschung nicht auf die qualitative Forschung übertragen lassen, da diese für andere als die in der qualitativen Forschung eingesetzten Methoden entwickelt worden sind. Ohne eigene Gütekriterien für die qualitative Forschung besteht jedoch die Gefahr der Beliebigkeit und Willkürlichkeit. Um die Qualität der Forschungsergebnisse zu sichern, müssen Gütekriterien entwickelt

werden, die den Methoden bzw. dem gesamten Forschungsprozess angepasst sind. In der vorliegenden Studie wird daher auf Gütekriterien nach MAYRING (2000, 2002), GROPENGIEßER (2001) und STEINKE (2000) zurückgegriffen.

- *Auswahlgültigkeit:*

Es werden ganz normale Interviewpartner ausgewählt und keine Extremfälle gesucht. Dennoch wird auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Probanden und Stadt- und Landkindern geachtet. Um einen zu starken Einfluss der Lehrer und der Schule auszuschließen, erfolgte die Auswahl der interviewten Schüler aus verschiedenen Schulen in Münster und Umgebung (vgl. Kap. 4.3.3).

- *Intersubjektive Nachvollziehbarkeit durch Verfahrensdokumentation:*

Es erfolgt eine genaue Dokumentation der Umstände des Vorverständnisses (Theoretische Grundlagen Kap. 1) und des Forschungsverfahrens (Kap. 3.2 und 4.3). Verwendete Techniken und Messinstrumente (z. B. Zusammenstellung des Analyseinstrumentes → Interviewleitfaden; Durchführung der Datenerhebung, Datenaufbereitung und Auswertung) werden protokolliert.

- *Argumentative Interpretationsabsicherung:*

Die Interpretationen werden argumentativ begründet (z. B. Explikation, Strukturierung). So werden z. B. sprachliche Aspekte und die Quellen der Vorstellungen zur Interpretation hinzugezogen. Weiterhin ist die Deutung der Ergebnisse theoriegeleitet.

- *Regelgeleitetheit:*

Es kommt zu einer Vereinheitlichung des methodischen Vorgehens und zu einer systematischen Analyse. Das Vorgehen bei der Datenerhebung und Auswertung ist vorher festgelegt und erfolgt schrittweise (z. B. Erhebung: Leitfadeninterview und Struktur-lege-Leitfaden; Auswertung: Qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING 2000) (Kap. 3.5 und 4.3)

- *Kommunikative Validierung:*

Die Gültigkeit der Interpretation wird überprüft, indem man dem Interviewpartner die Ergebnisse noch einmal vorlegt. Dies erfolgt u.a. durch die Struktur-lege-Technik (Kap.4.3.2).

- *Interne methodische Triangulation:*

Zu bestimmten thematischen Bereichen werden zwei oder mehrere methodisch unterschiedliche Interventionen im Interview eingebaut. So erstellen die Schüler z. B. eine Zeichnung darüber, was unter ihren Füßen ist und beschreiben, was sich unter der Wiese befindet. Hierzu zählt auch die Struktur-lege-Technik (Kap.4.3.2).

- *Korrelative Gültigkeit:*

Es findet ein Vergleich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen statt, um auszuschießen, dass es sich bei der eigenen Untersuchung um extreme Sonderfälle handelt (Kap. 4.6.1).

- *Interpretation in Gruppen:*

Verschiedene Teile der Studie wurden mit Personen diskutiert, die nicht an dem Projekt arbeiten. So wurden die zentralen Begriffe und Aussagen für die Struktur-
Lege-Technik von der Autorin als auch von einer Hilfskraft aus den Interviews
herausgearbeitet und miteinander verglichen. Weiterhin wurde der Interview-
leitfaden mit verschiedenen Experten diskutiert und weiterentwickelt (vgl.
Kap.4.3.2).

4.4 Ergebnisse

Für die vorliegende Forschungsarbeit wurden acht Interviews vollständig nach
der in Kapitel 3.3.4 dargestellten Vorgehensweise ausgewertet. Im Folgenden
werden zwei dieser acht Interviews mit den Arbeitsschritten geordnete Aussage,
Explikation und Strukturierung exemplarisch vorgestellt. Diese beiden Interviews
zeigen typische Denkmuster, aber auch die Vielfalt der Konzepte und Denkfigu-
ren in den Schülervorstellungen. Die Transkripte der Interviews und die redigier-
ten Fassungen sowie die komplette Auswertung der restlichen sechs Interviews
mitsamt den Strukturdiagrammen befinden sich im Anhang III. Sie würden den
Umfang dieser Arbeit sprengen und die Lesbarkeit behindern.

4.4.1 Interview 1: Tineke (16 Jahre alt)

Transkript und redigierte Aussage im Anhang III

4.4.1.1 Tineke: Geordnete Aussage

Boden

Bodenproben Ansprache (1-19)

Probe lehmiger Boden/Rendzina (P1): Das ist Erdboden. Der erinnert mich an Ackerboden, der ist etwas lehmiger, fester, den kann man gar nicht so zerbröseln wie den anderen.

Probe feinsandiger Boden mit hohem Humusanteil/Gartenerde (P2): Dieser hier erinnert mich an den Gartenboden von meiner Oma, weil der auch immer so schwarz ist mit kleinen grauen Pünktchen und irgendwie weicher. Den kann man so schön zerbröseln, das ist schöner. Das ist für mich Blumenerde.

Boden Begriffsbestimmung (1-19) (20-67) (295-328)

Erdboden (Ackerboden) ist etwas lehmiger, fester, den kann man gar nicht so zerbröseln. Erdboden (Erde) ist für mich der Boden, wie er auf dem Acker (im Wald) ist oder wenn man ein Loch buddelt (unter der Wiese, beim Baum ausheben). Erde ist das braune Zeug an sich, ob es jetzt auf einem Tisch, in einer Schüssel ist oder irgendwo anders.

Gartenboden (Blumenerde) ist auch immer so schwarz, mit kleinen grauen Pünktchen und irgendwie weicher. Den kann man so schön zerbröseln, das ist schöner. Gartenerde ist fein, schwarz und locker und schaut nicht so aus wie die Erde, die man im Wald kennt, die sieht eher so aus, wie die Erde im Garten und die Erde, die man auch kaufen kann, diese in großen Säcken beim Gartencenter. Außerdem ist die bestimmt behandelt. Ich finde, dass die nicht so natürlich aussieht, die ist zu gleichmäßig.

Boden ist das, worauf man steht und der Erdboden ist dann die Erde auf der man stehen kann. Erdboden ist auch alles, worauf wir bauen z. B. die Straßen. Unter uns ist ja alles irgendwie Erde, oder nicht?

Sand ist für mich keine Erde (Boden).

Boden Aufbau (68-101) (101-150) (151-169) (Abb. 12)

Ich stelle mir vor, dass hier die Wiese ist, mit ein bisschen Gras, das ist schöner. Hier ist eine Pflanze drauf, die ihre Wurzeln in dem Boden hat und dass der Boden auch nicht so gleichmäßig ist, dass da diese kleinen Luftlöcher sind, weil da ja auch Maulwürfe rum krabbeln und Regenwürmer (Tiere und Käfer). Vielleicht ist der porös oder hat noch so kleine Stellen frei. Oder von Bäumen die Wurzeln, die gehen ja noch viel länger, deswegen glaube ich nicht, dass das alles Erde ist, sondern auch Luft und Freiraum. Maulwürfe buddeln Tunnel, dass da vielleicht ein Tunnel ist und dann irgendwo eine Höhle. Und die Regenwürmer graben kleinere Tunnel da rein, die auch mal an die Oberfläche kommen. Der

Maulwurf kommt auch mal hoch, dann ist da so ein Hügel. Hier unten drunter sind mehrere Schichten. Ich habe mal mit meinem Bruder im Wald ein ganz tiefes Loch gebuddelt und dann haben wir festgestellt, dass das immer ganz verschiedene Farben hat, das fand ich ganz lustig. Da hatten wir dann erst diesen braunen Boden, dann dieser braune Boden aber irgendwie auch mehr schwarz. Dann ein Boden, der total fest war, so platt getrampelt. Und hier der Boden ist dann immer lockerer (weicher, lehmiger, nicht mehr so fest). Und noch ein bisschen tiefer hatten wir dann sandigen Boden, gelblich ist der irgendwie geworden, gar nicht mehr schwarz. Und der ist immer feuchter geworden je tiefer das ging. Wir sind etwa eineinhalb Meter tief gekommen, man konnte schon so bis hier darin stehen (zeigt auf Kopfhöhe).

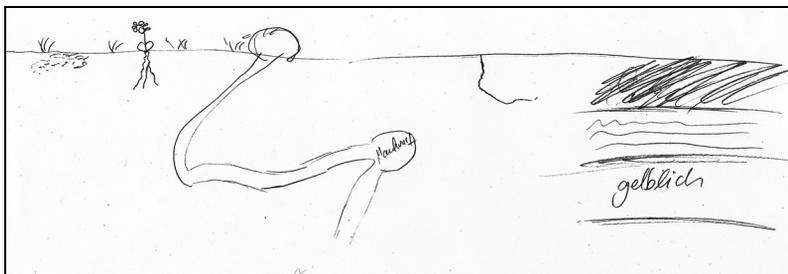


Abb. 12: Skizze zum Aufbau des Bodens (Tineke)

Ich kann mir vorstellen, dass je tiefer man gekommen wäre, dass dann vielleicht noch so ein braunes Zeug gekommen wäre, weil die Erde, die wir ausgegraben haben, die war mal grau, mal schwarz, mal gelblich, mal braun, immer ganz verschieden. Das fand ich komisch um ehrlich zu sein. Tiere waren da auch einige, vor allem Regenwürmer, wir haben die alle gesammelt in einem großen Topf, da hatten wir schon ziemlich viele und die wurden auch immer dicker. Irgendwann kann man nicht mehr graben, weil dann im Kern überhaupt keine Erde mehr ist. Da haben wir so eine Lava. Ich kann mir vorstellen, dass dann auch irgendwann noch Steine kommen. Vor der Lava. Oben ist dieser Erdboden und darunter kommen dann Steine. Ich kann mir das nicht vorstellen, dass im Kern Lava ist und dann nur Erde drum herum. Ich denke, dass da dann auch noch irgendwann Steine in der Erde sind.

Boden Bestandteile (68-101) (207-263)

Hier ist eine Pflanze drauf, die ihre Wurzeln in dem Boden hat und dass der Boden auch nicht so gleichmäßig ist, dass da diese kleinen Luftlöcher sind, weil da ja auch Maulwürfe rum krabbeln und Regenwürmer (Tiere und Käfer). Vielleicht ist der porös oder hat noch so kleine Stellen frei. Oder von Bäumen die Wurzeln, die gehen ja noch viel länger, deswegen glaube ich nicht, dass das alles

Erde ist, sondern auch Luft und Freiraum. Da ist vielleicht ein Tunnel (kleiner Tunnel) vom Maulwurf (Regenwurm) und dann irgendwo eine Höhle. Die Tunnel kommen auch mal an die Oberfläche. Wenn ich mit einem Spaten in die Wiese steche und ein Stück raushole, sind da bestimmt Lebewesen (Käfer, Regenwürmer, dieses Krabbelvieh) drin und bestimmt auch Sachen, die wir gar nicht sehen, Tiere, die wir nicht wahrnehmen. Da ist total viel Kalk mit drin, keine Ahnung, wie der pH-Wert sein könnte, ob der sauer ist oder nicht. Die verschiedenen Stoffe, die die Blumen zum Wachsen brauchen. Und sonst dieses erdige, was auch hier (*Bodenproben*) (Erde) bei ist. Woraus besteht das (diese Erde)? So aus diesem kleinen, sind das Körnchen? Vielleicht auch noch ein paar Wurzeln, vom Gras oder so. Weil sich das so da rein zieht, die Wurzel. Steine (kleine Steinchen) und Stöcker, die sind hier drin. Und so Sachen, da habe ich keine Ahnung, ich denke, dass das einfach irgendein Schmutz (Dreck) ist, der da irgendwie hingekommen ist. Ich kann mir vorstellen, dass da auch Nitrit und Nitrat drin ist. Weil die Pflanzen das brauchen, dass da auch Ammonium mit drin ist, dass das irgendwie ein Kreislauf ist. Ich kann mir vorstellen, dass davon noch viele Ablagerungen da sind.

Merkmale (935-936) (1077-1116)

Boden lebt für mich. Der Boden ist eigentlich so nass.

Bodenentstehung (329-374) (375-395) (396-447) (448-469)

Ich glaube, die Erde liegt über den Steinen und nicht die Steine unter der Erde. Ich kann mir nicht vorstellen, dass sich die Steine unter die Erde schieben können. Weiß ich nicht, das ist komisch. Ich weiß nicht, warum es hier (vgl. Material 1, Anhang I) so unterschiedliche Bereiche gibt. Eins von beiden muss ja vorher da gewesen sein, geht ja nicht, dass die beide gleichzeitig gekommen sind (Erde und Steine). Entweder hat sich irgendwas hoch gedrückt, vielleicht die Steine, also irgendwie die Berge, die wachsen ja auch noch immer, die drücken sich auch so hoch, über die Jahrtausende. Vielleicht war das hier auch so, dass hier Erde war, aber dann sich die Steine hoch gedrückt haben. Doch ich glaube, die Steine haben sich da irgendwie so hingedrückt. Immer kann es den Erdboden gar nicht gegeben haben, weil irgendwann gab es alles das erste Mal. Ich denke mal, dass sich Erde entwickelt hat. Ich meine am Anfang war ja alles hier, ich weiß es gar nicht, es gibt wohl viele verschiedene Theorien, oder? Dass am Anfang alles nur Wasser war und dann irgendwie das Land dazu kam. Ich denke, dass das schon immer da war, aber irgendwie auch nicht. Das ist eine gute Frage, wie entsteht Erde. Gott, hätte ich mir überlegen müssen. Irgendwie muss doch auch Erde entstehen, weil wir brauchen die ja, wir schaufeln die aus und dann reißen wir wieder Häuser ab und dann ist da ein Loch und dann kommt da doch irgendwie immer Erde hin. Aber kann Erde entstehen? Jetzt noch? Ich glaube nicht, ich weiß es aber nicht. Ich glaube, dass Erde schon seit der Entstehung der Welt da ist, weil früher, als es die Dinosaurier gab, da hatten die ja auch Pflanzen und da hatten die auch Erdboden. Ich denke nicht, dass die Pflanzen da auf Stein ge-

wachsen sind. Die mussten Erde gehabt haben. Ich weiß nicht, wie lange gab es die Erde schon, als es die Dinosaurier noch nicht gab? Weiß man das? (*Hinweis von Autorin: Dinosaurier: Hundertmillionen Jahre; Erdentstehung: vier Milliarden Jahre*) Ach ja, wundervoll. Vielleicht hat sich da doch irgendwie Erde entwickelt, aber ich kann mir nicht vorstellen wie, vielleicht irgendeine chemische Reaktion, von der ich überhaupt keine Ahnung habe. Irgendwie ist die entstanden, irgendwie sind ja auch die Steine entstanden, ist ja alles irgendwie. Ich denke schon, dass das sehr, sehr früh war. Obwohl, kann man nicht so Erdproben nehmen und je tiefer man geht, desto älter ist die? Oder war das mit dem Eis? Doch das ist doch wohl so, je tiefer man z. B. gräbt, dann kann man doch Dinos und Fossilien ausgraben. Dann ist das so, dass verschiedene Zeitalter da sind. Die haben irgendwann in einem Quiz einen Querschnitt von der Erde gezeigt und dann war die Erde in verschiedene Stufen eingeteilt (verschiedene Zeiten), Kreidezeit, Jurazeit. Dann muss ja doch irgendwie Erde entstehen. Auch jetzt noch. Ich denke, dass Erde immer noch entsteht, oder? Sonst kann das gar nicht sein, weil von irgendwo muss das kommen, dass dann die alten Schichten mit neuen Schichten wieder überdeckt werden können. Vielleicht deswegen auch diese verschiedenen Farben. Wenn nichts entstehen würde, dann hätten wir ja jetzt noch die Erde wie vor vielen tausend oder Millionen Jahren. Und dann könnten wir die eventuell gar nicht mehr gebrauchen, weil irgendwann ist doch auch Erde abgenutzt (aufgebraucht), oder? Ich kann mir vorstellen, dass immer neue Erde entsteht, schon alleine wegen dieser Schichten, aber wie das ganze passiert, da bin ich doch überfragt.

Mächtigkeit (282-294)

Ich denke, dass der Boden noch tiefer geht als die anderthalb Meter, die wir gegraben haben. Ich kann mir vorstellen, dass das noch circa zwei, drei Meter tief geht, die Erde.

Vielfältigkeit der Böden (295-328)

Ich denke nicht, dass der Boden überall genauso aussieht (nie gleich ist, ausschaut), dass es anders ist als ich beschrieben habe, dass der, wenn man da tiefer geht, immer verschiedene Farben hat. Ich kann mir auch vorstellen, am Strand, da ist ja ganz viel Sand, aber gehört das auch zum Boden? Eigentlich ist das Sand und Sand ist für mich keine Erde (Boden). Ich glaube, dann ist noch unter dem Sand Boden, weil nur Sand, das ist ja nicht so fest wie Boden (Erdboden, wie diese Proben). Vielleicht ist der Sand da nur so hell, wegen dem Wasser. Irgendwie hängt das bestimmt zusammen, weil irgendwie immer nur am Wasser Strand ist.

Bodenfunktionen/Bedeutung (470-489) (490-514) (515-534) (535-538) (539-561) (562-572)

Wenn es diesen Erdboden nicht geben würde, wären wir tot. Weil die Pflanzen ja auf dem Erdboden stehen. Die Bäume wandeln das CO₂ wieder in Sauerstoff um,

durch die Photosynthese. Und hätten wir die Erde nicht, hätten wir keine Bäume, das heißt, wir hätten keine Luft, wir würden also verhungern, nicht verhungern aber, doch wir würden wohl verhungern, weil die Tiere (Kühe) hätten kein Gras (Getreide) und so zum Essen. Dann hätten wir auch nichts zu essen (keine Kartoffeln, Möhren, Gemüse, Obst). Die werden auf oder in der Erde angebaut. Ich glaube, wenn es den Boden nicht geben würde, wäre das gar nicht mal so gut. Ich stelle mir das dann vor, dass da überall Stein wäre. Ich könnte keine Löcher graben. Häuser könnten gar nicht so wirklich gebaut werden, weil dann alles in die Steine rein, das ist dann auch komisch. So ein Loch in die Steine hämmern und dann da ein Haus drauf setzen. Man könnte nicht auf der Wiese joggen, sich nicht hinlegen, im Park in die Sonne, weil auf Stein ist das ja auch nicht schön, sich hinzulegen und sagen juhu ich werde jetzt braun. Oder man könnte irgendwelche Sportarten nicht mehr machen (Fußball spielen, Reiten). Das wäre dann auch doof für die Pferde, weil die dann immer die Hufe kaputt hätten. Den Hunden und so würde das auch nicht so gefallen, wenn die nur überall Straße hätten. Ich sehe mich in der Beziehung zum Boden, dass ich jeden Tag drauf laufe, mit meinem Hund spazieren gehe, oder mich auf die Wiese hinlege, sonne. Ich turne auf der Wiese. Und ich habe zu Hause im Garten eine kleine Ecke, da habe ich verschiedene Blumen hingesetzt, aber nur rosa Blumen und Möhren und Salate. Boden ist eigentlich so gar nicht wichtig für mich, weil ich mit dem eigentlich gar nichts mache. Ich kann mir vorstellen, dass für die Bauern Boden sehr wichtig ist. Weil die da ihre ganzen Sachen drauf anpflanzen und davon leben die. Die Tiere werden davon gefüttert, die Bauern verkaufen das. Für unseren Nachbarn ist sein Boden schon ziemlich wichtig, der ist Hobbygärtner, aber eigentlich gar kein Hobbygärtner. Der ist nur am Gärtnern, der hat auch sehr viel Spaß mit seinem Boden. Weil der da immer neue Sachen darauf pflanzt. Für die Tiere ist der Boden schon wichtiger als für uns, weil die da leben und die bauen teilweise ihre Höhlen in den Boden. Viele Tiere legen ihre Eier in den Boden, viele schlafen auf dem Boden z. B. Rehe (Wildschweine, Pferde). Pferde nur, wenn sie draußen stehen, fressen diese Pflanzen.

Bodenveränderung/Bodenzerstörung

Veränderung Allgemein (264-281) (586-606) (607-626) (815-834) (835-859) (860-872)

Als da diese Katastrophe in Tschernobyl war, da ist dieser ganze saure Regen rüber gekommen. Weil der pH-Wert im Boden zu hoch wurde, konnten die ganzen Lebewesen und die Organismen da nicht mehr drin leben. Da wurde dann Kalk draufgeschüttet, weil das das irgendwie neutralisiert. In fünfzig (hundert, tausend) Jahren stelle ich mir Boden, von der Art und Weise, wie heute vor. Vielleicht hat sich die Farbe verändert, aber ich stell mir vor, dass der noch so eine Funktion hat, wie heute, vielleicht nicht die gleiche Funktion, weil sich alles weiterentwickelt. Ich glaube nicht, dass der irgendwie rot wird. Vielleicht wird

der braun (grau, braun grau, schwarz). Aber ich denke schon, dass der so in diesem Farbbereich bleiben wird. Ich finde eigentlich, dass Boden durch uns gefährdet wird. Wir machen den kaputt, durch Müll und alles. Das ist eine der größten Gefährdungen für den Boden. Wenn wir nicht da wären, dann würde der fröhlich vor sich hin arbeiten, immer wieder diese Umwandlungen machen, würde fröhlich Blumen wachsen lassen. Die Menschen versuchen ja auch schon den Boden zu retten, z. B. wenn der pH-Wert absinkt, dass dann Kalk drauf geschüttet wird oder da Dünger rein zu machen. Aber wenn es uns nicht geben würde, wenn wir da erst gar nicht so viel drauf angebaut hätten, dass der dann von einem Stoff ganz, ganz wenig hat, dass der den dann erst wieder nach produzieren muss, dann hätten wir ihn auch nicht düngen müssen. Vielleicht verändert sich Boden durch die Umwelteinflüsse, die jeden Tag sind, weil einfach viel Müll auf den Boden geschmissen wird. Die Autoabgase nehmen die Bäume ja auch auf. Irgendwie haben die doch jetzt auch ein Gesetz, wie heißt das mit dem Ruß in der Luft? Genau Feinstaub. Das soll von den Bäumen aufgenommen werden. Oder die Industrie, die leitet viele Schadstoffe in die Umwelt ab, einmal in die Luft und dann auch teilweise ins Wasser, was irgendwie mit dem Boden in Berührung kommt. Ich kann mir schon vorstellen, dass wir dem Boden jeden Tag sehr, sehr viel Schaden zufügen, fällt mir jetzt mal auf. Die Ursachen für die Gefährdung ist halt alles, was wir mit dem Boden machen, einmal Beton drüber. Dann die Sachen, die wir auch der Umwelt antun, z. B. diese ganze Atomkraft. Wasserverschmutzung, damit tun wir dem ja auch nichts Gutes, weil das ganze Wasser fließt in den Boden. Oder z. B. die Flüsse, das ist eine Delle im Boden, da ist auch Boden auf dem Grund. Und der Boden nimmt dann das Wasser auf. Und das ist dann auch nicht gut, wenn das Wasser schlecht (verschmutzt) ist.

Müll

Ursachen (688-716) (873-883)

Der Müll hat auch Einfluss, den werfen wir einfach weg in die Umwelt. Wir sind zu faul, den Müll in den Mülleimer zu werfen. Viele Leute denken sich, ach warum zum nächsten Mülleimer rennen, ich kann es auch einfach auf den Boden werfen. Teilweise verlieren die Leute auch ihren Müll. Sie haben den z. B. in der Tasche, holen dann irgendetwas raus und dann fällt ein Zettel heraus oder irgendein Müllpapier, das man wegwerfen wollte. Ich würde sagen, Müll ist schon Absicht.

Folgen (688-716) (717-723) (884-904) (905-914) (915-934)

Der Müll zersetzt sich irgendwie. Bei uns im Wald, da wo ich in der Nähe wohne, habe ich gesehen, dass da Papier rum lag, wie von Bonbons und die waren auch schon halb weg. Das ist ja auch so Kunststoff oder Chemie. Und der Boden nimmt das (irgendwelche Stoffe) auf oder dass das durch den Boden (den Regen) zersetzt wird. Das geht in den Boden und ist schädlich, weil da Fremdstoffe zu kommen und weil dann das Gleichgewicht gestört ist. Dann ist ein Überschuss

oder Mangel von irgendwelchen Stoffen da. Vielleicht versuchen die das auszugleichen. Oder dass irgendein Stoff sagt, hej ich bekämpfe dich, oder so. Dann ist weniger von diesem Stoff da und das brauchen die Pflanzen eigentlich. Ich merke schon, das hängt alles zusammen. Vielleicht sind dann nicht mehr die Stoffe vorhanden, die die Bäume brauchen und dann gehen die Bäume kaputt. Und dann haben wir wieder das Problem, dass wir alle tot sind. Vielleicht vertragen die Tiere das nicht und hauen ab oder sterben aus. Ich weiß es nicht. Die Tiere braucht der Boden auch um zu leben und wenn die Tiere nicht mehr da sind, dann kann der Boden nicht mehr so weiter leben. Das wird schon Folgen für den Boden haben oder dass der eine Zeit braucht, um sich zu regenerieren. Durch diese Fremdstoffe wird in diesen Kreislauf eingegriffen (mit Ammonium, Nitrat, Nitrit) und auch in den Lebensraum der Tiere. Der Boden verändert sich durch diese Stoffe (Fremdstoff). Ich meine Schadstoff, Fremdstoff hört sich nicht gerade positiv an. Ich denke schon, dass das schlimm wäre für den Boden. Ich denke auch, dass der irgendwie damit klar kommen wird, muss der ja. Auf jeden Fall ist es nicht gut für den Boden.

Umweltverschmutzung

Ursachen (607-626) (627-672) (860-872)

Bäume nehmen ja auch Autoabgase (Feinstaub) auf. Oder die Industrie leitet viele Schadstoffe in die Umwelt ab, einmal in die Luft und teilweise auch ins Wasser, was irgendwie mit dem Boden in Berührung kommt. Wasserverschmutzung, damit tun wir dem Boden ja auch nichts Gutes, weil das ganze Wasser in den Boden fließt. Oder z. B. die Flüsse, das ist eine Delle im Boden, da ist auch Boden auf dem Grund. Und der Boden nimmt dann das Wasser auf. Das ist dann auch nicht gut, wenn das Wasser schlecht (verschmutzt) ist.

Folgen (627-672) (937-947)

Einerseits find ich, die Autoabgase haben Einfluss auf alles, auf die Ozonschicht, auf die Bäume. Ich meine auch, dass das nachgewiesen wurde, dass irgendwie die Bäume in der Stadt alle krank sind wegen der Autoabgase, dass man an den Verfärbungen von den Blättern sehen kann, dass die Bäume krank sind und dann können die nicht mehr die Photosynthese vollrichten (vollziehen). Das ist dann auch nicht gut für die Bäume. Aber was nicht gut für die Bäume ist, ist auch nicht gut für den Boden, weil die das an den Boden weiterleiten. Die geben dann die Schadstoffe über die Wurzeln ab (versuchen sie loszuwerden), oder? Kann ich mir zumindest vorstellen, also ich würde es machen als Baum. Die Bäume werden krank und leiten das dann an den Boden weiter, bleiben aber trotzdem krank, weil die nicht alles abgeben können. Wenn man jetzt guckt bei einem Baum, wo der am meisten Schadstoffe hat, dass das schon in den Wurzeln ist. Ich würde sagen, da passiert das gleiche wie mit dem zersetzten Müll, dass das auch ein Fremdstoff ist, der nicht gut für den Boden ist, der da eingreift und der das Gleichgewicht durcheinander bringt. Bei der Industrie ist das auch so.

Dünger (815-834)

Wenn es uns nicht geben würde, wenn wir auf dem Boden erst gar nicht so viel (wie viele Hektar Kartoffeln) angebaut hätten, dass der dann nach einer Ernte total viel von dem Stoff, den die Kartoffeln brauchen, verloren (ganz, ganz wenig) hat, dass der dann erst wieder zwei, drei Jahre braucht um das Ganze nach zu produzieren, dann hätten wir ihn auch nicht düngen müssen.

Zeit (673-687)

Die Veränderungen kann man nicht von heute auf morgen sehen, ich glaube, dass das seine Zeit braucht, bis man das merkt, dass unser Verhalten Einfluss auf die Umwelt hat. Ich denke schon, dass das ein paar Jahre (dreißig vierzig, fünfzig) dauert.

Bebauen

Ausmaß (789-814)

Wir haben teilweise schon sehr viel Beton, aber immer mit Freistellen. Z. B. auf den Autobahnen oder in großen Städten (Münster, Ruhrgebiet) ist das sehr extrem. Z. B. Manhattan, das ist ja eigentlich nur eine große Betonschicht und darauf ganz viele Häuser. Hier in Münster geht das noch, wir haben hier noch die Promenade, an sich noch reichlich Grünstellen. Eigentlich ist das bei uns okay, weil wir in der Stadt an den Kreuzungen trotzdem überall noch kleine Grünflächen haben.

Folgen (724-769) (770-788)

Wenn man eine Betonschicht über den Boden macht, geht der kaputt. Der Boden braucht auch Sauerstoff. Und auch die Organismen im Boden für diese Umwandlungen von diesen Stoffen. Ammonium wird zu Nitrit und dann zu Nitrat. Dann geht das irgendwie in die Pflanzen über, dass die Pflanzen irgendwann absterben oder im Winter eingehen. Dann wird das wieder in Ammonium zersetzt. Das ist so ein Kreislauf. Beim Umwandeln helfen die Organismen und der Sauerstoff mit. Und wenn da eine Betonschicht drüber wäre, dann gäbe es keinen Sauerstoff. Der Boden ist ja ständig am Arbeiten und wenn der nicht mehr arbeitet, dann ist er doch tot (würde sterben). Schlimmere Sachen können ja gar nicht mehr passieren, oder? Vielleicht würde er eingehen oder gammeln, nein, dann lebt er ja wieder, wenn er gammelt. Das kann ja gar nicht sein. Der Boden ist feucht und dann ist da eine Betonschicht drüber. Ich stell mir das so vor, dass da das ganze Wasser ist und das erhitzt sich auch immer und dann könnten diese Wasserdämpfe nicht raus und das schimmelt dann doch, oder? Entweder er stirbt oder er fängt an zu schimmeln (vermodert). Ich denke, dass der dann tot ist und dass das dann schimmelt. Wenn wir tot sind, dann können wir ja auch vermodern.

Bodenerosion

Bedeutung Wasser (1141-1166)

Der Boden braucht Wasser, weil er sonst austrocknet. Wasser bringt Stoffe mit. Ich glaube, im Wasser sind Mineralien und alles drin und verschiedene Salze. Das ist wohl auch ganz gut für den Boden, wenn der die kriegt.

Wassererosion

Ursachen

Material 2: Foto Bodenerosion Wasser (Anhang I) (1051-1065) (1066-1076)

Das ist komischer Boden, weil da so Gräben drin sind. Der Boden sieht feucht aus. Ich würde sagen, das ist ein Ackerboden, aber warum der jetzt diese Krater (Graben) hat, das weiß ich nicht. Vielleicht mit Absicht, aber warum der da von alleine sein sollte, das weiß ich nicht. Vielleicht ist da irgendetwas passiert. Aber warum sollte da einer Gräben in den Boden reinbauen? Das ist nicht so wirklich logisch.

Material 3: Foto Nagelmethode (Anhang I) (1167-1199)

Vielleicht wollte der Boden den Nagel loswerden, weil so ein Nagel rostet, wenn der feucht wird. Ich meine das schon mal gesehen zu haben, dass irgendwo an einer Baustelle so ein rostiges Gestell, diese ganz, ganz dicken Drahtteile, rum lagen. Die waren total rostig und die wurden dann aus dem Boden geholt und man konnte dann genau sehen, wo der lang ging. Weil diese Rostschicht am Boden war. Vielleicht versuchte der Boden einfach nur den Nagel loszuwerden, den abzustoßen. Der Boden kämpft gegen diesen Nagel an oder versucht diesen Fremdstoff loszuwerden. Ich glaube, der Boden reagiert darauf.

Winderosion

Material 4: Foto Bodenerosion Wind (Anhang I)

Ursachen (1077-1116)

Ich würde sagen, das ist Wind, der da drüber weht und der vielleicht kleine Körnchen, die oben drauf liegen und von der Sonne getrocknet und deshalb nicht mehr so fest sind, mitnimmt. Der Boden ist eigentlich so nass. Aber wenn der oben liegt, das ist ja auch beim Sandkasten so, oben drauf ist Puder, weil da immer die Sonne darauf scheint, dass das Wasser dann verdunstet. Und unten drunter ist das ganz hart. Ich glaube, dass das beim Ackerboden auch so ist, oben drauf ist der trocken. Man kann den auch anfassen, zerbröseln, aber unten drunter ist der feucht und man kann ihn nicht so zerbröseln.

Folgen (1117-1140)

Ich glaube nicht, dass das Auswirkungen auf den Boden hat, dass das schlimm ist, dass der Wind das wegträgt. Der Wind trägt den Boden ja irgendwo anders hin. Der geht nicht verloren und auch wenn, ich glaube nicht, dass die Sandkörnchen da oben noch eine große Funktion haben. Weiß ich nicht, für mich ist der Boden, der oben drauf ist, irgendetwie ja nicht tot, aber auch nicht mehr wirklich Boden.

Der hat keine Feuchtigkeit mehr, da krabbeln keine Tiere mehr herum, die sind immer erst unten drunter. Regenwürmer kommen da oben auch nicht hin und Pflanzen, die sind ja mit ihren Wurzeln auch da, wo es nass ist und nicht da, wo es schon so trocken ist und vielleicht werden die so vertrocknet.

Begriff Bodenerosion (1277-1287)

Den Begriff Bodenerosion habe ich schon mal gehört, aber damit kann ich nichts anfangen.

Bodenverdichtung

Ursachen

Material 8: Foto Bodenverdichtung (Anhang I) (1200-1216)

Das ist Ackerboden. Da ist ein Trecker drüber gefahren, der Boden ist schlammig, nass. Ich würde sagen, dem geht es gut. Vielleicht hat der etwas zu viel Wasser, weil da so viel Wasser oben drauf steht. Vielleicht hat es da ganz viel geregnet. Aber ich denke, irgendwann versickert das, zieht in den Boden ein und das ist nicht arg schlimm.

Festgepresster Boden (1217-1235) (1259-1276)

Oh, der ist ja hart. Den finde ich komisch. Der ist so da reingepresst ohne Luft, ohne Zwischenraum, einfach nur stumpf rein gepresst. Vielleicht ist der Boden auf dem Foto auch so gepresst, weil da ja überall ein Trecker drüber gefahren ist. Ich finde den Boden komisch, weiß ich nicht. Der Ackerboden hier (Foto), so schlecht schaut der doch gar nicht aus, oder? Ich denke schon, dass der Boden, der tiefer ist, so fest ist, aber ich glaube nicht, dass der hier oben schon so fest ist. Weil der Boden, der tiefer ist, da ist eine viel größere Last (Druck) drauf wegen dem schweren Boden, der da drüber liegt. Über den Boden rennen ja auch nicht tausend Leute. Und da ist auch keine große Last drauf. Halt nur dieser Druck, der Luftdruck, aber den haben wir ja auch, der ist ja auch nur ein Bar.

Folgen (1236-1258)

Festgepresster Boden

Ich glaube auch, dass da keine Tiere drin sind, oder? Wenn da schon keine Luft drin ist, und wo sollen die da denn drin leben, weil so klein können die ja auch nicht sein. Irgendwie müssten sie da ja schon durch. Ob da jetzt unbedingt eine Pflanze drin wachsen könnte, weiß ich nicht, weil sich ja auch diese Knospe oder die Pflanze erstmal durch den Boden hoch drücken muss. Wenn der so fest ist, kann ich mir auch vorstellen, dass das ziemlich schwer ist da hoch zu kommen.

Begriff Bodenverdichtung (1293-1311)

Vielleicht ist Bodenverdichtung, wenn der Boden immer härter wird, also immer dichter und die Dichte immer größer wird. Nein, die Dichte ist ja immer gleich vom Boden, egal. Der Boden wird immer enger zusammengequetscht oder so. So wie da jetzt (*Boden zusammengedrückt*), denn ich kann mir vorstellen, wenn man

den locker macht, dass der dann auch so bis hier hin geht. Weil der jetzt da so zusammengepresst ist, sind die Körnchen immer dichter aneinander.

Bodenversauerung

Material 5: Schlagzeile „Waldböden in NRW sind zur Hälfte sauer wie Essig“;

Material 6: pH-Wert-Skala

Material 7: Boden-pH (Anhang I)

Phänomenbeschreibung (959-973) (974-987)

Ich denke mal, dass die einfach sauer sind. Das ist nur die Bezeichnung für einen niedrigen pH-Wert. Also sauer und alkalisch. Der Boden hat den pH-Wert wie Essig und Essig hat einen sehr niedrigen pH-Wert, da Essig einfach nur verdünnte Essigsäure ist. Ein pH-Wert zwischen 6 und 7 ist eigentlich noch neutral. 7 ist normalerweise neutral. Aber 6, 7, 8 ist auch noch ziemlich neutral. Aber je tiefer oder je höher das geht, umso sauerer oder alkalischer wird das.

Ursachen (264-281) (948-958) (988-1000)

Als da diese Katastrophe war in Tschernobyl, da ist dieser ganze saure Regen rüber gekommen und dass deswegen, weil der pH-Wert im Boden zu hoch wurde, die ganzen Lebewesen und die Organismen da nicht mehr drin leben konnten. Das mit der Atomkraft ist eigentlich alles gar nicht so gut. Falls da eine Atombombe fällt, ist alles radioaktiv verseucht und das nimmt der Boden an, diese radioaktive Strahlung. Und dann trägt der Regen das weiter, das ist dann saurer Regen. Da wo das hin regnet, sinkt dann der pH-Wert in den Böden ab. Der saure Regen kommt von den Atomkraftwerken. Es gibt bestimmt auch noch andere Ursachen, aber ich denke, dass das eine Hauptursache ist, weil das da so extrem ist.

Folgen (948-958) (1001-1016) (1017-1050)

Wenn der pH-Wert zu sauer wird, dann können die Organismen (Lebewesen) auch nicht mehr leben, dann wollen die da bestimmt auch nicht wohnen oder dass das anfängt abzusterben. Ich denke mir, die Folge ist, dass der Boden nicht mehr so arbeiten kann wie vorher und irgendwie gestört wird und alles (Tieren, Blumen, Bäume) nicht mehr so existieren (wachsen) kann. Der Boden arbeitet, indem da Blumen (Bäume) wachsen, diese Umwandlungen mit den Tieren und alles. Dann können diese ganzen Kreisläufe nicht mehr stattfinden. Dann ist der (Boden) auch nicht mehr so wundervoll. Und ich denke auch, dass der niedrige pH-Wert Einfluss auf die Bäume hat, auf diese Umwandlungen, auf diesen Kreislauf, dieses Ammonium und alles. Zum größten Teil auf die Bäume und auf die Tiere, weil die Bäume die Schadstoffe vom Boden mit aufnehmen. Ach stimmt, die nehmen die auf, die geben die, glaube ich, gar nicht ab. Und deswegen ist auch in den Wurzeln so viel Schadstoff drin. Ja, jetzt macht das Ganze wieder viel mehr Sinn. Ich habe eben auch schon gedacht, dann müssten eigentlich in den Blättern viel mehr Schadstoffe drin sein.

Maßnahmen (264-281) (815-834)

Die Menschen versuchen ja schon den Boden zu retten, z. B. wenn der pH-Wert absinkt, dass dann Kalk drauf geschüttet wird, weil das das irgendwie neutralisiert.

Begriff Bodenversauerung (1288-1292)

Bodenversauerung ist einfach, wenn der pH-Wert vom Boden absinkt, oder?

Kreislauf (207-263) (724-769) (884-904) (1017-1050)

Im Boden ist auch Nitrit und Nitrat drin, weil die Pflanzen das brauchen. Dass da auch Ammonium mit drin ist, dass das irgendwie ein Kreislauf ist. Das wandelt sich irgendwie um, und dann ist das so, dass die Pflanzen das immer passend haben. Ich meine, dass wir in der Schule durchgenommen haben, dass der Boden auch Sauerstoff braucht. Und die Organismen im Boden für diese Umwandlungen von diesen Stoffen. Ich weiß jetzt nicht genau, ob das stimmt, aber dass Ammonium, Nitrit und Nitrat im Boden sind? Erst wird Ammonium zu Nitrit wird und dann zu Nitrat. Dann geht das irgendwie in die Pflanzen über. Die Pflanzen sterben irgendwann ab oder gehen im Winter ein und das wird wieder in Ammonium zersetzt. Das ist so ein Kreislauf. Beim Umwandeln helfen die Organismen und der Sauerstoff mit. Da wird durch diese Fremdstoffe in diesen Kreislauf eingegriffen (mit Ammonium, Nitrat, Nitrit) und auch in den Lebensraum der Tiere. Der Boden verändert sich durch diese Stoffe (Fremdstoff). Und ich denke auch, dass der niedrige pH-Wert Einfluss auf die Bäume hat, auf diese Umwandlungen, auf diesen Kreislauf, dieses Ammonium und alles.

Idealistische Naturvorstellungen (688-716) (815-834) (937-947) (948-958)

Müll ist schädlich für den Boden, weil da Fremdstoffe zu kommen und weil dann das Gleichgewicht gestört ist, weil dann Überschuss oder Mangel von irgendwelchen Stoffen da ist. Vielleicht versuchen die das auszugleichen, wenn das schädlich ist. Oder irgendein Stoff sagt, hej ich bekämpfe dich, oder so. Dann ist weniger von diesem Stoff da und das brauchen die Pflanzen eigentlich. Ich merke schon, das hängt alles zusammen. Wenn wir nicht da wären, dann würde der (Boden) fröhlich vor sich hin arbeiten, immer wieder diese Umwandlungen machen, würde fröhlich Blumen wachsen lassen. Dann die Autoabgase, die über die Bäume in den Boden kommen. Ich würde sagen, da passiert das gleiche wie mit dem zersetzten Müll. Da ist ein Fremdstoff, der nicht gut für den Boden ist. Der greift da ein und bringt das Gleichgewicht durcheinander. Dann können diese ganzen Kreisläufe nicht mehr stattfinden. Dann ist der (Boden) auch nicht mehr so wundervoll.

4.4.1.2 Tineke: Explikation

Charakteristika der Vorstellungen

Boden

Tineke ist in Bezug auf ihre Vorstellungen sehr mitteilend und versucht sich die Erklärungen ad-hoc herzuleiten, auch wenn sie im Vorfeld mit einzelnen Teilbereichen noch nicht konfrontiert wurde. Ihre Vorstellungen sind teils differenziert, teils oberflächlich, immer aber stark durch alltägliche Erfahrungen geprägt. Auffällig ist, dass eine direkte Begegnung mit dem Boden zu genauen Beobachtungen und sehr präzisen Vorstellungen führt, aber auch Fragen zum Thema Boden aufwirft. Immer wieder ist in ihren Aussagen vom Kreislauf und vom Gleichgewicht in der Natur die Rede. Dabei bezieht sie sich auf den Stickstoffkreislauf. Die Natur an sich wird als schön dargestellt („...*Wiese mit ein bisschen Gras, das ist schöner.*“, „*dann ist der Boden nicht mehr so wundervoll*“ (75f.; 957f.)). Für Tineke greift der Mensch z. B. durch Fremd- oder Schadstoffe in diese Kreisläufe ein und so wird die Natur vom Störfaktor Mensch aus dem Gleichgewicht gebracht. Diese Ansätze in den Vorstellungen könnten als idealistische Naturvorstellungen bezeichnet werden.

Die beiden Bodenproben werden von Tineke als Ackerboden bzw. als Gartenboden angesprochen. Bei genauerer Beschreibung verwendet sie eine Vielzahl von Begriffen, die häufig aus zwei Worten zusammengesetzt sind und eine eindeutige Begriffsbestimmung erschweren. Boden ist für Tineke das, worauf man steht, Erdboden ist die Erde, auf der man steht und auf der man bauen kann. Erde bezeichnet sie als braunes Zeug. Im weiteren Verlauf des Interviews spricht Tineke davon, dass es sich bei Erde um „*irgendein Schmutz oder Dreck*“ (244) handelt, worin andere Bestandteile enthalten sind. Woraus Erde besteht, ist ihr nicht klar. Tineke unterscheidet zwischen Erdboden bzw. Ackerboden und Gartenboden bzw. Blumenerde. Diese Unterscheidung ergibt sich einerseits aus der Herkunft (Acker/Wald vs. Erde aus dem Gartencenter) und andererseits aus den Merkmalen des Bodens. Ackererde ist für Tineke eher lehmiger und fester, Gartenerde fein, schwarz, locker, behandelt und sieht zu gleichmäßig aus, um natürlich zu sein. Im Interviewverlauf gibt es keine Trennung zwischen den Begriffen Boden und Erde, sie werden synonym verwendet. Andererseits werden Aussagen durch die Zuweisung verschiedener Bedeutungen zum Begriff Boden verwirrend, wie es in der folgenden Aussage deutlich wird: Ein Fluss, „... *das ist eine Delle im Boden, (...) da ist auch Boden auf dem Grund (...) Und der Boden nimmt dann das Wasser auf*“ (863ff.).

Tinekes Vorstellungen zum Aufbau des Bodens sind sehr differenziert und präzise. Auffällig ist, dass die Vorstellungen stark durch eine direkte Begegnung mit dem Boden geprägt sind. Die Schülerin beschreibt ein Bodenprofil, welches sie mit ihrem Bruder selbst ausgehoben hat, um einen Baum zu pflanzen. In ihren Aussagen sind zwei Ebenen zu erkennen (vgl. Abb. 12). Einerseits stellt sie den

Bodenkörper als ungleichmäßig und porös mit kleinen Luftlöchern und freien Stellen dar. In der Erde sind Höhlen und Tunnel von Tieren, wie dem Regenwurm und dem Maulwurf zu finden. Andererseits beschreibt sie aus ihrer Erfahrung Boden als Abfolge verschiedenfarbiger Schichten mit unterschiedlichen Merkmalen, ähnlich den Bodenhorizonten, wie sie in den Bodenkunde-Lehrbüchern beschrieben werden. Nach Tinekes Erfahrungen war bei diesem Boden eine Schicht total fest, die nächste immer lockerer, weicher oder lehmiger und etwas tiefer wurde der Boden sandig. Weiterhin wurde der Boden mit der Tiefe immer feuchter. Tinekes Meinung nach ist Boden ca. zwei bis drei Meter mächtig. Im Anschluss an den Boden stellt sich Tineke Steine vor. Daran würde sich Lava und dann der Erdkern anschließen. Diese Vorstellung entspricht in groben Zügen dem Schalenbau der Erde. Boden ist für Tineke nicht überall gleich. Sie vermutet Unterschiede z. B. in der Farbgebung oder dem Material. Sand dagegen ist für Tineke kein Boden. Sie stellt sich vor, dass am Strand unter dem Sand noch Boden vorhanden ist.

Erde besteht für Tineke aus irgendeinem Schmutz oder Dreck. Darin sind für sie verschiedene Dinge enthalten. Sie nennt Bestandteile wie Wurzeln, Stöcke, Tiere (Maulwürfe, Regenwürmer, Käfer) wie Luft, Kalk, Steinchen und Stickstoff in verschiedenen Formen. In der Erde stellt sich Tineke Freiräume vor. Boden ist für Tineke lebendig und nass.

Tinekes Vorstellungen zur Bodenentstehung sind sehr konfus. Das dargebotene Material (vgl. Material 1: Bild zur Bodenentstehung, Anhang I) wird anders interpretiert als erwartet. Sie versucht sich zu erklären, warum es unterschiedliche Bereiche, einmal mit Boden und einmal nur mit Stein gibt. Sie versucht sich her-zuleiten, was zuerst da war, Stein oder Boden. Eine Erklärung für sie ist, dass ursprünglich überall Erde vorhanden war und sich die Steine dann hoch gedrückt haben. Sie begründet diese Vorstellung damit, dass Berge immer noch wachsen. Ob Erde immer schon vorhanden war, kann sie sich selbst nicht beantworten und führt an, dass es dazu wohl verschiedene Theorien geben muss. Sie tendiert zu der Version, dass Erde irgendwie entstehen muss und begründet diese Idee mit dem Nutzen der Erde für den Menschen. Wäre die Erde die gleiche wie vor tau-send oder Millionen Jahren, wäre sie abgenutzt und könnte nicht mehr ge-braucht werden. Andererseits kann sie sich nicht vorstellen, dass Erde immer noch entsteht und sie zieht in Erwägung, dass es Erde immer schon gegeben hat. Während des Gesprächs ändert sie ihre Meinung und geht davon aus, dass Erde auch heute noch, vielleicht durch irgendwelche chemischen Prozesse, entstehen kann. Sie begründet das mit dem geologischen Prinzip, dass die Schichten mit der Tiefe immer älter werden. Sie hat ein Bild vom Querschnitt der Erde im Kopf, in welches die Schichten der Kreide- und Jurazeit eingezeichnet waren. Damit bringt sie ihre Konzepte von Boden- und Gesteinsschichten durcheinander. Tine-ke spricht davon, dass alte Schichten mit neuen überdeckt werden.

Die von Tineke beschriebenen Bodenfunktionen hängen stark mit ihrer eigenen Lebenswelt zusammen oder sind vermutlich durch den Biologieunterricht geprägt. Als erstes weist Tineke dem Boden eine lebenswichtige Funktion für Tiere, Menschen und Pflanzen zu. Sie spricht die Lebensraum- und die Produktionsfunktion an und stellt eine Kausalkette auf, nach welcher Bäume auf dem Boden stehen und mit Hilfe der Fotosynthese CO₂ in Sauerstoff umwandeln. Ohne Erde gäbe es keine Bäume und Pflanzen. Folglich hätten die Menschen keine Luft und keine Nahrung, die ja auf dem Boden angebaut wird. Weiterhin weist sie dem Boden die Trägerfunktion als Baugrund für Häuser zu. Der Großteil der beschriebenen "Bodennutzung" lehnt sich an der Freizeitgestaltung der Schülerin an. Sie nutzt Boden zum Hinlegen und Sonnen, zum Turnen. Sie geht mit ihrem Hund spazieren oder pflanzt Blumen im Garten. Auch für einen Hobbygärtner sieht Tineke Boden als wichtig an, da er diesem Spaß bereitet. Als letztes bezieht Tineke sich noch einmal auf die Lebensraumfunktion des Bodens für Tiere, welche im Boden leben, schlafen und ihre Eier legen.

Veränderungen

Tineke glaubt, dass der Boden durch den Menschen gefährdet wird bzw. der Mensch den Boden kaputt macht (Abb. 13). Der Mensch wird als Störfaktor, aber auch als Retter des Bodens dargestellt. Als Einflussfaktoren nennt sie Müll, Autoabgase, sauren Regen, Versiegelung und Schadstoffe aus der Industrie. Ohne den Menschen würde der Boden „...fröhlich vor sich hin arbeiten“, „...Blumen wachsen lassen“ und „...diese Umwandlungen machen“ (822ff.) (Fotosynthese, Stickstoffkreislauf). Tineke meint, dass der Mensch versucht, den Boden z. B. durch Düngung oder bei zu niedrigem pH-Wert des Bodens durch Kalkung zu retten. Auswirkungen einzelner Gefährdungen werden als extrem und endgültig beschrieben („...alle Bäume sind krank.“ (659), „Durch Fremdstoffe wird das Gleichgewicht gestört“ (707f.), „dann gehen alle Bäume kaputt. (...) Und dann haben wir wieder das Problem, dass wir alle tot sind.“ (922)). Dagegen wird die Gefährdung des Bodens durch Winderosion oder Bodenverdichtung gar nicht erkannt. Nicht bekannte Prozesse im Boden vergleicht Tineke mit Bekanntem aus dem Alltag und die entsprechenden Prozesse werden übertragen („Entweder der (Boden) stirbt oder fängt an zu schimmeln. ...wenn wir tot sind, können wir ja auch vermodern“ (784ff)). Gerade bei der Beschreibung der Gefährdung des Bodens bezieht sich Tineke immer wieder auf die Vorstellung, dass die Natur von Kreisläufen geprägt ist und ein natürliches Gleichgewicht besteht. Die Auswirkungen der Eingriffe wären jedoch nicht direkt erkennbar, sie treten mit Verzögerung von einigen Jahren/Jahrzehnten auf.

Müll ist für Tineke eine große Gefahr für den Boden. Dabei sieht sie den Menschen als Einzeltäter, der mit Absicht oder aus Faulheit Müll auf den Boden wirft. Der Müll würde durch Regen und den Boden zersetzt und die Schad- oder Fremdstoffe würden vom Boden aufgenommen. Durch Überschuss dieser

Fremdstoffe oder Mangel anderer Stoffe würde das Gleichgewicht gestört und in den Kreislauf und in den Lebensraum der Tiere eingegriffen. Sie stellt einen Vergleich auf, in welchem ein Fremder in eine Familie kommt und diese verändert. Der Boden würde durch irgendwelche Stoffe bekämpft. Den Pflanzen würden lebenswichtige Stoffe fehlen und die Bäume würden kaputt gehen, Tiere verschwinden oder würden aussterben. Als extreme Auswirkung beschreibt Tineke, dass wir alle tot wären. Andererseits glaubt sie, dass sich der Boden langsam erholen kann.

Tineke sagt, dass Autoabgase und Schadstoffe aus der Industrie in die Luft bzw. ins Wasser und anschließend in den Boden gelangen. Flüsse werden als „*Delle im Boden*“ (863) bezeichnet, auf deren Grund auch Boden vorhanden ist, welcher die Schadstoffe aufnehmen könnte. Als Folge der Autoabgase nennt Tineke Auswirkungen auf die Ozonschicht. Außerdem nähmen Bäume in der Stadt die Autoabgase über die Blätter auf. Die Blätter würden sich verfärben, die Bäume würden krank und könnten die Fotosynthese nicht mehr durchführen. Der Boden wäre indirekt betroffen, da die Bäume die Schadstoffe über die Wurzeln an den Boden abgeben. Tineke begründet diese These damit, dass die Schadstoffe vor allem in den Wurzeln zu finden sind. Diese Aussage wird im weiteren Verlauf des Interviews beim Thema Bodenversauerung jedoch berichtigt. Sie geht dann davon aus, dass der Baum die Schadstoffe über die Wurzeln aus dem Boden aufnimmt. Auch die Schadstoffe wären Fremdstoffe für den Boden und würden, wie der Müll, das Gleichgewicht im Boden durcheinander bringen.

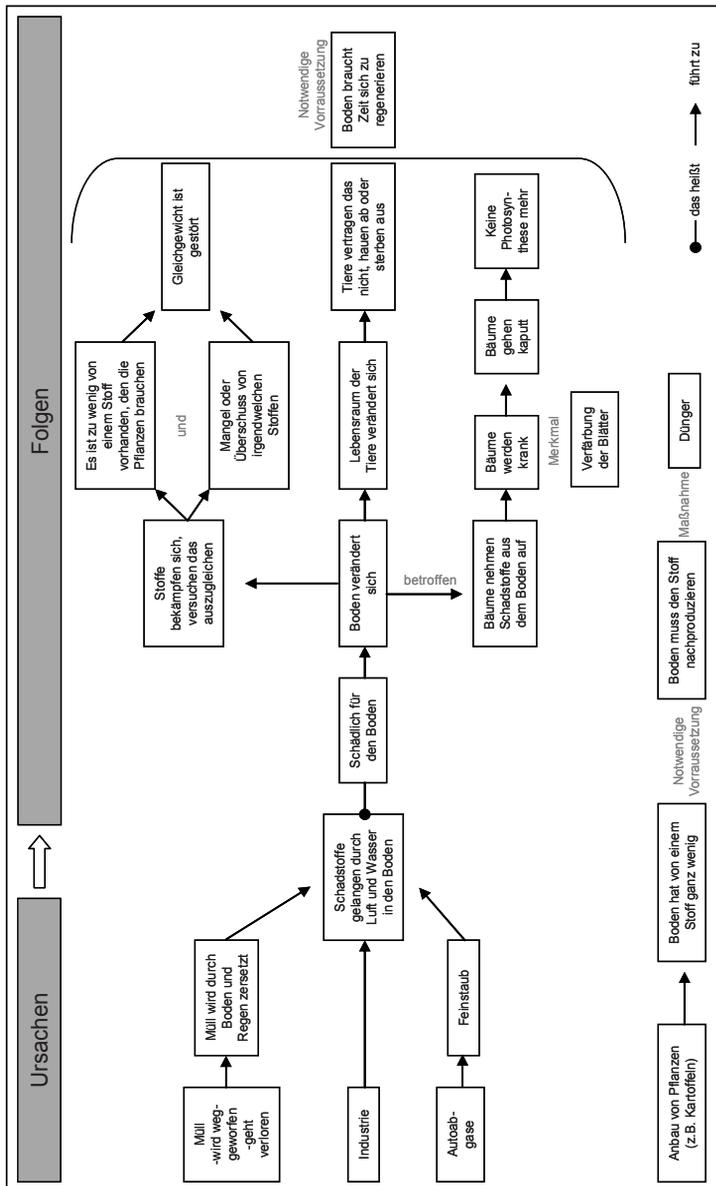


Abb. 13: SLT – Tineke: Umwelteinflüsse

Das Bebauen und Betonieren des Bodens sieht Tineke als Problem, glaubt aber, dass es auch in den Städten noch ausreichend freie Grünflächen gibt (Abb. 14). Sie meint, dass Boden durch Mangel an Sauerstoff kaputt gehen würde und der Kreislauf der Pflanzenersetzung (zu Ammonium, Nitrit und Nitrat) nicht mehr ablaufen könnte. Ohne Sauerstoff könnte der Boden nicht mehr arbeiten, wäre tot oder würde verschimmeln. Die Entstehung von Schimmel erklärt sich Tineke so, dass sich Wasser unter dem Beton erhitzt, die Wasserdämpfe nicht entweichen können und der Boden anfängt zu schimmeln. Eine Quelle dieser Vorstellung ist nicht auszumachen.

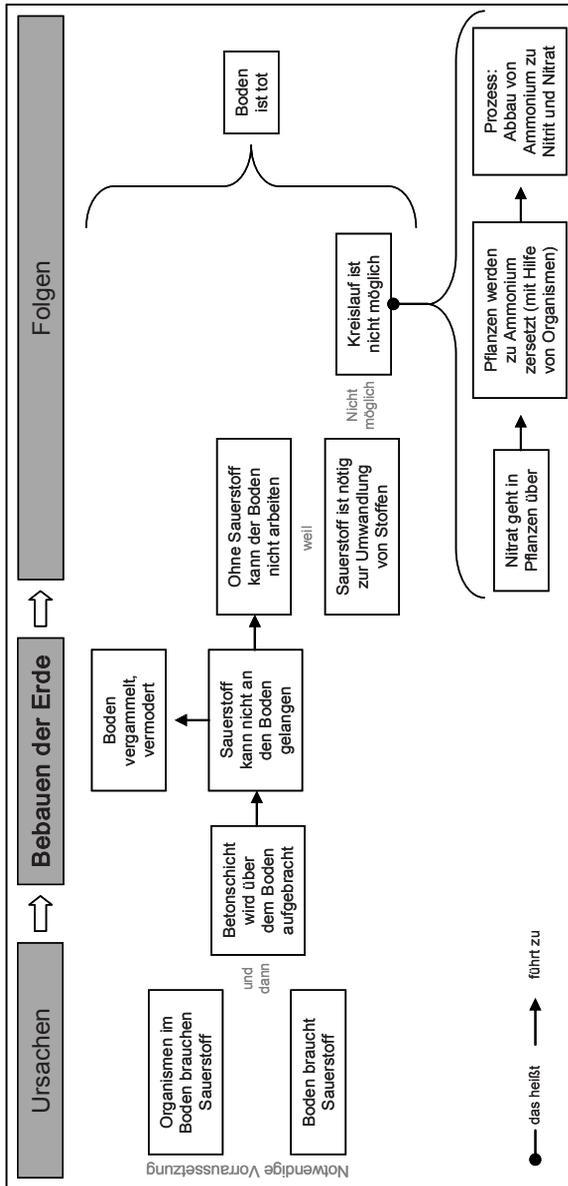


Abb. 14: SLT – Tineke: Bodenversiegelung

Das Foto zur Wassererosion kann sich Tineke nicht erklären (vgl. Material 2, Anhang I)). Sie kann sich nicht vorstellen, warum sich dort ein Graben befindet, geht auch nicht auf Folgen desselben ein.

