

Bochumer Geographische Arbeiten

begründet von Peter Schöller

Band 78

Herausgegeben vom Geographischen Institut  
der Ruhr-Universität Bochum  
Schriftleitung: Frank Dickmann

**Stephan Schuler**

# **Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels**

**Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen  
aus geographiedidaktischer Perspektive**

Bochum: Europäischer Universitätsverlag /  
Bochumer Universitätsverlag 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

**Schuler , Stephan** : Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels ; Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive ; Stephan Schuler. Bochum u.a. : Europäischer Univ.-Verl. , 2011 (Bochumer Geographische Arbeiten ; 78) ISBN 978-3-89966-367-9 <zugl.: Diss., Bochum 2010>

EAN 

Das Buch wurde mit finanzieller Unterstützung des Instituts für Geographie der Ruhr-Universität Bochum gedruckt.

Bestellungen: Ruhr-Universität Bochum, Postfach Bochumer Universitätsverlag, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, [verlag@rub.de](mailto:verlag@rub.de), <http://verlag.rub.de>, Tel. (0234) 32-11993, Fax -14993.

Alle Rechte vorbehalten, auch das der auszugsweisen photomechanischen Wiedergabe oder der Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

This is a PEER reviewed publication.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek: The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de> .

This publication is shipped internationally. Available from: Ruhr University Bochum, P.O.Box The University Press Bochum, Universitaetsst. 150, 44801 Bochum, Germany, [verlag@rub.de](mailto:verlag@rub.de), <http://verlag.rub.de>, phone +49 (234) 32-11993, fax +49 (234) 32-14993.

Book cover image courtesy of Earth Sciences and Image Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center.



© 2011 Europäischer Universitätsverlag (European University Press) Berlin, Bochum, Dülmen, London, Paris



© 2011 Bochumer Universitätsverlag (The University Press Bochum)

Stephan Schuler

**Alltagstheorien  
zu den Ursachen und Folgen  
des globalen Klimawandels**

**Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen  
aus geographiedidaktischer Perspektive**

Dissertation, genehmigt von der  
Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.

Tag der mündlichen Prüfung: 16. 07. 2010

Gutachter:

Prof. Dr. Karl-Heinz Otto

Prof. Dr. Eberhard Kroß

Weiterer Betreuer:

Prof. Dr. Hansjörg Seybold

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit untersucht die Alltagstheorien von Schülerinnen und Schülern zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel. Die Frage, wie Menschen den globalen Klimawandel, seine Ursachen und seine möglichen Auswirkungen wahrnehmen, ist in mehrfacher Hinsicht von großer Relevanz. Alle gesellschaftlichen Reaktionen auf das Problem des globalen Klimawandels – sowohl im Bereich des politischen Handelns wie auch beim persönlichen Alltagshandeln – werden letztlich nicht direkt von den physischen Umweltveränderungen bestimmt, sondern von dem sozialen bzw. persönlichen Konstrukt, das in der Gesellschaft bzw. beim Einzelnen zum globalen Klimawandel vorliegt. Um die Reaktionen der Menschen auf das Problem des globalen Klimawandels verstehen und Maßnahmen zum Klimaschutz erfolgreich planen und umsetzen zu können, muss man deshalb die sozialen und individuellen Konstrukte zum globalen Klimawandel kennen und berücksichtigen (Peters & Heinrichs 2005, S. 2). Mit entsprechenden Fragestellungen beschäftigen sich unter anderem die Umweltpsychologie und die Umweltsoziologie.

Im pädagogisch-didaktischen Kontext ist die Analyse von Alltagstheorien, wie sie in dieser Arbeit vorgenommen wird, darüber hinaus auch aus anderen Gründen von Bedeutung. Im Zentrum steht hier die fachdidaktische bzw. lernpsychologische Perspektive, der es um eine Optimierung von Unterricht zu diesem Themenfeld geht. Alltagstheorien und Schülervorstellungen können dabei zugleich als Lernvoraussetzungen, als Lernhindernisse und als Lernergebnisse betrachtet werden. Ihre Analyse dient als Ausgangspunkt, um Lernangebote und Unterrichtsarrangements gezielt zu verbessern.

Zum Entstehungszusammenhang dieser Arbeit gehören zwei verschiedene pädagogische Disziplinen, die durchaus eng miteinander verbunden sind. Der Bezug zur Bildung für nachhaltige Entwicklung ergibt sich aus der Zusammenarbeit in der Arbeitsgruppe Umweltbildungsforschung um Prof. Dr. Hansjörg Seybold, in der diese Arbeit konzipiert und entwickelt wurde. Der Bezug zur Geographiedidaktik ergibt sich aus meinem persönlichen Hintergrund als Lehrer für Geographie und Physik und mittlerweile als Dozent für Geographie und Geographiedidaktik an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg.

In die Entstehungsgeschichte dieser Arbeit waren zahlreiche Personen involviert, die mich auf diesem Weg maßgeblich unterstützt haben.

An erster Stelle gilt mein Dank Prof. Dr. Hansjörg Seybold, der die Arbeit von Beginn an mit großem persönlichem Engagement betreut und ihren gesamten Entstehungsprozess in zahlreichen Gesprächen über viele Höhen und Tiefen hinweg maßgeblich unterstützt hat. Entscheidende Impulse durch viele intensive und kritisch-konstruktive Gespräche verdanke ich zudem meinen beiden Mitstreitern in der Arbeitsgruppe Umweltbildungsforschung Prof. Dr. Werner Rieß und Dr. Martina Knörzer sowie den Mitgliedern des Forschungs- und Nachwuchskollegs „Umweltbildung im Kontext nachhaltiger Entwicklung in der Grundschule“ an den Pädagogischen Hochschulen Ludwigsburg und Schwäbisch Gmünd.

Bei Prof. Dr. Karl-Heinz Otto und Prof. Dr. Eberhard Kroß bedanke ich mich sehr herzlich für die Betreuung bzw. Begutachtung der Arbeit und für wichtige Beratungsgespräche in verschiedenen Projektphasen. Prof. Dr. Wulf Habrich und Prof. Dr. Wilfried Hoppe danke ich für die wertvolle Unterstützung bei den institutionellen Rahmenbedingungen während der Entstehung dieses Projekts. Wertvolle Ideen und kritische Anmerkungen zur Forschungs- und Auswertungsmethodik habe ich zudem in mehreren „Expertengesprächen“ erhalten, für die ich mich herzlich bedanken möchte bei Prof. Dr. Dietmar Bolscho und seinem damaligen Team mit Prof. Dr. Katrin Hauenschild und Prof. Dr. Meike Wulfmeyer sowie bei Prof. Dr. Cornelia Gräsel.

Meiner früheren Kollegin Prof. Dr. Sibylle Reinfried danke ich nicht nur für wichtige Hinweise zur fachdidaktischen und psychologischen Theorie sowie zur Dateninterpretation, sondern auch für die

sehr inspirierende gemeinsame Arbeit an Forschungsprojekten zur Alltagsvorstellungsforschung, die sich positiv auf diese Arbeit ausgewirkt hat.

Herrn Prof. Dr. André Kilchenmann danke ich für die großzügig zur Verfügung gestellte Infrastruktur sowie für die gewährten Freiräume im Rahmen meiner Arbeit am Institut für Geographie und Geoökologie II der Universität Karlsruhe. Nach meinem Wechsel an die Pädagogische Hochschule Ludwigsburg haben mich meine Kollegen Prof. Dr. Armin Hüttermann, Prof. Dr. Peter Kirchner und Kerstin Drieling nicht nur durch ein gutes Arbeitsklima, sondern auch durch verschiedene Entlastungen während der Zeit der Fertigstellung der Arbeit nachdrücklich unterstützt. Bedanken möchte ich mich außerdem bei den studentischen Hilfskräften, auf die ich in verschiedenen Projektphasen zurückgreifen konnte, sowie bei den Schüler/innen und Lehrer/innen, die durch ihre Teilnahme an dieser Untersuchung diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Eine wichtige Stütze in der ersten Projekthälfte war außerdem meine frühere Karlsruher Kollegin Dr. Claudia Rabe, die mir auch beim Korrekturlesen in der Endphase gemeinsam mit Marco Piroth sehr geholfen hat.

Und schließlich wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung durch meine Frau Claudia Ehret, die den Entstehungsprozess der Arbeit in ungezählten Gesprächen kritisch-konstruktiv begleitet hat, mir auch im Alltag stets den nötigen Freiraum sowie den emotionalen Rückhalt gegeben hat und in der anstrengenden Endphase zudem den Großteil des Korrekturlesens übernommen hat.

Stephan Schuler  
Ludwigsburg, Dezember 2010

# Inhaltsverzeichnis

<i>Vorwort</i> .....	<b>1</b>
<i>Inhaltsverzeichnis</i> .....	<b>3</b>
<i>Abbildungsverzeichnis</i> .....	<b>8</b>
<i>Tabellenverzeichnis</i> .....	<b>10</b>
<i>Einleitung</i> .....	<b>11</b>
<b>1 Problemstellung und Begründungszusammenhang</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Alltagsvorstellungen von Schülern – eine fachdidaktische Forschungsaufgabe</b> .....	<b>14</b>
1.1.1 Was sind Alltagsvorstellungen? – Klärung zentraler Begrifflichkeiten .....	14
1.1.2 Alltagsvorstellungen und fachliches Lernen – epistemologische Grundlagen und Forschungstraditionen .....	17
1.1.2.1 Konstruktivismus als epistemologischer Interpretationsrahmen .....	17
1.1.2.2 Entwicklungslinien und Forschungsfelder der Alltagsvorstellungsforschung .....	21
1.1.3 Welche Merkmale und Eigenschaften haben Alltagsvorstellungen? – Erkenntnisse aus der Forschung zu Alltagsvorstellungen und Conceptual Change .....	23
1.1.3.1 Erkenntnisse aus der Alltagsvorstellungsforschung im Überblick .....	23
1.1.3.2 Zur Entstehung von Alltagsvorstellungen und Alltagstheorien .....	24
1.1.3.3 Struktureigenschaften von Alltagsvorstellungen und die Erklärung der Abweichungen von wissenschaftlichen Theorien.....	25
1.1.3.4 Weshalb sind Alltagstheorien so stabil und schwer veränderbar?.....	28
1.1.4 Welche Rolle spielen Alltagsvorstellungen bei der Planung von Unterricht? – Das Modell der didaktischen Rekonstruktion .....	29
<b>1.2 Globale Umweltprobleme als Bildungsaufgabe</b> .....	<b>32</b>
1.2.1 Spezifische Merkmale globaler Umweltprobleme .....	32
1.2.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) .....	37
1.2.3 Zur Rolle des Wissens in Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	46
<b>1.3 Der globale Klimawandel: inhaltliche Strukturierung und fachliche Klärung</b> .....	<b>49</b>
1.3.1 Inhaltliche Strukturierung.....	49
1.3.2 Fachwissenschaftliche Vorstellungen und Theorien zu Treibhauseffekt und Klimawandel.....	51
1.3.2.1 Atmosphärische Prozesse – der Treibhauseffekt .....	54
1.3.2.2 Ursachen von anthropogenem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel.....	57
1.3.2.3 Folgen des globalen Klimawandels .....	65
1.3.3 Der globale Klimawandel als soziales Konstrukt in Gesellschaft und Medienöffentlichkeit ....	75
1.3.3.1 Die gesellschaftliche Interpretation des globalen Klimawandels .....	75
1.3.3.2 Die Rolle der Medien .....	77
<b>1.4 Stand der Forschung über Alltagsvorstellungen zum Thema globaler Klimawandel</b> .....	<b>81</b>
1.4.1 Fachdidaktische Forschung zu geowissenschaftlichen Alltagsvorstellungen .....	81

1.4.2	Ergebnisse zum Thema globaler Klimawandel .....	82
1.4.2.1	Boyes & Stanisstreet (1993): Eine umfassende Untersuchung von Alltagsvorstellungen zum anthropogenen Treibhauseffekt .....	83
1.4.2.2	Koulaidis & Christidou (1999): Modelle zur Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes.....	86
1.4.2.3	Rye, Rubba & Wiesenmayer (1997): Vermengung von Vorstellungen zu Treibhauseffekt und Ozonloch .....	87
1.4.2.4	Andersson & Wallin (2000): Erklärung des Phänomens „Treibhauseffekt“ .....	87
1.4.2.5	Aeschbacher, Caló & Wehrli (2001): Interventionsstudie zu der Vorstellung, die Ursache des Treibhauseffektes sei ein Loch in der Atmosphäre .....	88
1.4.2.6	Österlind (2005): Eine Lernprozess-Studie zu den Themen anthropogener Treibhauseffekt und Ozonschichtzerstörung .....	89
1.4.2.7	Dove (1996): Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zu Treibhauseffekt und Ozonloch.....	90
1.4.2.8	Kempton (1991): Modellvorstellungen zum globalen Klimawandel bei Erwachsenen.....	90
1.4.2.9	Böhm & Mader (1998): Wissensstrukturen zu globalen Umweltproblemen .....	91
1.4.2.10	Gräsel (2002): Differenziertheit des Wissens und ökologisches Handeln.....	93
1.4.3	Zusammenfassung des Forschungsstandes.....	94
<b>1.5</b>	<b>Zusammenfassung von Problemstellung und Begründungszusammenhang für diese Untersuchung.....</b>	<b>97</b>
<b>2</b>	<b><i>Alltagstheorien – Theoretische Konzeption und methodologische Grundlagen .....</i></b>	<b><i>102</i></b>
<b>2.1</b>	<b>Alltagstheorien als subjektive Theorien .....</b>	<b>102</b>
2.1.1	Das Forschungsprogramm Subjektive Theorien (FST).....	102
2.1.2	Besonderheiten des Themas „globaler Klimawandel“ als Gegenstand einer subjektiven Theorie.....	105
2.1.3	Interviewtechniken und Explizierungshilfen.....	106
2.1.4	Struktur-Lege-Techniken als Strukturierungsverfahren .....	107
<b>2.2</b>	<b>Alltagstheorien als multiple mentale Repräsentation .....</b>	<b>109</b>
2.2.1	Kognitive Schemata – hierarchisch organisierte Wissenseinheiten .....	109
2.2.2	Propositionale Repräsentation – sprachlich-symbolische Netzwerke aus elementaren Bedeutungselementen.....	111
2.2.3	Mentale Modelle – ganzheitlich-analoge Repräsentation von Wissen.....	112
2.2.4	Das Zusammenspiel verschiedener Repräsentationsformen beim Wissenserwerb .....	113
<b>2.3</b>	<b>Alltagstheorien aus Mappings und Basismodellen – eine theoretische Konzeption als Basis der Untersuchung .....</b>	<b>116</b>
<b>3</b>	<b><i>Fragestellungen, Untersuchungsdesign und Methodik .....</i></b>	<b><i>121</i></b>
<b>3.1</b>	<b>Ziele und Fragestellungen der Untersuchung.....</b>	<b>121</b>
<b>3.2</b>	<b>Grundlagen der Forschungsmethodik.....</b>	<b>123</b>
3.2.1	Qualitativer Forschungsansatz.....	123
3.2.2	Grundlagen und Prinzipien der ausgewählten Forschungsmethoden.....	124
3.2.3	Mapping-Verfahren zur graphischen Darstellung von Wissensstrukturen.....	127

<b>3.3</b>	<b>Untersuchungsdesign .....</b>	<b>128</b>
3.3.1	Das Untersuchungsdesign im Überblick .....	128
3.3.2	Stichprobenauswahl.....	130
3.3.3	Die Differenziertheit der Alltagstheorien als Samplingkriterium .....	133
3.3.4	Gütekriterien und Strategien zur Geltungs- und Qualitätssicherung.....	134
3.3.5	Durchführung der Untersuchung.....	137
<b>3.4</b>	<b>Methodik der explorativen Vorstudie (schriftliche Befragung).....</b>	<b>139</b>
3.4.1	Erhebungsmethodik: Aufbau des Fragebogens .....	139
3.4.2	Auswertungsmethodik.....	140
<b>3.5</b>	<b>Methodik der Hauptuntersuchung (Interviewstudie).....</b>	<b>142</b>
3.5.1	Erhebungsmethodik: Der Interviewleitfaden und die Methode der simultanen Strukturvisualisierung .....	142
3.5.1.1	Problemzentrierte Interviews und theoretische Vorstrukturierung.....	143
3.5.1.2	Aufbau des Interviewleitfadens .....	144
3.5.1.3	Die Methode der simultanen Strukturvisualisierung zur Erhebung von Alltagstheorien und die Syntax der Mapping-Darstellungen.....	148
3.5.2	Aufbereitung der Interviewdaten: Texte – Mappings – Modal-Mappings .....	151
3.5.2.1	Erstellung einer Textdatenbank in MAXqda .....	152
3.5.2.2	Erstellung von Mappings zu den einzelnen Alltagstheorien .....	153
3.5.2.3	Erstellung von Modal-Mappings als Aggregation der Einzeltheorien .....	155
3.5.3	Auswertungsmethodik zur Identifikation der Basismodelle.....	158
<b>4</b>	<b>Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>161</b>
<b>4.1</b>	<b>Methodischer Gang der Auswertung.....</b>	<b>161</b>
<b>4.2</b>	<b>Alltagsvorstellungen über den globalen Klimawandel im Überblick – Ergebnisse der explorativen Vorstudie.....</b>	<b>162</b>
4.2.1	Vorstellungen zur Bedeutung des Klimawandels als globales Problem .....	163
4.2.1.1	Wahrnehmung als globales Problem und Bewertung seiner Bedrohlichkeit.....	163
4.2.1.2	Vorstellungen zu den Zusammenhängen zwischen verschiedenen globalen Problemen und Entwicklungstrends .....	166
4.2.2	Vorstellungen über Ursachen und Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes.....	167
4.2.3	Vorstellungen über die Handlungsmöglichkeiten des Einzelnen .....	171
4.2.4	Interessen, Informationsquellen und die Bedeutung der Schulfächer .....	173
4.2.4.1	Interessen .....	174
4.2.4.2	Informationsquellen und die Rolle verschiedener Schulfächer .....	175
4.2.4.3	Die Behandlung des Themas in verschiedenen Schulfächern und Projekten .....	177
<b>4.3</b>	<b>Alltagstheorien als Mapping – zwei exemplarische Einzelfallbeschreibungen.....</b>	<b>178</b>
4.3.1	Beispiel für eine undifferenzierte Theorie: Irene (TR10).....	179
4.3.2	Beispiel für eine differenzierte Theorie: Bernd (HK9) .....	181
<b>4.4</b>	<b>Atmosphärische Prozesse: der anthropogene Treibhauseffekt.....</b>	<b>184</b>
4.4.1	Basismodelle über den anthropogenen Treibhauseffekt.....	185

4.4.1.1	Glashaus-Modell.....	185
4.4.1.2	Ozonloch-Modell.....	189
4.4.1.3	Übersicht über die Verbreitung von Glashaus- und Ozonloch-Modell .....	191
4.4.2	Vergleich von Alltagstheorien und wissenschaftlichen Vorstellungen zu den atmosphärischen Prozessen .....	193
<b>4.5</b>	<b>Ursachen des globalen Klimawandels .....</b>	<b>195</b>
4.5.1	Modal-Mapping zu den Ursachen .....	195
4.5.1.1	Ursachenstränge und Ursachenfelder .....	197
4.5.1.2	Die Rolle der einzelnen Verursacher .....	202
4.5.1.3	Inhaltliche Unterschiede nach der Differenziertheit der Alltagstheorien .....	203
4.5.2	Basismodelle zu den Ursachen.....	207
4.5.2.1	CO <sub>2</sub> -Fossilenergie-Modell.....	207
4.5.2.2	Luftverschmutzungs-Modell.....	210
4.5.2.3	Umweltverschmutzungs-Modell.....	214
4.5.2.4	Luftreinigungs-Photosynthese-Modell .....	218
4.5.2.5	Das Kohlenstoffspeicher-Modell als wissenschaftlich korrekte Alternative zum Luftreinigungs-Photosynthese-Modell .....	223
4.5.2.6	Ursachenfelder ohne spezifische Basismodelle: FCKW-Quellen und Methan-Quellen.....	223
4.5.2.7	Übersicht über die Verbreitung der Basismodelle zu den Ursachen .....	224
4.5.3	Skepsis über den Einfluss des Menschen auf den globalen Klimawandel .....	225
4.5.4	Vergleich von Alltagstheorien und wissenschaftlichen Vorstellungen zu den Ursachen .....	228
4.5.4.1	Übereinstimmende Vorstellungen bei den Ursachen.....	228
4.5.4.2	Abweichende Vorstellungen bei den Ursachen.....	229
<b>4.6</b>	<b>Folgen des globalen Klimawandels .....</b>	<b>232</b>
4.6.1	Modal-Mapping zu den Folgen .....	232
4.6.1.1	Folgenstränge und Problemfelder.....	232
4.6.1.2	Folgenstränge zu den Umweltveränderungen.....	235
4.6.1.3	Problemfelder (Auswirkungen auf Mensch und Natur) .....	237
4.6.1.4	Inhaltliche Unterschiede nach der Differenziertheit der Alltagstheorien .....	240
4.6.2	Basismodelle zu den Folgen.....	243
4.6.2.1	Aufheizungs-Modell – globaler Anstieg der Temperaturen.....	244
4.6.2.2	Katastrophen-Modell – Klimawandel als Ansammlung von Naturkatastrophen und Klimaveränderungen mit diffusen Ursachen .....	249
4.6.2.3	System-Modell – Klimawandel als Störung bzw. Veränderung des Klimasystems..	252
4.6.2.4	Klimazonen-Modell – die Verlagerung von Klimazonen als zentrale Folge .....	257
4.6.2.5	UV-Strahlungs-Modell – verstärkte Strahlung durch die Zerstörung der Ozonschicht .....	259
4.6.2.6	Übersicht über die Verbreitung der Basismodelle zu den Folgen .....	263
4.6.3	Vergleich von Alltagstheorien und wissenschaftlichen Vorstellungen zu den Folgen .....	264
4.6.3.1	Übereinstimmende Vorstellungen bei den Folgen.....	264
4.6.3.2	Abweichende Vorstellungen bei den Folgen.....	265
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung, Diskussion, didaktische Konsequenzen .....</b>	<b>271</b>
<b>5.1</b>	<b>Übersicht über Konzeption und Auswertung der Untersuchung .....</b>	<b>271</b>
<b>5.2</b>	<b>Vorstellungen über die Bedeutung des globalen Klimawandels als globales Umweltproblem .....</b>	<b>272</b>

<b>5.3</b>	<b>Alltagstheorien über atmosphärische Prozesse beim anthropogenen Treibhauseffekt ...</b>	<b>273</b>
5.3.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	273
5.3.2	Erklärungsansätze zur Entstehung und Verbreitung des Ozonloch-Modells .....	276
5.3.3	Didaktische Konsequenzen .....	281
<b>5.4</b>	<b>Alltagstheorien über die Ursachen des globalen Klimawandels .....</b>	<b>283</b>
5.4.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	283
5.4.2	Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen .....	288
5.4.2.1	Luftverschmutzungs-Modell.....	289
5.4.2.2	Luftreinigungs-Photosynthese-Modell .....	292
5.4.2.3	Umweltverschmutzungs-Modell und weitere Vorstellungen zu den Ursachen.....	295
<b>5.5</b>	<b>Alltagstheorien über die Folgen des globalen Klimawandels .....</b>	<b>297</b>
5.5.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse .....	297
5.5.2	Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen .....	304
5.5.2.1	Das Aufheizungs-Modell und die daraus abgeleiteten Folgen „Polschmelze“, „Meeresspiegelanstieg“ und „Trockenheit / Dürre“ .....	305
5.5.2.2	Das Katastrophen- und das Klimazonen-Modell und das Problem, komplexe Klimafolgen zu erklären .....	307
5.5.2.3	Das System-Modell und Defizite bei klimatologischen Grundkenntnissen und Systemdenken in den Alltagstheorien .....	311
5.5.2.4	Das UV-Strahlungs-Modell und die Auswirkungen des Ozonloch-Modells auf die Folgen-Theorien .....	314
5.5.2.5	Theorielücken bei entwicklungsbezogenen, sozialen und sozioökonomischen Folgeproblemen .....	315
<b>5.6</b>	<b>Didaktische Konsequenzen aus Sicht von Conceptual-Change-Forschung und Bildung für nachhaltige Entwicklung.....</b>	<b>319</b>
5.6.1	Übergreifende didaktische Leitlinien aus Sicht der Conceptual-Change-Forschung .....	319
5.6.2	Didaktische Konsequenzen aus Sicht der Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	326
<b>5.7</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>331</b>
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>336</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>350</b>
<b>A</b>	<b>Fragebogen der explorativen Vorstudie (schriftliche Befragung) .....</b>	<b>351</b>
<b>B</b>	<b>Interviewleitfaden der Hauptstudie.....</b>	<b>356</b>
<b>C</b>	<b>Einzel-Mappings der 25 Alltagstheorien.....</b>	<b>363</b>
<b>D</b>	<b>Modal-Mappings der weniger differenzierten Alltagstheorien.....</b>	<b>388</b>
<b>E</b>	<b>Kategoriensysteme explorative Vorstudie (schriftliche Befragung) .....</b>	<b>389</b>
<b>F</b>	<b>Kategoriensysteme Hauptstudie (Leitfadeninterviews) .....</b>	<b>394</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mentales Modell der Erde als Hohlkugel. ....	26
Abbildung 2: Das „fachdidaktische Triplett“ im Modell der didaktischen Rekonstruktion. ....	30
Abbildung 3: Wechselwirkungen zwischen globalen Umweltproblemen. ....	33
Abbildung 4: Inhaltliche Grundstruktur von Alltagstheorien zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel. ....	50
Abbildung 5: Die Entwicklung der Klimaforschung seit den 1970er Jahren von der Atmosphärenforschung hin zur Erdsystemforschung. ....	52
Abbildung 6: Der Strahlungshaushalt der Erdatmosphäre. ....	54
Abbildung 7: Die verschiedenen Rollen von FCKW und Ozon bei Treibhauseffekt und Ozonloch. ....	56
Abbildung 8: Komponenten des Strahlungsantriebs im Jahr 2005 gegenüber 1750. ....	57
Abbildung 9: Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen Emissionen von langlebigen Treibhausgasen im Jahr 2004 als CO <sub>2</sub> -Äquivalente. ....	62
Abbildung 10: Projizierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur in verschiedenen Szenarien. ....	67
Abbildung 11: Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999. ....	67
Abbildung 12: Illustrative Beispiele für die vom IPCC projizierten globalen Auswirkungen der globalen Erwärmung im 21. Jahrhundert. ....	73
Abbildung 13: Sicherheitsrisiken durch Klimawandel in ausgewählten Brennpunktregionen, die sich zu Krisenherden entwickeln können. ....	74
Abbildung 14: Das „Perceived Environment and Society Model“ (PES). ....	76
Abbildung 15: Offen erhobene Ursachen und Folgen der Umweltprobleme anthropogener Treibhauseffekt, Ozonschichtzerstörung und Verkehr. ....	92
Abbildung 16: Übersicht über verschiedene Formen der Wissensrepräsentation. ....	109
Abbildung 17: Beispiel für ein propositionales Netzwerk. ....	111
Abbildung 18: Das Modell von Schnotz (1996, 2001) zum Wissenserwerb. ....	114
Abbildung 19: Konzeption von Alltagstheorien mit innerer und äußerer Theoriestruktur und deren Bezug zu den verschiedenen mentalen Repräsentationsformen. ....	117
Abbildung 20: Das Untersuchungsdesign im Überblick. ....	128
Abbildung 21: Ablaufmodell induktiver Kategorienentwicklung. ....	141
Abbildung 22: Papierbogen im A3-Format für die Methode der simultanen Strukturvisualisierung. ....	149
Abbildung 23: Methodischer Gang von der Datenerhebung zur Datenaufbereitung. ....	151
Abbildung 24: Ablaufmodell der Erstellung eines Mappings aus Interviewtext und Mappingskizze. ....	154
Abbildung 25: Vom Interviewtext zum Mapping. ....	155
Abbildung 26: Ablaufmodell für die Erstellung der Modal-Mappings. ....	157
Abbildung 27: Die Identifikation von Basismodellen in einem iterativen, spiralförmigen Analyseverfahren auf der Basis von zwei Datengrundlagen – Einzel-Mappings und Interviewtexte. ....	159
Abbildung 28: Methodischer Gang der Auswertung der Alltagstheorien von der Erhebung über die Aufbereitung bis zur Analyse und Interpretation der Interviewdaten. ....	162

Abbildung 29: Wahrnehmung globaler Probleme bei den Schülern. ....	164
Abbildung 30: Bewertung der Bedrohlichkeit globaler Probleme durch die Schüler.....	165
Abbildung 31: Wahrgenommene Zusammenhänge zwischen globalen Problemen und Entwicklungen.....	166
Abbildung 32: Antworten auf die offene Frage nach den Ursachen des verstärkten Treibhauseffektes. ....	168
Abbildung 33: Antworten auf die offene Frage nach den Folgen des verstärkten Treibhauseffektes. ....	170
Abbildung 34: Vorstellungen zu den Handlungsmöglichkeiten des Einzelnen beim Klimaschutz.....	172
Abbildung 35: Interessen der Schüler an verschiedenen Themenfeldern (n=129). ....	174
Abbildung 36: Bedeutung der Informationsquellen beim Wissenserwerb in der Selbsteinschätzung der Schüler (n=129).....	176
Abbildung 37: Fächer bzw. Unterrichtsformen, in denen das Thema Treibhauseffekt nach Aussage der Schüler behandelt wurde (n=129). ....	177
Abbildung 38: Mapping der Alltagstheorie von Irene (TR10). ....	180
Abbildung 39: Ausschnitt aus der Alltagstheorie von Irene (TR10): Atmosphärische Prozesse beim verstärkten Treibhauseffekt.....	181
Abbildung 40: Ausschnitt aus der Alltagstheorie von Bernd (HK9): Atmosphärische Prozesse beim verstärkten Treibhauseffekt.....	182
Abbildung 41: Mapping der Alltagstheorie von Bernd (HK9). ....	183
Abbildung 42: Grafische Darstellung des Glashaus-Modells in zwei Modellvarianten.....	186
Abbildung 43: Beispiel für das differenzierte Glashaus-Modell aus der Alltagstheorie von Steffen (TR9). .	187
Abbildung 44: Grafische Darstellung des Ozonloch-Modells in zwei Modellvarianten.....	190
Abbildung 45: Originalskizze von Frank (GL5) zur Erläuterung seiner Vorstellungen im Interview .....	190
Abbildung 46: Beispiel für das (erweiterte) Ozonloch-Modell aus der Alltagstheorie von Frank (GL5). ....	191
Abbildung 47: Modal-Mapping der Ursachen des globalen Klimawandels. ....	198
Abbildung 48: Ursachen-Modal-Mapping der neun differenzierten Alltagstheorien.....	204
Abbildung 49: Ursachen-Modal-Mapping der acht undifferenzierten Alltagstheorien.....	204
Abbildung 50: Fallbeispiel für das CO <sub>2</sub> -Fossilenergie-Modell. ....	210
Abbildung 51: Fallbeispiel für das Luftverschmutzungs-Modell.....	214
Abbildung 52: Fallbeispiel für das Umweltverschmutzungs-Modell.....	218
Abbildung 53: Fallbeispiel für die differenzierte Variante des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells. ....	221
Abbildung 54: Fallbeispiel für die undifferenzierte Variante des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells. .	222
Abbildung 55: Modal-Mapping der Folgen des globalen Klimawandels.....	234
Abbildung 56: Folgen-Modal-Mapping der neun differenzierten Alltagstheorien.....	241
Abbildung 57: Folgen-Modal-Mapping der acht undifferenzierten Alltagstheorien.....	241
Abbildung 58: Fallbeispiel für das Aufheizungs-Modell.....	249
Abbildung 59: Fallbeispiel für das Katastrophen-Modell.....	252
Abbildung 60: Fallbeispiel für das System-Modell.....	257
Abbildung 61: Fallbeispiel für das Klimazonen-Modell.....	259
Abbildung 62: Fallbeispiel für das UV-Strahlungs-Modell.....	262
Abbildung 63: Allgemeines Modell zum Verlauf konstruktivistischer Lehr-Lern-Sequenzen.....	322

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorstellungen als gedankliche Konstrukte auf verschiedenen Komplexitätsebenen und korrespondierende Begriffe im referentiellen und sprachlichen Bereich.....	16
Tabelle 2: Verursachung globaler Umweltprobleme durch Syndrome.....	35
Tabelle 3: Vier allgemeine Kriterien und Leitfragen für die Themenauswahl im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	41
Tabelle 4: Zuordnung der Teilkompetenzen von Gestaltungskompetenz zur internationalen Kompetenzkonzeption der OECD und zu den drei klassischen Kompetenzbegriffen.....	42
Tabelle 5: Rahmenmodell für Kompetenzen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	44
Tabelle 6: Beiträge der verschiedenen Treibhausgase zum anthropogenen und zum natürlichen Treibhauseffekt.....	59
Tabelle 7: Überblick über die einzelnen Treibhausgase mit ihren wichtigsten Emissionsquellen und Verursachergruppen.....	60
Tabelle 8: Phasen des Diskurses zum anthropogenen Klimawandel in Wissenschaft und Politik.....	78
Tabelle 9: Tabellarische Übersicht über die einzelnen Studien, aus denen der Forschungsstand zum Thema „anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel“ ermittelt wurde.....	83
Tabelle 10: Schülererklärungen des Treibhauseffektes in der Untersuchung von Andersson & Wallin.....	88
Tabelle 11: Einfache Transkriptionsregeln.....	152
Tabelle 12: Verbreitung von Glashaus- und Ozonloch-Modell im Interviewsample.....	192
Tabelle 13: Ursachenfelder und Ursachenstränge.....	205
Tabelle 14: Verbreitung der einzelnen Basismodelle zu den Ursachen im Interviewsample.....	225
Tabelle 15: Mensch oder Natur als Ursache des globalen Klimawandels: Übersicht über den Stellenwert der klimaskeptischen Position in den Alltagstheorien der Schüler.....	226
Tabelle 16: Folgenstränge auf der Ebene der Umweltveränderungen.....	242
Tabelle 17: Problemfelder auf der Ebene der Auswirkungen auf Mensch und Natur.....	243
Tabelle 18: Verbreitung der einzelnen Basismodelle zu den Folgen im Interviewsample.....	263
Tabelle 19: Übersicht über alle Basismodelle und den Grad ihrer Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Vorstellungen.....	272

## Einleitung

... die vielen Abgase von den Autos usw. und die ganzen Abgase, die dann die Ozonschicht zerstören, – und das Klima erwärmt sich, Polargebiete schmelzen. Das ist das, was man uns halt immer in der Schule erzählt.

*(Viola, 18 Jahre, 13. Klasse)*

Welche Alltagsvorstellungen haben Schülerinnen und Schüler über die Ursachen und Folgen von anthropogenem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel? Wie das Zitat von Viola zeigt, kann es mitunter deutliche Unterschiede geben zwischen den wissenschaftlichen Vorstellungen, die im Unterricht zum Thema anthropogener Treibhauseffekt „erzählt“ bzw. erarbeitet werden, und den Vorstellungen, die die Schüler<sup>1</sup> einige Zeit nach einem solchen Unterricht zu diesem Thema haben – und auf die sie in ihrem Alltagsleben dann auch zurückgreifen. Sowohl der anthropogene Treibhauseffekt als auch die Ozonlochproblematik wurden in Violas Schullaufbahn in Klasse 11 in verschiedenen Fächern behandelt. Ein bis zwei Jahre später vermischen sich in ihren Vorstellungen die Ursachen und Folgen beider Effekte.

Nun könnte man annehmen, dass es sich dabei um eine eher zufällige, temporäre Verwechslung handelt, die sich durch eine knappe Erläuterung der fachlich korrekten Zusammenhänge leicht beheben lässt. Die fachdidaktischen und lernpsychologischen Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen und Conceptual Change aus den letzten Jahrzehnten legen allerdings die Vermutung nahe, dass dem nicht so ist. In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass sich hinter fachlich unzureichenden Vorstellungen wie hier bei Viola oftmals sehr elaborierte subjektive Theorien verbergen, mit denen die Schüler Alltagserfahrungen, (Schul-)Wissen und Medieninformationen aus verschiedenen Themenbereichen auf eine in sich selbst durchaus sinnvolle und schlüssige Weise aufeinander beziehen (Kapitel 1.1).

Obwohl sich der anthropogene Treibhauseffekt ebenso wie der globale Klimawandel unserer Alltagserfahrung entzieht und nur von der Wissenschaft entdeckt und empirisch nachgewiesen werden konnte, kommen Kinder und Jugendliche heute meist schon sehr früh in Kontakt mit diesem Themenfeld. Medienberichte prägen ihre Vorstellungen ebenso wie Alltagskommunikation über die globale Erwärmung oder über wetterbedingte Naturkatastrophen, die oft schnell mit dem globalen Klimawandel in Verbindung gebracht werden. Entsprechende Alltagsvorstellungen und Alltagstheorien bringen die Schüler dann auch mit in den Unterricht, wo sie eine nicht umgehbare Lernvoraussetzung und zugleich auch eine wesentliche Lernressource darstellen. Alle neuen Informationen, mit denen ein Schüler im Unterricht zum Thema anthropogener Treibhauseffekt konfrontiert wird, können von ihm nur auf der Basis seiner bereits vorhandenen Vorstellungen zu verschiedenen Themenbereichen verstanden und interpretiert werden. Aus Sicht der konstruktivistischen Lerntheorie bedeutet Lernen deshalb in aller Regel nicht Neu-Lernen, sondern Weiterlernen, Umlernen, Vorstellungsänderung. Wenn die vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen allerdings in zentralen Punkten von den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen abweichen, können sie als Lernressource zugleich auch eine bedeutende Lernbarriere sein, die den Aufbau von wissenschaftlich korrekten Vorstellungen behindert. Viele Studien zeigen, dass sich solche im Alltagsdenken etablierten Schülervorstellungen und subjektiven Theorien auch durch einen differenzierten, gut aufbereiteten Unterricht oft nur schwer verändern lassen.

Wer entsprechende Lernhindernisse identifizieren und Unterricht optimal gestalten möchte, muss sich folglich mit den Alltagsvorstellungen der Lernenden auseinandersetzen. Aus diesen Gründen ist es wichtig, dass sich die Fachdidaktiken mit dieser Thematik beschäftigen – und tatsächlich hat sich

---

<sup>1</sup> Mit dem Begriff „Schüler“ ist immer auch die weibliche Form gemeint. Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit meist auf die gleichzeitige Nennung von weiblichen und männlichen Formen verzichtet.

die Forschung über Alltags- bzw. Schülervorstellungen in den letzten Jahrzehnten zu einem der bedeutendsten fachdidaktischen Forschungsfelder entwickelt (Kapitel 1.4). Auch in der Geographiedidaktik sind auf diesem Gebiet in den letzten Jahren verstärkt Forschungsaktivitäten zu verzeichnen (Reinfried & Schuler 2009). Insgesamt handelt es sich bei der geographiedidaktischen Alltagsvorstellungsforschung allerdings noch um ein recht junges Forschungsfeld, zu dessen Weiterentwicklung diese Arbeit einen Beitrag leisten möchte.

Der globale Klimawandel zählt zu den großen Herausforderungen der Menschheit im 21. Jahrhundert. Da er auch bestehende Umweltkrisen wie Dürren, Wasserknappheit und Bodendegradation verschärfen kann, gefährdet er die Existenzgrundlage vieler Menschen gerade in den Entwicklungsregionen der Erde. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 2007) spricht vom „Sicherheitsrisiko Klimawandel“ und geht davon aus, dass der anthropogene Klimawandel in vielen fragilen Staaten und Regionen die Anfälligkeit für Armut und soziale Verelendung erhöht, die Gefahr von Landnutzungskonflikten und Umweltmigration verstärkt und damit die menschliche Sicherheit bedroht. Darin zeigt sich eine spezifische Komplexität, die den globalen Klimawandel ebenso wie andere globale Umweltveränderungen auszeichnet: Zum einen müssen bereits auf der rein naturwissenschaftlichen Ebene vielfältige Wechselbeziehungen im System Erde berücksichtigt werden, die sich nur in einem interdisziplinären Zugang beschreiben lassen. Zum anderen lassen sich sowohl die Ursachen als auch die Folgen nur dann angemessen betrachten, wenn auch die sozioökonomischen Problemdimensionen mit einbezogen werden. Der Geographieunterricht fühlt sich ebenso wie die Bildung für nachhaltige Entwicklung der Bildungsaufgabe, die mit dieser spezifischen Komplexität verbunden ist, in besonderer Weise verpflichtet (Kapitel 1.2). Im Hinblick auf das Ziel einer global nachhaltigen Entwicklung sollen die Schüler verschiedene Analyse-, Bewertungs- und Handlungskompetenzen erwerben, um am breiten gesellschaftlichen Diskurs zu diesem Thema teilnehmen zu können und in der Lage zu sein, politische und persönliche Gestaltungsmöglichkeiten zu erkennen, zu bewerten und im Alltagshandeln umzusetzen. Eine zentrale Voraussetzung dafür sind entsprechend differenzierte Wissensstrukturen über die Ursachen, die atmosphärischen Prozesse und die Folgen von anthropogenem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erhebung und Analyse von Alltagstheorien, die Schülerinnen und Schüler zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel haben (Kapitel 3.1). Die Untersuchung versteht sich in einer fachdidaktischen Perspektive als Grundlagenforschung, deren Erkenntnisse für eine Optimierung von Unterrichtspraxis und Lernangeboten zum Themenfeld globaler Klimawandel eingesetzt werden können. Die bislang vorliegenden Studien über Alltagsvorstellungen zu diesem Themenfeld konzentrieren sich stark auf die physikalischen Prozesse bei der Erklärung des verstärkten Treibhauseffektes. Der Umfang der Alltagstheorien in dieser Untersuchung ist deutlich breiter und reicht von den Verursachern und Ursachen des verstärkten Treibhauseffektes über die dabei ablaufenden atmosphärischen Prozesse bis zu den Folgen des globalen Klimawandels in der Form verschiedener Umweltveränderungen und den daraus resultierenden Auswirkungen auf Menschen und Natur. Zudem sollen die Alltagstheorien in ihrem Gesamtzusammenhang erfasst werden. Dazu wurden sie graphisch als Mapping erhoben und somit als vernetzte Wissensstruktur sichtbar gemacht. In einem zweiten Schritt wurden im Rahmen der Auswertung typische Denkfiguren und mentale Modelle („Basismodelle“) analysiert, von denen die Alltagstheorien der Schüler geprägt sind. Ausgehend von den naturwissenschaftlichen Aspekten des Themas wurden dabei sowohl bei den Ursachen als auch bei den Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes auch Vorstellungen erhoben, die eine sozioökonomische Dimension aufweisen. Damit erreichen die Alltagstheorien eine inhaltliche Breite und Komplexität, mit der der globale Klimawandel in einem umfassenden Sinne als komplex vernetztes Mensch-Umwelt-Problem erfasst werden kann. In einem dritten Schritt wurden schließlich bedeutende Übereinstimmungen und Abweichungen herausgearbeitet, die sich aus einem Vergleich der Alltagstheorien mit den wissenschaftlichen Theorien ergeben. Die erkennbaren Unterschiede machen deutlich, dass die individuellen Alltags-

theorien auch für die Bewertung des globalen Klimawandels als Nachhaltigkeitsproblem sowie für ein darauf bezogenes Alltagshandeln im Sinne des Klimaschutzes bedeutsam sind.

Im *ersten Kapitel* werden die theoretischen und empirischen Grundlagen vorgestellt, aus denen sich der Begründungszusammenhang dieser Arbeit ergibt. Eine zentrale Rolle spielt dabei die fachdidaktische Forschung zu Alltagsvorstellungen und Conceptual Change, die auf der konstruktivistischen Lerntheorie aufbaut (Kapitel 1.1). Der pädagogisch-didaktische Zugang zum Thema globaler Klimawandel erfolgt aus der Perspektive der Geographiedidaktik und der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Die entsprechenden Kompetenzbereiche und Bildungsziele (Kapitel 1.2) dienen als Hintergrund für die Analyse der Alltagstheorien und die Ableitung von didaktischen Leitlinien. Die fachliche Klärung der wissenschaftlichen Vorstellungen zum Thema globaler Klimawandel erfolgt im Wesentlichen auf dem aktuellen Sachstandsbericht des International Panel on Climate Change (IPCC 2007). Im Anschluss daran wird aus einer sozialwissenschaftlichen Perspektive auch die Bedeutung untersucht, die dem globalen Klimawandel als soziales Konstrukt in der gesellschaftlichen Kommunikation und der Medienöffentlichkeit zukommt (Kapitel 1.3). Als empirische Grundlage werden schließlich auch die bereits durchgeführten Studien über Alltagsvorstellungen und subjektive Theorien zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel herangezogen (Kapitel 1.4).

Eine ausführliche theoretische Konzeption von Alltagstheorien als Gegenstand dieser Untersuchung wird im *zweiten Kapitel* entworfen. Dabei kommen zwei verschiedene Theorietraditionen der Psychologie zum Einsatz. Zum einen werden Alltagstheorien im Sinne der Kognitionspsychologie als multiple mentale Repräsentation aufgefasst. Damit lässt sich die Frage nach den kognitiven Struktureigenschaften von Alltagstheorien beantworten. Zum anderen werden Alltagstheorien im Sinne des Forschungsprogramms Subjektive Theorien (Groeben et al. 1988) auch als „subjektive Theorien größerer Reichweite“ verstanden. Diese Theorietradition stellt wichtige methodologische Grundlagen für die Erhebung der Alltagstheorien bereit.

Ausgehend von den Zielen und Fragestellungen dieser Untersuchung werden im *dritten Kapitel* das Forschungsdesign sowie die einzelnen Untersuchungsmethoden dargestellt. Die Erhebung der Alltagstheorien erfolgte in zwei aufeinanderfolgenden Studien. In einer explorativen Vorstudie mit 129 Schülern der Jahrgangsstufe 12 wurden mit Hilfe einer qualitativen schriftlichen Befragung grundlegende Alltagsvorstellungen zum Thema anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel erhoben und im Hinblick auf die Häufigkeit ihres Auftretens analysiert. Für die anschließende Hauptstudie wurden aus diesem Sampling gezielt 25 Interviewpartner ausgewählt, deren Alltagstheorien in ausführlichen Leitfadeninterviews sowohl verbal (Tonaufzeichnung) als auch graphisch (Mappingdarstellung) erhoben wurden.

Die Analyse der erhobenen Alltagstheorien erfolgt im *vierten Kapitel* getrennt nach den atmosphärischen Prozessen, den Ursachen und den Folgen von anthropogenem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel. Im Mittelpunkt stehen dabei drei Bausteine der Interpretation der Interviewdaten: 1. Zentrale Konzepte und Themenstränge, die in den Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen häufiger anzutreffen sind, 2. Basismodelle, d.h. zentrale kognitive Grundmuster (mentale Modelle und kognitive Schemata), an denen sich die Schüler bei der Konstruktion ihrer Alltagstheorie orientieren und 3. bedeutende Übereinstimmungen und Abweichungen, die sich aus einem Vergleich der Alltagstheorien mit den wissenschaftlichen Theorien ergeben.

Im abschließenden *fünften Kapitel* werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und diskutiert. Ein zentrales Ziel dabei ist die Ableitung von didaktischen Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Dies erfolgt jeweils in zwei Schritten. Zunächst werden Erklärungsansätze für die Entstehung der wichtigsten Alltagsvorstellungen und Lernhindernisse vorgestellt, die sich aus verschiedenen Conceptual-Change-Ansätzen ableiten lassen. Danach werden konkrete didaktische Leitlinien für die Strukturierung und Gestaltung von Unterricht zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel formuliert. Den Abschluss bilden übergreifende didaktische Konsequenzen aus Sicht der Conceptual-Change-Forschung und der Bildung für nachhaltige Entwicklung sowie ein Ausblick auf weitere Aufgaben für die didaktische Forschung und Entwicklung.

## 5 Zusammenfassung, Diskussion, didaktische Konsequenzen

Kapitel 5 verfolgt drei verschiedene Ziele. Zum Ersten werden die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammengefasst, zum Zweiten werden im Rahmen einer vertieften Diskussion der Ergebnisse Erklärungsansätze für die Entstehung ausgewählter Alltagsvorstellungen vorgestellt und Lernhindernisse beschrieben, die mit ihnen verbunden sind, und zum Dritten werden daraus didaktische Leitlinien für die Strukturierung von Unterricht abgeleitet. Das Vorgehen folgt dabei den in Kapitel 3.1 formulierten Leitfragen. Abschließend werden noch übergreifende didaktische Konsequenzen aus der Sicht der Conceptual-Change-Forschung sowie der Bildung für nachhaltige Entwicklung diskutiert.

### 5.1 Übersicht über Konzeption und Auswertung der Untersuchung

#### Ziele und Design der Untersuchung

Ziel dieser Untersuchung war die Erhebung und Analyse von Alltagstheorien, die Schülerinnen und Schüler zu den atmosphärischen Prozessen, den Ursachen und den Folgen von anthropogenem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel haben. Dazu wurde ein Forschungsdesign mit zwei Teilstudien entwickelt: einer explorativen Vorstudie mit 129 Schülern und einer Hauptuntersuchung mit 25 Interviewpartnern. Die Vorstudie diente auch als Grundlage für das Interviewsampling der anschließenden Hauptuntersuchung. Es wurde auf eine bewusst heterogene Stichprobensammlung geachtet, bei der jeweils ein Drittel der Interviewpartner über differenzierte, weniger differenzierte und undifferenzierte Alltagstheorien verfügt. Befragt wurden Schüler in neun verschiedenen Kursen der gymnasialen Oberstufe an sieben verschiedenen Schulen in Baden-Württemberg.

#### Explorative Vorstudie (schriftliche Befragung)

Die explorative Vorstudie wurde in der Form einer schriftlichen Befragung durchgeführt und sollte v.a. eine Übersicht über die am häufigsten anzutreffenden Alltagskonzepte zum Thema anthropogener Treibhauseffekt ermöglichen. Dazu wurden die Schülerantworten auf offen gestellte Fragen mittels einer induktiven Kategorienbildung und anschließenden Häufigkeitsanalysen ausgewertet.

#### Auswertung der Hauptstudie (Interviewstudie)

Die Auswertung der Hauptstudie basiert auf drei Grundelementen, die aus den Interviewdaten aufbereitet wurden: die Interviewtexte, die als Textdatenbank in der Auswertungssoftware MAXqda organisiert wurden, 25 Einzel-Mappings, d.h. graphisch strukturierte Concept Maps der einzelnen Alltagstheorien, sowie Modal-Mappings zu den Ursachen und Folgen, in denen mehrere Alltagstheorien aggregiert wurden. Auf dieser Grundlage wurden bei der Auswertung entlang von drei verschiedenen Forschungsfragestellungen drei verschiedene Ziele verfolgt (vgl. auch die übersichtliche Darstellung in Kapitel 3.1):

#### 1) Einzel-Mappings und Modal-Mappings: zentrale Konzepte und Themenstränge

Die Modal-Mappings können als Überlagerung verschiedener Einzel-Mappings aufgefasst werden. Deshalb konnten aus den Modal-Mappings die zentralen, häufig auftretenden Konzepte und Themenstränge ermittelt werden, von denen die Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen geprägt sind. Zugleich konnten dabei die wesentlichen Unterschiede zwischen differenzierten und undifferenzierten Alltagstheorien analysiert und verdeutlicht werden.

2) Basismodelle

Ein Kernbereich der Auswertung war die Identifikation von Basismodellen, die als innere Struktur der Alltagstheorien aufgefasst werden und dabei als mentale Modelle und/oder kognitive Schemata auftreten können. Methodisch wurden sie in einem iterativen Analyseverfahren sowohl aus den Einzel-Mappings als auch aus den Interviewtexten gewonnen. Insgesamt konnten 11 Basismodelle identifiziert werden, die in Tabelle 19 übersichtlich zusammengestellt sind.

3) Vergleich von Alltagstheorien und wissenschaftlichen Theorien

Im letzten Auswertungsschritt wurden aus den bereits vorliegenden Ergebnissen alle didaktisch bedeutsamen Abweichungen und Übereinstimmungen zwischen Alltagstheorien und wissenschaftlichen Theorien ermittelt. Dabei konnten auch die Basismodelle danach eingestuft werden, ob sie mit der fachwissenschaftlichen Theorie ganz, teilweise oder gar nicht übereinstimmen (Tabelle 19).

	Basismodelle	Wissenschaftsnähe
<b>Atmosphär. Prozesse</b>	Glashaus-Modell	(+)
	Ozonloch-Modell	(-)
<b>Ursachen</b>	CO <sub>2</sub> -Fossilenergie-Modell	(+)
	Luftverschmutzungs-Modell	(O)
	Luftreinigungs-Photosynthese-Modell	(O)
	Umweltverschmutzungs-Modell	(-)
<b>Folgen</b>	Aufheizungs-Modell	(O)
	Katastrophen-Modell	(O)
	System-Modell	(+)
	Klimazonen-Modell	(+)
	UV-Strahlungs-Modell	(-)

**Tabelle 19: Übersicht über alle Basismodelle und den Grad ihrer Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Vorstellungen.** In der Spalte „Wissenschaftsnähe“ ist angegeben ob ein Basismodell mit den wissenschaftlichen Vorstellungen weitgehend übereinstimmt (+), teilweise davon abweicht (O) oder stark davon abweicht (-)

## 5.2 Vorstellungen über die Bedeutung des globalen Klimawandels als globales Umweltproblem

In der explorativen Vorstudie konnte gezeigt werden, dass die Schüler das Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel durchaus als bedeutendes globales Problem wahrnehmen. In einer offenen Assoziationsfrage, bei der eine Auflistung globaler Probleme verlangt wurde, war der globale Klimawandel die am häufigsten genannte Antwort. Auch bei einer anschließenden Bewertung der „Bedrohlichkeit für die Welt“ wurde dieses Problem mit am bedrohlichsten eingeschätzt.

Weniger präsent sind den Schülern dagegen Querbezüge zwischen dem globalen Klimawandel und anderen globalen Problemen. Bei der Erstellung eines Wirkungsgefüges aus sechs vorgegebenen globalen Problemen und Entwicklungstrends haben die meisten das Thema „Klimawandel durch Treibhauseffekt“ nur mit dem Problem der „Zerstörung von (Ur-) Wäldern“ in Verbindung gebracht, dem eine verstärkende Wirkung zugeschrieben wurde. Zusammenhänge mit anderen Themen wie „Migration und Flucht“, „Armut in der Dritten Welt“ und „Wachstum und Globalisierung der

Weltwirtschaft“ wurden nur selten genannt. Insgesamt fällt auf, dass die Schüler relativ wenig interdisziplinäre Verflechtungen zwischen den Dimensionen Umwelt, Ökonomie und Soziales/Entwicklung angeführt haben.

## 5.3 Alltagstheorien über atmosphärische Prozesse beim anthropogenen Treibhauseffekt

### 5.3.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Unter der Rubrik „atmosphärische Prozesse“ wurden die Alltagsvorstellungen analysiert, mit denen die Schüler das Phänomen des (anthropogen) verstärkten Treibhauseffektes erklären. Im Rahmen der explorativen Vorstudie wurde – im Gegensatz zu den Leitfadeninterviews – nicht explizit nach einer physikalischen Erklärung des Treibhauseffektes gefragt. Aus den Antworten zu den Fragen nach den Ursachen und Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes lässt sich dennoch ablesen, dass ein Großteil der Befragten offenbar ein Synthesemodell aus Ozonloch und Treibhauseffekt bilden: 38 von 129 Befragten geben das Ozonloch als Ursache oder Folge des verstärkten Treibhauseffektes an. Berücksichtigt man zusätzlich noch das Ursachenkonzept „FCKW“ und das Folgenkonzept „verstärkte UV Strahlung / Hautkrebs“ so liegt bei knapp 70% der Befragten der begründete Verdacht vor, dass in ihren Alltagsvorstellungen die beiden Umweltprobleme vermischt werden. Damit werden die Befunde verschiedener internationaler Studien eindeutig repliziert.

In der Hauptstudie konnten bei der Auswertung der Alltagstheorien zu den atmosphärischen Prozessen zwei häufig anzutreffende Basismodelle identifiziert werden, die im Folgenden noch einmal kurz zusammengefasst werden – das Glashaus-Modell und das Ozonloch-Modell. Ein eigenes Modal-Mapping zu den zentralen Konzepten und Themensträngen der atmosphärischen Prozesse wurde nicht erstellt, da dieser Teilbereich weniger von propositionalen Repräsentationen, sondern vor allem von mentalen Modellen geprägt ist, die mit der Analyse der Basismodelle besser erfasst werden konnten.

#### Das Glashaus-Modell

Beim Glashaus-Modell handelt es sich um eine wissenschaftsnahe Alltagsvorstellung zur Erklärung des Treibhauseffektes. Dieses mentale Modell ist durch zwei Merkmale gekennzeichnet (vgl. Abbildung 42):

- Die Schüler gehen davon aus, dass die Sonnenstrahlung ungehindert durch die Atmosphäre zum Erdboden gelangt, dass die zurückgestrahlte Strahlung die Atmosphäre aber nicht mehr verlassen kann, wodurch es zur globalen Erwärmung kommt.
- Sie machen Treibhausgase dafür verantwortlich, dass die zurückgestrahlte Strahlung daran gehindert wird, die Atmosphäre wieder zu verlassen. Häufig gehen sie dabei explizit auf die Analogie mit einem Glashaus bzw. Treibhaus ein. Es lassen sich zwei Modellvarianten unterscheiden: ein vereinfachtes und ein differenziertes Glashaus-Modell.

Häufiger anzutreffen ist das *vereinfachte Glashaus-Modell*. Bei diesem Modell haben die Schüler keine Vorstellung von den Absorptionsprozessen am Erdboden und in der Atmosphäre. Sie verwenden stattdessen das Konzept der Reflexion und gehen von einer Art „Spiegelmodell“ aus, bei dem die Strahlung zwischen dem Erdboden und einer Treibhausgasschicht hin- und herreflektiert wird. Dadurch kommt es zu einer „Anhäufung der Sonnenstrahlung“, mit der die globale Erwärmung erklärt wird. Die Schüler unterscheiden nicht zwischen verschiedenen Strahlungsarten (Sonnenstrahlung / Wärmestrahlung) und können somit auch nicht erklären, weshalb die Strahlung in die Atmosphäre eindringen, sie aber nicht mehr verlassen kann.

Nur wenige Schüler verfügen über ein *differenziertes Glashaus-Modell*. Sie gehen davon aus, dass die einfallende Sonnenstrahlung am Erdboden in eine andere Strahlung umgewandelt wird und dass

diese Strahlung die „Schicht“ der Treibhausgase dann nicht mehr durchdringen kann. Dabei verwenden sie meist die Bezeichnung „kurz- und langwellige Strahlung“, haben aber oft Probleme, diese korrekt zuzuordnen. Der Begriff der Absorption wird nur selten genannt, in der Regel sprechen die Schüler auch beim differenzierten Glashaus-Modell von einer Reflexion der Strahlung am Erdboden.

Beide Modelle weichen zudem insofern von der wissenschaftlichen Sichtweise ab, als sich die Schüler die Treibhausgase nicht als gleichmäßig in der Atmosphäre verteilte Gase, sondern als eine Schicht in der oberen Atmosphäre vorstellen, ganz so, wie es auch in vielen Lehrbuchdarstellungen zu sehen ist und wie es auch die Glasschicht in der Glashaus-Analogie nahelegt.

### Das Ozonloch-Modell

Wie bereits erwähnt, erklären viele Schüler den anthropogenen Treibhauseffekt mit der Zerstörung der Ozonschicht. Welche innere Logik steckt hinter dieser Vorstellung? Das zugehörige mentale Modell ist das *einfache Ozonloch-Modell* und lässt sich wie folgt beschreiben (vgl. Abbildung 44): Aggressive Schadstoffe (z.B. CO<sub>2</sub>, Abgase oder FCKW-Emissionen) steigen in der Atmosphäre auf und greifen dort die Ozonschicht an, die Menschen und andere Lebewesen vor gefährlicher Strahlung schützt. Durch das so entstandene Ozonloch kann mehr und stärkere Sonnenstrahlung bzw. UV-Strahlung zur Erde gelangen. Dadurch kommt es zur globalen Erwärmung, denn mehr oder stärkere Strahlung bedeutet mehr Wärme.

Im Kern des Ozonloch-Modells finden sich zwei Vorstellungen, die beide fachlich nicht korrekt sind. Zum einen wird allen Treibhausgasen bzw. Emissionen (CO<sub>2</sub>, Abgasen etc.) die Eigenschaft zugeschrieben, chemisch aggressiv zu sein und somit die Ozonschicht zu zerstören, zum anderen wird „mehr“ bzw. „stärkere“ Strahlung als Ursache der globalen Erwärmung angesehen.

Auch hier lassen sich zwei Modellvarianten unterscheiden. Neben dem eben beschriebenen „einfachen Ozonloch-Modell“ gibt es auch ein *erweitertes Ozonloch-Modell*. Beim erweiterten Ozonloch-Modell gehen die Schüler davon aus, dass die Strahlung am Erdboden reflektiert wird, danach auf die intakte, undurchlässige Ozonschicht trifft, an der sie erneut reflektiert wird und so in der Atmosphäre gefangen bleibt. Offenbar wird hier der Strahlenverlauf in der Atmosphäre, wie er aus Abbildungen zum Treibhauseffekt bekannt ist, in das Ozonloch-Modell integriert. Es entsteht ein Synthesemodell aus den beiden Phänomenen Ozonloch und Treibhauseffekt.

### Zusammenstellung der Abweichungen von der wissenschaftlichen Sichtweise

Aus didaktischer Perspektive ist es wichtig zu wissen, in welchen Punkten die Alltagstheorien der Schüler von der wissenschaftlichen Theorie des (anthropogenen) Treibhauseffektes abweichen. Im Einzelnen lassen sich in den Basismodellen folgende Abweichungen feststellen:

Abweichungen im Ozonloch-Modell:

- Die durch das Ozonloch eindringende (UV-)Strahlung ist die Ursache für die globale Erwärmung.
- Treibhausgase haben aggressive und zerstörerische Eigenschaften.

Abweichungen im Glashaus-Modell:

- Treibhausgase befinden sich in einer Schicht oben in der Atmosphäre (tatsächlich sind sie relativ gleichmäßig in der Troposphäre verteilt).
- Beim einfachen Glashaus-Modell wird nicht zwischen verschiedenen Strahlungsarten unterschieden, die Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärmestrahlung an der Erdoberfläche ist unbekannt. Damit bleibt auch unklar, weshalb die Strahlung in die Atmosphäre eindringen, sie aber nicht mehr verlassen kann.

Abweichungen, die in beiden Modellen auftreten:

- Die Erwärmung der Atmosphäre entsteht durch eine „Anhäufung“ von Strahlung (wissenschaftlich korrekt wäre: durch die Absorption von Wärmestrahlung durch Treibhausgase). Damit verbunden ist ein „Reflexions-Spiegel-Modell“, nach dem die Strahlung zwischen Erdboden und Atmosphäre hin- und herreflektiert wird und wie in einem Käfig „gefangen“

ist. Vorstellungen zur Absorption von Strahlung fehlen – sowohl am Erdboden als auch in der Atmosphäre.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es vor allem zwei bedeutende Abweichungen mit weitreichenden Folgen gibt: Die Vorstellung, der Treibhauseffekt beruhe auf einem Loch in der Ozonschicht der Atmosphäre, und das fehlende Verständnis der verschiedenen Prozesse der Strahlungsabsorption.

### Verbreitung der Basismodelle

Beide Basismodelle sind bei den befragten Schülern weit verbreitet, wobei es sogar zu Überschneidungen kommen kann. Im Einzelnen können folgende Ergebnisse festgehalten werden.

- Innerhalb des Interviewsamples war das Glashaus-Modell bei 14, das Ozonloch-Modell sogar bei 19 der 25 Schülern anzutreffen. Interessanterweise gab es also immerhin neun Befragte, die eine Kombination beider Modelle repräsentiert hatten und sich nicht auf eine Erklärung mit dem wissenschaftsnahen Glashaus-Modell beschränkten.
- Nur fünf Befragte erklärten den anthropogenen Treibhauseffekt in weitgehender Übereinstimmung mit der wissenschaftlichen Sichtweise ausschließlich über das Glashaus-Modell.
- Das Glashaus-Modell ist innerhalb des Interviewsamples häufiger bei den Schülern anzutreffen, die insgesamt über differenzierte Alltagstheorien verfügen.
- Hingegen ist das Auftreten des „Ozonloch-Modells“ im Interviewsample nicht an die Differenziertheit gekoppelt und war auch bei Personen mit differenzierten Theorien etwa gleich häufig anzutreffen. Für eine Verallgemeinerung dieser Aussagen reicht die Fallzahl dieser Untersuchung allerdings nicht aus.

### Diskussion der Ergebnisse

Die weite Verbreitung des Ozonloch-Modells deutete sich bereits in der explorativen Vorstudie an und steht auch in Übereinstimmung mit den Befunden aus anderen internationalen Studien. So zeigen z.B. in der Untersuchung von Boyes & Stanisstreet (1993, S. 541) mit 861 britischen Schülern 86% der 11/12-Jährigen und immer noch 70% der 15/16-Jährigen die Vorstellung, die Zerstörung der Ozonschicht verstärke den Treibhauseffekt. Aeschbacher et al. (2001) zeigen außerdem, dass diese Vorstellung außerordentlich stabil und belehrungsresistent ist, selbst dann, wenn vor der Lektüre eines wissenschaftlich korrekten Lehrtextes noch darauf hingewiesen wird, dass es sich dabei um eine Fehlvorstellung handelt (vgl. dazu und zum Folgenden auch Kapitel 1.4.2).

Deutlicher und detaillierter als in vielen anderen Studien konnten in dieser Arbeit die innere Struktur und die Argumentationslogik der Alltagsvorstellungen als mentale Modelle identifiziert und beschrieben werden. Vergleichbare Modelle wurden auch von Koulaïdis & Christidou (1999) vorgelegt. Dabei ist bemerkenswert, dass die Grundzüge der Vorstellungen über die Ursachen und die Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes bei den 40 befragten griechischen Unterstufenschülern eine große Ähnlichkeit mit den Vorstellungen der 25 Oberstufenschüler in dieser Untersuchung aufweisen.<sup>90</sup>

Die Bedeutung des Ozonloch-Modells reicht weit über die rein physikalisch-chemische Frage hinaus, welche Prozesse sich in der Atmosphäre abspielen und hat auch wichtige Auswirkungen auf die Vorstellungen zu den einzelnen Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels.

---

<sup>90</sup> Es muss allerdings beachtet werden, dass diese Unterstufenschüler unmittelbar vor dem Interview populärwissenschaftliches Informationsmaterial erhalten haben, da es bei dieser Studie auch um die Art der Informationsverarbeitung ging.

### 5.3.2 Erklärungsansätze zur Entstehung und Verbreitung des Ozonloch-Modells

#### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Welche Gründe gibt es für die weite Verbreitung und die große Stabilität des Ozonloch-Modells? Welche Lernhindernisse lassen sich dabei identifizieren? Da die Vermengung von Treibhauseffekt und Ozonloch international bereits recht häufig untersucht wurde, sollen diese Fragen hier etwas ausführlicher diskutiert werden. Dabei werden nach der Diskussion eines Erklärungsansatzes von Kempton et al. (1995) eigene Überlegungen vorgestellt, die auf verschiedenen Conceptual-Change-Ansätzen aufbauen.

Eine mögliche Erklärung für das Phänomen, dass es so häufig zur Vermengung von Ozonloch und Treibhauseffekt kommt, wurde von Kempton et al. (1995) im Rahmen einer Befragung verschiedener Erwachsener in den USA vorgestellt (vgl. auch Kempton 1991). Kempton et al. sehen den Grund darin, dass das Ozonloch-Problem in der Öffentlichkeit bereits lange vor dem globalen Klimawandel diskutiert wurde. Dadurch hätten sich zuerst Modellvorstellungen zum Ozonloch als „kulturelle Modelle“ im Sinne eines gesellschaftlich geteilten Wissens herausgebildet.<sup>91</sup> Neue Informationen über die globale Erwärmung und das Treibhauseffekt-Problem würden vom Einzelnen als neu gelerntes Wissen dann in diese bereits vorhandenen Wissensstrukturen eingepasst, wodurch es zur Vermengung beider Probleme und damit zu verschiedenen Fehlvorstellungen komme.

Es gibt jedoch einige gewichtige Gründe, die gegen diesen Erklärungsansatz der zeitlich verzögerten Modellkonstruktion sprechen. Die Untersuchung von Kempton et al. (1995) wurde in einer Zeit durchgeführt, als der globale Klimawandel v.a. in den USA noch ein relativ neues Thema in der gesellschaftlichen Debatte war (1989/1990). Heutige Jugendliche wachsen allerdings mit beiden Problemen zugleich auf. Beide werden parallel im Unterricht behandelt und in den Medien wird der globale Klimawandel längst weit häufiger thematisiert als die Ozonlochproblematik. Zudem wurden in Deutschland auch in der Vergangenheit beide Themen bereits sehr früh und durchaus parallel von den Medien aufgegriffen – bestes Beispiel ist der berühmte Spiegel-Titel von 1986 mit dem im Meer versunkenen Kölner Dom und der Titelzeile „Die Klimakatastrophe – Ozon-Loch, Pol-Schmelze, Treibhaus-Effekt: Forscher warnen“. Im Gegensatz zu den erwachsenen Untersuchungspersonen bei Kempton et al. (1995) haben die in der vorliegenden Untersuchung befragten Schüler nicht nur die kulturellen Modelle der Gesellschaft zu Ozonloch und anthropogenem Treibhauseffekt, sondern über einen entsprechenden Unterricht auch beide wissenschaftlichen Theorien kennengelernt und gleichwohl kommt es zu denselben Fehlvorstellungen. Es spricht viel dafür, dass es für die weite Verbreitung des Ozonloch-Modells, das sowohl international anzutreffen ist als auch über einen langen Zeitraum Bestand hat, andere Gründe geben muss.

Im Folgenden werden alternative Erklärungsansätze zur Entstehung und weiten Verbreitung des Ozonloch-Modells und der Vermengung von anthropogenem Treibhauseffekt und Ozonloch vorgeschlagen und diskutiert. Dabei muss betont werden, dass es sich hier nicht um unmittelbare Ergebnisse der empirischen Untersuchung handelt, sondern um Erklärungsansätze mit Hypothesencharakter. Sie wurden vor dem Hintergrund der Untersuchungsergebnisse auf der Basis von Theorien aus der Kognitionspsychologie und der Conceptual-Change-Forschung abgeleitet.

Ausgehend von spezifischen Eigenschaften der beiden Umweltprobleme und der beiden Basismodelle lassen sich vier Erklärungsansätze identifizieren, die eine Vermengung der beiden Umweltprobleme und die Konstruktion des Ozonloch-Modells als Synthesemodell in den Alltagstheorien begünstigen – unabhängig davon in, welcher Altersstufe und in welcher Reihenfolge das Wissen dazu erworben wird:

<sup>91</sup> Kempton et al. (1995, S. 11) interpretieren ihre mit ethnographischen Methoden gewonnenen Ergebnisse als sozial geteilte *kulturelle Modelle*, die sich in einem gesellschaftlichen Prozess der individuellen und kollektiven Informations- und Wissensverarbeitung herausbilden. Darin unterscheiden sich kulturelle Modelle von den mentalen Modellen der Psychologie, die stärker auf Individuen bezogen sind.

1. Es gibt deutliche Parallelen zwischen Treibhauseffekt und Ozonloch auf der Ebene der kognitiven Schemata (Parallelen der Begriffssysteme) und der mentalen Modelle (grafische Parallelen gängiger Visualisierungen).
2. Das Ozonloch-Modell ist geprägt durch hohe Anschaulichkeit, Plausibilität und Viabilität.
3. Zentrale Konzepte des Treibhauseffektes (Strahlungsabsorption, selektive Absorption und Strahlungsumwandlung) weisen einen hohen Abstraktionsgrad auf und werden auch durch die Glashaus-Analogie nicht plausibel erklärt.
4. Die Eigenschaften der UV-Strahlung und die Folgen des Ozonlochproblems haben eine hohe Relevanz im Alltagskontext (z.B. Schutz der Haut vor zu intensiver UV-Strahlung).

Diese Erklärungsansätze zeigen verschiedene Merkmale der beiden Basismodelle auf, die auch als Lernhindernisse aufgefasst werden können und die bei der didaktischen Strukturierung von Unterricht berücksichtigt werden sollten.

### **1. Parallelen zwischen Treibhauseffekt und Ozonloch bei Begriffssystemen und Visualisierungen führen zu Überlagerungen der mentalen Repräsentationen**

Einige Parallelen zwischen (anthropogenem) Treibhauseffekt und Ozonloch könnten dazu führen, dass sich die kognitiven Repräsentationen des Wissens in der Form von kognitiven Schemata und mentalen Modellen im Gedächtnis überschneiden oder gar nicht erst getrennt werden.

Die in kognitiven Schemata enthaltenen und hierarchisch organisierten Begrifflichkeiten sind bei Ozonloch und anthropogenem Treibhauseffekt sehr ähnlich – sie können leicht in einem einzigen, gemeinsamen kognitiven Schema gebündelt werden: Bei beiden Phänomenen handelt es sich um *Veränderungen der Erdatmosphäre durch den Eingriff des Menschen*. Sie besitzen ähnliche Struktureigenschaften und auf einer abstrakten Ebene viele ähnliche Begrifflichkeiten: Bei beiden Prozessen spielt die einfallende *Sonnenstrahlung* eine zentrale Rolle, die Ursache sind „*schädliche*“ *Emissionen* und als Folge kommt es zu *global auftretenden Umweltveränderungen*. Aus Sicht der Schematheorie ist es nun naheliegend, dass die jeweiligen Konkretisierungen dieser Variablen (bzw. „Leerstellen“) leicht verwechselt werden können (FCKW und CO<sub>2</sub> als Emissionen, UV-Strahlung und Wärmestrahlung, vermehrter Hautkrebs und erhöhte Temperaturen als Folgen veränderter Strahlungsverhältnisse etc.). Beim mentalen Zugriff auf begriffliche, konzeptuelle Wissensstrukturen, d.h. schematheoretisch gesprochen bei der Aktivierung eines kognitiven Schemas, werden die Leerstellen mit den falschen Werten besetzt. Diese Schema-Aktivierungen prägen aber sowohl die Konstruktion der mentalen Modelle als auch die in Mappings erkennbaren propositionalen Repräsentationen entscheidend (vgl. Kapitel 2.2.4).

Eine zweite Parallele gibt es bei den grafisch-visuell geprägten Vorstellungen auf der Ebene der mentalen Modelle, die in der Regel von einschlägigen grafischen Visualisierungen in Schulbüchern oder anderen Medien beeinflusst werden. Auch hier zeigen sich bedeutende Ähnlichkeiten zwischen anthropogenem Treibhauseffekt und Ozonloch, die eine Überschneidung und Vermengung beider Phänomene begünstigen könnten. Sichtbar werden diese in der visuellen Darstellung des Ozonloch-Modells in Abbildung 44, die eine gewisse Ähnlichkeit mit gängigen Schulbuchabbildungen zum Treibhauseffekt aufweist: Modellelemente, die in beiden Fällen vorkommen, sind eine Schicht in der Atmosphäre (einmal die Ozonschicht, im anderen Fall die als Schicht dargestellten Treibhausgase) und die als Pfeile gezeichneten Sonnenstrahlen, die diese „Schicht“ durchdringen und zum Erdboden gelangen, wo sie evtl. noch „reflektiert“ werden.

Es liegt nahe, die These aufzustellen, dass Schüler sich bei der Erklärung des Treibhauseffektes zunächst nur an diese Grundelemente einer Treibhauseffektabbildung erinnern und daraus dann ihr mentales Modell konstruieren. Bei der weiteren Konkretisierung ihres mentalen Modells ist es dann nur ein kleiner Schritt, sich ein Loch in dieser Schicht vorzustellen, durch das entsprechend der Ozonlochvorstellung die Strahlung in die Atmosphäre eintreten kann. Aus fachwissenschaftlicher Sicht erfolgt damit eine Uminterpretation der Wirkungsweise der „Schicht“: Beim Treibhausmodell besteht das Problem im Vorhandensein der Gas-„Schicht“ (bzw. ihrer Verstärkung), während es beim Ozonloch-Modell gerade in ihrer Zerstörung gesehen wird. Eine entsprechend unter-

schiedliche Rolle spielen auch die Emissionen, die im einen Fall selbst diese Schicht bilden, sie im anderen dagegen zerstören.

Aus fachlicher Sicht muss dabei betont werden, dass es sich bei der so häufig anzutreffenden Schicht-Darstellung von Treibhausgasen in der Atmosphäre eigentlich um eine irreführende didaktische Reduktion handelt. Treibhausgase konzentrieren sich nicht in einer Schicht, sondern verteilen sich als „wohldurchmischte Gase“ gleichmäßig in der Troposphäre. Die gängige Form der Visualisierung des Treibhauseffektes führt somit nicht nur zu einer fachlich inkorrekten Schicht-Vorstellung, sondern fördert durch die Parallelität mit der Ozonschicht auch die Entstehung des Ozonloch-Modells.

Es gibt also durchaus auch beträchtliche Gegensätze zwischen beiden Modellen, so dass die Frage bleibt, weshalb das Ozonloch-Modell als Erklärungsmodell für den anthropogenen Treibhauseffekt so attraktiv ist – so attraktiv, dass selbst die namensgebende „Treibhaus-Analogie“ dagegen zu verblissen scheint.

## 2. Die hohe Anschaulichkeit, Plausibilität und Viabilität des Ozonloch-Modells

Die Conceptual-Change-Theorie von Vosniadou & Brewer (1992) geht davon aus, dass beim Wissenserwerb Synthesemodelle aus bereits vorhandenen Alltagsvorstellungen und aus neuen Informationen konstruiert werden (vgl. Kapitel 1.1.3.3). Dies erfolgt nach dem Prinzip der mentalen Kohärenzbildung, d.h., es wird versucht, ein in sich konsistentes Modell zu konstruieren, das bekannten und neuen Informationen gerecht wird und sich beim Einsatz im Alltag als brauchbar erweist (viabel im Sinne des Konstruktivismus). Unter dieser Perspektive lohnt es sich, einige spezifischen Eigenschaften des Ozonloch-Modells etwas näher zu betrachten und mit dem Glashaussmodell zu vergleichen.

Die These lautet, 1. dass das Ozonloch-Modell in Ursachen, Prozessen und Folgen wesentlich *anschaulicher* ist, weil es viel besser an einfache Alltags-Analogien anknüpfen kann als das Glashaussmodell, 2. dass das Ozonloch-Modell ein *sehr kohärentes und plausibles* mentales Modell ist, das sogar eine Synthese beider Phänomene in einem Modell ermöglicht – ein Vorteil im Sinne des Prinzips der kognitiven Ökonomie (vgl. Schnotz & Bannert 1999) und 3. dass es eine hohe *Viabilität* im Alltag aufweist, weil verschiedene alltagsrelevante Phänomene von der globalen Erwärmung bis zum erhöhten Hautkrebsrisiko damit erklärt werden können. Somit ist die Möglichkeit gegeben, ein in sich *konsistentes Synthesemodell* zu bilden, bei dem bestehende Widersprüche schlicht ignoriert bzw. ausgeblendet werden.

Die hohe Anschaulichkeit des Ozonloch-Modells beruht im Wesentlichen darauf, dass hier einfache, leicht verständliche Alltags-Analogien zum Einsatz kommen, bei denen jeder auf wohlbekanntes Alltagswissen aus anderen Zusammenhängen zurückgreifen kann: Wir alle haben eine Vorstellung von Löchern in einer „Schutzschicht“ (z.B. in einer Jacke, einem Haus- oder Zeltdach) und wissen, dass aggressive chemische Substanzen solche Löcher verursachen können. Durch das Loch kann verstärkt Sonnenstrahlung bzw. UV-Strahlung hindurch, die nicht mehr durch die Schutzschicht abgehalten wird. Ein zweiter Aspekt ist die alltägliche Erfahrung, dass eine stärkere Sonnenstrahlung zu einer stärkeren Erwärmung der Haut führt. Im Sinne der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (vgl. Gropengießer 2003, Kapitel 1.1.3.3) lassen sich diese Metaphern und Phänomene (Schutzschicht, Loch, Erwärmung durch Strahlung) auf „verkörperte“ Vorstellungen zurückführen, die aus (früh-)kindlichen Entwicklungsphasen unseres kognitiven Systems stammen. Sie werden deshalb besonders gut verstanden und sind in unserem kognitiven System sehr tief verankert.

## 3. Der hohe Abstraktionsgrad der Prozesse Strahlungsabsorption und Strahlungsumwandlung und der begrenzte Erklärungswert der Glashauss-Analogie

Die Attraktivität des anschaulichen und plausiblen Ozonloch-Modells wird noch dadurch gesteigert, dass der Kern der fachwissenschaftlichen Treibhauseffekt-Theorie durch Alltagsferne und einen hohen Abstraktionsgrad gekennzeichnet ist. Auf den ersten Blick mag diese These Verwunderung auslösen, steht doch mit der namensgebenden Glashauss-Analogie ein Erklärungsmodell für den Treibhauseffekt zur Verfügung, das durchaus alltagsnah ist (z.B. Wintergarten, sonnenerwärmter Innenraum von Autos). Bei genauerer Betrachtung beschränkt sich der Alltagsbezug der Glashauss-

Analogie allerdings auf die Wirkung des Phänomens (die Erwärmung) und auf die Erklärung, dass Strahlung „gefangen wird“, weil die Glasschicht (=Atmosphäre) sie zwar hinein-, aber nicht mehr hinauslässt. Was sich in der Glasschicht bzw. Atmosphäre und am Erdboden aber genau abspielt, wird durch die Analogie nicht geklärt und bleibt damit auf der abstrakt-wissenschaftlichen Ebene.<sup>92</sup>

Für eine plausible Erklärung des Treibhauseffektes benötigt man neben der Glashaus-Analogie noch ein Verständnis für die verschiedenen Absorptionsprozesse am Erdboden und in der Atmosphäre: Einfallende Sonnenstrahlung wird am Boden absorbiert und dabei in Wärmestrahlung umgewandelt. Anschließend absorbieren das Glas bzw. die Treibhausgase diese Wärmestrahlung und erwärmen sich dadurch. Von zentraler Bedeutung ist zudem, dass diese Absorption selektiv ist, d.h., Treibhausgase absorbieren zwar Wärmestrahlung, nicht aber Sonnenstrahlung, die sie ungehindert passieren lassen.