Das Phänomen, dass die Nägel auf dem Foto immer weiter hervorstehen, erklärt sich Tineke mit einer aktiven Reaktion des Bodens (vgl. Material 3, Anhang I). Der Boden würde den Nagel als Fremdstoff erkennen, gegen diesen ankämpfen und versuchen ihn loszuwerden und abzustoßen. Diesen Vorgang verbindet sie mit Beobachtungen auf einer Baustelle.

Tineke erkennt den Prozess der Winderosion (vgl. Material 4, Anhang I) (Abb. 15). Sie weiß, dass Wind kleine getrocknete Körnchen/Sand mitnimmt. Sie glaubt aber nicht, dass es schlimme Auswirkungen hat, da der Boden woanders hingetragen wird und nicht verloren geht. Andererseits glaubt sie, dass die weggewehten Sandkörnchen keine wichtige Funktion mehr haben, da der trockene Sand, der oben aufliegt, für sie tot bzw. kein Boden mehr ist, da ihm die Feuchtigkeit fehlt, dort keine Tiere mehr rumkrabbeln und Pflanzen ihre Wurzeln eher in feuchteren Bereichen haben.

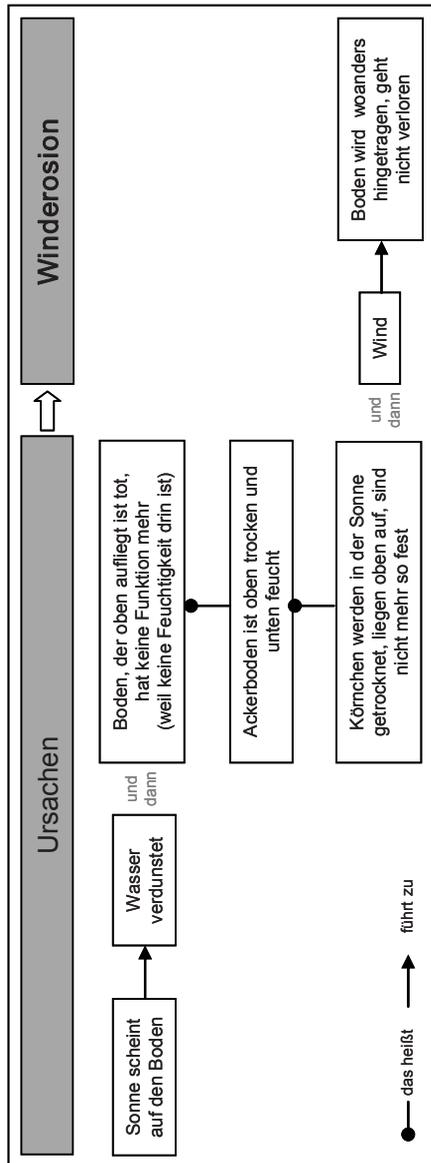


Abb. 15: SLT – Tineke: Winderosion

Das Problem der Bodenverdichtung sieht Tineke nicht (Abb. 16). Für sie sieht der Boden auf dem Foto ganz gut aus (vgl. Material 8, Anhang I) („*Das ist Ackerboden. ... Ich würde sagen, dem geht's gut.*“ (1202)). Das Wasser, das noch vom letzten Regen auf dem Feld steht, würde noch versickern. Auch im Zusammenhang mit der festen Bodenprobe ändert Tineke ihre Meinung nicht. Sie kann sich nicht vorstellen, dass der Boden auf dem Feld so fest ist. Sie würde einen so festen Boden eher in der Tiefe vermuten, da dort ein größerer Druck wegen des darauf lastenden Bodens besteht. Als Ursache für verdichteten Boden an der Oberfläche erwähnt sie das Betreten des Bodens von vielen („*tausend*“ (1269)) Leuten. Tineke glaubt, dass in einem fest gepressten Boden keine Luft mehr vorhanden ist und somit auch keine Tiere mehr drin leben könnten. Auch für Pflanzen erscheint es schwierig sich durch den festen Boden hoch zu drücken.

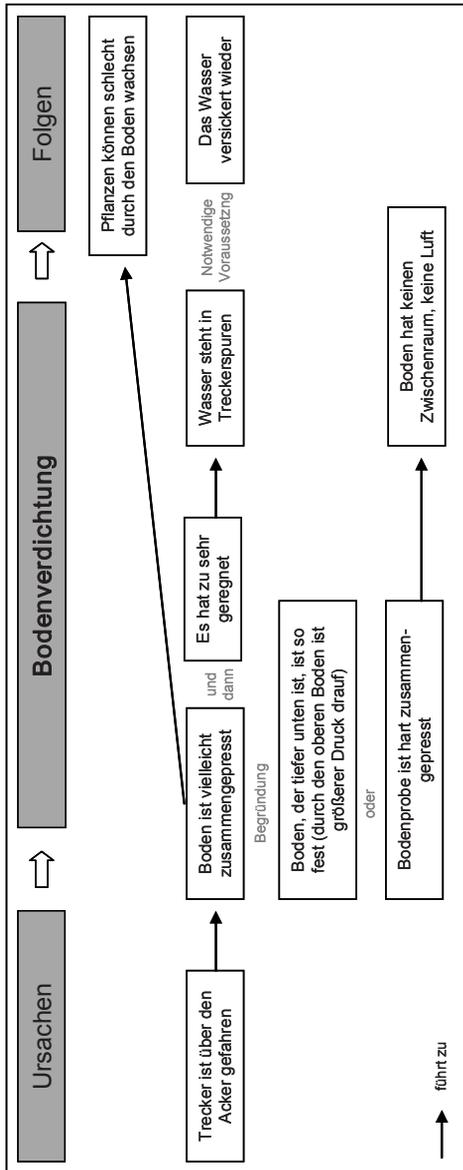


Abb. 16: SLT – Tineke: Bodenverdichtung

Das Material zur Bodenversauerung (Material 5-7, Anhang I) erklärt Tineke mit einem absinkenden pH-Wert des Bodens (Abb. 17). Als Ursache dafür sieht sie v. a. den sauren Regen, der durch Atomkraftwerke (Beispiel Tschernobyl, Atom-bombe) entsteht. Radioaktivität und saurer Regen werden von ihr durcheinander gebracht („...als die Katastrophe in Tschernobyl war,... da ist dieser ganze saure Regen rüber gekommen“ (264f.)). Während des Interviews verwechselt sie hohe und niedrige pH-Werte, sauer und alkalisch. Sie spricht einmal davon, dass der pH-Wert steigt, ein anderes Mal sinkt er. Während der Struktur-lege-Technik legt sie sich aber darauf fest, dass der pH-Wert sinkt. Bodenversauerung wirkt sich nach Tinekes Vorstellungen auf die Kreisläufe aus, die im Boden stattfinden. Sie stellt sich vor, dass der Boden nicht mehr so arbeiten kann wie vorher und gestört ist. Dadurch würde der Lebensraum von Tieren und Pflanzen beeinträchtigt, Pflanzen könnten nicht mehr so wachsen wie vorher und Tiere würden verschwinden oder sterben aus. Sie sagt, dass Bäume Schadstoffe aus dem Boden aufnehmen. Einerseits setzt sie durch diese Aussage sauren Regen mit Schadstoffeintrag gleich, andererseits widerspricht sie ihrer eigenen Vorstellung, dass die Bäume die Schadstoffe aus der Luft aufnehmen und an den Boden abgeben. Tineke fällt dieser Widerspruch auf und sie berichtigt diesen. Die These wird durch die Vorstellung gestärkt, dass Schadstoffe v. a. in den Wurzeln zu finden sind. Als Maßnahme zur Rettung der sauren Böden nennt sie Kalkung zur Neutralisation der Böden.

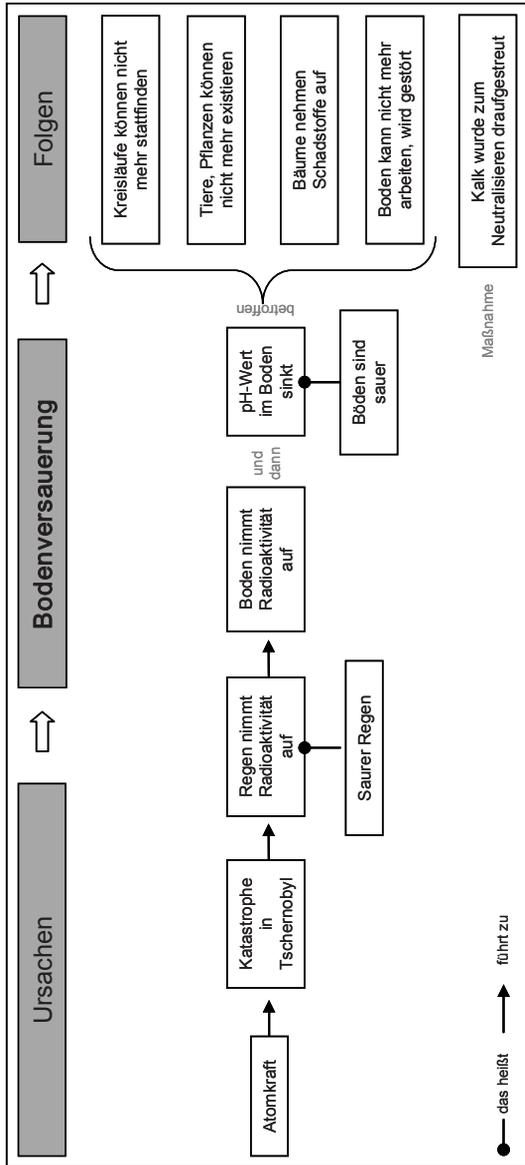


Abb. 17: Strukturdiagramm zur Bodenversauerung (Tineke)

Bedeutung von Begriffen

Mit dem Begriff Bodenerosion kann Tineke nichts anfangen. Den Begriff Bodenverdichtung verbindet Tineke mit Boden, der immer härter und dichter wird. Andererseits glaubt sie, dass die Dichte von Boden immer die gleiche ist. Sie meint, dass Boden immer enger zusammengequetscht wird und die Körnchen dichter aneinander sind. Mit Bodenversauerung verbindet Tineke, dass der pH-Wert im Boden absinkt.

Sprachliche Aspekte

Tineke benutzt eine sehr bildhafte Sprache, die voll ist mit Analogien aus dem eigenen alltäglichen Leben. Mit diesen Analogien versucht sie v. a. die Prozesse im Boden und in der Natur zu erklären (z. B. „Berge wachsen“ (367), „...wir können Erde nicht „gebrauchen, weil irgendwann ist auch Erde abgenutzt“ (459f), „...(Boden)... würde fröhlich vor sich hin arbeiten“ (822f.), „Menschen versuchen den Boden zu retten.“ (827), Boden muss Stoffe, von denen er ganz wenig hat, „nachproduzieren“ (832), Lebewesen wollen nicht mehr im Boden „wohnen“ (1022). Sie spricht von „Fremdstoffen“ (706, 887, 892), die sich im Boden störend auswirken und vergleicht das mit einem Fremden, der in eine Familie kommt und durch den sich die Familie verändert. Außerdem wird Boden personifiziert (z. B. „Boden ist ständig am „Arbeiten“ (762), wenn der nicht mehr arbeitet dann ist er doch tot/würde sterben. Boden „...möchte den Nagel loswerden, ...er reagiert darauf“ (1177ff.) (Abb. 18).

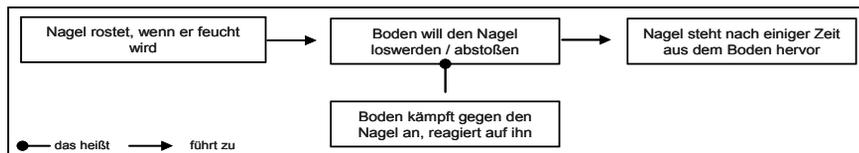


Abb. 18: SLT – Tineke: Nagelmethode

In Ermangelung von Fachbegriffen verwendet Tineke den Begriff „Stoffe“ (z. B. 215, 250, 701). Handelt es sich um Stoffe, welche ihrer Meinung nach nicht in den Boden gehören oder diesen gar gefährden könnten, nutzt sie die Begriffe „Fremdstoffe“ (706) bzw. „Schadstoffe“ (1031).

Widersprüche, Brüche, Probleme, Interessen

Tineke zeigt ein großes Interesse an ihrer Umwelt und an neuen Fragestellungen. So macht sie das Interview z. B. neugierig darauf, wie Boden entsteht oder wodurch die Unterschiede in den verschiedenen „Bodenschichten“ zustande kommen. Die Auswirkungen der Bodengefährdung benennt sie als eines ihrer Lieblingsthemen. Ihr Interesse bekundet sich auch darin, dass sie nach dem

Interview auf dem Heimweg gleich auf das Vorkommen von Grünflächen in der Stadt achten möchte.

Während des Interviews treten verschiedene Widersprüche in Tinekes Aussagen auf. Zur Bodenentstehung hat sie verschiedene Konzepte. Einmal glaubt sie, dass Boden schon immer da war und andererseits leitete sie sich im Gespräch her, dass Boden auch heute noch entstehen müsste. Für die Entstehung kommen für Tineke chemische Prozesse in Betracht, die sie aber nicht weiter erläutern kann. Das Konzept der Dichte verwirrt Tineke. Sie sagt zwar, dass Boden härter und dichter wird, revidiert diese Aussage jedoch und meint, dass Boden immer die gleiche Dichte hat. Dem widerspricht sie erneut, indem sie davon ausgeht, dass bei der Bodenverdichtung die Körnchen dichter aneinander sind. Zum Thema Umweltverschmutzung sagt Tineke, dass die Bäume die Schadstoffe aus der Luft mit den Blättern aufnehmen, diese durch den Stamm in die Wurzeln leiten und dann teilweise an den Boden abgeben. Erst beim Thema Bodenversauerung kommt sie auf die Idee, dass die Bäume die Schadstoffe mit den Wurzeln aus dem Boden aufnehmen. Sie revidiert ihre frühere Ansicht und begründet die neue These wiederum mit der Aussage, dass sich in der Wurzel der Pflanzen die meisten Schadstoffe befinden.

Herkunft der Vorstellungen

Für Tinekes Vorstellungen lassen sich drei Quellen ausmachen. Die wichtigste Quelle, die eigene Lebenswelt der Schülerin, spiegelt sich in vielen ihrer Ansichten wider. Die originale Begegnung mit dem Aushub des Bodenprofils ist besonders bemerkenswert und führt zu sehr präzisen Beobachtungen und Vorstellungen über den Aufbau des Bodens. Hinzu kommen alltägliche Beobachtungen während der Freizeit (Gärtnern, spazieren gehen) und auf dem Schulweg. Als zweite Quelle ist die Schule auszumachen. Der Biologie-Unterricht hat wahrscheinlich die Vorstellungen zu Kreisläufen (Stickstoffkreislauf) und zum Gleichgewicht in der Natur geprägt. Auch ein Ansatz der Nahrungskette und der Hinweis auf die Fotosynthese sind im Interview zu erkennen. Im Chemieunterricht wurde der Boden-pH-Wert bestimmt und die Möglichkeit der Kalkung besprochen.

Als letzte Quelle müssen die Medien genannt werden. Es tauchen Aspekte aus aktuellen Diskussionen, z. B. zum Feinstaub auf. Das Bild vom Schalenbau der Erde stammt aus einem Fernsehquiz.

4.4.1.3 Tineke: Einzelstrukturierung

Konzepte zum Boden

Begriffe

Erde

Material: Erde ist das braune Zeug.

Schmutz: Erde ist einfach irgendein Schmutz oder Dreck.

Boden

Erdboden/Ackerboden: Erdboden ist der Boden, der auf dem Acker, im Wald ist.

Er ist lehmiger, fester, den kann man nicht so zerbröseln.

Gartenboden/Blumenerde ist nicht natürlich: Gartenerde kann man im Gartencenter kaufen. Die ist schwarz mit grauen Pünktchen, fein, locker und weicher. Gartenerde lässt sich leicht zerbröseln. Sie sieht nicht natürlich aus, ist zu gleichmäßig und wird bestimmt behandelt.

Boden als Grundfläche: Boden ist das, worauf man steht, alles worauf wir bauen.

Sand ist keine Erde: Sand ist für mich keine Erde, kein Boden.

Merkmale

Lebendig: Boden lebt für mich.

Nass: Der Boden ist eigentlich nass.

Vielfalt der Böden: Ich denke nicht, dass der Boden überall genauso aussieht, dass er anders ist als ich ihn beschrieben habe. Er hat verschiedene Farben.

Boden Aufbau

Boden ist nicht gleichmäßig: Im Boden sind kleine Luftlöcher. Vielleicht ist der porös, mit kleinen Freistellen. Da sind Tunnel und Höhlen von Tieren. Pflanzen haben ihre Wurzeln im Boden.

Bodenschichten: Unter der Oberfläche sind mehrere Schichten.

Unterschiede in den Schichten:

- *Farbe:* Die Schichten haben unterschiedliche Farben: braun, schwarz, grau, gelblich.
- *Konsistenz:* Der Boden war mal lockerer, lehmig und weich, mal sandig, mal fest.
- *Feuchtigkeit:* Je tiefer das ging, desto feuchter ist der Boden geworden.

Gesteinsschichten unter dem Boden: Oben ist dieser Erdboden und darunter kommen Steine.

Mächtigkeit

Mächtigkeit: Boden ist ca. zwei bis drei Meter mächtig.

Bodenbestandteile

Erde: Dieses erdige, das auch hier in den Bodenproben ist. Irgendein Schmutz oder Dreck.

Anorganische Bestandteile: In der Erde sind Luft (-löcher), Kalk, kleine Steinchen.

Organische Bestandteile: Stöcke.

Lebende Organismen: In der Erde sind Lebewesen (Käfer, Regenwürmer, Maulwürfe, dieses Krabbeltier), Wurzeln, Gras.

Ablagerungen von den Kreisläufen: Im Boden sind Nitrit, Nitrat, Ammonium. Pflanzen brauchen Ammonium, das ist irgendwie ein Kreislauf, wovon noch Ablagerungen im Boden sind.

Bodenentstehung

Erde und Steine sind nicht gleichzeitig gekommen: Eines von beiden muss vorher da gewesen sein, es geht nicht, dass die beiden gleichzeitig gekommen sind.

Steine haben sich hoch gedrückt: Vielleicht war hier Erde und dann haben sich die Steine hoch gedrückt, wie die Berge, die wachsen ja auch immer noch.

!! Erde hat sich entwickelt: Immer kann es den Erdboden nicht gegeben haben, weil es alles irgendwann das erste Mal gab. Am Anfang war alles nur Wasser und dann kam das Land dazu.

? *Erde entsteht jetzt nicht mehr:* Aber kann Erde entstehen? Jetzt noch? Ich glaube nicht, ich weiß es aber nicht.

? *Chemische Reaktion:* Vielleicht hat sich Erde doch irgendwie entwickelt. Vielleicht irgendeine chemische Reaktion.

? *Geologisches Prinzip:* Irgendwie sind auch Steine entstanden. Kann man nicht so Erdproben nehmen und je tiefer die sind, desto älter sind die? Alte Schichten werden mit neuen überdeckt. Ich denke, dass Erde immer noch entsteht.

Erde wird abgenutzt: Wenn nichts entstehen würde, hätten wir jetzt noch die Erde wie vor vielen tausend oder Millionen Jahren. Dann könnten wir die gar nicht mehr gebrauchen, weil die irgendwann abgenutzt (aufgebraucht) ist.

Bodenfunktionen

Lebensgrundlage: Wenn es die Erde nicht geben würde, wären wir alle tot.

- *Sauerstoffproduktion:* Die Pflanzen stehen auf dem Erdboden, die Bäume wandeln durch die Fotosynthese CO₂ in Sauerstoff um. Hätten wir keine Erde, dann hätten wir keine Bäume, das heißt, wir hätten keine Luft.
- *Produktionsfunktion:* Ohne Erde würden wir verhungern. Ohne Erde hätten wir nichts zu essen, weil Gemüse und Obst auf der Erde angebaut werden.

Trägerfunktion: Häuser können nicht auf Stein gebaut werden.

Erholungsfunktion: Ohne Erde könnte man nicht auf der Wiese joggen, sich hinlegen und sonnen, irgendwelche Sportarten machen (Reiten, Fußball spielen), spazieren gehen, im Garten arbeiten.

Erdboden als „Arbeitgeber“: Für die Bauern ist Boden sehr wichtig, weil die da ihre ganzen Sachen drauf anpflanzen und davon leben die.

Lebensraum: Tiere leben im Boden, bauen teilweise ihre Höhlen in den Boden. Viele Tiere legen ihre Eier in den Boden oder schlafen auf dem Boden und essen die Pflanzen, die auf ihm stehen.

Veränderungen im Boden

Boden bleibt ähnlich: In fünfzig (hundert, tausend) Jahren stelle ich mir Boden von der Art und Weise wie heute vor. Vielleicht hat sich die Farbe verändert, aber dass der noch eine Funktion hat, wie heute. Vielleicht nicht die gleiche Funktion, weil sich alles weiterentwickelt.

Zeit: Veränderungen kann man nicht von heute auf morgen sehen, das braucht seine Zeit, bis man das merkt (dreißig bis fünfzig Jahre).

Konzepte zur Bodenzerstörung

Bodengefährdung

Mensch als Gefahr/Störfaktor: Ich finde, dass Boden durch uns gefährdet wird. Wir machen den kaputt.

Mensch als Retter: Die Menschen versuchen den Boden zu retten. Sie streuen, wenn der pH-Wert sinkt, Kalk darauf oder düngen den Boden.

Boden wird ausgelaugt: Wenn wir da nicht so viel drauf angebaut hätten, dass der Boden von einem Stoff ganz wenig hat und den erst nachproduzieren muss, dann hätten wir ihn auch nicht düngen müssen.

Umweltverschmutzung: Müll, Autoabgase, Feinstaub, Atomkraftwerke, Beton über dem Boden oder Schadstoffe aus der Industrie gefährden den Boden.

Belastungspfad Wasserkreislauf: Die Schadstoffe gelangen in die Luft und dann teilweise ins Wasser und irgendwie in den Boden. Wenn das Wasser verschmutzt ist, fließt das auch in den Boden.

Müll

Ursachen

Mensch als Einzeltäter: Menschen werfen Müll mit Absicht auf den Boden. Sie sind zu faul, ihn in den Mülleimer zu werfen. Oder ein Papier fällt aus Versehen auf den Boden.

Müll zersetzt sich: Bei uns im Wald habe ich gesehen, dass da ein Papier rum lag und das war auch schon halb weg, das wird dann durch den Boden oder den Regen zersetzt.

Folgen

Fremdstoffe: Die Fremdstoffe werden vom Boden aufgenommen.

Störung des Gleichgewichts: Durch Überschuss oder Mangel an irgendwelchen Stoffen wird das Gleichgewicht gestört.

Ausgleich: Vielleicht versuchen die das auszugleichen.

Kreislauf: Durch diese Fremdstoffe wird in die Kreisläufe und in den Lebensraum der Tiere eingegriffen.

Kämpfe: Boden wird durch Fremdstoffe bekämpft.

Mangel an Stoffen: Wenn die Stoffe, die die Bäume (Pflanzen) brauchen, nicht mehr vorhanden sind, gehen die kaputt.

Tod: Wenn die Bäume kaputt sind, haben wir wieder das Problem, dass wir alle tot sind.

Tiere verschwinden: Die Tiere vertragen das nicht, dann hauen die ab oder sterben aus.

Boden kann nicht leben: Der Boden braucht die Tiere zum Leben. Wenn die nicht mehr da sind, kann er nicht mehr so weiter leben.

Regeneration: Der Boden wird Zeit brauchen, um sich zu regenerieren.

Umweltverschmutzung

Ursachen

Umweltverschmutzung: Autoabgase und Schadstoffe aus der Industrie werden in die Umwelt geleitet.

Belastungspfad Luft/Wasser: Die Schadstoffe kommen in die Luft und auch ins Wasser, was irgendwie mit dem Boden in Berührung kommt.

Wasserverschmutzung: Das verschmutzte Wasser fließt in den Boden. Über die Flüsse, das ist eine Delle im Boden, und da ist auch Boden auf dem Grund, und so wird das Wasser dann aufgenommen.

Folgen

Ozonschicht: Autoabgase haben Einfluss auf die Ozonschicht.

Kranke Bäume: Wegen der Autoabgase sind die Bäume in der Stadt alle krank. Die Blätter verfärben sich und die Bäume können die Fotosynthese nicht vollziehen.

Belastungspfad Baum: Die Bäume geben die Schadstoffe über die Wurzeln an den Boden ab. Die Bäume werden krank und leiten das an den Boden weiter.

Schadstoffspeicher Wurzel: In den Wurzeln sind am meisten Schadstoffe.

Störung des Gleichgewichts: Fremdstoffe sind nicht gut für den Boden. Sie bringen das Gleichgewicht durcheinander.

Dünger

Ausbeutung: Wenn wir so viel auf dem Boden anbauen, dann geht nach der Ernte ganz viel von dem Stoff verloren, den die Kartoffeln brauchen.

Nachproduzieren: Der Boden braucht zwei, drei Jahre, um das Ganze nachzuproduzieren.

Bebauen

Ursachen

Beton: Es gibt viel Beton in den Städten. Auf den Autobahnen und in den Großstädten ist das sehr extrem.

Freistellen: In Münster geht das noch, wir haben die Promenade und an sich noch genügend Grünstellen.

Folgen

Stickstoffkreislauf: Boden und die Organismen im Boden brauchen Sauerstoff für die Umwandlung von Ammonium zu Nitrit und zu Nitrat. Das geht dann wieder in die Pflanzen über. Wenn die Pflanzen absterben, wird das wieder zu Ammonium zersetzt. Das ist dann immer so ein Kreislauf.

Kreislauf wird gestört: Wenn man Beton über den Boden macht, geht der kaputt. Beim Umwandeln helfen Organismen und Sauerstoff. Und wenn da eine Betonschicht drüber wäre, gäbe es keinen Sauerstoff im Boden.

? *Boden stirbt:* Boden ist ständig am Arbeiten und wenn der nicht mehr arbeitet, ist er tot oder würde sterben.

? *Boden erhitzt sich und schimmelt:* Der Boden ist feucht und wenn man eine Betonschicht drüber macht, dann erhitzt sich das Wasser. Die Wasserdämpfe können nicht raus und es schimmelt.

Wassererosion

Material 2: Foto Bodenerosion (Anhang I)

Zu diesem Foto sind keine Konzepte vorhanden.

Material 3: Foto Nagelmethode (Anhang I)

Boden kämpft gegen Nagel: Der Boden versucht den Nagel (Fremdstoff) loszuwerden bzw. ihn abzustoßen. Der Boden kämpft gegen den Nagel an.

Winderosion

Ursachen

Wind weht Körnchen weg: Der Wind, der über den Boden weht, nimmt die kleinen Körnchen, die oben drauf liegen und von der Sonne getrocknet wurden, mit.

Sonne trocknet Boden: Die Sonne scheint oben drauf und das Wasser verdunstet. Oben ist der Boden trocken und unten feucht.

Folgen

Keine schlimmen Auswirkungen: Das hat keine schlimmen Auswirkungen. Der Wind trägt den Boden woanders hin. Der geht nicht verloren.

Trockener Sand hat keine Funktion: Ich glaube nicht, dass die Sandkörnchen noch eine Funktion haben. Der Boden, der oben aufliegt, hat keine Feuchtigkeit mehr. Dort gibt es keine Tiere und Pflanzen, haben ihre Wurzeln auch eher in feuchteren Bereichen

Begriff Bodenerosion: Hierzu ist kein Konzept vorhanden.

Bodenverdichtung

Material 8: Foto Bodenverdichtung (Anhang I)

Ursachen

Zu viel Wasser: Dem Boden geht es gut. Der Boden hat etwas zu viel Wasser. Vielleicht hat es ganz viel geregnet. Das versickert irgendwann.

Trecker Spuren: Vielleicht ist der Boden auf dem Foto auch so zusammengepresst, weil da ein Trecker drüber gefahren ist.

Tiefer Boden ist fest: Boden, der tiefer ist, ist fest, weil da eine viel größere Last drauf ist wegen dem schweren Boden der da drüber liegt. Der obere Boden ist nicht so fest.

Folgen

Kein Platz: In festem Boden ist keine Luft drin, da können auch keine Tiere drin leben. Pflanzen haben es schwer, sich durch den Boden hoch zu drücken.

Begriff Bodenverdichtung

~~*Boden wird dichter:* Boden wird immer härter also dichter, die Dichte wird immer größer.~~

Dichte bleibt gleich: Dichte vom Boden bleibt immer gleich.

Zusammengequetscht: Boden wird immer enger zusammengequetscht.

Bodenversauerung

Ursachen

Niedriger pH-Wert: Sauer ist die Bezeichnung für einen niedrigen pH-Wert.

~~*!! Saurer Regen führt zu hohen pH-Werten:* Als der saure Regen von Tschernobyl über gekommen ist, wurde der pH-Wert im Boden zu hoch.~~

!! Saurer Regen führt zu niedrigen pH-Werten: Wo der saure Regen hin regnet, sinkt der pH-Wert in den Böden ab.

Atomkraftwerke: Der saure Regen kommt von den Atomkraftwerken.

Radioaktive Strahlung: Falls eine Atombombe fällt, ist alles radioaktiv verstrahlt. Dann trägt der Regen das weiter. Dann ist das Saurer Regen.

Folgen

Organismen verschwinden: Wenn der pH-Wert zu niedrig ist, können Organismen/Lebewesen da nicht mehr leben, sie wollen da nicht mehr wohnen oder sterben ab.

Kreisläufe sind gestört: Die ganzen Kreisläufe können nicht mehr stattfinden. Der Boden kann nicht mehr arbeiten wie vorher, Tiere und Pflanzen können nicht mehr so existieren. Der pH-Wert hat auch Einfluss auf die Umwandlungen (Ammonium).

!! Bäume nehmen Schadstoffe aus dem Boden auf: Bäume nehmen Schadstoffe aus dem Boden auf, Sie geben die nicht ab. Deswegen sind auch in den Wurzeln so viele Schadstoffe drin.

Maßnahme

Kalkung: Wenn der pH-Wert absinkt, wird Kalk auf den Boden geschüttet, weil das neutralisiert.

Begriff Bodenversauerung: Der pH-Wert im Boden sinkt.

4.4.2 Interview 2: Moritz (15 Jahre alt)

Transkript und redigierte Aussage im Anhang

4.4.2.1 Moritz: Geordnete Aussage

Boden

Bodenproben Ansprache (1-12)

Probe lehmiger Boden/Rendzina (P1), Probe feinsandiger Boden mit hohem Humusanteil/Gartenerde (P2): Das fühlt sich wie Erde an, die man im Garten benutzt, da sind auch noch feste Steine drin. Das ist sehr, sehr grob (P1). Hier sind sogar noch Wurzeln (lacht), das ist aber noch weicher. Das könnte sehr aufgelockert sein (P2) im Gegensatz zu dem hier. Beides ist Erde.

Boden Begriffsbestimmung (13-45)

Erde stelle ich mir schwärzer vor. Erde findet man oft auf Feldern (vom Boden auf Felder). Es ist sehr braun, braun-schwarz, kleine Körner, formbar, vielleicht auch noch mit Naturresten drin, klumpig, nass, feucht, kann auch trocken sein.

Boden ist fast das gleiche, nein. Boden ist für mich eine Grundfläche, glatte Fläche, wo man was drauf tun kann. Oder sogar die Oberfläche von Erde. Oder den oberen Teil würde ich auch als Boden bezeichnen.

Auf einem Spielplatz oder im Sandkasten wäre das ein Unterschied. Der **Sand** würde für mich nicht zur Erde (Boden) dazuzählen. Das wäre einfach nur Sand.

Boden - Aufbau und Schichten - Unterschiede (72-115) (116-151) (Abb. 19)

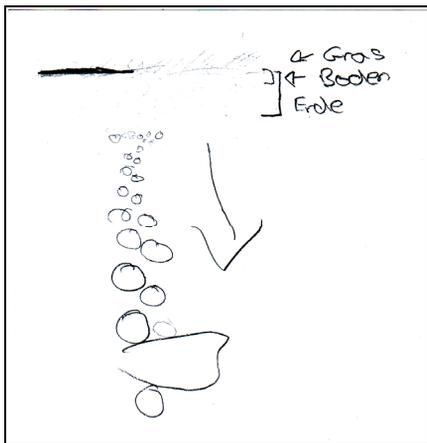


Abb. 19: Bodenaufbau: Korngröße nimmt mit der Tiefe zu (Moritz)

Erst ist Gras unter meinen Füßen und Boden. Darunter ist dann wieder Erde. Das ist kein 10 cm Stück, sondern ein paar (zwei, drei, vier) Meter. Das ist erstmal sehr fein (Erde) und dann wird das immer größer, kleine Sandsteine, Quatsch, kleine Steine und nachher sind da Klumpen. Wenn die Steine größer werden, wird auch die Fläche größer. Eigentlich ist es genau verkehrt, dass die Steine hier oben so fein und dann unten immer gröber werden, eigentlich müsste das Feine ja runter fallen. Aber ich denke, das ist alles so fest, oder dass die Fläche oben bearbeitet wird, durch Gehen oder sonstige Sachen. Und unten passiert nicht so viel. Tiere sind auch in der Erde und Blätter, die runterfallen, die zersetzen sich dann in Erde, dadurch ist es oben feiner. Erde kann auch absacken, vielleicht liegt das dann an den großen Steinen, wo noch Platz zwischen ist, da rutschen auch mal feine Körner rein.

Unten wird es dann fester. Das ist unberührt und der ganze Druck, der da vielleicht von oben kommt. Die Erde wiegt ein bisschen was und drückt das dann nach unten. Deswegen ist das unten sehr fest.

Boden Bestandteile (13-45) (46-71) (116-151) (222-245) (475-497)

Es ist mit kleinen Körnern, vielleicht auch noch mit Naturresten drin. Erde ist, was hier im Behälter drin ist. Auf jeden Fall sind noch Wurzeln, ein paar (kleine) Tiere, Blätter, Blätterreste (Pflanzenrest), Steine, Nährstoffe darin enthalten. In der Erde ist auch immer ein Wasseranteil drin.

Merkmale (13-45)

Erde ist sehr braun, braun schwarz, mit kleinen Körnern, formbar, vielleicht auch noch mit Naturresten drin, klumpig, nass, feucht, kann auch trocken sein.

Bodenentstehung (152-206) (207-221)

Material 1: Bodenentstehung (Anhang I)

Eine große Felswand zerbricht. Von oben kommt Steingeröll runter und umso tiefer das wird, umso feiner wird das eigentlich und da, wo die Pflanzen stehen, ist die Erde. Man sieht auch Risse darin. Die Steine unten im Bild werden größer und umso weiter man nach oben geht, desto kleiner und feiner werden die Steine. Dadurch entsteht vielleicht Erde und auch durch die Prozesse dort oben an der Oberfläche. Blätter fallen runter und zersetzen sich (auch Gras). Tiere ermöglichen, dass die Steine kleiner und feiner werden. Ich denke nicht, dass Tiere so tief kommen und deswegen Steine vielleicht auch nur bis zu einer bestimmten Stelle kleiner werden. Ach nein, das hat ja auch was mit der Kälte und Hitze zu tun. Sachen dehnen sich aus, wenn sie kälter werden. Wenn es kalt ist oder gefriert, dass die (Straßen) aufbrechen (Risse entstehen). Bei Kontinentverschiebung kann auch nicht alles heil bleiben. Ob die Prozesse alle stimmen? Wenn aus so einem großen Klumpen (Steinklumpen) so feine Erde wird, dauert das, wenn das so naturell ist, sehr lange. Schon ein paar Jahre (dreihundert Jahre).

Mächtigkeit (72-115)

Ein paar (zwei, drei, vier) Meter.

Bodenfunktionen (222-245) (246-283) (284-291) (297-314) (475-497)

Erde ist Grundlage für Pflanzen und Tiere. Ohne diese Erde kann es ja kein Leben geben. In der Erde sind Nährstoffe enthalten und die kann man in Steinen (großen Felsen) nicht speichern und deswegen könnten auch keine Pflanzen wachsen, sich da fest ankern. Erde speichert Wasser (nimmt auf), deswegen ist sie feucht und das ist dann wieder gut für die Pflanzen, weil die das Wasser aus der Erde ziehen. Auch (kleine) Tiere, die in der Erde sind, gibt es nicht, wenn es keine Erde gäbe. Wenn es regnen würde und da wären nur Steinfelsen, dann würde das Wasser fließen. Stein nimmt kein Wasser auf, dann würden sich Seen bilden, Meere. Erde hat die Bedeutung von Erschaffung, also Leben. Das treibt das so ein bisschen an. Erde ist für die Tiere Lebensraum (ein wichtiger Faktor). Man kann Erde im Supermarkt kaufen, zur eigenen Gartenpflege.

Bedeutung: Menschen denken nicht so oft (viel, nicht genug) über die Erde nach. Das habe ich auch nicht gemacht. Für die Umwelt wäre das natürlich wichtig. Und wenn man nicht darauf aufpasst, dann wird man sich ja selber vernichten. Wenn man Erde zum Beispiel verschmutzen oder ich weiß nicht was damit machen würde, würde man eigentlich die eigene Menschheit (sich selber, seine Nachkommen) oder auch die ganzen Tiere und alles aussterben lassen.

Bodenveränderung/Bodenerstörung

Veränderungen allgemein (246-283) (297-314)

Wenn man Erde verschmutzt, würde man eigentlich die Menschheit (sich selber, seine Nachkommen) oder auch die ganzen Tiere und alles aussterben lassen. Erde verschwindet immer mehr oder wird überdeckt. Man wird nicht mehr so oft Erde antreffen. Entweder man transportiert sie (für den Eigenbedarf des Menschen) irgendwo anders hin oder man macht sie nicht sichtbar, baut irgendwas drauf oder verdeckt sie. Vielleicht kann sie auch selbst zerfallen.

Umweltverschmutzung (394-431)

Erde kann durch Chemikalien, Müll verschmutzt werden. Der Regen nimmt die Chemikalien mit oder sie gelangen von alleine in die Erde, aber flüssig. Im Wasser ist meistens auch schon Öl oder Spülmittel und das verdunstet mit dem Wasser und kommt dann wieder runter. Es (Schädlingsbekämpfungsmittel) wird auch auf den Feldern gespritzt, dann kommt das mit runter. Die Chemikalien sind nicht immer im Wasser, die kommen durch menschliche Tätigkeiten, z. B. durch Fabriken dazu oder jeder Haushalt produziert seinen Müll. Wenn das mit dem Regen in den Boden geht, wird die Erde verschmutzt und dann fressen die Tiere das und sterben. Dann wird auch wieder diese Kette unterbrochen. Das kommt natürlich auch wieder ins Grundwasser. Das heißt, man vergiftet sich eigentlich selber.

Bebauen (315-393)

Ursachen

Erde wird durch Bebauung überdeckt. Der Mensch wird immer mehr, obwohl er fast am Ende von der Nahrungskette steht. Er wird mehr und nicht weniger, wie das eigentlich normal wäre, wenn die Kleineren aussterben würden. Deswegen braucht man wieder Platz. Es ist eigentlich ein Teufelskreis.

Folgen

Dadurch, dass mehr bebaut wird, wird dann der naturelle Raum (Natur, Erde, Boden) wieder verkleinert. Das ist ja eigentlich so ein Kreislauf? Wenn man was (Haus, Straße) auf die Erde bauen würde, dann könnte nichts mehr drauf fallen und keine neue Erde mehr produziert werden. Die Blätter würden dann von der Straße aufgefangen werden. Man würde sozusagen Erde im späteren Sinne wieder wegtransportieren. Außerdem drückt das dann auch wieder (alles wird gepresst). Tiere können nicht mehr darin wohnen. Da ist kein Luftzugang mehr. Und Tiere lockern den Boden (die Erde) eigentlich auf. Vielleicht trocknet das auch aus. Archäologen arbeiten mit so Techniken, dass man am Gras erkennen kann, ob da mal eine Mauer stand oder nicht. Da muss sich irgendetwas verändert haben, wenn man da drauf baut. Auf jeden Fall rutscht das, wenn das gepresst wird. Vielleicht gehen auch Nährstoffe verloren. Die ganze Kette (Nahrungskette, alle Ketten) wird unterbrochen oder verringert und so schafft sich der Mensch mehr Platz (Raum) und verdrängt dann die anderen. Wenn Pflanzen Sauerstoff produzieren und das immer mehr überbaut wird und Pflanzen weg müssen, dann stimmt das Gleichgewicht nicht mehr. Die Tiere hätten nicht mehr so viel kleinere Tiere zu essen. Die größeren Tiere würden dann auch weniger werden.

Bodenerosion

Wassererosion

Ursachen

Material 2: Foto Bodenerosion Wasser(Anhang I) (498-574)

Das Wasser hat die Erde (den Sand) zusammengedrückt und sich seinen Flussweg gemacht. So sind früher Flüsse entstanden. Das Wasser würde hier geradeaus fließen, hier ist es dann nicht weiter gekommen, weil es vielleicht durch Lehm (andere Sachen) so hart war und ist dann außen herum geflossen. Deswegen kam vielleicht diese Kurve. Sonst wäre es ja eine ganz gerade Linie. Vielleicht sind da jetzt Gänge und die werden dann wieder von den Seiten zusammengedrückt, dass die Erde dann immer nachrückt? Oder das Wasser nimmt immer mehr Erde mit und drückt das dann zusammen. Drückt die das jetzt platt oder nimmt die das mit? Das Wasser ist dann meistens auch eher braun. Aber wo das Wasser hergekommen ist, ist es ja noch sehr fest. Vielleicht drückt sie das erst fest und wenn dann Wasser nachkommt, nimmt es von den Seiten (oder von vorn herein) die Erde mit.

Material 3: Foto Nagelmethode (Anhang I)(614-681)

Der Boden wird wahrscheinlich runtergedrückt und dadurch sieht das so aus, als ob der Nagel nach oben gekommen wäre. Vielleicht könnte es auch wieder Wasser (eine Wasserspur) sein. Es sieht ein bisschen feucht aus. Hier sind sogar schon Risse. Die Erde ist nicht mehr so locker. Und wenn da Wind herfegen würde, hätte der nichts zum Wegwehen. Irgendwie sackt das dann natürlich ein. Für mich sieht das hier wie Sommer aus (Bild mit Rissen im Boden). Diese Risse kenne ich, aber nur im Sommer. Vielleicht verdunstet das Wasser und die Risse entstehen, weil die Erde heiß wird und sich wieder ausdehnt?

Folgen (498-574) (614-681)

Wenn das Wasser die Erde immer mitnimmt, würde wahrscheinlich immer mehr Erde verschwinden. Aber das wäre jetzt wirklich extrem. Weil das so weich ist, kann man das leichter mitnehmen.

Die Pflanzen brauchen eigentlich lockeren Boden, um die Wurzeln da rein zu bekommen. Hier (wo es platt ist) ist es total schwer, hier ist es einfacher seine Wurzeln zu vergraben. Denn da ist es ja noch ein bisschen lockiger, flockiger und hier ist schon fast Wand (zu fest) und deswegen könnten sich da nicht so viele (keine) Pflanzen und Tiere ansiedeln.

Winderosion (575-613)

Bedeutung Wind (462-474)

Kleine Steinchen werden vom Wind weiter getragen. Da ist immer Bewegung. Das hat bestimmt eine Bedeutung, aber ich wüsste jetzt keine.

Ursachen

Material 4: Foto Winderosion (Anhang I)

Das sind kleine Sandkörner, weil man sieht, dass da hinten ein bisschen mehr Wind ist und dass da so kleine Rillen durch den Wind sind. Der Wind nimmt diese kleinen Sandkörner mit, schiebt sie vielleicht aufeinander und dann fällt der irgendwie wieder runter.

Folgen

Vielleicht entstehen deshalb auch diese Berge von kleinen Sanden und hier oben diese kleinen Sandkörner, die getragen werden. Vielleicht lockert das auf, obwohl es eigentlich schon locker ist.

Bedingungen (475-497) (575-613)

Ohne Wasser wäre es trocken, leicht und dadurch könnte der Wind schneller mehr wegwehen. Wenn das nass ist, passiert das nicht so. Dann bleibt das da, weil das eine festere Masse und irgendwie ein bisschen klebrig ist. Ich denke schon, dass das bei jedem Feld passieren kann.

Begriff Bodenerosion (842-860)

Erosion. Ich glaube, ich habe das im Zusammenhang mit Kälte gehört. Wenn das trocknet, dann wird es wieder fest. Dann entstehen diese Ritzen, also muss es wohl irgendwas damit zu tun haben.

Bodenverdichtung

Ursachen (778-796) (797-841)

Material 8: Foto Bodenverdichtung (Anhang I)

Auf dem Feld und in den vielen Traktorspuren steht dreckiges Wasser. Sieht für mich schon fast wie das Kanalisationswasser aus. Es kann entweder Erde sein, die das Wasser mitnimmt, oder auch Dünger. Und das sammelt sich da drin. Der Boden (die Erde) wurde durch den Traktor zusammengedrückt (gepresst), der ist ja ein bisschen schwerer. Eigentlich ist der Boden viel höher. Dadurch ist er dann dichter und das Wasser sammelt sich da und verteilt sich nicht.

Festgepresster Boden

Da wurde Erde zusammengedrückt. Die Masse bleibt gleich, aber das Volumen? Ist egal, hier wurde das dann zusammengedrückt und kleiner. Da ist keine Luft mehr zwischen, wobei die andere Probe noch sehr flockig ist und man die einzelnen Körner noch bewegen kann und hier halt nicht mehr. Das vom Traktor Plattgedrückte müsste hier sein, wo sich dann das Wasser drin sammelt.

Folgen (797-841)

Das Wasser nimmt (wenn es sich bewegt) auch die Oberfläche des Zusammengeprägten mit. Auf jeden Fall sackt das wahrscheinlich noch mehr ein. Der Boden wird dadurch sehr fest und dichter. Und das hatten wir gerade, dass sich da nicht so gut Pflanzen ansiedeln können und dann wieder die ganze Kette. Das sieht fast schon so aus, als ob das Wasser das Feld überschwemmt. Das Wasser kann nicht absinken, wenn das da so fest ist. Deswegen muss es auf dem Feld bleiben, bis es wieder verdunstet. Auf dem Feld sind, wenn mit diesen Schädlingsbekämpfern gespritzt wurde, auch wieder Chemikalien und die werden dann auch vom Feld verdunstet.

Bedeutung der Luft (682-690)

Luft kann warm und kalt sein. Vielleicht drückt Luft auf den Boden? Menschen spüren den Luftdruck nicht, aber vielleicht wirkt sich das ja trotzdem aus? Nein, glaub ich aber nicht.

Begriff Bodenverdichtung (868-879)

Das müsste das Feste sein, wenn die Erde dichter, zusammengedrückt wird. Das war auf dem Bild mit dem Trecker. Vielleicht passiert das auch wegen der Säure, dass da irgendwie was mit geschieht?

Bodenversauerung (691-777)

Material 5: Schlagzeile, „Waldböden in NRW sind zur Hälfte sauer wie Essig“

Material 6: pH-Wert-Skala

Material 7: Boden-pH (Anhang I)

Ursachen

Sauer heißt, dass da Säuren sind. Man kennt sauren Regen. Saurer Regen entsteht durch die Verdunstung von Wasser und Schadstoffen, die dann mitkom-

men, und dann bilden sich Wolken. Das wird in den Wald transportiert und dann fällt das Wasser mit den Schadstoffen wieder runter (auf den Boden). Oder er entsteht durch Rauch, der von Fabriken aufsteigt und wird, wenn es regnet, wieder mit nach unten gespült. Wahrscheinlich wird die Erde deswegen so fest? Das Wasser sickert dann (in die Erde) ein und die Schadstoffe mit, oder sie bleiben oben auf dem Boden. Der pH-Wert ist durch den sauren Regen drastisch gesunken. Umso mehr saurer Regen dazu kommt, desto höher wird die Konzentration, die sich dann sammelt und deswegen auch der niedrige pH-Wert.

Folgen

Vielleicht machen Säuren Nährstoffe kaputt. Zersetzen das auch. Die Folge daraus wäre, dass der Wald abstirbt, weil die keine Nährstoffe mehr haben oder davon zersetzt (angegriffen) werden. Durch den Wegfall von den Bäumen und Pflanzen ist auch kein Leben mehr möglich. Die Nahrungsquelle für die Tiere wäre nicht mehr vorhanden und deswegen könnten dann auch die anderen Tiere nicht leben. Das ist wieder diese Kette.

Begriff Bodenversauerung (861-867)

Das war das mit der Säure. Dass dieser Regen mit den Schadstoffen auf den Boden fällt und dann dieser pH-Wert von 2000, 4, entsteht.

Kette (315-393) (394-431)

Die ganze Kette wird unterbrochen oder verringert. Ich meine die Nahrungskette, eigentlich alle Ketten, z. B. wenn Pflanzen Sauerstoff produzieren und das wird immer mehr überbaut und Pflanzen müssen weg, dann stimmt das Gleichgewicht nicht mehr. Und die Tiere hätten dann nicht mehr so viel kleinere Tiere zu essen. Dadurch würden dann auch die größeren Tiere weniger werden. Der Mensch wird immer mehr, obwohl er fast am Ende von der Nahrungskette steht. Es gibt immer mehr Menschen und deswegen braucht man wieder Platz, also es ist eigentlich ein Teufelskreis. Dadurch, dass mehr bebaut wird, wird dann der natürliche Raum (Natur, Erde, Boden) wieder verkleinert. Die Schadstoffe gehen mit dem Regen in den Boden. Dadurch wird die Erde verschmutzt und dann fressen die Tiere das und sterben. Dann wird auch wieder diese Kette unterbrochen. Und dann kommt das ins Grundwasser. Das heißt, man vergiftet sich eigentlich selber.

4.4.2.2 Moritz: Explikation

Charakteristika der Vorstellungen

Boden

Moritz grenzt die Begriffe Boden und Erde klar voneinander ab. Boden ist für Moritz eine Grundfläche oder glatte Fläche, auf der man etwas tun kann. Boden ist die Oberfläche von Erde. Der Begriff Erde entspricht bei Moritz eher dem in der Fachwissenschaft genutzten Bodenbegriff und wird als Material, das man auf Feldern findet oder im Garten benutzt, dargestellt. Erde befindet sich für Moritz unter dem Boden und reicht zwei bis vier Meter in die Tiefe. Moritz stellt sich

vor, dass Erde aus kleinen Körnern und Steinen mit Naturresten besteht. Dabei enthält sie Wurzeln, kleine Tiere, Blätter, Pflanzenreste, Wasser und Nährstoffe. Eine Einteilung in organische und anorganische Bestandteile ist Moritz nicht bewusst. Als weitere Merkmale nennt Moritz die braune oder braunschwarze Färbung der Erde, die nass, feucht oder trocken sein kann. Erde sei formbar. Unter der Erde werden die Steine in Moritz Vorstellung immer größer (vgl. Abb. 19). Das feine Material befindet sich dementsprechend oben und die großen Steine unten. Für Moritz ist seine Vorstellung unlogisch, da er davon ausgeht, dass die feinen Substanzen in die Zwischenräume der großen Steine fallen bzw. hindurch fallen müssten. Er erklärt sich diesen Widerspruch damit, dass der Boden an der Oberfläche „bearbeitet“ (120) wird, das bedeutet für ihn, dass hier Tiere vorhanden sind und Pflanzenreste zersetzt werden. Diese Prozesse kämen tiefer in der Erde, wo die Steine größer und es fester wird, nicht mehr vor. Die Steine wären „unberührt“. Dass es mit der Tiefe fester wird, erklärt sich Moritz mit dem bestehenden Druck durch das auflastende Gewicht der Erde. Für die Entstehung des Bodens kommen für Moritz verschiedene Prozesse in Betracht, in welchen man Teilaspekte von Verwitterung und Zersetzung erkennen kann. Einerseits beschreibt er die Zerkleinerung von Steinen. Hierbei geht er davon aus, dass Steine von einer Felswand abbröckeln, runterfallen und so immer kleiner werden. Für Moritz sind es v. a. die Tiere, die die Steine zerkleinern. Er verortet den Prozess der Zerkleinerung an der Oberfläche der Erde. Das hängt für ihn damit zusammen, dass die Tiere nicht so tief kommen können. Also würden die Steine nur bis zu einer bestimmten Tiefe kleiner. Als weitere bodenbildende Faktoren nennt Moritz Hitze und Kälte und die Kontinentalverschiebung, welche zu Rissen im Boden führen können. Auch die Zersetzung von Blättern trägt für ihn zur Bodenbildung bei. Die Zeitspanne, in welcher sich aus großen Steinen feine Erde bildet, beziffert Moritz mit ca. dreihundert Jahren.

Als Bodenfunktionen nennt Moritz die Lebensraumfunktion für Tiere und Pflanzen, die Funktion als Nährstoff- und Wasserspeicher und die Erholungsfunktion mit dem Beispiel Gartenpflege. Erde ist für Moritz überlebenswichtig, da ohne die Erde Tiere und Menschen aussterben würden.

Veränderungen

Als mögliche Veränderungen benennt Moritz die Verschmutzung, die Versiegelung und den Abtransport der Erde für den eigenen Bedarf. Er zieht aber auch in Betracht, dass Erde von selbst zerfallen kann. Während des Interviews geht er aber nicht genauer darauf ein.

Moritz stellt sich vor, dass durch die Vermehrung der Menschen und deren steigenden Platzbedarf immer mehr Erde durch Bebauung überdeckt wird (Abb. 20). Dadurch würde der Naturraum immer kleiner und Pflanzen würden verschwinden. Als Folge könnte keine Erde mehr produziert werden, da die runter fallenden Blätter von der Straße gekehrt werden würden. Tiere würden ihren Lebensraum verlieren und es gäbe keinen Luftzugang zur Erde. Moritz meint, dass die

Tiere sonst alles auflockern, was durch den Abschluss des Bodens durch die Verbauung nicht mehr möglich wäre. Durch diese Unterbrechung der Nahrungskette gäbe es immer weniger kleine Tiere. Da die größeren Tiere nun nichts mehr zu fressen hätten, würden auch sie weniger werden. Als weitere mögliche Folgen nennt Moritz Nährstoffverluste und eine Störung des Gleichgewichtes durch geringere Sauerstoffproduktion der Bäume. Für Moritz handelt es sich um einen „*Teufelskreis*“ (378), bei dem das Gleichgewicht bzw. die Nahrungskette gestört (unterbrochen, zerstört) wird. Für ihn ist aber unlogisch, dass die Menschen mehr werden, obwohl die größeren Tiere weniger werden und die Menschen doch am Ende der Nahrungskette stehen.

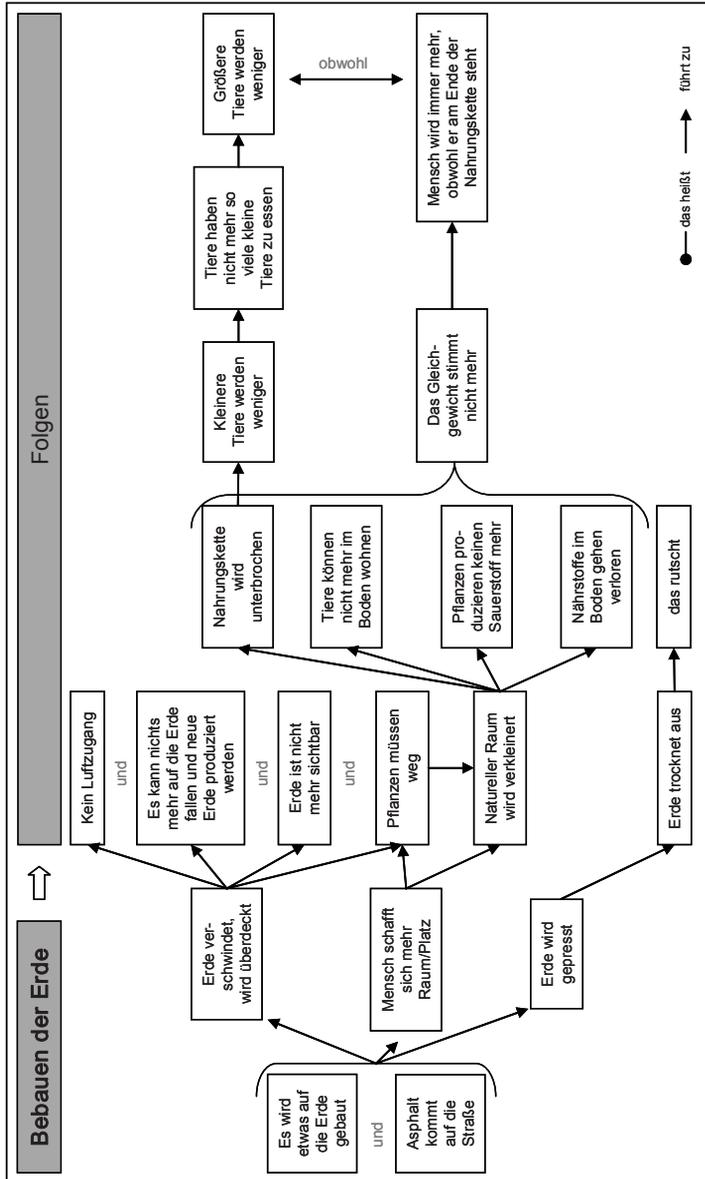


Abb. 20: SLT – Moritz: Bebauung

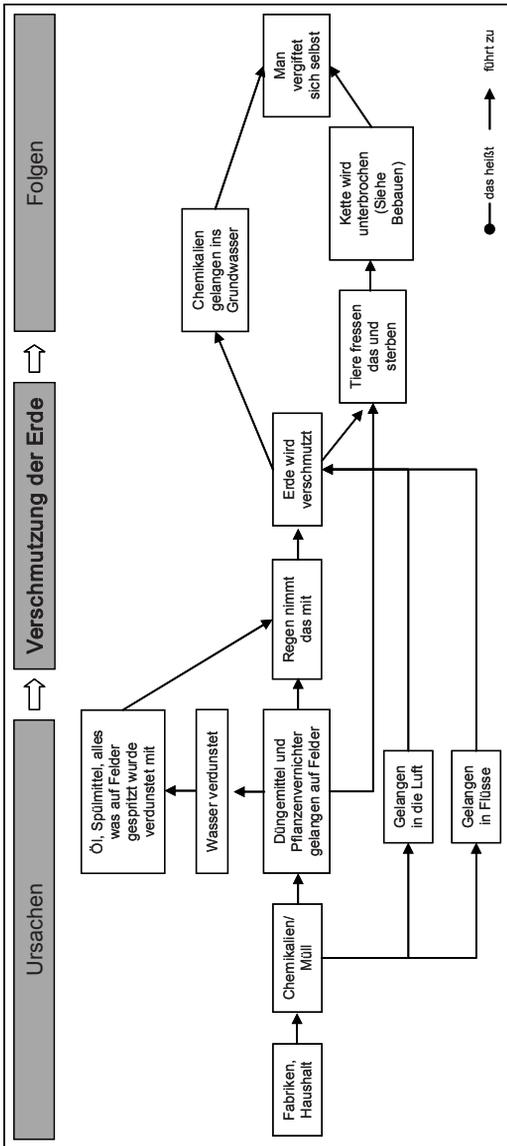


Abb. 21: SLT – Moritz: Verschmutzung durch Chemikalien

Die Umweltverschmutzung durch Müll und Chemikalien stellt für Moritz ein großes Problem für die Erde dar (Abb. 21). Einerseits könnte verschmutztes Wasser z. B. über die Flüsse direkt im Boden versickern, andererseits könnten Chemikalien (Öl, Spülmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel) mit dem Wasser verdunsten oder direkt in die Luft gelangen und als Regen wieder auf und damit in den Boden kommen. Durch die Verschmutzung würden die Tiere sterben und die bereits oben beschriebene Nahrungskette würde unterbrochen. Zusätzlich würden Chemikalien durch den Boden ins Grundwasser gelangen und zu einer Vergiftung der Menschen führen.

Im Folgenden versucht Moritz die weiteren angesprochenen Bodengefährdungen, mit Ausnahme der Winderosion, miteinander zu verbinden. Dadurch vermischt er teilweise Wassererosion, Bodenverdichtung, Umweltverschmutzung und Bodenversauerung miteinander.

Für das Phänomen der Bodenerosion kommen für Moritz zwei Ursachen in Betracht. Einerseits kann er sich vorstellen, dass Wasser Erde zusammengedrückt und dadurch „Gänge“ entstehen. Die Gänge würden vielleicht wieder durch die Seiten zusammengedrückt, indem Erde „nachrückt“. Andererseits glaubt er, dass Wasser die Erde mitnimmt. Er ist sich nicht sicher, welche Ursache logischer ist und verbindet beide Vorstellungen miteinander. Er meint, dass das Wasser erst die Erde zusammendrückt, so also ein „Flusslauf“ entsteht und das Wasser später dann das Material von den Seiten mitnimmt (Abb. 22).

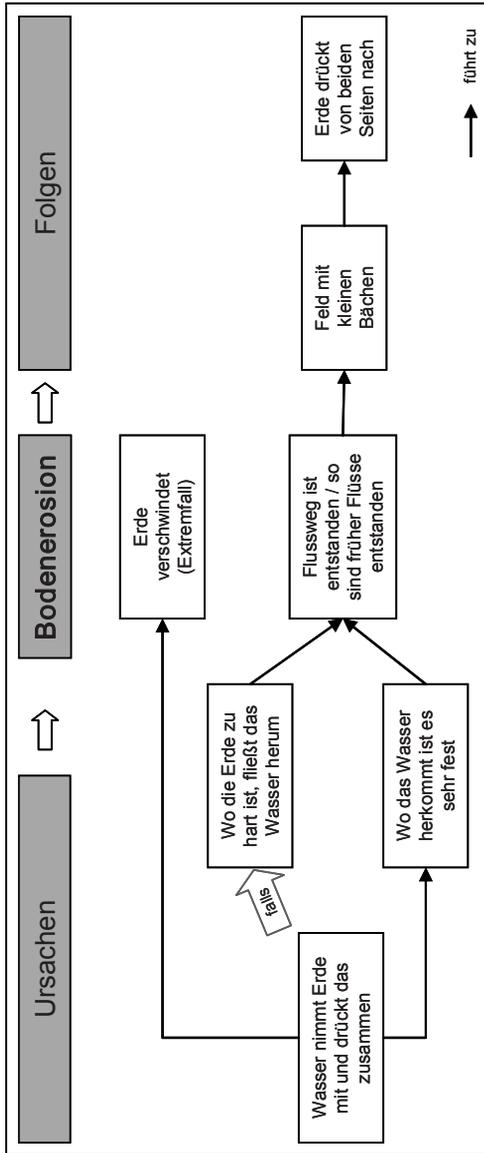


Abb. 22: SLT – Moritz: Wassererosion

Auch das Foto zur Nagelmethode (Material 3, Anhang I) erklärt Moritz mit der These, dass Wasser die Erde zusammendrückt bzw. die Erde einsackt (Abb. 23). Eine gegenläufige These von Moritz ist, dass durch Hitze das Wasser aus der Erde verdunstet, sich die Erde ausdehnt, dadurch Risse entstehen und die Erde fester wird. Beides führt dazu, dass der Boden platt bzw. nicht mehr so locker ist. Die Pflanzen könnten sich nicht mehr ansiedeln, da sie lockeren Boden brauchen um ihre Wurzeln zu vergraben. Also könnten sich auch keine Tiere ansiedeln. Als extreme Folge nennt Moritz, dass Erde verschwindet. Dies kann er sich aber nicht vorstellen.

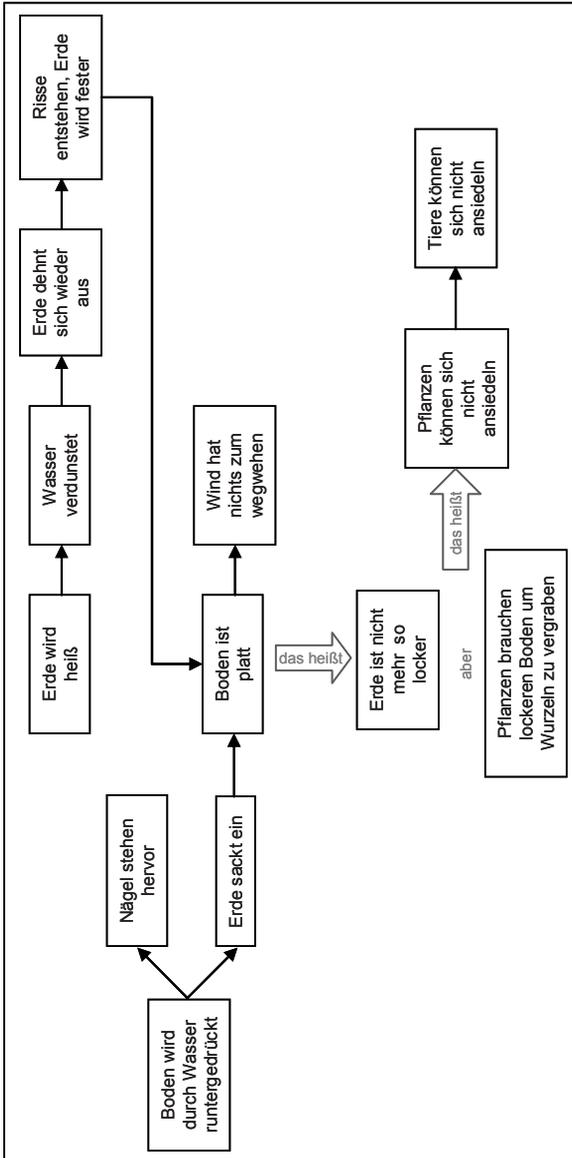
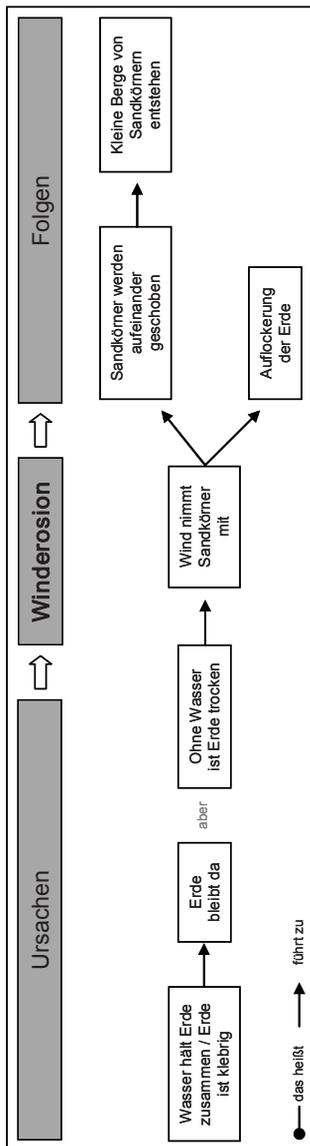


Abb. 23: SLT – Moritz: Nagelmethode



Wind kann nach Moritz' Vorstellungen kleine Steinchen und Sandkörner mitnehmen und zu kleinen Bergen aufschieben (Abb. 24). Dadurch könnte der Boden lockerer werden. Weitere Folgen werden nicht beschrieben. Moritz glaubt, dass Winderosion auf jedem Feld möglich ist, es dafür aber trocken sein muss, da nasse Erde nicht weggeweht wird.

Abb. 24: SLT – Moritz: Winderosion

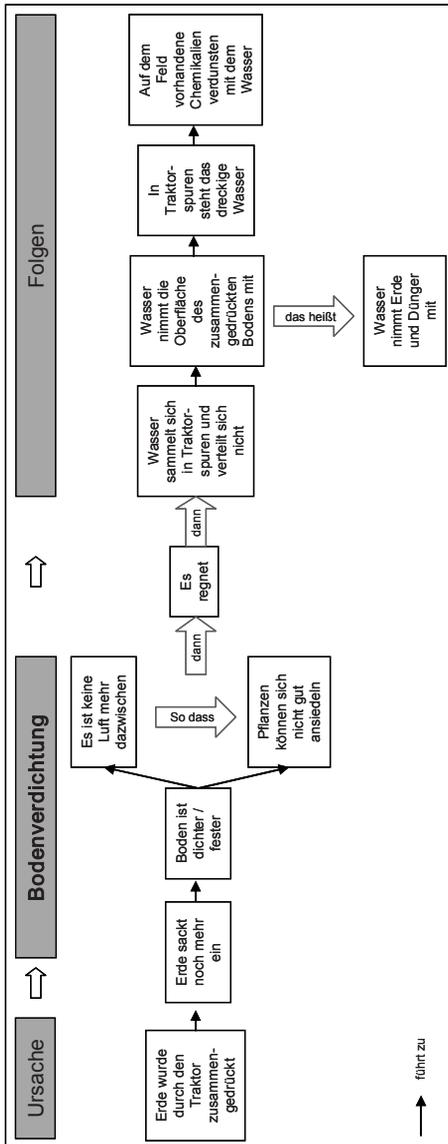


Abb. 25: SLT – Moritz: Bodenverdichtung

Das Wasser in den Treckerspuren auf dem Bild (Material 8, Anhang I) erklärt sich Moritz so, dass ein Traktor die Erde zusammengedrückt hat, der Boden dadurch dichter und fester ist und sich das Wasser nun in den Spuren sammelt und sich nicht verteilen kann (Abb. 25). Zwischen den Körnchen wäre keine Luft mehr, so dass sich keine Pflanzen mehr ansiedeln könnten. Außerdem könnte das Wasser nicht versickern und würde auf der Oberfläche stehen bleiben bzw. Erde und Dünger mitnehmen. Das auf dem Feld stehende dreckige Wasser würde mitsamt den enthaltenen Chemikalien verdunsten. Die von Moritz genannten Folgen entsprechen denen der Umweltverschmutzung.

Moritz stellt sich vor, dass saurer Regen die Bodenversauerung verursacht und einerseits durch die Verdunstung von Wasser und Schadstoffen und andererseits durch Rauch aus den Fabriken entsteht (Abb. 26). Diese würden sich in den Wolken sammeln und durch den Regen auf die Erde gespült. Er mutmaßt, dass der Boden auch durch den sauren Regen so fest werden könnte. Während der Struktur-Lege-Technik wird dieser Gedanke aber nicht mehr aufgegriffen. Moritz sagt, dass die Bäume direkt durch Säure zerstört werden. Weiterhin würden die Schadstoffe mit dem Wasser in den Boden gelangen. Durch den Überschuss an Säure würde der pH-Wert im Boden absinken. Die Säure würde die Nährstoffe kaputt machen. Es käme zum Waldsterben. Durch das Fehlen der Pflanzen wäre keine Nahrungsquelle für die Tiere vorhanden. Es wäre kein Leben mehr möglich. Moritz bezieht sich auch in diesen Auswirkungen auf die immer wieder beschriebene Nahrungskette.

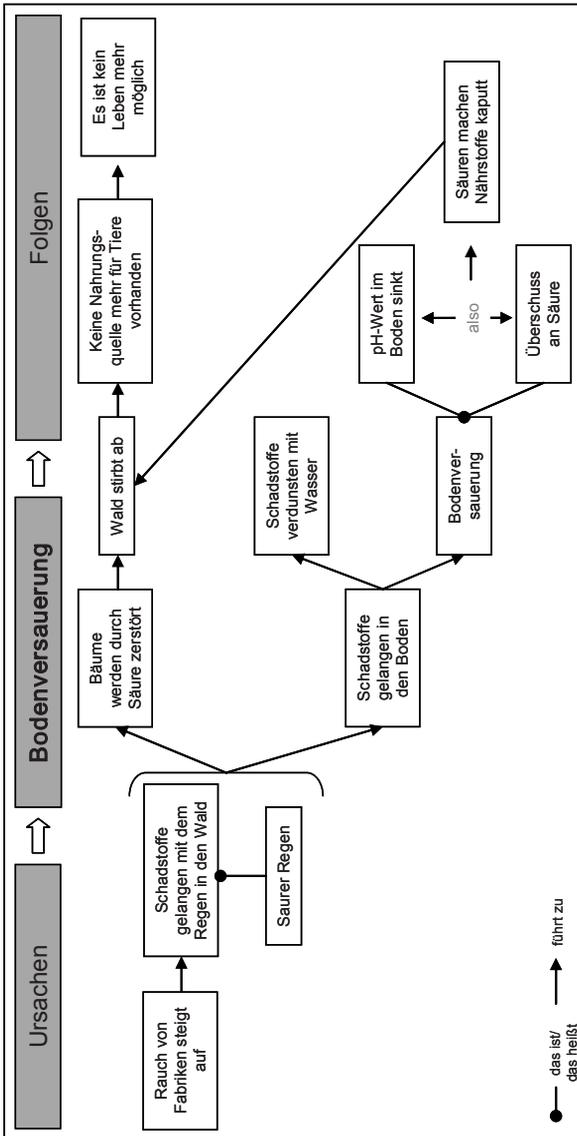


Abb. 26: SLT – Moritz: Bodenversauerung

Bedeutung von Begriffen

Bodenerosion bringt Moritz mit Kälte und Trockenheit und der Entstehung der „Ritzen“ im Boden in Verbindung. Unter Bodenverdichtung versteht er das Verdichten bzw. Zusammenpressen der Erde und ordnet das Phänomen dem Foto zur Bodenverdichtung zu. Er kann sich aber auch vorstellen, dass Verdichtung etwas mit der Säure zu tun hat. Bodenversauerung bringt Moritz ganz deutlich mit saurem Regen und dem Absinken des pH-Wertes im Boden in Zusammenhang.

Sprachliche Aspekte

Der Begriff Erde wird im Sinne des fachwissenschaftlichen Begriffs Boden verwendet. Alle Phänomene werden in Alltagssprache umschrieben, Fachsprache wird nicht verwendet. Der Begriff Teufelskreis wird benutzt, um den negativen Einfluss des Menschen auf die Nahrungskette durch Versiegelung des Bodens zu beschreiben, weicht also von der fachwissenschaftlichen Bedeutung des Begriffes ab.

Widersprüche, Brüche, Probleme, Interessen

Die im Interview vorkommenden Widersprüche und Brüche sind Moritz durchaus bewusst. Gerade diese Widersprüche interessieren ihn und er versucht eine Lösung zu finden und sich die Phänomene zu erklären, schafft es aber nicht bei allen. Vor allem die Prozesse, welche zu den Bodengefährdungen (Bodenerosion, Bodenverdichtung und Bodenversauerung) führen und die Bodenentstehung bereiten ihm Probleme. Bei der Bodenentstehung verwirrt ihn der Gedanke, dass feine Steine und Sand eigentlich nach unten fallen müssen und die größeren Steine oben bleiben, beim Aufbau des Bodens die großen Steine jedoch unten und die kleineren oben zu finden sind. Bei Erosion, Verdichtung und Versauerung werden immer wieder gleiche Ursachen für unterschiedliche Phänomene zur Erklärung herangezogen und die verschiedenen Prozesse vermischt. Über die Auswirkungen der Bodengefährdungen würde Moritz gerne mehr erfahren.

Herkunft der Vorstellungen

Als Herkunft für seine Vorstellungen gibt Moritz eigene alltägliche Erfahrungen, Schule und Fernsehen an. Im Alltag begegnet ihm Erde auf Rasenplätzen, im Garten und auf dem Feld. Saurer Regen und Umweltverschmutzung wurden anscheinend im Chemieunterricht bearbeitet und er hat dazu eine Sendung im Fernsehen gesehen. Wie Boden aussieht, hat er zu Hause gesehen und Bodenverdichtung ist ihm auf den Feldern schon aufgefallen. Im Biologieunterricht wurden offenbar die Nahrungsketten durchgenommen, da Moritz die Auswirkungen immer wieder auf Ketten bzw. Nahrungsketten bezieht, die gestört werden.

4.4.2.3 Moritz: Einzelstrukturierung

Konzepte zum Boden

Begriffe

Erde

Erde als zusammengesetztes Material: Erde besteht aus vielen kleinen Körnern mit Naturresten drin.

Merkmale: Sie ist braun oder braunschwarz, klumpig, nass, feucht oder trocken.

Erde auf Feldern: Erde findet man auf dem Boden von Feldern.

Sand ist keine Erde: Sand würde für mich nicht zur Erde dazu zählen.

Boden

~~*Boden ist Erde: Boden ist fast das gleiche wie Erde.*~~

Boden als Fläche: Boden ist eine Grundfläche/glatte Fläche, wo man was drauf tun kann. Boden ist die Oberfläche oder auch der obere Teil von Erde.

Boden Aufbau

Korngröße nimmt mit der Tiefe zu: Erst ist Gras und Boden unter meinen Füßen, dann kommen etwa zwei bis vier Meter Erde. Die Erde ist erst fein, nach unten werden die Steine immer größer/gröber bis das Klumpen sind.

!! Verkehrte Reihenfolge: Eigentlich ist das verkehrt, dass die Steine oben so fein sind und nach unten immer gröber werden, eigentlich müsste das Feine nach unten fallen.

Ursachen für die Unterschiede

- *Unten ist der Druck größer:* Unten wird es sehr fest, weil der Druck von oben kommt. Da ist es unberührt. Die Erde wiegt ein bisschen was und drückt das nach unten.
- *Oberfläche wird bearbeitet:* Die Oberfläche wird durch Gehen und sonstige Sachen bearbeitet, unten passiert nicht so viel. Tiere sind in der Erde und Blätter, die runterfallen, zersetzen sich in Erde. Dadurch ist es oben feiner.

Absacken: Erde kann auch absacken. Vielleicht rutschen die kleinen Steine in den Platz zwischen den großen Steinen.

Mächtigkeit: Boden ist ca. 2-4 Meter dick.

Boden Bestandteile

Kleine Körner: Erde ist mit kleinen Körnern.

Organische Bestandteile: In der Erde sind Naturreste, Blätter, Pflanzenreste.

Lebende Organismen: Wurzeln, kleine Tiere.

Nährstoffe: In der Erde sind Nährstoffe enthalten.

Anorganische Bestandteile: In der Erde sind Steine. Es ist auch immer ein Wasseranteil drin.

Bodenentstehung

Felswand zerbricht: Eine große Felswand zerbricht. Von oben kommt Steingeröll und je tiefer das fällt, umso feiner wird das.

Prozesse an der Oberfläche: Erde entsteht vielleicht durch Prozesse an der Oberfläche.

Zersetzung: Blätter fallen runter und zersetzen sich.

Tiere zerkleinern Steine: Tiere ermöglichen, dass die Steine kleiner und feiner werden. Tiere kommen nicht so tief und deswegen werden die Steine auch nur bis zu einer bestimmten Stelle feiner.

Einfluss Temperatur: Das hat auch was mit Hitze und Kälte zu tun. Sachen dehnen sich aus, wenn sie wärmer werden. Wenn es kalt ist oder friert, entstehen Risse in der Straße.

Kontinentverschiebung: Bei Kontinentverschiebungen kann auch nicht alles heil bleiben.

Zeit: Es dauert sehr lange, bis aus einem Steinklumpen Erde wird. Etwa dreihundert Jahre.

Bodenfunktionen

Lebensgrundlage: Ohne Erde kann es kein Leben geben. Erde hat die Bedeutung von Erschaffung, also von Leben. Wenn man nicht auf die Erde aufpasst, die z. B. verschmutzt, würde man sich ja selbst vernichten, die Menschheit oder auch alle Tiere aussterben lassen. Erde ist Grundlage für Tiere und Pflanzen.

Lebensraumfunktion: Erde ist für die Tiere Lebensraum.

Nährstoffspeicher: In der Erde sind Nährstoffe enthalten, die kann man in Steinen nicht speichern und deswegen könnten auch keine Pflanzen wachsen.

Wasserspeicher: Erde speichert Wasser, deswegen ist sie feucht. Das ist wieder gut für die Pflanzen, weil sie Wasser aus der Erde ziehen.

Erholungsfunktion: Erde kann man im Supermarkt zur eigenen Gartenpflege kaufen.

Konzepte zur Bodenzerstörung

Veränderungen im Boden

Anthropogene Veränderungen: Erde kann durch den Menschen verschmutzt werden. Erde verschwindet immer mehr oder wird überdeckt/bebaut. Erde wird für den Eigenbedarf des Menschen abtransportiert.

? *Zerfallen:* Vielleicht kann Erde auch selbst zerfallen.

Bebauung

Ursachen

Zunehmende Bebauung: Durch die Vermehrung der Menschen und den steigenden Platzbedarf der Menschen wird immer mehr Erde durch Bebauung überdeckt.

Pressen: Die Last drückt auf die Erde und alles wird gepresst.

Folgen

Teufelskreis: Die ganze Kette/Nahrungskette wird unterbrochen.

Keine neue Produktion von Erde: Blätter fallen auf die Straße und werden abtransportiert, dadurch wird keine neue Erde mehr produziert.

Erde wird gepresst: Tiere können nicht mehr in der Erde wohnen und den Boden auflockern, dadurch gibt es keinen Luftzugang mehr.

? Nährstoffe gehen verloren: Vielleicht gehen Nährstoffe verloren.

Ketten werden gestört: Tiere haben nicht mehr so viele kleine Tiere zu essen. Die größeren Tiere würden dann auch weniger werden.

Gleichgewicht wird gestört: Pflanzen produzieren Sauerstoff. Wenn das immer mehr überbaut wird und die Pflanzen weg müssen, dann stimmt das Gleichgewicht nicht mehr.

Umweltverschmutzung

Ursachen

Umweltverschmutzung: Erde kann durch Chemikalien und Müll verschmutzt werden. Chemikalien gelangen durch Fabriken ins Wasser. Jeder Haushalt produziert Müll.

Belastungspfad

Verdunstung: Chemikalien (Öl, Spülmittel) sind im Wasser drin und verdunsten mit dem Wasser.

Regen: Regen nimmt die Chemikalien mit und es gelangt in die Böden.

Direkter Eintrag: Schädlingsbekämpfungsmittel werden auf die Felder gespritzt.

Folgen

Kette wird unterbrochen: Die Erde wird verschmutzt und dann fressen die Tiere das und sterben. Dann wird wieder diese Kette unterbrochen.

Vergiftung über Grundwasser: Chemikalien gelangen ins Grundwasser, das heißt, man vergiftet sich eigentlich selber.

Wassererosion

Ursachen

? Einsacken: Das Wasser drückt die Erde zusammen, dadurch entsteht ein Flussweg. Das sackt natürlich ein.

? Erde rückt nach: Die Gänge werden von den Seiten wieder zusammen gedrückt. Vielleicht rückt die Erde nach.

? Erosion: Wasser nimmt die Erde mit.

? Kombiniertes Prozess: Vielleicht drückt das Wasser die Erde platt und dann, wenn Wasser nachkommt, nimmt es von den Seiten die Erde mit.

? Wasser verdunstet: Vielleicht verdunstet das Wasser und die Risse entstehen, weil die Erde heiß wird und sich ausdehnt.

Folgen

? Erde verschwindet: Wenn das Wasser die Erde mitnimmt, würde wahrscheinlich immer mehr Erde verschwinden. Aber das wäre wirklich extrem.

Erde ist fest: Pflanzen brauchen lockeren Boden um die Wurzeln drin zu vergraben. Hier ist es fast zu fest und deswegen können sich da keine Tiere und Pflanzen ansiedeln.

Winderosion

Ursache

Winderosion: Wind nimmt diese kleinen Sandkörner mit, schiebt sie vielleicht aufeinander und dann fällt der wieder runter.

Bedingung

Feuchtigkeit: Ohne Wasser wäre es trocken, dadurch könnte der Wind mehr wegwehen. Wenn das nass ist, ist das eine festere Masse und ein bisschen klebrig, dann passiert das nicht.

Folgen

? *Sandberge:* Vielleicht entstehen deshalb diese kleinen Sandberge.

? *Auflockern:* Vielleicht lockert das auf, obwohl das schon locker ist.

Begriff Bodenerosion: Erosion hat etwas mit Kälte zu tun. Wenn es trocknet, dann wird es wieder fest. Dann entstehen diese Ritzen.

Bodenverdichtung

Ursache

Verdichtung: Trecker hat den Boden zusammengedrückt. Boden wird dichter und fester, so dass sich das Wasser in den Treckerspuren sammelt.

? *Dichte:* Die Masse bleibt gleich, aber das Volumen? Die Erde wurde zusammengedrückt.

Folgen

Zwischenräume verschwinden: Zwischen den Körnchen ist keine Luft mehr, so dass sich keine Pflanzen ansiedeln können.

Wasser versickert nicht: Das Wasser kann nicht versickern, bleibt auf der Oberfläche stehen und sammelt sich.

Erosion: Das Wasser nimmt die Oberfläche des Zusammengedrückten mit.

Erde sackt ein: Das sackt wahrscheinlich noch mehr ein.

Dreckiges Wasser verdunstet: Im Wasser, das auf dem Feld steht, sind Schädlingsbekämpfungsmittel, Dünger und Chemikalien, die vom Feld verdunsten.

Begriff Bodenverdichtung: Das war auf dem Bild mit dem Trecker. Das ist, wenn die Erde dichter, zusammengedrückt wird. Vielleicht passiert das auch wegen der Säure.

Bodenversauerung

Ursachen für sauren Regen

Verdunstung von Schadstoffen: Saurer Regen entsteht durch die Verdunstung von Wasser und Schadstoffen und dann bilden sich Wolken.

Rauch: Saurer Regen entsteht durch den Rauch, der von Fabriken aufsteigt. Wenn es regnet, wird das wieder mit runtergespült.

Belastungspfad

Wasserkreislauf: Das Wasser wird durch die Wolken in den Wald transportiert und fällt dann mit den Schadstoffen wieder auf den Boden. Das Wasser und die Schadstoffe sickern dann in die Erde ein oder bleiben oben auf dem Boden.

Folgen

~~*Verdichtung:* Wahrscheinlich wird die Erde deswegen so fest.~~

pH-Wert sinkt: Der pH-Wert ist durch den sauren Regen drastisch gesunken. Umso mehr saurer Regen dazu kommt, desto höher wird die Konzentration und deswegen gibt es den niedrigen pH-Wert.

Säure machen Nährstoffe kaputt: Vielleicht machen Säuren Nährstoffe kaputt und zersetzen das.

Waldsterben: Der Wald stirbt ab, weil die Bäume keine Nährstoffe mehr haben oder von der Säure angegriffen oder zersetzt werden.

Kette wird gestört: Durch den Wegfall von Pflanzen fehlt die Nahrungsquelle für die Tiere. Deswegen können auch andere Tiere nicht leben. Es ist kein Leben mehr möglich.

Begriff Bodenversauerung: Das war das mit der Säure. Der Regen mit den Schadstoffen fällt auf den Boden und dann entsteht der pH-Wert von 4 im Jahr 2000.

4.5 Verallgemeinerung der Schülervorstellungen

Wie die Auswertung der einzelnen Interviews bis auf die Ebene der Konzepte und die Strukturdiagramme zeigen, sind die erhobenen Vorstellungen teilweise sehr komplex und differenziert, teilweise oberflächlich und lebensweltlich geprägt. Es gibt Vorstellungen, die in ihrer Struktur sehr ähnlich sind und viele Gemeinsamkeiten aufweisen, und Vorstellungen, die durch das Besondere gekennzeichnet sind. Für die Verallgemeinerung der Schülervorstellungen werden Kategorien gebildet, welche sich in der Strukturierung an den Leitfragen der Studie (z. B. Bodenaufbau, Bestandteile...) und in der genaueren Differenzierung an den Schülervorstellungen orientieren. Dabei werden die Vorstellungen der Schüler auf der Ebene der Konzepte miteinander verglichen. Ähnliche Denkstrukturen in den Schülervorstellungen werden herausgearbeitet und als zentrale Denkfiguren zusammengefasst (mittlere Ebene der Schülervorstellungen) (vgl. Kap.2.2.3). Diese werden durch Pfeile und die Formatierung fett gekennzeichnet (Beispiel: > **Denkfigur: Verlagerung** <). Die zentralen Denkfiguren werden bei komplexeren

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Denkfiguren zum Thema Boden

Themen	Zentrale Denkfiguren
Boden	Boden als Fläche Boden besteht aus Erde Boden besteht aus Schichten
Erde	Erde als Material Erde als Planet
Boden- entstehung	Boden war schon immer da
	Boden hat sich entwickelt
	Verlagerung von Material
	Veränderungen im Boden
Aufbau des Bodens	Boden als einheitliche Materie Gesteinsschichten Bodenschichten Boden- und Gesteinsschichten
Boden- funktionen	Lebensgrundlage Lebensraum/Standort (Lebensmittel-) Produktion Regelungsfunktion Trägerfunktion Erholung Information

Denkstrukturen noch durch untergeordnete Denkfiguren spezifiziert (Kennzeichnung >Abtragung von Boden <). Dabei kann es sein, dass die grundsätzliche Denkstruktur der Schüler gleich ist (z. B. der Schichtenaufbau des Bodens), sich die Vorstellungen aber in den Einzelheiten unterscheiden. Einige Denkfiguren beziehen sich direkt auf das Thema Boden, Ergebnisse, die mit dem Interview beabsichtigt waren. Zusätzlich lassen sich aber auch weitere Denkfiguren ableiten, welche nicht direkt mit dem Thema Boden zusammenhängen, sondern übergeordnete Vorstellungen z. B. zur

Natur, widerspiegeln. Der Sachverhalt, dass Bodengefährdung v. a. auf die vorher

genannten Bodenfunktionen und Bodenbestandteile bezogen wird, deutete darauf hin, dass es sich bei den Schülervorstellungen um komplexere Denkfiguren, und nicht nur um nebeneinander stehende Konzepte, handelt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die zentralen Denkfiguren in den verschiedenen Abschnitten teils tabellarisch, teils in Diagrammen eingebettet als Synopse der Schülervorstellungen zusammengefasst (Bsp. Tabelle 5 und Abb. 31). Zur Veranschaulichung werden außerdem Skizzen der Schüler hinzugenommen.

4.5.1 Begriffe Boden und Erde

Die Bedeutungszuweisung der Schüler zu den Begriffen Boden und Erde ist nahezu identisch. Sie lehnt sich an den alltäglichen Gebrauch beider Wörter an und lässt nur in einzelnen Fällen den Bezug zur Fachwissenschaft erkennen.

Erde als Planet: Unter Erde verstehen die Schüler auch den Planeten Erde bzw. den Globus.

Synonyme: Die Begriffe Erde, Humus, Muttererde aber auch Boden werden häufig synonym verwendet.

> Denkfigur: Boden als Fläche <

Oberfläche: Boden wird von 6 der 8 Schüler als Fläche, Grundfläche bzw. Oberfläche gesehen. Auf der beschriebenen Fläche kann man stehen, gehen, etwas drauf tun oder sie bebauen.

Oberste Schicht: Boden bildet den oberen Teil/den obersten Meter/die oberste Schicht der Erde.

Untergrund: Boden ist der Untergrund, auf dem wir laufen.

> Denkfigur: Schichtenaufbau <

Für Fabiano und Ben steckt hinter dem Begriff Boden der Aufbau des Bodens aus verschiedenen (Gesteins-, Lehm-, Sand-)Schichten.

> Denkfigur: Erde als Material <

Erde wird als Material, durch ihre Bestandteile und Merkmale definiert. Erde besteht in den Schülervorstellungen aus kleinen Körnern oder feinem Material und wird als braunes Zeug bezeichnet.

> Boden besteht aus Erde <

Erde ist Bestandteil des Bodens und kommt in ihm weiter oben vor, bzw. wenn der Boden als die Oberfläche gesehen wird, befindet sich Erde direkt darunter oder bildet den Boden. Jette und Tom sagen, dass Boden aus Erde oder Sand bestehen kann.

Erde ist dunkler Sand: Erde wird von den Schülern mit Sand gleichgesetzt. Erde wird als dunkler Sand oder als Sand mit Nährstoffen und Pflanzenbestandteilen beschrieben.

~~*Sand ist keine Erde:* Moritz und Ben dagegen sagen, dass Sand keine Erde ist bzw. nicht dazu zählt.~~

Merkmale: Erde ist für die Schüler durch verschiedene Merkmale charakterisiert. Häufig werden die *Farben* der Erde (braun, braunschwarz, dunkel) und die *Feuchtigkeit* (nass, feucht aber auch trocken) genannt. Für einige Schüler ist Boden *lebendig, dreckig* und zeichnet sich durch einen bestimmten *Geruch* aus. Auch die *Konsistenz* wird zur Beschreibung des Bodens herangezogen. Er wird als klumpig, grob, lehmig, aber auch locker beschrieben. Erde befindet sich auf Feldern oder als Humuserde in Blumenbeeten.

Abgrenzung Boden und Erde: Moritz widerruft die Aussage, dass Boden fast das gleiche ist wie Erde.

4.5.2 Aufbau des Bodens

Die Schüler hatten während des Interviews die Aufgabe, eine Skizze zu erstellen, wie sie sich den Boden unter ihren Füßen, z. B. wenn sie auf einer Wiese stehen, vorstellen. In fast allen Skizzen ist ein schichtartiger Aufbau des Untergrundes zu erkennen. Die Schichtung bezieht sich jedoch einmal auf geologische Schichten und einmal auf Bodenhorizonte im fachwissenschaftlichen Sinne. Auch das sich an den Boden bzw. die Erde nach unten anschließende Gestein, in seinen verschiedensten Formen, findet sich in den meisten Schülervorstellungen wieder. Nur Alita stellt sich unter dem Boden Wasser vor, an welches sich dann die Erdkruste anschließt.

Aus den Interviews konnten einige wiederkehrende Konzepte zum Aufbau des Bodens herausgearbeitet werden (Abb. 27-51, alle weiteren Skizzen im Anhang III, Explikationen der Interviews).

> Denkfigur: Erde als „einheitliche“ Materie <

Alita stellt sich unter Boden eine mehr oder weniger einheitliche Materie, in der die Tiere wohnen und die nach unten hin vom Wasser begrenzt wird, vor (Abb. 27). Innerhalb dieser Materie „Erde“ wird keine weitere Strukturierung beschrieben, es werden nur einzelne Bestandteile genannt. Auch Moritz strukturiert den Bereich, in dem die Erde vorkommt, nicht weiter, sondern beschreibt eher, wie sich das Material mit der Tiefe verändert (> Denkfigur: Veränderung des Bodens mit der Tiefe <). Dieser Bereich wird in den Vorstellungen zu den Bestandteilen von Erde bzw. Boden weiter ausdifferenziert (Kap. 4.5.3).

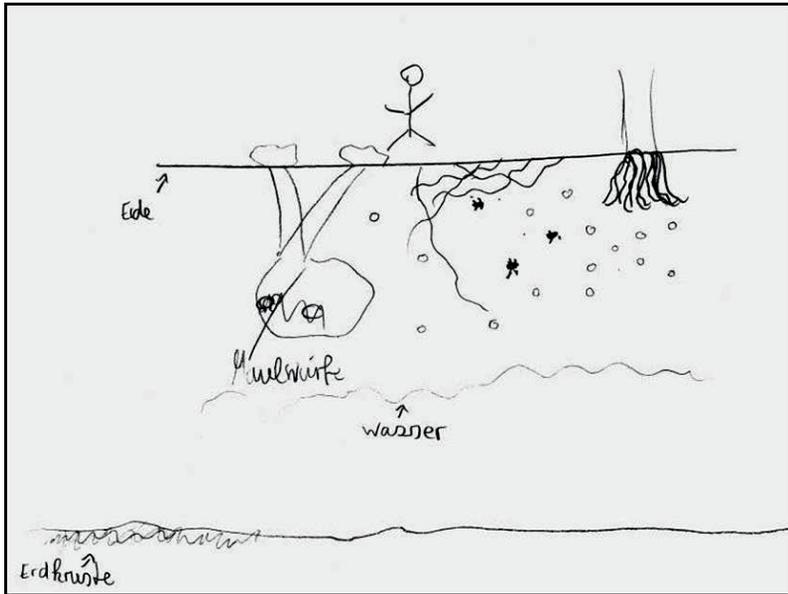


Abb. 27: Skizze zum Aufbau des Bodens (Alita, Anhang II, Interview 7)

> Denkfigur: Gesteinsschichten <

Für Jette und Ben ist der Boden in Schichten im Sinne von geologischen Schichten unterteilt, die aus verschiedenen Materialien, wie z. B. Erde, Sand, Kies oder Steinen bestehen (Abb. 28). Jette sagt zum Beispiel:

„Es gibt viele verschiedene Schichten, die im Laufe der Zeit entstanden sind. Die erste Schicht ist Muttererde, dann kommt eine Kalkschicht oder ganz viele Steine, dann kommt vielleicht anderes Gestein oder Wasserablagerungen. Die Schichten können bis in die Erdmitte gehen.“ (135-175).

Die Abfolge der Gesteins- oder Sandschichten variiert in den Vorstellungen. Die Schichten unterscheiden sich bezüglich der Farbe, der Konsistenz, der Feuchtigkeit und in ihrem Wasser- und Luftanteil.

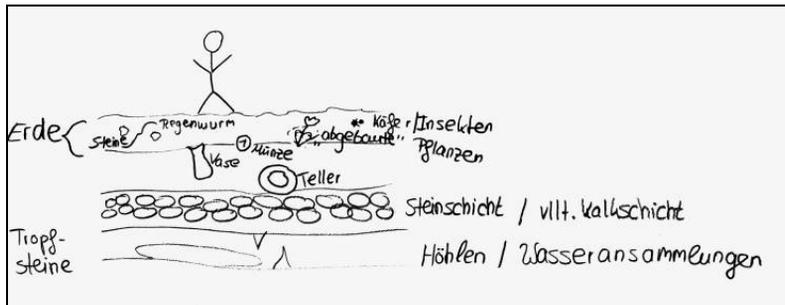


Abb. 28: Skizze zum Aufbau des Bodens (Jette, Anhang III, Interview 6)

> Denkfigur: Bodenschichten <

Tineke benennt als einzige eindeutig Schichten im Sinne von Bodenhorizonten, die durch unterschiedliche Farben und Zusammensetzung der Bestandteile gekennzeichnet sind (Abb. 29). Unter dem Boden schließt sich das Gestein an. Tineke sagt:

„Im Boden sind mehrere Schichten. Wir haben mal im Wald ein tiefes Loch gegraben. Die Erde, die wir ausgegraben haben, hatte ganz verschiedene Farben, war mal grau, mal schwarz, gelblich, braun, ...dann war da ein Boden, der total fest war und dann immer lockerer (weicher, lehmiger).... Oben ist der Erdboden und darunter kommen dann Steine.“ (101-127).

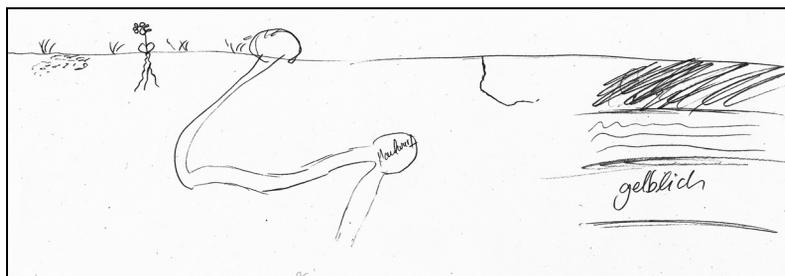


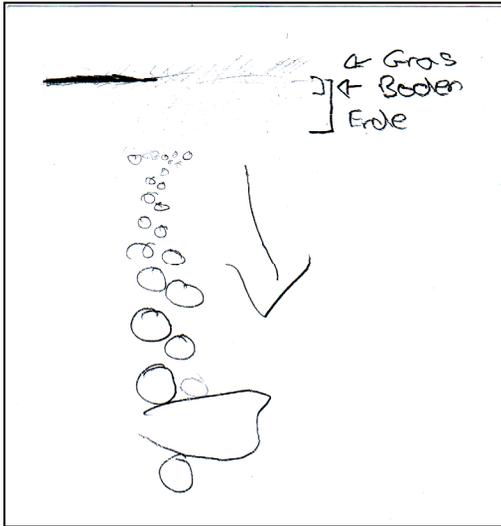
Abb. 29: Skizze zum Aufbau des Bodens (Tineke)

Paulas Vorstellungen können auch hier eingeordnet werden, sind aber nicht so explizit formuliert. Sie spricht nur davon, dass Boden aus mehreren Schichten besteht, die sich unterscheiden.

> Denkfigur: Boden- und Gesteinsschichten <

Fabianos und Toms Vorstellungen sind schwierig in die vorherigen Konzepte einzuordnen. Die Beschreibungen und die Skizze stehen zwischen den letzten beiden Konzepten, kommen den fachwissenschaftlichen Theorien also auch nahe. Die Vorstellungen werden aber nur wenig differenziert beschrieben.

> Denkfigur: Veränderung des Bodens mit der Tiefe<



In fast allen Vorstellungen kommen Veränderungen des Bodens von oben nach unten zum Tragen. Diese beziehen sich, den einzelnen Konzepten entsprechend, entweder allein auf den Boden oder auch auf das sich nach unten anschließende Gestein. Die Unterschiede werden in den einzelnen Schichten ersichtlich und zeigen sich in der Farbe, der Konsistenz, der Feuchtigkeit und der Struktur der einzelnen Schichten oder im Luft- und Wasseranteil innerhalb der Schichten.

Abb. 30: Bodenaufbau: Korngröße nimmt mit der Tiefe zu (Moritz)

Korngröße nimmt zu: Für

Moritz nimmt die Korngröße von oben nach unten kontinuierlich zu. Die oben aufliegende Erde ist fein und nach unten werden die Steine immer größer, bis es Klumpen sind (Abb. 30). Diese Anordnung kommt dem Schüler aber unlogisch vor, da nach seiner Erfahrung die feinen Materialien nach unten, in den Platz zwischen den großen Steinen, rutschen müssten. Er erklärt sich die „verkehrte Reihenfolgen“ damit, dass die Erde oben durch Tiere, Begehen und anderem bearbeitet wird und dadurch oben feiner ist.

Festigkeit nimmt von oben nach unten zu: Im Allgemeinen nimmt die Festigkeit des Bodens in den Vorstellungen der Schüler bis zum Gestein mit der Tiefe zu. Dafür sind verschiedene Prozesse verantwortlich.

- *Lockerung:* im oberen Boden spielen sich Prozesse ab, wodurch Boden im oberen Bereich lockerer ist (Tiere wühlen den Boden um, Pflanzen werden zersetzt).

- **Druck:** Der durch die Erde auflastende Druck ist in der Tiefe größer und führt zu einer größeren Festigkeit des Bodens in der Tiefe.

Geologisches Prinzip: Je tiefer die Schichten sind, desto älter sind sie. Jede Schicht hat ihr eigenes Alter.

Keine klaren Schichtgrenzen: Die Übergänge zwischen den Schichten, egal ob Boden oder Gestein, sind nicht klar voneinander abgegrenzt. Die Grenzen werden als verschwommen und nicht horizontal verlaufend bezeichnet, mit „Zwischenstufen“ oder „Mischgestein“ zwischen den einzelnen Schichten. Als Ursache für die nicht horizontal verlaufende Grenze wird z. B. der Einfluss von Wasser genannt.

Ursachen für die Unterschiede in den Schichten: Die Zusammensetzung der Bestandteile (z. B. Geröll, Sand, Lehm...) des Bodens werden neben dem Standort des Bodens oder auch Klimaveränderungen während der Ablagerung der Materialien als Ursache für die Unterschiede gesehen.

Mächtigkeit: Die meisten Schüler stellen sich vor, dass Boden etwa zwischen einem und vier Metern mächtig ist. Ben spricht von 20 Metern. Tom dagegen meint, dass die Humuserde ca. ein bis eineinhalb Meter mächtig ist, der Boden an sich aber bis zu 200 Metern in die Tiefe reicht und sich das Gestein erst darunter anschließt.

> Denkfigur: Boden ist unterschiedlich <

Das Vorkommen bzw. die Vielfalt der Böden wird von Alita auf den Alltagsbegriff und von anderen Schülern auf den eher fachwissenschaftlich genutzten Begriff Boden bezogen.

Oberfläche: Alita sagt, dass Boden im Raum gleichmäßig ist, draußen gibt es unterschiedliche Böden mit verschiedenen Oberflächen: Erde, Stein, Beton, Naturwege...

Schichtung: Es gibt verschiedene Böden. Die Schichtung des Bodens ist überall anders.

Zusammensetzung: Es gibt verschiedene Böden, die unterschiedlich zusammengesetzt sind. Sandböden, Lehm Böden, Humusböden, Böden auf dem freien Feld. Sandböden haben mehr sandige Stückchen drin und wenige Pflanzenbestandteile, Lehm Böden sind lehmig, klebrig und fest. Es gibt Böden aus Stein, Muttererde oder Torf.

Variierende Bedingungen als Ursachen: Die ungleiche Schichtung der Böden kommt durch unterschiedliche Bedingungen zustande.

4.5.3 Bestandteile des Bodens

> Denkfigur: Boden als Mischung verschiedenster Bestandteile <

Den Schülern sind die organischen und anorganischen Bestandteile des Bodens und das Vorhandensein von Luft und Wasser im Boden im Allgemeinen bekannt.

Die Kategorisierung in organische und anorganische Bestandteile oder in die einzelnen Phasen (fest, flüssig, gasförmig) ist den Schülern aber nicht bewusst. Da aus den Interviews keine geeignete Kategorisierung entnommen werden konnte, wird diese zur besseren Übersichtlichkeit in Anlehnung an fachwissenschaftliche Gesichtspunkte vorgenommen (Tabelle 6). Als lebendige Bodenorganismen werden Tiere und Pflanzen gesondert angesprochen. Teilweise wird Erde als eigenständiger Bestandteil genannt.

Tabelle 6: Synopse der Schülervorstellungen zu den Bestandteilen der Erde

Mineralisch	Organisch	Wasser und Luft	Sonstiges
Sand Steine Mineralien Mineralstoffe Kalk	Wurzeln Verrotte- te/zersetzte/abgebaute Pflanzen, Holzstückchen Blätter(-reste) Bakterien	Luft in Poren, Luft mit Sauerstoff, Wasser	Chemikalien: Nitrit, Nitrat, Ammonium, Schwefel Elemente, Nährstoffe Salze
	Lebendig: Regenwürmer, Käfer, Insekten, kleine, nicht sichtbare Tiere, tote Tiere		Erde, Muttererde Naturreste Irgendein Schmutz/Dreck Archäologische Funde Kleine Körner

Organische Bestandteile: Als organische Bestandteile werden Holzstücke, Naturreste, Pflanzenreste, Blätter, Stöcke und Stoffe, die bei der Zersetzung der Pflanzen entstehen, genannt.

Lebende Organismen: Boden ist belebt. Im Boden leben verschiedene Tiere, die entweder genau bezeichnet werden wie Maulwürfe, Regenwürmer und Insekten (Ameisen, Käfer) oder nur als kleine oder auch als nicht sichtbare Tiere beschrieben werden. Weiterhin werden Pflanzen und Wurzeln als lebendige Bestandteile des Bodens genannt.

Anorganische Bestandteile: Mineralische Bestandteile wie Sand, Steinchen und Steine, Wasser und Luft bzw. Sauerstoff werden von den Schülern am häufigsten genannt. Hinzu kommen (komische) Chemikalien, chemische Stoffe, Elemente und Kalk.

Nährstoffe: Im Boden kommen für Pflanzen und Tiere wichtige Nährstoffe, Mineralstoffe und Mineralien vor.

Erde: Ben und Tineke zählen Erde als eigene Komponente des Bodens auf.

Schmutz/Dreck: Tineke kann ihre Vorstellungen schlecht in Worte fassen und spricht von erdigem Material, irgendeinem Schmutz oder Dreck.

Korngröße: Moritz sagt, dass Erde aus kleinen Körnern besteht.

Ablagerungen: Einige Schüler beziehen die Herkunft der Erde in die Überlegungen zu den Bestandteilen mit ein. So spricht Jette von Ablagerungen, die im Boden enthalten sind. Tineke differenziert die genannten Ablagerungen in Nitrit, Nitrat und Ammonium, welche als Ablagerungen von einem Kreislauf in der Erde bleiben.

4.5.4 Bodenentstehung/-bildung

Die Vorstellungen der Schüler zur Bodenentstehung weisen drei übergreifende Konzepte auf. Einerseits meinen einige Schüler, dass Boden schon immer da war, andererseits glauben sie, dass Boden entstehen kann. Die Vorstellungen, wie Boden entsteht, sind dabei sehr unterschiedlich. Vorstellungen zur Zerkleinerung der Steine und zur Zersetzung von Pflanzen dominieren hier. Weiterhin können sich die Schüler vorstellen, dass Boden von irgendwoher an eine bestimmte Stelle gebracht wurde. Auffällig ist, dass die Schülervorstellungen durch immanente Widersprüche gekennzeichnet sind und bei einzelnen Schülern mehrere Konzepte gleichzeitig auftreten, was den Schülern durchaus bewusst ist.

> Denkfigur: Boden war schon immer da <

Paula, Fabiano und Alita nehmen an, dass es Boden schon immer/von Anfang an gibt. Paula begründet das mit der Aussage, dass es auch Pflanzen schon immer gegeben hat. Alita begründet es mit den Aussagen aus der Bibel. In diesem Konzept sind sich aber alle drei nicht sicher und ziehen weitere Erklärungen in Erwägung.

Boden war schon immer da, aber Boden verändert sich: Trotz der Vorstellung, dass Boden schon von Anfang an da ist, glaubt Fabiano, dass Boden sich z. B. durch das Klima respektive Eiszeiten verändern kann.

> Denkfigur: Erde entsteht, Boden hat sich aus irgendetwas entwickelt <

> Zerkleinerung von Steinen <

Drei Schüler stellen sich vor, dass Erde u.a. durch die Zerkleinerung von Steinen entsteht. Alita und Moritz erklären dabei noch, wie sie sich die Zerkleinerung genauer vorstellen.

Steine reiben aneinander: Steine reiben sich aneinander, werden so immer kleiner und wandeln sich in Erde um.

Felswand zerbricht: Eine Felswand zerbricht. Von oben kommt Steingeröll und je tiefer das fällt, umso kleiner wird es.

Tiere zerkleinern Steine: Tiere ermöglichen es, dass Steine kleiner werden. Da sie nicht so tief kommen, werden die Steine auch nur bis zu einer bestimmten Tiefe kleiner.

> Zersetzung/Verrottung <

Moritz, Tom und Jette beschreiben die Zersetzung als bodenbildenden Prozess. Dabei werden, wie Jette sagt, Blätter oder andere Pflanzenteile und Tiere in einem langen chemischen Prozess zersetzt. Am Ende des Prozesses entsteht ein reiner Stoff. Das Endprodukt der Zersetzung wird von Paula und Tom als Humus bezeichnet. An der Zersetzung sind für Tom Bakterien und Sauerstoff beteiligt.

> Chemische Reaktion <

Tineke kann sich vorstellen, dass Boden durch eine chemische Reaktion entsteht.

> Bodenbildende Faktoren <

Als Faktoren, die für die Bildung bzw. die Veränderungen im Boden verantwortlich sind, werden v. a. *Wetter/Klima/Temperatur* und die *Zeit* genannt. Moritz setzt für die Bodenbildung dreihundert, Tom 3000-5000 Jahre an. Moritz zieht in seine Überlegungen die *Kontinentverschiebung* mit ein, bei der, wie er sagt, nicht alles heil bleiben kann.

> Vergleich mit Braunkohle oder Erdölentstehung <

Ben vergleicht die Bodenbildung mit dem Prozess der Braunkohleentstehung durch Pflanzenreste und Jette mit dem Prozess der Erdölentstehung durch die Zersetzung von Mikroorganismen.

> Indizien für die Bodenentwicklung <

Paula und Tineke haben kein klares Konzept davon, wie Boden entstehen könnte, glauben aber, dass diese Möglichkeit bestehen könnte. Tineke (391-469) sucht eher nach Indizien für die Bodenentwicklung und begründet es damit, dass es „*alles einmal zum ersten Mal*“ gab, dass die „*Schichten mit der Tiefe älter werden*“ und dass wir ansonsten einen Millionen Jahre alten *Boden* hätten, den wir nicht mehr brauchen könnten, weil der irgendwann „*aufgebraucht wäre*“.

> Ort der Entstehung <

Die Prozesse der Bodenbildung verortet Moritz an der Oberfläche des Bodens.

> **Denkfigur: Verlagerung** <

Kern dieser Vorstellung ist, dass Boden von einem Ort zu einem anderen verlagert wurde. Es werden von Tom Ablagerungen durch das Meer und den Wind genannt. Das Meer zerstückelt den Felsen, zieht sich zurück und lagert den Sand ab oder der Wind pustet den Sand an verschiedene Orte. In Paulas Vorstellungen kann der Weg, den Boden dabei zurücklegt, Kilometer lang sein. Auf dem Sand wachsen Pflanzen und der Sand wird dann durch Humus überlagert. Fabiano kann sich vorstellen, dass überall mal Wasser war und sich nach dem Absinken des Meeresspiegels Boden entwickelt hat. Als Beispiel dafür nennt er das Watt. *Geologisches Prinzip*: Auch Jette und Ben gehen davon aus, dass sich Schichten im Laufe der Zeit übereinander lagern, die jüngere Schicht liegt dabei oben auf.

Ausgleich: Jette gibt zu bedenken, dass die Erde durch die ständige Überlagerung immer dicker werden würde und dementsprechend auch die Ozeane mit wachsenden müssten. Das kann sie sich aber nicht vorstellen. Sie glaubt, dass durch chemische Prozesse ein Teil des Materials im Boden verschwindet und in die Atmosphäre gelangt. Sie spricht davon, dass die Natur das ausgleicht.

> Denkfigur: Veränderungen <

Für Jette finden fortwährend Veränderungen im Boden statt. Diese zeigen sich durch Verlagerung, Verdrängung und Vermischung. Bei der Vermischung kann aus verschiedenen Stoffen ein neuer entstehen.

Verarbeitung von Ammonium: Fabiano beschreibt einen langen Prozess mit Nitrit und Nitrat im Boden, bei welchem Ammonium durch Organismen verarbeitet wird.

Nährstoffproduktion, -umsetzung, -aufnahme: Paula verweist darauf, dass Boden Blätter aufnimmt und daraus Nährstoffe bildet. Nährstoffe werden aber auch vom Boden aufgenommen und umgesetzt.

4.5.5 Bodenfunktionen

Den Schülern sind vielfältige Funktionen des Bodens bewusst. Die beschriebenen Funktionen ähneln den vom WBGU (1994) ausgewiesenen Funktionen. Die Kategorien werden daher den Kategorien des WBGU (1994) entsprechend benannt und durch die von den Schülern zusätzlich genannten Funktionen ergänzt. Die Funktionen stehen nicht nebeneinander, sondern sind vernetzt zu sehen und gehen teilweise ineinander über.

> Denkfigur: Lebensgrundlage <

Moritz, Paula, Alita, Fabiano und Ben schreiben dem Boden eine ganz fundamentale Bedeutung als Lebensgrundlage zu. Diese Sicht zeigt sich in Aussagen wie: „*Ohne Boden gäbe es kein Leben/gäbe es mich nicht*“ (254, Interviewtranskript 2: Moritz, Anhang III) und „*Der Mensch ist vom Boden abhängig*“ (482, Interviewtranskript 3: Fabiano, Anhang III). Die Funktion bezieht sich dabei auf den Menschen ebenso wie auf Tiere und Pflanzen und wird in weitere Funktionen untergliedert (s.u.). Für den Menschen begründet sich die Bedeutung des Bodens auf der

- *Sauerstoffproduktion* durch die Pflanzen. Pflanzen benötigen für das Wachstum Nährstoffe aus dem Boden. Nur wenn es Pflanzen gibt, kann Sauerstoff über den Weg der Fotosynthese produziert werden, welchen die Menschen zum Atmen brauchen.
- *Produktionsfunktion* für Nahrungsmittel (s.u.).

> Lebensraumfunktion/Standort <

Alle acht Schüler erkennen den Boden als Lebensraum für Tiere und/oder Pflanzen. Er wird als Grundlage, Untergrund und Standort gesehen, in/auf welchem Tiere (Regenwürmer, Maulwürfe, Insekten...) wohnen, ihre Höhlen bauen und Pflanzen ihre Wurzeln schlagen und wachsen können.

> Produktionsfunktion <

An die Funktion des Bodens als Lebensgrundlage und Lebensraum schließt sich die Produktionsfunktion des Bodens an. Sechs der acht Schüler nennen diese Funktion. Dabei wird Boden benötigt, um Nahrungsmittel (Getreide, Gemüse, Obst) anzubauen.

Arbeitgeber: Jette gibt zu bedenken, dass Boden durch die Produktionsfunktion zum Arbeitgeber für die Bauern wird.

> Regelungsfunktion <

Nährstoff- und Wasserspeicher: Vorstellungen zu Regulationsprozessen im Boden finden sich in vier Interviews. Die Aussagen beziehen sich auf die Speicherung von Wasser und Nährstoffen. So begründet Moritz z. B. die Bedeutung des Bodens als Lebensraum mit den Funktionen des Bodens als Nährstoff- und Wasserspeicher. Nährstoffe sind nach seinen Vorstellungen im Boden, nicht aber in den Steinen gespeichert. Ebenso benötigen die Pflanzen Wasser zum Wachsen, welches der Boden auch speichern kann. Beides können die Pflanzen aus der Erde ziehen.

Filterfunktion: Eine weitere von Tom und Ben beschriebene Funktion ist die Filterfunktion. Dabei sickert Wasser durch den Boden und wird so gereinigt.

Wasserhaushalt: Jette kombiniert zwei Vorstellungen. Boden regelt den Wasserhaushalt, kann aber nur einen bestimmten Anteil an Wasser aufnehmen. Außerdem löst Wasser Mineralien aus dem Gestein, welches dann z. B. in Mineralbrunnen zur Verfügung gestellt wird.

Schutz vor Wasser: Alita ist in ihren Ausführungen weniger konkret. Sie sagt nur, dass Boden vor Wasser schützt, da das Wasser ohne den Boden überall hin könnte.

> Trägerfunktion <

Die Trägerfunktion des Bodens ist den Schülern bekannt und alltäglich wahrzunehmen. Boden wird als Grundfläche, Oberfläche, fester Untergrund gesehen, auf dem man stehen, liegen, gehen kann, der v. a. aber auch als Grundlage für den Bau von Häusern oder als Fläche für Siedlungen und Gewerbegebiete genutzt wird.

> Erholungsfunktion <

Die Erholungsfunktion zeigt verschiedene Facetten. Moritz verweist auf die Bedeutung der Erde, die für die eigene Gartengestaltung genutzt und im Gartencenter gekauft werden kann. Ben sieht die Erholungsfunktion eher in der Ästhetik. Ohne Boden gäbe es keine Pflanzen und es sähe nicht so schön aus. Dadurch

würde die Lebensqualität verringert. Jette fügt die Funktion als Spielmaterial für Kinder hinzu, die mit Dreck oder Sand spielen.

>Informationsfunktion <

Jette schreibt dem Boden als einzige eine Informationsfunktion zu. Nach ihrer Vorstellung kann man im Boden Schätze von Menschen finden, die früher einmal gelebt haben.

4.5.6 Vorstellungen zu Veränderungen im Boden

Bei den Veränderungen gibt es vier Konzepte, die von den Schülern angedacht werden. Einerseits denken die Schüler, dass Boden sich nicht weiter verändert oder ähnlich bleibt. Andererseits gibt es die Vorstellungen, dass Boden sich natürlich oder durch den Eingriff des Menschen verändert (Tabelle 7).