Den meisten Schülern fehlen Kenntnisse über Absorptionsprozesse und über die Umwandlung von Strahlung an der Erdoberfläche. Diese Phänomene entziehen sich unserer Alltagserfahrung und gehören zu einem relativ abstrakten, wissenschaftlichen Wissen. Stattdessen greifen die Schüler bei der Beschreibung der graphisch als Pfeile dargestellten Strahlung häufig auf den Begriff der Reflexion zurück, der einen deutlich größeren Alltagsbezug hat und mit dem bereits Kindern die Wirkung von Spiegeln erklärt wird. Eine Erklärung des Glashaus-Prinzips ohne Absorptionsprozesse entspricht in dieser Untersuchung der undifferenzierten Variante des Glashaus-Modells. Damit konnten die Schüler zwar den Strahlengang in den Abbildungen zum Treibhauseffekt beschreiben, eine plausible Erklärung der Erwärmung im Glashaus war ihnen jedoch nicht möglich.

Auch in der Untersuchung von Aeschbacher et al. (2001) werden der hohe Abstraktionsgrad der Strahlungsabsorption sowie die große Alltagsnähe und Plausibilität der „Loch-Vorstellung“ als Ursachen für die weite Verbreitung und Stabilität des Ozonloch-Modells angesehen.

#### **4. Die Eigenschaften der UV-Strahlung und die Folgen des Ozonlochproblems haben eine hohe Relevanz im Alltagskontext**

Eine Voraussetzung für das Auftreten des Ozonloch-Modells als Erklärung des Treibhauseffektes ist natürlich, dass jemand entsprechend detaillierte Alltagsvorstellungen über das Ozonlochproblem hat. Weshalb ist dies bei so vielen Menschen auch in internationalen Studien und bereits ab dem Grundschulalter der Fall? Die Anschaulichkeit und Plausibilität der Zusammenhänge spielen dabei sicher eine große Rolle, sie reichen als Erklärung für die weite Bekanntheit aber nicht aus. Es spricht viel dafür, dass ein weiterer Grund in der hohen Alltagsrelevanz liegt, die mit zentralen Konzepten des Ozonlochthemas verbunden ist.

Bereits sehr früh erwerben die meisten Schüler in ihrem Alltagsleben ein umfassendes Vorwissen über die Eigenschaften der UV-Strahlung: Gerade Kinder und Jugendliche lernen in aller Regel durch eigene körperliche Erfahrung, dass zu starke Sonnenstrahlung Sonnenbrand verursachen kann. Es liegt nahe, dass bei der Beschäftigung mit den Gefahren des Sonnenbadens auch der Begriff „UV-Strahlung“ erlernt wird, zumal dieser meist auf der Packung des Sonnenschutzes im Zusammenhang mit den Lichtschutzfaktoren erwähnt wird. Ein weiterer Aspekt ist, dass auch das erhöhte Hautkrebsrisiko aufgrund von Sonnenbrand und zu intensiver UV-Strahlung als ein gesellschaftlich geteiltes Allgemeinwissen angesehen werden kann. Insofern sind die mit dem Ozonloch und seinen Folgen verbundenen Konzepte sehr gut anschlussfähig an die Alltagsvorstellungen der Schüler. Ihre ständige erfolgreiche Anwendung im Alltagskontext führt zu einer tiefen Verankerung dieser Konzepte, so dass sie bei der mentalen Konstruktion des Ozonloch-Modells besonders leicht verfügbar sind.

---

<sup>92</sup> Abgesehen davon ist diese Analogie aus fachwissenschaftlicher Sicht sogar sehr fragwürdig, weil die Erwärmung in einem Glashaus fast ausschließlich darauf beruht, dass die Glashülle den konvektiven Aufstieg und den Austausch der Luft verhindert, die sich im direkten Kontakt mit den aufgeheizten Oberflächen erwärmt hat.

### Fallbeispiele aus den Interviewtexten

Abschließend sollen v.a. die ersten beiden Erklärungsansätze anhand von zwei Fallbeispielen verdeutlicht und empirisch gestützt werden.

#### Fallbeispiel 1 (Lilli, HK 8)

Als ein Fallbeispiel kann die Schülerin Lilli<sup>93</sup> im nachfolgenden Beispiel dienen. Sie reflektiert selbst ihre Schwierigkeiten bei der Rekonstruktion der Zusammenhänge aus dem einst gelernten Wissen. Sie hatte den Treibhauseffekt zunächst korrekt nur über das Glashaus-Modell erklärt (vgl. Textbeispiel 1 im Kapitel 4.4.1.1). Im weiteren Verlauf des Interviews erwähnt sie bei der Frage, wie sich das Problem in den letzten Jahrzehnten entwickelt hat, dann aber, dass FCKW als Treibhausgase ja bereits verboten wurden:

S: Also es gibt einige Länder, die bestimmte Produkte verboten haben. Gerade FCKW-Gase [...] — I: Welche Rolle spielen FCKW-Gase? — S: Das sind auch Treibhausgase. Das ist diese Zerstörung der Ozonschicht und UV-Strahlen – noch irgendwas. — I: Inwiefern hängt das mit dem Treibhauseffekt zusammen? — S: Keine Ahnung. Das ist immer so schwierig. Man kriegt sehr oft irgendwelche Schlagworte an den Kopf geworfen oder man hat mal irgendwann gewusst, wie das zusammenhing, aber irgendwann kann man sich dann nur noch an die Schlagworte erinnern und nicht mehr daran, was sie eigentlich bedeuten. [...] Also zu FCKW fällt mir jetzt verstärkte UV-Strahlung ein. Ja, UV-Strahlung ist vielleicht energiereicher irgendwie – auch wieder Erwärmung. (Lilli, HK8/107-113)

Erst auf die Frage, welche Rolle die hier zum ersten Mal von der Schülerin genannten FCKW beim Treibhauseffekt spielen, assoziiert sie mit dem Begriff FCKW auch Ozonschicht und UV-Strahlen (Erklärung 1, Parallelen bei den kognitiven Schemata). Sie kennt zwar auf Anhieb keinen Zusammenhang zwischen Treibhauseffekt und Ozonloch und beklagt, dass sie sich nur noch an Begriffe, aber nicht mehr an Zusammenhänge erinnern kann. Ausgehend von den in ihrem kognitiven Schema aktivierten Begriffen konstruiert sie dann einen für sie plausiblen Zusammenhang über die Assoziationskette FCKW – verstärkte UV-Strahlung – UV-Strahlung ist energiereicher – Erwärmung. An dieser Passage lässt sich sehr schön erkennen, wie im Alltag ausgehend von begrifflichem Wissen und über die vorhandenen bzw. aktualisierten Basismodelle Zusammenhänge abgeleitet (inferiert) werden, die sich nicht an gelerntem Wissen, sondern v.a. an der Plausibilität des Zusammenhangs orientieren (Erklärung 2, Plausibilität).

#### Fallbeispiel 2 (Max, TR6)

Dieses Fallbeispiel zeigt, dass auch bei einem Schüler, der über eine fachwissenschaftlich korrekte Alltagstheorie verfügt und den Treibhauseffekt ganz im Sinne des differenzierten Glashaus-Modells erläutert, die Parallele zum Ozonlochproblem eine Rolle spielen kann.

S: Also der Treibhauseffekt. Wie war das noch mal – ((überlegt)). Also ich kann es mir vorstellen, aber ich versuche gerade es noch in Worte zu fassen. Ich weiß nicht mehr genau, was. -- Auf jeden Fall war das mit der Sonneneinstrahlung, die dann. -- Ich bin mir jetzt nicht mehr sicher, ob das was mit der Ozonschicht zu tun hatte oder ob das jetzt wieder was anderes war. Na auf jeden Fall kann die ((zögert)) – irgendein Gas sammelt sich an, in irgendeiner Schicht. Eine Schicht ist da, die die Erdwärme wieder zurückreflektiert. ((zeichnet)) — I: Also das sind jetzt hier Gase und wie geht es jetzt hier weiter mit der Sonnenstrahlung? — S: Die Sonnenstrahlung, das sichtbare Licht, das geht alles durch. Das wird irgendwie auf der Erdoberfläche dann in Wärmestrahlung, also Infrarotstrahlung denke ich mal, also auf jeden Fall in Wärme halt, und diese Wärmestrahlung kann dann nicht mehr zurück in den Weltraum entweichen. — I: Aha, wollen Sie es gerade mal hier einzeichnen? — S: Ja, das geht hier hoch und wird hier wieder dann zurückreflektiert. — I: Ah ja, und das ist hier dann Wärmestrahlung? — S: Ja, würde ich jetzt mal sagen. — I: Und woran liegt es, dass das nicht mehr zurückgeht? — S: Ja wie gesagt, da gibt es dann irgendwie – nein, das ist nicht die Ozonschicht, das sind dann irgendwelche Abgase oder das Kohlenstoffdioxid, glaube ich, war es, wo dann die Wärmestrahlung nicht durchlässt, sondern nur das sichtbare Licht. (Max, TR6/28-41)

Beim „lauten Denken“ wird deutlich, dass Max zunächst die Ozonschicht mit dem Treibhauseffekt in Verbindung bringt (Erklärung 1, Aktivierung beider Begriffssysteme beim Versuch, das mentale Modell des Phänomens zu erinnern). Am Ende setzt sich dann doch das reine Glashaus-Modell

<sup>93</sup> Alle Schülernamen in dieser Untersuchung wurden verändert.

durch – einschließlich der Vorstellung von einer Treibhausgas-Schicht –, der Begriff „Ozonschicht“ wird fallen gelassen, der Begriff „Abgase“ wird präzisiert zu „Kohlenstoffdioxid“.

### 5.3.3 Didaktische Konsequenzen

#### Didaktische Leitlinien

Ausgehend von den vier Erklärungsansätzen und den zentralen Abweichungen der beiden Basismodelle von der wissenschaftlichen Sichtweise lassen sich verschiedene didaktische Leitlinien für die Strukturierung von Unterricht ableiten, die nachfolgend vorgestellt werden. Allgemeine unterrichtsmethodische Leitlinien werden später in Kapitel 5.6.1 ausgeführt.

#### Ozonloch-Modell als wissenschaftlich nicht haltbare Alltagsvorstellung im Unterricht bewusst machen und thematisieren.

In den meisten Conceptual-Change-Ansätzen wird gefordert, dass sich die Schüler zu Beginn des Unterrichts ihre vorunterrichtlichen Vorstellungen selbst bewusst machen sollen. Auf dieser Grundlage können sie in einem zweiten Schritt bei der Erarbeitung der wissenschaftlichen Sichtweise gezielt Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen ihrer Alltagstheorie und der wissenschaftlichen Theorie herausarbeiten (vgl. Kapitel 5.6.1). Dies lässt sich auch bei der Erklärung des (anthropogenen) Treibhauseffektes leicht durchführen, z.B. indem man die Schüler zu Beginn des Unterrichts Zeichnungen ihrer Vorstellungen anfertigen und evtl. auch untereinander vergleichen lässt. Beim Thema Treibhauseffekt wird ein solches Vorgehen dadurch sehr erleichtert, dass das Ozonloch-Modell weit verbreitet ist und einen recht universellen Charakter hat. Als Lehrkraft kann man sich somit gezielt auf die wahrscheinlich auftretenden Vorstellungen vorbereiten und den Unterricht so organisieren, dass die Schüler das Ozonloch-Modell selbst als unhaltbare Vorstellung erkennen können.

Sehr wichtig ist, dass die beiden Phänomene Treibhauseffekt und Ozonloch im Verlauf des Unterrichts klar getrennt und ihre Unterschiede hervorgehoben werden. Dies kann z.B. durch den Vergleich einer Schülerzeichnung des Ozonloch-Modells mit einer typischen Schulbuchgrafik zum Treibhauseffekt erfolgen, bei der einfallende Sonnenstrahlung und zurückgestrahlte Wärmestrahlung mit Pfeilen dargestellt sind. Daran lässt sich schön verdeutlichen, dass die globale Erwärmung nicht durch zusätzlichen „Strahlungsinput“, d.h. eine Verstärkung der einfallenden Sonnenstrahlung bzw. UV-Strahlung verursacht wird, sondern durch das Zurückhalten der Wärmestrahlung, die die Erde selbst aussendet, also durch einen verhinderten „Strahlungsoutput“.

#### Abstrakte Prozesse wie Strahlungsabsorption und Strahlungsumwandlung durch geeignete Methoden verständlich machen.

Ohne das Verständnis der Strahlungsabsorption und die damit verbundene Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärmestrahlung lässt sich die Wirkung der Treibhausgase nicht plausibel erklären. Die wissenschaftliche Erklärung des Treibhauseffektes ist damit aber deutlich abstrakter und komplizierter als die über das Ozonloch-Modell. Deshalb müssen die beiden grundlegenden Konzepte sorgfältig erarbeitet und durch geeignete Methoden verständlich und plausibel gemacht werden. Exemplarisch sollen dafür nun einige Möglichkeiten aufgelistet werden, die sich in Fachdidaktik und Unterrichtspraxis bereits bewährt haben.

- Analogien und Metaphern: Das Problem der geringeren Anschaulichkeit lässt sich u.a. durch tragfähige Analogien und Metaphern mildern, die auf fest verankerte Alltagskonzepte zurückgreifen. Die Treibhaus- / Glashaus-Analogie reicht nicht aus, weil sie genau zu diesen beiden abstrakten Prozessen keine Aussage macht. Ein Beispiel für eine sinnvolle Analogie ist es, den Treibhauseffekt als „Strahlenfalle“ zu bezeichnen, bei der Strahlung zwar in die Atmosphäre hineingelangt, sie aber nicht mehr verlassen kann (vgl. Reinfried et al. 2008). Die Rolle der Treibhausgase kann dabei entweder mit einer „Membran“ verglichen werden

oder mit einer „wärmenden Decke“, die einen „Wärmestau“ zur Folge hat. Eine andere wertvolle Analogie besteht darin, die Strahlungsabsorption durch einen Gegenstand als „Aufnehmen“ oder „Verschlucken“ von Strahlung zu bezeichnen: Der Erdboden „verschluckt“ Sonnenstrahlung, die Treibhausgase nehmen Wärmestrahlung auf und beide erwärmen sich bei diesem Prozess.

- Alltagsnahe Beispiele: Eine zweite Möglichkeit besteht darin, abstrakte Prozesse durch alltagsnahe Beispiele zu verdeutlichen, die an den Erfahrungshorizont der Schüler anknüpfen. Beim Thema Strahlungsumwandlung könnten die Schüler sich selbst Beispiele überlegen, mit denen man verdeutlichen kann, dass ein Gegenstand, der Sonnenstrahlung „verschluckt“, sich im Gegenzug erwärmt und anschließend selbst Wärmestrahlung aussendet (z.B. sonnen erwärmter Asphalt, die eigene Haut beim Sonnenbaden ...). Als Lehrer kann man dabei die Vorstellung von einer „sinnlich spürbaren Wärmestrahlung“, die von solchen Gegenständen ausgeht, aktivieren und auf den Erdboden beim Treibhauseffekt übertragen.
- Verständliche Fachsprache: Beim Prozess der Strahlungsumwandlung bietet es sich an, die beiden Strahlungsarten als „Sonnenstrahlung“ und „Wärmestrahlung“ zu bezeichnen und zunächst nicht von „kurzwelliger“ und „langwelliger Strahlung“ zu sprechen. Wie in dieser Untersuchung gezeigt werden konnte, birgt die Unterscheidung von kurz- und langwelliger Strahlung ein hohes Verwechslungspotenzial in sich und trägt nur in Verbindung mit einem fundierten physikalischen Wissen zu einem vertieften Verständnis bei. Die Begriffe „Sonnen-“ und „Wärmestrahlung“ sind fachlich vertretbar und zugleich anschlussfähig an eigene Alltagserfahrungen. Ggf. kann darauf aufbauend dann immer noch die unterschiedliche Stellung der beiden Strahlungsarten im elektromagnetischen Spektrum thematisiert werden.
- Geeignete Medien: Eine dritte Möglichkeit ist die Veranschaulichung der Prozesse durch geeignete Medien, z.B. Modelle, Modellversuche oder Modellexperimente. Ein didaktisch und lernpsychologisch aufbereitetes Beispiel dafür wurde von Aeschbacher & Huber (1996) entwickelt und von Reinfried et al. (2008) in eine Lernumgebung zum Treibhauseffekt integriert (s.u.).

#### Charakteristische Eigenschaften von CO<sub>2</sub>, FCKW und anderen Treibhausgasen herausarbeiten und von denen der Luftschadstoffe abgrenzen.

Um zu vermeiden, dass die Schüler plausible Synthesemodelle aus Treibhauseffekt, Ozonloch und Luftverschmutzung bilden ist es wichtig, die unterschiedlichen Eigenschaften von Treibhausgasen, FCKW und Luftschadstoffen bewusst zu machen. Es sollte herausgearbeitet werden, dass der Treibhauseffekt nichts mit den giftigen und aggressiv-zerstörenden Wirkungen von Schadstoffen zu tun hat, die von den beiden anderen Problemen her geläufig sind. Folgende Punkte können dabei betont werden:

- Das wichtigste Treibhausgas, CO<sub>2</sub>, ist keine chemisch aggressive oder giftige Substanz in der Atmosphäre. Es ist das gleiche Gas, das wir selbst täglich ausatmen, das Pflanzen für die Photosynthese benötigen und das wir mit Sodasprudlern in Wasser lösen, um Kohlensäure zu erhalten. Beim Treibhauseffekt kommt es nicht auf die chemischen Eigenschaften der Treibhausgase an, sondern auf eine physikalische Eigenschaft, nämlich ihre Fähigkeit, Wärmestrahlung zu absorbieren und Sonnenstrahlung passieren zu lassen.
- FCKW spielen eine Doppelrolle: Beim Thema Ozonloch wirken sie tatsächlich chemisch „aggressiv“, indem sie Ozonmoleküle abbauen und so die Ozonschicht schädigen. Beim anthropogenen Treibhauseffekt wirken sie dagegen als hochwirksame Treibhausgase auf die gleiche Weise wie CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase auch.
- Der Treibhauseffekt selbst ist ein natürlicher Prozess, der als solches nicht gefährlich, sondern sogar notwendig für alles Leben auf der Erde ist. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt läge die globale Mitteltemperatur der Erde bei -18°C. Das Problem entsteht nur durch die anthropogene Verstärkung des natürlichen Effekts durch die Emission von zusätzlichen Treibhausgasen.

Kognitive Konflikte zwischen Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen erzeugen. Aus dem bereits Genannten lassen sich auch einige typische kognitive Konflikte ableiten, in die man die Schüler bei der Besprechung des Ozonloch-Modells führen könnte. Das Ziel ist, eine Unzufriedenheit mit den eigenen Alltagsvorstellungen zu erzeugen und so die Bereitschaft für einen Konzeptwechsel zu schaffen.

- Wenn die Schüler beim Ozonloch-Modell oder beim einfachen Glashauss-Modell nicht zwischen verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden, kann man schlicht die Frage stellen, weshalb die Strahlung zwar in die Atmosphäre eindringen, sie aber nicht mehr verlassen kann.
- Wenn den verursachenden Emissionen von den Schülern giftige, aggressive Eigenschaften zugeschrieben werden, kann auf die oben beschriebenen Eigenschaften des wichtigsten Treibhausgas CO<sub>2</sub> verwiesen werden.

### **Beispiel für eine Lernumgebung zum Thema Treibhauseffekt**

Einige der genannten Möglichkeiten wurden bereits in einer Lernumgebung zum Thema Treibhauseffekt für die Sekundarstufe I umgesetzt, die in der Zeitschrift „Geographie heute“ publiziert wurde (Reinfried, Schuler, Aeschbacher & Huber 2008). Zentrale Elemente darin sind sorgsam nach instruktionspsychologischen Kriterien gestaltete Arbeitsblätter, mit denen das Phänomen Treibhauseffekt über die Prozesse Strahlungsabsorption und Strahlungsumwandlung erarbeitet wird, sowie ein anschaulicher Modellversuch. Die Arbeitsblätter legen großen Wert auf eine starke Elementarisierung und Sequenzierung der für das Verständnis entscheidenden Prozesse (vgl. Bleichroth 1991) und weichen damit von typischen Schulbuchabbildungen ab, in denen oftmals sehr viele Aspekte in einer einzigen Grafik gebündelt werden (z.B. Sonnen- und Wärmestrahlung, Absorption und Strahlungsumwandlung, Ursachenfaktoren für Treibhausgasemissionen). Im Modellversuch, der von Aeschbacher & Huber (1996) entwickelt wurde, wird ein Modellglobus von einer Halogenlampe erwärmt, ein Messinstrument zeigt die vom Globus wieder abgegebene Wärmestrahlung an. Wenn man die „Modellatmosphäre“ zwischen Globus und Messinstrument mit CO<sub>2</sub> auffüllt, ist auf dem Messinstrument ein sehr deutlicher Rückgang der ins Weltall entweichenden Wärmestrahlung zu beobachten. Bei der Arbeit mit diesem Modellversuch müssen die Schüler ihr neu erarbeitetes Wissen anwenden, um die beobachteten Phänomene erklären zu können. Der Versuch zeigt dabei nicht die Erwärmung selbst, die ja auch durch verstärkte Strahlung beim Ozonloch-Modell erklärbar ist, sondern den Effekt des Wärmestaus durch verhinderte Abstrahlung. Um dieses Spezifikum des Treibhauseffektes erklären zu können, müssen sich die Schüler von einer evtl. vorhandenen Loch-Vorstellung lösen.

## **5.4 Alltagstheorien über die Ursachen des globalen Klimawandels**

### **5.4.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse**

#### **Häufigkeitsanalyse einzelner Ursachenkonzepte (explorative Vorstudie)**

Durch die explorative Vorstudie mit 129 Befragten konnte bereits vor der Erhebung der Alltagstheorien eine Häufigkeitsanalyse einzelner Ursachenkonzepte auf einer breiten Basis durchgeführt werden. Dabei zeigen sich einige Tendenzen, die bei der anschließenden Analyse der Alltagstheorien genauer untersucht werden konnten.

- In der Dimension der Emissionen dominieren die drei Kategorien „nur pauschale Nennung von Emissionen (Abgase etc.)“ (50 Personen), FCKW (40) und CO<sub>2</sub> (36). Mit weitem Abstand folgt Methan (8). Diese Häufigkeitsverteilung entspricht in etwa den Ergebnissen aus anderen internationalen Studien (z.B. Boyes & Stanisstreet 1993, Dove 1996 oder Kempton

1991). Auffällig ist die relativ häufige Nennung von FCKW. Bei der in der Hauptstudie durchgeführten Analyse der Alltagstheorien konnte gezeigt werden, dass dies in aller Regel eine Folge des Ozonloch-Modells ist und FCKW hier nicht im fachlich korrekten Sinn als Treibhausgas aufgefasst werden. Angesichts ihrer überragenden Bedeutung aus fachwissenschaftlicher Sicht werden CO<sub>2</sub>-Emissionen hier relativ selten genannt, in den Alltagstheorien der Hauptstudie treten sie dagegen häufiger auf.<sup>94</sup> In der Hauptstudie gibt es auch Hinweise darauf, dass die Konzepte CO<sub>2</sub> und Methan von der Differenziertheit der Alltagstheorie abhängig sein könnten: Sie treten innerhalb des Interviewsamples eher auf, wenn die Alltagstheorien differenzierter sind. Dagegen treten FCKW in allen drei Differenzierungsstufen etwa gleich häufig auf.

- In der Dimension „menschliche Aktivitäten“ dominieren die beiden Ursachenkonzepte Verkehr (63 Nennungen) und Industrie (47). Mit etwas Abstand folgen FCKW-Quellen wie Spraydosen (25). Ausgesprochen selten werden Konzepte genannt, die sich explizit auf Energienutzung beziehen, z.B. die Nutzung fossiler Energierohstoffe (10) oder Energieverbrauch im Haushalt in Form von Wärme oder Strom (5). In der Hauptstudie gibt es wiederum Hinweise darauf, dass diese Energie-Konzepte bei differenzierten Theorien deutlich häufiger anzutreffen sind, bei undifferenzierten hingegen weitgehend fehlen. Auch Boyes & Stanisstreet (1993) berichten, dass viele Schüler keinen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und dem anthropogenen Treibhauseffekt herstellen und dass als wirksame Klimaschutzmaßnahmen v.a. Einschränkungen beim Autoverkehr sowie das Pflanzen von Bäumen genannt werden. Leider gibt es sonst keine Studien, die sich intensiver mit den Alltagsvorstellungen über die Verursacher und Quellen von Treibhausgasen beschäftigt haben.
- Relativ selten nennen die Schüler Wald- bzw. Regenwaldzerstörung als Ursache (16 Nennungen). In der Hauptstudie ist dieses Konzept dagegen bei fast allen Schülern anzutreffen, die meisten haben es allerdings erst nach dem Impuls „Welche Rolle spielt die Landwirtschaft als Verursacher?“ genannt. Offenbar handelt es sich hier bei vielen Schülern um ein implizites Wissen, das zwar durch eine entsprechende Anregung („Explizierungshilfe“) abgerufen werden kann und somit auch Bestandteil der Alltagstheorie ist, das aber weit weniger direkt mit den Ursachen assoziiert wird als die Konzepte Verkehr und Industrie.
- Sehr selten werden bestimmte landwirtschaftliche Aktivitäten (z.B. Viehhaltung, Reisanbau, etc.) genannt (3 Nennungen). In der Hauptstudie sind diese Konzepte etwas häufiger vertreten, sie beschränken sich allerdings weitgehend auf Alltagstheorien mit größerer Differenziertheit.

Damit liegen Ergebnisse dazu vor, welche Ursachenkonzepte in den Alltagsvorstellungen der Schüler besonders gut (bzw. häufig) und welche eher schlecht bis gar nicht repräsentiert sind. Die anschließende Analyse der Alltagstheorien als Mappings ermöglichte nun einen genaueren Blick darauf, wie diese und weitere Ursachenkonzepte miteinander vernetzt und in unterschiedlich differenzierte Kausalstrukturen eingebettet sind. In einem zweiten Schritt wurden dann die dahinter stehenden Basismodelle herausgearbeitet. Insgesamt wurden auf diesem Weg aus den Alltagstheorien der einzelnen Schüler mehrere typische und häufiger anzutreffende Erklärungsmuster für die Entstehung des anthropogenen Treibhauseffektes identifiziert.

### **Analyse der Mappings**

Die Erhebung und Analyse der Alltagstheorien als Mappings ermöglicht es, die Zusammenhänge und Kausalstrukturen zu untersuchen, in die die einzelnen Ursachenkonzepte eingebettet sind. Das Modal-Mapping der Ursachen (vgl. Abbildung 47) zeigt eine Vielzahl verschiedener Kausalketten, die ausgehend von den drei vorgegebenen Verursacher-Konzepten „Wirtschaft und Industrie“, „Jeder Einzelne in seinem Alltag / Privathaushalte“ und „Landwirtschaft“ über verschiedene menschl-

<sup>94</sup> Dafür kann es zwei Gründe geben, die auch bei den anderen Häufigkeitsanalysen beachtet werden müssen: In der Interviewstudie konnte im Gegensatz zur schriftlichen Befragung bei der Nennung von pauschalen Antworten wie „Emissionen/Abgase“ nach Konkretisierungen und Beispielen gefragt werden. Außerdem wurde das Interviewsample gezielt nach der „Differenziertheit“ als Samplingvariable zusammengestellt.

che Aktivitäten und verschiedene Emissionsarten bis hin zum Konzept „verstärkter Treibhauseffekt“ reichen.

Diese miteinander vernetzten Kausalketten konnten zu sieben Ursachenfeldern gebündelt werden, die jeweils bei mehreren Schülern anzutreffen waren. Die folgende Zusammenstellung dieser Ursachenfelder zeigt, dass es dabei einige interessante Unterschiede zwischen den differenzierten und den undifferenzierten Alltagstheorien gibt:

1) Das bedeutendste Ursachenfeld in den Alltagstheorien ist die *Verbrennung fossiler Brennstoffe* durch viele verschiedene Aktivitäten, wodurch CO<sub>2</sub>-Emissionen oder pauschal Abgase entstehen.<sup>95</sup> Dominant sind hierbei die beiden Konzepte „Industrieproduktion“ und „Verkehr“. Es lassen sich zwei wichtige Varianten dieses Ursachenfeldes unterscheiden:

- Bei der differenzierten Variante steht das Konzept der Verbrennungsprozesse im Zentrum, wobei oft auch explizit von der Verbrennung fossiler Brennstoffe gesprochen wird. Mit diesem Konzept erklären die Schüler, wie aus verschiedenen Aktivitäten CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. Diese Kausalstruktur ist zentraler Bestandteil des „CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modells“ (s.u.).
- Bei der undifferenzierten Variante fehlt das Konzept der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die Schüler sehen Verkehr oder Industrie direkt als Quelle von Abgasen bzw. „Luftschadstoffen“ an. In der Regel fehlt auch das konkretisierende Konzept „CO<sub>2</sub>-Emissionen“. Diese Kausalstruktur ist typisch für das „Luftverschmutzungs-Modell“ (s.u.).
- Bezeichnenderweise fehlen bei der undifferenzierten Variante in der Regel auch die alltagsrelevanten Ursachenkonzepte „Stromverbrauch / elektrische Energie“ und „Heizung / Raumwärme“. Die Hintergründe dieses Phänomens können mit dem Basismodell „Luftverschmutzung“ erklärt werden.

2) Die *Zerstörung von Wäldern* wird von fast allen Schülern als Ursache genannt, allerdings von der Hälfte erst nach entsprechenden Impulsfragen. Das Ursachenfeld wird von drei verschiedenen Erklärungen geprägt:

- Die Verbrennung von Holz führt zu verschiedenen Emissionen (z.B. CO<sub>2</sub>).
- Wenn Wälder zerstört werden, können sie kein CO<sub>2</sub> mehr aus der Luft entnehmen (Umwandlung von CO<sub>2</sub> in Sauerstoff bei Photosynthese), die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt somit.
- Wenn Wälder zerstört werden, können sie die Luft nicht mehr von Abgasen und Schadstoffen reinigen. Außerdem produzieren sie dann auch weniger Sauerstoff.

Die ersten beiden Erklärungen sind v.a. in differenzierteren, die dritte eher in undifferenzierten Alltagstheorien anzutreffen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist nur die erste Erklärung korrekt. Die zweite bleibt unvollständig, weil die Schüler die natürliche CO<sub>2</sub>-Freisetzung in Wäldern nicht berücksichtigen, die in etwa der CO<sub>2</sub>-Aufnahme entspricht (d.h., es fehlt eine Vorstellung über den Kohlenstoffkreislauf). Bei der dritten Erklärung werden Eigenschaften und Funktionen von Wäldern aus anderen Kontexten fälschlicherweise auf den Kontext „Treibhauseffekt“ übertragen. Die Hintergründe werden im „Luftreinigungs-Photosynthese-Modell“ verdeutlicht.

3) Das Ursachenfeld der Verwendung von *FCKW-Quellen* wie Spraydosen oder Kühlschränke tritt unabhängig von der Differenziertheit der Alltagstheorien bei etwa der Hälfte der befragten Schüler auf. Als Erklärung wird immer die Zerstörung der Ozonschicht im Sinne des Ozonloch-Modells genannt.

Drei weitere Ursachenfelder, die hier nur aufgelistet werden sollen, sind:

- 4) Rinderhaltung und Reisanbau als *Quellen für Methanemissionen*,
- 5) *Müllentsorgung*,
- 6) die Verwendung von *Pestiziden und Düngemitteln*.

Das letzte Ursachenfeld geht über die anthropogenen Ursachen hinaus:

<sup>95</sup> Das so bezeichnete Ursachenfeld umfasst hier auch Ursachenstränge aus Einzeltheorien, in denen das übergreifende Konzept „Verbrennung fossiler Brennstoffe“ gar nicht vorkommt, weil entsprechende Aktivitäten (z.B. Industrie oder Verkehr) direkt mit den resultierenden Emissionen (z.B. Abgase) verknüpft werden.

- 7) *Natürliche Ursachen des globalen Klimawandels* wurden nur von wenigen Schülern angesprochen und treten dann auch eher in differenzierten Alltagstheorien auf. Dabei werden zwei Varianten genannt: Vulkanausbrüche, deren Emissionen den Treibhauseffekt verstärken sollen – was fachwissenschaftlich nicht korrekt ist –, und Schwankungen in der Sonnenaktivität, die zwar nicht mit dem Treibhauseffekt in Verbindung gebracht werden, aber als zweite Ursache einer globalen Erwärmung angesehen werden. Dies steht in Übereinstimmung mit der fachlichen Theorie, spielt darin aber nur eine untergeordnete Rolle.

Grundsätzlich werden von den Schülern mit diesen Ursachenfeldern alle wesentlichen Quellen von Treibhausgasen genannt, die auch in der wissenschaftlichen Theorie eine Rolle spielen. Bei nur oberflächlicher Betrachtung zeigt sich also eine gewisse Übereinstimmung von Alltagstheorien und wissenschaftlicher Sichtweise. Bedeutende Abweichungen zeigen sich allerdings, sobald man die in den Mappings deutlich werdenden Erklärungsmuster, d.h. die einzelnen Ursachenkonzepte und Kausalzusammenhänge, analysiert. Dabei müssen auch wichtige „Theorielücken“ beachtet werden, die insbesondere bei den undifferenzierten Theorien eine große Rolle spielen.

### **Basismodelle**

Besonders aufschlussreich ist die Analyse der Basismodelle, d.h. der Denkfiguren und mentalen Modelle, die sich hinter den Mappingstrukturen verbergen. Zu den Ursachen konnten vier solche Basismodelle identifiziert werden. Die ersten beiden, CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell und Luftverschmutzungs-Modell, beziehen sich auf das Ursachenfeld „Verbrennung fossiler Brennstoffe“. Das Umweltverschmutzungs-Modell hat übergreifenden Charakter und bezieht sich auf Konzepte aus verschiedenen Ursachenfeldern. Das Luftreinigungs-Photosynthese-Modell kommt beim Ursachenfeld „Zerstörung von Wäldern“ zum Einsatz.

Die nachfolgenden Zusammenfassungen können als Definitionsbeschreibungen der vier Basismodelle aufgefasst werden, in Kapitel 4.5.2 sind ausführliche Darstellungen mit Interviewauszügen und Mappingbeispielen zu finden.

#### *CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell*

Bei diesem Basismodell denken die Schüler bei den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes unmittelbar an die Entstehung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Damit verbunden ist auch das Konzept des Energieverbrauchs. Aus diesem abstrakten Kernzusammenhang leiten sie eine Vielzahl von Aktivitäten ab, die zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen. Zudem können sie daraus auch differenzierte Vorschläge für sinnvolle Gegenmaßnahmen entwickeln.

#### *Luftverschmutzungs-Modell*

Die Verschmutzung der Luft durch verschiedene Abgase wird als zentrale Ursache des anthropogenen Treibhauseffektes angesehen. Häufig ist damit eine sehr bildhafte Vorstellung von „rauchenden Schornsteinen“ oder einer „Smogschicht“ über einer Stadt verbunden. Abgase werden als giftige, aggressive Schadstoffe aufgefasst, CO<sub>2</sub> als konkrete Emission ist in der Regel unbekannt. Hier wird offensichtlich ein Synthesemodell aus den beiden Umweltproblemen „klassische“ Luftverschmutzung (durch Schadstoffe wie SO<sub>2</sub>) und verstärkter Treibhauseffekt gebildet.

In vielen Fällen wird diese Synthese außerdem noch auf das Ozonloch-Modell ausgeweitet, indem davon ausgegangen wird, dass die aggressiven Abgase von Industrie und Verkehr die Ozonschicht zerstören.

#### *Umweltverschmutzungs-Modell*

Die Schüler betrachten den anthropogenen Treibhauseffekt undifferenziert als Teilproblem der allgemeinen Umweltverschmutzung und können die verschiedenen Umweltprobleme nicht sicher voneinander abgrenzen. Bei der Frage nach den Ursachen des verstärkten Treibhauseffektes werden

assoziativ nahezu beliebig andere Umweltprobleme genannt – u.a. Gewässerverschmutzung, radioaktive Abfälle oder Elektrosmog. In der Regel bleiben die genauen Zusammenhänge vage und unbestimmt. Es herrscht die Vorstellung vor, dass „alles irgendwie mit allem“ zusammenhängt.

#### *Luftreinigungs-Photosynthese-Modell*

Dieses Basismodell spielt eine bedeutende Rolle bei der Frage, weshalb der Treibhauseffekt durch die Zerstörung von Wäldern verstärkt werden kann. Die Schüler schreiben Wäldern die Eigenschaft zu, die Luft von Schadstoffen reinigen zu können. In der weniger differenzierten Modellvariante gehen die Schüler pauschal davon aus, dass Wälder Abgase bzw. Treibhausgase, die den anthropogenen Treibhauseffekt verursachen, aus der Luft teilweise wieder herausfiltern können. In der differenzierten Modellvariante wird die Luftreinigung über die Photosynthese erklärt: Wälder „filtern“ dabei das Treibhausgas CO<sub>2</sub>, indem sie es aus der Luft aufnehmen und in Sauerstoff umwandeln. Oft wird dies als „Abbau von CO<sub>2</sub>“ beschrieben.

#### *Kompatibilitäten zwischen den Modellen*

Dem weit verbreiteten Luftverschmutzungs-Modell kommt in vielen Alltagstheorien eine Schlüsselrolle zu. Der Grund liegt in seiner hohen Kompatibilität zu zwei anderen Basismodellen, dem Ozonloch-Modell und dem Luftreinigungs-Photosynthese-Modell:

- Kombination von Luftverschmutzungs- und Ozonloch-Modell: Im Luftverschmutzungs-Modell wird den Abgasen ein aggressiver, zerstörerischer Charakter zugeschrieben. Damit lässt sich sehr leicht und sehr plausibel auch die Zerstörung der Ozonschicht erklären.
- Kombination von Luftverschmutzungs- und Luftreinigungs-Photosynthese-Modell: Die Vorstellung von der Reinigungs- und Filterwirkung des Waldes in der undifferenzierten Modellvariante des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells beruht auf Vorstellungen, die eigentlich zum Problem der „klassischen“ Luftverschmutzung gehören, so dass eine Modellkombination sehr naheliegend ist.

#### **Fachlich korrekte Modell-Alternativen**

Nur das CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell steht im Einklang mit der fachwissenschaftlichen Theorie des anthropogenen Treibhauseffektes, die drei anderen Basismodelle weichen mehr oder weniger stark davon ab. Aus didaktischer Perspektive macht es Sinn, sich zu überlegen, wie alternative Basismodelle aussehen könnten, die sich auf die Ursachenfelder jenseits des CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modells beziehen und mit der fachlichen Sichtweise in Einklang stehen. Solche Basismodelle können als Zielperspektive von Unterricht aufgefasst werden. In Basismodellen sind allgemeine, übergreifende Zusammenhänge in möglichst anschaulicher Form repräsentiert, so dass einzelne Kausalzusammenhänge leicht daraus abgeleitet werden können. Zwei solche „potenziellen Basismodelle“ könnten ein „Kohlenstoffspeicher-Modell“ und ein Modell „Zersetzung-unter-Luftabschluss“ sein.

#### *„Kohlenstoffspeicher-Modell“*

Bei diesem Basismodell wird die Funktion von Wäldern und Pflanzen in der Speicherung von Kohlenstoff gesehen. Bei der Zerstörung von Wäldern wird dieser Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt und verstärkt so den Treibhauseffekt. Die Metapher des Speichers verdeutlicht, dass CO<sub>2</sub> nur durch eine Vergrößerung des Speichers, z.B. durch Wiederaufforstung, aus der Atmosphäre entfernt werden kann, nicht aber allein durch die Photosynthese bereits bestehender Wälder. Das Modell ist somit die wissenschaftlich korrekte Alternative zum Luftreinigungs-Photosynthese-Modell, denn es impliziert den bei natürlichen Wäldern weitgehend geschlossenen Kohlenstoff-Kreislauf.

#### *„Zersetzung-unter-Luftabschluss-Modell“*

Bei der Zersetzung von organischer Substanz unter Luftabschluss wird Methan freigesetzt. Dieser Prozess ist verantwortlich für die Methanemissionen aus Rindermägen, aus Nassreisfeldern, aus Mülldeponien und aus Sumpfbereichen und Mooren, die aufgrund des verstärkten Auftauens von

Permafrostboden im Zuge der globalen Erwärmung entstehen bzw. reaktiviert werden. Ähnlich wie beim CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell steht hier ein abstrakter Zusammengang im Zentrum eines Basismodells, mit dem sich leicht mehrere Ursachenkonzepte plausibel erklären und damit besser in der Alltagstheorie verankern lassen. Dies ist wichtig, wenn Detailzusammenhänge der Alltagstheorie abgerufen werden sollen oder wenn die Theorie durch neue Informationen erweitert werden muss. Das Konzept „Zersetzung unter Luftabschluss“ weist zudem einen Bezug zu potenziellen Alltagserfahrungen auf, was seine Eignung als zentraler Baustein eines potenziellen Basismodells zu fungieren weiter erhöht.

### **Bedeutende Abweichungen von den wissenschaftlichen Vorstellungen**

Aus der Analyse der Mappings und der Basismodelle lassen sich einige Abweichungen zwischen den Alltagstheorien und der wissenschaftlichen Theorie zusammenstellen, die aus didaktischer Perspektive bei der Planung und Strukturierung von Unterricht besonders wichtig sind.