In die Verallgemeinerung der Vorstellungen zur Bodengefährdung fließen nicht nur die Ergebnisse der Einzelstrukturierung, sondern auch die Diagramme der Struktur-Lege-Technik mit ein (vgl. Anhang III, SLT's in der Explikation der einzelnen Interviews). In der Gliederung der Schülervorstellungen in einzelne Konzepte können die Komplexität der Vorstellungen, die Verknüpfungen und Vernetzungen nicht nachvollzogen werden. Daher wird auf die Diagramme aus der Struktur-Lege-Technik verwiesen. Im Folgenden werden zuerst allgemeine Kategorien herausgearbeitet, welche über den einzelnen Beispielen zur Bodengefährdung stehen und übergreifenden Charakter haben. Daran anschließend werden dann die einzelnen Beispiele dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht der Denkfiguren zu Veränderungen im Boden

Themen	Zentrale Denkfiguren
Bodenveränderungen	Boden bleibt gleich
	Natürliche Veränderungen
	Anthropogene Veränderungen
	Wechselwirkungen zwischen den Sphären

> Denkfigur: Boden bleibt gleich <

Tineke, Ben und Fabiano können sich nicht vorstellen, dass sich Boden verändert. Sie meinen, dass Boden auch in mehreren Jahrzehnten noch genauso oder ähnlich sein wird wie heute und dass Boden noch dieselben Funktionen übernehmen wird.

> Denkfigur: Natürliche Veränderungen <

Zu den natürlichen Veränderungen können die Prozesse der Bodenentwicklung gezählt werden, welche die Schülerinnen zum genannten Punkt formuliert haben.

> Denkfigur: Anthropogen bedingte Veränderungen <

Mit Ausnahme von Tineke, Tom und Ben verweisen alle anderen Schüler auf die durch den Menschen bedingten Veränderungen im Boden. Diese Veränderungen fallen häufig unter die Ursachen Umweltverschmutzung und Bebauung des Bodens. Auf Nachfrage, was den Boden denn gefährden könnte, geben alle Schüler eine Reihe von Beispielen an. Diese werden unter dem Punkt „Konzepte zur Bodengefährdung/Bodenzerstörung“ genauer betrachtet.

> Mensch als (Zer-)Störer >

Das menschliche Verhalten ist die grundlegende Ursache für fast alle Bodengefährdungen. Durch Produktion in Fabriken, die Nutzung von Autos, den Einsatz von Maschinen, Pflanzenschutzmitteln oder Düngern in der Landwirtschaft usw. wird die Umwelt und damit der Boden gefährdet und geschädigt.

> Folgen werden an Bodenfunktionen und Bodeneigenschaften angeknüpft <

Die Folgen der Gefährdungen werden auf die vorher genannten Bodenfunktionen bezogen und an den Bodenbestandteilen und dem Bodenaufbau festgemacht. So werden z. B. negative Folgen der Bodenversauerung auf die Tier und Pflanzenwelt bezogen. Boden wird in seiner Funktion als Lebensraum beeinträchtigt.

> Menschen/Tiere/Pflanzen als Betroffene <

Die Auswirkungen der Bodengefährdung/-zerstörung beziehen sich vornehmlich auf die Tier- und Pflanzenwelt und im Endeffekt auf den Menschen und das menschliche Leben. Es werden bis auf ein Beispiel nur negative Auswirkungen beschrieben, welche den Lebensraum verändern oder beeinträchtigen.

4.5.7 Allgemeine Vorstellungen zu Umweltverschmutzung/ Umwelteinflüssen

Umweltverschmutzung hat für die Schüler unterschiedliche Ursachen und Folgen. Bei Fabiano zählt der saure Regen zur Umweltverschmutzung, geht aber bei den Vorstellungen zur Bodenversauerung in die Auswertung ein. Einige Schüler zählen z. B. Abgase, Feinstaub, Müll oder Chemikalien als Ursachen für die Umweltverschmutzung auf, andere nennen diese Punkte als eigenständige Kategorien der Bodengefährdung. Die einzelnen Vorstellungen zum Thema Umweltverschmutzung sollen nicht bis ins Detail ausgewertet werden, dagegen werden grundlegende Konzepte und Denkstrukturen erarbeitet (Tabelle 8). Viele der allgemeinen Konzepte zur Umweltverschmutzung passen auch auf das Phänomen der Bodenversauerung.

Tabelle 8: Zentrale Denkfiguren zur Umweltverschmutzung in Bezug auf den Boden

Themen	Zentrale Denkfiguren
Umweltverschmutzung	Eintrag von Substanzen in den Boden durch den Menschen (Ursachen)
	Erwärmung (Klimaveränderungen) (Ursachen)
	Belastungspfade: Direkter Eintrag und indirekter Eintrag (Bsp. Wasserkreislauf)
	Fremdstoffe werden vom Boden aufgenommen
	Störung des Gleichgewichts/Kreislaufes (Folge)
	Veränderungen im Boden und in der Tier- und Pflanzenwelt (Folgen)
	Mensch als Betroffener (Folgen)
	Zeit
	Regeneration

Ursachen

> Denkfigur: Eintrag von Substanzen in den Boden durch den Menschen <

Als Ursachen für die Umweltverschmutzung werden von den Schülern am häufigsten Abgase genannt. Weitere Ursachen sind Müll, Chemikalien, Abwässer, Düngemittel, Schädlingsbekämpfungsmittel, Giftmüll und radioaktive Verseuchung. Die Ursachen liegen im Tätigkeitsbereich des Menschen und erfolgen durch einen Eintrag verschiedener Substanzen in den Boden.

> Mensch als Einzeltäter <

Der Mensch wird als Einzeltäter gesehen, der z. B. seinen Müll in den Wald wirft und zu faul ist ihn wieder aufzuheben (z. B. Alita, Tineke, Ben). Müll zersetzt sich auf dem Boden.

> Menschheit und ihre technischen Errungenschaften als Ursache <

Nicht der einzelne Mensch, sondern die Gemeinschaft/Gesellschaft wird als Verursacher gesehen. Es handelt sich dabei um Ursachen, welche erst seit der Industrialisierung und durch viele technische Errungenschaften zum Tragen kommen. Hierzu zählen die Abgase von Autos und Fabriken, Abwässer, Düngemittel und Schädlingsbekämpfungsmittel in der Landwirtschaft, Giftmüll und radioaktive Verseuchung durch Atomkraftwerke und Atommüll.

> Allgemeine Verschmutzung <

Die Schüler sprechen verschiedenste Verursacher und Schadstoffgruppen an. So wird von Abgasen, Rauch, Dünger etc. als Ursache für Verschmutzung gesprochen. Konkrete Emissionen wie NH_4^+ oder SO_2 werden nicht genannt.

> Denkfigur: Wechselwirkungen zwischen den Sphären <

> Wechselwirkungen <

Die Schüler erkennen verschiedene Belastungspfade, welche sich an den einzelnen Sphären anknüpfen lassen. Dabei ist den Schülern bekannt, dass Wechselwirkungen an den Übergängen zwischen einzelnen Sphären (Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre und Biosphäre) stattfinden.

Abb. 31 und Abb. 38 zeigen jeweils Synopsen der Schülervorstellungen zur Umweltverschmutzung und zur Bodenversauerung.

> Fehlende Prozesse an den Schnittstellen zwischen bzw. innerhalb den Sphären<
Den Schülern ist zwar bekannt, dass es Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sphären gibt, die Prozesse und Bedingungen, z. B. die Umwandlung verschiedener Stoffe/Ionen im Niederschlag oder im Boden, die einem Übergang von einer zur anderen Sphäre zugrunde liegen, sind ihnen jedoch weitgehend unbekannt.

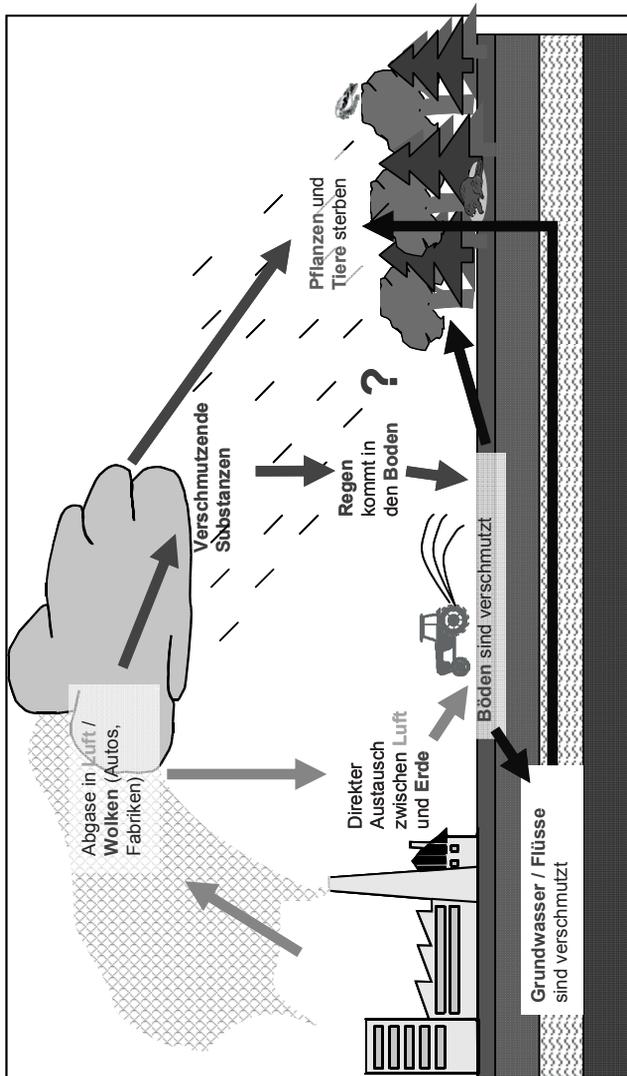


Abb. 31: Synopse der Schülervorstellungen zur Umweltverschmutzung: Zentrale Denkfiguren: Wechselwirkung zwischen den Sphären/Belastungspfade

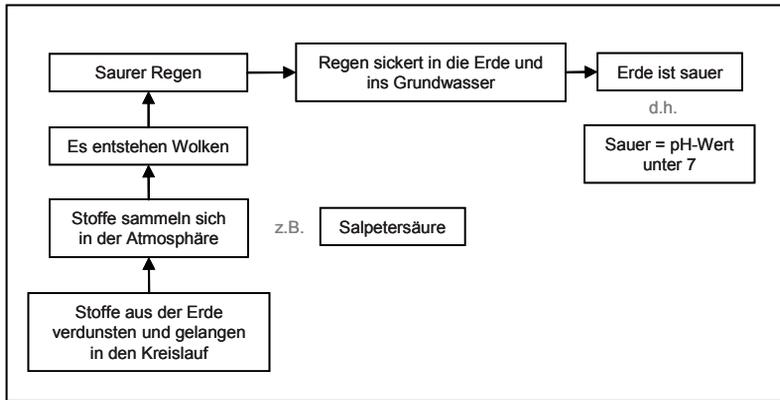


Abb. 33: Belastungspfad Wasserkreislauf – Ausschnitt Strukturdiagramm zur Bodenversauerung (Jette, Anhang III, Interview 6)

Folgen

> Denkfigur: Fremdstoffe werden vom Boden aufgenommen <

Grundlegende Voraussetzung für die Folgen ist, dass Fremdstoffe/Giftstoffe, Abgase etc. vom Boden aufgenommen werden und sich im Boden anlagern. Wie das passiert und wo genau sich die Schadstoffe befinden, wird nicht erwähnt. Die Folgen der Umweltverschmutzung werden dann einerseits auf die einzelnen Sphären (v. a. auf die Pedosphäre und Biosphäre), andererseits auf die von den Schülern vorher genannten Bodenfunktionen und auf die Bodenbestandteile bezogen.

>Denkfigur: Störung des Gleichgewichts/Kreislaufes <

Tineke spricht davon, dass es durch einen Überschuss oder Mangel an irgendwelchen Stoffen im Boden zu einer Störung des Gleichgewichtes kommt und in die Kreisläufe eingegriffen wird. Die Begriffe Gleichgewicht und Kreislauf werden nicht weiter ausgeführt. Jette dagegen beurteilt die Folgen der Umweltverschmutzung und spricht von einem „schlechten Kreislauf“ (501), bei dem giftige Stoffe über den Boden ins Grundwasser gelangen. Pflanzen nehmen diese Stoffe, die im Grundwasser gelöst sind, auf. Die Pflanzen werden von Tieren oder direkt von Menschen verzehrt und so gelangen die giftigen, ungesunden Stoffe in den menschlichen Körper.

> Unterbrechung der (Nahrungs-) Kette <

Moritz sagt, dass die Tiere, die verschmutzte Erde fressen, sterben. Dadurch wird die Kette unterbrochen.

> Denkfigur: Veränderungen im Boden und in der Tier- und Pflanzenwelt <

> Veränderung des Bodens <

Die Schüler bringen eine Fülle an Ideen an, welche Veränderungen durch die Verschmutzung im Boden entstehen können. Diese Veränderungen beziehen sich auf die Merkmale des Bodens, die Bodenqualität und die im Boden ablaufenden Prozesse. Es bleibt jedoch bei allgemeinen Formulierungen. Beispiele oder der genaue Ablauf von Prozessen werden nicht beschrieben.

Veränderungen der Merkmale: Boden wird heller/dunkler, feiner oder fester.

Bodenqualität verschlechtert sich.

Auslaugung: Boden wird durch übermäßige Nutzung ausgelaugt, erst dadurch besteht die Notwendigkeit zur Düngung.

Veränderung der Prozesse: Paula meint, dass durch die Umweltverschmutzung die Prozesse im Boden verändert werden. Boden kann Nährstoffe nicht mehr aufnehmen, diese filtern, umwandeln und produzieren.

Kampf: Tineke sagt, dass Boden durch Fremdstoffe bekämpft wird.

> Veränderung des Lebensraumes für Pflanzen und Tiere <

Fremdstoffe wirken schädigend: Die Verschmutzung wirkt sich auf die Wechselwirkungen zwischen Boden und Tieren aus. Der Boden braucht die Tiere zum Leben. Wenn die nicht mehr da sind, kann er auch nicht mehr weiterleben. Tineke sagt, dass Pflanzen und das, was sie zum Wachsen brauchen, von Fremdstoffen „angegriffen“ (790) werden. Bäume werden krank, Blätter verfärben sich und die Fotosynthese kann nicht mehr durchgeführt werden. Durch die Verschmutzung des Lebensraumes werden die schädlichen Substanzen von den Pflanzen aufgenommen. Pflanzen und Tiere können nicht mehr entstehen oder überleben. Sie erkranken/sterben/verschwinden. Es wächst nichts mehr.

Mangel an Nährstoffen: Tineke führt auch einen Mangel an bestimmten Stoffen an. Wenn die Stoffe, welche Pflanzen brauchen, nicht mehr vorhanden sind, gehen sie kaputt.

> Denkfigur: Mensch als Betroffener <

Die Umweltverschmutzung wirkt sich direkt und indirekt auf den Menschen aus. So gibt Ben an, dass Menschen durch Radioaktivität erkranken (z. B. Blutkrebs) und die Säuglingssterberate erhöht ist. Weiterhin können Schädlingsbekämpfungsmittel über Nahrungsmittel/Brot aufgenommen werden. Tineke und Alita beziehen sich eher auf die verringerte Sauerstoffproduktion durch erkrankte/abgestorbene Bäume/Pflanzen. Tineke (922) formuliert das Problem drastisch: „Wenn die Bäume kaputt sind, haben wir wieder das Problem, dass alle tot sind.“

> Denkfigur: Zeit <

Paula verweist auf den zeitlichen Faktor. Ihrer Meinung nach zeigen sich die Auswirkungen der Verschmutzung nicht direkt. Auf Dauer wird eine Zunahme der

Verschmutzung vorausgesetzt, welche dann gefährliche Folgen für die Tier- und Pflanzenwelt haben kann.

> Denkfigur: Regeneration <

Tineke spricht davon, dass sich Boden von den negativen Einflüssen regenerieren kann. Dabei bezieht sie sich auf drei Faktoren:

Zeit: Boden braucht Zeit um sich zu regenerieren.

Ausgleich: „Stoffe“ im Boden versuchen die schädlichen Einwirkungen auf den Boden auszugleichen.

Mensch als Retter: Menschen versuchen den Boden zu retten. Mögliche Maßnahmen wären Kalkung oder Düngung.

> Denkfigur: Erwärmung <

Alita und Tom nennen die Erwärmung als Gefahr für den Boden.

Ursache für die Erwärmung sind Klimaveränderungen bzw. der Treibhauseffekt durch Kernkraftwerke.

Als **Folge** trocknet der Boden aus und wird unfruchtbar. Sand löst sich aus dem Boden und alles wird zur Wüste. Pflanzen vertrocknen und in der Erde gibt es kein Leben mehr, da alle Tiere Wasser brauchen. Es kommt zu Dürren und Nahrungsmittelmangel, da viele Sachen nicht mehr angebaut werden können.

> Synthesemodelle: Konfusion verschiedener Ursachen und Auswirkungen <

Die Schüler kramen alles, was sie zur Umweltverschmutzung wissen, hervor. Es kommt zu einer Konfusion unterschiedlichster Ursachen und Auswirkungen, die durcheinander gebracht werden (Abb. 34). So wird die radioaktive Verseuchung durch Atomkraft(werke) von Tineke, Paula und Ben als Ursache des sauren Regens bzw. als Ursache für die Klimaerwärmung gesehen. Für Tineke wirken sich Autoabgase auf die Ozonschicht aus. Eine Konfusion unterschiedlicher Ursachen und Auswirkungen und die Schwierigkeit der Trennung dieser Phänomene konnte auch in weiteren Studien nachgewiesen werden¹⁵.

¹⁵ Vgl. Kap. 3.6.1.

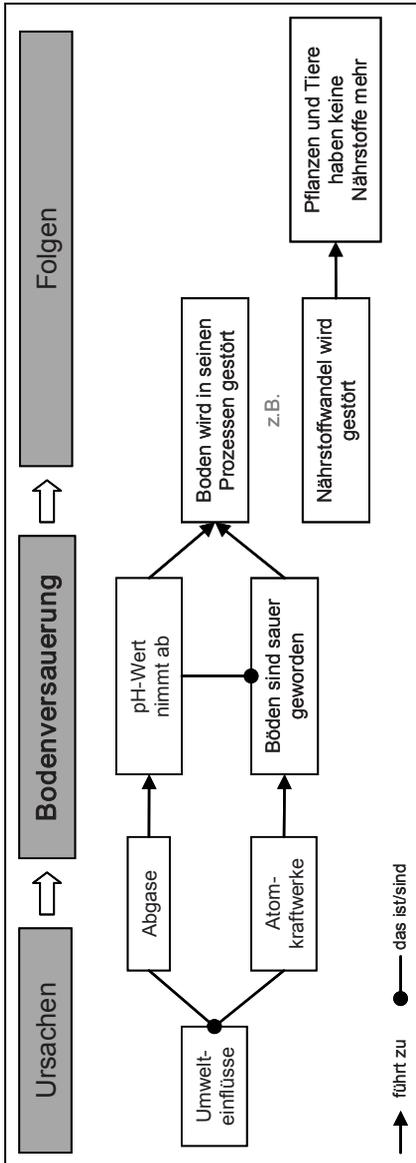


Abb. 34: Beispiel für ein Synthesemodell zur Bodenversauerung (Paula, Anhang III, Interview 4)

4.5.8 Erosion durch Wasser

Die Vorstellungen zur Wassererosion wurden mit Hilfe zweier Fotos erhoben. Ein Foto zeigt eine Rinnenerosion auf einem Feld (Material 2, Anhang I), das andere Foto zeigt die Nagelmethode (Material 3, Anhang I), mit deren Hilfe die Dimensionen der Bodenerosion nachgewiesen werden kann. Da die Vorstellungen einiger Schüler zu den beiden Bildern sehr unterschiedlich sind, werden diese teilweise unabhängig voneinander betrachtet. Dies gilt für die Erklärungen zur Nagelmethode von Alita, Jette, Paula und Tineke. Bei den anderen Schülern gehen die Erklärungen für beide auf den Fotos dargestellten Phänomene in die gleiche Richtung, daher werden sie gemeinsam untersucht.

Als Ursachen für die auf dem Foto dargestellte Rinne im Feld bzw. die hervorstehenden Nägel finden die Schüler mehrere Möglichkeiten (Tabelle 9). Sieben der acht Schüler ziehen das Wasser als Verursacher der Rinne in Erwägung. Dabei kann Wasser Boden abtragen, das Volumen verändern, Erde zusammendrücken oder Erde aufweichen und mit dieser in den Boden einsacken. Als weitere mögliche Ursachen werden Hitze, Abtragung durch Wind, Erdbeben, oder die Verdunstung von Wasser genannt. Alita macht zwar viele Vorschläge zur Entstehung der Rinne z. B. auch, dass es sich um einen Weg im Feld handelt. Diese passen für sie aber nicht zu der auf dem Foto dargestellten Form. Die Konzepte zur Plattenverschiebung/Erdbeben, Frostbrüchen, Explosion und dem Befahren als Ursachen für die Rinne werden im Interviewverlauf von Alita, Jette und Ben revidiert. Tineke kann sich die Form gar nicht erklären.

Tabelle 9: Übersicht über die Schülervorstellungen zur Wassererosion (Zentrale Denkfiguren herborgehoben)

		Ursachen	Folgen
Wassererosion		Abtrag, Abspülen, Abfluss des Bodens durch zu viel Wasser	Schwierige Bewirtschaftung des Feldes
		Einsacken des Bodens durch zu viel Wasser	Hochwasser
		Einsacken durch Verflüssigen des Bodens	
		Einsacken durch Volumenveränderung	Boden ist unfruchtbar
		Zusammendrücken des Bodens durch Wasser	Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums durch zu viel Wasser
		Wunde im Boden	Erde/Schichten verschwinden
	Verdunstung/Hitze		
	Vorgänge, die tiefer im Boden stattfinden		

> Denkfigur: Bodenabtrag durch Wasser <

> Abfluss/Abspülen/Abtragung des Bodens <

Ben, Moritz und Tom vermuten für die Entstehung der Rinne ein Abtragen bzw. Abspülen des Bodens durch Wasser (Abb. 35). Es kommt zu einem ungeplanten Wasserabfluss. Wasser nimmt Sand, Humus, Nährstoffe und Erde mit und spült sie weg. Als weitere Möglichkeit nennt Ben den Wind.

Folgen

Die Folgen zu den beschriebenen Prozessen werden sehr unterschiedlich geschildert. Die häufiger auftauchende Vorstellung, dass Erde ganz verschwindet, wird von den Schülern jedoch als extrem bzw. schwer vorstellbar angesehen.

Erde/Schichten verschwinden: Ben und Moritz vermuten, dass, wenn immer mehr Erde abgetragen würde, irgendwann die ganze Erde weg wäre. Diese Vorstellung finden beide zu extrem. Sie können sich dieses Szenario nicht vorstellen.

Schwierige Bewirtschaftung des Feldes: Für Ben und Fabiano lässt sich das Feld durch den Riss im Boden schlechter bewirtschaften, z. B. mit dem Trecker befahren. Der Riss müsste wieder aufgefüllt werden. Das hätte evtl. Auswirkungen auf die angebauten Pflanzen.

Hochwasser: Jette kann sich vorstellen, dass Wasser auf dem Feld stehen bleibt. Wenn es weiter ansteigt, kann es zu Hochwasser kommen.

Boden ist unfruchtbar: Tom gibt zu bedenken, dass mit dem Wegspülen von Humus und Nährstoffen nur noch Sand übrig bleibt und der Boden unfruchtbar wird.

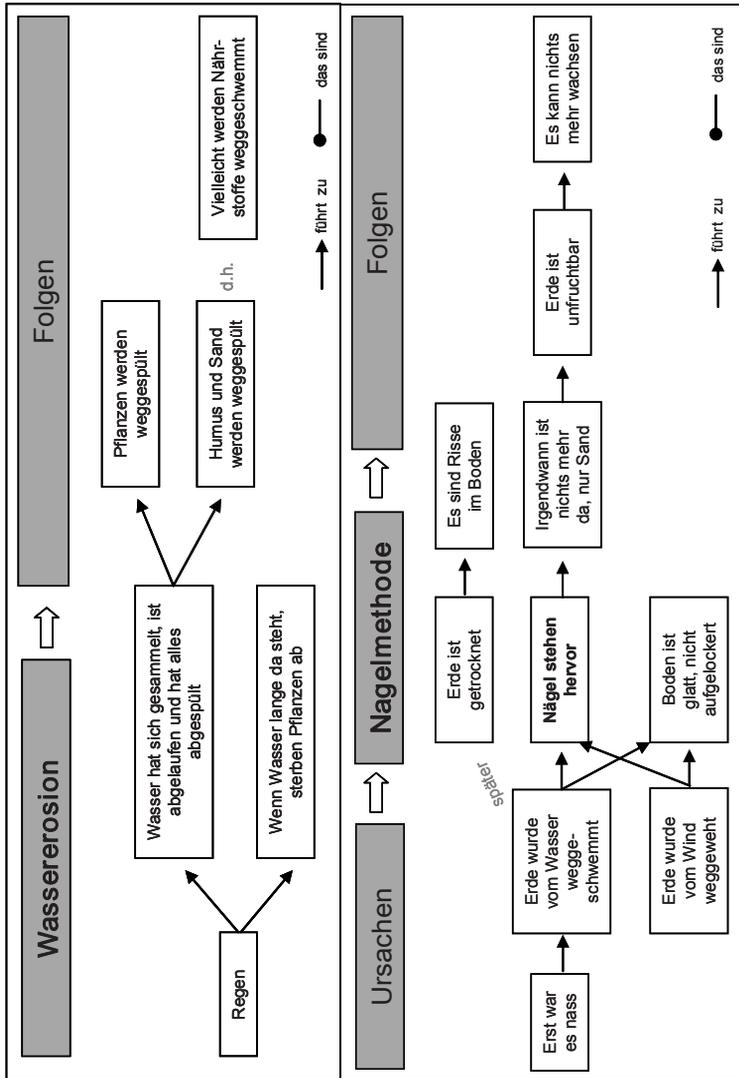
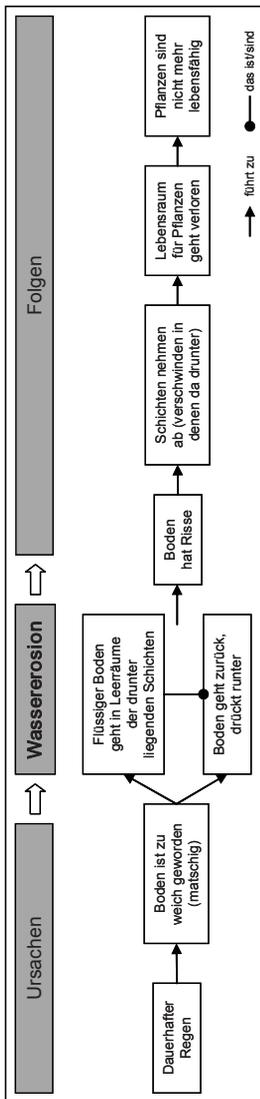


Abb. 35: Strukturdiagramm zur Wassererosion (Tom, Anhang III, Interview 5)



> Denkfigur: Einsacken des Bodens durch zu viel Wasser <

Die Schüler stellen sich vor, dass der Regen den Boden aufgeweicht hat. Der *Boden wird matschig* und kann nicht mehr Wasser aufnehmen.

Einsacken durch Verflüssigen des Bodens: Fabiano, Moritz und Paula beschreiben ein Verflüssigen des Bodens durch viel Wasser. Wenn der Boden flüssig ist, sackt er in die Leerräume zwischen den Steinen (Abb. 36).

Einsacken durch Volumenveränderung bei Nässe: Fabiano nimmt an, dass nasser Boden ein größeres Volumen hat. Trocknet der Boden, wird er hart und sackt zusammen.

Zusammendrücken des Bodens durch Wasser: Wasser drückt die Erde zusammen. Moritz sagt, dass dadurch ein natürlicher Flussweg entsteht. Er vermutet, dass die Erde an den Seiten wieder nachrückt.

Kombination: Moritz beschreibt eine Kombination der vorherigen Prozesse: Wasser drückt die Erde platt. Kommt neues Wasser nach, nimmt es die Erde von den Seiten mit.

Folgen

Erde ist fest: Im Bereich, wo die Erde zusammengedrückt ist, ist die Erde zu fest. Pflanzen können ihre Wurzeln nicht darin vergraben. Es können sich keine Tiere ansiedeln.

Beeinträchtigung Pflanzenwachstum: Tom und Jette verweisen auf die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums durch ein Übermaß an Wasser. Pflanzen würden absterben.

Erde/Schichten verschwinden: Paula überlegt, ob ein Verschwinden der Schichten in den darunter liegenden möglich ist, wodurch Lebensraum für Tiere und Pflanzen verloren geht.

Abb. 36: Strukturdiagramm zur Wassererosion - Einsacken des Bodens durch zu viel Wasser (Paula, Anhang III, Interview 4)

Weitere Vorstellungen treten vereinzelt auf:

> Verdunstung/Hitze <

Ben und Moritz ziehen eine weitere Erklärung in Betracht. Bei Hitze und der Verdunstung von Wasser entstehen Risse, weil die Erde sich ausdehnt.

> Vorgänge tiefer im Boden <

Jette meint, dass Vorgänge tiefer im Boden für die Rinne verantwortlich sind.

> Voraussetzung <

Jette ist ferner der Meinung, dass mit dem Feld schon vorher etwas nicht in Ordnung gewesen sein muss, da es sonst nicht einfach brechen würde.

> Wunde <

Jette vermutet auf der Erde eine Art Schutzschicht, die wie bei einer Wunde aufgerissen werden kann. Äußere Einflüsse, die schlecht für die Erde sind, können dann direkt eindringen.

Foto Nagelmethode (Material 3, Anhang I)

>Denkfigur: Boden kann aktiv handeln >

Alle vier Schülerinnen beschreiben beim Foto zur Nagelmethode einen aktiven Prozess, bei welchem die Erde/der Boden versucht den Nagel loszuwerden. Dabei „bewegt die Erde sich“ (812, Interviewtranskript Moritz, Anhang III), „schiebt sich zusammen“, „drückt den Nagel hoch“ (528 ff., Interviewtranskript Alita, Anhang III), und „kämpft“ (710, Interviewtranskript Tineke, Anhang III) sogar gegen den Nagel an, da sie keine Nägel braucht und versucht den Nagel „abzustoßen“ (537, Interviewtranskript Alita, Anhang III). Paula stellt sich sogar vor, dass der Boden merkt, ob es sich um einen Nagel oder eine Pflanze handelt, da er sonst die Pflanzen auch hoch drücken würde.

> Denkfigur: Erde verändert sich durch die Witterung <

Nur bei Jette ist zu erkennen, dass es sich auch um eine indirekte Bewegung handeln könnte. Sie sagt, dass sich die Schichten z. B. durch die Witterung, durch Frost und Abtauen verändern können, wobei der Nagel durch die Reibung nach oben geschoben werden könnte. Der Nagel steht heraus, weil sich die Erde selbst über die ganze Zeit verändert hat.

4.5.9 Erosion durch Wind

Das Foto zur Winderosion wird von den meisten Schülern erkannt. Nur wenige vermuten Schnee auf dem Bild. Nach dem Hinweis, dass es sich nicht um Schnee handelt, gehen alle Schüler auf die Erosion von Sand bzw. Boden durch Wind ein. Ferner beschreiben die Schüler unterschiedliche Faktoren, welche das Ausmaß der Erosion beeinflussen. Die Folgen werden nach Abtragungs- und Ablagerungsgebiet des Bodenmaterials getrennt. Die Vorstellungen lassen sich gut verallgemeinern, da sie in ähnliche Richtungen gehen (Tabelle 10). Das Strukturdiagramm

gramm von Ben zeigt ein sehr umfassendes Bild, das die verschiedenen, auch bei anderen Schülern auftretenden Konzepte, mit aufnimmt (Abb. 37).

Tabelle 10: Übersicht über die Schülervorstellungen zur Bodenerosion durch Winderosion (Zentrale Denkfiguren hervorgehoben)

Thema	Ursachen	Folgen		
Winderosion Denkfigur: Verlagerung von Boden durch Wind	Abtragung von Boden	Auflockerung des Bodens; Sauerstoff kommt an die unteren Schichten		
		Erde verschwindet	Sand bleibt zurück, Nährstoffe fehlen Freilegung von anderen Schichten/Fossilien	
		Pflanzensamen werden weggeweht		
	Ablagerung von Boden	Erhöhung des Bodens am Ablagerungsort: Sandberge/Dünen		
		Untypischer Boden am Ablagerungsort: Anpassung nötig		
	Bedingungen, die Erosion verstärken			
	Einzelteile, Größe, Gewicht (klein und leicht)			
	Feuchtigkeit (trockener Boden)			
	Kein Schutz durch Vegetation			

> Denkfigur: Verlagerung <

Alle Schüler beschreiben bei der Winderosion einen Prozess, bei dem Bodenmaterial (Sand, Humus, Nährstoffe), aber auch Samen von einem Ort abgetragen und an einem anderen Ort wieder abgelagert werden.

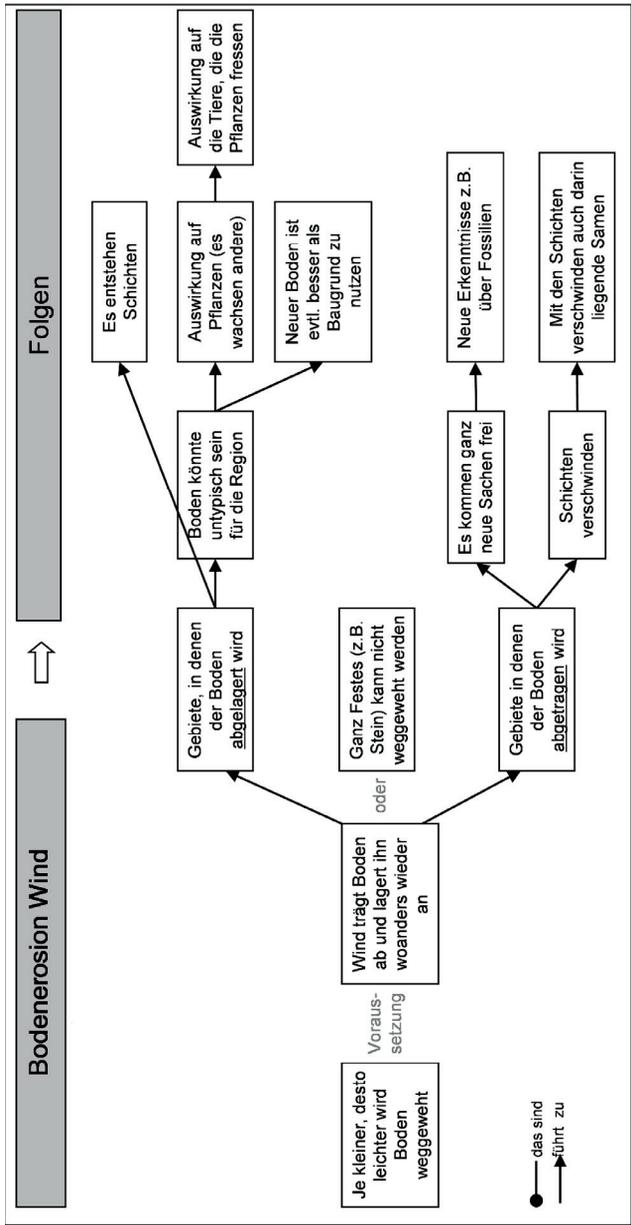


Abb. 37: Strukturdiagramm zur Winderosion (Ben, Anhang III, Interview 8)

Bedingungen

Einzelteile, Größe und Gewicht: Tineke, Moritz, Alita, Ben, Fabiano und Jette sprechen davon, dass Boden aus vielen Einzelteilen besteht. Sandkörner, Staubteilchen und Erdkörner, die nicht fest aneinander gebunden, sondern locker sind, werden weggeweht. Je kleiner und leichter die Teilchen sind, desto einfacher werden sie weggeweht.

Feuchtigkeit: Moritz, Tineke, Fabiano und Jette sagen, dass feuchte/nasse Erde nicht so gut transportiert werden kann, da sie klebrig ist. Die Sonne verdunstet das Wasser und trocknet den Boden. Erde wird abgetragen, wenn sie trocken ist.

Oberfläche: Sand, Bodenteilchen, die oben aufliegen, werden weggeweht.

Vegetation als Schutz: Tom verweist auf den Schutz vor Winderosion durch Vegetation. Er sagt, dass kein Schutz durch Hecken oder Bäume vorhanden sein darf, der den Wind aufhält. Die Abtragung geschieht eher auf freien Flächen.

Wiederholbarkeit: Fabiano beschreibt einen sich wiederholenden Vorgang. Sand wird abgetragen, die Sonne trocknet die freigelegte Schicht. Diese kann dann wiederum abgetragen werden.

> Abtragung von Boden <

Erde verschwindet: Wenn alles abgetragen würde, gäbe es keine Erde mehr/der Boden wird flacher.

Nährstoffe fehlen: Den Pflanzen wird der Sand/Humus unter den Wurzeln weggeblasen. Sie bekommen keine Nährstoffe mehr. Boden wird trockener und nährstoffärmer.

Sand bleibt zurück: Toms Vorstellung, dass nur noch eine Sandschicht zurückbleibt, widerspricht der kurz vorher gemachten Aussage, dass Sand vom Wind weggeweht wird.

Freilegen von anderen Schichten/Fossilien: Ben und Fabiano verweisen auf das Freilegen älterer Schichten, wenn Sand/Boden abgetragen wird. Durch freigelegte Fossilien bekommt man vielleicht neue Erkenntnisse.

Pflanzensamen werden weggeweht: Die Pflanzensamen werden mit weggeweht. Man hat nichts mehr von dem, was man angebaut hat.

Auflockerung/Sauerstoff: Alita bedenkt, dass der Boden aufgelockert wird und an die unteren Schichten Sauerstoff gelangen kann.

> Ablagerung von Boden <

Erhöhung des Bodens am Ablagerungsort/Sandberge/Dünen: Tom und Moritz sprechen davon, dass dort, wo der Sand/Boden wieder abgelagert wird, kleine Sandberge/Dünen entstehen.

Untypischer Boden/Anpassung/Abschluss: Ben kann sich vorstellen, dass durch den Wind untypischer Boden in andere Regionen gelangt. Das hat Auswirkungen auf die dort vorhandenen Pflanzen, die dann nicht mehr richtig wachsen können und entsprechend auch auf die Tiere. Vielleicht eignet sich der Boden auch besser oder schlechter als Baugrund. Der Boden muss sich an die neuen Bedingungen anpassen. Nährstoffe müssen z. B. durch den Sand in den Boden gelangen.

Ist die Sandschicht zu mächtig, kommt es zu den gleichen Auswirkungen, als wäre eine Asphaltsschicht über dem Boden.

Ausgleich: Fabiano geht davon aus, dass sich die Prozesse untereinander ausgleichen. Verläuft der Prozess über längere Zeit, wird der Boden dort, wo er abgetragen wird flacher, woanders muss er dann höher werden. Die Schichten ändern sich.

Keine schlimmen Folgen: Es gibt keine schlimmen Auswirkungen, der Wind trägt den Boden ja woanders hin, er geht nicht verloren. Außerdem hat der fort gewehrte Sand für Tineke keine Funktion mehr, da er nicht feucht ist. Pflanzen haben ihre Wurzeln eher in feuchten Bereichen des Bodens.

> Begriff Bodenerosion <

Den meisten Schülern ist der Begriff Bodenerosion unbekannt. Sie können auch vom Wort her keine Bedeutung ableiten. Manche suchen ad hoc Erklärungen oder Verbindungen wie „*kleine Explosion*“, (654, Interviewtranskript Alita, Anhang III), „*Erosion hat was mit Bewegung zu tun*“ (466, Interviewtranskript Moritz, Anhang III) oder „*Erosion hat was mit Kälte zu tun. Wenn es trocknet, dann wird es wieder fest. Dann entstehen diese Risse*“ (846, Interviewtranskript Moritz, Anhang III). Nur Jette und Tom beziehen Bodenerosion klar auf die Abtragung des Bodens durch Wind (und Wasser). Hier fehlt aber die zweite Dimension, die Ablagerung, die zur Bodenerosion dazu gehört.

4.5.10 Bodenverdichtung

Das Phänomen der Bodenverdichtung ist eines, welches für die Schüler anscheinend sehr eingänglich ist. Das Foto und die dazu gezeigte Bodenprobe werden schnell mit den Begriffen „dicht“, „zusammengepresst“, „zusammengedrückt“ und „fester Boden“ in Verbindung gebracht. Für das Phänomen auf dem Foto und die fest gepresste Bodenprobe werden das Befahren des Feldes von einem Trecker und der nachfolgende Regen von fast allen Schülern als Hauptursachen benannt. Die beschriebenen Folgen der Bodenverdichtung beziehen sich einerseits auf die Struktur des Bodens (locker/fest/eng), auf die damit zusammenhängenden Anteile an Luft/Freiräumen im Boden und wiederum auf die Bodenfunktionen. Ursachen und Folgen können in diesem Beispiel teilweise schlecht voneinander getrennt werden. Eine Übersicht über die Vorstellungen der Schüler bietet die Synopse zur Bodenverdichtung (Abb. 38).

> **Denkfigur: Fester, undurchlässiger Boden** <

Ursachen

Durch verschiedene Einflüsse ist die Erde nicht mehr locker, sondern zusammengedrückt, dicht, fest. Es gibt weniger Freiräume oder freie Stellen im Boden. Später einsetzender Regen bleibt auf dem Feld stehen. Wasser versickert in

lockerer Erde besser als in fester. Die beiden Aspekte „fester Boden“ und „zu viel Regen“ werden von den meisten Schülern miteinander verknüpft. Boden wird dichter durch:

Befahren durch Maschinen/Trecker: Der Trecker hat den Boden zusammengepresst. Dadurch kommt es zur Bodenverdichtung.

- *Nebenwirkung:* Die Verdichtung wird von den Schülern eher als Nebenwirkung bei der Bodenbearbeitung gesehen.
- *Absichtliche Verdichtung:* Fabiano kann sich auch vorstellen, dass der Boden mit Absicht für eine bestimmte Anbauart verdichtet wird.

Drauftrampeln, Hausbau, Erdbeben sind weitere Prozesse, die zu verdichtetem Boden führen.

Boden ist durchweicht/Verschlämmung: Tom meint, dass Wasser Reste des Bodenmaterials in die kleinen Löcher spülen kann, die noch frei sind. Erde wird weich und flüssig und sackt ein.

Zusammendrücken: Paula sagt, dass der Boden durch den Regen zusammengedrückt wird.

Folgen

Das Foto zeigt Wasser, das in den Traktorrillen auf einem Feld steht. Daher gehen die Schüler natürlich davon aus, dass es viel bzw. zu viel geregnet hat. Sie beschreiben im Folgenden die Auswirkungen unter den Bedingungen des zusammengepressten, verdichteten Bodens und zu viel Regen. Einige Aspekte könnten auch zu den Ursachen gezählt werden (z. B. Verschlämmung). Andere Aspekte beziehen sich nur auf den verdichteten Boden ohne den Einfluss des Wassers.

> Boden ist zu fest <

Erosion: Moritz kann sich vorstellen, dass das Wasser die Oberfläche des zusammengedrückten Bodens mitnimmt.

Tiere und Pflanzen: Organismen haben keinen Platz mehr, die Erde ist zu eng. Tiere können nicht mehr darin leben und Pflanzen nicht mehr darin wachsen/ihre Wurzeln vergraben. Auf lockerem Boden kann man besser etwas anpflanzen als auf festem Boden.

Sauerstoff: Es kommt kein Sauerstoff mehr an die Erde.

Nährstoffhaushalt: Wasser und Nährstoffe zirkulieren in lockerem Boden besser als in festem.

> **Denkfigur: Zu viel Wasser/Regen** <

Aufnahmekapazität/Wasserdurchlässigkeit: Jette beschreibt eine erschöpfte Aufnahmekapazität des Bodens. Zwischen den Körnchen/Bodenteilchen ist kein Platz mehr. Alle freien Stellen im Boden sind mit Wasser besetzt. Der Boden kann kein Wasser mehr aufnehmen, das Wasser versickert nicht und bleibt auf der Oberfläche stehen. Fabiano, Ben, Moritz, Paula und Tom weisen darauf hin, dass

lockerer Boden mehr Wasser aufnehmen kann als fester. Daher bleibt das Wasser auf verdichtetem Boden stehen und versickert nicht so schnell.

Wasser fließt oberflächlich ab/Hochwasser: Jette folgert aus der verringerten Aufnahmekapazität, dass nur ein Teil des Wassers ins Grundwasser fließt, ein anderer Teil in den Graben, dann in den Fluss. Es kann zu Hochwasser kommen.

Weitere Vorstellungen

Schlechte Bodenstruktur: Der Boden ist zu lehmig und lässt Wasser nicht so gut durch.

Witterungsbedingte Verdichtung: Fabiano stellt sich noch eine witterungsbedingte Verdichtung vor. Innerhalb der Jahreszeiten verdichtet sich der Boden durch Frost, Feuchtigkeit und Trockenheit. Das ist für ihn natürlich und nicht schädlich.

Dreckiges Wasser verdunstet: Das dreckige Wasser mit den Schädlingsbekämpfungsmitteln und dem Dünger auf dem Feld verdunstet.

Wasser versickert noch: Es hat gerade erst geregnet, das Wasser versickert noch.

Pflügen: Um die Erde wieder aufzulockern und Luft herein zu bekommen, muss man sie pflügen. Bauern pflügen die Erde, daher ist es für Jette nicht vorstellbar, dass sich Erde so stark verdichtet.

Wasserhaushalt: Jette geht von einem Wasserhaushalt aus, der regelt, wie viel Wasser der Boden aufnehmen kann. Es ist beabsichtigt, dass der Boden nicht mehr Wasser aufnimmt, weil zu nasser Boden nicht gut für die Pflanzen ist. Der Boden nimmt das Wasser nicht auf, weil er es im Moment nicht brauchen kann.

> Begriff: Bodenverdichtung <

Mit dem Begriff Bodenverdichtung wird von allen Schülern der Prozess des Zusammenpressens, Festdrückens, bzw. Verdichtens des Bodens in Verbindung gebracht. Der Boden ist dadurch nicht mehr locker und krümelig, sondern wird härter und fester. Er wird evtl. auch platter und verliert an „Höhe“. Der Begriff kann als lernförderlich verstanden werden, da die Schüler allein vom Begriff die Bedeutung ableiten können. Wahrscheinlich ist auch, dass der Begriff der „Dichte“ aus dem Physikunterricht bekannt ist und nun auf die neue Situation übertragen werden kann. Jette fügt eine zweite mögliche Bedeutung des Begriffes an. Sie sagt, Boden könne sich nicht nur vom Material her, sondern auch an Nährstoffen verdichten. Boden wird nährstoffreicher, es findet eine Veränderung der Elemente statt.

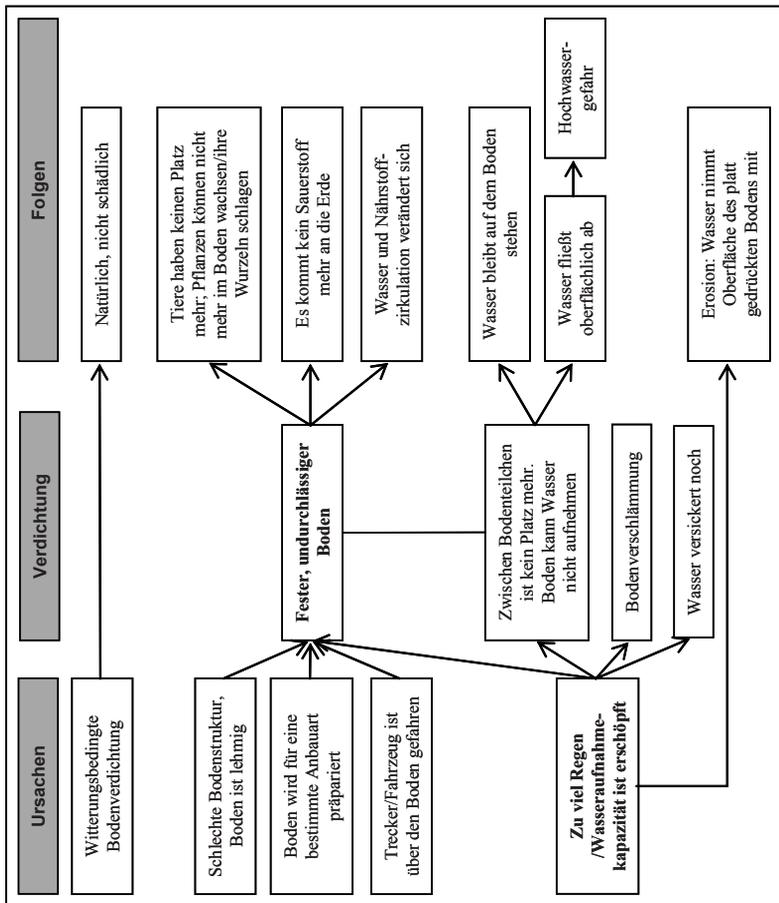


Abb. 38: Synopse der Schülervorstellungen zur Verdichtung. (Zentrale Denkfiguren hervorgehoben)

4.5.11 Bodenversauerung

Die Vorstellungen der Schüler zum Themenbereich Bodenversauerung bieten einerseits viele Gemeinsamkeiten, andererseits auch einige Eigenheiten. Einige Vorstellungen sind sehr komplex, andere bewegen sich eher an der Oberfläche. Keine der Vorstellungen geht aber auf Prozesse im Ionenbereich ein. Sieben der acht befragten Schüler nennen als Ursache spontan den Eintrag von Saurem Regen in den Boden und verbinden das Phänomen mit dem Absinken des Boden-pH-Wertes. Als Verursacher des sauren Regens werden v. a. Abgase von Autos und aus der Industrie genannt. Auffällig ist jedoch, dass drei Schüler Atomkraftwerke und deren radioaktive Strahlung für den sauren Regen verantwortlich machen. Als Belastungspfad wird bei der Bodenversauerung, genauso wie bei der Umweltverschmutzung, auf den Wasserkreislauf zurückgegriffen, mit den bereits oben genannten Vor- und Nachteilen. Die Auswirkungen der Bodenversauerung knüpfen wiederum an den Bodenfunktionen an (Tabelle 11).

Tabelle 11: Zentrale Denkfiguren zur Bodenversauerung

	Zentrale Denkfiguren
Versauerung	Luft-/Umweltverschmutzung (Ursachen)
	Atomkraftwerke (Ursachen)
	Gärungsprozesse (Ursachen)
	Wasserkreislauf (Belastungspfad)
	Schadstoffe schädigen Boden/Pflanzen/Tiere (Folgen)

> Denkfigur: Luft-/Umweltverschmutzung <

Fast alle Schüler machen Rauch, Schwefelsäure, Schwefelgase von Fabriken und Autoabgase verantwortlich für den sauren Regen. Konkrete Emissionen werden nicht genannt. Diese Stoffe gelangen in die Luft und in die Wolken. Es kommt zu saurem Regen.

Es werden weitere Faktoren aufgezählt, welche zur Bodenversauerung führen können: Essig, Abgase, Dünger und abgelassenes Öl (Abb. 39).

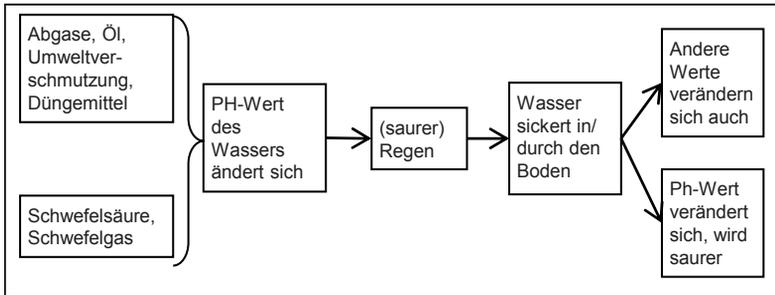


Abb. 39: Strukturdiagramm zu den Ursachen der Bodenversauerung (Fabiano, Anhang III, Interview 3)

> **Denkfigur: Atomkraftwerke** <

Tineke, Paula und Ben benennen die Atomkraftwerke als Verursacher des sauren Regens. Die radioaktive Strahlung gelangt in die Luft. Der Regen nimmt die radioaktive Strahlung auf und wird zu saurem Regen (Abb. 40).

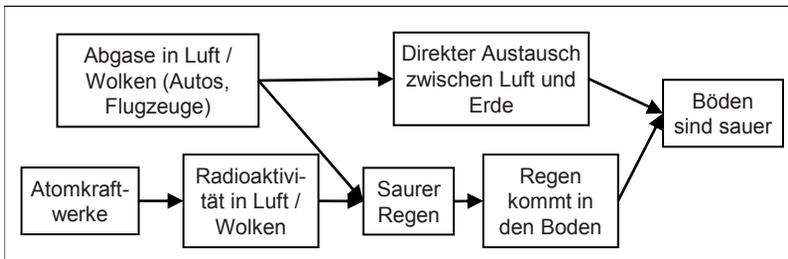


Abb. 40: Strukturdiagramm zu den Ursachen der Bodenversauerung (Ben, Anhang III, Interview 8)

> **Denkfigur: Gärungsprozesse** <

Alita lässt sich von der Schlagzeile „Waldböden in NRW sind zur Hälfte sauer wie Essig“ in ihren Überlegungen stark beeinflussen. Sie kann sich vorstellen, dass Bodenversauerung durch Gärungsprozesse entsteht, so wie auch Essig entsteht.

Belastungspfad

> **Denkfigur: Wasserkreislauf** <

Als Belastungspfad wird von allen Schülern der Wasserkreislauf bzw. Teile davon beschrieben. Entweder verdunsten die Schadstoffe mit dem Wasser oder sie gelangen als Abgase von Industrie und Verkehr in die Luft, die Wolken und damit in den Regen. saurer Regen gelangt in den Boden und führt so zur Bodenversauerung.

rung. Moritz stellt sich vor, dass saurer Regen durch die Verdunstung von Wasser und Schadstoffen entsteht. Es kommt zur Wolkenbildung und so zum Sauren Regen.

Folgen

Boden-pH-Wert sinkt: Durch den sauren Regen sinkt der pH-Wert im Boden. Sauer bedeutet dabei, dass der pH-Wert kleiner als 7 ist. Andere Stoffe reagieren mit dem sauren Regen und verändern sich.

Bodenqualität wird schlechter und der Boden wird unfruchtbar, mit den entsprechenden Auswirkungen für Pflanzen und Tiere (s.u.).

> Denkfigur: Schadstoffe schädigen Boden/Pflanzen/Tiere <

Der Eintrag von saurem Regen wird von den Schülern teilweise mit dem Eintrag von Giftstoffen gleichgesetzt. Nicht das Absenken des pH-Wertes verändert den Lebensraum, sondern die eingetragenen Schadstoffe wirken sich direkt auf Boden, Tiere und Pflanzen aus, greifen diese an und schädigen sie. So nehmen Bäume die Schadstoffe z. B. direkt aus dem Boden auf und sterben.

Die weitergehenden Folgen überschneiden sich:

> Lebensräume/Lebensbedingungen verändern sich <

Durch die Bodenversauerung kommt es zu negativen Auswirkungen für die Tier- und Pflanzenwelt.

Prozesse werden gestört: Die Schüler beschreiben die Störung von im Boden ablaufenden Prozessen. So werden z. B. „Ketten“ (350, Interviewtranskript Moritz, Anhang III) und die „Kreisläufe“ (256, Interviewtranskript Tineke, Anhang III) gestört, wie Moritz und Tineke sich ausdrücken. Der Boden kann nicht mehr arbeiten und die Nährstoffe gehen kaputt oder können nicht mehr umgewandelt werden. Fabiano spricht davon, dass durch die Versauerung Ammonium nicht mehr abgebaut wird. Auch andere „Boden-Werte“ verändern sich somit durch die Versauerung und führen zu einer Verschlechterung der Bodenqualität.

Waldschäden/-sterben: Als Ursache für das Waldsterben wird von den Schülern die Bodenversauerung als auch der Einfluss von Schadstoffen genannt. Bäume nehmen Schadstoffe aus dem Boden auf oder reagieren auf die Versauerung. Es kommt zu Anzeichen von Waldschäden: weniger Blätter, kahlere Kronen. Die Bäume sterben ab.

Artensterben: Die Schüler beschreiben direkte Folgen der Versauerung für Tiere und Pflanzen. Pflanzen können nicht mehr richtig wachsen. Den Tieren fehlt die Nahrungsgrundlage. Auch sie sterben aus.

Eingeschränkte Sauerstoffproduktion: Ben stellt sich vor, dass es zu einer verminderten Sauerstoffproduktion kommt, wenn die Bäume absterben,

Nahrungsmittel sind ungesund: Paula verweist auf gesundheitliche Gefahren durch die Nahrungsaufnahme von radioaktiv verseuchten Lebensmitteln.

Beurteilung

Besonders Jette geht intensiv auf die ihr vorgelegte pH-Wert-Skala ein (Abb. 41). Sie versucht mit Hilfe der Einordnung alltäglicher Flüssigkeiten in diese Skala die Bodenversauerung zu beurteilen. Dies gelingt ihr aber nicht, da sie die Auswirkungen immer auf den Menschen bezieht und sie überlegt, ob Salzsäure, Milch, Cola, Mineralwasser etc. gut oder schlecht für den Menschen wäre. Da sie bereits für den Menschen nicht sagen kann, ob ein bestimmter pH-Wert gut oder schlecht ist, kann sie es für den Boden auch nicht einordnen. Sie schwankt zwischen den beiden folgenden Varianten:

? *Sauer ist nützlich*: Leicht säuerlich ist noch gut für den Boden, da Saures zersetzt und die Natur Pflanzen zersetzen muss.

? *Sauer ist schädlich/schlecht*: Es ist für viele Lebewesen nicht gut, wenn der Boden sauer

> Maßnahmen <

Als Maßnahme gegen die Versauerung nennen die Schüler die Kalkung des Bodens.

> Begriff Bodenversauerung <

Der Begriff Bodenversauerung wird durch das im Interview bearbeitete Phänomen mit eben diesen Prozessen von den Schülern verbunden. Durch die Eindeutigkeit des Begriffes kann er als lernförderlich angesehen werden.

ist.

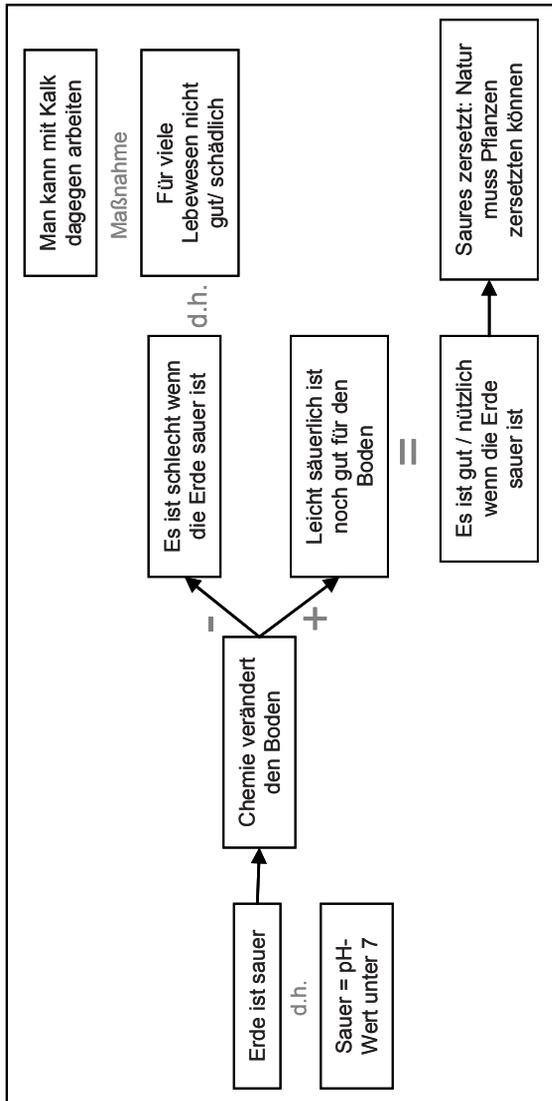


Abb. 41: Strukturdiagramm zu den Folgen der Bodenversauerung (Ausschnitt aus dem Strukturdiagramm zur Bodenversauerung, Jette, Anhang III, Interview 6)

4.5.12 Übergeordnete Vorstellungen

> Denkfigur: Teleologie <

In Jettes Ausführungen zur Bodenverdichtung ist ein teleologischer Ansatz zu erkennen. Sie sagt, dass der Boden nicht mehr Wasser aufnimmt, weil zu nasser Boden nicht gut für die Pflanzen ist. Die Zweckgerichtetheit ist auch zu erkennen in der Aussage, dass der Boden das Wasser nicht aufnimmt, weil er es im Moment nicht braucht.