#### *Ursachenfeld Verbrennung fossiler Brennstoffe*

- Luftverschmutzung und Luftschadstoffe werden als Ursache des anthropogenen Treibhauseffektes angesehen. Damit werden den Emissionen Eigenschaften zugeschrieben (giftig, aggressiv, vermeidbar durch Filter/Katalysator etc.), die fundamental von denen der Treibhausgase abweichen.
- Es fehlen Vorstellungen über die zentralen Ursachenkonzepte „Energienutzung“ und „fossile Brennstoffe“.
- Die Verursacherrolle der Privathaushalte beschränkt sich oft auf den Verkehrssektor. Vielfach fehlen Vorstellungen über die Nutzung elektrischer Energie sowie über Heizenergie und Warmwasserbereitung.

#### *Ursachenfeld Waldzerstörung*

- Die Rolle von Wäldern beim Treibhauseffekt wird in ihrer Eigenschaft gesehen, die Luft von Abgasen bzw. Schadstoffen reinigen zu können.
- Wäldern wird die Eigenschaft zugeschrieben, CO<sub>2</sub> abzubauen, in Sauerstoff umzuwandeln und damit dauerhaft aus der Atmosphäre zu entfernen. Dabei fehlen Vorstellungen über den Kohlenstoffkreislauf und die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern.

#### *Ursachenfeld FCKW-Quellen*

- Die Schüler sehen FCKW aus Quellen wie Spraydosen oder Kühlschränken nicht als Treibhausgase an, sondern argumentieren über die Zerstörung der Ozonschicht im Sinne des Ozonloch-Modells. Zudem enthalten die meisten der von den Schülern genannten Quellen inzwischen keine FCKW mehr.

#### *Umweltverschmutzungs-Modell*

- Nahezu beliebige Umweltprobleme werden assoziativ als Ursache angesehen (z.B. Gewässerverschmutzung, Müllproblem, Elektrosmog, ...)

#### *Fehlende Vorstellungen zu weiteren Ursachenfaktoren*

- In den meisten Alltagstheorien sind andere Treibhausgase als CO<sub>2</sub> und FCKW wie z.B. Methan und die entsprechenden Quellen dieser Gase nicht vertreten.
- Häufig fehlen Vorstellungen über die Art und Bedeutung von natürlichen Ursachen des globalen Klimawandels.

## **5.4.2 Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen**

Zu den drei Ursachen-Basismodellen, die mehr oder weniger stark von der wissenschaftlichen Sichtweise abweichen, werden nun zunächst Erklärungsansätze für die Modellentstehung zusammengefasst und daran anschließend spezifische Leitlinien für die didaktische Strukturierung abgeleitet.

### 5.4.2.1 Luftverschmutzungs-Modell

#### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Für die Entstehung und weite Verbreitung des Luftverschmutzungs-Modells konnten verschiedene Erklärungsansätze gefunden und auf der Basis von Conceptual-Change-Forschung und Kognitionspsychologie begründet werden:

- Vorstellungen über das Problem der Luftverschmutzung durch aggressive, giftige Abgase aus Autoverkehr und Industrieschornsteinen sind als soziale Repräsentation in unserer Gesellschaft fest verankert (vgl. Kempton 1991, Kempton et al. 1995). Sie werden bereits in der Kindheit erworben und im Rahmen der gesellschaftlichen Kommunikation immer wieder aktiviert.
- Mit diesen Vorstellungen sind nicht nur sinnliche Erfahrungen (Geruch, sichtbare Rauch- und Abgaswolken), sondern auch starke Bilder verbunden, die als symbolhafte Visualisierung von Luftverschmutzung in Kinderbüchern, Schulbüchern und Massenmedien verwendet werden (z.B. rauchende Schornsteine und Auspuffrohre). Dadurch werden entsprechende Vorstellungen zur Luftverschmutzung im Alltag immer wieder wachgerufen und bestätigt.
- Die Verwendung der Metapher „Schmutz“ für schädliche Emissionen im Begriff „Luftverschmutzung“ knüpft an frühkindliche Erfahrungen aus der Alltagswelt an (vgl. Gropengießer 2003, Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens). Der Begriff ist damit auch bei jüngeren Schülern oder Laien ohne detailliertere Kenntnisse sehr gut verständlich.
- Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass das mentale Modell der Luftverschmutzung eine hohe Alltagsrelevanz hat, dass es durch direkte und mediale Alltagserfahrungen immer wieder neu bestätigt wird und dass es auf einer gut verständlichen und einprägsamen Begrifflichkeit basiert. Entsprechend kann hier eine besonders tief verankerte Alltagsvorstellung vorliegen.
- Demgegenüber haben Erklärungen zum Treibhauseffekt einen deutlich höheren Abstraktionsgrad. Für die dabei relevanten Eigenschaften der Treibhausgase (selektive Absorption von Strahlung) gibt es keinen Alltagsbezug. Verglichen mit Luftschadstoffen ist das wichtigste Treibhausgas  $\text{CO}_2$  ein vergleichsweise unspektakuläres und ungiftiges Gas, das in der Schule zunächst in völlig anderen Kontexten thematisiert wird, v.a. im Zusammenhang mit der Photosynthese und der menschlichen Atmung.
- Es gibt Parallelen zwischen dem Problem der Luftverschmutzung und dem anthropogenen Treibhauseffekt auf der Ebene der kognitiven Schemata, was zu einer parallelen kognitiven Aktivierung und Überlagerung beider Phänomene führen kann: Zu den Ursachen zählen jeweils Emissionen aus denselben Quellen (Verkehr, Industrie, Kraftwerke), die Folgen sind jeweils schädliche Veränderungen der Atmosphäre. Wenn Wissen über den anthropogenen Treibhauseffekt erworben wird, werden automatisch das mentale Modell der Luftverschmutzung sowie das Begriffssystem im dazugehörigen kognitiven Schema aktiviert. Es ist naheliegend, dass dabei die Gemeinsamkeiten betont und Unterschiede ausgeblendet werden, zumal im Unterricht die Unterschiede in der Regel nicht gezielt thematisiert werden. So wird auch in vielen Alltagstheorien nicht zwischen verschiedenen Gasen unterschieden (z.B.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  versus  $\text{CO}_2$ ), sondern pauschal von „Abgasen“ gesprochen. Die Eigenschaften der Luftschadstoffe werden dabei einfach auf die Treibhausgase übertragen.
- Wie in Kapitel 4.5.2.2 bereits erläutert wurde, kann das Luftverschmutzungs-Modell auf sehr plausible Weise sowohl mit dem Ozonloch-Modell als auch mit dem Luftreinigungs-Photosynthese-Modell kombiniert werden. In beiden Fällen erhöht die Möglichkeit der Modellkombination die Plausibilität der Einzelmodelle und damit auch ihre Stabilität innerhalb der jeweiligen Alltagstheorie.

### **Didaktische Leitlinien**

Durch Unterricht zu den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes können bei den Lernenden tief verankerte Alltagsvorstellungen zu Luftverschmutzung und anderen Umweltproblemen aktiviert werden, die einige Parallelen zum Treibhauseffektproblem aufweisen. Die Erfahrungen aus der Conceptual-Change-Forschung zeigen, dass solche bereits vorhandenen Alltagsvorstellungen auch bei einem fachlich sehr differenzierten Unterricht einen starken Einfluss auf das Lernergebnis haben, das dann mehr oder weniger stark von der wissenschaftlichen Theorie abweichen kann. Bei der didaktischen Strukturierung von Unterricht ist es deshalb wichtig, solche Vorstellungen nicht auszublenken, sondern bewusst aufzugreifen und in die Planung mit einzubeziehen. Die nachfolgenden didaktischen Leitlinien sollen dafür eine Orientierung bieten.

#### Das Luftverschmutzungs-Modell als wissenschaftlich nicht haltbare Alltagsvorstellung im Unterricht bewusst machen und thematisieren.

Eine erfolversprechende Strategie vieler Conceptual-Change-Ansätze ist, dass sich Schüler ihre eigenen vorunterrichtlichen Vorstellungen zunächst bewusst machen und diese dann gezielt und im Detail mit den wissenschaftlich korrekten Vorstellungen vergleichen (vgl. Kapitel 5.6.1). Beim Unterricht über die Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes ist es besonders wichtig, diese Strategie anzuwenden und sich hierbei besonders intensiv mit dem Luftverschmutzungs-Modell auseinanderzusetzen. Dafür gibt es mehrere Gründe. Zum einen sind die Grundlagen des Luftverschmutzungs-Modells ein so universell verbreitetes, gesellschaftlich geteiltes Wissen, dass man davon ausgehen kann, dass alle Schüler darüber verfügen. Entsprechend naheliegend ist die Annahme, dass dieses Modell bei einigen Schülern in jeder Klasse als vorunterrichtliche Ursachenerklärung für den anthropogenen Treibhauseffekt anzutreffen ist. Zum anderen kann das Luftverschmutzungs-Modell auch noch nachunterrichtlich leicht als Synthesemodell entstehen, wenn die Merkmale der im Unterricht erarbeiteten Ursachenfaktoren des anthropogenen Treibhauseffektes (Emissionen aus Verkehr, Industrie etc.) auf die Parallelen mit dem bereits länger und besser bekannten Luftverschmutzungsthema verkürzt werden. Aus fachlicher Sicht ist ein weiterer Grund, der für eine intensive unterrichtliche Auseinandersetzung mit dem Luftverschmutzungs-Modell spricht, die hohe Relevanz des Themas. Schließlich behindert das Luftverschmutzungs-Modell gerade das Verständnis des zentralen und überaus bedeutsamen Ursachenzusammenhangs der Entstehung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen.

Konkret sollten die Schüler im Verlauf des Unterrichts nach der Reflexion und ggf. Diskussion ihrer vorunterrichtlichen Ursachenvorstellungen und nach der Erarbeitung der wissenschaftlich korrekten Sichtweise selbst analysieren, wo die Gemeinsamkeiten und wo die Unterschiede zwischen der Treibhauseffekt- und der Luftverschmutzungs-Problematik liegen. Bei den Unterschieden sollte besonderes Gewicht auf die Eigenschaften von CO<sub>2</sub> gelegt werden, das in der Atmosphäre weder chemisch aggressiv noch giftig ist (vgl. Atmung, Kohlensäure ...), sondern seine Wirkung allein über seine Absorptionseigenschaften als Treibhausgas entfaltet.

In diesem Zusammenhang sollte auch auf einen sensiblen Umgang mit gängigen Bildmaterialien zu den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes geachtet werden, in denen häufig rauchende Schornsteine und Auspuffrohre zu sehen sind. Hier könnten die Schüler auch selbst Medienkritik üben und die Gefahr einer Vermengung von Luftverschmutzung und Treibhauseffekt herausarbeiten.

Des Weiteren sollte bei der Thematisierung des Luftverschmutzungs-Modells auch auf die „verführerischen“ Kombinationsmöglichkeiten mit dem Ozonloch- und dem Luftreinigungs-Modell geachtet werden, die ggf. ebenfalls im Unterricht angesprochen werden müssen.

#### Das CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell als tragfähiges Erklärungsmodell erarbeiten und durch geeignete Unterrichtsmethoden stützen.

Ausgehend von der vorangegangenen Leitlinie könnte man für den Unterricht die Zielperspektive „vom Luftverschmutzungs-Modell zum fachlich korrekten CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell“ formulieren. Dabei genügt es nicht, einfach nur eine Auflistung verschiedener energiebezogener Aktivitäten zu erarbeiten, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge haben. Stattdessen sollte das Kernkonzept des CO<sub>2</sub>-

Fossilenergie-Modells in den Mittelpunkt gerückt werden, die Entstehung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Dieser zentrale Zusammenhang sollte so klar und ausführlich erarbeitet werden, dass die Schüler daraus selbst verschiedene verursachende Aktivitäten und Faktoren ableiten können und in der Lage sind, eine eindeutige Abgrenzung zum Problem der Luftverschmutzung und zu anderen Umweltproblemen vorzunehmen. Es bietet sich an, dies in der Form von Anwendungsaufgaben dann auch im Unterricht durchzuführen. Ein Beispiel dafür ist eine vergleichende Bewertung verschiedener Kraftwerkstypen wie Holz-, Kohle-, Gas-, Kern- und Wasserkraftwerk unter Gesichtspunkten des Klimaschutzes.

Zur Vertiefung des Kernkonzeptes sollte man auch auf den Verbrennungsprozess selbst etwas genauer eingehen. So könnte man beispielsweise verdeutlichen, dass CO<sub>2</sub> das Hauptprodukt der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen ist und kein „unerwünschtes Nebenprodukt“ wie Ruß, SO<sub>2</sub> oder andere Abgase. Aus 1 Liter Benzin als Flüssigkeit (ca. 0,75kg) entstehen durch die Reaktion mit dem Luftsauerstoff etwa 2,3kg CO<sub>2</sub> als Gas. Im CO<sub>2</sub> steckt also ein Großteil der Masse und Materie der „Benzin-Moleküle“. Damit können auch die enormen Mengen an CO<sub>2</sub> verdeutlicht werden, für die der Einzelne beim Verbrauch fossiler Energie verantwortlich ist und die sich nicht so einfach mit Katalysatoren „filtern“ und entsorgen lassen.

Wie bereits erwähnt, ist es wichtig, eine Art „Eigenschaftsprofil“ von CO<sub>2</sub> zu erarbeiten, das sich deutlich von Luftschadstoffen abhebt. Dabei sollte man gezielt an alltagsrelevante und z.T. bereits aus vorangegangenem Fachunterricht bekannte Merkmale von CO<sub>2</sub> anknüpfen (z.B. Atmung, Photosynthese, Kohlensäure ...). Im besten Fall geschieht dies eingebettet in eine eigenständige Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs, bei der z.B. als Anwendungsaufgaben auch die Rolle der Wälder oder die Vorteile regenerativer Brennstoffe (Holz, Biokraftstoffe) verständlich gemacht werden können (s.u.).

Bei allen Differenzierungen und Vertiefungen darf man gerade auch in einem anspruchsvollen Unterricht auf der Sekundarstufe II den oben beschriebenen Kernzusammenhang des CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modells nicht aus den Augen verlieren. Angesichts der im Alltag immer wieder neu erlebten und bestätigten Vorstellungen des Luftverschmutzungs-Modells sollte im Unterricht ein Gegengewicht geschaffen werden, indem besonders zentrale Konzepte möglichst oft wiederholt, neu aufgegriffen und bewusst angewendet werden.

#### Die Ebene der Verursacher, insbesondere der Privathaushalte, ausführlich würdigen und als Anwendungsfeld für die erarbeitete Ursachentheorie nutzen.

Eine sehr sinnvolle und in der Praxis des Geographieunterrichts auch bereits vielfach umgesetzte Anwendungsaufgabe für die genannten Kernkonzepte des CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modells ist es, die Rolle der einzelnen Verursacher genauer zu analysieren.

Nach den Ergebnissen der Vor- und Hauptstudie in dieser Untersuchung, aber auch nach internationalen Studien (z.B. Boyes & Stanisstreet 1993) dominieren in vielen Alltagstheorien die Ursachenfaktoren Verkehr und Industrie, während der private Energieverbrauch im Haushalt von vielen kaum bis gar nicht mit dem anthropogenen Treibhauseffekt in Verbindung gebracht wird. Gerade das Luftverschmutzungs-Modell mit seinem auch stark visuell geprägten Fokus auf Abgase und rauchende Schornsteine verengt den Blick auf die Verursacher Verkehr und Industrie. Im Rahmen des CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modells kann und muss dieser Blick erweitert werden um Aspekte wie die Nutzung von elektrischer Energie, Heizenergie und Warmwasser.

Die Rolle der privaten Haushalte sollte möglichst so thematisiert werden, dass die didaktischen Potenziale genutzt werden, die in dem hohen Alltagsbezug für die Schüler gegeben sind. Das Spektrum dafür ist sehr breit und reicht von naturwissenschaftlich-technisch geprägten Aufgaben (z.B. die Erstellung einer persönlichen CO<sub>2</sub>-Bilanz) über Bewertungsaufgaben zu verschiedenen Handlungsalternativen, bei denen eine auf Klimaschutz bezogene Bewertungs- und Handlungskompetenz im Mittelpunkt steht, bis zur Erarbeitung von visionären Zukunftsszenarien und den Möglichkeiten ihrer politischen Realisierung. Darauf wird auch in Kapitel 5.6.2 im Kontext der Bildung für nachhaltige Entwicklung nochmals eingegangen.

### 5.4.2.2 Luftreinigungs-Photosynthese-Modell

#### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Beim Luftreinigungs-Photosynthese-Modell werden Alltagsvorstellungen aus zwei anderen Domänen und Kontexten rund um das Thema Wald herangezogen, um den Einfluss der Waldzerstörung auf den anthropogenen Treibhauseffekt zu erklären: zum einen die Luftreinigungswirkung von Wäldern, zum zweiten die Photosynthese. Zum besseren Verständnis sollen diese Kontexte zunächst aus fachwissenschaftlicher Sicht kurz erläutert werden.

- Luftreinigungs-Kontext: Aus wissenschaftlicher Sicht bezieht sich die Eigenschaft von Wäldern, die Luft von Schadstoffen reinigen zu können, in erster Linie auf Stäube, Ruß und andere Aerosolpartikel, die sich auf Nadeln und Blättern niederschlagen und so aus der durchströmenden Luft herausgefiltert werden. Sie erfüllen damit tatsächlich einen wesentlichen Beitrag zur Luftreinhaltung – insbesondere in städtischen Gebieten (Fabian 2002, S. 90). Dieser Effekt beschränkt sich allerdings auf die lokale bis regionale Ebene und ist im globalen Maßstab ohne Bedeutung.
- Photosynthese-Kontext: Durch die Photosynthese nehmen Bäume wie alle Pflanzen  $\text{CO}_2$  aus der Umgebungsluft auf und geben Sauerstoff wieder ab. Im rein biologischen Kontext der Erklärung des Pflanzenwachstums genügt dieser Zusammenhang. Im Kontext des Treibhauseffektes reicht der Photosyntheseprozess alleine aber nicht aus. Bei natürlichen, ausgewachsenen Wäldern ist der Kohlenstoffkreislauf weitestgehend geschlossen, denn der bei der Photosynthese aufgenommene Kohlenstoff wird von den Wäldern auf zwei Wegen wieder als  $\text{CO}_2$  an die Atmosphäre abgegeben: zum einen bei der Pflanzenatmung und zum anderen durch mikrobielle Zersetzungsprozesse im bzw. am Waldboden.<sup>96</sup> In den Alltagstheorien ist dieser zweite Prozess der  $\text{CO}_2$ -Rückführung in aller Regel nicht vorhanden.

Eine Analyse der Interviewtexte in dieser Untersuchung legt nahe, dass die Alltagsvorstellungen zu diesen beiden biologischen Kontexten sehr stark von den gängigen sozialen Repräsentationen dieser wissenschaftlichen Grundlagen geprägt sind, d.h. von der Art und Weise, wie sie in der Gesellschaft kommuniziert und oft auch in Unterrichtsmaterialien thematisiert werden. Diese soziale Repräsentation konzentriert sich auf bestimmte Teilaspekte, die einen funktionalen Charakter haben („Funktionen des Waldes für die Menschen“) und die z.T. auch symbolisch aufgeladen sind (vgl. Zierhofer 1998).

- So wird die Photosynthesereaktion häufig funktional unter dem Blickwinkel der Produktion von Sauerstoff für die Atemluft von Menschen und Tieren betrachtet. Mit der Fähigkeit zur Reinigung der Luft wird z.B. die Bedeutung und Funktion von Wäldern und Bäumen im städtischen Umfeld betont.
- Außerdem gibt es eine emotionale Komponente, die in der symbolischen Aufladung von Bäumen und Wäldern mit einer Vielzahl sehr positiv besetzter Bedeutungen zum Ausdruck kommt. Beispiele dafür sind „die gesunde, frische und saubere Waldluft“ oder die Metapher von „Wäldern als grüne Lunge“, die häufig so interpretiert werden, dass Wälder und Pflanzen benötigt werden, um den für die Atemluft von Menschen und Tieren benötigten Sauerstoffgehalt der Luft zu gewährleisten.<sup>97</sup>

<sup>96</sup> Deshalb können Wälder zwar als  $\text{CO}_2$ -Speicher – genauer als Kohlenstoffspeicher – aufgefasst werden, so dass sich bei ihrer Zerstörung die  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Atmosphäre erhöht. Zu einer Reduktion der  $\text{CO}_2$ -Konzentration tragen sie aber nur bei, wenn es zu einem Nettozuwachs an Biomasse kommt, z.B. durch Wiederaufforstung oder durch wachstumsfördernde Klimaänderungen (vgl. Kap 1.3.2.2).

<sup>97</sup> Das Thema Sauerstoffproduktion ist in dieser Hinsicht durch Mythenbildungen und Fehlvorstellungen gekennzeichnet. Die „gesunde, frische Waldluft“ hat nichts mit einer erhöhten Sauerstoffkonzentration zu tun, sondern bezieht sich wohl vor allem auf die subjektive Wahrnehmung flüchtiger Kohlenwasserstoffe, die von den Bäumen emittiert werden, und auf das im Verhältnis zu Siedlungsgebieten ausgeglichene Waldklima, das Hitze- und Kälteextreme mildert (Fabian 2002, S. 83). Der atmosphärische Sauerstoff stammt zwar tatsächlich fast ausschließlich aus Photosyntheseprozessen, Veränderungen der Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre ergeben sich aber nur in geologischen Zeiträumen. Seit etwa 350 Mio. Jahren liegt sie konstant bei ca. 21%  $\text{O}_2$ . Auch nach einem vollständigen Stillstand allen irdischen Lebens würde der freie Sauerstoff erst nach 400 Mio. Jahren aus der Atmosphäre verschwinden (Fabian 2002). Dass aktuelle

Die beiden Waldfunktionen Luftreinigung und Sauerstoffproduktion sind also zwei gesellschaftlich breit kommunizierte Bedeutungszuschreibungen von hoher Alltagsrelevanz für den Einzelnen, die zudem eine emotionale Komponente aufweisen und entsprechend fest im Alltagsdenken verankert sein dürften. Dies sind wahrscheinlich zentrale Gründe für ihre weite Verbreitung und für die Popularität des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells.

Die Entstehung des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells lässt sich damit aus verschiedenen Conceptual-Change-Perspektiven wie folgt erklären:

- Wenn die Schüler über die Rolle von Wäldern beim anthropogenen Treibhauseffekt nachdenken, greifen sie auf bereits vorhandene Alltagsvorstellungen aus benachbarten Kontexten zurück und versuchen im Sinne von Vosnidadou & Brewer (1992) ein schlüssiges, in sich konsistentes Synthesemodell zu konstruieren (s.u.).
- Dabei treten Abweichungen von der wissenschaftlichen Sichtweise auf, weil die Schüler die Grenzen und Beschränkungen der einzelnen Kontexte nicht genau genug kennen (vgl. Caravita & Halldén 1994). Dadurch wenden sie Begriffe, Konzepte und Prozesse, die sie aus einem Kontext (z.B. Luftverschmutzung) kennen, in einem anderen Kontext (z.B. Treibhauseffekt) auf eine Weise an, die zu fachlich nicht korrekten Schlussfolgerungen führt. Ein Beispiel ist die lokal-regionale Waldfunktion der Reinigung von Luftschadstoffen im Kontext des Treibhauseffektes, bei dem es eigentlich um das Treibhausgas CO<sub>2</sub> geht. Ein anderes Beispiel ist der Aspekt der Sauerstoffproduktion durch Wälder, der im Photosynthesekontext stark betont wird, beim Treibhauseffekt aber keine Rolle spielt. Dafür müssen Aspekte des Kohlenstoffkreislaufs berücksichtigt werden, die den Lernenden meist noch unbekannt sind.

Im Einzelnen zeigen sich beim Luftreinigungs-Photosynthese-Modell drei zentrale Abweichungen von den wissenschaftlichen Vorstellungen – und damit auch drei bedeutende Lernhindernisse –, zu denen nun jeweils Erklärungsansätze diskutiert werden.

#### (1) Die Reinigung der Luft von Schadstoffen

Die den Schülern auf lokaler und regionaler Ebene bekannte Funktion der Luftreinigung wird auf das globale Problem anthropogener Treibhauseffekt übertragen. Da viele Schüler Treibhausgase mit Luftschadstoffen, die von Verkehr und Industrie emittiert werden, gleichsetzen, ist ein solcher Zusammenhang logisch und plausibel, insbesondere wenn Art und Eigenschaften der einzelnen Emissionen (z.B. CO<sub>2</sub>) unbekannt sind. Daraus folgt eine hohe Kompatibilität zwischen der undifferenzierten Variante des Luftreinigungs-Photosynthese-Modells und dem Luftverschmutzungs-Modell. Beide Modelle stützen sich somit gegenseitig, was ihre Plausibilität und Stabilität weiter erhöht.

#### (2) CO<sub>2</sub>-Abbau durch Photosynthese

Der Grundgedanke der Reinigungswirkung trägt auch dann noch, wenn CO<sub>2</sub> als Emission bekannt ist und nicht als Luftschadstoff, sondern als Treibhausgas aufgefasst wird, denn letztlich wird im Rahmen der Photosynthese ja CO<sub>2</sub> abgebaut, die Atmosphäre von diesem Gas also „gereinigt“. Deshalb sprechen auch viele Schüler, die die differenzierte Modellvariante repräsentiert haben, von der Luftreinigungswirkung des Waldes. Ein bekannter Alltagsbezug könnte darin liegen, dass Zimmerpflanzen häufig die Eigenschaft zugesprochen wird, „verbrauchte“, d.h. CO<sub>2</sub>-reiche Raumluft mit Sauerstoff anzureichern und sie dadurch qualitativ zu verbessern.

Diese Luftreinigungs-Analogie wäre für sich noch kein Fehlkonzept. Wissenschaftlich inkorrekt wird diese Sichtweise erst dadurch, dass hierbei nicht an die umgekehrt ablaufenden Prozesse der Zersetzung von Biomasse und der Pflanzenatmung gedacht und somit nur eine Hälfte des biogenen Kohlenstoffkreislaufs beachtet wird (vgl. Kapitel 0).

---

Photosyntheseprozesse nur unwesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung unserer Atemluft haben, lässt sich auch daran ablesen, dass die Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre auch im Winterhalbjahr oder über Wüstengebieten nicht merklich geringer ist.

Über das Konzept der CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht eine hohe Kompatibilität zwischen dem Luftreinigungs-Photosynthese-Modell und dem CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell. Die gedankliche Verbindung zwischen beiden Modellen wird möglicherweise auch bei dieser differenzierten Sichtweise, die zwischen CO<sub>2</sub> und anderen Luftschadstoffen unterscheidet, dadurch erleichtert, dass den Schülern die Luftreinigungswirkung von Wäldern grundsätzlich bekannt ist.

### (3) „Schädigung“ der Atmosphäre durch eine verminderte Sauerstoffproduktion

Wie bereits mehrfach aufgezeigt wurde, kommen erstaunlich viele Schüler auf den Aspekt der Sauerstoffproduktion von Wäldern zu sprechen. Dies kann durch die hohe Alltagsrelevanz dieses Teilkonzepts der Photosynthese erklärt werden. Für viele Schüler steht Sauerstoff symbolisch für die „gereinigte Waldluft“ oder sie erwähnen diesen Aspekt nur kurz, um dann auf den Abbau von CO<sub>2</sub> zu sprechen zu kommen. Es gibt aber auch einzelne Schüler, die nicht den Aspekt der Luftreinigung, sondern den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre in den Mittelpunkt der Problematik rücken.<sup>98</sup> Sie gehen davon aus, dass die Atmosphäre durch die verminderte Sauerstoffproduktion negativ beeinflusst wird, wodurch sich auch „irgendwie“ eine Verstärkung des Treibhauseffektes ergibt.

S: Die Abholzung der Regenwälder – verstärkt auch den Treibhauseffekt. Weil Bäume produzieren ja Sauerstoff und wenn die nichts mehr produzieren, dann nimmt der Sauerstoffgehalt ja ab. Das ist auch, glaube ich, auch wichtig für die Atmosphäre. Die wird ja auch immer mehr abgebaut. Also verstärkt sie [die Abholzung der Regenwälder] den Treibhauseffekt und den Klimawandel. (Armin, TR4/436-437)

S: Ja die Abholzung der Regenwälder hat sicherlich damit – also ich weiß nicht, ob das direkt mit dem Treibhauseffekt zu tun hat, aber dadurch wird ja weniger Sauerstoff zum Beispiel produziert, weil ja die Regenwälder Sauerstoffproduzenten sind. Aber ob dann – ich denke, dass das auf jeden Fall für die Klimaveränderung mit verantwortlich ist. Aber ob's jetzt direkt der Treibhauseffekt ist oder ob das ein anderer Prozess ist, das weiß ich nicht. (Frank, GL5/294)

Auch diese beiden Schüler denken beim Ursachenkonzept „Abholzung der Regenwälder“ zuerst daran, dass Waldrodungen eine verringerte Sauerstoffproduktion zur Folge haben. Während der Schüler im zweiten Beispiel zwar generell an den Einfluss der Waldzerstörung auf den Klimawandel glaubt, sich aber unsicher ist, ob dies „direkt“ etwas mit dem Treibhauseffekt zu tun hat, zweifelt der Schüler im ersten Beispiel nicht daran, dass die Abholzung der Regenwälder den Treibhauseffekt verstärkt. Als Erklärung sucht er nach einer Möglichkeit, wie Wälder die Atmosphäre beeinflussen könnten. Ihm ist bewusst, dass Wälder Sauerstoff produzieren – allerdings bleibt es bei diesem einen Aspekt, der letztlich nur einen Teil der gesamten Photosynthesereaktion umfasst. Letztlich ist er nicht in der Lage, zu erklären, wie eine verminderte Sauerstoffproduktion den Treibhauseffekt verstärken könnte. Er spricht lediglich davon, dass der Sauerstoffgehalt „wichtig“ für die Atmosphäre sei, die insgesamt „abgebaut“ werde.

## **Didaktische Leitlinien**

### Das Luftreinigungskonzept als wissenschaftlich nicht haltbare Alltagsvorstellung im Unterricht bewusst machen und thematisieren.

Ähnlich wie dies bereits beim Luftverschmutzungs-Modell ausgeführt wurde, sollten sich die Schüler auch bei der Rolle der Wälder zunächst ihre eigenen Alltagsvorstellungen bewusst machen und diese anschließend mit der fachlich korrekten Sichtweise kontrastieren. Auch hier ist es wieder von zentraler Bedeutung, die vorhandenen Alltagsvorstellungen zur Luftreinigungsfunktion der Wälder nicht einfach auszublenden, sondern ihre Grenzen im Kontext des Treibhauseffektes deutlich zu machen. Dies gilt auch für die Produktion von Sauerstoff.

<sup>98</sup> Dabei handelt es sich allerdings fast ausschließlich um Schüler, die Waldzerstörung als Ursache nicht von selbst genannt haben, auch nicht nach dem Impulskärtchen „Landwirtschaft“. Sie haben sich zum Thema Waldzerstörung erst auf die direkte Frage geäußert, ob es einen Zusammenhang zwischen der Abholzung der Regenwälder und dem verstärkten Treibhauseffekt gebe.

Den Kohlenstoffkreislauf erarbeiten und dabei besonders auf die Rolle von Wäldern eingehen.

Ein idealer, den Schülern in aller Regel gut bekannter Anknüpfungspunkt ist das Photosynthese-Konzept. Dabei kann über einen kleinen kognitiven Konflikt verdeutlicht werden, dass es in natürlichen Wäldern auch einen Umkehrprozess zur CO<sub>2</sub>-Aufnahme geben muss: Wenn natürliche Wälder der Atmosphäre durch Photosynthese beständig CO<sub>2</sub> entziehen würden, müsste die CO<sub>2</sub>-Konzentration (ohne den Menschen) beständig abnehmen. Im Laufe der Jahrtausende hätte sich die Vegetation der Erde selbst ihrer Existenzgrundlage beraubt. Tatsächlich gibt es aber ein dynamisches Gleichgewicht: Das von den Pflanzen durch Photosynthese beim Wachstum gebundene CO<sub>2</sub> wird bei ihrer Zersetzung u.a. durch Bodenlebewesen wieder freigesetzt. Zumindest dieser Teil des CO<sub>2</sub>-Kreislaufes sollte erarbeitet werden, damit die Schüler die Rolle der Wälder – aber auch die (weitgehend) CO<sub>2</sub>-neutrale Nutzung nachwachsender Rohstoffe verstehen können.

Das „Kohlenstoffspeicher-Konzept“ erarbeiten und festigen.

Ein lohnendes Ziel des Unterrichts wäre es, den Schülern in diesem Zusammenhang das in Kapitel 5.4.1 beschriebene „Kohlenstoffspeicher-Modell“ zu vermitteln. Methodisch kann dies über geeignete Visualisierungen der C-Bilanzierung beim Kohlenstoffkreislauf erfolgen. Die Speicher-Metapher vermittelt dabei eine leicht verständliche Vorstellung der für die Rolle von Wäldern relevanten Sachverhalte. Begrifflich ist es dabei sinnvoll, von „Kohlenstoff-Bindung“ durch Pflanzen zu sprechen, nicht von „CO<sub>2</sub>-Aufnahme“ oder gar von „CO<sub>2</sub>-Abbau“ aus der Atmosphäre. Die Metapher der „Bindung“ von Kohlenstoff verdeutlicht die Kohlenstoff-Speicherfunktion von Wäldern. Wenn sie zerstört werden, wird der gebundene Kohlenstoff durch Zersetzung oder durch Brandemissionen als CO<sub>2</sub> freigesetzt – die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre steigt. Umgekehrt kann durch Aufforstungsmaßnahmen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt, d.h. in Phytomasse gebunden werden. Ein natürlicher, sich selbst regenerierender Waldbestand hat noch keine CO<sub>2</sub>-reduzierende Wirkung, er dient lediglich als Kohlenstoffspeicher. Es sei denn, es kommt zu einem Nettozuwachs an Biomasse, z.B. durch ein verändertes Regionalklima. Auch dieser Effekt kann im Kohlenstoff-Speicher-Modell fachlich korrekt abgebildet werden.

**5.4.2.3 Umweltverschmutzungs-Modell und weitere Vorstellungen zu den Ursachen****Erklärungsansätze und Lernhindernisse zum Umweltverschmutzungs-Modell**

Das Umweltverschmutzungs-Modell tritt v.a. bei weniger differenzierten und undifferenzierten Alltagstheorien auf, wenn Ursachen und Wirkungen von verschiedenen Umweltproblemen nicht eindeutig voneinander unterschieden werden können. Auf der Basis der Interviewanalysen lassen sich folgende Erklärungsansätze mit jeweils hypothetischem Charakter ableiten:

- Wenn die Schüler nur sehr wenig über die einzelnen Umweltprobleme wissen und dieses Wissen auch nur selten aktivieren, werden die wenigen Informationen im kognitiven System eher nicht in jeweils abgetrennten kognitiven Schemata für jedes Umweltproblem abgelegt. Wahrscheinlicher ist ein recht universelles Schema „Umweltprobleme“, in dem die Ausprägungen verschiedener Einzelprobleme (z.B. verschiedene verursachende Aktivitäten) ohne klare Abgrenzung nebeneinander stehen. Darauf greifen die Schüler zu, wenn sie nach den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes gefragt werden. Kategorien bzw. „Leerstellen“ im Sinne der Schematheorie wie „Verursacher“, „Ursachen“, „Emissionen“ können dabei nahezu beliebig besetzt werden.
- Anders formuliert haben die Schüler nicht gelernt, zwischen den verschiedenen Kontexten zu unterscheiden, denen die einzelnen Umweltprobleme angehören. Sie scheinen stark von einem übergeordneten Kontext der Umweltschädigung bzw. Umweltzerstörung durch den Menschen geprägt zu sein, dem alle evtl. neu erworbenen Konzepte zugeordnet werden und der auch beim Abruf ihres Wissens aktiviert wird.
- Häufig scheint auch ein eher geringes naturwissenschaftlich-technisches Grundlagenwissen vorhanden zu sein, was den Spielraum für eine freie, kreative Konstruktion von Zusammen-

hängen zwischen verschiedenen Ursachenkonzepten aus unterschiedlichen Umweltproblemen weiter erhöht. Dazu passt die Beobachtung, dass sich Schüler, bei denen das Umweltverschmutzungs-Modell vorliegt, durch die Sondierungsfrage, wie das jeweilige Umweltproblem denn nun genau mit dem verstärkten Treibhauseffekt zusammenhängt, meist nicht ernstlich verunsichern lassen und ihr genanntes Ursachenkonzept dadurch nicht grundsätzlich in Frage stellen. Bemerkenswert ist zudem, dass viele dieser Schüler mit sehr alltagsnahe Ursachen von Umweltproblemen beginnen, die entweder im (umweltbewussten) Alltags Handeln eine Rolle spielen (z.B. Autofahren, Müll) oder die ein gesundheitliches Risiko für den Einzelnen darstellen (z.B. giftige Substanzen, Elektrosmog). Möglicherweise verfügen diese Schüler kaum über ein detailliertes propositionales Zusammenhangswissen zu den einzelnen Problemen. Sie sind deshalb auf einfache Assoziationen im Rahmen des kognitiven Schemas „Umweltprobleme“ angewiesen und konstruieren Zusammenhänge erst auf Nachfrage und von Fall zu Fall neu. Eine charakteristische Äußerung beim Einsatz des Umweltverschmutzungs-Modells lautet dann auch „Ich weiß nicht sicher, ob es etwas damit zu tun hat, aber es ist auf alle Fälle nicht gut für die Natur, die Erde, die Atmosphäre“.

### **Erklärungsansätze zu den Ursachenfeldern FCKW- und Methan-Quellen**

Das Ursachenfeld der FCKW-Quellen soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Die Problematik liegt hier darin, dass nahezu alle Schüler FCKW nicht als Treibhausgas ansehen, sondern über ihre Rolle als Zerstörer der Ozonschicht argumentieren. Entsprechende Erklärungsansätze wurden bereits bei der Besprechung des Ozonloch-Modells in Kapitel 5.3.2 vorgestellt.

Zu den Methan-Quellen stimmen die von den Schülern genannten Konzepte, v.a. Rinderhaltung und Reisanbau, mit der wissenschaftlichen Sicht überein. Man kann sich dazu allerdings die Frage stellen, weshalb das Ursachenfeld Methan-Quellen nur von relativ wenigen Schülern genannt wurde, die jeweils über eher differenzierte Theorien verfügen. Im Folgenden werden Gründe dafür angeführt, weshalb es bei dem aus fachlicher Sicht so bedeutende Treibhausgas Methan bei vielen Schülern eine „Theorielücke“ gibt.

- Ein Grund mag der geringe Alltagsbezug des Ursachenfeldes sein – gerade im Vergleich zu den energiebezogenen Ursachen der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Gas Methan spielt im Alltagsleben keine bedeutende Rolle und die Methanemissionen aus Viehzucht oder Reisanbau sind ein auf den anthropogenen Treibhauseffekt beschränktes Spezialwissen.
- Ein zweiter Aspekt ist die „didaktische Reduktion“ bei der Thematisierung der Ursachen des Treibhauseffektes in Medien und Öffentlichkeit. Die größte Aufmerksamkeit erhalten CO<sub>2</sub>-bezogene Ursachen, die über die Energiefrage und die Zerstörung von Regenwäldern ohnehin bereits eine große Bedeutung in der gesellschaftlichen und politischen Diskussion spielen. Andere Treibhausgase und Ursachenfaktoren werden nur selten thematisiert.
- Auch bei den Schülern, die Methan-Quellen genannt haben, bleiben die Vorstellungen auf der Ebene eines oberflächlichen Ursache-Folge-Wissens nach dem Muster „Reisanbau führt zu Methanemissionen“, ohne dass dies näher erklärt werden könnte. Es fehlt ein grundlegender Kernzusammenhang, aus dem die einzelnen Konzepte abgeleitet werden, wie dies z.B. beim CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell der Fall ist. Aus diesem Grund wurde hier auch kein eigenes Basismodell definiert. Möglicherweise könnte ein solcher Kernzusammenhang dazu führen, dass das Ursachenfeld Methan-Quellen plausibler erscheint und besser gelernt werden kann. Darauf deuten zumindest Interviewaussagen hin, in denen Schüler eine große Unsicherheit zeigten, ob das einst gelernte Konzept „Emissionen aus Viehhaltung“ tatsächlich von Relevanz sein kann (vgl. Kapitel 4.5.2.6). Nachfolgend wird ein didaktisch motivierter Vorschlag dafür gemacht.

## Didaktische Leitlinien

Das Umweltverschmutzungs-Modell bewusst machen und eine klare Abgrenzung zwischen dem anthropogenen Treibhauseffekt und anderen Umweltproblemen vornehmen.

Da das Umweltverschmutzungs-Modell vor allem eine Folge von wenig ausdifferenziertem konzeptionellem Wissen über verschiedene Umweltprobleme ist, kann die differenzierte Erarbeitung der Treibhauseffekt-Thematik als solche schon ausreichen, um dieses Basismodell zurückzudrängen. Allerdings gilt auch hier, dass vorunterrichtlich vorhandene Vorstellungen nicht ignoriert und ausgeblendet werden dürfen, sondern dass die Schüler sich diese zunächst selbst bewusst machen und im Verlauf des Unterrichts als abweichende Vorstellung erkennen sollten. Ggf. lohnt es sich, im Unterricht auf einzelne Abgrenzungen und Konkretisierungen direkt einzugehen, z.B. auf die Rolle der Müllentsorgung, die über Müllverbrennungsanlagen und Deponien (Methanemissionen) tatsächlich eine Quelle für Treibhausgase darstellt, oder die bekannten Umweltthemen „Gewässerverschmutzung“, „Atommüll“, „Elektrosmog“, die keinen Bezug zum Thema Treibhauseffekt haben.