> Denkfigur: Personifikation <

Die Schüler tendieren dazu, den Boden bzw. die Natur zu personifizieren. So werden der Natur organismische/menschliche Eigenschaften und Verhaltensweisen zugeschrieben. Bei vier Schülern wird diese Sichtweise besonders deutlich. Jette bezieht sich z. B. auf die Gesundheit der Erde, Paula sagt, dass Boden Aufgaben ausübt, unter Umwelteinflüssen leidet und auf diese reagiert. Er produziert Nährstoffe. Boden ist mit zu viel Wasser überfordert und kämpft gegen Dinge, die ihn stören an, da er merkt, dass er diese Dinge, z. B. einen Nagel, nicht gebrauchen kann. Auch Tineke formuliert ihre Aussagen teilweise so, als würde sie beim Boden über eine Person sprechen („*Boden ist ständig am Arbeiten, wenn der nicht mehr arbeitet, dann ist er doch tot/würde sterben.*“ (762), „*Boden möchte den Nagel loswerden, ...er reagiert darauf*“ (1195ff)). Bei Ben beziehen sich die Personifikation auch auf andere Gegenstände (Schädlingsbekämpfungsmittel greifen Boden und Pflanzen an; Gletscher tragen Steine vor sich her).

> Denkfigur: Idealzustand der Natur <

> Konzepte aus der Biologie: Teufelskreis/Störung der Ketten und des Gleichgewichts <

Werden die Folgen der einzelnen Themenbereiche zur Bodengefährdung angesprochen, taucht bei den Schülern ein verklärtes Bild über einen Idealzustand in der Natur auf. Die Schüler beziehen sich in ihren Aussagen immer wieder auf teilweise veraltete und in der Literatur umstrittene Konzepte aus der Biologie.

Folgende Konzepte tauchen auf:

- Kette/Nahrungskette
- Kreislauf
- Gleichgewicht in der Natur

Die Konzepte werden nicht weiter erklärt. Auf diese Konzepte wird in dem Moment zurückgegriffen, wenn es um negative Auswirkungen bestimmter Einflüsse auf den Boden bzw. die Natur geht. Die Schüler sprechen dann davon, dass das Gleichgewicht gestört, oder in den Kreislauf eingegriffen wird. Um ihre Beurteilung deutlich auszudrücken spricht Jette auch von einem „*schlechten Kreislauf*“ (501).

Moritz bezieht die Störung des Gleichgewichts auf zwei Aspekte. Durch die Betonierung würde die Nahrungskette der Tiere unterbrochen bzw. gestört, da große Tiere nicht genügend Futter zur Verfügung hätten und sich ihre Anzahl dezimieren würde. Unter dem Begriff „*Teufelskreis*“ (378) versteht Moritz dabei anscheinend die Unterbrechung der Nahrungskette. Durch die Betonierung vermindert sich auch die Anzahl der Pflanzen. Die verringerte Sauerstoffproduktion führt zur Störung des Gleichgewichts. Moritz' Vorstellungen zu diesem Bereich sind sehr vielfältig und komplex.

4.5.13 Widersprüche, Brüche, Probleme

Wie in der Explikation der einzelnen Interviews erkennbar wird, treten in den Schülervorstellungen Widersprüche, Brüche und Probleme auf. Diese weisen, ebenso wie die Vorstellungen an sich, Muster und Strukturen auf, welche sich verallgemeinern lassen. Zusätzlich gibt es einige Probleme oder Brüche in den Aussagen der Schüler, die vermutlich aus der Interpretation der vorgelegten Materialien entstanden sind. Beides soll im Folgenden dargestellt werden.

Begriffe Boden und Erde

Als problematisch ist die unterschiedliche Bedeutungszuweisung zu den Begriffen Boden und Erde anzusehen. Mal wird Boden im alltäglichen Sinne als Fläche oder Untergrund, mal als Boden im fachwissenschaftlichen Sinne verstanden. Die Wörter Boden und Erde werden teilweise synonym verwendet, teils voneinander abgegrenzt. Ähnlich sieht es bei der Definition von Erde und Sand bei Tom aus. Tom beschreibt Erde als mit Nährstoffen angereicherten und weiteren Bestandteilen durchmischten Sand, andererseits kann Erde auch nur aus Sand bestehen. Dieser Umstand erschwerte bereits die Kommunikation zwischen Schülern und Interviewer während des Interviews. Im Unterricht ist von einer ähnlichen Situation auszugehen. Eine klare Bedeutungszuweisung zu den Begriffen im unterrichtlichen Kontext ist daher unbedingt notwendig.

Bodenentstehung

Besonders auffällig ist das wiederholte Vorkommen des immanenten Widerspruchs zur Bodenentstehung bei den Schülern. Bei fünf Schülern bestehen jeweils zwei Konzepte nebeneinander. So werden folgende Konzepte miteinander kombiniert:

- „Boden war schon immer da“ und „Boden kann entstehen“ (Alita, Interview 7),
- „Boden war schon immer da“ und „Boden wird abgelagert“ (Fabiano, Interview 3),
- „Boden wird abgelagert“ und „Boden kann entstehen“ (Ben, Interview 8; Tom, Interview 5),

Bei Paula treten sogar alle drei Konzepte gleichzeitig auf.

Das Nebeneinander der verschiedenen Konzepte ist den Schülern dabei durchaus bewusst und sie versuchen den Widerspruch durch ad-hoc angestellte Überlegungen zu klären. Das gelingt nicht immer, reizt die Schüler aber mehr über das Thema zu erfahren.

Konfusion unterschiedlichster Ursachen und Folgen bei der Bodengefährdung

Wie bereits in den verallgemeinerten Vorstellungen angesprochen, kommt es bei den Schülern zu einer Konfusion unterschiedlichster Ursachen und Auswirkungen, besonders in Bezug zum großen Oberthema Umweltverschmutzung. Man hat den Eindruck, dass für die Schüler alle Ursachen und Verursacher mit allen möglichen Folgen zusammenhängen. Eine klare Abgrenzung einzelner Phänomene gibt es nicht, sie werden eher noch miteinander vernetzt. Es kommt zu Synthesemodellen, wie sie z. B. auch bei SCHULER (2004) publiziert wurden. Radioaktive Verseuchung durch Atomkraft(werke) wird als Ursache des sauren Regens, aber auch als Ursache für die Klimaerwärmung gesehen. Autoabgase wirken sich auf die Ozonschicht aus, bedingen aber auch den sauren Regen. Durch den sauren Regen werden Schadstoffe in den Boden eingetragen, welche von den Pflanzen aufgenommen werden. Diese Konfusionen unterschiedlicher Ursachen und Auswirkungen und die Schwierigkeit der Trennung dieser Phänomene konnte auch in anderen Studien nachgewiesen werden (Kap. 4.6.1). Sie werden als Synthesemodelle bezeichnet und stellen eine besondere Herausforderung für den Unterricht dar.

Probleme aus dem Material

Schüler bilden ad-hoc Vorstellungen zu neuen Aspekten auf Grundlage ihrer tief verankerten Vorstellungen (HÄUBLER ET AL. 1998). Daher ist es logisch, dass die Schüler auf die ihnen während des Interviews dargebotenen Materialien unterschiedlich reagieren. Einige Schüler werden in ihren Vorstellungen durch die Materialien unterstützt und bestärkt, andere geraten in einen kognitiven Konflikt, versuchen das Material zu interpretieren und gelangen zu neuen Überlegungen und zu ad-hoc-Vorstellungen, welche von ihren „alten“ Vorstellungen abweichen können. Diese Tatsache wird in Vermittlungsexperimenten gezielt eingesetzt (RIEMEIER 2005). Während des Interviews zum Thema Boden kam es bei zwei Materialien zu diesem Effekt.

Induktion von neuen Vorstellungen durch vorgelegte Materialien:

- *Material 1: Bodenentstehung* (Anhang I und Abb. 42)

Das Material 1 besteht im Original (KLOHN/WINDHORST 1999, S. 13) aus einer Zeichnung, auf welcher die Verwitterung vom Gestein zum Boden dargestellt wird. Das Bild wurde für die Studie modifiziert und die Beschriftung entfernt. Von den Schülern wird festgestellt, dass sich auf der linken Seite Gestein befindet und auf der rechten Seite Boden. Auch wird deutlich, dass die Größe der Steine von rechts nach links immer abnimmt (von Felsen hin zu kleinen Gesteinsbruchstücken) und der Anteil an Bodenmaterial zunimmt. Die Begründung fällt dabei unterschiedlich aus. Einige Schüler beziehen sich dabei auf die Bodenentwick-

lung. Der Umstand, dass der Bereich ohne Boden höher dargestellt ist als der mit Boden, induziert aber anscheinend die Vorstellung, dass es sich links um Gebirge mit Felsen handelt. Zwei Schüler gehen dementsprechend auf das Bild ein. Moritz erklärt das dargestellte Phänomen damit, dass die Felswand zerbricht.



Abb. 42: Vom Gestein zum Boden (verändert nach: KLOHN/WINDHORST 1999, S. 13)

Von oben kommt das Steingeröll und je tiefer es fällt, desto kleiner wird es. Tineke wird durch das Bild zu einer weiteren Überlegung angeregt. Sie ist sich nicht schlüssig, ob zuerst die Steine oder der Boden da waren. Sie geht davon aus, dass sich die Steine hoch gedrückt haben, wie die Berge, die ja auch noch wachsen. Es ist fraglich, ob die Schüler solche Überlegungen angestellt hätten, wenn der Bildbereich ohne Boden auf der gleichen Ebene/Höhe dargestellt worden wäre.

Bei Paula und Fabiano wirkt das Bild in einer anderen Weise. Paula war der Meinung, dass es Boden schon immer gab und Fabiano ging von einer ubiquitären Bodenbedeckung aus. Nach Vorlage des Materials verändern beide ihre Aussage. Für beide ist es neu, dass es an manchen Stellen auch nur Gestein gibt. Paula stellt nun Vermutungen an, wie der Boden an diese Stelle kommen könnte und folgert daraus, dass Boden sich aus irgendetwas entwickelt hat. Von Fabiano wird dagegen nicht das Vorhandensein des Bodens, sondern das des Gesteins in Frage gestellt.

- *Material 8: Bodenverdichtung (Anhang I)*

In drei Interviews werden Brüche im Konzept zur Bodenverdichtung deutlich. Einerseits können sich alle Schüler dieses Phänomen und dessen Auswirkungen besonders gut vorstellen, andererseits werden Probleme in Bezug auf das Konzept der Dichte in Zusammenhang mit dem Wasser klar. Ben und Fabiano sind sich nicht sicher, ob in verdichtetem Boden mehr oder weniger Wasser vorhanden ist als in „normalem“ Boden, ob Wasser hinzugefügt oder entzogen wird. Dieser Widerspruch könnte mit den während des Interviews dargebotenen Materialien zusammenhängen, welche aus einem Bild, welches Traktorspuren auf einem Feld zeigt, in welchen das Wasser steht, und einer festgedrückten Bodenprobe bestanden. Das Bild könnte den Schülern suggerieren, dass zu viel Wasser zu dem Phänomen dazugehört. Ben kann den matschigen Boden auf dem Feld und die Bodenprobe nicht in Einklang bringen. Weitere Widersprüche zeigen sich auch in der Aussage von Fabiano, der einerseits äußert, dass Boden durch viel Regen zusammensackt, sich dann aber mit der Aussage, dass Boden ein größeres Volumen hat, wenn Wasser enthalten ist, widerspricht. Auch Tineke hat Probleme mit dem Konzept der Dichte. Einerseits sagt sie, dass Boden durch das Zusammenpressen dichter und härter wird. Sie korrigiert ihre Aussage dann aber und meint, dass Boden immer die gleiche Dichte besitzt, wie sie es evtl. von bestimmten Stoffen aus der Physik oder Chemie kennt. Hier müssten die Begriffe Dichte und Volumen klar definiert werden.

Bodenversiegelung

Ein Problem bei der Auswertung stellen die Ergebnisse zur Bodenversiegelung dar. Die Frage im Interview war eher als Validierung für Bodenfunktionen gedacht, hat sich in den Interviews aber als eigenständiger Aspekt der Bodengefährdung entwickelt. Das Thema wurde auf Grund der interessanten Aussagen ad hoc so nachgefragt wie die anderen Typen der Bodengefährdung. Die Bedeutung des Begriffes Versiegelung wurde daher aber nicht erhoben. Auch wurde das Thema mit nur einer Frage bearbeitet. Es wurden keine weiteren Interventionen hinzugezogen.

4.6 Diskussion der Ergebnisse

4.6.1 Vergleich mit anderen Forschungsergebnissen

Beim Vergleich der hier vorliegenden Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen zum Thema Boden und der Gefährdung von Böden mit den Ergebnissen anderer Autoren können viele Gemeinsamkeiten erkannt werden. So können die Ergebnisse validiert werden. Es wird ausgeschlossen, dass es sich bei den Schülervorstellungen um „Einzelfälle“ oder „spezielle Ausnahmen“ handelt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Studie mit ihren Ergebnissen die wichtigsten bzw. gängigsten Schülervorstellungen zum benannten Bereich widerspiegeln.

In den verschiedenen Studien von HAPPS (1981,1982, 1984) und RUSSELL ET AL. (1993) sowie in der vorliegenden Untersuchung sollten Schüler den Begriff Boden mit Inhalt füllen. Die Antworten waren innerhalb der einzelnen Studien sehr unterschiedlich. In allen drei Studien bezogen sich die Schüler häufig auf die Funktion des Bodens als Grundlage für das Pflanzenwachstum. Boden wurde andererseits durch seine Beschaffenheit und die ihn auszeichnenden Merkmale, wie Farbe oder Geruch und durch die verschiedenen Bestandteile beschrieben. Interessant ist, dass RUSSELL ET AL. (1993) eine Abhängigkeit der Antworten vom Alter erkannte. Jüngere Schüler definieren Boden eher nach der Funktion für das Pflanzenwachstum, ältere benennen Bestandteile und Merkmale des Bodens. In der Studie von HAPPS (1981) wurden die Begriffe Boden und Dreck teilweise synonym gebraucht. Die meisten Schüler grenzten Boden aber durch die Belebtheit des Bodens vom Dreck ab. Der Begriff Dreck spielt interessanterweise, bis auf eine Ausnahme (Tineke), in der vorliegenden Studie keine Rolle. Synonym zu Boden wird hier von den Schülern dagegen der Begriff Erde verwendet.

Beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit den Ergebnissen von RUSSELL ET AL. (1993) über Vorstellungen zum Aufbau des Bodens ergeben sich wiederum Gemeinsamkeiten. RUSSELL ET AL. (1993) stellen zwei Konzepte vor. Die Vorstellung eines jüngeren Schülers bezieht sich auf Boden als ungeschichtetes Substrat mit darin enthaltenen Tieren. Die Vorstellung eines älteren Schülers ist dagegen durch einen horizontalen Schichtenaufbau gekennzeichnet, der sich aber auf die Schichtung unter dem eigentlichen Boden, also auf das Gestein bezieht. Boden an sich ist wiederum ungeschichtet dargestellt. Beide Denkfiguren konnten auch in der vorliegenden Studie gefunden werden. Auch die Skizzen bzw. Zeichnungen weisen diese Gemeinsamkeiten auf (Kap.4.5.2). Es fanden sich aber noch stärker differenzierte Vorstellungen, wie z. B. die Schichtung des Bodens oder eine Denkfigur, welche die Schichtung des Bodens und des Gesteins mit einbezog. Ursächlich für die von RUSSELL ET AL. (1993) abweichenden Ergebnisse ist wahrscheinlich das Alter der Schüler. Die bei RUSSELL ET AL. (1993) befragten Schüler waren zwischen fünf und elf Jahre alt, die hier befragten Schüler zwischen 15 und 17 Jahre. Zu der Vorstellung, dass Boden ungeschichtet ist, passt das Konzept, dass es sich bei Boden um eine homogene Substanz handelt, zu der weder die in ihm enthaltenen Pflanzenteile (Blätter, Äste) noch Luft oder Wasser gehören (RUSSELL ET AL. 1993). Nach den Bestandteilen von Boden wurde in früheren Studien ansonsten nicht direkt nachgefragt, so dass kein Vergleich angestellt werden kann.

Dafür entsprechen die Vorstellungen über die Herkunft bzw. die Entstehung der Böden bei HAPPS (1981, 1982, 1984) den in dieser Studie gefundenen Konzepten.

In beiden Untersuchungen fanden sich folgende Vorstellungen:

- Boden war schon immer da. Immer bezieht sich dabei einerseits auf die Entstehung oder Welt und andererseits auf die Schöpfung.

- Boden hat sich aus verschiedenen Materialien entwickelt. Als Prozesse werden in beiden Studien Zerkleinerung/Verwitterung und Verrottung/Zersetzung genannt.
- Boden wird abgelagert. Als mögliche Ursachen werden Flüsse, Gletscher, aber auch der Wind genannt.

Translokationsprozesse werden von den Schülern nicht genannt. Ein möglicher Erklärungsansatz liegt evtl. in der Schwierigkeit der Schüler, sich Versickerungsprozesse und den kapillaren Aufstieg im Boden vorstellen zu können, wie es DITTMANN (2009) in seiner Arbeit herausfand. Als Ursachen für Veränderungen finden sich in der vorliegenden Studie als auch bei RUSSELL ET AL. (1993) die Wetterelemente wie Regen, Sonne, Sturm, aber auch die Zeit.

BONEKAMP (2006) erhob in ihrer Studie zu Schülervorstellungen über Boden als Puffer auch die Bodenfunktionen. Die Schüler nannten weitgehend die gleichen Funktionen wie in der hier vorliegenden Untersuchung. Benannt wurde Boden als Fläche für Verkehr und Siedlungen, als Grundlage für die Lebensmittelproduktion, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen, als Nahrungsmitte- und Sauerstoffquelle für Menschen und als Energieträger für Kohle und Holz. Die hier vorliegenden Vorstellungen der Schüler sind noch umfassender. Sie erweitern das Spektrum um Boden als Nährstoff- und Wasserspeicher, die Filterfunktion, die bedeutende Stellung des Bodens im Wasserhaushalt und um die Träger-, Erholungs- und Informationsfunktion. Weitere bemerkenswerte Übereinstimmungen zwischen BONEKAMP (2006) und den vorliegenden Ergebnissen finden sich in den Vorstellungen zur Bodenversauerung. In beiden Studien wird die Luftverschmutzung als wichtigste Ursache von Bodenversauerung gesehen. Der Pfad, über den die Abgase in den Boden gelangen ist der Wasserkreislauf. In beiden Studien werden dieser Weg oder Teile davon beschrieben. Die Bewertung, ob eine Versauerung eher gut oder schlecht für den Boden ist, fällt einigen Schülern in beiden Untersuchungen schwer. Die meisten Schüler gehen davon aus, dass sich Boden eher verschlechtert, die Versauerung also schädlich und ungesund ist. Als Folgen der Bodenversauerung werden in beiden Arbeiten die Störung des Kreislaufes bzw. des Gleichgewichtes genannt und auf das Aussterben gewisser Arten hingewiesen. Die Schüler bei BONEKAMP (2006) beschreiben zusätzlich noch eine Artenverschiebung.

Neben den inhaltlichen Vorstellungen zum Boden konnten auch einige übergreifende Konzepte erkannt werden. Eine immer wieder auftauchende Denkfigur ist die Teleologie. In den verschiedenen Untersuchungen (DITTMANN 2009, SANDER 1998) sowie in der hier vorliegenden Forschungsarbeit finden sich Aussagen der Schüler, die darauf hinweisen, dass die Natur nutzbringende Ziele verfolgt und es einen „Plan der Natur“ gibt. Prozesse werden als zweckgerichtet eingestuft. Weiterhin tauchen ökologische Konzepte auf. Das „Gleichgewicht“ ist anscheinend tief in den Schülervorstellungen verankert und findet sich u.a. auch in den Studien von SANDER (1998) oder BONEKAMP (2006) und LETHMATE (2009.4) wieder.

Ebenso wird Boden in verschiedenen Untersuchungen von den Schülern personifiziert. So werden dem Boden (in der vorliegenden Arbeit) oder der Natur (SANDER 1998) menschliche oder animalische Eigenschaften und Verhaltensweisen zugesprochen. Dies wird in Aussagen deutlich, in welchen die Natur „einen Kampf mit den Menschen führt“ (SANDER 1998) oder „Boden zu totem Boden“ wird (DITTMANN 2009). Diese Sichtweise prägt auch die Vorstellungen in der vorliegenden Studie, wie es in Ausdrücken, wie „Boden leidet unter Umwelteinflüssen“, „reicher Boden“ oder „Boden arbeitet“ deutlich wird. Auf die Besonderheiten der Sprache wird im folgenden Kapitel noch näher eingegangen.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist das Vorkommen von Synthesemodellen. In der vorliegenden Studie werden z. B. radioaktive Strahlungen aus Atomkraftwerken und Luftverschmutzungen von Industrie und Verkehr gleichzeitig als Verursacher von saurem Regen angesehen (Tineke, Paula, Ben). Ein ähnliches Phänomen wird bei SCHULER (2011, S. 210-211) beschrieben, der ein Synthesemodell aus den beiden Umweltproblemen „klassische“ Luftverschmutzung (durch Schadstoffe wie SO₂) und verstärkter Treibhauseffekt beschreibt. Weiter verweist er darauf, dass diese Synthese auch noch auf das Ozonloch-Modell ausgeweitet wird. Die Schüler gehen in diesem Fall davon aus, dass Abgase von Industrie und Verkehr die Ozonschicht zerstören.

4.6.2 Entstehungshypothesen zu ausgewählten Schülervorstellungen

Wie in den vorliegenden Ergebnissen (Kap.4.4) zu erkennen, kommen Schüler nicht als „tabula rasa“ in die Schule. Sie verfügen über teilweise komplexe Vorstellungen zu den Unterrichtsgegenständen. Als Quellen für die Herkunft nennt DUIT (1992) alltägliche Erfahrungen und Handlungen, Alltagssprache, Massenmedien, Bücher, Gespräche mit Eltern, Geschwistern und Freunden und den bisher erlebten Unterricht. Auch die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens versucht Schülervorstellungen durch eine Analyse der Sprache besser zu verstehen (GROPENGIEßER 2003, 2004)¹⁶. Im Folgenden sollen Entstehungshypothesen zu ausgewählten Schülervorstellungen aufgestellt werden. Die Auswahl bezieht sich auf dabei die aus der Unterrichtspraxis relevanten Vorstellungen, auf Vorstellungen, die besonders häufig vorkommen und auf Vorstellungen, die aus Schülersicht und aus fachlicher Sicht besonders wichtig sind. Es handelt sich dabei um eine exemplarische Illustration zur Entstehung der Vorstellungen. Die Fragestellung könnte in weiteren Forschungsarbeiten vertieft werden.

Alltagssprache

Eine Analyse verschiedener deutscher Wörterbücher ergibt unterschiedliche Bedeutungszuweisungen zu den Begriffen Boden und Erde. Auffällig ist, dass

¹⁶ Vgl. Kapitel 1.2.4.2

beiden Begriffen keine eindeutige Definition zugewiesen werden kann. Das Verständnis von Boden im 19. Jhd. und heute unterscheidet sich dabei kaum (DUDEN-REDAKTION 1989.1, GRIMM/GRIMM 1860). Beide Begriffe werden in verschiedenen Kontexten unterschiedlich mit Sinn gefüllt. Andererseits werden beide Begriffe teilweise synonym genutzt. Man versteht unter dem Begriff **Boden** einerseits den Ackerboden, der mit der *Erde* bzw. dem Erdreich gleichgesetzt ist. Andererseits entspricht Boden der *Grundfläche*, auf der man sich bewegen kann, auf der man steht. Schüler sehen Boden vor allem als Fläche. Sie beschreiben den Boden als Grundfläche oder Oberfläche, auf der man stehen, gehen, etwas bauen kann. Eine andere Bedeutung, die auf die Urbedeutung des Wortes Boden (früher *bodem*) zurückgeht, ist die der *untersten Fläche*. Sie bezieht sich auf den Grund eines Gefäßes, eines Glases oder Beutels, auf den etwas *geschüttet* oder *gegossen* wird.

Redewendungen			
Jemandem den Boden entziehen		Boden gut machen	
Den Boden für etwas bereiten		Einer Sache den Boden entziehen	
An Boden gewinnen		Am Boden zerstört sein...	
Es/eine Idee fällt auf einen guten /fruchtbaren Boden			
Jemandem den Boden unter den Füßen wegziehen			
Etwas aus dem Boden stampfen			
Wortverbindungen			
Grund und Boden	Hosenoden	Bodenbelag	Bodenschätze
Erboden	Mutterboden	bodenlos	Bodenturnen
Dachboden	Tortenboden	bodenständig	Bodenfläche...

Abb. 43: Boden in der Alltagssprache (HELLBERG-RODE 2002-2004, DUDENREDAKTION 2007)

Die Urbedeutung liegt im Wort *fundere* (*lat.*) für gießen, zu Boden gießen oder schütten. So wird die unterste Fläche als Boden bezeichnet, was sich in Ausdrücken wie „Meeresboden“, dem „Boden eines Topfes“ oder auch „das schlägt dem Fass den Boden aus“ zeigt. Diese Urbedeutung erklärt auch die Bezeichnungen „Heuboden“, „Schüttboden“ oder „Boden“ für das *oberste Stockwerk* eines Hauses, welche in der Höhe und nicht unten zu finden sind (GRIMM/GRIMM 1860, S. 209). Weiterhin wird Boden als Bezeichnung für ein *Territorium* oder ein *Gebiet* genutzt. Boden kann aber auch im übertragenden Sinne als *Grundlage* z. B. für eine Existenz, die Verfassung oder die Wissenschaft stehen (DUDEN 1989, S. 273). Diese Bedeutungen werden von den Schülern nicht genannt, was sehr wahrscheinlich mit dem Kontext der Untersuchung zusammenhängt. Die verschiedenen Bedeutungen des Begriffs Boden zeigen sich auch in verschiedenen Redewendungen und Wortverbindungen (Abb. 43).

Der Begriff **Erde** wird in der Alltagssprache, als auch von den Schülern als Bezeichnung für den Planeten Erde genutzt. Im Duden wird Erde als erstes jedoch als *Stoff* (DUDENREDAKTION 1989.2), als das „aus verwittertem Gestein und organischen Stoffen und Mineralien bestehendes, feinkörniges Gemisch, das einen Teil der Erdoberfläche bildet und die Grundlage für das Pflanzenwachstum darstellt“ definiert (DUDENREDAKTION 1989.1, S. 446). Auch GRIMM/GRIMM (1862) vergleichen die Bedeutung des Begriffs Erde mit den Begriffen Boden, Erdboden und Grund. Sie nutzen für Erde auch die Begriffe Solum, Humus und Ackerland. Ebenso definieren die Schüler Erde als Material, welches aus verschiedenen Bestandteilen (Sand, Nährstoffe und Pflanzenreste) besteht und durch verschiedene Merkmale charakterisiert ist. Diese Merkmale werden durch Adjektive wie dreckig, dunkel, braun, feucht, klumpig, lehmig oder locker beschrieben. Ähnliche oder dieselben Adjektive nutzen auch GRIMM/GRIMM (1862, S. 752) um Erde zu charakterisieren. Diese Bedeutungszuweisung entspricht in den Fachwissenschaften jedoch der Definition des Bodens. Ferner wird Erde ebenfalls als Bezeichnung für den (festen) Grund und Boden verwendet, auf welchem Menschen wohnen oder stehen. GRIMM/GRIMM (1862) grenzen mit „Erde“ auch das feste Land (Festland) gegenüber dem Meer und anderen Gewässern ab. Auch Erde als „irdische Welt“ (DUDENREDAKTION 1989.1) entspricht der früheren Vorstellung von der Erde als „orbis terrarum“ der weiten und breiten Erde in aller Ausdehnung und Erstreckung (GRIMM/GRIMM 1862). Ergänzend zu den heute zu findenden Bedeutungen weisen GRIMM/GRIMM (1862, S. 751-752) noch auf die Abgrenzung der Erde im Gegensatz zum Himmel, die Erde als Staub („die erde stäubt, aus der erde drangen wolken von staub auf“...“das meer hat keinen staub wie das land und die erde“) und auf die Bedeutung von Erde als eines der vier Elemente hin.

Alltägliche Sinneserfahrungen und alltägliche Handlungen

Untersucht man die Schülervorstellungen auf ihre Herkunft, kann man diese in einigen Fällen direkt auf unmittelbare Erfahrungen zurückleiten. In anderen Fällen lassen sich entsprechend der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens verkörperte Strukturen finden (LAKOFF/JOHNSON 2004). Dabei geht GROPPENGIEBER (2003, S. 9) davon aus, dass „die Lebenswelt mit ihren Erfahrungen, die Denkwelt mit ihren Vorstellungen und unsere Sprechwelt mit den darin verwendeten Zeichen eng miteinander verknüpft sind“. In der Sprache drücken sich die lebensweltlichen Erfahrungen dann als Metaphern aus (Kap. 2.3.2). Im Folgenden werden exemplarisch Schülervorstellungen dargestellt, die einerseits auf unmittelbare Erfahrungen und andererseits auf verkörperte Strukturen zurückzuführen sind.

Unmittelbare Erfahrungen

Eine sehr ausgereifte und differenzierte Vorstellung, welche den fachwissenschaftlichen Theorien sehr nahe kommt, ist die Vorstellung von Tineke (101-127)

über den Aufbau von Boden. Sie beschreibt mehrere Schichten im Boden, die sich durch ihre Eigenschaften (Farbe, Festigkeit, Korngröße) voneinander unterscheiden (Kap. 4.5.2). Diese Vorstellung beruht auf unmittelbarer Erfahrung mit dem Gegenstand Boden. Tineke gibt selbst an, dass sie im Wald ein Loch gegraben hat und dadurch zu dieser Erfahrung gekommen ist. Die Beobachtungen sind sehr genau und anscheinend sehr nachhaltig im Gedächtnis geblieben. Weitere unmittelbare Erfahrungen finden sich vor allem in der Begegnung mit Boden. Die Schüler berichten von der Gartenarbeit, bei welcher Gartenerde benutzt wird. Alita berichtet auf die Frage, wo ihr Boden begegnet, von „*normalem Betonboden*“ (231) oder „*Naturwegen*“ (233). Ben nennt im Zusammenhang mit dem Garten den „*Mutterboden*“ (302) oder beschreibt seine Beobachtungen, wenn er an einer Baustelle vorbeifährt und die ganzen Schichten sehen kann (305-307).

Verkörperte Vorstellungen

In den Schülervorstellungen zum Thema Boden und Bodenzerstörung finden sich Metaphern, auf die im Folgenden eingegangen wird. So kommen neben Orientierungsmetaphern auch Strukturmetaphern und die Personifikation vor (Kap. 2.3.2).

Orientierungsmetaphern

• Start-Weg-Ziel

Das Start-Weg-Ziel-Schema wird von den Schülern für verschiedene Konzepte genutzt. Es geht dabei vor allem um die Verlagerung von Boden, die von manchen Schülern der Bodenentstehung und von anderen der Bodenerosion zugeordnet wird. Boden wird von einem Ort (Start) an einen anderen Ort (Ziel) transportiert (Weg).

Bodenentstehung

Paula meint, dass „*Boden von der anderen Seite hinzugekommen ist.*“ (166-167) Sie denkt „*es ist wahrscheinlicher, dass der Boden hier vorher nicht war, sondern dahin gekommen ist.*“ (181-182) „*...ich weiß jetzt nicht welchen Weg ... bestimmt nicht, oder vielleicht doch Kilometer lang*“ (186-187).

Bodenerosion

Als eine Abwandlung des Start-Weg-Ziel-Schemas könnte man das „Verlagern“ ansehen. Die Schüler beschreiben einen Vorgang, bei welchem Bodenmaterial *abgetragen* und an anderer Stelle wieder *abgelagert* wird. Als *Träger* werden Wind und Wasser benannt, die Sand oder Humus *mitnehmen*.

Der Vorgang des Verlagerens ist den Schülern aus eigenen Erfahrungen bekannt, egal ob sie selbst Dinge transportieren bzw. tragen müssen oder ob man es mit einer Baustelle vergleicht, auf welcher z. B. Sand/Kies mit Hilfe von Baggern verlagert werden muss.

- **Kreislauf**

Das Kreislaufschema ist bei den Schülern sehr präsent. Sie verwenden es z. B. für den Nährstoffkreislauf, aber auch für den Wasserkreislauf. An den Wasserkreislauf binden sie den Belastungspfad an, durch welchen die Schadstoffe aus der Luft in den Boden gelangen.

- **Gleichgewicht**

Das Konzept des Gleichgewichtes wird von den Schülern in verschiedenen Kontexten angebracht. Sehr wahrscheinlich wird es aus dem Biologieunterricht auf die hier dargestellten Situationen übertragen. Das Konzept des Gleichgewichtes stammt im Ursprungsbereich aus alltäglichen Erfahrungen und wird häufig mit dem Bild einer Waage mit zwei gleich gefüllten Waagschalen verknüpft (NIEBERT 2010). Eine quantitative Veränderung auf der einen Seite (zu viel/zu wenig) führt zum Ungleichgewicht. Die Schüler nutzen von diesem Konzept einerseits direkt den Begriff „Gleichgewicht“ oder verbinden ihn mit einem „Überschuss“ oder „Mangel“ an bestimmten Stoffen.

Moritz (354-356): *„...wenn Pflanzen jetzt irgendwie Sauerstoff produzieren und das wird dann immer mehr überbaut und Pflanzen müssen dann weg, dann stimmt ja das Gleichgewicht nicht mehr...“*

Tineke (706-708): *Das ist „schädlich für den Boden, weil dann da Fremdstoffe zu kommen und weil dann das Gleichgewicht gestört ist, weil dann, keine Ahnung Überschuss oder Mangel von irgendwelchen Stoffen da sind, vielleicht versuchen die das auszugleichen oder so.“*

- **Behälter-Schema**

Boden bzw. Erde wird von den Schülern teilweise als Behälter verstanden, der von der übrigen Welt abgegrenzt ist. In den Boden können Stoffe „eingetragen“ werden bzw. Stoffe gelangen „in“ den Boden. Auch wird davon gesprochen, dass Fremdstoffe „in“ den Boden „aufgenommen“ werden. Boden ist durch eine „Schutzschicht“ (Jette 724-725) abgegrenzt. Auch wird der Boden selbst als „Oberfläche“ gesehen, unter der sich die Erde befindet. Diese Oberfläche dient als Grenze gegenüber der Umwelt und trennt so das Innen (Erde) gegen das Außen ab. Folgende Aussagen verdeutlichen das Schema:

Paula (329): *„...so könnten die Abgase im Prinzip in den Boden gelangen.“*

Tineke (564-565): *„...die (Tiere) bauen da ihre Höhlen teilweise in den Boden rein, viele Tiere legen ihre Eier in den Boden...“*

Tineke (862): *„...das ganze Wasser, das fließt ja auch in den Boden.“*

Ben (725-727): *„...durch Autos oder Flugzeuge oder so, entstehen ja Abgase und weiß nicht, dass die dann irgendwie (...) in den Boden gehen.“*

Personifikation

Ben, Jette, Paula und Tineke personifizieren den Boden oder auch die Natur. Dem Boden werden Eigenschaften eines lebenden Organismus, respektive des Menschen zugeschrieben. Boden kann aktive Handlungen ausführen und „agiert“

wie der menschliche Körper, was sich in den folgenden Formulierungen erkennen lässt:

- Jette (1071): „(Boden) kann das Wasser irgendwann nicht mehr **schlucken**“,
- Jette (1132-1133): „...so **kriegt** die nicht mehr genug **Luft** die Erde.“
- Paula (284): „...dass er (der Boden) bestimmt auch unter den Umwelteinflüssen **leidet**“
- Tineke (1188): „... vielleicht **versuchte** der Boden einfach nur den (Nagel) **los zu werden**...“
- Tineke (769): “ (...) der (Boden) würde **sterben**.“
- Ben (134-135): „...und dann kamen (...) **Geltscher** und der hat (...) **Steine** vor sich her **getragen**.“

Auch das Konzept der **Gesundheit** wird auf den Boden projiziert. Boden wird damit personifiziert. „Gesundheit“ könnte als Vergleich, im Rahmen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, aber auch als Strukturmetapher, aufgefasst werden (GROPENGIÉBER 2003).

Jette (716-725): „...vielleicht ist es auch(...), hört sich vielleicht komisch an, wie so eine **Wunde**, die aufgerissen ist. (...) Die Erde hat ja auch eine bestimmte Schicht und wenn man die so aufreißt, können natürlich auch eben diese äußeren Einflüsse, die auch schlecht für die Erde sind, so direkt rein gelangen. (...) dass es auch so eine Art Schutzschicht, wie bei uns auf der Haut oder so gibt. Boden hat eine **Schutzschicht**...wie bei uns auf der **Haut**, (...) wenn die aufgerissen ist, können Einflüsse von außen eindringen.“

Jette (645-646): „...diese Gesundheit ist auch in der Erde wichtig, würde ich sagen, dass die Erde **gesund** ist.“

Weiterhin wird dem Boden ein **Bewusstsein** zugeschrieben. Boden kann seine Handlungen willentlich steuern:

Paula (591-595): „Aber da er (der Boden) ja **merkt**, dass er Pflanzen braucht, versucht er da ja nicht gegen **anzukämpfen**, denke ich.(...) Weil sonst könnte er den Nagel auch behalten, aber da merkt er, dass er ihn nicht **gebrauchen** kann.“

Tineke (1077-1178): „Vielleicht **wollte** der Boden den **loswerden**, weil so ein Nagel, wenn der feucht wird, dann rostet der ja auch und alles.“

Strukturmetaphern

Es finden sich auch Strukturmetapher z. B. aus dem Arbeitsalltag oder aus kriegerischen Handlungen in den Schülervorstellungen wieder.

- *Boden als Arbeiter*

Tineke (761-762): „...dann ist der (Boden) ja auch ständig am **Arbeiten** und wenn der nicht mehr arbeitet, dann ist er doch tot.“

Fabiano (450-451): „Und das hat dann auch zur Folge, dass das Ammonium, was ich auch genannt habe, nicht mehr so **verarbeitet** wird“

Paula (396-397): „Weil er (Boden) (...) seine **Aufgaben**, die er hat, nicht mehr **ausüben** kann, wenn überall Beton drüber ist.“

- *Boden als Kämpfer/Krieger:*

Ben (450-451): „Und das (Schädlings**bekämpfungsmittel**) greift ja (...) natürlich auch den Boden an, das kann ja nicht gut sein.“

Tineke (1191): „... der (Boden) **kämpft** halt gegen diesen Nagel an...“

Paula (567-568): „Ja vielleicht, weil der Boden erstmal versucht **gegen** Dinge, die ihn in Führungsstriche stören versucht, gegen **anzukämpfen**.“

Tineke (827): „...die Menschen, die versuchen ja auch schon den Boden zu **retten**.“

Jette (1157-1158): „Da kann man zum Beispiel schon wieder merken, dass sich die Natur so ein bisschen dagegen **wehrt**.“

Sicherlich finden sich in den Vorstellungen noch viele weitere Metaphern oder Zusätze z. B. um eine **Beurteilung oder Bewertung** auszudrücken. So benutzen die Schüler Begriffe wie **reicher** Boden als fruchtbaren Boden und **Artenreichtum** oder **Fremdstoffe** und **Schadstoffe** als Stoffe, die nicht in den Boden gehören oder diesen sogar gefährden. Diese zu untersuchen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und wäre Aufgabe einer weiteren Forschungsfrage.

Weiterhin auffällig in der Sprache ist die **wortwörtliche Bedeutungszuweisung** zu Begriffen. Diese ist bei Ben und Jette zu erkennen. Ben spricht z. B. von

Mischgestein, das an den Grenzen der Gesteinsschichten entsteht. (139-144)

Bei Jette ist dieses Phänomen noch stärker ausgeprägt. Sie weist den unten stehenden Begriffen folgende Bedeutungen zu:

Bodenschätze als archäologische Funde im Boden. (209-210)

Lebensmittelvergiftung als Einlagerung giftiger Stoffe in Pflanzen. (621-646)

Muttererde bedeutet, dass die Erde als Mutter für die Lebewesen steht. (191-192)

Weitere mögliche Herkunftsquellen

Andere Herkunftsquellen wie Massenmedien, Gespräche oder vorangegangener Unterricht lassen sich in den Schülervorstellungen nur schwer ausmachen.

Bei den vorliegenden Ergebnissen ist vermutlich davon auszugehen, dass Vorstellungen, die sich auf biologische Konzepte beziehen, aus dem Biologieunterricht übertragen werden. Es handelt sich dabei vor allem um Vorstellungen zum Gleichgewicht, zu Nahrungsketten und zum (Stickstoff-)Kreislauf. Das Kreislaufmodell ist wahrscheinlich auch aus dem Erdkundeunterricht (Wasserkreislauf) bekannt ebenso wie das Phänomen der Bodenerosion. Das Schichtenmodell von verschiedenen Gesteinsschichten scheint seinen Ursprung im Unterricht, aber

auch im Fernsehen zu haben (z. B. Ben). Anknüpfen können die Schüler an Vorstellungen zum pH-Wert oder zum sauren Regen, die ihnen aus dem Chemieunterricht bekannt sind. Auch das Thema Waldsterben wurde in der Schule behandelt und die Inhalte werden von den Schülern ins Interview mit eingebracht. Welche im Unterricht vermittelten Inhalte mit weiteren Informationen aus Gesprächen oder den Medien zu Synthesemodellen vermischt werden, kann nicht gesagt werden (z. B. die Rolle der Atomkraft bei der Gefährdung der Böden). Dass es diese gibt, steht dagegen außer Frage.

Welche Vorstellungen vor allem durch die Medien geprägt sind, lässt sich aus den Interviews nicht erkennen. Lediglich das Bild einer Pflanze, die durch eine Asphaltsschicht wächst, lässt sich eindeutig einer Fernsehsendung (Löwenzahn) zuordnen und scheint den Schülern bekannt zu sein.

5 Verknüpfung der Schülervorstellungen mit den Vorstellungen der Wissenschaftler

Die Schülervorstellungen werden mit Hilfe der Methode des wechselseitigen Vergleichs nach GROPENGEIER (2001) mit den fachwissenschaftlichen Vorstellungen verknüpft. Dabei sind folgende Fragen leitend (GROPENGEIER 2001, S. 199):

- „Welche Korrespondenzen zwischen den fachwissenschaftlichen Konzepten und der Sicht der Schülervorstellungen werden bei deren Verknüpfung deutlich?“
- Welche Korrespondenzen können bei der Vermittlung des Themas Boden und Gefährdung der Böden lernförderlich bzw. lernhinderlich sein?“

Die Methode des wechselseitigen Vergleichs hat das Ziel die Schülervorstellungen und die fachwissenschaftlichen Theorien gleichberechtigt zu behandeln und die jeweiligen Ergebnisse aus der anderen Perspektive, immer in Vermittlungsabsicht, zu beleuchten. Dazu werden die folgenden Kategorien herausgearbeitet (GROPENGEIER 2001, S. 200):

Gemeinsamkeiten: Die Inhalte von Denkfiguren und Konzepten der Schüler als auch der Fachwissenschaftler sind miteinander vergleichbar und stimmen in wichtigen Punkten überein.

Eigenheiten: Die Konzepte oder Denkfiguren sind entweder den fachwissenschaftlichen Vorstellungen oder den Schülervorstellungen eigen und kommen in den anderen Vorstellungen nicht vor.

Verschiedenheiten: Vorstellungen zu bestimmten Inhaltsbereichen unterscheiden sich bei Schülern und Fachwissenschaftlern und können als Gegensätze bewertet werden.

Begrenztheiten: Durch die Eigenheiten der jeweiligen Vorstellungen ist es möglich, die Grenzen der fachwissenschaftlichen Vorstellungen aus Sicht der Schüler und umgekehrt zu erkennen.

5.1 Vergleich der Schülervorstellungen mit den fachwissenschaftlichen Vorstellungen

Boden allgemein

Begriff Boden

Gemeinsamkeiten

- Boden wird von den Schülern wie auch von FALLOU (1865) und BLUME (2004)¹⁷, als >Material< verstanden, welches durch seine Bestandteile, seine charakteristi-

¹⁷ Zur besseren Vergleichbarkeit und erleichterten Zuordnung wird in diesem Kapitel das Handbuch des Bodenschutzes als Gesamtwerk gesehen und als Blume (2004) zitiert. Die einzelnen Kapitel sind im digitalen Anhang ausführlich aufgelistet und in der Zusammenfassung wird auf die einzelnen Autoren verwiesen.

schen Merkmale wie Farbe und Geruch aber auch durch seine Entstehung aus dem Gestein heraus beschrieben wird.

- Die Schüler und BLUME (2004) bezeichnen Boden auch als >obersten Teil der Erde bzw. der Erdkruste<. Auch bei FALLOU (1865) findet man diese Vorstellung in der Denkfigur >Boden als Decke des Grundgebirges< wieder.

Eigenheiten

- BLUME (2004) versteht Boden neben den vorher genannten Denkfiguren als >Naturkörper<, als >Durchdringungsbereich< und als >Bestandteil von Ökosystemen<. Die letztgenannte Denkfigur findet sich beim WBGU (1994) wieder und erweitert, gemeinsam mit der Denkfigur >Boden als Durchdringungsbereich<, den Blick auf den Boden v. a. in Bezug auf Einflüsse von außen. Die Denkfigur des >Naturkörpers< ergänzt die Denkfigur >Boden als Material< der Schüler durch die Konzepte Entwicklung, Gefüge und Porenverteilung sowie Horizontierung. Die Horizontierung ist bei den Schülern als unabhängige Denkfigur >Schichten-aufbau< zu erkennen.
- FALLOU (1865) beschäftigt sich intensiv mit der >Beschaffenheit< des Bodens, unter welcher die Merkmale des Bodens (schmutzige Farbe, locker, nicht lebendig) zusammengefasst werden.

Begrenztheiten

- Aus Sicht der Schüler gibt es in der Fachwissenschaft keine eindeutige Unterscheidung der Begriffe Boden und Erde. Im Allgemeinen wird bei BLUME (2004) nur der Begriff Boden verwendet. Geht es um die Bezeichnung verschiedener Bodentypen, welche auch in der Schule benutzt werden, spricht man jedoch von Braun- oder Schwarzerde. FALLOU (1865) unterscheidet die Begriffe Boden und Erde. Boden wird von ihm als verändertes Grundgestein bezeichnet, welches aus der Gesamtheit aller Ackererden besteht. Abgrenzend zum Boden enthalten Erden organische Bestandteile. Da Boden aus der Gesamtheit aller Ackererden besteht, kann auch in ihm organisches Material enthalten sein. Die Abgrenzung ist also nicht ganz stimmig. Die Schüler können die Begriffe auch nicht recht voneinander unterscheiden. Sie werden teilweise synonym verwendet, teils wird mit Boden die Oberfläche und mit Erde das Material bezeichnet.
- Die Denkfiguren der Schüler zu den Begriffen Boden und Erde stehen eher nebeneinander und sind wenig miteinander verknüpft. Die Denkfigur >Boden als Naturkörper< bei BLUME (2004) zeigt, wie eine solche Verknüpfung verschiedener Konzepte (Horizontierung, Gefüge, Bestandteile) aussehen und zu einer in sich schlüssigen Vorstellung werden kann.

Aufbau des Bodens

Gemeinsamkeiten

- Die Denkfiguren von FALLOU (1865) weisen ebenso wie die von BLUME (2004) Gemeinsamkeiten mit den Schülervorstellungen auf. Neben der unterschiedlichen Strukturierung von Böden findet man bei allen die Vorstellung, dass sich

Boden mit zunehmender Tiefe verändert, ob in der Festigkeit, den Korngrößen oder anderen Eigenschaften des Bodens.

- >Angestammter Boden< vs. >Boden als einheitliche Materie<
- FALLOU (1865) wie auch einzelne Schüler (Alita und Jette), beschreiben Boden bzw. Erde als unstrukturierte ungeschichtete Lage. FALLOU (1865) beschreibt in direktem Zusammenhang die Entstehung dieser Lage aus dem Ausgangsgestein heraus. Die Bodenart ist beim angestammten Boden von der Gesteinsart des Gebirges abhängig. Diese Zusammenhänge werden von den Schülern teilweise bei der Frage nach der Bodenentstehung geäußert.
- >Gesteinsschichten< und >Boden- und Gesteinsschichten< vs. >Angeschwemmter Boden<
- Für die Schüler gehören nicht nur der Mutterboden, sondern auch die darunter befindlichen Gesteinsschichten zum Boden dazu. Diese Vorstellung kann man bei FALLOU (1865) wiederfinden. Er zählt das heute als Lockergestein bezeichnete Material mit zum Boden. Das anstehende Festgestein gehört für ihn im Gegensatz zu den Schülern nicht zum Boden dazu. Er selbst nennt das lockere Material Trümmerflöz und den von den Schülern als Mutterboden bezeichneten Teil nennt er Ackerflöz bzw. Ackerkrume (mit organischem Material angereichert).
- >Bodenschichten< und >Boden- und Gesteinsschichten< vs. >Horizonte> und >Angeschwemmter Boden<
- Vorstellungen eines in sich geschichteten Bodens finden sich in den Schülern wie auch bei FALLOU (1865) und BLUME (2004). Dabei beschreiben sie die unterschiedliche Beschaffenheit und Eigenschaften der einzelnen Schichten. Lediglich die Bezeichnungen variieren von „Schichten“ (z. B. Tineke, FALLOU 1865) zu „Horizonten“ (BLUME 2004).

Eigenheiten

- Ein wichtiger Aspekt in der aktuellen Bodenkunde ist die Gefügebildung und Porenverteilung in Böden. Dabei geht es um die unterschiedliche Anordnung der Bodenbestandteile im Raum, welche z. B. Auswirkungen auf die Wasserspeicherkapazität oder –durchlässigkeit oder auch die Bodenfruchtbarkeit haben.

Verschiedenheiten

- Einige Schüler rechnen das Gestein mit zum Boden, die aktuelle Bodenkunde grenzt Gestein und Boden im Allgemeinen gegeneinander ab, auch wenn Boden als Durchdringungsbereich angesehen wird.

Begrenztheit

- Die Schülervorstellungen sind sehr vielfältig. Doch fällt auf, dass es den Schülern schwer fällt, Boden und Gestein voneinander abzugrenzen. Auch eine Strukturierung des Bodens in sogenannte Horizonte ist nur wenigen Schülern bewusst.

Entstehung von Boden

Gemeinsamkeiten

>Erde/Boden entsteht, hat sich entwickelt< vs. >Boden als Umwandlungsprodukt<

Schüler und Fachwissenschaftler verbindet die Vorstellung, dass sich Boden entwickelt hat und damit Produkt einer Umwandlung ist. Die Schüler und FALLOU (1865) gehen einerseits von einer Zerkleinerung des Gesteins aus, welche von FALLOU (1865) als „Zertrümmerung“ bezeichnet wird. Andererseits werden in allen Untersuchungsaufgaben Vorstellungen von Zersetzung, Verrottung, Humifizierung bzw. Verwesung gefunden, welche den vollständigen oder unvollständigen Abbau organischer Stoffe, wie Pflanzenteile oder auch Tierleichen, beinhalten.

- Der vielfältige Einfluss bodenbildender Faktoren ist eine Gemeinsamkeit der Schüler und der gegenwärtigen fachlichen Sicht. Die besondere Bedeutung der Zeit ist in allen Untersuchungsaufgaben erkennbar.

>Verlagerung <

- Die Verlagerung von Material als bodenbildender Prozess kommt in den Vorstellungen der Schüler wie auch bei FALLOU (1865) vor. Es wird ein Vorgang beschrieben, bei welchem Boden von seiner ursprünglichen Lagerstätte durch Wasser und Wind wegtransportiert und an einem neuen Ort abgelagert wird. Für die Verlagerung spricht das geologische Prinzip, welches beinhaltet, dass die Schichten mit zunehmender Tiefe älter werden. Diese Vorstellungen hängen stark mit der Denkfigur >Gesteinsschichten< zusammen, bei welchem das Gestein mit zum Boden dazugezählt wird.

- Interessant bei FALLOU (1865) ist die Beschreibung zweier unterschiedlicher Entstehungsweisen von Böden: Die Entstehung des angestammten Bodens durch Umwandlungsprozesse des Ausgangsgesteins einerseits und die Entstehung des angeschwemmten Bodens durch Ablagerung andererseits. Auch bei den Schülern kommen beide Vorstellungen, zum Teil sogar in den Vorstellungen einer Person (z. B. Jette), vor.

Eigenheiten

- Während FALLOU (1865) und stärker noch BLUME (2004) intensiv auf Verwitterungsprozesse eingehen, nennt nur eine Schülerin (Tineke) die Möglichkeit, dass Boden durch chemische Reaktionen entstehen könnte.
- Einige Schüler sind der Meinung, dass es Boden schon immer gegeben hat, dass er seit der Entstehung/Schöpfung der Welt da ist. Die Schüler sind sich aber nicht sicher und ziehen weitere Überlegungen zu Bodenentstehungen mit ein. Es existieren also immanente Widersprüche in den Vorstellungen.

Verschiedenheiten

- Innerhalb der Vorstellungen zur Entwicklung der Böden verstehen FALLOU (1865) und die Schüler unter Verlagerung etwas anderes als BLUME (2004). Die Schüler und FALLOU (1865) gehen von einer oberflächlichen, horizontalen Verla-

gerung von Bodenmaterial durch Wind und Wasser aus. BLUME (2004) dagegen beschreibt eine vertikale Verlagerung von Stoffen im Bodenkörper durch perkolierendes Wasser. Er benennt diesen Vorgang als Translokation in Abgrenzung zur Transformation.

Begrenztheit

- Während zumindest einigen Schülern die Zersetzung/Verrottung und bodenbildende Faktoren ein Begriff sind, kennen die Schüler Verwitterungsprozesse und Transformationsprozesse nicht als Prozesse der Bodenbildung. Insgesamt sind die Vorstellungen der Schüler zu den Vorgängen der Bodenbildung als unzureichend einzustufen.
- Dagegen nehmen die Schüler wie auch FALLOU (1865) die Verlagerung von Bodenmaterial zur Entstehung der Böden hinzu. Bei BLUME (2004) zählt dieser Prozess eher zur Bodenerosion. MCKNIGHT/HESS (2009, S. 469) dagegen erweitern das Konzept der Bodenbildung ebenfalls durch die Anreicherung bzw. das Hinzufügen und die Abfuhr von Material. Diese Sichtweise entspricht eher dem Konzept von Boden als Bestandteil von Ökosystemen bzw. von Boden als offenem System, welches u.a. durch die Zu- und Abfuhr von Stoffen charakterisiert ist (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010, S. 5).

Bestandteile

Gemeinsamkeiten

- Den Schülern sind viele der im Boden enthaltenen Bestandteile bekannt, welche auch von den Fachwissenschaften benannt werden.

Eigenheiten

- Bei den Bestandteilen des Bodens fällt innerhalb der Fachwissenschaften vor allem die klare Kategorisierung auf. Während FALLOU (1865) den Bestand des Bodens in mineralische und organische Bestandteile einteilt und diese Aspekte durch die Körnigkeit ergänzt, wird die Strukturierung bei BLUME (2004) viel weiter ausdifferenziert. BLUME (2004) versteht Boden als Dreiphasensystem, welches aus einer festen, einer flüssigen (Bodenwasser) und einer gasförmigen (Bodenluft) Phase besteht. In der festen Phase sind mineralische und organische Bestandteile enthalten, welche in unterschiedlicher Korngröße vorkommen können.

Begrenztheiten

- Die Vorstellungen der Schüler sind aus fachwissenschaftlicher Perspektive zu oberflächlich und vermischen verschiedene Aspekte und kategoriale Ebenen miteinander (z. B. werden als Bestandteile einerseits Ablagerungen oder Erde und andererseits Nitrit oder Schwefel genannt).

Bodenfunktionen

Gemeinsamkeiten

- Von den Schülern wie auch von den Wissenschaftlern werden dem Boden unterschiedliche und sehr vielfältige Funktionen zugeschrieben, welche sich zu

einem großen Teil auch überschneiden. Die Abhängigkeit des Menschen vom Boden und die Bedeutung des Bodens für das (menschliche) Leben kommen in allen untersuchten Quellen zum Tragen.

Eigenheiten

- FALLOU (1865) hat in Bezug auf die Aufgabe des Bodens einen teleologischen Ansatz, in dem er dem Boden den Zweck zuweist, den Menschen zu ernähren und zu kleiden. Seiner Meinung nach ist „*nichts in der Welt um seiner Selbstwillen da (...)*“ (FALLOU 1865, S. 161).

Begrenztheiten

- Die Schüler benennen zwar viele Funktionen, es bleibt aber bei den Nennungen. Die Prozesse, die hinter den Funktionen stehen, können die Schüler nicht erklären. Vor allem die Puffer- und Transformatorfunktion fehlt in den Schülervorstellungen.

Veränderungen des Bodens

Gemeinsamkeiten

- In allen Untersuchungsaufgaben ist eine Unterteilung der Veränderung von Böden in natürliche und anthropogen bedingte Veränderungen zu erkennen. Zu den natürlichen Veränderungen gehören die Prozesse der Bodenentwicklung, unter die anthropogen bedingten Veränderungen kann man die durch den Menschen bedingten oder verstärkten Veränderungen zählen.
- BLUME (2004) unterteilt die durch den Menschen bedingten Veränderungen in beabsichtigte und unbeabsichtigte Veränderungen. Solche Konzepte finden sich auch bei den Schülern. Sie gehen z. B. in Bezug auf die Bodenverdichtung größtenteils von negativen Nebenwirkungen der Bearbeitung aus, was den unbeabsichtigten Veränderungen bei BLUME (2004) entspricht. Bei Fabiano findet sich aber auch das Konzept der absichtlichen Verdichtung des Bodens.

Verschiedenheiten

- Die Schüler unterscheiden eindeutig zwischen natürlichen und anthropogen bedingten Veränderungen, wogegen BLUME (2004) deutlich macht, dass grundsätzlich alle beschriebenen Veränderungen oder Belastungen auch als natürliche Vorgänge möglich sind und durch menschlichen Einfluss lediglich intensiver oder schneller ablaufen.
- Die Bewertung der Bewirtschaftung des Bodens fällt unterschiedlich aus. FALLOU (1865) ist der Meinung, dass Boden durch die Bearbeitung positiv beeinflusst und erst so von wüstem Boden in fruchtbares Ackerland umgewandelt wird. Er erkennt zwar die Gefahr der Bodenerschöpfung, hält sie bei einem pfleglichen Umgang mit demselben aber eher für unwahrscheinlich. Die Schüler dagegen beurteilen die Eingriffe in den Boden, egal ob durch Düngung, Pflügen oder auch durch Verschmutzung grundsätzlich negativ. Die Kriterien der Bodenschädigung werden von BLUME (2004) und der WBGU (1994) aus der Funktionser-

fällung abgeleitet. Die Schüler beziehen die Veränderung der Bodeneigenschaften mit in die Bewertung ein.

Eigenheiten

- Innerhalb der Bodenfunktionen beziehen die Schüler die Auswirkungen vornehmlich auf die Tier- und Pflanzenwelt und im Endeffekt auf das menschliche Leben.

Begrenztheiten

- Die Schüler beziehen die Veränderungen vornehmlich auf die Funktionen des Bodens als Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Menschen. Durch die fehlenden Vorstellungen zu anderen wichtigen Bodenfunktionen (Boden als Puffer, Filter, Transformator etc) können auch die Auswirkungen von Bodenveränderungen nicht richtig eingeschätzt und bewertet werden.
- Aus Schülersicht ist eine eindeutige Zuweisung in natürliche und durch den Menschen bedingte Veränderungen durchaus nachvollziehbar, da diese Auffassung den Schülern die Beurteilung von Vorgängen erleichtert. Problematisch ist es aber, dass durch diese Sichtweise eine dichotome Struktur in „natürlich = gut“ und „durch den Menschen beeinflusst = schlecht“ gefördert wird. Daher sollten durch die Fachwissenschaften klare und nachvollziehbare Kriterien ausgewiesen werden, welche den Schülern die Beurteilung von Eingriffen in Böden erleichtern.

Gefährdung der Böden – Umwelteinflüsse

Die von den Schülern beschriebenen >anthropogen bedingten Veränderungen< und die unter der Kategorie Umwelteinflüsse/Umweltverschmutzung stehenden Denkfiguren entsprechen in der Grundstruktur der Denkfigur der >anthropogenen Bodendegradation< des WBGU (1994). Der Mensch wird als Verursacher der Bodendegradation/Gefährdung der Böden gesehen und es werden verschiedene Folgen benannt.

Gemeinsamkeiten

- Die Denkfigur der Schüler >Eintrag von Substanzen in den Boden durch den Menschen< entspricht dem Konzept der kritischen Einträge des WBGU (1994). Dabei benennen die Schüler und das WBGU (1994) die Einträge schädlicher Stoffe in ein System (den Boden).
- Die Denkfigur >Regeneration< der Schüler ist mit den Konzepten der dauerhaften bzw. irreversiblen Veränderungen des WBGU (1994) vergleichbar. Beide gehen davon aus, dass sich gewisse Veränderungen, in einem bestimmten Zeitabschnitt, bodenintern ausgleichen können. Andererseits gibt es Veränderungen, die nur durch weitere Eingriffe des Menschen behoben werden können. Für die Schüler ist das ein „Retten des Bodens mit Hilfe von Kalkung oder Düngung“. Bei dem WBGU (1994) wird von der Beseitigung der Schäden durch den Einsatz von Energie und Rohstoffen gesprochen.

Eigenheiten

- Die Schüler beziehen die Ursachen für die Gefährdung der Böden auch auf die Handlungen von Einzelpersonen. Dies wird in der Denkfigur >Mensch als Einzeltäter< deutlich. Der Bezug zur eigenen Person wird deutlich, wenn es z. B. darum geht, dass Papierchen auf den Boden geworfen werden, weil man zu faul ist zum Mülleimer zu gehen.
- Die Schüler bilden Synthesemodelle, in welchen sie verschiedenste Ursachen für ein Phänomen miteinander vermischen. Ein gängiges Synthesemodell ist die Vermischung von Abgasen und radioaktiver Strahlung aus Atomkraftwerken als Ursachen für die Versauerung der Böden.

Verschiedenheiten

- Der Sichtweise des WBGU (1994) eigen ist die Ausprägung der Denkfigur der anthropogenen Bodendegradation, welche eine Übersicht über die Veränderungen des Bodens durch externe Eingriffe unter Missachtung des Prinzips der Nachhaltigkeit gibt (siehe: Fachliche Klärung im digitalen Anhang). Dabei geht die Denkfigur auf die Hauptursachen und die Haupttypen der Bodendegradation und deren Auswirkungen ein. Die Denkfigur ist im Gegensatz zu den Schülervorstellungen sehr deutlich strukturiert.

Begrenztheit

- Vermutlich versuchen die Schüler mit ihren allgemeinen Vorstellungen zu Umwelteinflüssen ein Raster zu entwickeln, in welches sich verschiedene Phänomene einordnen lassen. So wird zwischen Ursachen und Folgen unterschieden und es werden Überlegungen zu den Wegen der Belastung von Böden angestellt. Auch der WBGU (1994) erstellt durch die Denkfigur >anthropogene Bodendegradation< ein solches Raster, in welches sich alle anderen Phänomene wie Bodenversauerung oder Bodenerosion einordnen lassen. Die Denkfigur des WBGU (1994) ist im Gegensatz zu den verschiedenen Denkfiguren der Schüler jedoch viel klarer strukturiert und bietet eine gute Orientierung über die Ursachen, Phänomene und Folgen der Bodendegradation. Die Vorstellungen der Schüler dagegen sind noch wenig strukturiert und weisen, auch durch die gebildeten Synthesemodelle, enorme fachliche Defizite auf. Eine entsprechende überblicksartige Darstellung fehlt bei BLUME (2004) gänzlich.

Bodenverdichtung

Gemeinsamkeiten

- Die Denkfigur des >festen, undurchlässigen Bodens< der Schüler weist mit der Denkfigur >Bodenverdichtung< der WBGU (1994) einige Gemeinsamkeiten in der Beschreibung des Phänomens auf. In beiden Denkfiguren wird eine Volumenveränderung des Bodens durch Zusammenpressen beschrieben. Die Schüler wie auch die WBGU (1994) und BLUME (2004) führen die Verdichtung auf den Einsatz schwerer Maschinen in der Landwirtschaft zurück. Auch die erläuterten Folgen ähneln sich. Die Fachwissenschaften gehen von einer Verringerung des

Porenvolumens aus. Die Schüler beschreiben dasselbe Phänomen als Verringerung des „Freiraumes“ bzw. der „freien Stellen“ im Boden. Als Folgen werden eine erschwerte Durchdringbarkeit des Bodens für Tiere und Pflanzen, erschwerte Gasaustausch mit möglichem Sauerstoffmangel, eine verringerte Versickerung des Wassers und damit zusammenhängend ein erhöhter Oberflächenabfluss und die verstärkte Erosionsanfälligkeit genannt. Alle Quellen deuten darauf hin, dass die Komprimierbarkeit bzw. die Gefügestabilität von den Bodeneigenschaften, vor allem aber von der Bodenart abhängig ist.

Eigenheiten

- BLUME (2004) versteht unter Verdichtung nicht nur die Kompression des Bodens durch statische Belastung, sondern auch die Verformung des Bodens durch Scherung. Dabei kommt es nicht nur zur Verringerung des Porenvolumens, sondern auch zur Verschiebung und Einregelung der Poren und zur Zerstörung des Bodengefüges. Die horizontale Ausrichtung der Porensysteme hat einen noch stärkeren Einfluss auf die Erosionsanfälligkeit des Bodens als die reine Komprimierung.
- Ein wichtiger Aspekt für die Schüler ist die Tatsache, dass es zu viel regnet. Diese Vorstellung lässt sich evtl. auf das im Interview vorgelegte Bild zurückführen (Material 8, Anhang I). Meist verbinden die Schüler die Verdichtung mit anschließendem Regen als Ursachen für das auf dem Bild dargestellte Phänomen. Eine Schülerin geht aber davon aus, dass zu viel Regen und die damit erschöpfte Wasseraufnahmekapazität die einzige Ursache für das dargestellte Phänomen ist.
- Als weitere Ursachen für die Verdichtung geben die Schüler z. B. das Betreten des Bodens, die Verschlämmung, aber auch witterungsbedingte Verdichtung durch Frost oder Trockenheit als natürliche Prozesse der Bodenverdichtung an.
- BLUME (2004) ergänzt die Ursachen durch den Besatz einer Fläche mit einer zu großen Anzahl an Großvieheinheiten und durch die Bearbeitung des Bodens in einem ungünstigen Bearbeitungszustand.
- BLUME (2004) geht noch genauer auf die verstärkenden Bedingungen der Bodenverdichtung ein. Er benennt das auf den Boden auflastende Gewicht, die Häufigkeit der Befahrung und die Größe der Fläche, auf die der Druck lastet, als weitere ausschlaggebende Faktoren.

Begrenztheit

- Die Schüler können sich die Prozesse, Ursachen und Auswirkungen der Bodenverdichtung recht gut vorstellen. Aus Sicht von BLUME (2004) müsste die Vorstellung der Verdichtung noch durch die der Scherung ergänzt werden. Auch der Einbezug von den die Bodenverdichtung beeinflussenden Faktoren ist durchaus sinnvoll, da durch diese die entsprechenden Maßnahmen begründet werden können.

- Mit dem Begriff Verdichtung assoziieren die Schüler nur die Kompression des Bodens und die damit zusammenhängende Volumenabnahme. Die Verformung wird durch den Begriff nicht deutlich.

Bodenerosion

Gemeinsamkeiten

- Die Schüler beschreiben ebenso wie der WBGU (1994) und BLUME (2004) die Erosion als Verlagerung (Abtrag und Ablagerung) von Bodenteilchen durch Wind und Wasser. Der Schwerpunkt bei den Schülern liegt bei der *Wassererosion* auf dem Abtrag von Bodenpartikeln, beim WBGU (1994) wird die Ablagerung derselben als Folge mit einbezogen. In Bezug auf die *Winderosion* und bei BLUME (2004) auch in Bezug auf die Wassererosion findet man bei allen die Denkfigur der >Verlagerung<, welche den Abtrag von Bodenmaterial genauso beinhaltet wie die entsprechende Ablagerung. Als wichtige, die Erosion beeinflussenden Faktoren werden von BLUME (2004) und der WBGU (1994) die Erosivität des Klimas und die Erodierbarkeit des Bodens angeführt, die sich natürlich entsprechend der Wind- bzw. Wassererosion voneinander unterscheiden. Die Erodierbarkeit bezieht sich vor allem auf die Bodeneigenschaften, aber auch auf die Hanglänge oder Hangneigung. Die Schüler verwenden diese Klassifizierung zwar nicht, benennen aber entscheidende, die Erosion beeinflussende Bedingungen wie die Größe und das Gewicht der Bodenpartikel, Einzelteile, die Feuchtigkeit des Bodens oder den Schutz des Bodens vor Erosion durch die Vegetation. Die jeweils genannten Folgen überschneiden sich in den Darstellungen.

Eigenheiten

- Der WBGU (1994) fasst viele Ursachen und Folgen der Bodenerosion ohne die Unterteilung in Wasser- und Winderosion zusammen.
- Als wichtigste Ursachen für die Erosion benennt die Fachwissenschaft die Rodung der Wälder mit anschließender unangepasster Nutzung der Böden. Der WBGU (1994) ergänzt die Ursachen noch um die Flussregulierung und das Absenken der Grundwasserspiegel.

Verschiedenheiten

- Der WBGU (1994) geht davon aus, dass durch langfristige und intensive Bodennutzung Böden völlig zerstört werden können. Die Schüler können sich solche extremen Folgen dagegen nicht vorstellen.

Begrenztheit

- Die Vorstellungen der Schüler überschneiden sich mit den Grundannahmen der Fachwissenschaft, sind jedoch als defizitär einzustufen. Auch innerhalb dieses Untersuchungsbereiches fehlt eine klare Strukturierung der Vorstellungen.

Wassererosion

Gemeinsamkeiten

- Das Konzept des Verflüssigens des Bodens der Schüler lässt sich mit dem Konzept der Verschlammung des Bodens von BLUME (2004) vergleichen. Bei dem beschriebenen Prozess werden Poren/Leerräume durch feinere Bodenpartikel verstopft.

Eigenheiten

- Die Schüler erklären die Erosionsrinne auf dem Feld (Material 2, Anhang I) durch das >Einsacken des Bodens< durch zu viel Wasser. Hinter dieser Denkfigur stehen neben dem Verflüssigen des Bodens noch weitere Konzepte. So geht ein Schüler davon aus, dass ein nasser Boden ein größeres Volumen hat und der Boden beim Trocknen einsackt. Ein anderes Konzept beschreibt ein Zusammendrücken des Bodens durch Wasser. Es finden sich auch kombinierte Prozesse, welche die Vorstellungen vom Zusammendrücken des Bodens durch Wasser und vom Abtrag des Bodens durch Wasser verknüpfen. Die Folgen entsprechen den jeweiligen Konzepten. So passt die Folge, dass Tiere und Pflanzen nicht in zu fester Erde leben können, zum Konzept des zusammengedrückten Bodens. Diese Konzepte sind mit denen der Bodenverdichtung vergleichbar.
- Zwei Schüler können sich vorstellen, dass die Erosionsrinne durch Verdunstung bzw. Hitzeeinwirkung entstanden ist. Eine andere Schülerin meint, die Rinne hängt mit Vorgängen zusammen, die tiefer im Boden vor sich gehen. Diese Vorstellungen sind sehr oberflächlich und wurden von den Schülern nicht weiter verfolgt.
- BLUME (2004) beschreibt die Prozesse der Erosion (Splash, Abtrag, Sedimentation) recht genau. Ebenso geht BLUME (2004) auf die geomorphologischen Formen der Wassererosion ein (flächenhafte, linienhafte Erosion). Andererseits betrachtet er das gesamte Erosionssystem und beschreibt Onsite- und Offsite-Erscheinungen. Dadurch kommt die Ablagerung der Bodenpartikel durch die Beschreibung von Offsite-Schäden stärker zum Tragen. Diese werden von den Schülern nicht bedacht.

Begrenztheit

- Die Schüler stellen für die Wassererosion nur Überlegungen für den Abtragungsort an. Folgen für die Systeme, in welche das vorher abgetragene Material eingetragen wird, werden nicht angestellt. Auf die Vorgänge, die zur Bodenerosion führen, gehen die Schüler nicht ein.

Winderosion

Gemeinsamkeiten

- Entsprechend der Denkfigur der >Verlagerung von Bodenmaterial durch Wind< werden von den Schülern wie auch von der Fachwissenschaft Auswirkungen im Abtragungs- als auch im Ablagerungsbereich beschrieben. Die Vorstellungen sind ähnlich strukturiert

Eigenheiten

- BLUME (2004) beschreibt die Prozesse der Winderosion (Saltation, Kriechen/Rollen, Bodenlawine) sehr genau. Im Gegensatz zur Wassererosion findet die Verlagerung der Teilchen in alle Richtungen, auch gegen das Gefälle statt.

Begrenztheit

- Die Prozesse der Winderosion werden von den Schülern nicht bedacht.

Bodenversauerung

Gemeinsamkeiten

- Das Phänomen der Bodenversauerung weist in den Vorstellungen der Schüler wie auch denen der Fachwissenschaftler viele Gemeinsamkeiten auf. Der Ablauf der Versauerung, dass Emissionen über den Regen in den Boden gelangen und dort für ein Absenken des pH-Wertes sorgen, ist in allen Ausführungen gleich. Außerdem ähneln sich die Vorstellungen der Schüler und die von BLUME (2004) in Bezug auf die ökosystemaren Auswirkungen der Bodenversauerung.

Eigenheiten

- Der Eintrag von Saurem Regen wird von den Schülern teilweise mit dem Eintrag von Giftstoffen gleichgesetzt, welche sich direkt auf den Boden, Tiere und Pflanzen auswirken und diese angreifen und schädigen.
- BLUME (2004) unterscheidet beim Sauren Regen zwischen freier und potenzieller Acidität.
- Bei der Beschreibung der Auswirkungen sind bei BLUME (2004) wie auch bei der WBGU (1994) bodeninterne Prozesse (Verlust der Säureneutralisationskapazität, Entbasung, Schwermetallmobilisierung) den ökosystemaren Folgen (z. B. strukturelle Veränderung der Böden, Artenverschiebungen, Waldschäden) vorgeschaltet.

Verschiedenheiten

- In der Fachwissenschaft wird Bodenversauerung als natürlicher Prozess angesehen, welcher durch anthropogene Einflüsse, das heißt in diesem Fall die Emissionen aus der Landwirtschaft und Industrie, verstärkt und beschleunigt abläuft. Die Schüler dagegen erkennen Bodenversauerung als rein anthropogen induzierten Prozess. Sie berücksichtigen die Landwirtschaft nicht als Emittent, nehmen aber Atomkraftwerke und die damit zusammenhängende radioaktive Strahlung als Ursache für den sauren Regen hinzu. Im Gegensatz zu den Fachwissenschaften nennen die Schüler keine konkreten Emissionen wie Ammoniak (NH₃), Stickoxiden (NO_x) oder Schwefeldioxid (SO₂).
- Die Schüler erkennen den Wasserkreislauf als Belastungspfad. Abgase gelangen über die Luft in die Wolken und damit in den Regen, welcher zu Saurem Regen wird. Eine Umwandlung der Emissionen im Regen bzw. die atmosphäri-

schen Prozesse, die zum so genannten Sauren Regen führen, sind ihnen nicht bekannt.

- Der WBGU (1994) beschreibt ebenso wie BLUME (2004) verschiedene Belastungspfade wie die trockene und nasse Deposition, aber auch den direkten Eintrag von bodenversauernden Stoffen durch Düngung.

Begrenztheiten

- Insgesamt sind die Vorstellungen der Schüler aus fachwissenschaftlicher Sicht unzureichend und teilweise falsch. Auch beim Beispiel der Bodenversauerung fehlt die Kenntnis der stattfindenden Prozesse. Einzelne Aspekte werden im Folgenden gesondert aufgelistet:
- Die Schüler benennen lediglich Emittenten und Abgase. Die genaue Bezeichnung von Emissionen unterbleibt.
- Die Schüler kennen nur die nasse Deposition durch den Regen. Andere Belastungspfade wie die trockene Deposition oder der direkte Eintrag sind ihnen nicht bekannt.
- Die Auswirkungen des Absenkens des pH-Wertes im Boden sind den Schülern nicht bewusst. Sie gehen von der direkten Wirkung der Säure auf Pflanzen und Tiere aus, nicht von den indirekten Auswirkungen, welche vor allem mit dem Austausch von Kationen zusammenhängen (Verlust von Nährstoffen, Schwermetallmobilisierung usw.).
- Auf Seiten der Fachwissenschaft fehlt aus Sicht der Schüler die Beurteilung des Vorganges der Bodenversauerung.

Weitere übergreifende Vorstellungen

Gemeinsamkeiten

- Die Schüler gehen ebenso wie der WBGU (1994) und BLUME (2004) vom Vorhandensein eines ökologischen Gleichgewichts aus. Der WBGU (1994) spricht davon, dass abiotische und biotische Bereiche im Boden im Sinne eines dynamischen Gleichgewichtes miteinander in Beziehung stehen. Die Schüler führen die Idee von der Störung des Gleichgewichts in Bezug auf die Bewertung von Eingriffen in den Boden an. BLUME (2004) nutzt dagegen das Konzept der Ungleichgewichte zwischen Reduktions- und Oxidationsvorgängen z. B. als Ursache für die Versauerung.
- Bei den Schülern als auch bei FALLOU (1865) ist ein **teleologischer Ansatz** zur erkennen. So weist FALLOU (1865) darauf hin, dass Boden verschiedene Bestimmungen hat. Als die höchste Bestimmung wird der Anbau zum Acker benannt. Bei den Schülern lässt sich dieser Ansatz z. B. an der Aussage erkennen, dass Boden nicht mehr Wasser aufnimmt, weil zu nasser Boden nicht gut für die Pflanzen ist. Die verringerte Wasseraufnahme dient also dem Zweck, dass Pflanzen sich weiterhin gut in ihm entwickeln können.

- Der Syndromansatz ist eingebettet in ein **bodenzentriertes globales Beziehungsgeflecht**, welches die Wechselwirkungen zwischen dem Boden und den anderen Kompartimenten (z. B. Atmosphäre, Verkehr, Bevölkerung...) in den Blick nimmt. Auch bei den Schülern sind entsprechend Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen (Geo-)Sphären zu erkennen. Beiden Ansätzen ist gleich, dass Ursachen und Folgen benannt, die zwischengeschalteten Prozesse aber nicht genauer ausgeführt werden.
- In den Schülervorstellungen wie auch beim WBGU (1994) wird Boden personifiziert. Bei den Schülern geschieht diese **Personifizierung** eher unbewusst und mit dem Hintergrund Sachverhalte, für welche entsprechendes Fachvokabular fehlt, erklären zu können. Der WBGU setzt die Personifikation gezielt ein, um Bodendegradation verständlicher zu machen. Die Personifikation drückt sich im Syndromansatz aus, der eine Eigenheit des WBGU (1994) darstellt.

Eigenheiten

Der interdisziplinäre Ansatz des WBGU (1994) birgt verschiedene Denkfiguren, welche sich in dieser Ausprägung nicht in den anderen Quellen oder in den Schülervorstellungen finden kann.

- **Syndromansatz:** Mit der Beschreibung von Krankheitsbildern des Bodens und der Erstellung einer geodermatologischen Diagnose wird ein medizinisches Denkgebäude zum besseren Verständnis der Bodendegradation mitsamt der Ursachen und Auswirkungen auf den Boden übertragen.
- Boden wird als **ökonomisches Gut** verstanden, welches durch die Degradation an Wert verliert. Der WBGU (1994) hofft durch bodenökonomische Gesamtrechnungen die Sensibilität für den Boden und die Gefährdung von Böden in der Bevölkerung zu erhöhen und die Belange des Bodenschutzes zu stärken.
- Der WBGU (1994) stellt Gründe für die **>Nichtwahrnehmbarkeit des Bodens<** als wichtigen Aspekt heraus.
- Dem WBGU (1994) eigen sind die Denkfiguren der **>Belastbarkeit<** und **>Tragfähigkeit<** von Böden. Diese beiden Konzepte bieten einen Rahmen für die Beurteilung von Eingriffen und Einträgen in den Boden und Austrägen aus dem Boden. Weiterhin werden Zustände des Bodens aufgrund der entsprechenden Tragfähigkeit bewertet. Die Belastbarkeit des Bodens ist in dem Moment überschritten, wenn die Tragfähigkeit des Bodens durch die Eingriffe abnimmt.

5.2 Lernförderliche und lernhinderliche Konzepte

Lernförderlich:

- Schüler verstehen unter Boden nichts komplett anderes als die Fachwissenschaften. Sie benennen ihn nur häufiger mit dem Begriff Erde (s.o.). Die grundlegenden Vorstellungen der Schüler über einen Schichtenaufbau des Bodens, aber auch die Kenntnisse der Bestandteile des Bodens ähneln den Konzepten der

Fachwissenschaftler, auch wenn sie weniger detailliert und strukturiert sind. An diesen Vorstellungen lässt sich gut anknüpfen.

- Boden wird von der Fachwissenschaft als offenes System und als Bestandteil von Ökosystemen verstanden. Die Schüler ordnen Boden zwar nicht so explizit in Systeme ein, beschreiben aber dennoch Einwirkungen und Einträge in den Boden von außen bzw. beschreiben Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Teilen der Geosphäre. Man kann also davon ausgehen, dass die Schüler die Einordnung des Bodens als offenes System und Bestandteil von Ökosystemen gut nachvollziehen können.
- Die Kenntnis des Wasserkreislaufes und das Wissen um die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilen der Geosphäre erleichtert den Schülern z. B. das Verständnis der nassen Deposition oder auch der Immissionen in den Boden.
- Der Begriff Bodenverdichtung kann als lernförderlich angesehen werden, da er das Phänomen der Verdichtung klar ausdrückt. Die Schüler bringen mit diesem Begriff unmittelbar die entsprechenden Prozesse in Verbindung. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass die Gefahr besteht, unter dem Begriff Bodenverdichtung lediglich die Komprimierung des Bodens zu verstehen und die Verformung zu übergehen.
- Der Begriff Bodenversauerung ist ebenso als lernförderlich anzusehen, da er für die Schüler das Phänomen gut verständlich beschreibt. Missverständlich könnte der Begriff sein, wenn mit dem Eintrag von säurewirksamen Depositionen aufgrund einer höheren Pufferkapazität des Bodens der pH-Wert vorerst stabil bleibt, es aber bereits andere negative Auswirkungen gibt.
- Die Denkfigur der >anthropogenen Bodendegradation< des WBGU (1994) könnte als Orientierungsrahmen zur Einordnung verschiedener Typen der Degradation dienen und den Schülern eine Strukturierung der Phänomene erleichtern.
- Der Syndromansatz ist für die Schüler sehr wahrscheinlich gut verständlich, da er an der eigenen Erfahrung eines gesunden oder kranken Körpers ansetzt und die Komplexität der Bodendegradation durch die aus der Medizin übernommenen Konstrukte der Symptome und Syndrome zu strukturieren versucht. Der Ansatz ist auch deshalb für die Schüler nachvollziehbar, da sie Boden in ihren Aussagen personifizieren und eine Übertragung der Eigenschaften gesund und krank teilweise selbst mit in die Diskussion bringen. So wird z. B. von Wunden oder einer Schutzschicht des Bodens, aber auch von gesunder Erde gesprochen.
- Das bodenzentrierte globale Beziehungsgeflecht ist für die Schüler sicherlich lernförderlich, da es Ursachen und Auswirkungen nach ihren Herkunfts- bzw. Zielbereichen (z. B. Bevölkerung, Verkehr, Biosphäre) strukturiert und komplexe Zusammenhänge anschaulich darstellt. Andererseits hat es nur eine eingeschränkte Aussagekraft, da lediglich die direkten Ein- oder Auswirkungen auf den Boden mit einbezogen werden. Weiterführende Ein- oder Auswirkungen in eine zweite oder dritte Ebene und die Wechselwirkungen untereinander werden nicht berücksichtigt.

- Die Perspektive des WBGU (1994), Boden als ökonomisches Gut zu verstehen, wird als lernförderlich eingestuft. Schüler sind täglich in ökonomische Handlungen einbezogen. Viele Dinge werden in unserer Gesellschaft monetär bewertet. Dass Boden durch Degradation an Wert verlieren kann, oder dass ein bestimmter Wert für die Nutzung des Bodens in die Berechnung des Preises von Lebensmitteln mit eingehen sollte, ist für Schüler sicherlich nachvollziehbar und eine gute Methode, für den Bodenschutz zu sensibilisieren.
- Die Konzepte der Belastbarkeit und Tragfähigkeit sind den Schülern evtl. aus anderen Kontexten bekannt. Sie geben den Schülern einen Rahmen, Bodendegradation beurteilen und die entsprechenden Eingriffe oder auch Handlungsweisen als positiv oder negativ einstufen zu können. Eine solche Orientierung ist für Schüler wichtig, vor allem auch, um Vermeidungsstrategien oder Maßnahmen gegen die verschiedenen Typen der Degradation diskutieren zu können.

Lernhinderlich:

- Die Verwendung der Begriffe Boden, Erde und Gestein muss als lernhinderlich angesehen werden. Der Begriff Erde wird von der Fachwissenschaft nicht benutzt, definiert und auch nicht gegen den Begriff Boden abgegrenzt. In der Alltagssprache wird Erde aber häufiger für Boden gebraucht als der fachwissenschaftliche Begriff Boden selbst. Boden gilt in der Alltagssprache eher als oberste Schicht oder Oberfläche. Andererseits zählen einige Schüler auch das Gestein zum Boden. Eindeutige Abgrenzungen und Definitionen im Kontext bodenkundlicher Unterrichtsinhalte sind unbedingt nötig.
- Die Fachwissenschaft erklärt viele Phänomene, wie z. B. die Horizontierung des Bodenkörpers, das Vorkommen der unterschiedlichen Bodenbestandteile, aber auch Ursachen und Folgen von verschiedenen Typen der Bodendegradation mit Hilfe der stattfindenden Prozesse. Nur durch das Verständnis der zu den Phänomenen führenden Prozesse können z. B. verstärkende oder abschwächende Bedingungen eingeschätzt und für die Planung von Maßnahmen herangezogen werden. Genau in diesem Punkt sind die Schülervorstellungen unzureichend bzw. sie fehlen zu einem großen Teil. So gibt es nur wenig differenzierte oder keine Vorstellungen zur Entstehung von Böden und auch nicht zu den Prozessen der Bodenerosion, Bodenverdichtung und Bodenversauerung.
- Der Begriff Bodenerosion ist für die Schüler nichtssagend. Sie kennen den Begriff nicht und verbinden damit eher geologische Vorgänge wie Erdbeben.
- Die Vorstellung der Schüler, dass der Eintrag von Saurem Regen dem Eintrag von Giftstoffen entspricht, könnte das Verständnis bodeninterner Prozesse erschweren. Die Schüler gehen davon aus, dass der Saure Regen, ähnlich wie Gift, Pflanzen oder Tiere direkt angreift. Dass die hauptsächlichen Wirkungen aber vom Kationenaustausch ausgehen, wird durch die Giftvorstellung behindert. Die Auswaschung von Nährstoffen ist damit ebenso unverständlich wie die Mobilisierung von Schwermetallen.

- Ein weiteres Problem ist die Bildung von Synthesemodellen bei den Schülern, in denen fachwissenschaftlich adäquate Vorstellungen mit Alltagsvorstellungen verbunden werden. Innerhalb der beschriebenen Syndrome des WBGU (1994) sind nun ebenfalls unterschiedliche Ursachen bei gleichen Phänomenen und unterschiedliche Folgen bei gleichen Ursachen zu erkennen. Die oben stehenden Fakten erschweren das Auseinanderhalten der einzelnen Phänomene und könnten evtl. die Bildung von Synthesemodellen verstärken.
- Das bodenzentrierte globale Beziehungsgeflecht könnte auch lernhinderlich wirken, da es sich um sehr abstrakte, unter globaler Perspektive dargestellte Wechselwirkungen handelt und ein direkter Bezug für die Schüler nicht ersichtlich ist. Diese Darstellung der Phänomene bleibt an der Oberfläche.
- Das immer wieder auftretende Konzept des ökologischen Gleichgewichts in den Schülervorstellungen wie auch in den Vorstellungen der Fachwissenschaftler ist als problematisch einzustufen. Das Konzept geht von einem definitiv nicht vorhandenen, statischen Zustand des Bodens aus. Die Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts wird als Ziel festgelegt und als Bewertungsrahmen für Eingriffe genutzt. Veränderungen, egal in welchen Zeiträumen und Ausmaßen, werden als negativ und als Störung des Gleichgewichtes eingestuft.

6 Didaktische Strukturierung

6.1 Konstruktivistische Unterrichtsstrategien

Die konstruktivistische Auffassung des Lernens berücksichtigend hat REINFRIED (2006.1) in Anlehnung an MANDL (2006) Lernen als aktiven, selbstgesteuerten, konstruktiven, emotionalen, sozialen und situativen Prozess beschrieben:

„Lernen...

... ist ein aktiver Prozess, der nur über die aktive Beteiligung der Lernenden möglich ist.

...ist ein selbstgesteuerter Prozess, für dessen Steuerung und Kontrolle der Lernende selbst verantwortlich ist.

...ist ein konstruktiver Prozess, der auf vorhandenen Kenntnissen, Fähigkeiten und Einstellungen aufbaut.

...ist ein emotionaler Prozess, bei dem leistungsbezogene Gefühle als auch Motivation wesentlich sind.

...ist ein sozialer Prozess, der von soziokulturellen Einflüssen und interaktiven Prozessen beeinflusst wird.

...ist ein situativer Prozess, der in spezifischen Kontexten stattfindet“

(REINFRIED 2006.1, S. 74, in Anlehnung an MANDL 2006, S. 29).

Um Konstruktionsleistungen erbringen zu können, muss Lernen in situieren Lernumgebungen stattfinden (REINFRIED 2007). Solche Ansätze kann man in der „situated cognition-Bewegung“ finden, die die „Idee des Kontextbezuges und der sozialen Partizipation in realen Situationen beim Lernen“ verstärkt mit eingebracht hat (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 615). KÜRSCHNER ET AL. (2007) definieren Situierung in einer Lernumgebung als Lernen in einem Umfeld, das dem Lernenden die Wissenskonstruktion in einem authentischen Kontext ermöglicht.

Aus der Interpretation effektiven Lernens als kontextgebundener, situierter und sozialer Prozess schließen REINMANN-ROTHMEIER/MANDL (2001) als Fazit aus den theoretischen Positionen der situated cognition-Bewegung, dass Lern- und Anwendungssituationen ähnlich gestaltet werden müssten. In Abgrenzung zu einem Primat der Instruktion, welches durch die Optimierung der Instruktion, Lehrerzentriertheit, rezeptive Lernhaltung, das Lernen normierter Problemlösungen und die Fremdsteuerung charakterisiert sind, formulieren REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001 das Primat der Konstruktion. Dieses zeichnet sich durch das Verständnis von Lernen als aktiv-konstruktiver Prozess, Lernerzentriertheit, produktive Wissensaneignung, eigenständiges Finden und Lösen von Problemen sowie durch Selbststeuerung aus (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, REINFRIED 2007) (Abb. 44, Abb.45).

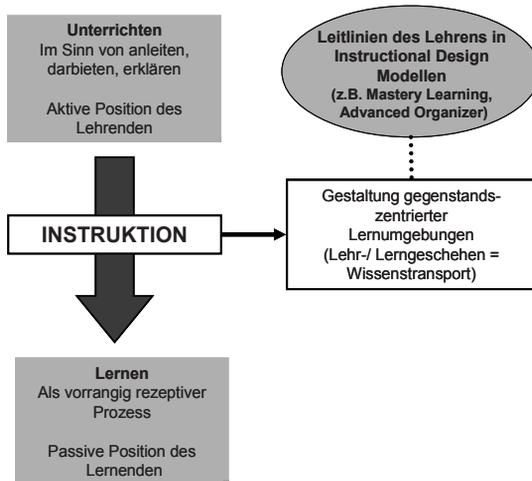


Abb. 44: Primat der Instruktion (REINFRIED 2007, S. 20, verändert nach REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 606)

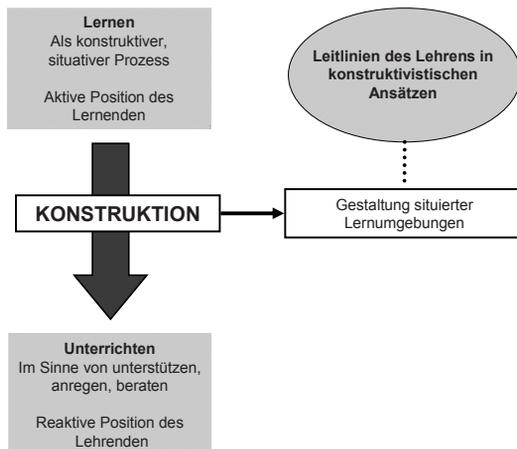


Abb. 45: Primat der Konstruktion (REINFRIED 2007, S. 20, verändert nach REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 614)

Situated cognition-Bewegung

In den 1980er Jahren wurden verschiedene konstruktivistische Instruktionsansätze formuliert, die den oben genannten Aspekten folgen und unter der situated cognition-Bewegung zusammengefasst werden können. Hierzu gehören der Anchored Instruction-Ansatz, die Cognitive Flexibility-Theorie und der Cognitive Apprenticeship-Ansatz. Beim **Anchored Instruction-Ansatz** dient ein „narrativer Anker“ als Ausgangspunkt für eine Lernsituation. Die Erzählung oder Beschreibung einer authentischen Problemsituation soll Interesse wecken und für die spätere Problemlösung anschauliches Material liefern. Die Problemsituation soll dabei von den Lernenden selbstständig identifiziert und eigenständig gelöst werden. Die **Cognitive Flexibility-Theorie** eignet sich besonders gut für fortgeschrittenen Wissenserwerb in komplexen und wenig strukturierten Gebieten, da er eine Übervereinfachung vermeidet. Der Lernende wird von Anfang an mit der Komplexität des Gegenstandes konfrontiert. Ziel dieses Ansatzes ist es, Wissen facettenreich und flexibel anzuwenden. Lernen soll daher multidirektional und multiperspektivisch erfolgen. Als mögliche Methoden werden die Falldarstellung oder das Landscape-Criss-Crossing genannt. Bei letzterem werden *„dasselbe Konzept zu verschiedenen Zeiten unter veränderten Zielsetzungen aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet“* (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 618). Dieser Ansatz scheint auch für die Geographie im Allgemeinen aber auch für die Behandlung von Bodendegradation im Speziellen geeignet zu sein. Eine Verknüpfung mit dem Syndromansatz (WBGU 1994) und die Behandlung von Raumnutzungskonflikten wären denkbar, müsste aber unter Berücksichtigung der am Syndromansatz laut gewordenen Kritikpunkte erfolgen (KRINGS 2013). Entsprechend der traditionellen Handwerkslehren fordert der **Cognitive Apprenticeship-Ansatz** die Berücksichtigung praxisnaher Anleitungen. Ausgangspunkt sind reale Problemstellungen. Charakteristisch für diesen Ansatz sind:

Situiertes Lernen: Authentische, aber immer wieder neue Kontexte, sollen zu einer flexiblen Anwendung des Wissens leiten.

Kooperatives Lernen: Es findet sowohl ein sozial-kommunikativer Austausch zwischen Lehrer und Lernenden, als auch unter den Lernenden statt. So können Problemlösungen untereinander verglichen und diskutiert sowie verschiedene Sichtweisen und Standpunkte erörtert werden.

Angeleitetes Lernen: Die Aneignung spezifischer Methoden findet unter Anleitung statt bzw. wird durch den Lehrenden unterstützt.

Die Lernenden werden über authentische Aktivitäten und natürliche soziale Interaktionen bei zunehmend komplexer werdenden Lernumgebungen in eine Expertenkultur eingeführt (GERSTENMEIER/MANDL 1995, REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, REINFRIED 2007).

Konstruktivistischer Unterricht unter Einbeziehung des kognitiven Konfliktes

Nach Aussage von BURGER (2001) sollte „...ein pragmatisch-konstruktiver Unterricht auf der Basis von Schülervorstellungen handlungs-, problem- und damit schülerorientiert“ sein (S. 94-95). In einem solchen Unterricht sollen die individuelle Wahrnehmung und ein aktiver, handelnder Umgang mit dem Gegenstand im Vordergrund stehen. Der Unterricht sollte an den Schülervorstellungen ansetzen und Konflikte initiieren. DUIT/TREAGUST (1998, S.12) beschreiben drei unterschiedliche Situationen, in denen ein kognitiver Konflikt ausgelöst werden kann:

- *Schüler machen Vorhersagen zum Ausgang eines Experiments. Diese Vorhersagen stimmen jedoch nicht mit den Ergebnissen des Experiments überein und führen zu einem kognitiven Konflikt.*

- *Zwischen den Schülervorstellungen und den (an die wissenschaftlichen Theorien angelehnten) Vorstellungen des Lehrers bestehen Diskrepanzen.*

- *Die Vorstellungen einzelner Schüler unterscheiden sich erheblich voneinander.*

Weiterhin können immanente Widersprüche vorkommen, das bedeutet, dass ein Schüler zu einem Themenbereich unterschiedliche Vorstellungen hat. In der Literatur werden verschiedene Unterrichtsstrategien vorgeschlagen, die den Konzeptwechsel unter Einbezug des kognitiven Konfliktes erleichtern sollen (nach HÄUBLER ET AL. 1998).

Die **konstruktivistische Unterrichtsstrategie nach DRIVER (1988)** dient als ein anerkanntes Modell, wie man an Schülervorstellungen orientiert unterrichten kann (Abb. 46). Dabei werden Schülervorstellungen hervorgerufen und ein Konflikt zwischen Schülervorstellungen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen initiiert. Die Schüler setzen sich dann aktiv und intensiv mit den fachwissenschaftlichen Theorien auseinander und konstruieren neue Vorstellungen, die in ihrer Anwendbarkeit bewertet werden. Die neuen Vorstellungen werden in einem abschließenden Schritt mit den ursprünglichen Vorstellungen verglichen (DRIVER 1988, DRIVER/SCOTT 1994, HÄUBLER ET AL. 1998).

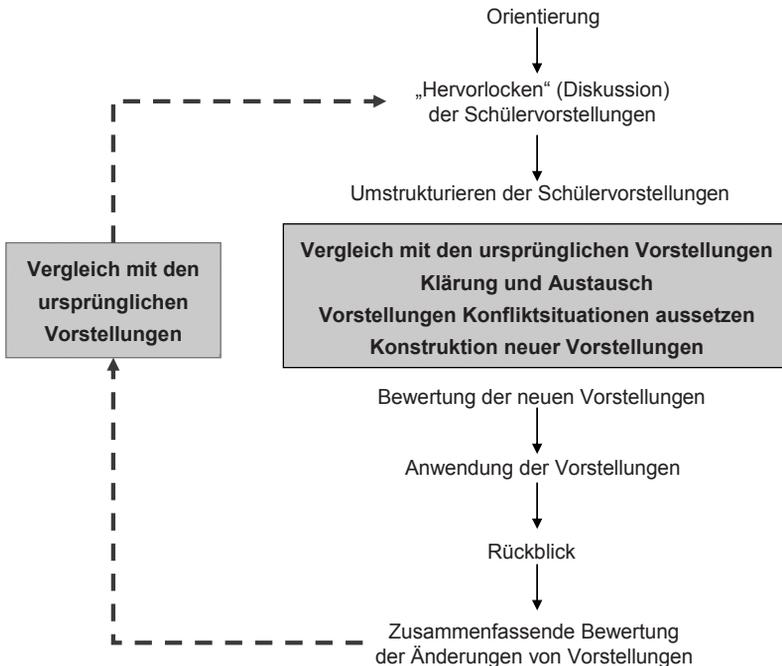


Abb. 46: Phasen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie nach DRIVER (1988, S. 175)

Eine weitere Unterrichtsstrategie stellt der **Learning-Cycle** nach LAWSON ET AL. (1989, S. 4ff) dar, der aufgrund der Forschungen von Piaget entwickelt worden ist. Der Learning-Cycle gliedert sich in drei Schritte. In der *Explorations-Phase* werden die Schüler mit einem Phänomen konfrontiert, für welches sie Erklärungen finden sollen. So werden die bereits vorhandenen Vorstellungen hervorgerufen. Diese Konfrontation soll zu einem kognitiven Ungleichgewicht und zu einer Unzufriedenheit mit den eigenen Vorstellungen führen. Sie müssen sich geistig aktiv mit dem Phänomen auseinandersetzen, bevor die nächste Phase der *Konzept Einführung* bzw. *Konzeptfindung* eingeleitet wird. In dieser Phase soll dem Schüler der bestehende kognitive Konflikt durch Diskussion und Erörterung bewusst werden. Erst durch das Erkennen des Konfliktes kann die neue wissenschaftliche Sichtweise als „fruchtbarer Lösungsweg“ für das bestehende Problem angenommen werden. In der Phase der *Konzeptanwendung* werden die wissenschaftlichen Vorstellungen auf weitere Situationen angewendet und übertragen. Um den wissenschaftlichen Ansatz zu festigen, muss er in dieser Phase als fruchtbar erfahren werden. Zusätzlich findet eine Reflexion über den beschrittenen

Lernweg statt, z. B. darüber, welche Erleichterungen die wissenschaftlichen Vorstellungen zum Verständnis bringen (vgl. auch HÄUßLER ET AL. 1998). REINFRIED (2006.2, 2007) entfaltet für die Geographiedidaktik die **Strategie der mentalen Modellbildung**. Es beruht auf der Theorie der multiplen mentalen Repräsentationen (vgl. Kap. 2.3.3). Wissensänderung wird in dieser Theorie als Prozess gesehen, bei welchem das Initialmodell durch weitere Alltagserfahrungen, kulturelle Erfahrungen, aber auch Unterricht in ein synthetisches und weiterführend in ein wissenschaftlich korrektes Modell übergeleitet wird (Abb. 47).

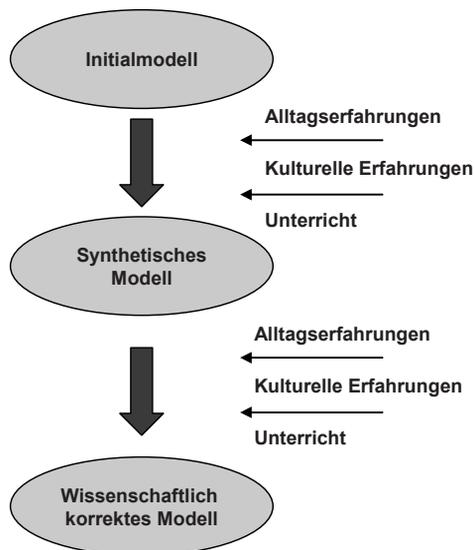


Abb. 47: Wissensveränderung als Prozess (eigene Darstellung nach SCHNOTZ 2001)

REINFRIED (2006.2) benutzt für die vorunterrichtliche Vorstellung der Schüler den Begriff mentales Modell, das durch den Unterricht in ein wissenbasiertes Modell überführt werden soll (Abb. 48). Grundannahme ist, dass die Wissenskonstruktion im Klassenzimmer ähnlich verläuft wie der historische Erkenntnisgewinn in den Wissenschaften. Ein Paradigmenwechsel kann ebenso als ein diskontinuierlicher Prozess angesehen werden wie der Übergang von einem mentalen Modell zu einem wissenschaftsbasierten Modell. Die eigenen Ideen zu klären, zu revidieren und weiterzuentwickeln, wenn neue Erkenntnisse dazukommen, sind notwendige Schritte bei beiden. Um dieses Ziel zu erreichen verfolgt sie eine 4-Phasen-Strategie. Wichtig für den Erfolg der Strategie der mentalen Modellbildung ist einerseits die Fähigkeit der Schüler Eigenschaften, Gemeinsamkeiten

und Unterschiede der eigenen mentalen Modelle und der der Wissenschaften zu erkennen und andererseits die Beachtung kognitiver sowie affektiver Aspekte bei der Unterrichtsdurchführung seitens der Lehrer.

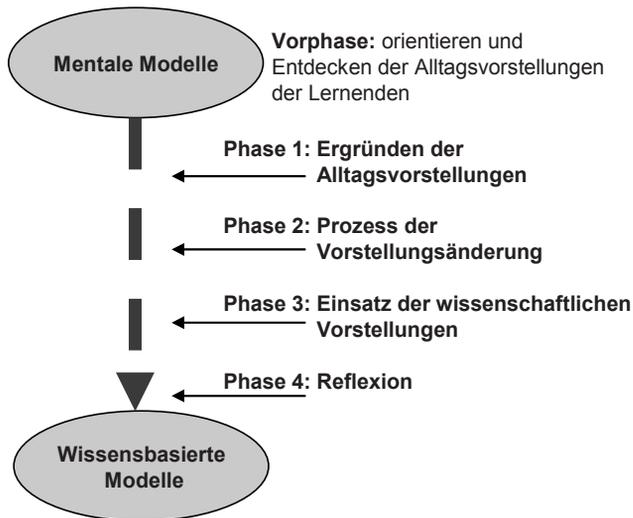


Abb. 48: Der modellbildende Ansatz zur Veränderung von Schülervorstellungen (eigene Darstellung nach REINFRIED 2006.2)

In einer Vor- bzw. Orientierungsphase informiert sich der Lehrende in der Literatur über Schülervorstellungen zum Gegenstand des Unterrichtes oder erhebt die Vorstellungen in seiner eigenen Klasse über einen Fragebogen oder Interviews. In der *ersten Phase* des Modells werden die Schülervorstellungen der Klasse ergründet. Die Schüler zeichnen oder formulieren ihre eigenen Vorstellungen zum Thema, untersuchen diese in Kleingruppen auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede und ordnen sie zu Gruppen von mentalen Modellen. In einer *zweiten Phase* setzen die Schüler sich intensiv mit dem physischen Modell auseinander. Sie überlegen, wie Wissenschaftler zu diesem Modell gekommen sind. Die mentalen Modelle der Schüler und das physische Modell werden miteinander verglichen. So werden „positive“ Aspekte, welche das wissenschaftliche Modell und das mentale Modell der Schüler besitzen, und „negative“ Aspekte, solche, die nicht von beiden geteilt werden, unterschieden¹⁸. In dieser Phase wird je

¹⁸ Gropengießer 2001 (S. 200) vergleicht im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion auch Schülervorstellungen mit fachwissenschaftlichen Theorien. Hier werden die Vorstellungen beim wechselseitigen Vergleich nicht durch „positiv“ oder „negativ“ bewertet, sondern in die Kategorien Eigenheiten, Gemeinsamkeiten, Verschiedenheiten und Begrenztheiten eingeteilt. (vgl. Kap5.1)

nachdem, wie Schülervorstellungen und wissenschaftliche Theorien sich voneinander unterscheiden, ein kognitiver Konflikt erzeugt. Die Schüler sollen außerdem überlegen, mit welchem Modell sich Problemstellungen am besten lösen lassen. In der *dritten Phase* wenden die Schüler in Kleingruppen das physische Modell an (z. B. Grundwassermodell) oder arbeiten mit dem Original (z. B. Bodenprofil), um ein für sie neues Problem zu lösen. Die Ergebnisse sollen die Schüler für eine Präsentation vor der Klasse vorbereiten. In der *vierten Phase* findet eine Reflexion des Lernweges statt. Die Schüler präsentieren ihre Ergebnisse und diskutieren diese mit der gesamten Klasse. Durch die Diskussion verschiedener Lösungsmöglichkeiten, das Abwägen von Vor- und Nachteilen derselben und einer möglichen anschließenden Einigung auf bestimmte Deutungen kommt es zu einer schrittweisen Annäherung des eigenen mentalen Modells an das wissenschaftsbasierte Modell (REINFRIED 2006.2, 2007).

Bedeutung des kognitiven Konflikts für das Lernen

Die Bedeutung des kognitiven Konflikts für das Lernen wird nach WODZINSKI (2004) sehr unterschiedlich eingeschätzt. Einer anfänglichen Dominanz dieses Ansatzes in den 1980er Jahren folgte auf Grund verschiedener Studien eine Relativierung in den letzten Jahren. Die Strategie mit kognitiven Konflikten zu arbeiten wird nunmehr als eine Möglichkeit unter anderen gesehen. Die Brauchbarkeit ist dabei abhängig vom Unterrichtsinhalt, der Altersstufe und dem Lehrer-Schüler-Verhältnis. Die Fähigkeit der Schüler einen kognitiven Konflikt überhaupt zu erkennen ist dabei unabdingbar und wird eher älteren Schülern zugesprochen. Da sich die Entwicklung von Leitlinien in dieser Arbeit auf die Oberstufe bezieht, kann davon ausgegangen werden, dass die Strategie des kognitiven Konfliktes eine sinnvolle Strategie darstellt. WODZINSKI (2004) nimmt weitere Einwände von DREYFUS ET AL. (1990) auf. Dabei verweist er auf die Notwendigkeit, nicht nur den kognitiven Konflikt zu initiieren, sondern das Hauptaugenmerk auf den Aufbau neuer Konzepte zu legen, da es schließlich um ein Erlernen komplexer Sachverhalte geht, das viel Zeit benötigt. Ein weiterer Kritikpunkt bezieht sich darauf, dass erfolgreiche Schüler stärker von der Konflikt-Strategie profitieren als schwächere Schüler, die durch einen kognitiven Konflikt zu stark verunsichert werden. Daher spiele die affektive Dimension im Unterricht eine besondere Rolle. Eine offene Lernatmosphäre, die durch gegenseitigen Respekt und Vertrauen gekennzeichnet ist, trägt zum Erfolg dieser Strategie bei. Auch der erhöhte Zeitbedarf eines Unterrichts, der nach der Konfliktstrategie geplant ist, muss im Gegensatz zu traditionellen Unterrichtsstrategien mit bedacht werden.

6.2 Probleme konstruktiven Lernens

Wie in allen Wissenschaftsbereichen gibt es auch Kritik am Ansatz des konstruktiven Lernens im Allgemeinen und am Lernen mit kognitivem Konflikt im Spezial-

len. Einzelne Studien haben ergeben, dass in Unterrichtssituationen, die durch Instruktion charakterisiert sind, besser gelernt wird als in zu offenen Situationen mit minimaler Führung, die einer konstruktivistischen Didaktik folgen (KIRSCHNER/SWELLER/CLARK, 2006). Vor allem schwächere Schüler profitieren von einer stärkeren Lenkung und Unterstützung durch den Lehrer, für Leistungsstarke sind eher situierte Lernumgebungen gewinnbringend. So besteht die Gefahr einer Vergrößerung der Kluft zwischen leistungsstarken und leistungsschwachen Schülern. Eine deutlichere Strukturierung des Unterrichtes, Wiederholungen des Wesentlichen, Offenlegung von Zusammenhängen, gemeinsames Arbeiten an Unklarheiten und klarere Leistungserwartungen werden als Gründe für diese Unterschiede angegeben. Insgesamt gibt es nur wenige empirische Studien, die eine bessere Wirksamkeit des konstruktivistisch geprägten Unterrichts untermauern. Auch gibt es bei einigen Studien die Erfahrung, dass die Leistungen der Schüler nach konstruktivistischem Unterricht in unmittelbar nachfolgenden Wissenstests zu schlechteren Ergebnissen führt. Prüft man die Leistungen der Schüler jedoch mit einigem zeitlichen Abstand und der Fokussierung auf das Anwendungswissen, zeigt sich ein positiver Einfluss des konstruktivistischen Ansatzes. Weiterhin wird als Hindernis für den Einsatz konstruktivistischer Unterrichtsmethoden der große Zeitaufwand angegeben (REMPFLER 2007, REINFRIED 2007, REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001).

TERHART (1999) führt drei weitere Problembereiche konstruktivistisch-didaktischen Denkens für den schulischen Kontext auf: Zum ersten verweist er auf die Tatsache, dass Lernende nicht alle akkumulierten gesellschaftlichen Wissensbestände individuell und ungeleitet neu erkennen können. Es gehe eher um ein „Nach-entdecken“, bei welchem die Wissensbestände bereits durch die Schule geordnet, objektiviert, systematisiert und ökonomisiert werden müssen. Dieser Punkt ist aber eher ein Problem des radikalen Konstruktivismus' als des moderaten Konstruktivismus', der solche Vorstrukturierungen eher zulässt. Zweitens macht TERHART (1999) auf die Problematik der Leistungsbeurteilung aufmerksam. Benotung und Bewertung gehören zu den herkömmlichen und weltweit eingesetzten Formen der Leistungsbeurteilung, die aus der Schule auch in den nächsten Jahrzehnten nicht wegzudenken sind. Unter konstruktivistischer Sichtweise sind diese Formen aber nicht mehr zu rechtfertigen. Eine Vergleichbarkeit der Leistungen und eine Unterscheidung in richtig und falsch sind nicht mehr gegeben. Die Frage nach der Beurteilung, der Diagnose und Überprüfung von Lernvoraussetzungen, Lernfortschritten und Lernergebnissen, welche auch zur Beratung von Schülern und Eltern dienen und die Wirksamkeit des eigenen Unterrichts dokumentieren, bleibt demnach offen. Als drittes benennt er Probleme beim situierten Lernen, welchem er das systematische Lernen gegenüberstellt. Die Ansätze der „situated-cognition-Bewegung“ postulieren, dass Lernen in situierten Lernumgebungen, in authentischen Kontexten mit Lebensweltbezug stattfinden soll. TERHART (1999) sieht jedoch ein Problem in einer zu starken und

ausschließlichen Orientierung am situierten Unterricht. Dieser nehme den Schülern die Chance auf systematisches und kumulatives Lernen durch Generalisierung. Zweck der Schule sei gerade die Überwindung des rein situativen Lernens. Häufig sei eine Rückbindung der Inhalte an einen unmittelbaren Gebrauchswert für die Schüler eher schwierig (TERHART 1999). Mit einer These von BAUMERT (1997, S. 2), unterstützt er diesen Standpunkt, dass die institutionelle Trennung vom ‚Leben‘

„... die Voraussetzung der eigentlichen Stärke der Schule (ist), nämlich systematisch, kumulativ, langfristig und explizit, d. h. reflexiv auf sich selbst bezogen anzulegen. Erkauft wird dies mit dem Strukturproblem, Lernen für den Schüler als persönliche und sinnvolle Erfahrung erlebbar zu machen. (...) Eine Balance zwischen eng geführtem, systematischem Lernen in definierten Wissensdomänen und situationsbezogenem Lernen im praktischen Umgang mit lebensweltlichen Problemen zu finden, ist konstitutiv für die Schule“ (BAUMERT 1997 zitiert in TERHART 1999, S. 643)

6.3 Integrierte Position zum Lernen

Als Konsequenz aus der Kritik an der konstruktiven Didaktik wird eine pragmatische Position des Lehrens und Lernens - der **wissensbasierte Konstruktivismus** - vorgeschlagen, welche die beiden puristischen Positionen der Instruktion sowie der Konstruktion miteinander verbindet (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001). Dabei sollen sich beide Ansätze gegenseitig ergänzen und unterstützen und berücksichtigen, dass ein zeitgleiches Instruieren des Lehrenden und ein Konstruieren der Lernenden im Unterricht stattfinden (REINFRIED 2007, OTTO/SCHULER 2012). Gefordert wird eine Balance zwischen Instruktion und Konstruktion, wobei Unterricht nach Prinzipien des gemäßigten Konstruktivismus‘ gestaltet werden sollte, den Lernenden aber auch genügend Anleitung, Orientierung und Hilfestellungen bieten muss. In diesem Sinne wird von wissensbasiertem Konstruktivismus gesprochen:

„Im wissensbasierten Konstruktivismus wird Lernen als eine persönliche Konstruktion von Bedeutung interpretiert, die allerdings nur dann gelingt, wenn eine ausreichende Wissensbasis zur Verfügung steht. Zu deren Erwerb kann jedoch auf instruktionale Anleitung und Unterstützung nicht verzichtet werden.“ (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 626)

6.4 Konsequenzen für die Unterstützung von Wissensveränderungen

Mit der Gestaltung einer **problemorientierten Lernumgebung** versuchen REINMANN-ROTHMEIER/MANDL (2001) das Primat der Konstruktion und das der Instruktion zu integrieren (Abb. 49). Ein authentisches, schülerrelevantes, möglichst

aktuelles Problem, das neugierig und betroffen macht, steht im Mittelpunkt des Unterrichts. Es werden fünf Leitlinien für den Unterricht entworfen, die eine Kombination aus den drei Ansätzen der „situated cognition-Bewegung“ (Anchored Instruction-Ansatz, Cognitive Flexibility-Theorie, Cognitive Apprenticeship-Ansatz; vgl. Kap.5.1) beinhalten (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 627-628):

Leitlinie 1: Situier und anhand authentischer Probleme lernen

Aufgrund des hohen Realitätsgehaltes und der großen Relevanz sind Schüler stärker motiviert neues Wissen und Fähigkeiten zu erwerben. Außerdem ergibt sich ein großer Anwendungsbezug.

Leitlinie 2: In multiplen Kontexten lernen

Um eine Flexibilität und die Nutzung des Wissens zu fördern sollten Inhalte in verschiedenen Kontexten gelernt werden. Das Gelernte muss auf andere Kontexte übertragbar sein.

Leitlinie 3: Unter multiplen Perspektiven lernen

Auch das Lernen von Inhalten unter multiplen Perspektiven sichert die Flexibilität bei der Anwendung des Gelernten. So können im Unterricht bei der Problembearbeitung z. B. verschiedene Blickwinkel eingenommen werden (z. B. beim Raumnutzungskonflikt: verschiedene Interessengemeinschaften)

Leitlinie 4: In sozialen Kontexten lernen

Schüler sollen gemeinsam lernen. Durch angemessene Lernumgebungen können kooperatives Lernen und Problemlösung in der Gruppe gefördert werden.

Leitlinie 5: Mit instruktionaler Unterstützung lernen

Anleitung, Unterstützung und Hilfestellungen durch den Lehrer können Überforderung vermeiden. Neben vielfältigen Möglichkeiten zum eigenständigen Lernen wird hier auch das nötige Wissen zur Bearbeitung von Problemen bereitgestellt.

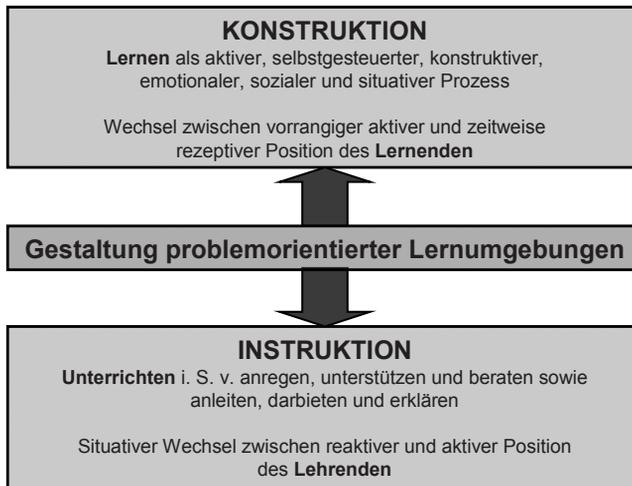


Abb. 49: Problemorientierte Lernumgebung (REINFRIED 2006.2 nach REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 625 verändert)

Ähnliche Konsequenzen und Begründungen für die Förderung von Wissensveränderungen finden sich beispielsweise bei GERSTENMEIER/MANDL (1999), SCHNOTZ (2001). Als förderlich benennt SCHNOTZ (2001, S. 80) aber auch

- einen dosierten Einsatz kognitiver Konflikte, welche auf die Lernervorstellungen abgestimmt ist,
- das explizite Thematisieren von Schülervorstellungen, wenn deren Erfahrungsgrundlagen reflektiert und interpretiert werden. Bei der Konstruktion von Wissenstrukturen muss seitens der Lehrer auch darauf geachtet werden, dass diese von inadäquaten Einschränkungen infolge von inadäquaten Rahmentheorien befreit werden,
- wenn sich das Anwenden von Wissen als Werkzeug in bestimmten Kontexten bewährt,
- wenn der kooperative Erwerb von Kompetenzen im Vordergrund steht und Lernen in einer angenehmen Lernatmosphäre stattfindet. Auch die Überzeugung der Lernenden von der Kontrollierbarkeit des eigenen Wissens sieht er für förderlich an.