Die Doppelrolle der FCKW als Treibhausgase und bei der Zerstörung der Ozonschicht klären.

Bei der Klärung des Ozonloch-Modells als Fehlvorstellung sollte es nicht versäumt werden, die Rolle der FCKW als Treibhausgase zu klären. Gleichwohl sollte dabei beachtet werden, dass hier für die Schüler inzwischen kein Alltagsbezug mehr gegeben ist, weil die in der Regel genannten Quellen (Spraydosen und Kühlschränke) in Deutschland keine FCKW mehr enthalten dürfen. Eine gewisse Verwechslungsgefahr birgt zudem die semantischen Nähe der beiden Begriffe „Treibhausgas“ und „Treibgas“ (in Spraydosen).

Zur Klärung der Methan-Quellen das Konzept „Zersetzung unter Luftabschluss“ erarbeiten.

Wenn die Unterrichtszeit genügend Raum für die Behandlung der Methan-Quellen lässt, könnte ein einfacher Kernzusammenhang dazu führen, dass die Schüler ein Basismodell erwerben, aus dem sie die einzelnen Ursachenkonzepte beim Thema Methanemissionen ableiten können. Dieses Kernkonzept lautet „Methan entsteht bei Zersetzung von Biomasse unter Luftabschluss“ (vgl. Kapitel 5.4.1). Damit lassen sich Methanemissionen aus so unterschiedlichen Quellen wie Rindermägen, Mülldeponien, Nassreisfelder und auftauende Permafrostböden (Sümpfe und Moore) auf ein gemeinsames Ursachenkonzept zurückführen. Zudem könnten in diesem Rahmen auch andere Aspekte von Methan behandelt werden, z.B. Methan als Hauptbestandteil von Biogas und von Erdgas (fossile Entstehung).

## 5.5 Alltagstheorien über die Folgen des globalen Klimawandels

### 5.5.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

#### Häufigkeitsanalyse einzelner Folgenkonzepte (explorative Vorstudie)

Im Rahmen der explorativen Vorstudie mit 129 Befragten wurde ermittelt, welche Folgenkonzepte bei den Schülern besonders häufig und welche eher selten anzutreffen sind. Diese Folgenkonzepte wurden gemäß der theoretischen Vorstrukturierung in dieser Untersuchung unterteilt in die drei Dimensionen *Umweltveränderungen*, *Auswirkungen auf Mensch und Natur* sowie *mittelbare Folgen* (vgl. Kapitel 1.3.1, Abbildung 4). Dabei zeigten sich folgende Trends, die bei der Analyse der Alltagstheorien in der Hauptstudie genauer untersucht wurden.

#### *Umweltveränderungen*

- Die Alltagsvorstellungen zu den Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes werden neben den eher trivialen Konzepten „globale Erwärmung“ (97 Nennungen bei 129 Personen) und

„Klimaänderungen“ (37 Nennungen) von einem einzigen Kausalzusammenhang dominiert (insgesamt 75 Nennungen): Das Schmelzen der Polkappen (69) führt zu einem Anstieg des Meeresspiegels (46), was Überschwemmungen (42) zur Folge hat. Bei der Interviewbefragung in der Hauptstudie war dieser Zusammenhang sogar in 24 der 25 Alltagstheorien anzutreffen. Unabhängig von der Differenziertheit der Alltagstheorien ist damit die Kausalkette „schmelzende Polkappen – Meeresspiegelanstieg – Überschwemmungen“ der mit Abstand am häufigsten vertretene Folgezusammenhang.

- Weitere Umweltveränderungen, z.B. das Schmelzen von Gletschern, mehr Stürme und Unwetter oder Veränderungen bei (regionalen) Temperaturen und Niederschlägen, werden jeweils nur noch von etwa 5-10% der Befragten genannt – ein Indiz für die insgesamt große Heterogenität der Alltagsvorstellungen zu den Folgen des globalen Klimawandels.
- Ebenfalls nur wenige Schüler verwenden abstraktere, auf das Klimasystem oder auf Ökosysteme bezogene Konzepte wie „Störung des ökologischen Gleichgewichts“ (9) oder „Verschiebung von Klimazonen“ (8). Darauf wird bei der Analyse der Basismodelle noch näher eingegangen.

#### *Auswirkungen auf Mensch und Natur / mittelbare Folgen*

- Als Auswirkung auf die Natur werden noch relativ häufig Gefahren für Tiere und Pflanzen bzw. die Gefahr des Artensterbens genannt (27 Nennungen).
- Bei den Auswirkungen auf die Menschen folgen auf das am häufigsten genannte Konzept „Überschwemmungen“ sogleich die miteinander verbundenen Folgekonzepte „verstärkte UV-Strahlung“ und „Zunahme von Hautkrebs“ mit 17 bzw. 15 Nennungen. Diese Fehlvorstellung ist eine direkte Folge der Vermengung von Ozonloch und Treibhauseffekt im Ozonloch-Modell.
- Ansonsten werden konkrete Auswirkungen auf Mensch und Natur, aber auch mittelbare Folgen, d.h. soziale und ökonomische Folgeprobleme wie Migration oder volkswirtschaftliche Kosten, nur selten genannt.
- Insbesondere fällt auf, dass gerade Auswirkungen, die spezifisch für die Probleme von vielen Entwicklungsländern sind, in den geäußerten Alltagsvorstellungen eher selten vorkommen: Beispiele sind Gefahren wie Krankheiten und Gesundheitsprobleme (7), Dürren, Wassermangel, Hungersnöte (6), allgemein landwirtschaftliche Schäden (1) oder Migration (1). Die Analyse der Alltagstheorien zeigt, dass dieser Befund bei den undifferenzierten Theorien besonders stark ausgeprägt ist. Soziale Folgeprobleme wie Migration, Armut oder Konflikte treten auch in differenzierten Alltagstheorien nur vereinzelt auf.

Bedenkt man, dass bei dem offenen Antwortformat der schriftlichen Befragung weit weniger ausführliche und detaillierte Antworten gegeben wurden als bei der Erhebung der Alltagstheorien in den Interviews, so zeigen diese Ergebnisse, welche Folgekonzepte von vielen Schülern direkt und unmittelbar mit dem anthropogenen Treibhauseffekt assoziiert werden und damit besonders gut repräsentiert sind und welche eher nicht.

#### **Analyse der Mappings**

Eine detaillierte Analyse der Kausalstrukturen in den Alltagstheorien zu den Folgen wurde im Rahmen der Hauptstudie auf der Basis der Modal-Mappings ermöglicht. Die Grundstruktur der Folgen-Mappings entspricht wieder der Unterteilung in die beiden Dimensionen „Umweltveränderungen“ und den daraus resultierenden „Auswirkungen auf Mensch und Natur“.

Insgesamt können in den Alltagstheorien zunächst sechs verschiedene Umweltveränderungen identifiziert werden, die sich als kausale Folgenstränge aus mehreren Konzepten zusammensetzen. Daraus folgen dann in der Dimension „Auswirkungen auf Mensch und Natur“ sieben verschiedene Problemfelder, die meist mit verschiedenen Umweltveränderungen verknüpft werden.

### *Umweltveränderungen: Sechs kausale Folgenstränge prägen die Alltagstheorien*

Bei den Umweltveränderungen wird als unmittelbare Folge des verstärkten Treibhauseffektes zunächst das zentrale Konzept „globale Erwärmung / Klimawandel“ genannt. Daraus werden dann die ersten fünf der nachfolgend aufgeführten Folgenstränge abgeleitet. Hinzu kommt als weitere direkte Folge des anthropogenen Treibhauseffektes noch die verstärkte UV-Strahlung.

- 1) Der *Anstieg des Meeresspiegels* durch abschmelzende Polkappen und die daraus resultierenden Überflutungen, die mit einem Verlust von Lebensraum v.a. an Küsten und auf Inseln verbunden werden. Dieser Zusammenhang ist mit einer Ausnahme in allen Alltagstheorien zu finden. Auffällig ist, dass schmelzende Polkappen von fast allen Schülern als einzige Ursache des Meeresspiegelanstiegs angesehen werden. Nur zwei nennen zudem noch abschmelzende Gebirgsgletscher. Der aus fachlicher Sicht viel bedeutendere Aspekt der thermalen Expansion des Meerwassers ist bei allen unbekannt.
- 2) Als zweithäufigster Folgezusammenhang werden *Trockenheit und Dürrephasen* in Verbindung mit Wassermangel sowie einer Ausbreitung der Wüsten genannt. Für die meisten Schüler folgen daraus Probleme für die Landwirtschaft und die Gefahr von Hungersnöten. In den undifferenzierten Alltagstheorien ist dieser Folgenstrang allerdings nur vereinzelt anzutreffen. Zudem sind zumeist nicht alle genannten Konzepte vorhanden, v.a. das wichtige Konzept des Wassermangels wird nur von knapp einem Drittel der befragten Schüler explizit genannt.
- 3) Häufig anzutreffen sind auch *Temperaturextreme und veränderte Jahreszeiten*, z. B. Hitzewellen, heißere Sommer, weniger Schnee im Winter. Hier dominiert die lokale Perspektive auf das Wettergeschehen im eigenen Umfeld.
- 4) Ein weiterer häufig vertretener Folgenstrang sind *Überschwemmungen an Flüssen*, für die zum einen *mehr Regenfälle* und zum anderen *schmelzende Gebirgsgletscher* verantwortlich gemacht werden. Als problematische Auswirkungen werden v.a. der Verlust von Lebensraum und Probleme für die Landwirtschaft genannt. Angesichts ihrer hohen Medienpräsenz wurden schmelzende Gebirgsgletscher allerdings doch relativ selten genannt – auch in differenzierten Theorien fehlen sie oft. Ihre Rolle als Trinkwasserspeicher wurde von keinem Schüler angesprochen. Ebenso fehlt die Annahme, dass eine Zunahme von Regenfällen in manchen Weltregionen auch positive Wirkungen haben könnte.
- 5) Mehr *Stürme und Unwetter*, die zu Sachschäden, Todesopfern und Problemen in der Landwirtschaft führen, sind ein Folgezusammenhang, der sich stärker auf die differenzieren Theorien beschränkt und in den undifferenzierten Theorien fast immer fehlt.
- 6) Eine *verstärkte UV-Strahlung*, die Gesundheitsgefahren (insbesondere Hautkrebs) zur Folge hat, wird schließlich noch von gut einem Drittel der befragten Schüler genannt, die zumeist über undifferenzierte Alltagstheorien verfügen. Wie bereits erwähnt, liegt dies in dem bei diesen Schülern vorhandenen Ozonloch-Modell zur Erklärung des Treibhauseffektes begründet.

### *Auswirkungen auf Mensch und Natur: Sieben Problemfelder werden in den Alltagstheorien genannt*

Die in den Alltagstheorien genannten Auswirkungen der genannten Umweltveränderungen auf Mensch und Natur lassen sich zu insgesamt sieben Problemfeldern bündeln, von denen einige bereits erwähnt wurden und deshalb hier nur noch knapp aufgelistet werden:

- 1) Der Verlust von Lebensraum für Menschen oder Tiere und Pflanzen verursacht durch Überflutungen und Überschwemmungen an Flüssen, vereinzelt auch durch Unwetter oder Dürren,
- 2) Probleme für Tiere und Pflanzen – u.a. mit der Gefahr eines verstärkten Artensterbens –, meist verursacht durch den Verlust an Lebensraum, z.T. auch durch eine Störung des ökologischen Gleichgewichts oder eine Verschiebung von Klimazonen,
- 3) Probleme für die Landwirtschaft, z.B. Missernten oder Landflächenverluste v.a. verursacht durch Trockenheit bzw. Dürrephasen, zu hohe Temperaturen und Überschwemmungen,
- 4) Hungersnöte und Gefahren für die Nahrungsversorgung, v.a. als Folge von Dürrephasen und anderen Problemen in der Landwirtschaft,

- 5) soziale Probleme wie Armut, Migration oder Kriege und Konflikte – als Ursachen werden die beiden Problemfelder Verlust von Lebensraum und landwirtschaftliche Probleme angegeben, insgesamt werden diese mittelbaren Folgen nur von einigen Schülern mit meist differenzierten Alltagstheorien genannt,
- 6) Sachschäden und Todesopfer, v.a. durch Unwetter, Überschwemmungen und Überflutungen,
- 7) mehr Hautkrebs und Mutationen durch eine verstärkte UV-Strahlung.

#### *Analyse der Kausalstruktur der Folgen-Theorien: interdisziplinäres und systemisches Denken*

Bei einer Analyse der Kausalstruktur der Alltagstheorien zu den Folgen wurden sowohl Grundzüge des interdisziplinären und systemischen Denkens als auch die Unterschiede zwischen explizitem und implizitem Wissen berücksichtigt.

- *In vielen Alltagstheorien zeigt sich interdisziplinär vernetzendes Denken, allerdings kaum systemisches Denken.* Die Kausalstruktur der Alltagstheorien zu den Folgen wird von relativ einfachen, linearen Kausalketten geprägt. Gleichwohl gibt es bei vielen Schülern durchaus Querverbindungen zwischen den unterschiedlichen Umweltveränderungen und auch zwischen den einzelnen Problemfeldern. Viele dieser Querverbindungen haben aus fachlicher Sicht einen interdisziplinären Charakter, weil sie Bezüge zwischen verschiedenen (Schul-) Fächern bzw. Wissenschaftsdisziplinen herstellen. Nur sehr selten zeigen sich allerdings Ansätze zu einem systemisch vernetzenden Denken, bei dem auch Kreislaufbeziehungen oder Rückkopplungen eine Rolle spielen (vgl. das Basismodell „System-Modell“).
- *Viele Alltagstheorien konzentrieren sich auf die naturwissenschaftlichen Folgekonzepte, viele sozioökonomische Folgen sind oft nur als „implizites Wissen“ vorhanden.* Eine gravierende Einschränkung muss man im Hinblick auf die Interdisziplinarität der Alltagstheorien allerdings machen: Viele Schüler haben sich zunächst weitgehend auf die naturwissenschaftlich geprägte Ebene der Umweltveränderungen beschränkt und sich kaum zu konkreten Auswirkungen auf den Menschen geäußert. Dies betrifft v.a. die sozioökonomischen Problemfelder. Zwei Ausnahmen bilden lediglich das Problemfeld „Verlust von Lebensraum“, das meist gleich zu Beginn des Interviews als Folge des Meeresspiegelanstiegs erwähnt wurde, und das Thema „Hautkrebs und Mutationen“. Alle anderen Problemfelder wurden von einem großen Teil der Schüler erst nach verschiedenen Frageimpulsen<sup>99</sup> genannt, was hier als „implizites Wissen“ gewertet wurde. Besonders stark fällt dies bei dem wichtigen Schlüsselkonzept „Probleme für die Landwirtschaft“ ins Gewicht, das nur von einem Drittel der Befragten explizit genannt wurde. Diese Schüler verfügten zumeist über eine differenzierte Alltagstheorie. Nach einem entsprechenden Frageimpuls haben auch alle übrigen Schüler einige damit verbundene Problemkonzepte genannt.

#### *Unterschiede nach der Differenziertheit der Alltagstheorien*

Aus einer vergleichenden Analyse von differenzierten und undifferenzierten Alltagstheorien ergibt sich ein interessanter Befund: In undifferenzierten Alltagstheorien sind die Folgekonzepte stärker an der persönlichen Betroffenheit orientiert – Problemfelder in anderen Weltregionen spielen tendenziell eine geringere Rolle:

- Die undifferenzierten Theorien werden in ihrer Gesamtheit – neben dem dominanten Folgenstrang *Anstieg des Meeresspiegels* – in besonderem Maße von den beiden Folgensträngen *Temperaturextreme und veränderte Jahreszeiten* sowie *mehr Hautkrebs und Mutationen durch verstärkte UV-Strahlung* geprägt. Insgesamt lassen sich die in den undifferenzierten Theorien besonders häufig genannten Konzepte meist leicht aus den primären Folgen des

<sup>99</sup> Als Impuls wurden Kärtchen mit den folgenden Betroffenenkategorien vorgelegt, deren Bedrohung jeweils eingeschätzt und erklärt werden musste: „ich selbst“, „Menschen in Deutschland“, „Menschen in Afrika“, „Natur (Tiere und Pflanzen)“, „die Menschheit als Ganzes“ sowie „Wirtschaft und Industrie“ und „Landwirtschaft“. Später wurden als weitere Impulse noch verschiedene globale Probleme vorgelegt, die mit dem globalen Klimawandel in Zusammenhang gebracht werden sollten (vgl. Kapitel 3.5.1.2).

anthropogenen Treibhauseffektes ableiten – der globalen Erwärmung und der verstärkten UV-Strahlung.

- Entsprechend treten bei den undifferenzierten Theorien andere Folgenkonzepte, deren Erklärung deutlich komplexer ist, nur selten auf. Dies trifft vor allem auf die Konzepte *Stürme und Unwetter, mehr Regen und Überschwemmungen, Dürrephasen, Wassermangel* sowie die Problemfelder *Hungersnöte* und *soziale Probleme* zu. In den meisten differenzierten Theorien sind dagegen erwartungsgemäß fast alle genannten Folgenstränge zu den Umweltveränderungen und Problemfeldern enthalten – mit Ausnahme der verstärkten UV-Strahlung, die allerdings fachlich auch kein korrektes Folgenkonzept ist.

### **Basismodelle**

Aus den einzelnen Alltagstheorien der Schüler zu den Folgen des globalen Klimawandels konnten nach diesen konkreten Folgenkonzepten auch verschiedene Basismodelle identifiziert werden, die als grundlegende Denkmuster bzw. Denkfiguren zu verstehen sind. Sie dienen bei der Formulierung der einzelnen miteinander vernetzten Folgenkonzepte in der Alltagstheorie als eine Art Orientierungsraster. Von besonderer Bedeutung sind diese Basismodelle für die Frage, wie sich aus den Phänomenen verstärkter Treibhauseffekt und globale Erwärmung die einzelnen Umweltveränderungen erklären lassen. An dieser Schnittstelle werden aus wissenschaftlicher Sicht häufig einige grundlegende Kenntnisse über das globale Klimasystem benötigt, über die die Schüler oft nicht verfügen. Umso interessanter ist die Frage, mit welchen Denkfiguren sie hier arbeiten.

Insgesamt wurden fünf verschiedene Basismodelle identifiziert, die hier mit knappen Definitionsbeschreibungen skizziert werden. Eine ausführliche Darstellung mit Textbelegen und Mappingbeispielen ist in Kapitel 4.6.2 zu finden.

#### *Aufheizungs-Modell*

Die Schüler denken beim verstärkten Treibhauseffekt primär an einen globalen Anstieg der Temperaturen und leiten viele Umweltveränderungen unmittelbar daraus ab. Die globale Erwärmung wird dabei häufig als weltweit mehr oder weniger homogene Aufheizung der Atmosphäre aufgefasst. Manche Schüler stellen sich vor, dass die Atmosphäre sich wie eine Art „Backofen“ verhält mit weltweit gleichförmig ansteigenden Temperaturen und z.T. bedrohlichen Assoziationen. Wichtige Umweltveränderungen, die direkt aus dem Aufheizungs-Modell abgeleitet und erklärt werden, sind Temperaturextreme (Hitzewellen) und veränderte Jahreszeiten, das Abschmelzen von Polkappen und Gletschern sowie eine zunehmende Trockenheit.

#### *Katastrophen-Modell*

Bei der Wahrnehmung der Folgen von verstärktem Treibhauseffekt und globalem Klimawandel spielt bei diesem Basismodell der Katastrophengedanke eine bedeutende Rolle. Mit dem globalen Klimawandel wird eine Ansammlung verschiedener Naturkatastrophen wie Stürme, Unwetter oder Überschwemmungen assoziiert. Klimaänderungen werden als chaotisch und unberechenbar empfunden. Vorstellungen dazu, wie es vom anthropogenen Treibhauseffekt zu einer Verstärkung bzw. Zunahme von Naturkatastrophen und zu chaotischen Klimaänderungen kommt, fehlen häufig oder bleiben diffus und unpräzise.

#### *System-Modell*

Die Schüler nehmen das globale Klima zumindest ansatzweise als System wahr. Sie betrachten den globalen Klimawandel entsprechend als Störung und Veränderung des Klimasystems. Einzelne Umweltveränderungen werden durch klimatologische Systemzusammenhänge erklärt (z. B. atmosphärische Zirkulation, Wasserkreislauf, mehr Energie in der Atmosphäre). Zumeist fehlen allerdings tiefer gehende Vorstellungen über Systemstrukturen und Systemdynamiken.

### *Klimazonen-Modell*

Die Verschiebung der Klimazonen wird als eine zentrale Folge des globalen Klimawandels betrachtet. Aus diesem Basismodell werden viele weitere Folgen abgeleitet, die damit allerdings nicht physikalisch, sondern nur bezüglich einer Veränderung ihrer regionalen Verbreitung erklärt werden.

### *UV-Strahlungs-Modell*

Aus Sicht der Schüler führt der anthropogene Treibhauseffekt primär zu einer Verstärkung der UV-Strahlung, die als energiereich und gefährlich empfunden wird. Daraus leiten sie verschiedene Umweltveränderungen und Gefährdungen wie z.B. ein erhöhtes Hautkrebsrisiko ab. Der Hintergrund dieses Modells ist eine Vermengung von anthropogenem Treibhauseffekt und der Zerstörung der Ozonschicht. Es liegt also eine Kopplung mit dem Ozonloch-Modell vor.

### **Bedeutende Abweichungen von den wissenschaftlichen Vorstellungen**

Angesichts der Vielgestaltigkeit der Alltagstheorien zu den Folgen des globalen Klimawandels und der fachlichen Komplexität dieses Themas verwundert es nicht, dass es hier zu einer recht großen Zahl an abweichenden Vorstellungen kommt. In Kapitel 4.6.3.2 wurden diese Abweichungen ausführlich beschrieben, hier soll eine strukturierte Auflistung genügen.

Nicht alle abweichenden Vorstellungen sind für die Planung einer Unterrichtseinheit zum globalen Klimawandel gleich bedeutend. Da die im Unterricht behandelten Klimawandelfolgen immer exemplarisch ausgewählt werden müssen, kann eine breite Übersicht hier gleichwohl sinnvoll sein. Zudem enthalten die Ergebnisse auch Hinweise auf interessante Alltagsvorstellungen in vielen verschiedenen geographisch-geowissenschaftlichen Themenfeldern, die in weiteren Untersuchungen noch vertiefend analysiert werden könnten.

Im Einzelnen konnten folgende Abweichungen von der wissenschaftlichen Sichtweise gefunden werden:

#### *Verschiedene Abweichungen bei dem dominanten Folgenthema „Abschmelzen von (polaren) Eismassen und Meeresspiegelanstieg“*

- Die Schüler gehen an den Polen von statischen Eismassen ohne Eisneubildung und ohne dynamischen Eisabfluss aus.
- Manche Schüler nehmen an, das Abschmelzen von Meereis führe zum Meeresspiegelanstieg.
- Die thermische Ausdehnung des Meerwassers als Ursache des Meeresspiegelanstiegs ist unbekannt.
- An beiden Polkappen wird gleichermaßen mit starken Abschmelzprozessen gerechnet. Aus fachlicher Sicht gibt es jedoch wichtige Unterschiede, die vielen Schülern nicht bekannt sind:
  - Während in der Arktis im 21. Jahrhundert tatsächlich ein deutlicher Eismassenverlust erwartet wird, könnte es in der Antarktis in der Bilanz auch zu einer Eismassenzunahme durch verstärkten Schneefall kommen.
  - In der Arktis muss zwischen dem Grönländischen Eisschild (Abschmelzen bewirkt Meeresspiegelanstieg) und dem arktischen Meereis (ohne Einfluss auf Meeresspiegel) unterschieden werden
- Die Zeithorizonte für ein vollständiges Abschmelzen der Polkappen werden unterschätzt.
- Das Abschmelzen der Gebirgsgletscher fehlt in vielen Alltagstheorien – sowohl als Folge des globalen Klimawandels als auch als Ursache für den Anstieg des Meeresspiegels.

#### *Verschiedene Abweichungen und Theorielücken beim Thema „Trockenheit / Dürre / Wassermangel“*

- Eine mögliche Zunahme von Trockenheit und Dürren wird vereinfacht durch ein „Austrocknen“ von Landflächen bei höheren Temperaturen erklärt. Veränderungen der Niederschläge und ihre Entstehung spielen in den Erklärungen meist keine Rolle.

- Die Gefahr eines zunehmenden Wassermangels in vielen Weltregionen fehlt häufig als Folgekonzept in den Alltagstheorien ebenso wie eine mögliche Verstärkung der Desertifikation. Beide Probleme wurden auch im Rahmen der explorativen Vorstudie nur sehr selten genannt – sowohl als Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes als auch in der Auflistung globaler Probleme ganz allgemein. Damit weichen die Alltagstheorien hier deutlich von der Sichtweise der Experten ab, die beide Probleme zu den sechs wichtigsten globalen Umweltproblemen zählen (WBGU 2001, vgl. Kapitel 1.2.1).
- Wichtige Einflussfaktoren auf die Wasserverfügbarkeit sind unbekannt (u.a. das Abschmelzen von Gebirgsgletschern und die Wirkung von Überschwemmungen).

#### *Abweichungen und Theorielücken beim Thema „Stürme und Unwetter“*

- Eine mögliche Zunahme der Häufigkeit oder Intensität von Stürmen und Unwettern fehlt als Folgekonzept v.a. bei den undifferenzierten Theorien.
- Die meisten Schüler, die eine Zunahme bzw. Verstärkung von Stürmen und Unwettern als mögliche Folge der globalen Erwärmung genannt haben, können diesen Zusammenhang nicht plausibel erklären. Einfache Erklärungsansätze aus fachlicher Sicht wären z.B. höhere Meerestemperaturen, die intensivere Hurrikans zur Folge haben können oder eine temperaturbedingt höhere Verdunstung (Verstärkung des Wasserkreislaufs), die zu mehr Starkniederschlägen mit Überschwemmungen führen kann. Letztlich spielen bei der Erklärung und Prognose von Stürmen und Unwettern in verschiedenen Klimazonen jedoch viele komplexe Klimasystemzusammenhänge eine Rolle. Auch in der Klimaforschung sind hier noch viele Fragen offen (vgl. Kapitel 1.3.2.3).

#### *Verstärkung der UV-Strahlung als Folge des anthropogenen Treibhauseffektes*

- Einige Schüler gehen davon aus, dass der anthropogene Treibhauseffekt eine Verstärkung der UV-Strahlung zur Folge hat. Diese Schüler erklären den verstärkten Treibhauseffekt im Sinne des Ozonloch-Modells.
- Damit sehen sie auch die Zunahme von Hautkrebs oder von Erbgutveränderungen als Folge des verstärkten Treibhauseffektes an.
- Z.T. wird eine verstärkte Strahlung auch als direkte Ursache für eine zunehmende Trockenheit aufgefasst.

#### *Bedeutende Theorielücken bei den Themen Gesundheit, Nahrungsversorgung, soziale Probleme und volkswirtschaftliche Folgen*

- Mögliche Gesundheitsprobleme, die durch den globalen Klimawandel z.B. infolge von Hitzewellen, Überschwemmungen oder Dürren entstehen können, werden von den Schülern nicht wahrgenommen. Wenn Gesundheitsprobleme genannt werden, dann meist nur eine Zunahme von Hautkrebs aufgrund einer verstärkten UV-Strahlung.
- V.a. bei undifferenzierten Theorien werden Probleme bei der Nahrungsversorgung bzw. Hungersnöte nur selten als mögliche Folge des globalen Klimawandels wahrgenommen.
- Soziale Folgeprobleme wie Armut, Migration oder Landnutzungskonflikte fehlen trotz entsprechender indirekter Interview-Impulse bei den meisten Schülern. Erst auf eine direkte Frage nach diesen Problemen, sehen fast alle Schüler eine Verstärkung von Armut als mögliche Folge an. Mehr als die Hälfte der Schüler geht aber auch dann noch davon aus, dass der globale Klimawandel nicht zu einer Zunahme von Kriegen führen kann.
- Auch volkswirtschaftliche Probleme, z.B. Folgen für verschiedene Wirtschaftssektoren oder Folgekosten für Schutzmaßnahmen oder Schadensbewältigung, werden trotz Impuls nur in Ansätzen wahrgenommen. Es wird nicht in makroökonomischen Zusammenhängen gedacht.

#### *Theorielücken bei positiven Klimafolgen*

- Die Schüler nennen in aller Regel keine positiven Folgen des globalen Klimawandels. Dagegen rechnet die Klimaforschung z.B. mit einer verbesserten Wasserverfügbarkeit für die ho-

hen Breiten und für manche Regionen in den Tropen sowie mit einem höheren landwirtschaftlichen Ertragspotenzial für die mittleren und höheren Breiten – bei einer nur moderaten globalen Erwärmung (vgl. Kapitel 1.3.2.3). Allerdings gehen auch die Experten davon aus, dass im globalen Durchschnitt und auf lange Sicht die negativen Folgen deutlich überwiegen werden.

#### *Theorielücken bei grundlegenden klimatologischen Zusammenhängen*

- Nur sehr wenige Schüler können zur Erklärung bestimmter Folgen auf klimatologische Grundkenntnisse zurückgreifen. Dies gilt sowohl für einfache Zusammenhänge, z.B. mehr bzw. stärkere Niederschläge aufgrund einer Erhöhung des Wasserdampfgehaltes der Luft bei höheren Temperaturen oder die Erklärung von Stürmen über große Luftdruckunterschiede, als auch für komplexere Klimaphänomene wie die Passatzirkulation oder andere Grundlagen der atmosphärischen Zirkulation – alles Themen, die eigentlich im baden-württembergischen Bildungsplan der Klasse 11 verankert waren, der für die befragten Schüler maßgeblich war (MKS 1994).

#### *Theorielücken beim Systemdenken*

- *Systemstrukturen* werden in der Regel nur als lineare Kausalketten beschrieben. Komplexere Vernetzungen, Kreislaufstrukturen (z.B. CO<sub>2</sub>-Kreislauf) oder Rückkopplungsschleifen treten in den untersuchten Alltagstheorien nicht oder nur sehr selten auf.
- *Systemdynamiken*, d.h. typische Aspekte der zeitlichen Veränderungen von Systemen wie Fließgleichgewichte, Selbstverstärkungsmechanismen, nichtlineares Wachstum (z.B. exponentielles Wachstum), mögliche Kipp-Punkte des globalen Klimas, Verzögerungen und Trägheitseffekte, werden nur in seltenen Ausnahmefällen angesprochen und dann auch eher pauschal, z.B. im Sinne eines „gestörten ökologischen Gleichgewichtes“.
- Insgesamt scheint das Denken in Systemzusammenhängen nur schwach ausgeprägt zu sein – dies gilt für das Klimasystem, für einzelne betroffene Ökosysteme, aber auch für sozioökonomische Systeme oder für Vernetzungen zwischen natürlichen und sozioökonomischen Systemen. Einschränkend muss dabei allerdings beachtet werden, dass diese Untersuchung nicht explizit auf die Erhebung von Systemdenken ausgerichtet war.

### **5.5.2 Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen**

Nachfolgend sollen einige zentrale Ergebnisse aus der Analyse der Folgen-Theorien herausgegriffen werden, um jeweils Erklärungsansätze für die Befunde zu diskutieren und Leitlinien für die didaktische Strukturierung von Unterricht abzuleiten. Da die Folgen-Theorien inhaltlich und formal heterogener und deutlich weniger geschlossen sind als die Ursachen-Theorien, muss bei den Analyseergebnissen hier eine Auswahl getroffen werden, die sich an der didaktischen Relevanz orientiert, die die Befunde für den (Geographie-) Unterricht haben.

Trotz einer solchen Reduktion ist die Gesamtheit der hier formulierten didaktischen Leitlinien noch sehr breit angelegt, um den vielen inhaltlichen Vertiefungsmöglichkeiten gerecht zu werden, die sich hier für den Unterricht in der Sekundarstufe I oder II anbieten. Bei der Auswahl der im Unterricht zu behandelnden Klimawandelfolgen ist Exemplarik ein zentrales Prinzip (vgl. Köck 2008). Die Relevanz der einzelnen didaktischen Leitlinien hängt von den jeweils ausgewählten Folgen und von der angestrebten inhaltlichen Tiefe ab. Manche Leitlinien können aber auch schon beim Auswahlprozess selbst hilfreich sein.

### 5.5.2.1 Das Aufheizungs-Modell und die daraus abgeleiteten Folgen „Polschmelze“, „Meeresspiegelanstieg“ und „Trockenheit / Dürre“

#### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Das Aufheizungs-Modell kommt in allen Alltagstheorien vor, was auf der Grundlage verschiedener Conceptual-Change-Ansätze auch gut begründet werden kann:

- Die z.T. explizit so geäußerte Formulierung, dass sich die Erde „wie ein Backofen“ aufheize, zeigt, dass hier konkrete Alltagserfahrungen auf die globale Situation übertragen werden, die mit visuell starken Bildern einhergehen und zugleich als „verkörperte Erfahrungen“ (Gropengießer 2003) tief in unserem Alltagsdenken verankert sind.
- Auch durch Medien und Unterrichtsmaterialien wird diese Vorstellung bisweilen unterstützt, wenn in symbolischen Bildern eine „schwitzende“ Erde zu sehen ist, die sich manchmal in einem Glashaus, unter einer Glasglocke oder in einer Art Heizkammer befindet.
- Bei einzelnen Schülern scheint die „Backofen-Vorstellung“ beim Aufheizungs-Modell zu unrealistischen Vorstellungen über das Ausmaß des zu erwartenden Temperaturanstiegs zu führen – bis hin zu der Vorstellung, dass aufgrund der extrem hohen Temperaturen irgendwann kein Leben auf der Erde mehr möglich sein könnte.

Das Aufheizungs-Modell ist in seinem Kern durchaus mit der wissenschaftlichen Sichtweise vereinbar. Allerdings ist es bei vielen Schülern so prägend und dominant, dass es bei zwei wichtigen Klimafolgen – Meeresspiegelanstieg und Dürregefahren – zum Teil zu verkürzten, monokausalen Erklärungen führt.

#### *Die Dominanz des Folgenstrangs „Polschmelze und Meeresspiegelanstieg“ und die monokausale Erklärung des steigenden Meeresspiegels*

Für die überragende Dominanz der Kausalkette „globale Erwärmung – Polschmelze – Meeresspiegelanstieg“ und für die damit verbundene monokausale Erklärung eines steigenden Meeresspiegels lassen sich verschiedene Gründe angeben:

- Ein gewichtiger Grund für die große Dominanz dieses Folgenstranges kann sicher darin gesehen werden, dass die schlichte Erklärung „Eis schmilzt durch Erwärmung“ mit einer vielfach gemachten Alltagserfahrung übereinstimmt. Sie wird deshalb besonders gut verstanden, zumal sie auch sehr gut mit dem Aufheizungs-Modell harmoniert.
- Auch die damit verbundene Erklärung des Meeresspiegelanstiegs durch zusätzliches Schmelzwasser kann auf naheliegende Alltagserfahrungen zurückgeführt werden. Bezeichnenderweise greifen die Schüler zur Erklärung des Meeresspiegelanstiegs ausschließlich auf diese eine Erklärung zurück. Eine aus fachlicher Sicht gegenwärtig sogar bedeutsamere Ursache – die thermische Ausdehnung des Meerwassers – wurde von keinem Schüler genannt. Möglicherweise ist diese stärker naturwissenschaftlich geprägte Erklärung vergleichsweise „sperrig“, entsprechende Alltagserfahrungen sind kaum vorhanden bzw. in diesem Kontext nicht bekannt. Zudem wird sie auch gesellschaftlich, z.B. in den Medien, kaum kommuniziert – es bleibt bei der eingängigeren „Schmelzwasser-Erklärung“.
- Hinzu kommt die große gesellschaftliche Bedeutung dieses Folgenzusammenhangs. Seine Relevanz ist durch seine globale Dimension und das große Bedrohungspotenzial für Küstenregionen und flache Inseln für jeden intuitiv leicht nachvollziehbar – vor allem, wenn vor einem langfristigen Anstieg des Meeresspiegels um mehrere Meter gewarnt wird.
- Beide Aspekte – seine leicht nachvollziehbare Erklärung und seine große Bedeutung – führen schließlich dazu, dass der Meeresspiegelanstieg auch in den Medien ein sehr beliebtes und damit in der Alltagswahrnehmung des Einzelnen immer wieder aktiviertes Folgekonzept ist. Zudem wird es oft mit eindrucksvollen Visualisierungen verbunden, z.B. unter Wasser stehende Küstenlandschaften, Städte oder berühmte Gebäude.
- Ein weiterer Grund für die Dominanz des Folgenstranges „Polschmelze und Meeresspiegelanstieg“ ist, dass diese Folge leicht über das bei allen Schülern vorhandene Aufheizungs-

Modell abgeleitet und erklärt werden kann, während für viele andere Folgen keine vergleichbar einfachen Erklärungsmodelle zur Verfügung stehen.

### *Vereinfachte Erklärung von Dürren und Trockenheit*

Ähnlich wie beim Meeresspiegelanstieg wird auch die potenzielle Zunahme von Dürren und Trockenheit oft vereinfacht und monokausal durch „Austrocknung“ aufgrund von höheren Temperaturen erklärt – nicht über ausbleibende oder sich verändernde Niederschläge.

- Die Schüleräußerungen zeigen, dass hier Alltagsbeobachtungen direkt auf die Folgen der globalen Erwärmung übertragen werden: Durch Hitze „verdorrte das Gras“, Böden und Vegetation trocknen aus. Entsprechende Alltagserfahrungen gibt es zur Genüge, z.B. vertrocknete Pflanzen nach heißen Sommertagen, die Beobachtung, dass Gegenstände in der Sonne schneller trocknen als im Schatten oder im Sommer schneller als im Winter. Dazu passt auch die Alltagsbeobachtung, dass es Waldbrände, Dürrephasen und Wüsten vor allem in wärmeren Weltregionen gibt.
- Die klimatologischen Begriffe „Verdunstung“ oder „Luftfeuchtigkeit“ werden von den meisten Schülern hierbei nicht verwendet – stattdessen greifen sie eher auf die erwähnten Alltagsbeispiele zurück, um diesen Zusammenhang zu erläutern. Offenbar sind auch einfache naturwissenschaftlich-klimatologische Grundkenntnisse nicht so tief verankert, dass sie hier aktiv angewendet werden.
- Erstaunlicherweise bringen viele Schüler Dürre und Trockenheit nicht mit ausbleibenden oder sich verändernden Niederschlägen in Verbindung. Möglicherweise ist eine Erklärung dafür die Dominanz des Aufheizungs-Modells, das im oben beschriebenen Sinne eine erste, naheliegende Erklärungsmöglichkeit bietet. Die regionalspezifische Entstehung von Niederschlägen und ihre Veränderung aufgrund der globalen Erwärmung sind auch fachlich weit schwieriger zu erklärende Phänomene. Darauf wird auch im nachfolgenden Kapitel noch näher eingegangen.

### **Didaktische Leitlinien**

Bei der Erarbeitung der „globalen Erwärmung“ betonen, dass mit diesem Begriff ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur gemeint ist, der regional unterschiedlich stark ausfällt, und dass auch ein Anstieg um 2°C schon gravierende Folgen haben kann.

Für den Umgang mit dem Aufheizungs-Modell als solchem sollen hier keine eigenen Leitlinien formuliert werden, da es sich im Kern um eine fachlich korrekte Denkfigur handelt. Dies gilt allerdings nicht mehr, wenn die Schüler bei den künftigen globalen Temperaturen keine regionalen Unterschiede mehr sehen oder von einem übertrieben hohen Temperaturanstieg ausgehen, der global jedes Leben unmöglich macht. In diesem Fall sollte sich der Unterricht natürlich um differenziertere Vorstellungen bemühen. Dabei ist es auch wichtig, deutlich zu machen, dass ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur um nur 2°C von vielen Klimaforschern als eine Art „ökologische Leitplanke“ angesehen wird, ab der viele Folgen des Klimawandels unumkehrbar bzw. kaum mehr beherrschbar sein könnten (WBGU 2003).

Vor dem Hintergrund unserer Alltagserfahrungen mit weit höheren Temperaturschwankungen erscheinen die vergleichsweise niedrigen Werte beim Anstieg der globalen Mitteltemperatur oft harmlos und tolerierbar. Um diesem fehlerhaften Urteil zu begegnen, sollten folgende Punkte beachtet und verdeutlicht werden: Beim Anstieg der globalen Mitteltemperatur handelt es sich um eine rein statistische Größe, die nirgendwo auf der Erde direkt so gemessen werden kann. Zum einen gilt es zwischen kurzfristigen Wettererscheinungen und langfristigen, statistisch nachweisbaren Klimaänderungen zu unterscheiden, zum anderen fallen auch die Änderungen der globalen Mitteltemperaturen regional sehr unterschiedlich aus. Über den Landflächen muss generell mit einer deutlich höheren Erwärmung gerechnet werden, da der Anstieg der globalen Mitteltemperatur von den Wasserflächen der Ozeane gedämpft wird, die gut 70% der Erdoberfläche einnehmen.

Den vermeintlich leicht verständlichen Folgenzusammenhang „Meeresspiegelanstieg durch Eisschmelze“ differenzierter behandeln und dabei gängige Alltagsvorstellungen als nicht haltbar bewusst machen.