Bei der im nächsten Kapitel folgenden didaktischen Strukturierung sollen die vorangegangenen Ansätze mit berücksichtigt werden.

6.5 Leitlinien für die Vermittlung bodenkundlicher Inhalte

Auf Basis der erhobenen Vorstellungen der Schüler und der fachwissenschaftlichen Theorien sollen im Folgenden Leitlinien für die Vermittlung des Themas Boden und die Gefährdung der Böden als Diskussionsbeitrag formuliert werden. Dabei knüpft die Vermittlung an lernhinderlichen und lernförderlichen Vorstellungen an. Ähnliche Vorstellungen bei Schülern und in der Wissenschaft werden als „*Brücken zum Verständnis*“ genutzt (HÖRSCH 2007, S. 337). Die Leitlinien enthalten Entscheidungen über Ziele, Inhalte und Methoden des Unterrichts. Der Ausführung über grundlegende Entscheidungen zur Umsetzung des Themas im Unterricht schließen sich die Leitlinien in Bezug auf die Gegenstände Boden und die Gefährdung der Böden an.

6.5.1 Grundlegende Entscheidungen

Der Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht

Unterricht soll entsprechend des wissensbasierten Konstruktivismus' organisiert werden. So sollte an die Grundlagen konstruktivistischen Lernens angeknüpft werden, welche instruktionale Ansätze integrieren (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001). Die einzelnen Merkmale wurden bereits in den Kapiteln 6.1 bis 6.4 dargestellt. Dabei sollten problemorientierte Lernumgebungen bevorzugt eingesetzt werden. Unterricht muss die Perspektive der Schüler ernst nehmen und an die Vorstellungen der Schüler zum Thema Boden und die Gefährdung der Böden ansetzen. Zur Aktivierung der eigenen Vorstellungen können Schüler Zeichnungen des Bodenaufbaues oder aber Concept Maps zu den Ursachen und Folgen von Beispielen zur Bodendegradation erstellen. Der Unterricht sollte dann in eine intensive und aktive Auseinandersetzung mit dem Thema überleiten. In einer abschließenden Phase ist es sinnvoll, die ursprünglichen Vorstellungen und die neu erfahrenen und gelernten Inhalte von den Schülern reflektieren zu lassen (HÄUßLER ET AL. 1998, S. 199-200).

Für die Nutzung der Schülervorstellungen ergeben sich im Allgemeinen drei Möglichkeiten. HÄUßLER ET AL. (1998, S. 212-213) spricht von einem kontinuierlichen, bruchlosen Weg (erstes und drittes Beispiel) und vom diskontinuierlichen Weg (zweites Beispiel):

- *Anknüpfen: Der Unterricht knüpft an fachlich richtige Schülervorstellungen zur Erweiterung von Wissensinhalten an oder nutzt diese als Brücke, um neue Inhalte verständlich zu machen.*

Diese Strategie eignet sich z. B. zum Aufbau einer sinnvollen Struktur über die Bestandteile des Bodens. Die meisten Bestandteile des Bodens sind den Schülern bekannt. Sie ordnen die Bestandteile aber nicht wie die Fachwissenschaften bestimmten Kategorien zu, wie organische und mineralische Bestandteile oder den drei Phasen gasförmig, flüssig und fest. Diese Kategorien erleichtern aber

den Blick auf den Boden und bieten eine geordnete Struktur, in welche auch neue Elemente eingeordnet werden können. Ausgehend von dieser Struktur können Fragen nach der Bodenentwicklung oder nach Eigenschaften des Bodens gestellt und beantwortet werden.

Ein anderes Beispiel, an welches sich gut im Unterricht anknüpfen lässt, ist das Bewusstsein der Schüler, dass es Wechselwirkungen zwischen den Geosphären gibt. Hier kann man ansetzen, um Prozesse zwischen den einzelnen Sphären zu verdeutlichen. Die vorhandene Denkfigur wird genutzt und lediglich durch den Unterricht erweitert.

- *Konfrontieren: Bei Schülervorstellungen, die aus fachwissenschaftlicher Sicht als falsch eingestuft werden müssen, können kognitive Konflikte initiiert werden.*

Diese Strategie eignet sich z. B. in Bezug auf den Aufbau des Bodens. Es hängt natürlich von den Vorstellungen einzelner Schüler ab, ob es sich um einen kognitiven Konflikt handelt, oder ob Wissen umstrukturiert werden muss. Für die Bewusstmachung der Vorstellungen zum Aufbau des Bodens eignet sich die Anfertigung von Zeichnungen durch die Schüler, wie es in der vorliegenden Studie durchgeführt wurde. Durch den Vergleich der erstellten Skizzen werden die unterschiedlichen Alltagsvorstellungen der Schüler deutlich. Im Anschluss können sich die Schüler dann aktiv und intensiv mit dem Gegenstand Boden auseinandersetzen und der Frage nach dem „wirklichen“ Aufbau des Bodens nachgehen. Auch ein direkter Vergleich der eigenen Zeichnung/Vorstellung mit einem Bodenprofil, aber auch verkürzt, mit einem fachwissenschaftlichen Schema des Bodenkörpers mit verschiedenen Horizonten, ist denkbar.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist beim Thema Bodenversauerung möglich. Säure wird von den Schülern als Gift wahrgenommen, welches direkt den Boden, Pflanzen oder Tiere schädigt. Die Wirkung der H^+ -Ionen im Boden ist den Schülern nicht bewusst. Boden wird als statisches Gebilde gesehen (BONEKAMP 2006, LETHMATE 2009.3). Das Konzept steht dem Verständnis der Nährstoffauswaschung und Schwemetallmobilisierung durch Kationenaustausch im Weg. Hier könnte mit Hilfe des Kalknachweises und von Experimenten der Unterschied zwischen den beiden Konzepten deutlich werden. Es bietet sich ein Experiment an, bei welchem die Nährstoffauswaschung aus dem Boden deutlich wird, pH-Werte des Wassers vor Aufbringen auf den Boden und nach dem Durchfluss durch den Boden gemessen und z. B. Kalk im abgeflossenen Bodenwasser nachgewiesen werden können (ARNING/LETHMATE 2004).

- *Umdeuten: Die Behandlung des Themas erfolgt ohne direkten kognitiven Konflikt.*

Um der Verunsicherung von schwächeren Schülern vorzubeugen, wäre es möglich, die eigenen Vorstellungen nicht direkt darstellen zu lassen, sondern verschiedene Möglichkeiten zur Bewertung vorzugeben. So könnte eine Abfolge von Bildern die gängigen Denkfiguren (z. B. Gesteinsschichten, Einheitliches Material) zeigen. Die Schüler könnten die Unterschiede diskutieren und sich für eine Denk-

figur begründet entscheiden. Dieses Bild vom Aufbau des Bodens wird dann durch den folgenden Unterricht überprüft. Die Vorstellung von Schichten ist bei den meisten Schülern enthalten. Im Unterricht sollte schrittweise auf die Unterscheidung von Gesteinsschichten und Bodenhorizonten eingegangen werden.

6.5.2 Leitlinien für den Unterricht

Leitlinie 1: Boden erfahrbar machen

Eine Denkfigur, welche aus dem Jahresgutachten der WBGU (1994) herausgearbeitet wurde, ist die der >Nicht-Wahrnehmbarkeit des Bodens und dessen Gefährdung<. Eben diese Nicht-Wahrnehmbarkeit ist sicherlich auch ausschlaggebend für die wenig ausgeprägten Alltagsvorstellungen der Schüler über den Boden. An diesem Punkt kann Unterricht ansetzen und Boden mit Hilfe von originalen Begegnungen direkt erfahrbar machen. KÖCK (2000) spricht in Bezug auf die originale Begegnung auch von der unmittelbaren direkten Anschauung. Die Gelände- bzw. Feldarbeit gehört zu den zentralen Untersuchungsmethoden in der Geographie und besitzt überdies eine große Anziehungskraft auf Schüler (RAWDING 2013). Diese, aber auch die medial vermittelte und die indirekte Anschauung, werden zur Grundlage von Vorstellungsbildern und Begriffen (KESTLER 2002, S. 149). Im Rahmen der Umweltbildung wird die originale Begegnung als „tragende Leitidee“ aufgefasst. Direkte Erfahrungen im Nahraum bilden die Grundlage für die Wahrnehmung und das Verständnis globaler Phänomene, wie sie bei der Gefährdung der Böden deutlich werden (WILHELMI 2011, LETHMATE 2009.1, 2012, FLATH 2012). Nach WILHELMI (2011) sollte der Unterricht aber nicht allein bei der reinen Erfahrung, d. h. bei der Darstellung von Untersuchungsergebnissen, stehen bleiben. Als anzustrebendes Ziel beschreibt er einen prozessorientierten Unterricht, welcher von den Schülern mitgeplant wird und der neben der Planung und Durchführung der Untersuchung auch die Reflexion der Vorgehensweise berücksichtigt. REMPFLE (1997) gibt Einblicke in die geoökologische Arbeitspraxis in der Schule. Er geht dabei immer wieder auf die Bedeutung handlungsorientierten Vorgehens z. B. durch Geländearbeit und Laborarbeit mit Experimenten und Untersuchungen ein. REMPFLE (1997) bezieht sich unter anderem auf das Handlungsprinzip, als eines von acht Grundprinzipien, welche LESER (1991) für die Behandlung von Umweltproblemen im Unterricht formuliert hat. Hier wird die Notwendigkeit des Arbeitens am konkreten Objekt im Gelände, aber auch im Labor unterstrichen.

Die Aufarbeitung des Themas Boden erfolgt in den Schulbüchern oder Arbeitsheften weitgehend theoretisch (z. B. HOFFMANN/KORBY 2006, GERNANT 2007). Die Befragung von Studienanfängern macht deutlich: Im Unterricht werden bodenkundliche Themen vorwiegend im Unterrichtsgespräch oder als Vortrag behandelt. Eine aktive, handlungsorientierte Aufarbeitung des Gegenstandes mit Hilfe

von Untersuchungen im Gelände oder Experimenten findet nur äußerst selten statt (DRIELING 2005). Die fachdidaktische Literatur enthält aber auch für die Sekundarstufe II unzählige Beispiele für eine praktische Umsetzung in Form von Arbeitsmaterialien und Unterrichtsvorschlägen, welche Untersuchungen, Experimente, geoökologische Geländearbeit u. a. enthalten (z. B. BECK ET AL. 2011, LETHMATE 2007.2, 2009.5, STMUGV 2006, ENBLIN ET AL. 2000, BOCHTER 1995, DRIELING 2006.2, 2010 uvm.). Die Erfahrungen im Gelände bzw. mit dem Gegenstand Boden sollten jedoch nicht isoliert stehen. Sie müssen vielmehr in einen bedeutungsvollen Kontext gebracht werden. Ferner wird Wissen nicht nur motorisch-handelnd, sondern auch bildhaft und symbolisch-verbal verarbeitet (Kap. 2.3.3) (REINFRIED 2006.2). Beim Wissenserwerb können sich die verschiedenen Bereiche ergänzen. Lernen kann durch die Überführung von Lerninhalten vom

- *motorisch-handelnden* (Untersuchung eines Bodenprofils) in den
- *bildhaften* (Erstellung einer schematischen Skizze des Bodenkörpers) und schließlich in den
- *symbolisch-verbale* Bereich (Beschreibung der unterschiedlichen Bodenhorizonte mit verschiedenen Eigenschaften oder Abgrenzung von Boden und Gestein) unterstützt werden (REINFRIED 2006.1).

Leitlinie 2: Klare Begriffsdefinitionen von für den Unterricht geeigneten Termini

Die Begriffe Boden und Erde werden von den Schülern als auch von der Fachwissenschaft sehr unterschiedlich mit Bedeutung gefüllt. Dies zeigte auch die Schwierigkeit, den Gegenstand Boden im Interview anzusprechen, ohne dass es immer wieder zu Missverständnissen gekommen ist. Die Fachwissenschaft verwendet aktuell nur den Begriff Boden, eine eindeutige Definition gibt es jedoch nicht. Je nach Autor und Perspektive werden unterschiedliche Aspekte des Bodens in den Vordergrund gestellt. Die Begriffsbildung ist für den Wissenserwerb aber von immenser Bedeutung. REINFRIED (2006.1) erläutert die Zusammenhänge von Begriffsbildung und Wissenserwerb und macht darauf aufmerksam, dass *„auch für den Geographieunterricht (...) der Aufbau eines korrekten Begriffssystems zentral ist“* (S. 66). Sie formuliert vier Bedingungen (nach MIETZEL 1998, S. 199), welche auf die Begriffsbildung positiv einwirken.

1. *„Begriffe mittels relevanter (notwendiger) Merkmale definieren und/oder einen Prototyp (typisches Beispiel) mittels charakteristischer (typischer, häufig vorkommender, aber nicht notwendiger) Merkmale bilden;*
2. *im Laufe der Arbeit und je nach Schulstufe Begriffe nach wissenschaftlichen Merkmalen klassifizieren;*
3. *ausreichende Zahl von Beispielen bringen;*
4. *viele Gelegenheiten zum Üben und Anwenden bieten.“* (REINFRIED 2006.1, S. 66)

Neben der Einführung notwendiger Fachbegriffe sollte die Unterrichtssprache jedoch alltagsnah und an die Lebenswelt der Schüler angelehnt sein. In Bezug auf die Begriffe Boden und Erde sollten Schüler lernen, diese in den entsprechenden Kontexten richtig einzusetzen. In der Alltagssprache wird sich weiterhin der Begriff Erde durchsetzen. Im Kontext von fachwissenschaftsnahen Themen, wie der Gefährdung der Böden oder Landwirtschaft, sollte der fachwissenschaftlich genutzte Begriff Boden Verwendung finden.

Die Begriffe Bodenversauerung und Bodenverdichtung werden für die Schüler als lernförderlich angesehen. Die Assoziationen gehen im Interview direkt in die fachwissenschaftliche Richtung. Auch wenn die entsprechenden Prozesse und Zusammenhänge nicht umfassend verstanden sind, bieten diese Begriffe einen guten Anknüpfungspunkt für den Unterricht. Der Begriff Bodenerosion dagegen wird als lernhinderlich empfunden. Die Schüler können mit dem Begriff nichts anfangen und spekulieren darüber. Eine Vereinfachung des Begriffs ist angeraten. Sie könnte von der Denkfigur >Bodenerosion als Verlagerung von Boden(-teilchen) durch Wind und Wasser< abgeleitet werden. Der Begriff „Bodenverlagerung“ könnte eine Alternative darstellen.

Durch die innerhalb der Fachwissenschaft unterschiedlichen Definitionen von Boden können Schüler einen kritischen Umgang mit der Nutzung von Begriffen erlernen. Begriffe sollten als Konstrukte aufgefasst werden, bei welchen die Bedeutungszuweisung von der jeweiligen Perspektive abhängig ist. Die Kriterien von Definitionen müssen für die Schüler transparent sein (LETHMATE 2005). Die Frage, zu welchem Zweck eine Definition verwendet wird, darf nicht ausgeblendet werden. Definitionen zum Boden können z. B. bodengenetisch oder funktionsorientiert sein oder aber auch verschiedene Aspekte miteinander verbinden (Boden als Naturkörper, Boden als Umwandlungsprodukt, Boden als Lebensgrundlage). Vor allem, wenn es um Begriffe geht, welche ein (gesellschaftliches) Werturteil voraussetzen, ist Vorsicht geboten. Die Schülervorstellungen, aber auch die fachwissenschaftlichen Quellen, - in dieser Untersuchung besonders auffällig beim WBGU (1994) - sind durch wertende Begriffe charakterisiert. Es wird von „ökologischem Gleichgewicht“, „Störung“, „Belastbarkeit“ usw. gesprochen. HARD (1982) plädiert in diesem Sinne für die „Auflösung ökologischer Mythen“ wie das Vorhandensein eines „ökologischen Gleichgewichtes“. Gerade diese Begriffe prägen immer noch die Vorstellungen der Schüler, wie SANDER (1998) aber auch JELEMENSKÁ (2006) erforscht haben. Auch OTTO (2009) fordert einen kritischen Umgang mit Fachbegriffen wie „Naturkatastrophe“, zu welcher die Bodenerosion durchaus dazu gezählt werden kann. Werden solche Begriffe genutzt, muss die Perspektive, aus welcher eine entsprechende Wertung heraus geäußert wird, offen gelegt und kritisch hinterfragt werden.

Leitlinie 3: Anknüpfen an Struktur – Prozess – System

Wie die fachliche Klärung in Kap. 3 verdeutlicht hat, handelt es sich beim Gegenstand Boden und vor allem bei den Beispielen zur Bodendegradation um sehr komplexe Inhalte. Sie entsprechen den von RHODE-JÜCHTERN (2006, S. 190) aufgenommenen Schlagworten der „Unbestimmtheit und Komplexität“ bzw. der „Neuen Unübersichtlichkeit“ (nach DÖRNER 2003), welche unsere post-moderne Gesellschaft auszeichnen. Diese Komplexität zu erfassen und entsprechend begründet zu handeln wird als schier unmöglich dargestellt. Wissenschaft versucht mit Hilfe verschiedener Systemansätze Komplexität greifbar zu machen. Das Systemkonzept hält, unter anderem durch die nationalen Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Bildungsabschluss (DGfG 2010) und die einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Geographie (KMK 2005), als Basis-konzept Eingang in den Geographieunterricht. Ziel ist die Förderung der Systemkompetenz, welche den Schülern die Orientierung in der Komplexität erleichtern soll.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, sind die Alltagsvorstellungen der Schüler zum Thema Boden und die Gefährdung der Böden recht oberflächlich, wenig strukturiert und lückenhaft. Auch wenn einzelne Aspekte durch die Schüler sinnvoll miteinander verknüpft werden, fehlt häufig das strukturierende, prozessuale und vor allem ein tieferes systematisches Verständnis.

Für die Vermittlung des Themas Boden wird die Aufarbeitung nach dem Struktur-, Prozess- und Systemansatz nach KÖCK/REMPFLER (2004) empfohlen. Die erstgenannten Ansätze werden als integrale Bestandteile der Nächstfolgenden interpretiert.

Struktur

Ausgehend vom **Strukturansatz** erhöht sich die Komplexität über den Prozess- bis zum Systemansatz. Innerhalb des Strukturansatzes werden statische räumliche Verhältnisse auf der Erde als Momentaufnahme dargestellt.

„Ziel des Strukturansatzes in der Geographie ist es dann, das räumliche Zueinander der Elemente geosphärischer Ganzheiten sowie das jenem innewohnende räumliche Ordnungsprinzip aufzudecken, zu erklären und ggf. einer Bewertung sowie evtl. auf Verbesserung abzielenden Beeinflussungen zu unterziehen.“ (KÖCK/REMPFLER 2004, S. 19).

Um räumliche Strukturen und Prinzipien des inneren Aufbaus bzw. der inneren Ordnung zu entdecken, werden punktförmige, linien- oder flächenhafte Elemente auf ihre Lagebeziehungen untereinander untersucht. So können auch geometrische Regelmäßigkeiten in Form von Mustern identifiziert werden. Mit Hilfe des Strukturansatzes könnte z. B. eine Abgrenzung zwischen Gestein und Boden erfolgen und die Begriffsbildung erleichtern. Die Denkfigur des Bodens als Naturkörper passt in diesen Ansatz. Die Grundfragestellung der Geographie nach dem „Wie und Warum?“ solcher erdräumlicher Strukturen führt von der Betrachtung

statischer zu dynamischen Erdsachverhalten, welche die Prozesse und Systeme in den Blick nehmen.

Prozess

Im Unterricht sollten die erkannten räumlichen Strukturen als Produkt von zugrunde liegenden **Prozessen** verdeutlicht werden. Unter einem räumlichen Prozess verstehen KÖCK/REMPFLER (2004, S. 30) *„eine offene Folge sächlich-räumlich-zeitlich regelhaft aufeinander bezogener und ein stets vorläufiges strukturierendes Ganzes konstituierender Ereignisse.“* In Bezug auf den Boden könnte ein Bodenprofil mit seinen charakteristischen Horizonten als räumliche Struktur interpretiert werden. Das Profil zeigt eine Momentaufnahme des Umwandlungsproduktes, in welcher sich verschiedene Transformations- und Translokationsvorgänge innerhalb der Pedogenese manifestieren. Die Denkfigur Boden als Umwandlungsprodukt, aber auch die Prozesse der Bodendegradation, lassen sich unter diesem Aspekt gut behandeln.

System

Die höchste Komplexität weist der **Systemansatz** auf. Hier sollen die Wechselwirkungen, welche zu den entsprechenden räumlichen Strukturen geführt haben, betrachtet werden. Dabei wird ein System als *„eine Menge/Gesamtheit von Elementen, die zueinander wie zu Elementen anderer Systeme (Außenwelt) in Wirkungsbeziehungen stehen“* verstanden (KÖCK/REMPFLER 2004, S. 37). Die Elemente sind durch strukturelle oder funktionelle Relationen miteinander verknüpft. Eine räumliche Struktur kann also auch als Manifestation verschiedener, einen Gegenstand beeinflussender Faktoren verstanden werden. Andererseits muss auch der Einfluss dieser räumlichen Struktur auf andere Faktoren betrachtet werden.

Der Systemansatz kann auf das Thema Boden ebenso angewendet werden wie auf die Bodendegradation. Boden entsteht unter dem Einfluss verschiedener Faktoren, wie z. B. Niederschlag, Temperatur, Ausgangsgestein und Vegetation. Er wirkt sich seinerseits durch seine Eigenschaften auf andere Elemente wie die Vegetation, Bodenlebewesen oder auch das Mikroklima aus. Dadurch wird er einerseits zur abhängigen und andererseits zur unabhängigen Variable. Durch diese Vernetzung ist es nicht sinnvoll, nur den einen oder anderen Aspekt (z. B. Boden nur als abhängige Variable) zu betrachten. Vielmehr sollte Boden als Bestandteil bzw. Element von (offenen) (Öko-)Systemen aufgefasst werden, der mit anderen Elementen vernetzt ist. Unter dieser Perspektive ist Boden nicht gegen andere Teile der Geosphäre abzugrenzen, sondern als Durchdringungsbe- reich zu verstehen. Für geographische Systeme werden von KÖCK/REMPFLER (2004) verschiedene Systemmerkmale formuliert. Die Merkmale der Offenheit von Systemen, der vorhandenen Außen-, wie auch der Innenbeziehungen können ohne Vorbehalt für den Unterricht genutzt werden. Das Merkmal des (Fließ-) Gleichgewichtes muss kritisch hinterfragt werden. Das Gleichgewicht wird als essentielles Merkmal für das Funktionieren und den Fortbestand von Systemen

gesehen. Unter Fokussierung der zeitlichen Perspektive ist das Vorhandensein eines Gleichgewichtes, zumindest in Bezug auf Ökosysteme, nicht haltbar. Daher müsste auch für geographische Systeme geprüft werden, ob überhaupt Fließgleichgewichte existieren oder ob sich Systeme nicht eher in einem ständigen Wandel befinden, der aufgrund von langsam ablaufenden/schleichenden Prozessen jedoch nur bedingt wahrnehmbar ist. Das Augenmerk sollte auf der dynamischen Entwicklung von Systemen liegen. Für den Unterricht bedeutet das konkret, dass es *„nicht länger um Kreisläufe und Gleichgewichte (geht), sondern um Stoffflüsse und Bilanzen (...)“* (LETHMATE 2005, S. 124). Diese Sichtweise hat auch Auswirkungen auf die Beurteilung von sogenannten Eingriffen in bzw. Störungen von Systemen (vgl. Leitlinie 6). Die Abfolge in der Aufarbeitung der Unterrichtsinhalte nach Prozess-Struktur-System zeichnet in Ansätzen sogar die Wissenschaftsgeschichte nach. In den Anfängen wurde deskriptiv gearbeitet, in der Gegenwart dagegen geht es eher um die Analyse von (Teil-) Prozessen, um komplexe Systeme verstehen zu können. Nach dem Leitsatz „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ stehen aber nicht nur die einzelnen Teilprozesse im Fokus der Erkenntnis, sondern auch die besonderen Systemeigenschaften. Dazu hat sich ein „holistischer Ansatz“, die (Erd-) Systemanalyse, entwickelt, welche relevante Teilprozesse in die Untersuchung aufnimmt, Zukunftsprobleme aber auch interdisziplinär angeht (MOSBRUGGER/OTTO 2006).

Die interdisziplinäre Vorgehensweise findet man im sozialökologischen Systemansatz, der sich im Gegensatz zu den eher einseitig ausgerichteten Ansätzen der physischen Geographie (physisch-materielle Systeme) bzw. der Humangeographie (soziale Systeme) als vielversprechend erweist.

„Dieses Systemverständnis sucht die Dichotomie zwischen Natur- und Sozialsystemen zu überwinden, indem das Wirkungsgefüge Gesellschaft - Natur in seinem Gesamtzusammenhang als System betrachtet wird“ (REMPFLER/UPHUES 2011.1, S. 4).

Das Verständnis vom Menschen als (Zer-)Störer der Natur beim Einfluss von sozialen auf natürliche Systeme ist damit ebenso überholt wie die Wahrnehmung bestimmter Naturereignisse als Naturkatastrophen bei natürlichen Einflüssen auf soziale Systeme (REMPFLER/UPHUES 2011.1). Im Allgemeinen wird mit dem Systemansatz der Blick auf Kausalitäten gelenkt. Teleologische Betrachtungsweisen, bei welchen Faktoren oder ablaufende Prozesse einen bestimmten Zweck verfolgen, müssen vermieden werden.

Leitlinie 4: Prozesse begreifbar machen

Wie die vorliegenden Forschungsergebnisse zeigen, können Schüler Phänomene und häufig auch noch Ursachen oder Folgen benennen. Die genannten Folgen oder Ursachen werden aber nicht unbedingt richtig mit dem entsprechenden Phänomen verknüpft. Die Ursachen für falsch hergestellte Zusammenhänge sind in fehlendem Wissen über die sich auswirkenden Prozesse zu suchen. Daher

sollten Prozesse im Unterricht eine stärkere Berücksichtigung finden. So könnten z. B. Fehlvorstellungen wie die falsche Verknüpfung von radioaktiver Strahlung mit der Versauerung der Böden durch prozessuales Verständnis über die Vorgänge bei der Bodenversauerung verändert werden. Ferner können Handlungsmöglichkeiten in Bezug auf einen nachhaltigeren Umgang mit Böden leichter entwickelt werden, wenn Prozesse und Ursachen, welche zur Bodendegradation führen, geklärt sind. Prozessuales und systemisches Verständnis bedingen sich dabei gegenseitig. Um das prozessuale Verständnis zu fördern bieten sich verschiedene Möglichkeiten für die Umsetzung im Unterricht an. In Bezug auf die Bodendegradation wird empfohlen, stärker mit Vergleichen zu arbeiten. Das vergleichende Unterrichtsverfahren im Geographieunterricht wird in der Geographiedidaktik als Methode des Erkenntnisgewinns und, aufgrund seiner weiten Verbreitung im Unterricht, als Unterrichtsprinzip verstanden (KESTLER, 2002; RINSCHEDI 2007; MEYER 2006). Nach BÖHN (1999, S. 169) werden bei einem geographischen Vergleich mindestens zwei Sachverhalte auf minimal ein Merkmal hin untersucht. Sollen Grundlagen zum Thema Boden vermittelt werden, bietet es sich an, von der Vielfalt bzw. der Verschiedenheit, also der räumlichen Struktur der Böden, auszugehen. Einer Untersuchung auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede schließt sich die Frage nach den Ursachen der Verschiedenheit an. Die Fragestellung führt zu strukturbildenden Prozessen und den diese beeinflussenden Faktoren.

Für die Darstellung natürlicher und anthropogener Prozesse verweist KESTLER (2002) auf den Einsatz des zeitlichen Vergleichs. Dieser könnte für die Bearbeitung von Degradationsprozessen und die Behandlung der Bodenentwicklung genutzt werden. Besonders bei schleichenden, wenig wahrnehmbaren Veränderungen wie der Bodenversauerung, aber auch bei deutlich sichtbaren Veränderungen wie der Bodenerosion, ist es sinnvoll, verschiedene Stadien und damit den Prozessverlauf darzustellen. Der Einsatz verschiedener Medien (z. B. Bilder, Statistiken, thematische Karten usw.), welche einen Sachverhalt in einem bestimmten Raum zu zwei oder auch mehreren Zeitpunkten (früher – heute, vorher – nachher) darstellen, können Veränderungen durch Degradationsprozesse verdeutlichen. Auch der Einsatz von Experimenten und Modellen, Untersuchungen und Beobachtungen kann das prozessuale Verständnis verbessern. So werden in der fachdidaktischen Literatur z. B. eine Reihe von Experimenten zur Bodenerosion dargestellt, bei welchen nicht nur Hypothesen über Ursachen überprüft, sondern auch Prozesse beobachtet werden können. Ferner können Prozesse, die für die Schüler nicht sichtbar sind, wie die der Versauerung der Böden, gut in Filmen veranschaulicht werden.

Leitlinie 5: Komplexität erfassbar machen

Der Systemansatz macht eine Aufarbeitung komplexer Unterrichtsinhalte möglich. Durch geeignete Instrumente können Vielperspektivität und Komplexität

erfassbar gemacht und Monokausalität vermieden werden. Dazu sollten Sachverhalte aus unterschiedlichen Maßstäben und Perspektiven betrachtet werden (RHODE-JÜCHTERN 2004, 2012). Auch für die Vermittlung des Themas Bodennutzung sollte im Geographieunterricht mit Perspektivenwechseln gearbeitet werden. Durch die vielfältigen Bodenfunktionen kommt es bei der Diskussion verschiedener Interessensgruppen um die Nutzung von Böden zu Raumnutzungskonflikten, welche in allen räumlichen (lokal bis global), aber auch unterschiedlichen zeitlichen Dimensionen, thematisiert werden können. Rollenspiele, Planspiele, Szenariotechnik oder die Zukunftswerkstatt stellen sinnvolle Methoden dar, um verschiedene Perspektiven deutlich zu machen. Durch exemplarisches Arbeiten kann die Fülle der Inhalte reduziert werden. Um systemisches Verständnis bei den Schülern im Unterricht zu fördern bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, von denen nur einige exemplarisch vorgestellt werden sollen.

KANWISCHER/RHODE-JÜCHTERN (2001, auch RHODE-JÜCHTERN 2004) entwickelten das Konzept „*Was ist der Fall? Und was steckt dahinter?*“. Dieser, auf einen Doppelkreis beruhender Ansatz für die Veranschaulichung von Komplexität, geht von einer „*Oberfläche eines Themas/Gegenstandes*“ aus, von der aus nach Erklärungen erster und zweiter Ordnung gesucht wird. Die Oberfläche eines Themas kann dabei durch ein Bild, eine Nachricht oder dergleichen repräsentiert werden. Für das Thema Bodendegradation bieten sich zum Beispiel Fotos zur Bodenerosion/-verdichtung oder zur Landwirtschaft, aber auch Schlagzeilen zum Waldsterben oder über versauerte Böden an. Die Erklärungen erster Ordnung können z. B. aus fachlicher Sicht auf (Teil-)Prozesse eingehen, welche zum entsprechenden Phänomen führen. Hier könnte z. B. in Bezug auf die Bodenerosion die Denkfigur der Verlagerung des Bodens durch Wind und Wasser zum Tragen kommen. Ausgehend von diesen Erklärungen sollte nach anderen grundlegenden Erklärungen gesucht werden. So können sich Fragen nach den Gründen für bestimmte Bearbeitungsmethoden ergeben, wie Traditionen, Steuerung durch wirtschaftliche Verflechtungen usw. Eine sozialökologische Aufarbeitung in der zweiten Erklärungsebene zeigt die Vernetzungen und Hintergründe (Systemansatz), welche sich hinter der rein fachwissenschaftlichen Erklärung erster Ordnung, der zur Erosion führenden Prozesse (Prozessansatz) des vorgestellten Phänomens (Struktursatz), befindet.

REMPFLER/UPHUES (2011.2) stellen eine Konzeption zur Förderung von Systemkompetenz durch die Ausrichtung an Habits, Concepts und Tools nach einer amerikanischen Stiftung (Waters Foundation) vor. Unter *Habits* versteht man „*Denkmuster, die systemkompetente Personen auszeichnen*“ (REMPFLER/UPHUES 2011.2, S. 31). Schüler sollen durch Überprüfung ihres eigenen Denkens und Handelns und die Heranführung an die beschriebenen Denkweisen zu einem verbesserten Systemverständnis kommen. Dies soll mit Hilfe von Leitfragen, die auf verschiedene Beispiele anwendbar sind, erfolgen. Unter *Concepts* werden Schlüsselkonzepte verstanden, die im Unterricht vermittelt werden sollen. Die

von der Waters Foundation formulierten Konzepte (Abb. 50: 1-5) ergänzen REMPFLE/UPHUES auf Grundlage des sozialökologischen Ansatzes (Abb. 50: 6-9).

1. Bewusst machen und Reflexion der eigenen mentalen Modelle
2. Systemdynamik erkennen
3. Durch Veränderung entstehende Muster erkennen
4. Lineare *und* zirkuläre Wirkungszusammenhänge beachten
5. tragfähige Handlungsoptionen entwickeln
6. Emergenz beachten
7. Systemgrenzen als subjektiv bzw. als Konstruktion auffassen
8. eingeschränkte Systemprognose verdeutlichen
9. Systemverhalten als im Allgemeinen irreversibel thematisieren

Abb. 50: Für das Systemverständnis im Unterricht zu vermittelnde Schlüsselkonzepte (nach REMPFLE/UPHUES 2011.2, S. 32, verändert)

Tools stellen methodische Werkzeuge dar, welche eine graphische Anschauung komplexer Sachverhalte möglich machen. So könnten Concept Maps in allen Unterrichtsphasen gewinnbringend eingesetzt werden. Häufig wird durch eine graphische Aufarbeitung die Komplexität eines Sachverhaltes erst bewusst. Dabei werden eigene Vorstellungen zum Sachverhalt erhoben, Systeme analysiert, neues Wissen eingeflochten, Gestaltungsmöglichkeiten abgeleitet, aber auch die eigenen Lernwege reflektiert. Concept Maps haben seit längerem Einzug in den Geographieunterricht gefunden und werden von verschiedenen Seiten für die graphische Darstellung komplexer Wissensstrukturen genutzt und empfohlen, so auch für den anthropogenen Treibhauseffekt und globalen Klimawandel (SCHULER 2011). Auch beim Unterricht nach dem Syndromansatz „steht in der Regel die Erstellung eines Beziehungsgeflechtes im Vordergrund“ (CASSEL-GINTZ/BAHR 2008, S. 9). Die Entwicklung des Wirkungsdiagramms erfolgt hier jedoch in Anknüpfung an die neun zentralen Erdsphären (Biosphäre, Pedosphäre, Bevölkerung, Atmosphäre, Hydrosphäre, gesellschaftliche Organisation, Wirtschaft/Technik, psychosoziale Sphäre, Wirtschaft). Beiden Darstellungsweisen (Concept Maps und Syndrome) zeichnen sich durch nicht-lineare Ursachen-Wirkungszusammenhänge aus. Durchaus sinnvoll erscheint die Verknüpfung von graphischen Darstellungen komplexer Wirkungszusammenhänge mit Methoden, welche auf unterschiedliche Perspektiven eingehen (REMPFLE/UPHUES 2011.2)

Leitlinie 6: An der Bedeutung des Bodens anknüpfen, aber Idealisierung vermeiden

Die immense Bedeutung des Bodens für das menschliche Leben als auch für Tiere und Pflanzen ist den Schülern weitgehend bewusst. Boden wird vor allem als Lebensraum für Tiere und Pflanzen und als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion für menschliche Bedürfnisse betrachtet. Vor allem aber die Regelungsfunktionen, wie sie die Fachwissenschaften ausgliedern, sind den Schülern weniger bekannt, müssen aufgrund ihrer besonderen Bedeutung aber unbedingt ergänzt werden. Bodengefährdung oder die Beurteilung von Eingriffen in den Boden sollten dann an den Bodenfunktionen anknüpfen, nicht nur an der Veränderung der Eigenschaften des Bodens bzw. des gesamten Ökosystems. Die Erhaltung von bestehenden Ökosystemen ist kein Ziel an sich. Eher geht es um die Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Bodens in Bezug auf die ausgewiesenen Bodenfunktionen. Die Nutzung der Konzepte der Belastbarkeit und der Tragfähigkeit können als Bewertungsrahmen für Bodendegradation genutzt werden (WBGU 1994). So können Inhalte über Veränderlichkeit und Dynamik in (Öko-) Systemen aber auch der nachhaltige Umgang mit Boden thematisiert werden. Unabdingbar ist es, einen Bezug zwischen eigener Lebenswelt, eigenen Handlungsmöglichkeiten und möglichen Auswirkungen auf den Boden herzustellen.

KUCHARZYK (2013) geht in ihrem Buchbeitrag auf unterschiedliche Betrachtungsweisen der Natur ein, welche sich auch in den Schülervorstellungen zum Boden widerspiegeln. Die Vorstellungen von Boden als Lebensgrundlage ähneln z. B. dem Bild der „benötigten Natur“ und die von den Schülern mit dem Boden gemachten Erfahrungen der „erlebten Natur“. Einige Schüler haben ein idealisiertes Bild der Natur, welche sich in einem Gleichgewicht befindet und durch den Menschen zer- bzw. gestört wird. Diese Vorstellungen könnte man unterschiedlichen Perspektiven, wie die der Nutzung der ökologischen Ressourcen durch den Menschen, der „beherrschten“ oder der „bedrohten“ Natur“ zuordnen. Um einer weitergehenden Idealisierung und „Mystifizierung“ entgegenzuarbeiten und eine naturwissenschaftliche Denkweise zu fördern, sollte Unterricht zwar „*emotional ansprechend sein, ..., doch müssen die Natur und deren Ereignisse für ein naturwissenschaftliches Grundverständnis wertfrei bleiben.*“ (KUCHARZYK 2013, S. 432). Dazu ist auch hier ein Perspektivenwechsel innerhalb der ökologischen Betrachtungsweisen angeraten (vgl. Leitlinie 5).

Leitlinie 7: Boden als ökonomisches Gut verstehen

Im Jahresgutachten der WBGU (1994, S. 67-71) wird für den Boden eine umwelt-ökonomische Gesamtrechnung gefordert. Begründet wird die Forderung mit dem Herabsetzen der Leistungsfähigkeit des Bodens durch dessen Abnutzung. Boden ist durch intensive Nutzung und fortschreitende Bodendegradation nicht mehr in der Lage, die ihm zugewiesenen Funktionen zu erfüllen. Die Möglichkeiten der Bodennutzung werden eingeschränkt. Da nur durch den Einsatz von Kapital die

Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen möglich ist, soll Bodennutzung ökonomisch bewertet werden. Dazu sollen Kosten internalisiert werden, die aus der Übernutzung von Böden entstehen und zur Behebung von Schäden am Boden benötigt werden. Die kostenmäßige Erfassung erweist sich als besonders schwierig, die Schätzungen weisen eine große Bandbreite auf (Bodenbelastungskosten in Deutschland pro Jahr zwischen ca.11-30Mrd. €, ROGALL 2002, S. 61).

Die Anknüpfung an eine umweltökonomische Betrachtungsweise ist für den Unterricht zu empfehlen. Die monetäre Bewertung von Ressourcen, und damit auch des Bodens, bietet einen guten Ansatzpunkt für den Unterricht, da die Schüler als Konsumenten am wirtschaftlichen Geschehen teilhaben. Der Umgang mit Geld und die Diskussion, ob ein bestimmter Preis für ein bestimmtes Produkt angemessen ist, knüpfen an die Lebenswelt der Schüler an. Daher sollten die Mehrkosten für die Erhaltung der Böden im Unterricht thematisiert werden. Auch wenn die Schätzungen stark voneinander abweichen, kann so ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass z. B. der für Lebensmittel oder Kleidung bezahlte Preis nur die reinen Produktionskosten, nicht aber die Abnutzung der Böden berücksichtigt. Zitate wie: *„Wir behandeln die Natur fälschlicherweise als ein Gut, das unbegrenzt verfügbar ist und deshalb den Preis Null hat“* (MEYER 2008, S. 135) oder *„Die Preise sagen nicht die ökologische Wahrheit“* (ERNST ULRICH VON WEIZSÄCKER, zitiert nach STIFTUNG FORUM FÜR VERANTWORTUNG 2009, S. 28) verdeutlichen die Perspektive, die Bereitstellung von Nährstoffen etc. als Dienstleistungen der Natur bzw. des Bodens zu sehen. Die oben angesprochene Differenz zwischen den Schätzungen für die Bodenbelastung könnte sogar mit den Schülern diskutiert und hinterfragt werden. Als bereits bestehende ähnliche Konzepte, welche unseren Konsum mit Ressourcenverbrauch und der Belastung von Ökosystemen in Verbindung bringen, sind der ökologische Rucksack und der ökologische Fußabdruck zu nennen. Auch bei diesen beiden Konzepten geht es um die Veranschaulichung des eigentlichen Ressourcenverbrauchs. So wird z. B. für das Konzept des ökologischen Rucksacks der Vergleich des Gewichtes des gekauften Produktes in Gramm oder Kilogramm mit dem Gewicht der für die Produktion verbrauchten Ressourcen genutzt. Einen anderen Ansatz bietet das „virtuelle Wasser“. Hier wird der Wasserverbrauch berechnet, der für die Produktion verschiedener Produkte benötigt wird. Für den Boden fehlt ein solches Konzept. Auch kann der Verbrauch von Boden nicht berechnet werden wie beim Wasser. Daher würde sich die monetäre Bewertung für die Erhaltung der Leistungsfähigkeit anbieten. Neben der Nutzung der geschätzten Zahlen für die Bodenbelastungskosten in Deutschland könnte auch der Vergleich der Produktionskosten für bestimmte Lebensmittel bei konservierender und konventioneller Landwirtschaft hilfreich sein. Ferner können im Rahmen des Themas Bodendegradation umweltpolitische Instrumentarien für die Reduzierung der Übernutzung der Böden thematisiert werden.

6.5.3 Auswahl zentraler Denkfiguren für den Unterricht

„Boden und die Gefährdung der Böden“ stellt einen sehr komplexen Themenbereich dar, der als Unterrichtsinhalt ausreichend legitimiert ist (vgl. Kapitel 1). Die Auswahl von Unterrichtsinhalten beruht auf dem Verständnis von Umweltbildung als „*wissensorientierter Umweltbildung*“ (LETHMATE 2009.1, S. 15-18) im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (HOFFMANN 2002) und der Ausbildung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (scientific literacy) (HASSENPFUG/HLAWATSCH 2005). Der Aufbau von Umweltwissen wird als schulische Aufgabe erkannt, wodurch die Wahrnehmung und das Bewusstsein der Schüler für Umweltprobleme geschärft werden soll. Die inhaltliche Strukturierung sollte sich daher an zentralen Konzepten der Fachwissenschaft orientieren, welche den Schülern den Zugang zum Thema Boden und die Gefährdung der Böden erleichtern.

Im Folgenden werden zentrale Denkfiguren, die im Unterricht eine Rolle spielen, benannt und kurz begründet. Eine besondere Bedeutung kommt aufgrund des integrativen Ansatzes dem Syndromkonzept zu, welches im Anschluss an die Denkfiguren begründet wird.

Boden allgemein

Die Kenntnis von Grundlagen über den Aufbau, die Bestandteile und Prozesse im Boden sind Voraussetzung für das Verständnis um die Gefährdung der Böden. Für die Bearbeitung des Themas im Unterricht eignet sich der Struktur-, Prozess- und Systemansatz nach KÖCK/REMPFLER (2004) in besonderer Weise. Dieser Ansatz wird als Konsequenz aus den vorliegenden Forschungsergebnissen als Leitlinie 3 empfohlen und kommt dementsprechend auch in der Auswahl der Denkfiguren zur Geltung (Kap. 6.5.2).

- **>Boden als Naturkörper<**

In Abgrenzung zum häufig auftretenden Verständnis der Schüler vom Boden als Oberfläche zeichnet sich die Denkfigur **>Boden als Naturkörper<** durch ihre dreidimensionale Struktur aus. Diese variierende Struktur von Böden kommt in den unterschiedlichen Bodenbestandteilen und Bodeneigenschaften, als auch in der Abfolge der Horizonte und zum Tragen. Die Bezeichnung des Bodens als **Naturkörper** knüpft als Analogie an die Lebenswelt der Schüler an und bietet die Möglichkeit, den Boden als ein in Prozessen befindliches System wahrzunehmen. Vom menschlichen Körper ausgehend wird vielleicht deutlicher, dass Körper, und in diesem Fall Böden, Substanzen (Wasser, Ionen) aufnehmen, verarbeiten und wieder abgeben können. Die Wahrnehmung des Bodens als Körper hat Gemeinsamkeiten mit dem Behälter-Schema der erfahrungsbasierten Theorie des Verstehens (GROPENIEBER 2003). Das Behälter-Schema stößt aber an seine Grenzen, da in einen Behälter zwar Substanzen eingefüllt und wieder abgelassen werden können, Umwandlungen aber nicht berücksichtigt werden. Diese Prozesse sind für das Verständnis von Bodenbildung und –entwicklung und der Belastung von

Böden aber unbedingt notwendig. Die Denkfigur >Boden als Naturkörper< bietet auch einen guten Anknüpfungspunkt für das Verständnis von kritischen Ein- und Austrägen sowie kritischen Zuständen und Belastungen (WBGU 1994), da auch hier eine Übertragung vom menschlichen Körper auf den Boden erfolgen kann.

- **>Boden als Dreiphasensystem<**

Durch die Behandlung des Bodens als Dreiphasensystem können einerseits die unterschiedlichen Bestandteile des Bodens kategorisiert werden. Andererseits lenkt diese Denkfigur den Blick auf den Boden als Durchdringungsbereich unterschiedlicher Teile der Geosphäre. So wird Boden z. B. von der Hydro- und Atmosphäre durchdrungen. Wechselwirkungen zwischen Boden und Wasser bzw. Boden und Luft sind besser nachvollziehbar, wenn Boden nicht als abgeschlossene Fläche wahrgenommen wird. Diese Perspektive erleichtert den Zugang zum Systemverständnis.

- **>Boden als Umwandlungsprodukt< und >Veränderung von Boden als natürlichen Prozess erkennen<**

Böden bilden, entwickeln und verändern sich mit der Zeit. Die entsprechenden Prozesse sollten den Schülern zugänglich gemacht werden, da diese Sichtweise evtl. einen Übergang von der Wahrnehmung des Bodens als statischen hin zu einem dynamischen Gebilde erleichtert. In diesem Sinne sollte die Bodenentwicklung erst einmal als natürlicher Prozess behandelt werden um ihn später von anthropogenen Einflüssen trennen zu können.

- **>Boden als Bestandteil (offener) (Öko-)Systeme<**

Diese Denkfigur lenkt den Blick auf die Wechselwirkungen zwischen Boden und anderen Geofaktoren bzw. Elementen eines Systems und bildet damit die Basis zum Verständnis von Bodenbildungsprozessen einerseits und Veränderungen im Rahmen der Bodengefährdung andererseits.

- **>Bodenfunktionen<**

Belastungen und Degradation der Böden sind nur nachvollziehbar, wenn ein persönlicher Bezug zum Boden hergestellt werden kann. Die Anknüpfung des Themas Boden und Bodengefährdung an den Bodenfunktionen sollte daher unbestritten sein. Den Schülern sind vielfältige Funktionen bekannt und ihnen ist die besondere Bedeutung des Bodens durchaus bewusst. Eine Überlegung wäre allerdings, den Begriff der Potenziale, welche Böden innehaben, mit einzuführen. Die Potenziale ein und desselben Bodens sind vielfältig. Böden können im Prinzip jegliche Funktion einnehmen, z. B. als Lebensraum für Tiere und Pflanzen dienen oder aber vom Menschen als Acker- oder Bauland genutzt werden. Die Funktionen werden den Böden jedoch erst durch den Menschen zugewiesen, indem er sich für eine bestimmte Nutzung entscheidet. Diese Sichtweise macht Raumnutzungs Konflikte um Böden vielleicht deutlicher.

Gefährdung der Böden

Das Thema „Gefährdung der Böden“ sollte im Unterricht interdisziplinär strukturiert und organisiert werden.

- **>Bodendegradation als durch den Menschen verstärkten und beschleunigten Prozess erkennen<**

Die meisten Prozesse laufen im Boden auch ohne anthropogenen Einfluss ab. Die Nutzung der Böden in einer bestimmten Weise verändert sie jedoch stärker und schneller als die natürlichen Prozesse ablaufen. Sind die natürlichen Prozesse bekannt, können die Veränderungen durch den Menschen besser verstanden und bewertet werden.

- **>Bodendegradation als Veränderung oder Verlust von Bodenfunktionen<**

Bodendegradation wird erst dann als bedeutsam wahrgenommen, wenn Veränderungen oder der Verlust von Bodenfunktionen anstehen. Nur so ist eine Verknüpfung mit der Lebenswelt der Schüler möglich. Außerdem kann über die Ausweisung von Bodenfunktionen eine Bewertungsgrundlage festgelegt werden, an welcher die Bodendegradation gemessen werden kann.

- **>Bodenverdichtung als Verformung<**

Die Denkfigur Bodenverdichtung als Verformung geht über die Schülervorstellung des Pressens und der Volumenänderung hinaus und wird durch das Konzept der Scherung ergänzt. Dieses Konzept ist z. B. wichtig für das Verständnis der veränderten vertikalen und horizontalen Wasserleitung im Boden.

- **>Bodenerosion als Verlagerung (Abtrag und Ablagerung) von Bodenpartikeln/Bodenmaterial<**

Diese Denkfigur knüpft sehr gut an das Verständnis der Schüler an. Lediglich der Begriff ist zu sperrig und wird von den Schülern verwechselt. Der Begriff der Bodenverlagerung könnte Abhilfe schaffen (Leitlinie 2, Kap. 6.5.2). Die Konzepte der **Erosivität** und **Erodierbarkeit** könnten die Vorstellungen der Schüler strukturieren. Sie lernen Faktoren kennen und bewerten, welche die Erosionsanfälligkeit eines Bodens bedingen. So können Schüler auch erkennen, an welchen Punkten Maßnahmen zur Bekämpfung der Erosion möglich sind.

- **>Bodenversauerung<**

Bodenversauerung ist ein für die Schüler kaum verständliches Thema. Die meisten Schüler setzen Bodenversauerung mit einer Vergiftung des Bodens gleich. Daher ist es umso wichtiger, die Denkfiguren **>Deposition säurewirksamer (Luft-)Schadstoffe<** und **>Atmosphärische Prozesse<** bei der Behandlung des Themas zu berücksichtigen. Obwohl der pH-Wert des Regens nicht unbedingt stark unter dem natürlichen Wert von 5,6 liegt, können säurewirksame Stoffe im Regen enthalten sein, die in den Boden eingetragen werden. Nur die Kenntnis dieser Stoffe macht ein Verständnis für die Maßnahmen, z. B. im Zuge der Luftreinhaltung nachvollziehbar. Dazu gehört auch die Kenntnis von Umwandlungsprozessen in der Atmosphäre, welche den Schülern nach der vorliegenden Studie über-

haupt nicht bewusst sind. Die Auswirkungen der säurewirksamen Schadstoffe bedingen **>strukturelle Veränderungen des Bodens durch Veränderung des pH-Wertes<** (z. B. bei der Horizontierung). An diesem Punkt ist es unbedingt notwendig, dass eine Veränderung der Schülervorstellungen vom Konzept der direkten Giftwirkung von Säuren auf Boden, Flora und Fauna hin zu einer wissenschaftskonformerer Vorstellung vom Kationenaustausch, durch den es zu strukturellen Veränderungen im Boden kommt, angebahnt wird. Nur auf dieser Grundlage sind auch **>Ökosystemare Veränderungen<** durch die Bodenversauerung verständlich.

Übergeordnete Denkfiguren

Als übergeordnete Denkfiguren sind die **>Belastbarkeit von Böden<**, **>Tragfähigkeit von Böden<** und **>Boden als ökonomisches Gut<** für die Schüler gut nachvollziehbar. Alle drei Denkfiguren knüpfen an die Lebenswirklichkeit der Schüler an und bieten unterschiedliche Perspektiven, um das Thema Gefährdung der Böden greifbar zu machen. Die Belastbarkeit von Böden mit den kritischen Ein- und Austrägen, den kritischen Zuständen und Belastungen wurde bei der Denkfigur **>Boden als Naturkörper<** bereits angesprochen (s.o.). Das Konzept der Tragfähigkeit ist den Schülern sicherlich im Kontext der Nutzung von Ressourcen bekannt. Es muss aber deutlich werden, dass dieses Konzept sich nur auf wenige Bodenfunktionen, vor allem auf die Produktionsfunktion des Bodens bezieht und andere Funktionen außer Acht lässt. Boden als ökonomisches Gut aufzufassen wäre ein eher neuer, aber sicherlich lohnender Ansatz für die Schule. Die monetäre Bewertung von Bodendegradation könnte für das Thema sensibilisieren.

- **>Bodendegradation als Syndrome globalen Wandels wahrnehmen<**

Das Syndromkonzept bietet einen integrativen Ansatz, welcher das Potenzial hat, die aufgezeigten Defizite in der Umwelterziehung (z. B. die beliebige Auswahl der Themen, Anschauung der Umwelt als Natur und Mensch als Zerstörer, fehlende Vernetzung und Verzahnung) zu überwinden (HOFFMANN 2002). Der Syndromansatz wurde bereits in der fachlichen Klärung ausführlich dargestellt. Er bietet nicht nur ein interdisziplinär arbeitendes, empirisch phänomenologisches Analyseinstrument, um problematische Mensch-Umwelt-Interaktionen bzw. globale Umweltveränderungen für Wissenschaft und Politik aufzuarbeiten, sondern wird auch als tragfähiges und sogar als mögliches Basiskonzept für den Geographieunterricht angesehen (z. B. RHODE-JÜCHTERN 2009, DE HAAN 1999, CASSEL-GINTZ/BAHR 2008, SCHINDLER 2005). Die Bedeutung des Syndrom-Ansatzes erschließt DE HAAN (1999) erstens aus der Bedeutung täglicher Einzelentscheidungen, das heißt unserer Lebensstile, für die innerhalb der Syndrome vorgestellten ökologischen Probleme. Zweitens bietet das Syndromkonzept, welches sich auf Interaktionen zwischen Zivilisation und Umwelt stützt, durch seinen Zukunftsbezug Gestaltungsmöglichkeiten zur Bewältigung von Umweltproblemen. Drittens lassen sich die an einem Beispiel erarbeiteten Strukturen auf andere „*Dispositionsräume*“

transferieren. Nach RHODE-JÜCHTERN (2009) sollten beim Transfer aber nicht nur die Gemeinsamkeiten, sondern vor allem die Unterschiede der einzelnen Raumbeispiele thematisiert werden.

HARENBERG (2001) versteht das Syndromkonzept als Struktur und Systematik für fächerübergreifende Unterrichtsplanung. Eine Stärke des Ansatzes ist, dass aktuelle Ereignisse von der Ebene der Fachinhalte auf die Ebene der Syndrome übertragen werden. Monokausale Erklärungsansätze werden bei der Untersuchung von globalen Phänomenen vermieden und zugunsten einer mehrdimensionalen Betrachtungsweise in den Hintergrund gestellt. Durch den Syndromansatz soll vernetztes Denken gefördert werden, welches als Grundlage für das Erkennen von komplexen Zusammenhängen und nachhaltigen Problemlösungen gilt. Mit Hilfe der anschaulichen Methode, globale Umweltprobleme als Krankheitsbild mit seinen Ursachen und Auswirkungen darzustellen, knüpft der Syndromansatz auch am Erfahrungshorizont der Schüler an (RHODE-JÜCHTERN 2004, 2009, RHODE-JÜCHTERN ET AL. 2008, CASSEL-GINTZ/BAHR 2008, SCHINDLER 2005, KREMB 2004). Im Rahmen des Syndromansatzes ist es auch möglich, die Personifikation des Bodens durch die Schüler gezielt einzusetzen (Kap. 4.5.12 und 4.6.2). Der Syndromansatz schließt dabei direkt an den Schülervorstellungen an, welche Boden z. B. als Haut der Erde interpretieren und sagen, dass Boden eine Schutzschicht hat oder dass Boden arbeitet (Tineke). Es gibt sogar direkte Anknüpfungspunkte für den Syndromansatz, wenn von der „Gesundheit der Erde“ gesprochen wird (Jette), Boden an Umwelteinflüssen leidet und überfordert ist oder gegen „Fremdstoffe kämpft“ (Paula).

HARENBERG (2001) formuliert im Rahmen des „Programm 21“ der Bund-Länder-Kommission zehn Gründe für den Einsatz des Syndromkonzeptes im Unterricht (Abb. 51).

- Verdeutlichung globaler Zusammenhänge
- Umgang mit Komplexität und Strukturierung
- Transsektoralität und transdisziplinäre Methode
- Definition der fachlichen Qualität
- Verdeutlichung von Dynamik, Geschichtlichkeit und Zukunftsbezug
- Betroffenheit und Verantwortung von Individuen, Gesellschaft und Politik
- Betonung der Reflexivität und Handlungsrelevanz
- Beitrag zur Wissenschaftspropädeutik: Umgang mit Wissen und Nichtwissen
- Problemorientierung und Lösungskompetenz
- Gestaltungskompetenz

Abb. 51: Zehn Gründe für den Einsatz des Syndromansatzes im Unterricht (HARENBERG 2001, S.7 ff)

SCHINDLER (2005) beschäftigt sich intensiv mit dem Syndromansatz und verschiedenen Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und unterstützt mit seiner Arbeit denselben. Der Syndromansatz berücksichtigt bereits die für das sozialökologische Systemverständnis geforderten Merkmale wie z. B. Emergenz (Wirkungen sind nicht vollständig vorhersagbar) oder Kontingenz (Ein Ereignis/eine Wirkung kann eintreten, muss aber nicht) (REMPFLER/UPHUES 2011.1, RHODE-JÜCHTERN ET AL. 2008). Inzwischen gibt es eine Reihe verschiedener Unterrichtsbeispiele, welche regional verankert sind, die globale Perspektive dabei aber nicht vernachlässigen (BLK-PROGRAMM „21“ 2003, 2004, Themenheft Praxis Geographie 2008). Der Syndromansatz wurde von der WBUG (1994) erstmals in Bezug auf die Gefährdung der Böden entfaltet und eignet sich in Bezug auf das in dieser Arbeit untersuchte Thema in besonderer Weise.