Gerade weil die Vorstellung, dass schmelzendes Eis zu einem Anstieg des Meeresspiegels führt, so weit verbreitet ist und im Kern gut verstanden wird, lohnt es sich, das Interesse der Schüler an diesem Thema für eine etwas genauere Betrachtung zu nutzen. Dabei können den Schülern einige oft anzutreffende Alltagsvorstellungen bewusst gemacht werden: z.B. die Vorstellung, auch das schmelzende Meereis der Arktis trage zum Meeresspiegelanstieg bei, oder die Vorstellung, Eisschilde seien statische Eismassen ohne Eiszufuhr durch Schneefälle oder fehlende Vorstellungen von der thermischen Expansion des Meerwassers als Hauptursache des Meeresspiegelanstiegs etc. Wenn die Schüler in diesem Sinne ein differenzierteres Wissen zum Thema Anstieg des Meeresspiegels erwerben, sind sie auch besser in der Lage, immer neue und z.T. auch widersprüchliche Medienberichte zu diesem Themenfeld beurteilen und einordnen zu können.

Verstärkte Trockenheit und Dürren als komplexe Klimafolgen thematisieren, die nicht nur durch stärkere Verdunstung, sondern auch durch regionale Veränderungen der Niederschläge entstehen.

Verstärkte Trockenheit und Dürregefahren gehören zu den wichtigsten Klimafolgen, weil damit in vielen Weltregionen gravierende Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit und z.T. auch auf die Ernährungssicherheit verbunden sein können. Diese Thematik sollte deshalb auch im Unterricht angemessen berücksichtigt werden. Neben der entwicklungsbezogenen und sozioökonomischen Problemdimension, auf die später noch eingegangen wird, sollte auch auf ein solides und belastbares naturwissenschaftliches Grundverständnis des Phänomens geachtet werden. D.h., die Dominanz und Ausschließlichkeit des Aufheizungs-Modells als Erklärung für Trockenheit sollte durchbrochen werden.

Das intuitive, alltagsbezogene Verständnis des Phänomens „Austrocknung durch höhere Temperaturen“ bietet zunächst eine gute Ausgangsbasis, um das Thema als Anwendungsfeld für klimatologische Grundbegriffe und Zusammenhänge rund um das Thema Verdunstung und Luftfeuchtigkeit zu nutzen. Wenn die Schüler damit sicher umgehen können, kann im nächsten Schritt ein einfacher kognitiver Konflikt erzeugt werden: Was geschieht mit dem verstärkt verdunstenden Wasser? Auch über den Meeren verdunstet ja mehr Wasser, was doch eigentlich zu verstärkten Niederschlägen und nicht zu Trockenheit führen müsste? Als Lösung kann erarbeitet werden, dass genau dies auch der Fall ist – allerdings verteilt sich der Niederschlagszuwachs global nicht gleichmäßig – in manchen Regionen wird es mehr, in anderen weniger regnen. Genaue regionale Prognosen sind oft noch unsicher und widersprüchlich. Mit dieser Vorgehensweise kann zweierlei erreicht werden: Zum einen wächst die Sensibilität dafür, dass die (zeitliche und räumliche) Verteilung der Niederschläge für das Auftreten von Dürren und Trockenheit entscheidend ist und eben nicht nur die Temperaturerhöhung, zum anderen sollte deutlich werden, dass Niederschlagsprognosen auch für die Klimaforschung komplex und schwierig sind. Eine Analyse von Weltkarten mit globalen Niederschlagsprognosen (z.B. im Weltatlas) kann hier sinnvoll sein – evtl. nachdem die Schüler zuvor Vermutungen über Regionen mit zunehmender Trockenheit geäußert haben. Anstelle des Aufheizungs-Modells kann hier ggf. das Klimazonen-Modell als deskriptives Erklärungsmodell vorgestellt werden (s.u.).

### **5.5.2.2 Das Katastrophen- und das Klimazonen-Modell und das Problem, komplexe Klimafolgen zu erklären**

Es gibt eine Reihe von komplexeren Klimaänderungen, die sich nicht direkt mit einem globalen Temperaturanstieg erklären lassen. Beispiele dafür sind eine Zunahme von Unwettern (z.B. Starkniederschläge, Stürme, Wirbelstürme etc.) oder eine Veränderung der Niederschläge. In weniger differenzierten Alltagstheorien fehlen solche komplexen Klimafolgen oftmals ganz. In Alltagstheorien, die vom Katastrophen-Modell geprägt sind, werden zumindest Extremwetterereignisse genannt, in der Regel bleibt es aber bei einer assoziativen Aufzählung, ohne dass der Zusammenhang mit der globalen Erwärmung näher erklärt werden könnte.

### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Für das Auftreten des Katastrophen-Modells in den Alltagstheorien kommen verschiedene Erklärungsansätze in Frage:

- Aus manchen Schüleräußerungen wird ersichtlich, dass hierbei die Medien eine wichtige Rolle spielen. Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Medienberichterstattung über (globale) Umweltprobleme stark ereignisbezogen ist (vgl. Kapitel 1.3.3.2). Im Bezug auf den globalen Klimawandel bedeutet dies, dass seine potenziellen Folgen vor allem im Kontext aktueller Extremereignisse zum Medienthema werden. Beispiele sind Hochwasserkatastrophen (z.B. an Rhein, Oder und Elbe), Orkane oder verheerende Hurrikans. Dadurch kann leicht ein kognitives Schema entstehen, bei dem der Begriff Klimawandel stark mit solchen klimabedingten Extremereignissen bzw. Naturkatastrophen verknüpft wird.
- Doch selbst wenn Medien bei Berichten über Unwetter, Hurrikans oder Hitzewellen keinen Bezug zum globalen Klimawandel herstellen, kann der Einzelne im Rahmen seiner Alltagstheorie solche Extremereignisse als Beleg für ein sich wandelndes Klima bewerten. Einzelne wetterbedingte Naturkatastrophen werden dann assoziativ mit dem globalen Klimawandel in Verbindung gebracht. Laienpersonen neigen dabei zu einer Generalisierung von Einzelbeobachtungen (vgl. Peters & Heinrichs 2005, S. 207 und Kapitel 1.3.3.2). Die Frage, ob tatsächlich eine statistische Häufung oder ein Trend zu einer stärkeren Ausprägung der jeweiligen Extremereignisse vorliegt, wird dabei entweder ausgeblendet oder einfach bejaht und ggf. mit der außergewöhnlichen Stärke des aktuellen Ereignisses begründet.
- Ein verstärkender Faktor könnte aus sprachpsychologischer Sicht auch der Begriff „Klimakatastrophe“ sein, der von den Medien v.a. in den 1990er Jahren oft an Stelle des Begriffs „Klimawandel“ verwendet wurde und sich als gesellschaftlich geteiltes Wissen in unserer Sprache etabliert hat (vgl. Weingart et al. 2002).

Eine ganz andere Frage ist, weshalb in den meisten weniger und undifferenzierten Alltagstheorien Unwetter und Stürme als Folgekonzept ganz fehlen. Aufgrund der fehlenden Schüleräußerungen in den Interviewdaten haben die Erklärungsansätze zu dieser Frage noch stärker einen hypothetischen Charakter:

- In allen Alltagstheorien bildet das Konzept der globalen Erwärmung den Ausgangspunkt der Folgentheorien. Ein Grund für das Fehlen des Naturkatastrophen-Modells könnte darin liegen, dass die Schüler keinen einfachen erklärenden Zusammenhang zwischen höheren Temperaturen und mehr Unwettern und Stürmen sehen und deshalb v.a. Folgekonzepte nennen, die sich direkt aus dem Temperaturanstieg ableiten lassen (z.B. Polschmelze, Trockenheit, Hitzewellen etc.).
- Weiter oben wurde dieser Gedanke bereits etwas anders formuliert: Das Aufheizungsmodell dominiert in manchen Alltagstheorien so stark, dass Wetterphänomene wie Niederschläge und Stürme, die daraus nicht unmittelbar erklärt werden können, schlicht aus dem Blick geraten. Möglicherweise mangelt es dabei auch an einem breiten und umfassenden Verständnis des Klimabegriffs, der verschiedenen Klimaelemente und ihres Zusammenspiels im Klimasystem.

### Didaktische Leitlinien

Um komplexere Klimafolgen wie eine mögliche Zunahme von Unwettern oder Veränderungen der Niederschläge erklären zu können, werden vertiefte Kenntnisse des Klimasystems, insbesondere der atmosphärischen Zirkulation benötigt. Bei manchen Folgen sind Erklärungen noch auf schülergerechte Weise möglich, wenn entsprechendes Grundlagenwissen über klimatologische Systemzusammenhänge erarbeitet wird. Darauf wird im nachfolgenden Kapitel bei der Diskussion des System-Modells noch genauer eingegangen. Bei anderen Folgen spielen dabei aber so viele und mitunter auch gegenläufige Faktoren eine Rolle, dass einfache, schülergerechte Erklärungen kaum möglich sind. In diesem Fall muss man sich weitgehend auf die Darstellung der Ergebnisse von komple-

zen Klimamodellberechnungen beschränken, wobei ein wichtiges Ziel darin bestehen sollte, zumindest die Komplexität des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses und dessen Grenzen zu beleuchten.

Darüber hinaus gibt es aber auf einer abstrakteren und stärker verallgemeinernden Ebene mit dem Klimazonen-Modell auch ein einfaches, anschauliches Erklärungsmodell, mit dem bereits jüngere Schüler bestimmte Klimaänderungen leicht verstehen können.

#### Das Klimazonen-Modell gezielt für eine deskriptive Erklärung potenzieller Klimaänderungen heranziehen.

Ein einfaches Erklärungsmodell, aus dem sich komplexe Klimafolgen leicht und anschaulich ableiten lassen, ist das Klimazonen-Modell, wie es in einigen Alltagstheorien dieser Untersuchung als Basismodell auch anzutreffen war. Eine seiner Stärken liegt in der regionalisierten Folgenbetrachtung, die sich von der globalen Sichtweise löst und die Schüler dafür sensibilisiert, dass es beim globalen Klimawandel in verschiedenen Klimazonen zu jeweils spezifischen Folgen kommen kann. Im Unterricht wird dabei als Kernkonzept erarbeitet, dass der globale Klimawandel eine Verschiebung der Klimazonen zur Folge haben kann: So könnte sich das aride Klima der Sahara nach Norden in den mediterranen Raum Nordafrikas ausdehnen, das mediterrane Klima könnte sich weiter nach Norden in die gemäßigten Zone hinein verschieben und die boreale Zone in Richtung subpolare Zone. In jedem dieser Fälle wird klar, dass es neben den Temperaturänderungen v.a. auch zu Niederschlagsänderungen kommen kann. Zwar werden diese durch den deskriptiven Charakter dieses Modells nicht genau erklärt, aber dennoch sind die Schüler dadurch in der Lage, auf der Basis eines einfachen Grundzusammenhangs mögliche Klimaänderungen für eine bestimmten Region abzuleiten und sich zudem auch die problematischen oder z.T. positiven Auswirkungen auf die Vegetation und die Landnutzung vorzustellen. Benötigt werden lediglich Grundkenntnisse über die Lage und Ausprägung der Vegetations- und Klimazonen.

Im Unterricht sollte allerdings betont werden, dass es auch für die Klimaforschung oft noch große Unsicherheiten gibt, ob und in welche Richtung sich Klimazonen verschieben werden. So könnte es z.B. in der Sahelregion Afrikas sowohl zu einer Nord- als auch zu einer Südverschiebung der Saharasüdgrenze kommen. Das Klimazonen-Modell selbst ist offen für solche Unsicherheiten im Konkreten. Es kann helfen, sich die Ausprägung möglicher Klimaänderungen in die eine oder andere Richtung vorzustellen, darf aber nicht als Instrument für eindeutige Prognosen missverstanden werden.

Etwas fundierter wird das Klimazonen-Modell, wenn man älteren Schülern erklärt, dass die globale Erwärmung Auswirkungen auf die atmosphärische Zirkulation hat und es deshalb auch zu Verschiebungen bei den Luftdruck- und Windgürteln und damit auch bei der Niederschlagsverteilung kommen kann.

#### Die Zunahme einfacher Extremwetterereignisse über klimatologisches Grundlagenwissen erklären.

Bei weniger komplexen Extremwetterereignissen gibt es einige von der Klimaforschung prognostizierte Folgen der globalen Erwärmung, die sich relativ leicht erklären lassen. Als Basis genügt klimatologisches Grundlagenwissen, das im Unterricht in diesem Kontext erarbeitet oder angewendet werden kann. Beispiele sind die Zunahme von Hitzewellen in einem wärmeren Klima, die Zunahme und Intensivierung von Starkniederschlägen mit entsprechenden Überschwemmungen aufgrund eines erhöhten Wasserdampfgehaltes in wärmerer Luft sowie die Häufung und Intensivierung von Dürreproblemen in Trockenzeiten durch eine stärkere Verdunstung und einem daraus resultierenden Rückgang der Bodenfeuchte z.B. im mediterranen Raum (vgl. Rahmstorf & Schellnhuber 2007, S. 74). Bei einer Konkretisierung dieser sehr allgemein formulierten Aussagen sollten allerdings auch die beiden nachfolgenden Leitlinien beachtet werden.

Am Beispiel komplexer Extremwetterereignisse wie z.B. Hurrikans aufzeigen, dass die Erkenntnisgewinnung in der Klimafolgenforschung komplex ist und es nach wie vor viele Unsicherheiten gibt. Bei komplexeren Extremwetterereignissen, wie Stürme und Wirbelstürme es sind, gibt es zwar auch einige einfache wissenschaftliche Erklärungsmuster, sie können allerdings leicht zu einer verkürzten Sichtweise führen. Beispielsweise könnte man die Entstehung von stärkeren Unwettern und Stürmen ganz allgemein damit erklären, dass durch die globale Erwärmung die Energie der Atmosphäre erhöht wird – eine Vorstellung, die auch manche Schüler geäußert haben. Ein anderes Beispiel ist die Vorstellung, dass es großräumig zu verstärkten Temperaturgegensätzen und damit auch zu größeren Luftdruckdifferenzen kommen kann, wodurch sich die Intensität von Stürmen erhöhen könnte. Naheliegend ist auch, dass ein wärmeres Klima mehr und stärkere Hurrikans und andere tropische Wirbelstürme zur Folge hat, weil Meerestemperaturen von mindestens 27°C eine wesentliche Voraussetzung für ihre Entstehung sind. Alle genannten Erklärungsmuster sind aus wissenschaftlicher Sicht durchaus plausibel – und doch kommen die Modellberechnungen der Klimaforscher bei diesen Fragen zu unterschiedlichen und z.T. widersprüchlichen Aussagen (IPCC 2007d, S. 16, Kasang 2007). So spielen bei der Entstehung tropischer Wirbelstürme neben der Wassertemperatur auch andere Faktoren eine Rolle, auf die die globale Erwärmung z.T. einen gegenläufigen Effekt hat und deren Einfluss in der Wissenschaft noch nicht endgültig geklärt ist.

Da es für Schüler mitunter schwierig ist, mit solchen wissenschaftlichen Unsicherheiten umzugehen, sollten bei der Unterrichtsplanung in der Sekundarstufe II auch wissenschaftspropädeutische Ziele verfolgt werden. Das Thema globaler Klimawandel und die Prognosen für Extremwetterereignisse eignen sich in besonderer Weise dafür, im Unterricht den Weg und die Grenzen der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung aufzuzeigen (vgl. Hoffmann 2006). Dies lässt sich schon im Kleinen umsetzen, z.B. indem die Schüler Originalzitate aus dem IPCC-Bericht analysieren, in denen die Wissenschaftler unterscheiden, ob bestimmte Folgen „sehr wahrscheinlich“, „wahrscheinlich“ oder nur „mit weniger gutem Vertrauen“ eintreten werden, und z.T. offenlegen, dass verschiedene Klimamodelle zu widersprüchlichen Ergebnissen kommen.<sup>100</sup> Das Problem der Komplexität des Klimasystems wird auch im nachfolgenden Kapitel nochmals aufgegriffen.

Die Schüler für das Problem der ereignisbezogenen Medienberichterstattung und der damit verbundenen Gefahr einer verzerrten Wahrnehmung von Klimaänderungen sensibilisieren und die Aussagekraft statistischer Klimaanalysen verdeutlichen.

Gerade im Kontext des Problems potenziell zunehmender Extremereignisse und Wetterkatastrophen sollte auch die Gefahr beachtet werden, die in der verzerrten Wahrnehmung von Klimaänderungen auf der Grundlage von eigenen Beobachtungen und Medienberichten liegt. Viele Menschen neigen dazu, einzelne Extremereignisse zu generalisieren und vorschnell als Beleg für den globalen Klimawandel anzusehen. Auch durch Unterricht kann dieser Eindruck verstärkt werden, wenn aktuelle Extremereignisse unreflektiert als motivierende Einstiegsbeispiele für das Thema Klimawandel eingesetzt werden. Im Verlauf des Unterrichts sollte deshalb erarbeitet werden, dass die wissenschaftlichen Prognosen über künftige Klimaänderungen durch Einzelbeobachtungen weder bestätigt noch widerlegt werden können. Erst über einen langen Zeitraum und nur durch eine große Zahl von Beobachtungen lassen sich statistisch signifikante Aussagen treffen. Es sollte also verdeutlicht werden, dass eine einzelne Beobachtung bestenfalls als typisch oder untypisch für einen prognostizierten Trend bezeichnet werden kann. Auch sollte man betonen, dass in der Klimaforschung bei der Zunahme von Stürmen, Unwettern und Hurrikans noch einige fachliche Unsicherheiten bestehen, v.a. im Hinblick auf konkrete regionale Auswirkungen. Insgesamt wäre es sinnvoll, im Unterricht nach Möglichkeit auch den Weg des Erkenntnisprozesses in der Klimaforschung oder zumindest die prin-

<sup>100</sup> Beispiele für solche Zitate zum Thema Extremwetterereignisse sind: „Heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschlagsereignisse werden *sehr wahrscheinlich* weiterhin zunehmen“ / „Es ist, basierend auf einer Auswahl von Modellen, *wahrscheinlich*, dass zukünftige tropische Wirbelstürme (Taifune und Hurrikans) in Verbindung mit dem laufenden Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen intensiver werden, mit höheren Spitzenwindgeschwindigkeiten und mehr Starkniederschlägen.“ / Es gibt auch Klimamodelle, die einen Rückgang der Häufigkeit von tropischen Wirbelstürmen prognostizieren, aber „*das Vertrauen* in Projektionen einer globalen Abnahme der Anzahl tropischer Wirbelstürme ist *weniger gut*.“ Alle Zitate aus IPCC 2007d, S. 16.

zipiellen Grenzen und Unsicherheiten in den Erkenntnissen in geeigneter Form verständlich zu machen.

### 5.5.2.3 Das System-Modell und Defizite bei klimatologischen Grundkenntnissen und Systemdenken in den Alltagstheorien

Bei der Beschreibung und Analyse des System-Modells wurde gezeigt, dass einige Schüler das globale Klima zumindest ansatzweise als System wahrnehmen bzw. einzelne klimatologische Systemzusammenhänge zur Erklärung von Klimafolgen heranziehen. Meist handelt es sich dabei um Schüler mit differenzierteren Alltagstheorien. Insgesamt ist das Systemdenken in den Alltagstheorien aber kaum ausgeprägt. Auch klimatologische Grundlagenkenntnisse spielen darin nur eine rudimentäre Rolle. Dabei sah der für die Befragten relevante Bildungsplan in Klasse 11 durchaus die Behandlung wesentlicher Teilaspekte des Klimasystems vor, z.B. Atmosphäre und Treibhauseffekt in Erdkunde, Physik und Biologie, atmosphärische Zirkulation in Erdkunde, Kohlenstoffkreislauf in Chemie und Biologie (MKS 1994).

#### Erklärungsansätze und Lernhindernisse

Welche Gründe könnte es für die geringe Verbreitung von Systemdenken und klimatologischen Grundkenntnissen in den Alltagstheorien geben?

- Um die potenziellen Klimafolgen im Sinne des System-Modells beschreiben und erklären zu können, benötigen die Schüler Grundkenntnisse über Klimatelemente und das Klimasystem, die über Alltagserfahrungen und auch einfache Medienberichte weit hinausgehen. Laut Bildungsplan müssten solche Kenntnisse zwar in verschiedenen Fächern v.a. in Klasse 11 erarbeitet worden sein und alle befragten Schüler gaben auch an, dass das Thema Treibhauseffekt thematisiert wurde – fast immer im Erdkundeunterricht, in den anderen Fächern allerdings deutlich seltener (vgl. Kapitel 4.2.4.3). Es bleibt jedoch offen, in welcher Intensität und welchem Umfang dies tatsächlich der Fall war. Bei der Organisation der Interviewdurchführung klagten viele Lehrer über volle Bildungspläne, gerade auch im Fach Erdkunde, das in Klasse 11 nur mit einer Wochenstunde unterrichtet wurde. Möglicherweise konnten dabei naturwissenschaftliche Grundlagen und Systemzusammenhänge nur unzureichend thematisiert werden, zumal auch noch weitere Themenfelder wie Klimaschutzmaßnahmen oder die Problematik der Energieversorgung behandelt werden mussten.
- Ein zweiter Grund könnte im Problem des trägen Wissens zu finden sein. Wenn im Unterricht Grundlagen wie thermische Druckgebilde, der Passatkreislauf oder die atmosphärische Zirkulation zwar ausführlich behandelt wurden, das gelernte Wissen aber anschließend selten bis gar nicht in Unterrichts- oder Alltagssituationen zur Anwendung kommt, ist die Gefahr groß, dass es zu einem trägen Wissen wird, das bestenfalls in der nächsten Klassenarbeit so geäußert werden kann, wie es (auswendig) gelernt wurde. Im Interview wurde deutlich, dass die meisten Schüler große Schwierigkeiten haben, solches Wissen bei der Explizierung ihrer Alltagstheorie sinnvoll einzusetzen. Allerdings konnte bei einigen besonders differenzierten Alltagstheorien auch beobachtet werden, dass dies prinzipiell durchaus möglich ist.
- Das Denken in Systemstrukturen und Systemdynamiken ist in vielen Fällen ein kontraintuitives Denken, das im Unterricht systematisch aufgebaut und als metakognitives Denken gefördert werden muss. Die Untersuchungsergebnisse lassen auch bei einer vorsichtigen Interpretation vermuten, dass bei den befragten Schülern in aller Regel keine systematische Förderung des Systemdenkens in diesem Sinne erfolgt ist.

#### Didaktische Leitlinien

Das Themenfeld „globaler Klimawandel“ eignet sich hervorragend, um ausgehend vom globalen Klimasystem an ausgewählten, sorgfältig umgrenzten Beispielen einfache und auch komplexere Systemstrukturen und Systemdynamiken aufzuzeigen und so ein grundlegendes Verständnis für

Rückkopplungsmechanismen und nichtlineares Systemverhalten im „System Erde“ zu fördern. Es würde allerdings den Rahmen dieser Untersuchung sprengen, hier nun ein didaktisches Programm zur Förderung des Systemdenkens am Beispiel des globalen Klimawandels auszubreiten. Stattdessen sollen mit den nachfolgenden didaktischen Leitlinien nur einige grundlegende Impulse dafür gegeben werden, die entlang von konkreten Beispielen auch im Rahmen eines zeitlich knapp bemessenen Unterrichts zu den Folgen des globalen Klimawandels umgesetzt werden können.

Diese Leitlinien basieren unter anderem auf dem Kompetenzmodell zum systemischen Denken in Frischknecht-Tobler, Nagel & Seybold (2008, S. 30), die in ihrem Buch einen guten Überblick über die theoretischen und empirischen Grundlagen zum Systemdenken geben. Weitere grundlegende Aspekte zur Systemkompetenz und ihrer Förderung werden in den Kapiteln 1.2.2 bzw. 5.6.2 vorgestellt.

Einschränkend muss allerdings erwähnt werden, dass bei vielen Klimafolgen die Systemzusammenhänge zu komplex sind, um sie im Unterricht behandeln zu können, und dass es auch für die Klimaforschung hier Grenzen der Erkenntnisgewinnung gibt. Dies sollte auch den Schülern verdeutlicht werden – im vorangegangenen Kapitel wurde dazu eine eigene didaktische Leitlinie formuliert.

### Anwendung klimatologischer Grundkenntnisse fördern und dabei an bereits bekannte Vorstellungen anknüpfen.

Eine Voraussetzung für das Erfassen von wichtigen Systemstrukturen des Klimasystems sind solide klimatologische Grundkenntnisse. Viele solche Grundlagen sind mit vielfältigen Alltagserfahrungen verknüpft wie z.B. die Konvektion von erwärmter Luft oder die verstärkte Verdunstung bei Erwärmung. Entsprechende Themen werden schon von der Grundschule an immer wieder im Unterricht verschiedener Fächer behandelt wie z.B. Luftdruck, Wind, Kondensation und Wolkenbildung. Gleichwohl gibt es hier eine Vielzahl von abweichenden Alltagsvorstellungen, die bei der Planung und Durchführung von Unterricht beachtet werden sollten.

Wann immer sich im Unterricht die Möglichkeit bietet, sollten solche allgemeinen klimatologischen Grundlagen aufgegriffen und kurz thematisiert werden, damit sie möglichst häufig zur Anwendung kommen, z.B. bei der Erklärung von Steigungsregen oder der Entstehung von Klimazonen beim Passatkreislauf. Auch bei der Thematisierung einzelner Folgen des globalen Klimawandels sollte nach Möglichkeit allgemeines klimatologisches Grundlagenwissen gezielt aufgegriffen und angewendet werden. Mögliche Beispiele dafür sind:

- Die Temperaturabhängigkeit der Luftfeuchtigkeit – zum einen bei der Erklärung einer möglichen Zunahme von Starkniederschlägen und Unwettern (wärmere Luft enthält mehr Wasserdampf), zum anderen bei der Erklärung einer Zunahme von Dürren (Verdunstungsrate steigt, Bodenfeuchte geht schneller zurück).
- Grundlagen der atmosphärischen Zirkulation – zum einen bei der pauschalen Erklärung einer möglichen „Verschiebung von Klimazonen“ oder konkret bei der Erklärung von regionalen Niederschlagsänderungen in Mitteleuropa (die Zugbahn von Tiefdruckgebieten kann sich mit der Westwinddrift dauerhaft verlagern, z.B. polwärts), zum anderen bei der Erklärung möglicher Veränderungen beim südasiatischen Monsun (Verlagerung, Verstärkung).

Im Sinne der Conceptual-Change-Theorie sollten bei der Unterrichtsplanung die vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen über die jeweiligen klimatologischen Zusammenhänge systematisch bewusst gemacht und mit einbezogen werden (vgl. Kapitel 5.6).

### Systemstrukturen und Systemdynamiken des Klimasystems exemplarisch erarbeiten.

Gerade weil das globale Klimasystem zu komplex ist, um es als Ganzes im Unterricht zu behandeln und in einer Alltagstheorie zu erfassen, ist es wichtig, seinen systemischen Charakter exemplarisch an geeigneten Fallbeispielen zu erarbeiten. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass sowohl Systemstrukturen (z.B. vernetzte Wirkungsbeziehungen, Rückkopplungen etc.) als auch Systemdynamiken (z.B. nicht lineare Zusammenhänge, ausgleichende Rückkopplungen, Zeitverzögerungen, Kipp-Punkte etc.) verdeutlicht werden. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Als Ordnungskategorien sollten zunächst die wichtigsten Grundkomponenten des Klimasystems bewusst gemacht werden, v.a. Atmosphäre, Hydrosphäre (insbesondere die Ozeane) und Biosphäre mit jeweils eigenen Teilsystemen, zwischen denen es verschiedene Wechselwirkungen gibt.
- Bedeutende zirkuläre Strukturen sind die großen globalen Stoffkreisläufe. Für das Verständnis des globalen Klimawandels besonders wichtig sind der globale Kohlenstoffkreislauf, bei dem sehr gut fächerverbindend mit Chemie und Biologie gearbeitet werden kann, sowie der globale Wasserkreislauf, der durch den globalen Klimawandel verstärkt wird (mehr Verdunstung, mehr Niederschläge). Durch entsprechende Visualisierungen lassen sich dabei einfache mentale Modelle aufbauen, die vielseitig einsetzbar sind und sich bei künftigen Unterrichtsthemen leicht aktivieren und vertiefen lassen. Bereits vorhandene Modellvorstellungen – z.B. der Wasserkreislauf aus der Grundschule – sollten gezielt aufgespürt und im Unterricht aufgegriffen werden.
- Mögliche Beispiele für relevante Rückkopplungsprozesse, die in Klimamodellen berücksichtigt werden müssen, sind (vgl. Cubasch & Kasang 2000):
  - Die positive Eis-Albedo-Rückkopplung: Eine durch die globale Erwärmung bedingte Eis- und Schneeschmelze verringert die Albedo z.B. im Nordpolarmeer. Dies verstärkt die Erwärmung.
  - Die positive Permafrost-Treibhausgas-Rückkopplung: Das Auftauen von Permafrostböden in der borealen Zone setzt große Mengen der Treibhausgase Methan und CO<sub>2</sub> frei, weil es dabei zur Zersetzung von Torf- und Moorböden mit hohem Kohlenstoffgehalt kommt.
  - Die positive Wasserdampf-Rückkopplung: Die globale Erwärmung bewirkt eine verstärkte Verdunstung, Wasserdampf ist aber ein hochwirksames Treibhausgas.
  - Negative Biosphären-Rückkopplungen: Eine verlängerte Vegetationsperiode in der borealen Zone bewirkt verstärktes Pflanzenwachstum und damit mehr CO<sub>2</sub>-Aufnahme aus der Atmosphäre.
  - Positive und negative Wolken-Strahlungs-Rückkopplungen: Wolken erhöhen die Albedo (mehr Wasserdampf, mehr Wolken, weniger Solarstrahlung am Erdboden: negative Rückkopplung), aber Wolken absorbieren auch die Wärmestrahlung des Erdbodens (Verstärkung des Treibhauseffektes: positive Rückkopplung).
- Kipp-Punkte und Leitplanken: Als Beispiel für die Dynamik nichtlinearer Systeme können auch mögliche Kipp-Punkte des Klimasystems thematisiert werden. Bei manchen der genannten positiven Rückkopplungen werden von der Klimaforschung so genannte Kipp-Punkte vermutet (WBGU 2008, UBA 2008): Ab einem gewissen Ausmaß der globalen Erwärmung werden Schwellenwerte überschritten, bei denen es zu abrupten, drastischen und meist irreversiblen Klimaänderungen kommen kann. Beispiele sind die Meereis-Albedo-Rückkopplung in der Arktis oder die Permafrost-Treibhausgas-Rückkopplung. Beispiele für weitere Kipp-Punkte sind Instabilitäten beim Grönländischen und beim Westantarktischen Eisschild, ein Abschwächen des Nordatlantikstroms oder eine Transformation des südasiatischen Monsunsystems. Die Klimaforscher geben als „Leitplanke“ eine maximale globale Erwärmung um 2°C gegenüber 1990 an, um das Erreichen solcher Kipp-Punkte auszuschließen (WBGU 2009). Im Unterricht könnte die Erarbeitung ausgewählter Rückkopplungsprozesse mit der Bedeutung von Kipp-Punkten verbunden werden. Eine leicht verständliche Broschüre dazu hat das Umweltbundesamt veröffentlicht (UBA 2008). Dabei sollte auch die „2°C-Leitplanke“ besprochen und begründet werden, die als Ausgangspunkt für die Erarbeitung von Klimaschutzmaßnahmen dienen kann und mittlerweile auch von der internationalen Staatengemeinschaft als Ziel eines nachhaltigen Klimaschutzes anerkannt wurde (UNFCCC 2009).

Weitere Hinweise für eine Förderung des naturwissenschaftlichen Verständnisses des Systems Erde bietet das Projekt „Forschungsdialog: System Erde“. Im Rahmen dieses Projektes wurde am IPN

Kiel ein Unterrichtskonzept mit didaktischen Materialien entwickelt und evaluiert (Hlawatsch et al. 2005, Bayrhuber & Hlawatsch 2005, Bayrhuber et al. o.J.).

Systemmodelle nutzen, indem Prognosen abgeleitet und Handlungsentwürfe beurteilt werden.

Sinnvolle Anwendungsaufgaben für zuvor erarbeitete Systemmodelle bestehen darin, ein mögliches Systemverhalten zu prognostizieren, wenn bestimmte Eingriffe erfolgen oder bestimmte dynamische Prozesse ablaufen. Wenn das System als vernetztes Wirkungsgefüge vorliegt, kann man daran z.B. diskutieren, wie sich eine Veränderung von Bestandsgrößen auswirken könnte (z.B. Waldbestand wird verringert), wo sich besonders sensible Systemelemente befinden, deren Veränderung Folgewirkungen in vielen Subsystemen nach sich ziehen kann, oder wo sinnvolle Eingriffsmöglichkeiten bestehen, um gravierende Klimaänderungen möglichst zu begrenzen oder eine Anpassung an die Folgen zu ermöglichen.

#### **5.5.2.4 Das UV-Strahlungs-Modell und die Auswirkungen des Ozonloch-Modells auf die Folgen-Theorien**

Beim UV-Strahlungs-Modell führt der anthropogene Treibhauseffekt aus Sicht der Schüler primär zu einer Verstärkung der Sonnen- bzw. UV-Strahlung, woraus verschiedene Umweltveränderungen (z.B. Trockenheit durch stärkere Strahlung) und Gesundheitsgefährdungen (z.B. höheres Hautkrebsrisiko) abgeleitet werden:

#### **Erklärungsansätze und Lernhindernisse**

Zwei einfache Erklärungsansätze lassen sich zu diesem Modell direkt angeben, darüber hinaus können auch die in Kapitel 5.3.2 beim Ozonloch-Modell bereits erläuterten Erklärungen herangezogen werden.

- Das UV-Strahlungs-Modell ist eng an das Ozonloch-Modell gekoppelt. Die Schüler bilden ein Synthese-Modell, bei dem die bekannten Folgen der Ozonlochproblematik – verstärkte UV-Strahlung und Gefahren wie ein erhöhtes Hautkrebsrisiko – auf das Problem des anthropogenen Treibhauseffektes übertragen werden.
- Besonders wichtig ist dabei die Vorstellung, dass die globale Erwärmung über eine verstärkte Sonnenstrahlung zu erklären sei. Dadurch können Alltagserfahrungen zum Thema Sonnenbrand und Sonnenschutz sowie Alltagsvorstellungen zur gesundheitsschädlichen, Hautkrebs auslösenden Wirkung starker Sonnenstrahlung aktiviert werden.

#### **Didaktische Leitlinien**

Zunächst sollten hier die in Kapitel 5.3.3 erläuterten didaktischen Leitlinien zum Thema atmosphärische Prozesse berücksichtigt werden, wobei es v.a. darauf ankommt, das Ozonloch-Modell als wissenschaftlich nicht haltbare Alltagsvorstellung im Unterricht bewusst zu machen. Darüber hinaus können folgende Punkte beachtet werden:

Deutlich machen, dass die globale Erwärmung nicht durch eine Verstärkung der einfallenden Sonnenstrahlung bzw. UV-Strahlung, sondern durch das Zurückhalten der Wärmestrahlung verursacht wird, die die Erde selbst aussendet.

Die Loch-Vorstellung beim Ozonloch-Modell ist eng verknüpft mit zwei ebenfalls sehr plausiblen Alltagskonzepten: Durch ein solches Loch kann „mehr“ bzw. „stärkere“ Sonnenstrahlung den Erdboden erreichen und „mehr“ bzw. „stärkere“ Sonnenstrahlung führt zu Erwärmung (spürbar z.B. auf der eigenen Haut). Die Schüler sollten sich im Unterricht selbst erarbeiten, dass diese tief verankerten Alltagskonzepte bei der Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes wissenschaftlich unhaltbar sind. Als gut nachvollziehbares, alltagsnahes Alternativkonzept kann den Schülern hier die Analogie der „wärmenden Treibhausgasdecke“ angeboten werden: Die globale Erwärmung kommt nicht durch mehr Strahlungsinput (Lochvorstellung), sondern durch weniger Strahlungsoutput zu-

stande, weil die Treibhausgase wie eine wärmende Decke wirken, die die Wärmestrahlung der Erde zurückhält und so einen „Wärmestau“ bewirkt.

Das Alltagskonzept „Hautkrebs als Folge des anthropogenen Treibhauseffektes“ bewusst aufgreifen, um noch einmal klar zwischen den Problemen anthropogener Treibhauseffekt und Ozonloch zu unterscheiden und um ggf. vorhandene diffuse Umweltängste abzubauen.

Wenn bei der Erarbeitung der atmosphärischen Prozesse der anthropogene Treibhauseffekt bereits klar von der Ozonlochproblematik abgegrenzt wurde, bietet das v.a. in undifferenzierten Theorien häufig anzutreffende Alltagskonzept „erhöhtes Hautkrebsrisiko durch den globalen Klimawandel“ eine gute Gelegenheit, die wissenschaftliche Treibhauseffekttheorie in einer Anwendungs- oder Transferaufgabe noch einmal aufzugreifen und zu festigen. Auf der Basis der Analogie „Treibhausgase als wärmende Decke“ können die Schüler selbst wissenschaftlich korrekte Gesundheitsprobleme als Klimawandelfolgen ableiten, z.B. dass aus dem verhinderten Strahlungsoutput (Wärmestau) Gefahren resultieren, die mit extremen Hitzewellen und höheren Temperaturen verbunden sind (Kreislaufprobleme, mehr Todesfälle bei älteren Menschen, mehr Krankheitserreger ...). Zugleich können sie erkennen, dass ein erhöhtes Hautkrebsrisiko, das an eine verstärkte UV-Strahlung (Strahlungsinput) in Folge des Ozonlochs gebunden ist, nicht dazugehört.

Ein differenziertes Wissen über Umweltrisiken hilft zudem, diffus vorhandene Umweltängste zu reduzieren. Dies gilt besonders dann, wenn Schüler in einem so universellen Problem wie der globalen Erwärmung fälschlicherweise die Ursache für ein höheres Hautkrebsrisiko sehen, von dem sie ja auch persönlich direkt betroffen wären.

#### **5.5.2.5 Theorielücken bei entwicklungsbezogenen, sozialen und sozioökonomischen Folgeproblemen**

Viele Alltagstheorien weisen deutliche Theorielücken bei sozioökonomischen Klimafolgen auf. Zum einen werden soziale und entwicklungsbezogene Folgeprobleme wie eine Zunahme von Migration, Armut oder regionalen Konflikten (z.B. um Wasserressourcen) häufig nicht angesprochen, obwohl im Interview entsprechende Impulse gegeben wurden (z.B. die Frage nach möglichen Folgen für Menschen in Afrika). Zum anderen fehlen in den Alltagstheorien volkswirtschaftliche Folgeprobleme, beispielsweise die Kosten für Schutzmaßnahmen (z.B. Deichbau) und Schadensbewältigung oder mögliche Folgen in betroffenen Wirtschaftssektoren wie Landwirtschaft oder Tourismus. Zudem konnte festgestellt werden, dass viele Folgekonzepte auf der Ebene der Auswirkungen auf Mensch und Natur von den Schülern erst nach einem entsprechenden Impuls geäußert wurden und somit lediglich als implizites Wissen in den Alltagstheorien vorhanden sind.

Diese Befunde stimmen gut mit den Ergebnissen der explorativen Vorstudie mit 129 Befragten (vgl. Kapitel 5.5.1) überein. Man kann also davon ausgehen, dass die genannten Theorielücken bei den Schülern tatsächlich weit verbreitet sind.

Nachfolgend werden für diese Aspekte Erklärungsansätze und didaktische Leitlinien formuliert. Eine darüber hinausgehende Analyse von Alltagsvorstellungen der Schüler zur Bedrohung und Verwundbarkeit von verschiedenen Betroffenen wurde in einer eigenen Studie vorgenommen und in Schuler (2009) publiziert.

#### **Erklärungsansätze und Lernhindernisse**

Zunächst muss hier betont werden, dass die Analyse von Theorielücken in den Alltagstheorien, d.h. von Zusammenhängen, die aus fachlicher Sicht fehlen, naturgemäß schwierig ist, da man über das Nicht-Gesagte schließlich nur indirekt aus anderen Schüleräußerungen und in einer vergleichenden Analyse etwas erfahren kann. Entsprechend haben die Erklärungsansätze hier auch noch stärker einen hypothesenartigen Charakter.

- *Defizite beim interdisziplinären Denken:* Möglicherweise zeigen sich hier Defizite beim interdisziplinären Denken. Die Schüler sind zwar durchaus in der Lage, Inhalte aus verschiedenen naturwissenschaftlichen Teildisziplinen in ihrer Alltagstheorie zu verknüpfen, es

scheint aber im Alltagsdenken eine relativ deutliche Trennung zwischen naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Themenfeldern oder speziell zwischen Umweltproblemen und Entwicklungsproblemen zu geben. Ausgehend von den naturwissenschaftlichen Klima- und Umweltveränderungen denken die Schüler auf eine relativ oberflächliche Weise nur an unmittelbare und konkrete Auswirkungen auf Menschen, die z.B. in Folgenkonzepten wie „Sachschäden“, „Todesopfer“ oder „Missernten“ zum Ausdruck kommen. Man darf zwar annehmen, dass die Oberstufenschüler durchaus über gewisse Vorstellungen zu Entwicklungsproblemen, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik verfügen, diese werden hier aber offensichtlich nicht aktiviert und mit den Klima- und Umweltveränderungen verknüpft. Einen weiteren Hinweis zur Bestätigung dieser These liefert die schriftliche Befragung der Vorstudie: Bei der Frage nach den Zusammenhängen zwischen verschiedenen globalen Problemen wurden auch hier selten Querbezüge zwischen Umweltproblemen auf der einen Seite und ökonomischen bzw. sozialen Problemen auf der anderen Seite angeführt. Dabei hatten die Schüler zuvor noch gezeigt, dass sie durchaus eine klare Vorstellung davon haben, dass es neben globalen Umweltproblemen auch globale Entwicklungsprobleme gibt (vgl. Kapitel 4.2.1).

Ein möglicher Hintergrund könnte sein, dass es auch in der Unterrichtsrealität beim Thema Treibhauseffekt und globaler Klimawandel eine zu starke Betonung der naturwissenschaftlichen Ursachen und eine zu starke Trennung zwischen natur- und sozialwissenschaftlichen Fächern und Fachinhalten gibt. Im für die Befragten relevanten Bildungsplan dominierten in Klasse 11 bei diesem Thema jedenfalls die naturwissenschaftlichen Inhalte in verschiedenen Fächern (vgl. MKS 1994). Zwar wurde darin auch ein umfassendes fächerverbindendes Projekt zum Thema „Schutz der Erdatmosphäre“ vorgeschlagen, in Rahmen der explorativen Vorstudie gaben aber nur sieben der 129 befragten Schüler an, dass sie an einem solchen Projekt teilgenommen haben. Außerdem haben fast alle in den Interviews befragten Schüler berichtet, dass im darauffolgenden Schuljahr in Klasse 12 zwar Entwicklungsländerthemen behandelt wurden, der globale Klimawandel dabei aber keine Rolle gespielt habe.

- *Wenig differenziertes Grundlagenwissen:* Ein zweiter Grund könnte sein, dass die Schüler zu wenig differenzierte Vorstellungen von gesellschaftlichen, politischen und v.a. makroökonomischen Zusammenhängen haben. Möglicherweise fehlen ihnen hier Begriffe und Denkmuster, um in ihren Alltagstheorien auch in etwas abstrakteren sozialen und makroökonomischen Kategorien und Zusammenhängen denken zu können.
- *Geringer Alltagsbezug:* Im Hinblick auf die spezifischen Folgen für Entwicklungsländer kommt hinzu, dass Probleme von Menschen in weit entfernten Regionen oder fremde soziokulturelle Kontexte im Alltagsdenken und im Erfahrungshorizont der Schüler meist nur eine relativ geringe Rolle spielen. Oftmals fehlen den Schülern auch Grundkenntnisse über die gesellschaftlichen, kulturellen und politischen Gegebenheiten in anderen Regionen, ohne die sich viele Problemlagen nur unzureichend erfassen lassen.

### **Didaktische Leitlinien**

Nicht bei Klima- und Umweltveränderungen stehen bleiben, sondern relevante ökologische und soziökonomische Problemfelder exemplarisch auswählen und systematisch miteinander verknüpfen, z.B. anhand des Syndromansatzes.

Diese didaktische Leitlinie sollte gerade für den Geographieunterricht eigentlich eine Selbstverständlichkeit sein – schließlich werden damit unmittelbar die Leitziele des Geographieunterrichts angesprochen, nämlich „die Einsicht in die Zusammenhänge zwischen natürlichen Gegebenheiten und gesellschaftlichen Aktivitäten und eine darauf aufbauende raumbezogene Handlungskompetenz“ (DGfG 2007, S. 5). Gleichwohl ist die Umsetzung hier nicht ganz einfach.

Wer die potenziellen Folgen des globalen Klimawandels im Unterricht besprechen möchte, steht zunächst vor dem Problem, aus einer großen Zahl sehr unterschiedlicher Klimafolgen auf verschiedenen Maßstabsebenen und in sehr verschiedenen Weltregionen auswählen zu müssen.

Bei diesem Problem der Exemplarik (vgl. Köck 2008) kann man sich in Anlehnung an eine Gliederung des IPCC (2007b) zunächst an den folgenden sechs Sektoren bzw. Problemfeldern orientieren, in denen sich die wichtigsten Folgen des globalen Klimawandels bündeln lassen:

- Süßwasserressourcen und Wasserverfügbarkeit
- Ökosysteme
- Nahrungsmittel und Forstwirtschaft
- Küstensysteme und tief liegende Gebiete
- Industrie, Siedlungen und Gesellschaft
- Gesundheit

Für diese Problemfelder werden jeweils unterschiedliche Auswirkungen des globalen Klimawandels prognostiziert, die bereits in Kapitel 1.3.2.3 zusammengefasst wurden. Bei einer Orientierung der Unterrichtsinhalte an diesen Problemfeldern ist neben einer gewissen thematischen Breite auch sichergestellt, dass die Folgen aus der Perspektive der Klimafolgenforschung als relevant und dringlich angesehen werden. Die genannten Problemfelder sind nicht auf der Ebene der Klima- und Umweltveränderungen angesiedelt, sondern auf der Ebene der Auswirkungen auf Mensch und Natur. Fast alle bewegen sich deshalb unmittelbar an der Schnittstelle zwischen ökologischen mit sozio-ökonomischen Problemfaktoren, beim Thema Ökosysteme gibt es zumindest mittelbar Zusammenhänge.

Wie aber die einzelnen Problemzusammenhänge an der Schnittstelle Natur und Gesellschaft im Unterricht behandelt werden können, ist keine triviale Frage, wie u.a. Rhode-Jüchtern (2009, S. 116ff.) unter Rückgriff auf die aktuelle fachwissenschaftliche Debatte um eine Neubestimmung des Verhältnisses von Natur und Kultur in der neuen Kulturgeographie deutlich macht. Eine Möglichkeit, die auch Rhode-Jüchtern befürwortet, besteht in der didaktischen Umsetzung des Syndromansatzes (Harenberg 2000, Schindler 2005, Cassel-Gintz 2008, Rhode-Jüchtern et al. 2008). Dieser bietet zunächst allgemein formulierte „Symptome des globalen Wandels“, die sich neun verschiedenen Sphären zuordnen lassen, z.B. Biosphäre, Atmosphäre, Wirtschaft, Gesellschaft, Bevölkerung. In einem zweiten Schritt lassen sich diese Symptome zu typischen Grundmustern der Mensch-Umwelt-Probleme bündeln, die als Syndrome des globalen Wandels bezeichnet werden, im Sinne von globalen Krankheitsbildern oder globalen Schädigungsmustern. Mit diesen Syndromen können interdisziplinär vernetzte Kausalzusammenhänge zwischen verschiedenen, mit dem globalen Klimawandel gekoppelten Umweltveränderungen in einer systemischen Darstellungsform aufgezeigt werden (vgl. Kapitel 1.2.1, Tabelle 2).

Im Unterricht könnten sich die Schüler die einzelnen Symptome eines Fallbeispiels zunächst getrennt nach den verschiedenen Sphären erarbeiten, um sie dann in einem zweiten Schritt in Form von Wirkungsgefügen qualitativ miteinander zu vernetzen. Damit lassen sich interdisziplinäre Verflechtungen zwischen den einzelnen Sphären selbst erarbeiten und so als Wirkungsgefüge visualisieren, dass zumindest ihr systemisch-interdisziplinärer Grundcharakter als Denkfigur verankert werden kann. Auf kritische Aspekte, die beim didaktischen Einsatz des Syndromansatzes beachtet werden sollten, wurde bereits in Kapitel 1.2.1 hingewiesen.

#### Denken in gesellschaftlichen und makroökonomischen Zusammenhängen fördern.

Letztlich ist hier natürlich ein unterrichtliches Themenfeld angesprochen, das über einen Unterricht zum globalen Klimawandel weit hinausreicht. Ein Unterricht über die Folgen des globalen Klimawandels könnte sich gleichwohl darum bemühen, über geeignete Fallbeispiele an alltagsrelevante und z.T. bereits vorhandene Grundvorstellungen anzuknüpfen. Beispiele sind Auswirkungen auf Wirtschaftssektoren, die besonders verwundbar sind (z.B. Tourismus, Land- und Forstwirtschaft, Energiewirtschaft etc.) oder volkswirtschaftliche Kosten für Schutzmaßnahmen und Schadensbewältigung bei Extremwetterereignissen. Dabei lassen sich auch Vergleiche zwischen Deutschland und ausgewählten Entwicklungsländern ziehen, um das Problem der geringen Anpassungsfähigkeit in armen Weltregionen zu verdeutlichen.

Bei der Thematisierung von „Betroffenen“ den Verwundbarkeitsansatz heranziehen und die Menschen dabei als aktiv handelnde Personen darstellen.

Neben einer Erhöhung des Abstraktionsniveaus, um makroökonomische Zusammenhänge zu verdeutlichen, ist natürlich auch eine Konkretisierung potenzieller Klimafolgen wichtig, z.B. über Fallbeispiele, bei denen bestimmte Betroffenengruppen im Zentrum stehen. Dies erfordert jedoch besondere Sorgfalt. In der oben erwähnten Studie zu den Bedrohungs- und Verwundbarkeitsvorstellungen der Schüler konnte gezeigt werden, dass viele Schüler die Problematik des globalen Klimawandels zu wenig aus der Perspektive der Betroffenen als aktiv handelnde Menschen wahrnehmen (Schuler 2009). Im Mittelpunkt der Schülervorstellungen stehen die Naturgefahren, denen die Betroffenen je nach ihrem Entwicklungsstand mehr oder weniger schutzlos ausgeliefert sind. Wenig bedacht werden die oftmals sehr unterschiedlichen Möglichkeiten, die potenziell Betroffene in verschiedenen Weltregionen haben, um sich an Klimarisiken anzupassen bzw. deren Folgen zu bewältigen. Es ist deshalb besonders wichtig, den Unterricht im Sinne des Verwundbarkeitsansatzes zu planen (vgl. Bohle & Glade 2008, Otto 2009, Hemmer, Rahner & Schuler 2011). Im Kern geht es dabei um einen Perspektivenwechsel, bei dem der Bedrohungs- bzw. „Naturkatastrophen“-Perspektive eine explizite Akteursperspektive gegenübergestellt wird, die die sozioökonomischen und politischen Handlungsmöglichkeiten und Handlungszwänge der Betroffenen mit einbezieht.

Alltagsbezüge verschiedener Problemfelder aufzeigen und gezielt ethische Fragen (z.B. Nachhaltigkeits- und Gerechtigkeitsprobleme) in den Unterricht integrieren, z.B. im Rahmen eines problemorientierten Unterrichts.

Eine tiefere Verankerung der sozioökonomischen Folgen in den Alltagstheorien lässt sich auch dadurch erreichen, dass die zunächst fachlich differenziert erarbeiteten Folgen und Auswirkungen als Ausgangspunkt genommen werden, um anschließend einen Konflikt oder eine ethisch bzw. politisch kontroverse Frage zu thematisieren. Beispiele dafür sind drohende politische Konflikte um knappe Wasserressourcen oder umweltbedingte Migration in verschiedenen Brennpunktregionen, wie sie vom WBGU (2008) benannt wurden (vgl. Kapitel 1.3.2.3, Abbildung 13). Ein ethischer Konflikt ergibt sich, wenn man herausarbeitet, dass gerade Menschen in manchen stark vom globalen Klimawandel betroffenen Brennpunktregionen wie der Sahelzone oder dem südlichen Afrika nur einen geringen Anteil an den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffektes haben, während zugleich die Hauptverursacher in den Industriestaaten Westeuropas und Nordamerikas hinsichtlich der potenziellen Folgen vergleichsweise wenig verwundbar sind.

Geeignete Methoden für die unterrichtliche Umsetzung solcher Themen sind Gruppenpuzzle, Planungs- und Entscheidungsaufgaben, Pro- und Contra-Diskussionen, Rollen- oder Planspiele etc. Aus Sicht der Bildung für nachhaltige Entwicklung lassen sich damit in idealer Weise typische Nachhaltigkeits- und Gerechtigkeitsprobleme rund um den globalen Klimawandel aufgreifen. Aus Sicht der Conceptual-Change-Forschung entsteht dadurch bei einer entsprechenden Unterrichtsplanung eine klassische Situation der Wissensanwendung. So könnte in einem problemorientierten Unterricht ein solcher Konflikt auch als Ausgangspunkt genommen werden, bei dem sich die Schüler zunächst ihre vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen über die möglichen Folgen des Klimawandels bewusst machen. Aus den damit in der Regel verbundenen Unsicherheiten und Widersprüchen erwächst die Motivation, sich im nächsten Schritt gezielt mit den naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Klimafolgen zu beschäftigen, die für das Fallbeispiel relevant sind, und dabei die eigenen Alltagsvorstellungen entsprechend zu verändern. Das so erworbene Wissen kommt schließlich bei der Konfliktbearbeitung zur Anwendung.

Besonders effektiv ist ein solches Vorgehen, wenn dabei für den Einzelnen Alltagsbezüge deutlich werden, z.B. wenn erkennbar wird, dass man mit diesem Wissen Medienberichte besser verstehen und beurteilen kann, persönlich relevante Folgen besser abschätzen kann oder sich fundiert an gesellschaftlichen Debatten beteiligen kann.

## 5.6 Didaktische Konsequenzen aus Sicht von Conceptual-Change-Forschung und BNE

In den vorangegangenen Kapiteln wurden jeweils im Anschluss an die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse didaktische Leitlinien formuliert, die sich entlang der verschiedenen Basismodelle und der Abweichungen der Alltagstheorien von der wissenschaftlichen Sichtweise mit Fragen der didaktischen Strukturierung von Unterricht zum Thema anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel auseinandergesetzt haben.

Hier soll nun der Blick in zweifacher Hinsicht erweitert werden: Zunächst werden aus der Perspektive der Conceptual-Change-Forschung didaktische Konsequenzen abgeleitet, die über die einzelnen Teiltheorien zu den atmosphärischen Prozessen, den Ursachen und den Folgen hinausgehen und die Alltagstheorien als Ganzes betreffen. Danach werden in einem zweiten Schritt didaktische Schlussfolgerungen gezogen, die im Hinblick auf die Ziele der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) relevant sind.

### 5.6.1 Übergreifende didaktische Leitlinien aus Sicht der Conceptual-Change-Forschung

Wie müssen Lernwege geplant werden, damit Schüler ausgehend von ihren Alltagsvorstellungen hin zu differenzierten, wissenschaftlichen Vorstellungen gelangen können? Welche Bedingungen und Maßnahmen fördern einen solchen Vorstellungswandel (Conceptual Change)? Diesen Fragen widmet sich die Conceptual-Change-Forschung. Einen umfassenderen Überblick über die verschiedenen Ansätze der Conceptual-Change-Forschung bieten u.a. Häußler 1998, Stark 2002, Stark 2003, Duit & Treagust 2003, Schnotz 2006 oder Reinfried 2007a. Im Folgenden sollen sowohl grundlegende Aspekte aus diesen Ansätzen als auch darüber hinausgehende didaktische Konsequenzen auf die Ergebnisse dieser Untersuchung bezogen und zu didaktischen Leitlinien verdichtet werden.

Vorab lassen sich einige Grundregeln nennen, die ganz allgemein für den Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht gelten (Häußler et al. 1998, S. 199ff.):

- Die Perspektiven der Schüler ernst nehmen.
- Die vorunterrichtlichen Vorstellungen berücksichtigen.
- Eine aktive Auseinandersetzung mit einem Problem oder Thema anregen.
- Eine Reflexion über das eigene Wissen und den eigenen Lernprozess anregen.

Diese Grundregeln sollen im Folgenden durch didaktische Leitlinien konkretisiert werden, die im Hinblick auf das Thema dieser Untersuchung bedeutsam sind.

#### Bei der Unterrichtsgestaltung verschiedene Bedingungen für erfolgreiche Konzeptwechsel und Vorstellungsänderungen beachten.

In der Conceptual-Change-Forschung wurden verschiedene Bedingungen formuliert, die erfüllt sein sollten, damit Lernen im Sinne einer erfolgreichen Vorstellungsänderung gelingen kann. Dabei lassen sich zwei Sichtweisen unterscheiden: eine kognitive und eine situierte bzw. kontextorientierte Position (vgl. Stark 2002, 2003).

Für die *kognitive Sichtweise* steht die oft als „klassisch“ bezeichnete Conceptual-Change-Theorie von Posner, Strike & Hewson (1982). Demnach sollten im Unterricht und bei den Lernenden vier Bedingungen erfüllt sein, damit ein Vorstellungswandel stattfinden kann.:

1. Die Lernenden müssen mit ihren bereits existierenden Vorstellungen *unzufrieden* sein.  
Eine Möglichkeit, um dies zu erreichen, besteht darin, einen kognitiven Konflikt zwischen Alltagsvorstellungen und bestimmten wissenschaftlichen Vorstellungen zu erzeugen.
2. Die neuen Vorstellungen müssen *logisch verständlich* sein.

Diese Forderung bezieht sich auf die Sachstruktur des Unterrichts und auf die didaktische Qualität der Lernumgebung, mit der diese Vorstellungen erarbeitet werden. Um die Verständlichkeit abstrakter Sachverhalte zu gewährleisten, sollten z.B. geeignete Modelle, Grafiken oder Analogien und Metaphern zum Einsatz kommen, die gut auf bereits vorhandene Wissensstrukturen und Alltagsvorstellungen abgestimmt sind.

3. Die neuen Vorstellungen müssen *plausibel* sein.

Damit ist gemeint, dass die Vorstellungen für den Einzelnen einleuchtend und nachvollziehbar sind – weniger aufgrund ihrer inneren Logik, sondern vielmehr im Hinblick auf den jeweiligen Erfahrungshorizont. Plausibel sind neue Vorstellungen demnach, wenn sie mit den eigenen Beobachtungen, Erfahrungen, Überzeugungen und der individuellen Weltansicht übereinstimmen.

4. Die neuen Vorstellungen müssen *fruchtbar* sein.

Dies bezieht sich v.a. auf ihre Anwendbarkeit im Alltag oder in geeigneten Transferaufgaben: Neue Vorstellungen müssen sich in neuen Situationen als brauchbar und erfolgreich erweisen.

Bei der konkreten Planung von Unterricht ergibt sich das praktische Problem, dass diese vier Bedingungen eigentlich erst greifen können, wenn die neuen, wissenschaftlichen Vorstellungen bereits ziemlich gut verstanden worden sind, d.h., wenn der Vorstellungswandel schon fast vollzogen worden ist. Damit wird nochmals deutlich, dass Lernerfolge meist nur auf einem zyklischen bzw. spiralförmigen Weg möglich sind, der von einem ersten, vorläufigen Verständnis Schritt für Schritt zu tieferen Einsichten führt (Häußler et al. 1998, S. 194). Auf diesem Weg können die genannten Bedingungen einen Rahmen bieten, an dem sich die einzelnen Unterrichtssequenzen jeweils orientieren können.

In der *situierten Sichtweise* wird diese Position um soziale, motivationale und emotionale Aspekte des Lernens erweitert. Ihre Vertreter kritisieren die klassischen Conceptual-Change-Theorien als „kalt“ und kognitivistisch (Pintrich, Marx & Boyle 1993, vgl. auch Caravita & Halldén 1994). Sie fordern, dass die sozialen und inhaltlichen Kontexte der jeweiligen Lehr-Lern-Situation sowie der Prozess der Enkulturation, d.h. des Hineinwachsens in die wissenschaftliche Denkkultur, stärker berücksichtigt werden müssen. Konkret sollten die nachfolgenden situativen Rahmenbedingungen bei der Gestaltung von Lernumgebungen beachtet werden (vgl. Häußler et al. 1998):

- Nicht nur kognitive, auch *motivationale und emotionale Faktoren* des Lernens müssen berücksichtigt werden. Dazu zählen z.B. die Orientierung an Schülerinteressen, Alltagsbezügen oder aktuellen Ereignissen, das Bemühen um eine motivierende, problemorientierte Unterrichtsstruktur, die Gestaltung ansprechender Lernmaterialien und alle Faktoren, die ein positives Lernklima in der Klasse fördern. Im Kontext des globalen Klimawandels ist zu bedenken, dass die Thematik zwar generell auf ein recht hohes Interesse bei den Schülern stößt (Hemmer et al. 2005), dass aber auch leicht eine Abwehrhaltung entstehen kann, wenn der Unterricht von Katastrophenszenarien, Dramatisierungen oder moralischen Appellen geprägt ist.<sup>101</sup> Hilfreich ist dabei eine Orientierung an Prinzipien der Bildung für nachhaltige Entwicklung (s.u.).
- Auch der *soziale Kontext des Lernens* muss angemessen berücksichtigt werden. Lernen findet nicht nur rein kognitiv im Kopf des einzelnen Lernenden statt, Lernen ist immer auch in einen sozialen Kontext eingebettet, der den Lernerfolg entscheidend prägen kann. Dazu gehören die sozialen Interaktionen mit Mitschülern und Lehrer in der jeweiligen Lernsituation, die schon bei der Unterrichtsplanung über die gewählten Sozialformen gesteuert werden können. Neben der unmittelbaren Lernsituation im Unterricht gehören zum sozialen Kontext aber auch die Einflüsse von Sprache, Medien oder Elternhaus, die als Rahmenbedingungen

<sup>101</sup> Ein Beispiel dafür zeigt sich in dem in Kapitel 4.5.3 dokumentierten Interviewauszug zum Unterthema „Ambivalenz und Skepsis“ (TR1/79-90). Darin begründet ein Schüler seine Ablehnung bzw. Skepsis gegenüber der im Unterricht vermittelten Treibhauseffekttheorie mit dem als dogmatisch und moralisierend empfundenen Unterrichtsstil seines Lehrers.

beachtet werden sollten. Dies ist gerade bei einem in der Medienöffentlichkeit breit und z.T. kontrovers diskutierten Thema wie dem globalen Klimawandel besonders bedeutsam (vgl. Kapitel 1.2.3).

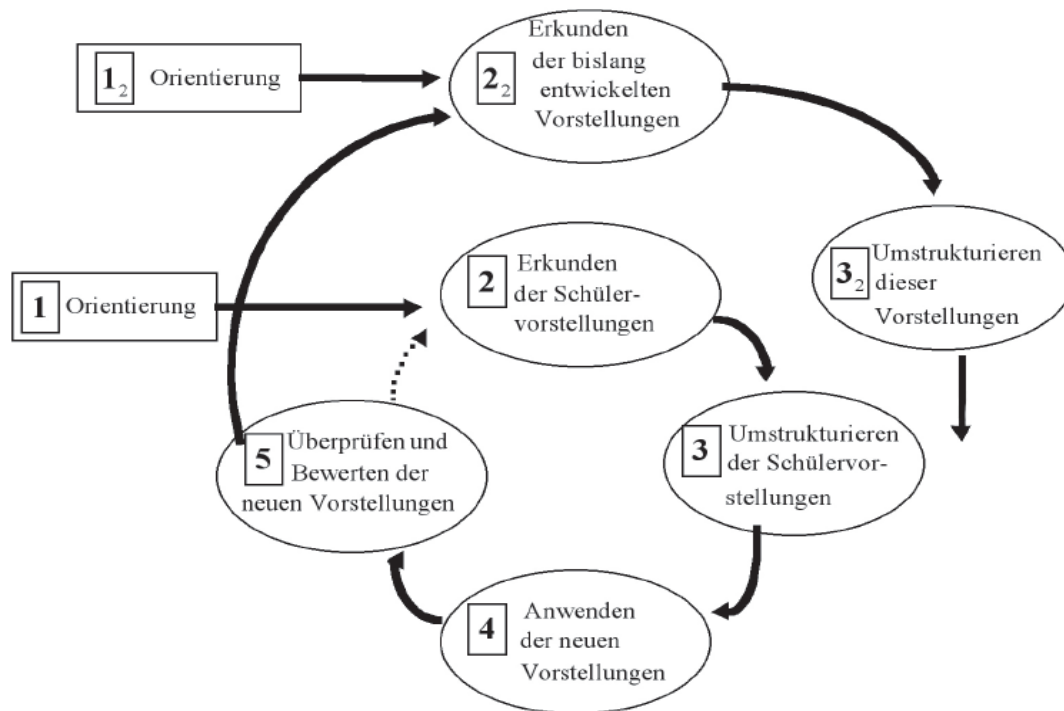
- Es müssen *authentische Lernsituationen* geschaffen werden, die ein Hineinwachsen in den jeweiligen wissenschaftlichen Kontext ermöglichen. Damit werden vor allem Aufgabenstellungen angesprochen, mit denen die Schüler neu erarbeitetes wissenschaftliches Wissen in authentischen Problemsituationen anwenden können. Zum einen sollen die Schüler dabei lernen, zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Kontexten zu unterscheiden und die entsprechenden Begrifflichkeiten in jedem Kontext angemessen anzuwenden. Beispiele sind die Kontexte „Luftverschmutzung“, „Treibhauseffekt“, „Ökosystem Wald“ und die jeweils unterschiedliche Bedeutung von Begriffen wie „Abgasemissionen“, „Sonnenstrahlung“ oder „CO<sub>2</sub>“. Zum anderen soll durch die Anwendung des Wissens in authentischen Situationen verhindert werden, dass träges Wissen entsteht, das nur im Schulkontext Verwendung findet, während in alltagsnahen Anwendungssituationen weiterhin die vertrauten Alltagstheorien zum Einsatz kommen. Beim Thema globaler Klimawandel bieten sich hier Aufgaben an, in denen die Schüler aus der Ursachentheorie klimaschützende Handlungsalternativen ableiten bzw. beurteilen müssen. Denkbar sind auch Aufgaben, in denen die Schüler wissenschaftliche Informationen über potenzielle Klimafolgen einsetzen, um damit Medienmeldungen über die Rolle des Klimawandels bei aktuellen Naturkatastrophen kritisch zu bewerten und z.B. einen Leserbrief zu schreiben. In beiden Fällen wird dabei in authentischen Alltagssituationen gelernt, die den Schülern auch nach dem Unterricht begegnen können.

#### Bei der Strukturierung von Unterricht die zentralen Merkmale des konstruktivistischen Lernens sowie das Phasenmodell für konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen beachten.

Die zentralen Merkmale konstruktivistischen Lernens, an denen sich auch die meisten Conceptual-Change-Ansätze orientieren, wurden bereits in Kapitel 1.1.2.1 vorgestellt. Widodo & Duit (2005) haben in einer Literaturanalyse verschiedene Vorschläge für konstruktivistische, an Conceptual-Change-Theorien orientierte Unterrichtsstrategien analysiert. Die Gemeinsamkeiten dieser Strategien haben sie zu einem allgemeinen Phasenmodell für konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen verdichtet (Abbildung 63). Typischerweise lassen sich dabei fünf verschiedene Unterrichtsphasen unterscheiden (Widodo & Duit 2005, S. 134ff.):

1. *Orientierung*. In dieser ersten Phase werden die Lernenden mit dem Unterrichtsgegenstand vertraut gemacht, z.B. im Rahmen eines Unterrichtseinstiegs. Nach Möglichkeit können die Schüler hier eigene Erfahrungen mit dem jeweiligen Phänomen machen oder eigene Alltagserfahrungen einbringen.
2. *Erkunden der Schülervorstellungen*. Es folgt eine Phase, in der sich die Schüler die eigenen Vorstellungen bewusst machen und diese evtl. auch miteinander diskutieren. Dadurch werden sie auf unterschiedliche Sichtweisen und Vorstellungen aufmerksam. Häufig erwächst daraus ein Spannungsbogen für den weiteren Unterrichtsverlauf, weil die Schüler wissen möchten, welche ihrer eigenen Vorstellungen fachlich korrekt sind und welche nicht. Folgende Unterrichtsaktivitäten stehen exemplarisch für die vielen unterrichtlichen Möglichkeiten in dieser Phase:
  - In einem als Brainstorming organisierten Lehrer-Schüler-Gespräch erläutern die Schüler ihre Vorstellungen zum Unterrichtsthema.
  - Schüler fertigen eine Zeichnung, Concept Map oder Kurzbeschreibung zu ihren Vorstellungen an, sie vergleichen ihre Vorstellungen in Kleingruppen, systematisieren diese zu unterschiedlichen Modellen und präsentieren diese im Plenum.
  - In einem kurzen Fragebogen, der gängige Schülervorstellungen enthält, kreuzen Schüler jeweils an, ob sie der Sichtweise zustimmen oder nicht; ggf. korrigieren sie eine Aussage, die sie für falsch halten.
  - Schüler interpretieren ein Phänomen, ein Bild, einen Versuch bzw. ein Experiment.

Beim Thema globaler Klimawandel eignen sich Zeichnungen sehr gut zur Erkundung der mentalen Modelle bei der Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes (atmosphärische Prozesse), während sich Concept Maps sehr gut zur Erkundung der Ursachen- und Folgentheorien eignen (s.u.).



**Abbildung 63: Allgemeines Modell zum Verlauf konstruktivistischer Lehr-Lern-Sequenzen.** Quelle: Widodo & Duit 2005, S. 135.

3. *Umstrukturieren der Schülervorstellungen.* Im nächsten Schritt werden die Schüler nun mit der wissenschaftlichen Sichtweise konfrontiert. Damit es zu einem Umstrukturieren der Schülervorstellungen kommen kann, ist es sinnvoll, dass die Schüler die neuen wissenschaftlichen Vorstellungen mit ihren eigenen Vorstellungen vergleichen und sich dabei die vorhandenen Abweichungen, Widersprüche und Gemeinsamkeiten bewusst machen können. Als Vorbedingung für einen Vorstellungswechsel gilt, dass die Schüler mit ihren Vorstellungen nicht mehr gänzlich zufrieden sein sollten, wenn diese von den fachlichen Vorstellungen abweichen. Konkret ergeben sich z.B. folgende Unterrichtsmöglichkeiten:

- In einem gelenkten Lehrer-Schüler-Gespräch erarbeiten Schüler wissenschaftlich korrekte Alternativen zu ihren eigenen Vorstellungen.
- Mit geeigneten Arbeitsmaterialien erarbeiten sich die Schüler die wissenschaftlichen Vorstellungen und vergleichen diese mit ihren eigenen Vorstellungen.
- Die Schüler untersuchen ausgewählte Phänomene bzw. führen Experimente durch und prüfen, ob ihre Vorstellungen mit den Beobachtungen vereinbar sind.
- Die Schüler werden aufgefordert, ihre Vorstellungen auf der Basis neuer Informationen neu zu formulieren.
- Der Lehrer konfrontiert Schüler gezielt mit Widersprüchen und versucht, kognitive Konflikte zu erzeugen.
- Den Schülern werden geeignete Analogien angeboten.

4. *Anwenden der neuen Vorstellungen.* Die neu erworbenen Vorstellungen sollten in Anwendungsaufgaben weiterentwickelt und gefestigt werden. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, einige Beispiele sind:
  - typische Übungs- und Transferaufgaben,
  - Aufgaben, die authentische Alltagssituationen aufgreifen und dabei ähnliche Anforderungen stellen, wie sie auch im Alltagsleben der Schüler auftreten könnten,
  - die Schüler beobachten neue Phänomene bzw. Versuche und sollen ihre Beobachtungen erklären,
  - die Schüler variieren ein Experiment oder planen neue Experimente und stellen dazu Hypothesen auf.
5. *Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellungen.* Diese Phase dient einer Reflexion des Lernweges bzw. der Lernergebnisse und spricht damit die Metaebene des Lernens an. Konkret könnte der Lehrer in einem zusammenfassenden Rückblick an die Ausgangsvorstellungen der Schüler erinnern und diese nochmals mit den wissenschaftlichen Vorstellungen kontrastieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Schüler die „Fruchtbarkeit“ ihrer neuen Vorstellungen bei der Erklärung bestimmter Phänomene bewerten und mit der „Fruchtbarkeit“ ihrer Alltagsvorstellungen vergleichen.

Widodo & Duit (2005) betonen abschließend noch zwei wichtige Aspekte in ihrem Verlaufsmodell. Zum einen sollte das Schema nicht zu starr interpretiert werden. Es zeigt lediglich eine Grobstruktur auf, in der Mikrostruktur des Unterrichts können z.B. in Phase 2 durchaus auch Aspekte aus anderen Phasen zur Sprache kommen. Zum anderen wird bereits in Abbildung 63 graphisch verdeutlicht, dass man gerade beim Erlernen von abstrakten naturwissenschaftlichen Konzepten und Zusammenhängen in der Regel von einem spiralförmigen Lernprozess ausgehen sollte. Nach einer ersten Unterrichtssequenz werden die neuen Vorstellungen in vielen Fällen noch mehr oder weniger deutlich von den eigentlich erwünschten wissenschaftlichen Vorstellungen abweichen. Differenzierte wissenschaftsnahе Vorstellungen lassen sich oftmals nur über ein mehrschrittiges Vorgehen erreichen, im Kleinen durch eine weitere, an den Lernstand angepasste Anwendungsaufgabe, im Großen durch ein wiederholtes Aufgreifen des Themas in verschiedenen Schuljahren im Sinne eines Spiralcurriculums oder durch ein selbstständiges, außerschulisches Weiterlernen der Schüler z.B. mit Hilfe von wissenschaftlich fundierten Medienberichten.

Zur Erarbeitung der atmosphärischen Prozesse bei der Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes wurde von Reinfried, Schuler, Aeschbacher & Huber (2008) eine Lernumgebung konzipiert, die alle fünf Phasen umfasst. Zentrale Elemente sind Arbeitsblätter, die nach instruktionspsychologischen Kriterien gestaltet wurden, sowie ein darauf abgestimmter Modellversuch. Diese Lernumgebung wird aktuell in einer Wirkungsstudie empirisch evaluiert (knapp 300 Schüler der 8. Klasse, zwei Experimental- und eine Kontrollgruppe). Erste Ergebnisse zeigen, dass mit diesem Unterrichtskonzept die Bildung eines wissenschaftlich korrekteren, relativ beständigen mentalen Modells über den Treibhauseffekt unterstützt wird. Zudem ist der Wissenszuwachs in der Lerngruppe, die mit dieser Lernumgebung gearbeitet hat, größer und beständiger als bei der Vergleichsgruppe, die mit klassischen Lehrmaterialien unterrichtet wurde (Reinfried et al. 2010). In einer zweiten Studie hat Hiller (2010) Vermittlungsexperimente mit dieser Lernumgebung durchgeführt. Dabei wurden 12 Schüler in 4 Kleingruppen bei der Arbeit mit den Lernmaterialien videographiert, um anschließend ihre Lernprozesse analysieren zu können. Auch bei dieser Studie konnte die Bedeutung der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie für einen erfolgreichen Vorstellungswandel gezeigt werden. Bei einigen Schülern wurde aber auch deutlich, wie stabil und hartnäckig das Ozonloch-Modell im Verlauf des Lernprozesses sein kann und wie schwierig es in solchen Fällen ist, auch mit gut abgestimmten Unterrichtsmaterialien einen nachhaltigen Vorstellungswandel zu initiieren.

### Die inhaltliche Strukturierung des Unterrichtsgegenstandes an zentralen Konzepten aus den wissenschaftsnahen Basismodellen orientieren.

Basismodelle haben in dieser Untersuchung den Charakter von zentralen Denkfiguren, mentalen Modellen und Ankerkonzepten innerhalb der Alltagstheorien, an denen sich die Schüler orientieren, wenn sie sich einzelne Zusammenhänge vergegenwärtigen und bestimmte Schlussfolgerungen ziehen. Im Zuge der didaktischen Rekonstruktion des Unterrichtsgegenstandes macht es Sinn, innerhalb der wissenschaftlichen Theorien und Vorstellungen nach geeigneten Denkfiguren und Ankerkonzepten zu suchen, d.h. nach wissenschaftsnahen Basismodellen, die im Unterricht gezielt vermittelt werden können. Bei diesem Suchprozess werden die Basismodelle der Schüler und die fachlich geklärten wissenschaftlichen Vorstellungen wechselseitig aufeinander bezogen – ganz so, wie es im Modell der didaktischen Rekonstruktion vorgeschlagen wird (Kattmann et al. 1997).

In dieser Untersuchung wurden solche wissenschaftsnahen Basismodelle und Ankerkonzepte bereits an verschiedenen Stellen formuliert, so dass hier eine einfache Aufzählung genügt:

Bei den atmosphärischen Prozessen:

- das differenzierte Glashaus-Modell (Kapitel 4.4.1.1);

bei den Ursachen:

- das CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell (Kapitel 4.5.2.1),
- das Kohlenstoff-Speicher-Modell (Kapitel 4.5.2.5),
- ggf. auch das Modell „Zersetzung unter Luftabschluss“ in Bezug auf Methan-Quellen (Kapitel 5.4.1);

bei den Folgen:

- das Klimazonen-Modell (Kapitel 4.6.2.4),
- Aspekte des System-Modells (Kapitel 4.6.2.3), z.B. die Verstärkung des Wasserkreislaufs durch erhöhte Verdunstung oder ausgewählte Rückkopplungen und Kipp-Punkte im Klimasystem.

Im Unterricht sollte versucht werden, bei den Schülern wissenschaftsnahen Basismodelle als Kern ihrer subjektiven Theorien zu verankern, aus denen sie leicht selbst viele Zusammenhänge und Schlussfolgerungen ableiten können. Der Unterricht sollte dabei das Ziel haben, einen Vorstellungswandel zu organisieren, bei dem die Schüler von z.T. wissenschaftsfernen zu wissenschaftskonformen Basismodellen überwechseln können. Dazu sollte der Unterricht bewusst um solche zentralen Ankerkonzepte, mentalen Modelle und Denkfiguren herum aufgebaut werden. Wichtig ist, dass diese nicht nur erarbeitet, sondern auch später immer wieder aufgegriffen und angewendet werden, z.B. wenn Möglichkeiten des Klimaschutzes besprochen werden. Der Ausgangspunkt für die Planung von Unterricht ist daher nicht mehr die fachliche Sachstruktur, wie sie von der Wissenschaft und in Lehrbüchern vorgegeben ist, sondern eine didaktisch rekonstruierte Sachstruktur, bei der auch die erforschten Alltagstheorien und damit die Perspektive der Lernenden berücksichtigt wird. Im Begriffsverständnis von Bleichroth (1991) entspricht dieses Vorgehen der didaktischen Aufgabe der Elementarisierung (vgl. dazu auch Kattmann et al 1997, S. 9 sowie Klafki 1970).

### Concept Mapping als Lernstrategie einsetzen.

Concept Mapping, d.h. die graphische Darstellung von Wissensstrukturen in Form von Begriffsnetzen, wurde in dieser Untersuchung als Instrument der Wissensdiagnose bei der Erhebung und Auswertung der Alltagstheorien eingesetzt (vgl. Kapitel 3.2.3). Concept Mapping ist aber auch eine effektive Lehr- und Lernstrategie für komplex strukturierte Wissensgebiete. In der pädagogischen Psychologie wurden entsprechende Methoden bereits in den 1970er Jahren entwickelt (u.a. Novak & Gowin 1984, vgl. auch Novak 1998, Jüngst 1995). In der Geographiedidaktik wurden sie von Schramke (1999) und Reinfried (2006e) aufgegriffen, Unterrichts Anregungen finden sich auch bei Wollnik (2002) und Schubert (2006).

Die Form des Mappings gestattet es, Vorstellungen einfach und übersichtlich darzustellen, die im kognitiven System in wesentlich komplexerer Form als mentale Repräsentationen gespeichert sind.

Als Lernstrategie eignet sich Concept Mapping deshalb v.a. für die Verbesserung der Metakognition und den Erwerb von Zusammenhangswissen (Mandl & Fischer 2000b, S. 6, Reinfried 2006e). Der besondere Reiz der Methode liegt darin, dass die Schüler beim Concept Mapping komplexe Wissensstrukturen externalisieren, sich diese dabei selbst bewusst machen und anschließend auch gezielt verändern können.

In einer Unterrichtssequenz zum Thema „anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel“ können Concept Maps an verschiedenen Stellen gewinnbringend eingesetzt werden.

- Bereits beim Erkunden der Alltagsvorstellungen (Unterrichtsphase 2, s.o.) können die Schüler ihre eigene subjektive Ursachen- und/oder Folgentheorie als Mapping darstellen – ähnlich wie es auch im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführt wurde. Damit haben sie einen persönlichen Ausgangspunkt für die weiteren Lernschritte.
- Beim Umstrukturieren der Alltagsvorstellungen in Phase 3 können die Schüler ein vorgefertigtes Experten-Mapping der wissenschaftlichen Sichtweise durcharbeiten und gezielt mit ihrem eigenen Mapping vergleichen (vgl. Bernd et al. 2000). Alternativ dazu kann man die Schüler das wissenschaftliche Mapping natürlich auch selbst erstellen lassen, indem man ihnen dafür geeignete Lernmaterialien (Texte, Abbildungen etc.) zur Verfügung stellt. Hildebrandt (2007) hat die lernprozessfördernde Wirkung systemischer Mapping-Darstellungen am Beispiel des Kohlenstoffkreislaufs analysiert. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die aktive Konstruktion von Mappings vor allem bei Lernenden mit eher hohem Vorwissen zu einem verbesserten Verständnis geowissenschaftlicher Konzepte führt, während die Arbeit mit fertigen Systemdarstellungen bei Schülern mit eher geringem Vorwissen einen positiveren Lerneffekt aufweist.
- Am Ende des Unterrichts können die Schüler beim Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellungen (Phase 5) nochmals ein Mapping ohne Hilfsmittel zeichnen und dabei ihre Lernfortschritte bilanzieren, indem sie dieses Mapping mit ihrem vorunterrichtlichen Mapping und mit dem wissenschaftlichen Mapping vergleichen.