7 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Dissertation hat sich zum Ziel gesetzt, die unbestritten bedeutsamen Themen Boden und Bodendegradation im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion zu untersuchen. Dieses international etablierte Modell wird in der Grundlagenforschung, bei der Durchführung von Vermittlungsexperimenten und in Unterrichtserprobungen mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten eingesetzt. Dabei liegen die Ursprünge des Modells in der Didaktik der Naturwissenschaften. Auch in der Geographiedidaktik wird das Modell seit einigen Jahren als theoretischer und methodischer Rahmen sowohl in der Forschung als auch für die Unterrichtsplanung verwendet (LETHMATE 2007.1, REINFRIED 2007). Umfassende Forschungsarbeiten liegen bisher aber nur wenige vor (z. B. BETTE 2011, MÜLLER 2009, SCHUBERT 2013, FELZMANN 2013, BASTEN 2013). Auch die Schülervorstellungsforschung, die im Rahmen dieses Modell obligatorisch ist, kann in der Geographiedidaktik noch als recht junges Forschungsfeld angesehen werden, welches in den letzten Jahren jedoch regen Zuwachs erfährt (Kapitel 2) (z. B. REINFRIED 2010, 2013, SCHULER 2011). In der vorliegenden Dissertation wurden die beiden Untersuchungsgegenstände Boden und Bodendegradation im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion einerseits fachlich geklärt. Andererseits wurden Vorstellungen von Schülern der 10. Jahrgangsstufe am Gymnasium von den genannten Themen erhoben. In der didaktischen Strukturierung wurden nach dem Vergleich der beiden Perspektiven Leitlinien für den Unterricht entwickelt. Wichtige Ergebnisse der drei Teilbereiche werden im Folgenden knapp zusammengefasst.

In der **fachlichen Klärung** (Kapitel 3) wurden auf Grundlage dreier Werke sowohl die Entwicklung des Verständnisses der Untersuchungsgegenstände Boden und Bodendegradation innerhalb der Wissenschaft Bodenkunde (FALLOU 1865, BLUME 2004) als auch eine integrative Perspektive auf die Themen (WBGU 1994) mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990) untersucht. Zur fachlichen Klärung der drei Werke wurde weitere einschlägige Literatur für die Explikation und damit für die Interpretation herangezogen. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf folgenden Themenbereichen: Begriff Boden, Aufbau und Bestandteile des Bodens, Bodenentstehung, Bodenfunktionen, Veränderungen im Boden, Ursachen und Folgen der Bodenzerstörung im Allgemeinen und Ursachen und Folgen von Bodenerosion, Bodenverdichtung, Bodenversauerung im Speziellen. Als ein interessantes Ergebnis ist der Wandel innerhalb der Wissenschaft anzusehen, der sich in der Etablierung der Bodenkunde als Wissenschaft unabhängig von der Agrikulturchemie Ende des 19. Jahrhunderts, ausdrückt. Heute ist die Bodenkunde eine eigenständige Wissenschaft, die sich mit *„...den Eigenschaften und Funktionen sowie der Entwicklung und Verbreitung von Böden...“* und *„...mit den Möglichkeiten der Nutzung von Böden und den Gefah-*

ren, die mit ihrer Fehlnutzung durch den Menschen zusammenhängen sowie der Vermeidung und der Behebung von Bodenbelastungen...“

befasst (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010, S. 1).

Boden wird nicht um seiner selbst willen erforscht. Der Bezug zur Nutzung und der Gefährdung der Böden ist obligatorisch und legitimiert die fachwissenschaftliche Forschung. Aufgrund der besonderen Bedeutung des Bodens und seiner vielfältigen Funktionen sowie der Erforschung globaler Umweltveränderungen findet sich mit dem Hauptgutachten des WBGU (1994) „Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden – Hauptgutachten 1994“ eine neue interdisziplinäre bzw. multidisziplinäre und systematische Perspektive, die in der Entwicklung des Syndromansatzes mündet. Diese neuen Betrachtungsweisen des Bodens bieten Möglichkeiten, die Phänomene, Ursachen und Folgen der Bodendegradation zu verdeutlichen bzw. verständlicher zu machen und zu bewerten. Darüber hinaus ermöglichen sie es, für das Thema zu sensibilisieren und Ansatzpunkte für Maßnahmen gegen die fortschreitende Zerstörung zu geben.

Die Erfassung der Schülerperspektive beschränkt sich in der vorliegenden Dissertation auf die Erhebung von **Schülervorstellungen** (Kapitel 4). Dabei versteht sich die Untersuchung als Grundlagenforschung und deckt mit den Themen Boden und Bodendegradation einen sehr umfassenden Bereich ab, der bisher nicht erhoben worden ist. Mit Hilfe problemzentrierter Interviews und der Struktur-lege-Technik wurden Vorstellungen von Schülern der 10. Jahrgangsstufe zu folgenden Fragestellungen erhoben: Welche Vorstellungen haben Schüler dieser Altersstufe von Boden und Bodendegradation? Der Schwerpunkt der Befragung lag auf den gleichen Themenbereichen wie in der fachlichen Klärung. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Schüler über ganz unterschiedliche Vorstellungen von den genannten Themen verfügen. Teilweise sind diese als oberflächlich und lebensweltlich geprägt zu bezeichnen. Manche Schüler haben aber auch durchaus umfassende und komplexe Denkfiguren, die den fachwissenschaftlichen sehr nahe kommen. Die Komplexität kommt vor allem in den Strukturdiagrammen aus der Struktur-lege-Technik zum Ausdruck und wird durch diese gut veranschaulicht. Aus den umfangreichen Ergebnissen sollen hier nur wenige übergreifende dargestellt werden:

- ◆ Die Schüler können ihre Vorstellungen gut beschreiben, wenn es um Strukturen wie beim Aufbau des Bodens geht oder um die Darstellung von Elementen in einem System und deren Vernetzung (erkennbar in den Strukturdiagrammen).
- ◆ Die Prozesse, die zu den beschriebenen Strukturen führen (z. B. Bodenbildungsprozesse) oder die die Wechselwirkungen zwischen Systemelementen ausmachen (z. B. Wirkung der Bodenversauerung), sind den Schülern eher unbekannt oder sie haben nur oberflächliche und lückenhafte Vorstellungen davon.
- ◆ Die dargestellten Vorstellungen sind unstrukturiert und bieten kein Orientierungsraster, in das Schüler neue Informationen einordnen können (z. B. mineralische und organische Bestandteile des Bodens).

◆ Die Schülervorstellungen beruhen teilweise auf idealistischen Naturbildern, die z. B. vom ökologischen Gleichgewicht bzw. von Stoffkreisläufen ausgehen. Der Mensch wird häufig als Zerstörer der Natur dargestellt.

◆ In den Schülervorstellungen sind Synthesemodelle zu finden. Es findet eine Konfusion unterschiedlicher Ursachen und Auswirkungen verschiedener Degradationsphänomene statt, die nicht zusammengehören.

Diese und andere Ergebnisse liefern wertvolle Ausgangspunkte, um die Schülerperspektive zu verstehen und Unterricht zu entwickeln. Für die geäußerten Vorstellungen kommen verschiedene Quellen in Frage (Kapitel 4.6.2): So werden sie zum einen von der Alltagssprache, zum anderen aber auch von alltäglichen Erfahrungen und Handlungen der Schüler selbst sowie ihrer Umwelt geprägt. Vor allem die unmittelbare Erfahrung der Schüler spielt dabei eine wesentliche Rolle, wie die Aussage der 16-jährigen Tineke über den Aufbau des Bodens während eines Interviews zeigt (Kap.4.1.1: Bodenaufbau). Sie beschreibt verschiedene Bodenhorizonte mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften sehr genau. Diese Vorstellungen des Mädchens beruhen auf einer unmittelbaren Erfahrung, die sie mit ihrem Bruder beim Graben eines Lochs im Wald gemacht hat. Von besonderer Bedeutung für das Zustandekommen der Denkweisen der Schüler sind die verkörperten Vorstellungen, wie sie in der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nach LAKOFF/JOHNSON (2004) beschrieben werden und durch GROPPENGIEBER (2003, 2004, 2007) für die Fachdidaktik gewinnbringend eingesetzt wurde. Um sich bestimmte Vorgänge zu erklären, werden z. B. Struktur- oder Orientierungsmetaphern genutzt, die auf einen neuen, nicht direkt erfahrbaren Gegenstand übertragen werden. So wird Boden beim Behälter-Schema als Behälter angesehen, in den z. B. Schadstoffe eingetragen werden können. Andererseits wird Boden personifiziert, d. h. es werden menschliche Eigenschaften auf den Boden übertragen: Er kann gesund oder krank sein, Wasser schlucken, an Umwelteinflüssen leiden usw. Natürlich prägt auch vorher erfahrener Unterricht die Vorstellungen der Schüler. So stammen vermutlich Konzepte wie das des ökologischen Gleichgewichtes und das Kreislaufmodell aus dem Biologie- oder Geographieunterricht.

Nach einem Vergleich der Schülervorstellungen mit den Vorstellungen der Wissenschaftler und dem Herausarbeiten lernförderlicher und lernhinderlicher Konzepte in Kapitel 5 wurden in der **didaktischen Strukturierung** Vorschläge für die Unterrichtsplanung gemacht (Kapitel 6). Dabei wird in der vorliegenden Arbeit für die integrierte Position des Lernens plädiert. Das heißt die Wissensveränderung der Schüler sollte durch die Gestaltung einer problemorientierten Lernumgebung unterstützt werden (Kap 6.1-6.4). Anschließend wurden aufgrund der vorliegenden Forschungsergebnisse Leitlinien für die konkrete Vermittlung bodenkundlicher Inhalte entwickelt (Kapitel 6.5).

◆ Da unmittelbare Erfahrungen für die Vorstellungsbildung von großer Bedeutung sind, sollte der Gegenstand Boden für die Schüler erfahrbar gemacht wer-

den. Geeignet ist dafür z. B. die Untersuchung des Bodens im Gelände oder im Labor. Dies bezieht sich sowohl auf die Strukturen der zu erarbeitenden Unterrichtsgegenstände, wie z. B. auf Bodenprofile oder den Unterschied zwischen Boden und Gestein als auch auf die im Boden ablaufenden Prozesse (Leitlinien 1 und 4).

◆ Ein Problem während der Interviews war die Besetzung der Begriffe Boden und Erde mit unterschiedlichen Bedeutungen sowohl seitens der Schüler als auch der Verfasserin. Für eine bessere Verständlichkeit des Unterrichtsgegenstands Boden werden daher für den Unterricht klare Begriffsdefinitionen für notwendige Fachbegriffe empfohlen (Leitlinie 2).

◆ Der Gegenstand Boden, vor allem aber die Vorgänge bei der Bodendegradation, stellen sehr komplexe Sachverhalte dar. Diese Komplexität muss für die Schüler nachvollziehbar gemacht werden. Das kann mit unterschiedlichen Ansätzen geschehen. Einerseits ist eine Anlehnung des Unterrichts an den Struktur-, Prozess- und Systemansatz nach KÖCK/REMPFLER (2004) zu empfehlen (Leitlinie 3). Innerhalb dieses Ansatzes müssen Prozesse z. B. durch Beobachtungen, Vergleiche oder Experimente erfahrbar gemacht werden, da gerade diese in den Schülervorstellungen fehlen (Leitlinie 4). Auch durch den Systemansatz kann Komplexität greifbar gemacht werden. In der Geographiedidaktik werden dazu verschiedene Ansätze vorgeschlagen (Leitlinie 5). KANWISCHER/RHODE-JÜCHTERN (2001, auch RHODE-JÜCHTERN 2004) entwickelten z. B. das Konzept „*Was ist der Fall? Und was steckt dahinter?*“. REMPFLE/UPHUES (2011.2) stellen dagegen eine Konzeption zur Förderung von Systemkompetenz durch die Ausrichtung an „Habits, Concepts und Tools“ nach der amerikanischen Waters Foundation vor.

◆ Letztendlich sollte Unterricht vor allem an der Lebenswirklichkeit der Schüler ansetzen (Leitlinien 6 und 7). Die Bedeutung des Bodens mit seinen vielfältigen Funktionen ist den Schülern durchaus bewusst. Vor allem seine Bedeutung als Lebensraum und Lebensgrundlage für Tiere und Pflanzen und seine Produktionsfunktion sind den Schülern gegenwärtig. Wird Bodendegradation thematisiert, könnte ein Anknüpfen gerade an diese Funktionen die Schüler für das Thema sensibilisieren und ihr Interesse wecken. Auch die Einordnung des Bodens als ökonomisches Gut könnte gewinnbringend sein, da die Schüler mit der monetären Bewertung von Gegenständen im Alltag vertraut sind. Eine umweltökonomische Betrachtungsweise verdeutlicht die Endlichkeit der Ressource Boden.

Im Anschluss an die Leitlinien wurden zentrale Denkfiguren ausgewiesen, die für den Unterricht zu empfehlen sind. Diese könnten den Zugang zum Thema erleichtern. Besonders hervorgehoben wird dabei, dass Bodendegradationen als Syndrome globalen Wandels wahrgenommen werden sollten. Denn einerseits spiegelt das Syndromkonzept die Komplexität des Untersuchungsgegenstands wider. Andererseits setzt es aber auch an den Schülervorstellungen an und bezieht z. B. die Personifikation des Bodens mit ein.

Obwohl die vorliegende Dissertation umfassende Ergebnisse liefert – oder gerade deshalb –, ergeben sich einige **Desiderata und Anknüpfungsmöglichkeiten** für weitergehende Forschung.

Die Dissertation deckt mit ihrer Fragestellung einen sehr breiten Forschungsbereich in Bezug auf die untersuchten Gegenstände Boden und Bodendegradation ab. Das macht eine Analyse in die Tiefe, z. B. in Bezug auf die einzelnen Degradationserscheinungen, unmöglich. So wäre es sicherlich interessant und für die Vermittlung des Themas im Unterricht wichtig, die Konzepte der Schüler zu den ablaufenden Prozessen bei der Bodenbildung, Bodenversauerung oder Bodenerosion noch genauer zu überprüfen. Auch ist festzuhalten, dass sich die Erhebung der Schülerperspektive auf die Vorstellungen der Schüler, also auf die kognitive Ebene beschränkt, was durch den Bezug auf eine wissensorientierte Umweltbildung begründet wurde. Weitere Aspekte wie das Interesse oder die Einstellungen der Schüler zum Thema oder aber der Einfluss der sozialen, situativen, emotionalen und motivationalen Dimension blieben in dieser Studie unberücksichtigt.

Betrachtet man die methodische Seite der Arbeit, bieten die umfassenden Erhebungen auch hier Möglichkeiten, die Daten weiter aufzuarbeiten. Die erhobenen Daten wurden stringent auf der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (1990), adaptiert durch GROPEGIEBER (2001), ausgewertet. Die mit der Struktur- und Technik erhobenen Strukturdiagramme haben in der vorliegenden Arbeit einen validierenden und veranschaulichenden Charakter. Eine systematische Auswertung ist noch nicht erfolgt, könnte aber neue Aspekte zu Tage bringen, die bisher unberücksichtigt geblieben sind. Anknüpfend daran könnte die Bedeutung des Einsatzes von Concept-Maps im Unterricht für die Entwicklung vernetzten Denkens am Beispiel der Bodendegradation untersucht werden.

Bezüglich der Schülervorstellungen wurden in Kapitel 4.6.2 Entstehungshypothesen aufgestellt. Richtungweisend ist hierbei die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nach LAKOFF/JOHNSON (2004), die in den Fachdidaktiken bereits erfolgreich angewendet wird (GROPEGIEBER 2003, 2004, 2007, BASTEN 2013, FELZMANN 2013). Eine Reanalyse der vorliegenden Daten könnte interessante Ergebnisse liefern. So könnten leitende Struktur- oder Orientierungsmetaphern wie z. B. das Behälter-Schema identifiziert werden, die das Verständnis der Schüler von den im Boden ablaufenden Vorgängen aufzeigen. Auch könnten Metaphern erfasst werden, die den Gegenstand Boden und die Bodendegradation für Schüler zugänglicher machen.

Letztendlich sollten die Untersuchungsergebnisse in eine konkrete Unterrichtsevaluation münden. So könnten Vermittlungsexperimente und Unterrichtserprobungen Aufschluss über die Effektivität und Wirksamkeit der hier vorgeschlagenen Leitlinien geben.

8 Literatur

- ARNING, H./LETHMATE, J. (2004): Waldschäden experimentell. Ein Schülerversuch zur Nährstoffauswaschung. In: Praxis Geographie, 34/10, S. 22-25.
- AUSUBEL, D./NOVAK, J.D./HANESIAN, H. (1980): Psychologie des Unterrichts. Weinheim. S. 5.
- BASTEN, T. (2013): Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der Passatzirkulation. Hannover.
- BAUMERT, J. (1997): Ansprüche an den Unterricht in der heutigen Zeit. In: MSWWF (Hrsg.): Fächerübergreifendes Arbeiten - Bilanz und Perspektiven. Frechen. S. 29 – 41.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (STMUGV) (2006): Lernort Boden: Eine Handreichung für den handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht in der Hauptschule, der Realschule und im Gymnasium. München.
- Online unter:
http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/lernort_boden/index.htm (eingesehen am 16.09.2013).
- BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 30 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist. Online unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BJNR050210998.html> (eingesehen am 20.09.2013).
- BBODSCHV (BGBl. I, 1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist. Online unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/BJNR155400999.html> (eingesehen am: 20.09.2013).
- BECK, H./HOFFMANN, C./WILHELMI, V. (2011): Expedition Umwelt. Ein Bodenpraktikum im schulnahen Gelände. In: Praxis Geographie, 41/2, S. 16-22.
- BEESE, F. (1992): Umweltbelastung und Standort. In: Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) (Hrsg.): Boden, Wasser und Luft. Umweltvorsorge in der AGF. Bonn. S. 36–39.
- BETTE, J. (2011): Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zur "Geographie" und ihren zentralen Konzepten. Eine empirische und hermeneutische Untersuchung (Münsteraner Arbeiten zur Geographiedidaktik, Bd. 01) Münster. Online unter: <http://miami.uni-muenster.de/servlets/DocumentServlet?id=5712> (eingesehen am 19.09.2013).

- BICKER, S. (2013): Bodenbewusstsein – Wo sind die BodenpädagogInnen? Online unter: <http://erdhaftig.wordpress.com/2013/03/13/bodenbewusstsein/> (eingesehen am 18.09.2013).
- BLK-PROGRAMM „21“ (Hrsg.) (2003): Unterricht zu den Syndromen des globalen Wandels. Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufe I und II. Berlin. Online unter: http://www.dekade.org/transfer_21/wsm/24.pdf (eingesehen am 16.09.2013).
- BLK-PROGRAMM „21“ (Hrsg.) (2004): Unterricht zu den Syndromen des globalen Wandels II. Umsetzungsbeispiele für die Sekundarstufe I und II. Berlin. Online unter: http://www.institutfutur.de/_publikationen/wsm/47.pdf (eingesehen am 16.09.2013).
- BLUME, H.-P. (³2004.1): Einführung. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 1-3.
- BLUME, H.-P. (³2004.2): Böden als Naturkörper. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 4-28.
- BLUME, H.-P. (³2004.3): Böden als Nutzpflanzenstandorte. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 114-119.
- BLUME, H.-P. (³2004.4): Böden als Filter, Puffer und Transformatoren. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 120-130.
- BLUME, H.-P. (³2004.5): Veränderungen und Belastungen von Böden. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 165-166.
- BLUME, H.-P./FELIX-HENNINGSSEN, P./FREDE, H.-G./GUGGENBERGER, G./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1-32, Stand: 2009).
- BLUME, H.-P. (Hrsg.) (³2004): Handbuch des Bodenschutzes. Weinheim.
- BLUME, H.-P./HORN, R./THIELE-BRUHN, S. (Hrsg.) (⁴2010): Handbuch des Bodenschutzes. Weinheim.
- BLUME, H.-P./LAMP, J. (³2004): Böden als Landschaftssegmente. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 59-71.
- BLÜMEL, W. D. (1986): Waldbodenversauerung – Gefährdung eines ökologischen Puffers und Reglers. In: Geographische Rundschau 38/6, S. 312-320.
- BOCHTER, R. (1995): Boden und Bodenuntersuchungen (Praxis Schriftenreihe Chemie, Bd. 53). Köln.
- BÖHM, A. (⁵2007): Theoretisches Codieren: Textanalyse in der Grounded Theorie. In: FLICK, U./VON KARDORFF, E./STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Hamburg. S. 475-484.
- BÖHN, D. (1999): Didaktik der Geographie – Begriffe. München.
- BONEKAMP, M. (2006): Boden als Puffer. Fachliche Vorstellungen und Schülervorstellungen zu einer zentralen Bodenfunktion (Oldenburger Vordrucke 554). Oldenburg.
- BORTZ, J./DÖRING, N. (⁴2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg.

- BREBURDA, J./RICHTER, G. (1998): Kurze Geschichte der Bodenerosion und ihrer Erforschung in Mitteleuropa. In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblem. Darmstadt. S. 21-30.
- BRUNOTTE, E./GEBHARDT, H./MEURER, M./MEUSBURGER, P./NIPPER, J. (Hrsg.) (2002.1): Lexikon der Geographie. Bd 2. Heidelberg, Berlin.
- BRUNOTTE, E./GEBHARDT, H./MEURER, M./MEUSBURGER, P./NIPPER, J. (Hrsg.) (2002.2): Lexikon der Geographie. Bd 3. Heidelberg, Berlin.
- BUCHWALD, K./ENGELHARDT, W. (1999): Umweltschutz – Grundlagen und Praxis. Bd. 4: Schutz des Bodens. Bonn.
- BURGER, J. (2001): Schülervorstellungen zu "Energie im biologischen Kontext" : Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen. Bielefeld. Online unter: <http://pub.uni-bielefeld.de/publication/2305865> (eingesehen am 25.09.2011).
- CASSEL-GINTZ M./HARENBERG, D. (2002): Syndrome des Globalen Wandels als Ansatz interdisziplinären Lernens in der Sekundarstufe. BLK-Programm 21.
- CASSEL-GINTZ M./BAHR, M. (2008): Syndrome globalen Wandels. Ein integriertes Analyseinstrument des globalen Wandels und seine Einsatzmöglichkeiten im Geographieunterricht. In: Praxis Geographie, 38/6, S. 4-9.
- DANN, H.-D. (1992): Variation von Lege-Strukturen zur Wissensrepräsentation. In: SCHEELE, B. (1992) (Hrsg.): Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster. S. 3-41.
- DARWIN, C. (1882): Die Bildung der Ackererde durch die Thätigkeit der Würmer mit Beobachtung über deren Lebensweisen. Stuttgart, Schweizerbar.
- DE HAAN, G. (1999): Von der Umweltbildung zur Bildung für Nachhaltigkeit. In: BAIER, H./GÄRTNER, H./MARQUARDT-MAU, B./SCHREIER, H. (Hrsg.): Umwelt, Mitwelt, Lebenswelt im Sachunterricht. Bad Heilbrunn. S. 75-102.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (DGfG) (Hrsg.) (2010): Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Bildungsabschluss – mit Aufgabenbeispielen. Berlin.
- DITTMANN, S. (2009): Bodenversalzung. Fachliche Vorstellungen und Schülervorstellungen zu einem geographischen Themenklassiker (Oldenburger Vordrucke 584). Oldenburg.
- DOERING, M. (2011): Hungersnot wird von Menschen gemacht. Berliner Zeitung 01.08.2011 Online unter: <http://www.berliner-zeitung.de/newsticker/-hungersnot-wird-von-menschen-gemacht-,10917074,10926668.html> (eingesehen am 03.05.2012).
- DÖRNER, D. (2003): Die Logik des Misslingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbeck bei Hamburg.
- DOVE, J. (1996). Student Teacher Understanding of the Greenhouse Effect, Ozone Layer Depletion and Acid Rain. Environmental Education Research, 2/1, S. 89-100.
- DOVE, J. (1997): Student ideas about weathering and erosion. International Journal of Science Education, 19/8, S. 971-980.

- DOVE, J. (1999): Theory into Practice - Immaculate Misconceptions. Sheffield: The Geographical Association.
- DREYFUS, A./ JUNGWRTH, E./ELIOVITCH, R. (1990): Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change – some implications, difficulties and problems. In: science education 74/5, S.555-569.
- DRIELING, K. (2005): Boden als Unterrichtsthema – Eine Pilotstudie mit Studienanfängern des Geographie-Lehramts. In: Geographie und ihre Didaktik, 33/4, S. 192-210.
- DRIELING, K. (2006.1): Schoolgirls' and schoolboys' alternative ideas of soil and soil degradation. In: HLAWATSCH, S./OBERMAIER, G./MARTIN, U. (Hrsg.): Geoscience Education: Understanding System Earth (Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften). Bd. 48, S. 143.
- DRIELING, K. (2006.2): Der experimentelle Algorithmus. In: Praxis Geographie, 36/11, S. 18-22.
- DRIELING, K. (2010): Erde oder Boden, Horizonte oder Schichten? Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Bodens. In: geographie heute. Sammelband Physische Geographie. S. 32-47.
- DRIVER, R. (1988): Changing conceptions. In: Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen, 6/3, S.161-198. Online unter: http://www.cdbeta.uu.nl/tdb/fulltext/Tdbeta_6_2_Driver_1988.pdf (eingesehen am: 26.09.2013).
- DRIVER, R./SCOTT, P. (1994): Schülerinnen und Schüler auf dem Weg zum Teilchenmodell. In: Naturwissenschaften im Unterricht-Physik, 22/5, S. 24-31.
- DUDENREDAKTION (Hrsg.) (1989.1): Deutsches Universallexikon. Wörterbuch A-Z. Mannheim, Wien, Zürich.
- DUDENREDAKTION (Hrsg.) (1989.2): Das Herkunftswörterbuch. Etymologie der deutschen Sprache. Mannheim, Zürich, Wien.
- DUDENREDAKTION (Hrsg.) (2007): Duden. Das große Buch der Zitate und Redewendungen. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich.
- DUIT, R. (1992): Forschungen zur Bedeutung vorunterrichtlicher Vorstellungen für das Erlernen der Naturwissenschaften. In: RIQUARTS, K./DIERKS, W./DUIT, R./EULEFELD, G./HAFT, H./STORK, H. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 4. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 47-84.
- DUIT, R. (1993): Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 4/16, S. 16-23.
- DUIT, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. Zeitschrift für Pädagogik, 41, S. 905-923.
- DUIT, R. (1996.1): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: DUIT, R./VON RHÖNECK, (Hrsg.) (1996): Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 145-162.

- DUIT, R. (1996.2): Von Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Vorstellungen - Zum Stand der Diskussion über Ansätze des "Conceptual Change". In: BEHRENDT, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie - Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Dresden, September 1995. Alsbach: Leuchtturm, 1996, S. 97-99.
- DUIT, R. (2006): Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Forschungsergebnisse und die Realität der Unterrichtspraxis. In: GIRWIDZ, R./GLÄSER-ZIKUNDA, M./LAUKENMANN, M./RUBITZKO, T. (Hrsg.): Lernen im Physikunterricht - Festschrift für Prof. Dr. Christoph von Rhöneck. Hamburg. S. 13-22.
- DUIT, R. (2008): Zur Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht. In: Geographie heute, 29/265, S. 3-6.
- DUIT, R. (2009): Bibliography STCSE – Students` and teachers` Conceptions and science education. Online unter: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html> (eingesehen am 02.01.2014).
- DUIT, R./TREAGUST, D. (1998). Learning in science: From behaviourisms towards social constructivism and beyond. In: FRASER, B./TOBIN, T. (Hrsg.): International Handbook of Science Education. Dordrecht, Boston, London. S. 3-25.
- EHWALD, E. (1964): Entwicklungslinien in der Geschichte der Bodenkunde (Albrecht Thaer Archiv, Bd.8). S. 5-36.
- EITEL, B. (1999): Bodengeographie (Das geographische Seminar). Braunschweig.
- ENBLIN, W./KRAHN, R./SKUPIN, S. (2000): Böden untersuchen. Wiebelsheim.
- EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR (EAU) (2002): Auf dem Boden der Tatsachen: Boden-degradation und nachhaltige Entwicklung in Europa. Eine Herausforderung für das 21. Jahrhundert. Umweltthemen-Serie No.16. Online unter: http://www.eea.europa.eu/de/publications/Environmental_issue_series_16 (eingesehen am 16.09.2013).
- EUROPEAN COMMISSION (2012.1): The state of soil in Europe – A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010. Luxembourg. Publications Office of the European Union. Online unter: http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2012_02_soil.pdf (eingesehen am 19.09.2013).
- EUROPEAN COMMISSION (2012.2): Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing. Brüssel. Online unter: http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/soil_sealing_guidelines_en.pdf (eingesehen am 19.09.2013).
- FALLOU, F. A. (1862): Pedologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde. Schönfeld, Dresden.
- FALLOU, F. A. (1865): Anfangsgründe der Bodenkunde. Schönfeld, Dresden.
- FAUST, D. (2007): Bodengeographie. In: GEBHARDT, H./GLÄSER, R./RADTKE, U./REUBER, P. (Hrsg.) (2007): Geographie – Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg. S. 469-517.

- FELLENBERG, G. (1994): Boden in Not: vergiftet, verdichtet, verbraucht. Stuttgart.
- FELZMANN, D. (2013): Didaktische Rekonstruktion des Themas "Gletscher und Eiszeiten" für den Geographieunterricht (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 41). Oldenburg.
- FIEDLER, H. J./REISSIG H. (1964): Lehrbuch der Bodenkunde. Jena.
- FLATH, M. (2012): Methodische Prinzipien. In: HAVERSATH, H. (Hrsg.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 250-258.
- FLICK, U. (1998): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendungen in Psychologie und Sozialwissenschaften. Hamburg.
- FRÄNZLE, O. (2002): Ökosystem. In: Lexikon der Geographie Band 3, S. 1-5.
- FRIEBERTSHÄUSER, B. (1997): Interviewtechniken – ein Überblick. In: FRIEBERTSHÄUSER, B./PRENGEL, A. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in den Erziehungswissenschaften. Weinheim, München. S. 371-395.
- FRIELINGHAUS, M./DEUMILCH, D. (2004): Wassererosion. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 220-231.
- FRIELINGHAUS, M./WINNIGE, B./DEUMILCH, D. (2004): Schutz vor Wassererosion. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 684-690.
- GEBHARDT, H./GLASER, R./RADTKE, U./REUBER, P. (Hrsg.) (2007): Geographie – Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg.
- GERNANT, P. (2007): Bodenkunde in der Geographie. Braunschweig.
- GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: Zeitschrift für Pädagogik, 41/6, S. 867-888.
- GRAßL, H. (1997): Brisante Mischung. Böden und globaler Wandel. In: Politische Ökologie. Sonderheft 10, S. 12-16.
- GREFE, C. (2009): Wertvoller Boden – Die Haut der Erde. Online unter: <http://www.zeit.de/2009/20/U-Boden> (eingesehen am 18.09.2013).
- GRIMM, J./GRIMM, W. (1860): Deutsches Wörterbuch. 2. Band. Leipzig.
- GRIMM, J./GRIMM, W. (1862): Deutsches Wörterbuch. 3. Band. Leipzig.
- GROEBEN, N./WAHL, D./SCHLEE, J./SCHEELE, B. (1988): Forschungsprogramm subjektive Theorien. Tübingen.
- GROEBEN, N./SCHEELE, B. (2000): Dialog-Konsens-Methodik im Forschungsprogramm Subjektive Theorien.[9 Absätze]. Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social research [Online Journal], 1/2. Art. 10. Online unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0002105> (eingesehen am 15.09.2013).
- GROPENGIEßER, H. (2001²): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 1). Oldenburg.
- GROPENGIEßER, H. (2003): Lebenswelten, Denkwelten, Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 4). Oldenburg.

- GROPENGIEBER, H. (2004): Denkfiguren zum Lehr-Lernprozess. Metaphernanalyse nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: GROPENGIEBER, H./JANBEN-BARTELS, A./SANDER, E. (Hrsg.) (2004): Lehren fürs Leben. Didaktische Rekonstruktion in der Biologie. Köln.
- GROPENGIEBER, H. (2005): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P./GLÄSER-ZIKUDA, M. (Hrsg.): Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse. S. 172-189.
- GROPENGIEBER, H. (2007): Theorie des Erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D./VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg. S. 105-116.
- HAAS, H.-D./SCHLESINGER D.M. (2007): Umweltökonomie und Ressourcenmanagement. Darmstadt.
- HAMMANN, M. (2006): Vorlesungsfolien zur Biologiedidaktik. Unveröffentlicht.
- HAPPS, J. C. (1981). Soils. Working paper of the Science Education Research Unit, University of Waikato, New Zealand.
- HAPPS, J. C. (1982). Some aspects of student understanding of soil. The Australian Science Teachers Journal, 28/3, S. 25-31.
- HAPPS, J.C. (1984). Soil generation and development: Views held by New Zealand students. Journal of Geography, 83, S. 177-180.
- HARD, G. (1982): (Geo-) Ökologische Probleme im Unterricht. In: JANDER, L./SCHRAMKE, W./WENZEL, H.- J. (Hrsg.): Metzler Handbuch für den Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Stuttgart. S. 237-246.
- HARENBERG, D. (2001): Syndrome globalen Wandels als überfachliches Unterrichtsprinzip. Online unter: <http://www.transfer-21.de/daten/texte/SyndromtextHarenberg.pdf> (eingesehen am 16.09.2013).
- HARTGE, K.H. (1999): Vom Wissen über die Böden zur wissenschaftlichen Bodenkunde. Mitteilungen Deutscher Bodenkundlicher Gesellschaft. Bd. 89, S. 39-60. Oldenburg.
- HASSENPFUG, W. (1996): Der Boden – seine Bedeutsamkeit aus Sicht der geographischen Fachdidaktik. In: Terra Nostra 96/10. S. 59-62.
- HASSENPFUG, W. (2000): Der Boden als Bildungsgegenstand des Geographieunterrichts – zum didaktischen Hintergrund bodenkundlicher Themen. In: Geographie und Schule, 22/26, S. 2-9.
- HASSENPFUG, W. (2004.1): Winderosion. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 231-244.
- HASSENPFUG, W. (2004.2): Schutz vor Winderosion. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 695-699.
- HASSENPFUG, W. /MÜLLER, K. (2003): Erziehung zum Bodenschutz. In: BLUME, H.-P./FELIX-HENNINGSEN, P./FREDE, H.-G./GUGGENBERGER, G./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1-32, Stand: 2009).
- HASSENPFUG, W./HLAWATSCH, S. (2005): Zum Erwerb geowissenschaftlicher Kompetenzen im geographischen Unterricht des 21. Jahrhunderts. In: KULKE,

- E./MONHEIM, H./WITTMANN, H. (Hrsg.): Grenzwerte – Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlung des 55. Deutschen Geographentages. Trier. S. 321-329.
- HÄUBLER, P./BÜNDER, W./DUIT, R./GRÄBER, W./MAYER, J. (Hrsg.) (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel. S. 169-219.
- HEBEL, A. (1995): Bodendegradation und ihre internationale Erforschung. In: Geographische Rundschau, 47/12, S. 686-691.
- HEINE, K. (1994): Bodenzerstörung – ein globales Umweltproblem. In: ANHUF, A./FRANKENBERG, P. (Hrsg.): Beiträge zu globalen Umweltproblemen. Akademie der Wissenschaften und der Literatur. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. Stuttgart.
- HEINZE, T. (2001): Qualitative Sozialforschung: Einführung, Methodologie und Forschungspraxis. München, Wien, Oldenburg.
- HELD, M. (1997): „Der letzte Dreck“ In: Politische Ökologie (1997) Sonderheft 10.
- HELLBERG-RODE, G. (2002-2004): Bodensatz I und Bodensatz II. (Projekt: HyperSoil - Entwicklung einer hypermedialen Lern- und Arbeitsumgebung zum Themenfeld "Boden" im (Sach-)Unterricht). Online unter: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/01/06.htm> (eingesehen am 20.09.2013).
- HEMMER, M. (2012): Die Geographiedidaktik – eine forschende Disziplin. In: HAVERSATH, H. (Hrsg.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 12-19.
- HILGARD, E. W. (1906): Soils: their formation, properties, composition, and relations to climate and plant growth in the humid and arid regions. New York.
- HILGE, K. (1999): Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zu Didaktischen Rekonstruktion. Göttingen.
- HOCHSCHULE OSNABRÜCK (o.J.): Boden lebt. Online unter: <http://www.al.hs-osnabrueck.de/bodenkoffer.html> (eingesehen am 18.09.2013).
- HOFFMANN, R. (2002): Umweltbildung im Geographieunterricht: von der Umwelt-erziehung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Geographie und ihre Didaktik, 30/4, S. 173-188.
- HOFFMANN, T./KORBY, W. (2006): TERRA global. Bodendegradation – Unser Boden in Gefahr?! SII Arbeitsmaterialien.
- HOPF, C. (2007): Qualitative Interviews – ein Überblick. In: FLICK, U./VON KARDORFF, E. VON/STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Hamburg. S.349-360.
- HORN, R. (2004.1): Standortanforderungen der Pflanzen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 93-108.
- HORN, R. (2004.2): Bodenverdichtung. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 195-219.
- HORN, R. (2004.3): Schutz vor Verdichtung und negativen Bearbeitungsfolgen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 677-680.
- HÖRSCH, C. (2007): Biologie verstehen: Mikroorganismen und mikrobielle Prozesse im Menschen (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd.19). Oldenburg.

- JANSSEN-BARTELS, A./SANDER, E.(2004): Verallgemeinerung qualitativer Daten in der biologiedidaktischen Lehr-Lernforschung. In: GROPEGIEßER, H./JANSEN-BARTELS, A./SANDER, E. (Hrsg.) (2004): Lehren fürs Leben. Didaktische Rekonstruktion in der Biologie. Köln. S. 109-130.
- JAX, K./ZAUKE G.P./VARESCHI E. (1992): Remarks on terminology and the description of ecological systems. In: Ecological Modelling, 63, S. 133-141.
- JAX, K. (2004): Haben Ökosysteme eine Eigenart? Gedanken zur Rolle des Eigenart-Begriffs in naturwissenschaftlich geprägten Naturschutzdiskussionen. In: FISCHER, L. (Hrsg.): Projektionsfläche Natur: Zum Zusammenhang von Naturbildern und gesellschaftlichen Verhältnissen. S. 135-163.
- JEDICKE, E. (1998): Raum-Zeit-Dynamik in Ökosystemen und Landschaften. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, 30/8/9, S. 229-236.
- JELEMENSKÁ, P. (2006): Biologie verstehen: ökologische Einheiten (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, Bd. 12). Oldenburg.
- JOHANNSEN, M./KRÜGER, D. (2005): Schülervorstellungen zur Evolution – eine quantitative Studie. In: HESSE, M./EWIG, M. (Hrsg.): Berichte des Instituts für Didaktik der Biologie, Bd. 14. Münster. S.23-48.
- KANWISCHER, D./T. RHODE-JÜCHTERN (2001): Wir stochern mit der Stange im Nebel. Konflikte und Konfliktbehandlung in Afrika. In: Geographie heute. 21/190, S. 36-41.
- KARGER, C.R./WIEDEMANN, P.M. (1998): Subjektive Modelle von Umweltproblemen. Ursachenszenarien von Umweltproblemen aus Laiensicht (Arbeiten zur Risiko-Kommunikation, Heft 65). Online unter: http://www.fz-juelich.de/inb/inb-mut//publikationen/hefte/heft_65.pdf (eingesehen am: 10.11.2010).
- KATTMANN, U./DUIT, R./GROPEGIEßER, H./KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. 3/3, S. 3-18.
- KATTMANN, U./GROPEGIEßER, H. (1998): Schulnahe fachdidaktische Lehr-/Lernforschung: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Oldenburger Vor-Drucke, 364). Oldenburg.
- KATTMANN, U. (2001): Didaktische Rekonstruktion als Programm. Vorwort. In: GROPEGIEßER, H. (2001²): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 1). Oldenburg.
- KATTMANN, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion – Eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D./VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der Biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg.
- KESTLER, F. (2002): Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts. Bad Heilbrunn.

- KLOHN, W./WINDHORST, H.-W. (1999): Physische Geographie: Böden, Vegetation, Landschaftsgürtel (Vechtaer Materialien zum Geographieunterricht, Bd. 6). Vechta.
- KIRSCHNER, P.A./SWELLER, J./CLARK, R.E. (2006): Why minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery; Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. In: *Educational Psychologist*, 41/2, S. 75-86.
- KÖCK, H. (2000): Neue Leitbilder für den Geographieunterricht? – Zur Zukunftsfähigkeit des Faches. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 28/3, S. 117-119.
- KÖCK, H./REMPFLER, A. (2004): Erkenntnisleitende Ansätze – Schlüssel zur Profilierung des Geographieunterrichts. Mit erprobten Unterrichtsvorschlägen. Köln.
- KOEHLER, H. (1999): Ökosystem Boden. In: KOEHLER, H./MATHES, K./BRECKLING, B. (HRSG.): *Bodenökologie interdisziplinär*. Berlin.
- KÖLLER, K./LINKE, C./LOIBL, B. (2007): Bewirtschaftungssysteme und ihre Auswirkungen auf das Bodengefüge. In: BLUME, H.-P./FELIX-HENNINGSEN, P./FREDE, H.-G./GUGGENBERGER, G./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde. Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1-32, Stand: 2009)*.
- KOTYNEK, M. (2010): Mangel an Böden: Verbaut, verwüstet, verloren. In: *Süddeutsche Zeitung* 17.05.2010. Online unter: <http://www.sueddeutsche.de/wissen/mangel-an-boeden-verbaut-verwuestet-verloren-1.154250> (eingesehen am 20.09.2013).
- KREMB, K. (2004): Syndrome globalen Wandels als ökogeographisches Vermittlungsraster. In: *GEOÖKO* 25/3/4, S. 307-310.
- KRETZSCHMAR, R. (2004): Technische Schutzmaßnahmen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): *Handbuch des Bodenschutzes*. Augsburg. S. 690-695.
- KRINGS, T. (2002): Zur Kritik des Sahel-Syndromansatzes aus Sicht der Politischen Ökologie. In: *Geographische Zeitschrift*, 90/3/4, S. 129-141.
- KRINGS, K. (2013): Syndromansatz. In: ROLFES, M./UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): *Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht – Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung*. Braunschweig. S. 514-521.
- KUCHARZYK, K. (2012): Bibliographie zum Bodenbewusstsein – Öffentlichkeitsarbeit und Forschung. Online unter: <http://www.dbges.de/wb/pages/kommissionen/boden-in-bildung-und-gesellschaft/links.php> (eingesehen am 29.09.2013).
- KUCHARZYK, K. (2013): Natur und Ökologie. In: ROLFES, M./UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): *Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht – Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung*. Braunschweig. S. 425-433.
- KUCKARTZ, U. (2005): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Wiesbaden.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (KMK) (2005): *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Geographie*. Rieden.
- KUNTZE, H./ROESCHMANN, G./SCHWERDTFEGER, G. (1994): *Bodenkunde*. Stuttgart.

- KÜRSCHNER, C./HORZ, H./SCHNOTZ, W. (2007): Wissenserwerb als konstruktiver Prozess. In: *Geographie und Schule*, 29/168, S. 11-17.
- KÜSTER, H. (2005): *Das ist Ökologie*. München.
- LAKOFF, G. (2005): *Women, fire, and dangerous things: what categories reveal about the mind*. Chicago.
- LAKOFF, G./JOHNSON, M. (2004): *Leben in Metaphern: Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern*. Heidelberg.
- LAMNEK, S. (1995): *Qualitative Sozialforschung – Bd. 1: Methodologie*. Weinheim.
- LAWSON, A. E./ABRAHAM, M. R./RENNER, J. W. (1989): *A Theory of Instruction: Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills*. Cincinnati. Online unter: <http://eric.ed.gov/?id=ED324204> (eingesehen am 25.09.2013).
- LENNARTZ, B. (2004): Boden- und Landschaftswasserhaushalt. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): *Handbuch des Bodenschutzes*. Augsburg. S. 29-58.
- LESER, H. (1991): *Ökologie wozu? Der graue Regenbogen oder Ökologie ohne Natur*. Berlin.
- LESER, H./PRASUHN, V./SCHAUB, D. (1998): *Bodenerosion und Landschaftshaushalt*. In: RICHTER, G. (Hrsg.): *Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt.
- LETHMATE, J. (2005): *Definitorische Konfusionen und methodologische Unschärfen bodenkundlicher Unterrichtsinhalte*. In: *Geoöko* 26/1/2, S. 113-134.
- LETHMATE, J. (2007.1): "Didaktische Rekonstruktion" als Forschungsrahmen der Geographiedidaktik. *Geographische Rundschau*, 59/7/8. S. 54-59.
- LETHMATE, J. (2007.2): *Praktische Waldökologie im Schulumfeld. Zum Anspruchsniveau eines geographischen Beitrags*. In: *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie*, 41/4, S. 162-176.
- LETHMATE, J. (2009.1): *Geoökologie, Umweltmonitoring und Umweltbildung*. In: LETHMATE, J. (Hrsg.): *Luft – Boden – Wasser – Wald. Geoökologische und ökologiedidaktische Untersuchungen in Westfalen (Westfälische Geographische Studien, 57)*. Münster. S. 7-21.
- LETHMATE, J. (2009.2): *Stickstoffregen im Münsterland. Zur Didaktik eines „globalen“ Umweltproblems*. In: LETHMATE, J. (Hrsg.): *Luft – Boden – Wasser – Wald. Geoökologische und ökologiedidaktische Untersuchungen in Westfalen (Westfälische Geographische Studien, 57)*. Münster. S. 101-185.
- LETHMATE, J. (2009.3): *Das geoökologische Anforderungsprofil in der Umweltbildung: Eine Fallstudie aus dem Trinkwasserschutzgebiet "Hohe Ward"/Münster*. In: LETHMATE, J. (Hrsg.): *Luft-Boden-Wasser-Wald. Geoökologische und ökologiedidaktische Untersuchungen in Westfalen (Westfälische Geographische Studien, 57)*. Münster. S. 187-250.
- LETHMATE, J. (Hrsg.) (2009.4): *Das Osning-Projekt. Geoökologische und ökologiedidaktische Forschung im Teutoburger Wald*. In: LETHMATE, J. (Hrsg.): *Luft – Boden – Wasser – Wald. Geoökologische und ökologiedidaktische Untersuchungen in Westfalen (Westfälische Geographische Studien, 57)*. Münster. S. 55-84.

- LETHMATE, J. (Hrsg.) (2009.5): Luft – Boden – Wasser – Wald. Geoökologische und ökologiedidaktische Untersuchungen in Westfalen (Westfälische Geographische Studien, 57). Münster.
- LETHMATE, J. (2012): Vorstellungen von Geographiestudierenden zum Begriff „Geoökosystem“. In: *Geographie und Schule*. 34/200, S. 39-43.
- MANDL, H. (2006): Wissensaufbau aktiv gestalten. In: FRIEDRICH VERLAG (Hrsg.): *Lernen. Wie sich Kinder und Jugendliche Wissen und Fähigkeiten aneignen*. S. 28-30.
- MARTSCHINEK, S. (2001): *Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen*. Münster, Berlin.
- MAYRING (2019): *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim.
- MAYRING, P. (1999). Zum Verhältnis qualitativer und quantitativer Analyse. In: BOLSCO, D./MICHELSEN, G. (Hrsg.): *Methoden der Umweltbildungsforschung*. Opladen. S. 13-26.
- MAYRING, P. (2000, Juni). Qualitative Inhaltsanalyse [28 Absätze]. *Forum: Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research [On-line Journal]*, 1/2. Online unter: <http://qualitative-research.net/fqs/fqs-d/2-00inhalt-d.htm> (eingesehen am: 25.09.2013).
- MAYRING, P. (2002): *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim.
- McKNIGHT, T. L./HESS, D. (2009): *Physische Geographie*. München.
- MEYER, B. (2008): *Wie muss die Wirtschaft umgebaut werden? Perspektiven einer nachhaltigeren Entwicklung*. Frankfurt.
- MEYER, C. (2003): *Bedeutung, Wahrnehmung und Bewertung des bilingualen Geographieunterrichts*
Studien zum zweisprachigen Erdkundeunterricht (Englisch) in Rheinland-Pfalz. Online-Dissertation <http://ub-dok.uni-trier.de/diss/diss45/20021118/20021118.pdf> (eingesehen am 25.09.2013). Universität Trier.
- MEYER, C. (2006): *Vielfältige Unterrichtsmethoden sachgerecht anwenden*. In: HAUBRICH, H. (Hrsg.): *Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret*. München, Düsseldorf, Stuttgart.
- MICHEEL, B. (1994): *Bodennutzung als umweltökonomisches Problem*. Bochum.
- MIETZEL, G. (1998): *Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens*. Göttingen.
- MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG, WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG (Hrsg.) (1999): *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Erdkunde. Heft 4715. Düsseldorf.
- MORGAN, R. P. C. (1999): *Bodenerosion und Bodenerhaltung*. Stuttgart.
- MOSBRUGGER, V./OTTO, K.-H. (2006): *Das System Erde-Mensch. Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften in Schule und Gesellschaft*. In: *Geographie heute*, 27/243, S. 2-7.

- MÖNTER, L. (2013): Geodeterminismus. In: ROLFES, M./UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht – Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig. S. 276-283.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1992): Die Entwicklung der Bodenkunde im ehemaligen Deutschen Reich und in der Bundesrepublik Deutschland. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. Oldenburg.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1997): Developments in soil science in Germany in the 19th century. In: YAALON, D. H./BERKOWICZ, S.: History of Soil Science: International Perspectives (Advances in Geocology, 29). Reiskirchen. S. 261-275.
- MÜLLER, M. (2009): Meteoriteneinschläge auf der Erde: Fachliche Konzepte, Schülerperspektiven und didaktische Umsetzung (Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 43). Weingarten.
- NIEBERT, K. (2010): Den Klimawandel verstehen – Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 31). Oldenburg.
- NOWACKI, A. (1899): Praktische Bodenkunde. Anleitung zur Untersuchung, Klassifikation und Kartierung des Bodens. Berlin.
- OTTO, K.-H. (2009): Von Naturrisiken und Sozialkatastrophen – zur didaktischen Neukonzeption eines traditionellen Themas im Geographieunterricht. In: Geographie und ihre Didaktik, 37/1. S. 29-48.
- OTTO, K.-H./SCHULER, S. (2012): Pädagogisch-Psychologische Ansätze. In: HAVERSATH, H. (Hrsg.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 133-164.
- PATZEL, N./LINDENTHAL, T. (2009): Der Umgang mit Böden im ökologischen Landbau. In: BLUME, H.-P./FELIX-HENNINGSSEN, P./FREDE, H.-G./GUGGENBERGER, G./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1-32, Stand: 2009).
- PEEZ, G. (o.J.): Kommentierte Transkription autobiografisch-narrativer Interviews. Online unter: <http://www.georgpeez.de/texte/download/kommtranskript.pdf> (eingesehen am 18.09.2013).
- POSNER, G. J./STRIKE, K. A./HEWSON, P. W./GERTZOG, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: Science Education, 66/2, S. 211-227.
- POTT, R./HÜPPE, J. (2007): Spezielle Geobotanik. Heidelberg.
- RAMANN, E. (²1905): Bodenkunde. Berlin.
- RAMANN, E. (³1914): Bodenkunde. Berlin.
- RAWDING, C. (2013): Feldarbeit: Unsere Landschaft lesen. In: ROLFES, M./UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht – Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig. S. 63-70.
- REICHHOLF, J. H. (2005): Die Zukunft der Arten. Neue ökologische Überraschungen. München

- REICHHOLF, J. H. (2008): *Stabile Ungleichgewichte: Die Ökologie der Zukunft*. Frankfurt am Main.
- REINFRIED, S. (2006.1): Interesse, Vorwissen, Fähigkeiten und Einstellungen von Schüler berücksichtigen. In: HAUBRICH, H. (Hrsg.): *Geographie unterrichten lernen – die neue Didaktik der Geographie konkret*. München. S. 49-78.
- REINFRIED, S. (2006.2): Alltagsvorstellungen und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. In: *Geographie heute*, 27/243, S. 38-43.
- REINFRIED, S. (2007): Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. In: *Geographie und Schule*, 29/168, S. 19-28.
- REINFRIED, S. (2010): Lernen als Vorstellungsänderungen: Aspekte der Vorstellungsforschung mit Bezügen zur Geographiedidaktik. In: REINFRIED, S. (Hrsg.): *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion*. Berlin. S. 1-32.
- REINFRIED, S./SCHULER, S. (2009.1): Die Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Alltagsvorstellungsforschung in den Geowissenschaften. Ein Projekt zur Erfassung der internationalen Forschungsliteratur. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 37/3. S.120-135.
- REINFRIED, S./SCHULER, S. (2009b): LLBG – Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Forschung über Alltagsvorstellungen. Online unter www.ph-ludwigsburg.de/LLBG (eingesehen am: 23.09.2013)
- REINFRIED, S./ROTTERMANN, B./AESCHBACHER U./HUBER, E. (2010): Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verändern – eine Voraussetzung für Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 32/2, S. 251-273.
- REINFRIED, S./TEMPELMANN, S. (2013): The Impact of Secondary School Students' Preconceptions on the Evolution of their Mental Models of the Greenhouse effect and Global Warming, *International Journal of Science Education*. Online unter: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2013.773598#.UYDao4JDRCY> (eingesehen am 19.09.2013).
- REINMANN-ROTHMEIER, G./MANDL, H. (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP, A./WEIDENMANN, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. S. 601-646. Weinheim.
- REMPFLER, A. (1997): Methodik geöökologischen Forschens. In: LESER, H. (Hrsg.): *Handbuch des Geographieunterrichts*. Bd. 11: Umwelt: Geoökosysteme und Umweltschutz. Köln.
- REMPFLER, A. (2007): Moderater Konstruktivismus im Unterricht. In: *Geographie und Schule*, 29/168, S. 29-35.
- REMPFLER, A./UPHUES, R. (2011.1): Für ein adäquates Verständnis von Geosystemen. In: *Geographie und Schule*, 33/189, S. 4-10.
- REMPFLER, A./UPHUES, R. (2011.2): Systemkompetenz und ihre Förderung im Geographieunterricht. In: *Geographie und Schule*, 33/189, S. 22-33.

- RHODE-JÜCHTERN, T. (2004): Derselbe Himmel, verschiedene Horizonte. Zehn Werkstücke zu einer Geographiedidaktik der Unterscheidungen (Materialien zu Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde, Bd 18). Wien.
- RHODE-JÜCHTERN, T. (2009): Eckpunkte einer modernen Geographiedidaktik – Hintergrundbegriffe und Denkfiguren. Bad Schussenried.
- RHODE-JÜCHTERN, T. (2012): Perspektiven und Visionen. In: HAVERSATH, H. (Hrsg.): Geographiedidaktik. Braunschweig. S. 64-68.
- RHODE-JÜCHTERN, T./J. SCHINDLER/A. SCHNEIDER (2008): Transfer und Exemplarität - Empirische Illustration zum Syndromansatz. In: Geographie und Schule, 30/176, S. 19-26.
- RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt.
- RIEMEIER, T. (2005): Biologie verstehen: Die Zelltheorie (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, Bd. 7). Oldenburg.
- RINSCHDE, G. (2007): Geographiedidaktik. Paderborn, München, Wien, Zürich.
- ROGALL, H. (2002): Neue Umweltökonomie – Ökologische Ökonomie. Opladen.
- RUDTKE, U. (2007): Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen zur Entstehung und Entwicklung des menschlichen Lebens - ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, Bd. 20). Oldenburg.
- RUSCH, H.-P. (2004): Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie biologischen Denkens. Xanten.
- RUSSEL, E. J./BREHM, H. (1914): Boden und Pflanze. Dresden, Leipzig.
- RUSSELL, T./BELL, D./LONGDEN, K./MCGUIGAN, L. (1993). Rocks, soil and weather. Liverpool.
- SANDER, E. (1998): Das Verständnis des biologischen Gleichgewichts in der Fachwissenschaft und in den Vorstellungen von Schüler (Oldenburger Vor-Drucke 366.) Oldenburg.
- SCHEELE, B. (1992) (Hrsg.): Struktur-lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster
- SCHEELE, B./GROEBEN, N./CHRISTMANN, U. (1992): Ein Alltagssprachliches Struktur-lege-Spiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In: SCHEELE, B. (Hrsg.): Struktur-lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster. S. 3-41.
- SCHEFFER, F./SCHACHTSCHABEL, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg.
- SCHIMMING, C.-G. (2004.1): Belastung mit Säuren. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 297-325.
- SCHIMMING, C.-G. (2004.2): Schutz vor Säuren und deren Folgen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 716-722.
- SCHINDLER, J. (2005): Syndromansatz: ein praktisches Instrument für die Geographiedidaktik (Praxis Neue Kulturgeographie, Bd. 1). Münster.

- SCHMIDT, C. (2003): „Am Material“: Auswertungstechniken für Leitfadenterviews. In: FRIEBERTSHÄUSER, B./PRENGEL, A. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Weinheim/München, S. 544-568.
- SCHNAITMANN, G.W. (2004): Forschungsmethoden in den Erziehungswissenschaften. Frankfurt am Main, Berlin.
- SCHNOTZ, W. (1994): Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. Weinheim.
- SCHNOTZ, W. (2001): Conceptual Change. In: ROST, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim, S. 75-81.
- SCHNOTZ, W. (2002): Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In: ISSING, L.J./KLIMSA, P. (Hrsg.): Informationen und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim. S. 65-81.
- SCHUBERT, J.C. (2013): Schülervorstellungen zu Wüsten und Desertifikation - Eine empirische Untersuchung zu einem zentralen Thema des Geographieunterrichts. Münster. Online unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:6-48319559913> (eingesehen am 19.09.2013).
- SCHULER, S. (2011): Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Dissertation. (Bochumer Geographische Arbeiten, Bd. 78). Bochum.
- SCHULER, S./FELZMANN, D. (2013): Schülervorstellungen. In: ROLFES, M./UHLENWINKEL, A. (Hrsg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht – Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig. S. 148-154.
- SCHULTZE, E.-D./BECK, E./MÜLLER-HOHENSTEIN, K. (2002): Pflanzenökologie. Heidelberg, Berlin.
- SIEBERT, H. (2000): Der Kopf im Sand – Lernen als Konstruktion von Lebenswelten. In: BOLSCO, D./DE HAAN, G. (Hrsg.): Konstruktivismus und Umweltbildung. Opladen. S. 15-32.
- STAHR, K. (O.J.): Boden und Böden – Einleitung. In: BLUME, H.-P./FELIX-HENNINGSSEN, P./FREDE, H.-G./GUGGENBERGER, G./HORN, R./STAHR, K. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde. Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1-32, Stand: 2009).
- STAHR, K./KANDELER, E./HERRMANN, L./STRECK, T. (2008): Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart.
- STEINKE, I. (2000): Gütekriterien qualitativer Forschung. In: FLICK, U./VON KARDORFF, E./STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung – Ein Handbuch, Hamburg. S. 319-331.
- STORK, H. (1995): Was bedeuten die aktuellen Forderungen „Schülervorstellungen berücksichtigen, „konstruktivistisch“ lehren!“ für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I? In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 1/1, S. 15-28. Online unter: <http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/jg1h1.htm> (eingesehen am 18.09.2013).
- STRAHLER, A. H./STRAHLER, A. N. (2006): Physische Geographie. Stuttgart.

- TERHART, E. (1999): Konstruktivismus und Unterricht. In: Zeitschrift für Pädagogik 1999, 45/5. S. 629–647.
- TRAUTZ, D. (2004): Böden als Lebensraum von Organismen. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Augsburg. S. 72-92.
- ULRICH, B. (1988): Ökochemische Kennwerte des Bodens. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. 151/3, S. 171-176. Online unter: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jpln.19881510304/pdf> (eingesehen am 24.09.2013).
- WICKE, L. (1993): Umweltökonomie. Eine praxisorientierte Einführung. München.
- WILD, A. (1995): Umweltorientierte Bodenkunde. Eine Einführung. Heidelberg, Berlin.
- WILHELMI, V. (2011): Geographische Umweltbildung weiterdenken. In: Praxis Geographie, 41/2, S. 4-8.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (1993): Welt im Wandel – Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Hauptgutachten. Bonn
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (1994): Welt im Wandel – Die Gefährdung der Böden. Hauptgutachten. Bonn.
- WITTIG, R./STREIT, B. (2004): Ökologie. Stuttgart.
- WITZEL, A. (1982): Verfahren der qualitativen Sozialforschung. Überblick und Alternativen. Frankfurt am Main.
- WITZEL, A. (2000): Das problemzentrierte Interview [25 Absätze]. Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research, 1/1, Art. 22. Online unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0001228> (eingesehen am 18.09.20013).
- WODZINSKI, R. (2004): Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: MÜLLER, R./WODZINSKI, R./HOPF, M. (Hrsg.): Schülervorstellungen in der Physik. Köln. S. 23-36.
- YAALON, D. H./BERKOWICZ S.: History of Soil Science: International Perspectives (Advances in Geocology, 29). Reiskirchen. S. 1-13.