Die Erfahrungen aus den Interviews in dieser Untersuchung zeigen, dass auch Schüler mit weniger differenzierten Alltagstheorien beim Anfertigen solcher Mappings oft verblüfft sind, wie vielfältig und vernetzt ihr eigenen Vorstellungen zu diesem Thema sind und wie viele Wissensbereiche dabei letztlich miteinander verbunden werden.

An Grenzen stößt die Mapping-Methode bei Vorstellungen, die einen ganzheitlichen, oftmals auch visuell-bildhaften Charakter haben und im kognitiven System eher als mentale Modelle repräsentiert sind. Dies ist z.B. bei den atmosphärischen Prozessen des Treibhauseffektes der Fall und äußert sich dort in Basismodellen wie dem Ozonloch- oder dem Glashaus-Modell. In diesem Fall können die Alltagsvorstellungen sehr gut über Schülerzeichnungen erkundet werden. Auch bei den Lehrmaterialien kommen dann oftmals entsprechende Grafiken zum Einsatz. Ansonsten können prinzipiell die gleichen Unterrichtsschritte durchgeführt werden, die eben bei den Mappings beschrieben wurden.

#### Den Unterricht interdisziplinär anlegen und organisieren.

Das Thema globaler Klimawandel berührt viele verschiedene Wissensdomänen und Erfahrungsbereiche der Schüler. Entsprechend interpretieren sie alle neuen Informationen, die sie im Unterricht erfahren, vor dem Hintergrund ihrer Alltagsvorstellungen aus diesen Bereichen. Das Ergebnis sind Alltagstheorien, die viele hybride Konzepte und wissenschaftsferne Synthesemodelle enthalten können, wie die Ergebnisse dieser Untersuchung deutlich gemacht haben. Deshalb ist eine interdisziplinäre Denk- und Arbeitsweise bei der Unterrichtsvorbereitung hier unabdingbar. Konkret sind dabei folgende Aspekte bedeutsam:

- Oftmals entstehen wissenschaftsferne Alltagsvorstellungen dadurch, dass den Schülern die unterschiedliche Bedeutung bestimmter Begriffe und Konzepte in unterschiedlichen Kontexten nicht bewusst ist. Beim Erkunden der Alltagsvorstellungen kann es sinnvoll sein, die Schüler nach der Herkunft von Vorstellungen zu fragen, die evtl. in anderen Fächern oder vorangegangenen Unterricht vermittelt wurden. Dadurch kann mit den Schülern besser erar-

beitet werden, wo die Überschneidungen und Grenzen der jeweiligen Themen liegen. Entsprechende Beispiele wurden in Kapitel 5.4.2 beim Luftverschmutzungs- und beim Luftreinigungs-Photosynthese-Modell erläutert.

- Zum Thema Klimawandel bieten sich fächerübergreifende und fächerverbindende Unterrichtsstrategien an, bei denen Fächer wie Geographie, Physik, Chemie, Biologie, Politik, Wirtschaft und Ethik/Religion zusammenarbeiten können (vgl. entsprechende Anregungen in MKS 1994). Concept Maps können eine gute Methode sein, um Erkenntnisse, die in verschiedenen Fächern bzw. Lerngruppen erarbeitet wurden, zusammenzuführen.
- Bei der Zusammenarbeit mit anderen Fächern, aber auch bei einem interdisziplinär angelegten Unterricht in nur einem Fach sollte darauf geachtet werden, dass die jeweils neu erarbeiteten und noch nicht allzu gefestigten Konzepte und Zusammenhänge bei anschließenden Anwendungsaufgaben auch tatsächlich eingesetzt werden. Wenn z.B. sozioökonomische oder politische Aspekte unterrichtet werden, könnten die Schüler leicht in Versuchung kommen, ihre lange bewährten vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen zu den naturwissenschaftlichen Zusammenhängen zu reaktivieren. Um träges Wissen zu vermeiden, ist es hier ggf. nötig, dass sich die Kollegen der verschiedenen Fächer gegenseitig über die zentralen Fallstricke und fehlerhaften Basismodelle ihres Themenbereiches informieren (z.B. Ozonloch-Modell, Luftverschmutzungs-Modell, ökonomische Alltagsvorstellungen, stereotype Vorstellungen über betroffene Menschen in Afrika etc.).

### **5.6.2 Didaktische Konsequenzen aus Sicht der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)**

Das Themenfeld globaler Klimawandel ist aus fachwissenschaftlicher Perspektive so umfassend und komplex, dass für diese Untersuchung ebenso wie für den Unterricht eine Fokussierung von Inhalten und didaktischen Zielsetzungen nötig ist. In Kapitel 1.2 wurde ausgeführt, dass diese Arbeit sich dabei an der Bildung für nachhaltige Entwicklung orientiert. Abschließend soll deshalb noch zusammenfassend erörtert werden, welche didaktischen Konsequenzen sich aus den Ergebnissen dieser Untersuchung im Hinblick auf die Ziele der Bildung für nachhaltige Entwicklung ableiten lassen.

Nach dem Rahmenmodell von Rost, Lauströer & Raack (2003) geht es in der Bildung für nachhaltige Entwicklung um drei zentrale Kompetenzen in drei verschiedenen Dimensionen: Systemkompetenz in der Dimension Wissen, Bewertungskompetenz in der Dimension Werte und Gestaltungskompetenz in der Dimension Handeln. Alltagstheorien spielen bei der Förderung dieser Kompetenzen durch Unterricht jeweils eine unterschiedliche Rolle (vgl. Kapitel 1.2.2): Im Sinne eines subjektiven, interdisziplinären Wissens können Alltagstheorien als Bestandteil der individuellen Systemkompetenz aufgefasst werden. Sie sind damit für den Einzelnen eine wichtige Voraussetzung sowohl für die Ausbildung einer auf das Problem des globalen Klimawandels bezogenen Bewertungskompetenz als auch für eine darauf abgestimmte Handlungs- bzw. Gestaltungskompetenz. Insofern bieten das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung sowie das Ziel einer entsprechenden Förderung von Systemkompetenz, Bewertungskompetenz und Gestaltungskompetenz eine wichtige Orientierungshilfe für die unterrichtspraktische Frage, wie differenzierte Alltagstheorien als Ziel des Unterrichts beschaffen sein sollten, d.h. beispielsweise, welche Teilbereiche der Alltagstheorien besonders differenziert ausgeprägt sein sollten und bei welchen Teilbereichen und Basismodellen eine Vorstellungsänderung besonders wichtig ist.

Entlang der drei Kompetenzbereiche werden nun jeweils kurz die Anforderungen skizziert, die an einen Unterricht zum Thema globaler Klimawandel gestellt werden müssen, der sich am Kompetenzmodell der Bildung für nachhaltige Entwicklung orientiert. Der Fokus liegt dabei auf der Erarbeitung von entsprechenden Wissensstrukturen, d.h. auf der Veränderung und Erweiterung von All-

tagstheorien durch Unterricht. Davon ausgehend werden dann jeweils spezifische didaktische Konsequenzen benannt, die sich aus den Ergebnissen dieser Untersuchung ableiten lassen.

### **Alltagstheorien und die Förderung der Systemkompetenz**

Die Förderung der Systemkompetenz bezieht sich auf die Wissenskomponente der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Der systemorientierte Zugang soll gewährleisten, dass globale Entwicklungsprobleme wie der globale Klimawandel mit ihrem allgemein hohen Komplexitätsgrad angemessen erfasst und verstanden werden können. Ein konstitutiver Bestandteil der Systemkompetenz im Rahmenmodell von Rost, Lauströer & Raack (2003) sind interdisziplinäre, systemisch vernetzte Wissensstrukturen. Damit die Schüler solche Wissensstrukturen erwerben können, sollte der Unterricht an den Alltagstheorien der Schüler ansetzen, diese entsprechend weiterentwickeln und dabei auch allgemein auf eine Förderung des systemischen Denkens achten. Allerdings reicht der schulische Kontext nicht aus, um ein wirklich umfassendes Wissen über den globalen Klimawandel und all die anderen mit ihm gekoppelten globalen Probleme zu vermitteln. Zudem ist dieses Wissen ja nicht abgeschlossen; immer wieder kommen neue wissenschaftliche Erkenntnisse hinzu und es müssen neue gesellschaftliche, politische und auch technologische Entwicklungen aufgegriffen werden. Deshalb gehört zur Systemkompetenz in diesem Rahmenmodell auch die Kompetenz, sich selbstständig entsprechendes Wissen anzueignen, wie es beispielsweise für ein kritisches Verständnis von Medienberichten zum globalen Klimawandel oder für eine Beurteilung klimapolitischer Maßnahmen benötigt wird (vgl. Kapitel 1.2.2). Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Untersuchung werden bei der Förderung der Systemkompetenz vor allem folgende Punkte als relevant betrachtet:

1) Interdisziplinäres Wissen: Die Wissensstrukturen der Schüler sollten interdisziplinär ausgerichtet sein und Wissen aus verschiedenen Wissensbereichen miteinander vernetzen.

Bei den untersuchten Alltagstheorien konnten im Hinblick auf die Interdisziplinarität der Wissensstrukturen verschiedene Tendenzen festgestellt werden (vgl. Kapitel 5.5.2.5): Bereits ein oberflächlicher Blick auf die Einzel-Mappings der Schüler zeigt, dass die meisten ohne große Scheu in der Lage sind, Wissensbausteine aus verschiedenen Fächern und Wissensbereichen im Rahmen ihrer Alltagstheorie miteinander zu vernetzen. Noch deutlicher wird dies bei der Konstruktion von Synthesemodellen wie dem Ozonloch-Modell, dem Luftverschmutzungs-Modell oder dem Luftreinigungs-Photosynthese-Modell. Allerdings treten dabei auch leicht Abweichungen von der fachlich korrekten Sichtweise auf, weil die Schüler die Grenzen und Beschränkungen der einzelnen Kontexte nicht genau genug kennen und Schwierigkeiten haben, die jeweiligen Begriffe, Konzepte und Prozesse aus einem Kontext fachlich korrekt auf einen anderen Kontext zu übertragen. Details dazu sowie einige didaktische Leitlinien wurden in Kapitel 5.4.2.2 und Kapitel 5.6.1 erläutert.

Eine zweite, gegenläufige Tendenz zeigt sich jedoch, wenn man auf der Folgenseite der Alltagstheorien betrachtet, wie naturwissenschaftliche Konzepte mit sozioökonomischen Konzepten vernetzt werden. Hier zeigen sich z.T. deutliche Defizite und Theorielücken bei den sozioökonomischen Folgenkonzepten. Zugleich gibt es verschiedene Hinweise darauf, dass viele Schüler im Alltagsdenken eine relativ deutliche Trennung zwischen naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Themenfeldern oder speziell zwischen Umweltproblemen und Entwicklungsproblemen vornehmen. Genauer wurden diese Befunde in den Kapiteln 5.5.1 und 5.5.2.5 ausgeführt.

Im Kontext der Bildung für nachhaltige Entwicklung ergibt sich daraus die Forderung, im Unterricht ein besonderes Augenmerk auf eine differenzierte Erarbeitung gesellschaftlicher, ökonomischer und politischer Aspekte zu legen und diese in Fallbeispielen systematisch mit ausgewählten Folgen des globalen Klimawandels zu verknüpfen. Entsprechende didaktische Leitlinien wurden in anderen Kapiteln bereits formuliert, u.a. zum Einsatz des im BNE-Kontext schon erprobten Syndromansatzes (Kapitel 5.5.2.5) oder zur Methode des Concept Mappings (Kapitel 5.6.1).

2) Systemisches Denken: Die Schüler sollten zentrale Systemstrukturen und Systemdynamiken (bzw. Entwicklungsprozesse) erfassen und beschreiben können.

Es war kein Ziel dieser Untersuchung, eine systematische Analyse des systemischen Denkens der Schüler vorzunehmen. Dennoch konnten zumindest für das Themenfeld „globales Klimasystem“ zu den beiden Teildimensionen Erfassung von Systemstrukturen und Erfassung von Systemdynamiken einige Erkenntnisse gewonnen werden (vgl. das „System-Modell“ in Kapitel 4.6.2.3 und Kapitel 5.5.1). Systemstrukturen werden von den Schülern nur in relativ einfachen Formen beschrieben, die man eher einem vernetzenden, interdisziplinären Denken zuordnen kann, wie es eben erläutert wurde. Komplexere Systemstrukturen, z.B. Rückkopplungen oder Regelkreise, konnten in den Alltagstheorien nicht gefunden werden. Nur wenige Schüler gingen auch auf das dynamische Verhalten des Klimasystems ein, oft aber nur in eher ganzheitlichen und pauschalen Formulierungen wie „Störung eines Gleichgewichtes“.

In welche Richtung sollten ausgehend von diesen Befunden die Alltagstheorien bzw. die Systemkompetenz der Schüler weiterentwickelt werden? Im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung sollten die Schüler in der Lage sein, einige zentrale nicht nachhaltige Entwicklungsdynamiken im globalen Klimasystem zu verstehen und als globales Problem zu bewerten. Dazu sollten im Unterricht bei der Erarbeitung möglicher Klimafolgen auch einige Beispiele für nicht-lineare und potenziell gefährliche Systemdynamiken thematisiert werden, z.B. bestimmte Rückkopplungsprozesse und mögliche Kipp-Punkte im Klimasystem. Ausführlicher wurden diese und andere didaktische Leitlinien in Kapitel 5.5.2.3 vorgestellt. Darüber hinaus sollte die Analyse von Systemstrukturen und -dynamiken in einem umfassenderen Ansatz auch auf Wechselwirkungen mit sozioökonomischen Systemen ausgedehnt werden, was z.B. mit Hilfe des oben erwähnten Syndromansatzes möglich ist.

3) Fähigkeit zur selbstständigen Wissensaneignung: Die Wissensstrukturen der Schüler sollten anschlussfähig sein an neue Informationen, v.a. aus den Massenmedien.

Die 129 Schüler in der Vorstudie dieser Untersuchung schätzten die Bedeutung von Massenmedien wie Fernsehen und Radio als Informationsquelle für ihr Wissen zur Treibhauseffektproblematik gleich hoch ein wie die Bedeutung der Schule – auch nachdem das Thema bereits unterrichtet worden war (vgl. Kapitel 4.2.4.2). Innerhalb des Interviewsamples stuften die Schüler mit differenzierten Alltagstheorien die Bedeutung der Schule sogar noch etwas geringer ein und setzten Zeitungen und Zeitschriften an erste Stelle. Angesichts der vergleichsweise geringen Zeitdauer, die im Unterricht zur Erarbeitung des globalen Klimawandels zur Verfügung steht, macht dieser Befund deutlich, wie wichtig die Kompetenz zur selbstständigen Wissensaneignung und zur Weiterentwicklung der Alltagstheorien über Medieninformationen ist. In Kapitel 1.3.3.2 wurde allerdings auch aufgezeigt, dass die Medienberichterstattung von Mechanismen geprägt ist, die den Erwerb von systematischen, wissenschaftsnahen Wissensstrukturen behindern können. Dem Unterricht kommt deshalb die wichtige Aufgabe zu, einen systematischen Wissensaufbau zu organisieren, bei dem ausgehend von den individuellen Alltagstheorien zentrale Konzepte, Basismodellen und Zusammenhänge im Themenfeld globaler Klimawandel so erarbeitet werden, dass sie an gängige Medieninformationen anschlussfähig sind. Es bietet sich an, den Schülern Anwendungsaufgaben zu stellen, bei denen sie ihre zuvor erarbeiteten Wissensstrukturen einsetzen müssen, indem sie sich ggf. kritisch mit aktuellen Medienberichten auseinandersetzen.

### **Alltagstheorien und die Förderung von Bewertungskompetenz und Gestaltungskompetenz**

Differenzierte Alltagstheorien über den globalen Klimawandel sind in der Form von interdisziplinären, systemischen Wissensstrukturen ein Bestandteil der Systemkompetenz. Sie sind damit aber auch eine notwendige, wenn auch alleine noch nicht hinreichende Voraussetzung von Bewertungskompetenz und Gestaltungskompetenz.

Im Rahmenmodell von Rost, Lauströer & Raack (2003) umfasst Bewertungskompetenz zwei Aspekte: zum einen die Fähigkeit und Bereitschaft, zu erkennen, welche unterschiedlichen Werte in

den drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales bei Fragen nachhaltiger Entwicklung jeweils beteiligt sind. Zum anderen geht es auch um die Fähigkeit und Bereitschaft, bei Entscheidungen unterschiedliche Werte, die möglicherweise miteinander in Konflikt stehen, gegeneinander abzuwägen und beim Entscheidungsprozess zu berücksichtigen.<sup>102</sup>

Gestaltungskompetenz umfasst dabei verschiedene Handlungskompetenzen, die für die Planung und Gestaltung zukünftiger Entwicklungsprozesse benötigt werden. Im Einzelnen geht es um die Fähigkeit, mögliche zukünftige Entwicklungen voraussehen zu können, die Fähigkeit, sich Ziele zu setzen, sowie die Fähigkeit, Veränderungsprozesse zu planen, zu gestalten und entsprechende Entscheidungen zu treffen.

Es liegt auf der Hand, dass sowohl für die Bewertungs- als auch für die Gestaltungs- bzw. Handlungskompetenz gerade im Kontext des globalen Klimawandels ein fundiertes Wissen benötigt wird: zum Ersten Wissen über die verursachenden Aktivitäten und die einzelnen Verursacher des anthropogenen Treibhauseffektes, zum Zweiten Wissen über die potenziellen Folgen bestimmter Handlungen bzw. Entscheidungen für das globale Klima allgemein und damit auch für die Lebensmöglichkeiten von künftigen Generationen sowie von Menschen in anderen Weltregionen und zum Dritten Wissen über verschiedene Handlungsmöglichkeiten und Handlungsalternativen, die z.B. im Sinne des Klimaschutzes sinnvoll sind. Dazu gehört auch Wissen über mögliche Zielkonflikte in den Dimensionen Ökonomie und Soziales.

Für die unterrichtliche Erarbeitung von Wissen über den globalen Klimawandel folgt aus dem Ziel der Bewertungs- und Gestaltungskompetenz damit eine klare inhaltliche Fokussierung. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Untersuchung sollten dabei folgende Punkte beachtet werden:

- 1) Wissen über problematische Folgen: Die Wissensstrukturen der Schüler sollten differenzierte Vorstellungen über einige exemplarisch ausgewählte Folgen des globalen Klimawandels enthalten, die sowohl für Menschen und Natur in verschiedenen Weltregionen als auch mit Blick auf künftige Generationen problematisch sind.

Die erhobenen Alltagstheorien legen nahe, dass viele Schüler, vor allem solche mit insgesamt undifferenzierten Theorien, die Problematik des globalen Klimawandels nicht angemessen beurteilen können, weil sie nur unzureichende Vorstellungen über die potenziellen Folgen in verschiedenen Weltregionen haben. So fehlen in vielen Alltagstheorien gerade die Folgenkonzepte, die spezifisch für die Probleme von Menschen in Entwicklungsländern sind, wie z.B. Dürrefahren, Wassermangel, Ernteausfälle oder auch mittelbare sozioökonomische Folgen wie eine Zunahme von Migration, Armut oder regionalen Konflikten. Die Kenntnis entsprechender Zusammenhänge ist wichtig, damit die Schüler die Klimawandelproblematik auch im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsnorm der globalen (intragenerationalen) Gerechtigkeit bewerten können und z.B. an der moralischen Diskussion um eine Verursacherverantwortung der Industrieländer für Folgen in betroffenen Entwicklungsländern partizipieren können (vgl. Seitz 2008). Eine ausführlichere Analyse dieser Aspekte mit entsprechenden didaktischen Leitlinien wurde in Kapitel 5.5.2.5 vorgenommen.

Um die Bedrohungssituation von Menschen in einer Region beurteilen zu können, reicht allerdings Wissen über potenziell dort eintretende Klimaänderungen und Klimafolgen nicht aus. Ebenso wichtig sind Kenntnisse über die Verwundbarkeit der Menschen, die über die beiden Größen Empfindlichkeit und Anfälligkeit wesentlich von der sozioökonomischen Situation bestimmt wird. Dieser Aspekt wurde in einer eigenen Studie über die Vorstellungen der Schüler zur Bedrohung und Verwundbarkeit durch den globalen Klimawandel detailliert untersucht (Schuler 2009). Dabei konnte gezeigt werden, dass die unterschiedliche Verwundbarkeit von Menschen in Deutschland und Menschen in Afrika von den Schülern im Grundsatz durchaus wahrgenommen wird. Allerdings begründen sie dies in der Tendenz überwiegend mit naturräumlichen Gegebenheiten und zu wenig mit sozioökonomischen und politischen Faktoren.

---

<sup>102</sup> Für eine genauere Analyse bietet sich das noch wesentlich feiner strukturierte „Göttinger Modell der Bewertungskompetenz“ an, das ebenfalls im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung entwickelt wurde (Eggert & Bögeholz 2006, Bögeholz 2007).

Unterricht zu den Folgen des globalen Klimawandels sollte sich darum bemühen, diesen Gesamtzusammenhang in anschaulichen Fallbeispielen zu erarbeiten, bei denen auch die Akteursperspektive angemessen berücksichtigt wird.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass es bei den konkreten Folgen des globalen Klimawandels teilweise noch erhebliche wissenschaftliche Unsicherheiten gibt. Für den Unterricht ergibt sich daraus die wissenschaftspropädeutische Aufgabe, die methodisch bedingten Grenzen und Unsicherheiten in der Klimafolgenforschung deutlich zu machen. Des Weiteren liegt eine pädagogische Aufgabe darin, die Schüler im Umgang mit unsicherem Wissen bzw. Nichtwissen zu schulen. Die Notwendigkeit des Handelns unter Unsicherheit ist ein typisches Merkmal für globale Entwicklungsprobleme, der Umgang mit Wissen und Nichtwissen, mit Gewissheit und Ungewissheit wird deshalb im Rahmen von Bildung für nachhaltige Entwicklung und globalem Lernen auch als eigenständige Lernaufgabe thematisiert (vgl. Scheunpflug 2001).

- 2) Wissen über Verursacherrollen: Die Wissensstrukturen der Schüler sollten differenzierte Vorstellungen über verschiedene klimaschädliche Aktivitäten und die jeweils verantwortlichen Akteure enthalten – insbesondere auch im Hinblick auf die Rolle des eigenen Handelns.

In dieser Untersuchung konnte bei der explorativen Vorstudie ebenso wie bei der Analyse der Alltagstheorien festgestellt werden, dass die Vorstellungen vieler Schüler über die verursachenden Aktivitäten beim anthropogenen Treibhauseffekt vor allem von den beiden Konzepten *Industrie* und *Verkehr* geprägt sind. Besonders häufig fehlen Vorstellungen über die Ursachenkonzepte *Nutzung elektrischer Energie* sowie *Heizenergie* und *Warmwasserbereitung*. Damit können viele Schüler die Rolle ihres eigenen Alltagshandelns nicht ausreichend beurteilen. Es konnte gezeigt werden, dass solche Alltagstheorien in der Regel vom Luftverschmutzungs-Modell geprägt werden, das oft eng mit dem Ozonloch-Modell gekoppelt ist. Damit die Schüler angemessene Vorstellungen über die Verursacherrollen entwickeln können, ist deshalb eine Veränderung des undifferenzierten Luftverschmutzungs-Modells hin zu einem differenzierten CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell und eine Revision des Ozonloch-Modells hin zum wissenschaftskonformen Glashaus-Modell besonders bedeutsam. Didaktische Leitlinien dazu wurden in den Kapiteln 5.3.3 und 5.4.2.1 formuliert.

- 3) Handlungswissen: Das Wissen über klimaschädliche Aktivitäten sollte so differenziert sein, dass der Einzelne damit sinnvolle Handlungsmöglichkeiten im Sinne des Klimaschutzes sowie Vorschläge für klimapolitische Maßnahmen erklären und beurteilen kann.

Bei der Frage, welche Handlungsmöglichkeiten im Sinne des Klimaschutzes sinnvoll sind, kann der Einzelne direkt auf seine Alltagstheorie zu den Ursachen des globalen Klimawandels zurückgreifen. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen dieser Untersuchung wider. Bei der offenen gestellten Frage nach den Handlungsmöglichkeiten des Einzelnen dominierte in der schriftlichen Befragung der Vorstudie eine einzige Antwort: die Verkehrsmittelnutzung. Die Konzepte *Strom sparen*, *Heizenergie sparen* oder auch nur pauschal *Energie sparen* wurden jeweils nur sehr selten angeführt – insgesamt nannten nur 27 von 122 Personen solche Konzepte des energiebezogenen Handelns jenseits der Verkehrsmittelnutzung. Offenbar zeigen sich dort, wo Wissensdefizite in den Ursachentheorien zu beobachten waren, auch entsprechende Wissenslücken bei den Vorstellungen von den Möglichkeiten klimaschützenden Handelns. Dies macht deutlich, dass die zuvor erwähnte didaktische Leitlinie zum Wissen über klimaschädliche Aktivitäten und entsprechende Verursacherrollen auch im Hinblick auf die Handlungs- und Gestaltungskompetenz der Schüler von großer Bedeutung ist.

Wenn es im Unterricht gelingt, die beiden differenzierten Basismodelle CO<sub>2</sub>-Fossilenergie-Modell und Glashaus-Modell in den Alltagstheorien der Schüler zu verankern, dann steht ihnen ein „Wissenswerkzeug“ zur Verfügung, mit dem sie selbst klimaschützende Maßnahmen in ihrem eigenen Alltagskontext ableiten können. Insofern sind differenzierte Wissensstrukturen bzw. Alltagstheorien eine Voraussetzung für die Gestaltung und Planung von persönlichen Aktivitäten und Entscheidungen im Sinne des Klimaschutzes sowie für das Verstehen und Beurteilen klimapolitischer Maßnahmen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es sich beim Thema globaler Klimawandel anbietet, differenziertes Problemwissen über die atmosphärischen Prozesse, die Ursachen und die Folgen eng mit alltagsnahen Kontexten aus den folgenden drei Themenfeldern zu verzahnen: 1. die individuellen und politischen Handlungsmöglichkeiten (z.B. Energienutzung, regenerative Energien), 2. der gesellschaftliche Diskurs (z.B. Energiesteuern, Ergebnisse von Klimakonferenzen, Nutzung von Kohlekraftwerken und Kernkraftwerken) und 3. eine systematische Problembewertung, die sich an potenziell Betroffenen orientiert und normative Leitbilder einer nachhaltigen Entwicklung reflektiert. Die Erarbeitung von differenzierten Alltagstheorien geht damit Hand in Hand mit der Zielsetzung der Bildung für nachhaltige Entwicklung, die Bewertungs- und Handlungskompetenz der Schüler zu fördern.

## 5.7 Fazit und Ausblick

Ausgehend von den Fragestellungen und Leitfragen dieser Arbeit soll nun in einem knappen Fazit sowohl ein Rückblick auf das Erreichte als auch ein Ausblick auf weitere Aufgaben in Forschung, Entwicklung und Lehrerbildung gegeben werden.

### Zusammenfassendes Fazit

#### *Theorie und Methodik der Erhebung von Alltagstheorien*

Um Alltagstheorien empirisch analysieren zu können, wurde eine theoretische Konzeption von Alltagstheorien entwickelt, die auf kognitionspsychologischen Grundlagen basiert (multiple mentale Repräsentationen) und sich an einem Modell des Wissenserwerbs von Schnotz (1996, 2001) orientiert. Darin wird unterschieden zwischen einer äußeren, propositionalen Theoriestruktur (Mappings) und einer inneren Theoriestruktur in Form von Basismodellen. Für die Erhebung der Alltagstheorien in der Hauptstudie erfolgte ein methodologischer Rückgriff auf das Forschungsprogramm Subjektive Theorien nach Groeben et al. (1988). Davon ausgehend wurde ein Interviewverfahren entwickelt, mit dem komplex strukturierte subjektive Theorien größerer Reichweite in nur einer Interviewsituation erhoben und zugleich graphisch visualisiert werden konnten. Dieses Verfahren der „simultanen Strukturvisualisierung“ enthält verschiedene Explizierungshilfen, die die Interviewpartner dabei unterstützten, sowohl explizite als auch implizite Bestandteile ihrer Alltagstheorie darzustellen und miteinander in Beziehung zu setzen.

#### *Ergebnisse der explorativen Vorstudie und ihre Bezüge zu den Ergebnissen der Hauptstudie*

Die als schriftliche Befragung durchgeführte explorative Vorstudie mit 129 Schülern ermöglichte einen ersten, quantifizierenden Überblick über die Alltagsvorstellungen zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel. Dabei wurde deutlich, von welchen Alltagskonzepten die Vorstellungen stark geprägt sind und welche eher selten vorkommen. Rückblickend lassen sich damit auch einige zentralen Ergebnisse der Hauptstudie mit ihrem kleinen Sample von 25 Interviewpartnern auf eine breitere Basis stellen. So konnte beispielsweise aus einer Häufigkeitsanalyse einschlägiger Konzepte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das in der Hauptstudie ausführlich analysierte Ozonloch-Modell zur Erklärung des anthropogenen Treibhauseffektes auch in der Vorstudie bei mehr als der Hälfte der Befragten anzutreffen ist. Im nachfolgenden Abschnitt werden einige weitere Beispiele genannt.

#### *Zentrale Konzepte und kausale Themenstränge in den Alltagstheorien*

Die in der Hauptstudie erhobenen Mappings der einzelnen Alltagstheorien wurden in einem aufwendigen Verfahren zu Modal-Mappings aggregiert. Damit konnte analysiert werden, welche kau-

salen Themenstränge und Theoriestrukturen in den Ursachen- bzw. Folgen-Theorien häufiger vertreten sind und inwiefern sich dabei differenzierte Alltagstheorien von undifferenzierten unterscheiden. Einige Beispiele sind u.a. die folgenden Aspekte:

Sowohl in der Vorstudie als auch in den Mappings der Alltagstheorien zeigte sich eine Dominanz der beiden Ursachenfaktoren Verkehr und Industrie sowie das häufige Fehlen von anderen energiebezogenen Ursachenkonzepten (z.B. die Nutzung von elektrischem Strom oder Raumwärme). Dies ist vor allem bei undifferenzierten und teilweise auch bei den weniger differenzierten Alltagstheorien der Fall. Bei der Analyse der Basismodelle konnte gezeigt werden, dass Alltagstheorien, die diese Merkmale aufweisen, in der Regel vom Luftverschmutzungs-Modell geprägt sind, bei dem zentrale Ursachenkonzepte wie die Entstehung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe fehlen.

Auch bei den Folgen des globalen Klimawandels soll hier exemplarisch ein Ergebnis der Hauptstudie herausgegriffen werden, das durch die Vorstudie bestätigt wird: Der bei weitem am häufigsten anzutreffende Folgenzusammenhang ist die Kausalkette „abschmelzende Polkappen – Meeresspiegelanstieg – Überflutungen“. In der Hauptstudie konnte dieses Phänomen im Kontext des Aufheizungs-Modells näher beschrieben und analysiert werden.

Deutlich Unterschiede zwischen differenzierten und undifferenzierten Alltagstheorien zeigten sich auch bei komplexeren Klimafolgen wie z.B. einer möglichen Zunahme von Stürmen und Unwettern, einer verstärkten Desertifikation oder einer Zunahme von Dürrephasen, Wassermangel und Problemen bei der Nahrungsversorgung. Diese Konzepte waren vor allem bei differenzierten Theorien anzutreffen und fehlten in den meisten undifferenzierten Theorien. Ähnlich sieht das Bild bei möglichen sozialen Auswirkungen aus wie z.B. eine Zunahme von Armut, Migration oder regionalen Konflikten – allerdings fehlten solche Konzepte auch in vielen differenzierten Theorien. In der Vorstudie wurden all diese Folgenkonzepte, die gerade für eine Bewertung der spezifischen Bedrohung und Verwundbarkeit in vielen Entwicklungsländern wichtig wären, nur sehr selten genannt.

#### *Basismodelle in den Alltagstheorien*

Durch eine kombinierte Analyse von Einzel-Mappings und Interviewtexten konnten insgesamt 11 verschiedene Basismodelle identifiziert werden, die als mentale Modelle und/oder kognitive Schemata auftreten können. An diesen Basismodellen orientieren sich die Schüler, wenn sie die vielfältigen Zusammenhänge in ihrer Alltagstheorie explizieren und damit versprachlichen. Einige dieser Basismodelle stehen (weitgehend) in Einklang mit den wissenschaftlichen Vorstellungen (z.B. das Glashaus-Modell oder das Klimazonen-Modell), andere zeigen dagegen starke Abweichungen (z.B. das Ozonloch-Modell, das Umweltverschmutzungs-Modell oder das UV-Strahlungs-Modell). Eine Übersicht ist in Tabelle 19 zu finden.

Die Basismodelle sind die zentralen Ansatzpunkte für eine Optimierung des Unterrichts. Wenn es gelingt, wissenschaftsferne in wissenschaftskonforme Basismodelle umzuwandeln bzw. sie entsprechend zu ersetzen, dann können die Schüler damit selbstständig differenziertere und fachlich angemessenere Zusammenhänge und Schlussfolgerungen zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels ableiten, die sich dann sehr wahrscheinlich auch in einer größeren Differenziertheit ihrer Alltagstheorien niederschlagen werden.

#### *Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen Alltagstheorien und wissenschaftlichen Theorien*

Sowohl die Einzel-Mappings als auch die Basismodelle wurden unter der Prämisse erhoben, dass die Alltagstheorien der Schüler eine eigene, innere Logik und Sinnhaftigkeit besitzen, die im Verlauf der Interpretation rekonstruiert werden muss. Eine systematische Analyse der Abweichungen dieser Alltagstheorien von den wissenschaftlichen Vorstellungen erfolgte deshalb in den einzelnen Teilkapiteln immer erst am Ende der Auswertung. Dabei wurden in einer vergleichenden Analyse die didaktisch bedeutsamsten Übereinstimmungen und Abweichungen übersichtlich zusammengestellt. Für die Unterrichtspraxis – aber auch für potenzielle Anschlussuntersuchungen – ermöglicht dies einen schnellen Überblick über die wichtigsten von der wissenschaftlichen Theorie abweichenden Konzepte und Denkfiguren, mit denen man im Unterricht zu diesem Themenfeld rechnen muss.

### *Erklärungsansätze für das Auftreten besonders bedeutender Vorstellungen*

Im Anschluss an die Vorstellung der Untersuchungsergebnisse in Kapitel 4 wurden im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 5 Erklärungsansätze für das Auftreten besonders bedeutender Vorstellungen, Basismodelle oder Abweichungen formuliert und typische Lernprobleme und Lernhindernisse identifiziert. Diese Erklärungsansätze wurden auf der Basis verschiedener Conceptual-Change-Theorien entwickelt und haben überwiegend einen hypothetischen Charakter.

Betrachtet wurden dabei das Ozonloch-Modell bei den atmosphärischen Prozessen sowie das Luftverschmutzungs-Modell, das Luftreinigungs-Photosynthese-Modell und das Umweltverschmutzungs-Modell bei den Ursachen-Theorien. Bei den Folgen-Theorien ging es um das Aufheizungs-Modell und die mit ihm verbundenen Umweltveränderungen, um das Katastrophen-Modell und die Schwierigkeit, komplexe Klimafolgen zu erklären, um das System-Modell, um das UV-Strahlungs-Modell sowie um Theorielücken bei entwicklungsbezogenen, sozialen und sozioökonomischen Folgeproblemen. Besonders ausführlich wurde das Ozonloch-Modell behandelt, dessen weite Verbreitung durch verschiedene Ansätze erklärt wurde. Dabei konnte exemplarisch verdeutlicht werden, wie wissenschaftsferne mentale Modelle im Alltagsdenken entstehen und sich zu tief verankerten Lernhindernissen entwickeln können.

### *Didaktische Leitlinien für die Strukturierung von Unterricht zum Themenfeld anthropogener Treibhauseffekt und globaler Klimawandel*

Gemeinsam mit den Fragestellungen dieser Untersuchung wurden auch Leitfragen für die Diskussion der Ergebnisse formuliert. Dabei wurde der Anspruch erhoben, nicht bei der Analyse der Alltagstheorien und der Formulierung von Erklärungsansätzen für abweichende Alltagsvorstellungen stehen zu bleiben, sondern daraus auch einige didaktische Leitlinien für die didaktische Strukturierung von Unterricht und die Gestaltung von Lernangeboten abzuleiten. Dies wurde stets direkt im Anschluss an die Erläuterung der Erklärungsansätze und Lernhindernisse zu allen oben aufgeführten Basismodellen und abweichenden Vorstellungen vorgenommen. Die einzelnen didaktischen Leitlinien orientieren sich dabei nicht an einer konkreten Unterrichtssequenz, sondern an der möglichen Breite des Themenfelds. Damit können je nach den individuellen Unterrichtsvoraussetzungen (z.B. Zeitumfang, Altersstufe) und Schwerpunktsetzungen die jeweils passenden Leitlinien ausgewählt werden. Abschließend wurden auch übergreifende didaktische Konsequenzen und Leitlinien formuliert, die sich nicht an einzelnen Vorstellungen, sondern an den Alltagstheorien als Ganzes orientieren. Dies erfolgte einmal aus der Perspektive der Conceptual-Change-Forschung und einmal aus der Perspektive der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung.

### **Ausblick: weitere Aufgaben in Forschung und Entwicklung**

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Untersuchung können eine Reihe von Aufgaben für die didaktische Forschung, die didaktische Entwicklung und die Lehrerbildung formuliert werden, die sich in künftigen Projekten bearbeiten lassen.

### *Analyse der Verbreitung ausgewählter Alltagsvorstellungen in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen*

In quantitativ ausgerichteten Forschungsprojekten könnte nun auch die Verbreitung von einigen zentralen Alltagsvorstellungen, die in dieser Untersuchung identifiziert und beschrieben wurden, genauer analysiert werden. Dabei könnte in einem theoriegestützten Untersuchungsdesign auch die Rolle von einigen unabhängigen Variablen bzw. Einflussfaktoren untersucht werden, z.B. Altersstufen, Schularat, Geschlecht, Interessen, Mediennutzung, bestimmte Vorkenntnisse etc.

### *Empirische Analyse von Einflussfaktoren und Erklärungsansätzen*

Bei der Diskussion der Ergebnisse dieser Arbeit wurden zu den einzelnen Basismodellen bzw. Alltagsvorstellungen verschiedene Einflussfaktoren und Erklärungsansätze formuliert, die weitgehend einen hypothetischen Charakter haben. Einige davon könnten nun in vertiefenden, theorie- und hy-

pothesengeleiteten Studien empirisch überprüft und genauer untersucht werden. Die Möglichkeiten reichen je nach dem ausgewählten Forschungsgegenstand von den eben beschriebenen quantitativen Analysen über kognitionslinguistische Analysen zu sprachlich-begrifflichen Aspekten (z.B. wie bei Riemeier 2005 unter Rückgriff auf die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens)<sup>103</sup> bis zu Interventionsstudien, bei denen z.B. ein Teil der Schüler mit bestimmten (Schulbuch-)Abbildungen oder Medienmeldungen konfrontiert wird, von denen ein spezifischer Einfluss auf die Alltagstheorien angenommen wird. Damit lassen sich insbesondere die Lernhindernisse noch präziser analysieren, die mit bestimmten Alltagsvorstellungen verbunden sind. Beispielsweise konnte bereits bei einer kursorischen Durchsicht verschiedener Schulbücher festgestellt werden, dass Grafiken zur Erklärung des Treibhauseffektes häufig zu viele Einzelinformationen beinhalten und damit ein Verständnis der elementaren physikalischen Zusammenhänge erschweren, dass häufig Fotos und andere Abbildungen enthalten sind, die das Luftverschmutzungs-Modell stützen, oder dass in den Texten zum Thema (Regen-)Waldzerstörung häufig Konzepte zu finden sind, die das Luftreinigungs-Photosynthese-Modell fördern. Sowohl theoretisch fundierte Schulbuchanalysen als auch Interventionsstudien finden hier also genügend Ansatzpunkte.

*Erhebung von Alltagstheorien mit spezifischen didaktischen Zielsetzungen: systemisches Denken, Verwundbarkeitsansatz, Bildung für nachhaltige Entwicklung und Globales Lernen*

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Untersuchung ist zu ausgewählten Teilaspekten auch eine weitere, detailliertere Erhebung von Alltagstheorien bzw. Alltagsvorstellungen sinnvoll – insbesondere wenn der Fokus dabei auf einen bestimmten, didaktisch relevanten Zielbereich gelegt wird. Ein solcher Zielbereich ist beispielsweise die Förderung des systemischen Denkens im Geographieunterricht (vgl. Frischknecht-Tobler et al. 2008, Rempfler & Uphues 2008, Rempfler 2009). In weiteren Forschungsprojekten könnten Alltagstheorien gezielt im Hinblick auf die darin erkennbaren Potenziale und Hindernisse für systemisches Denken erhoben und analysiert werden. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit liegen relevante Ansatzpunkte dafür bei der Erklärung von Umweltveränderungen, die mit dem Klimawandel verbunden sind (vgl. System-Modell), bei der Bedeutung des Kohlenstoffkreislaufs (vgl. Luftreinigungs-Photosynthese-Modell) oder bei der interdisziplinären Vernetzung von physischen Umweltveränderungen einerseits und sozioökonomischen Faktoren andererseits (vgl. die entsprechenden in den Alltagstheorien identifizierten Theorielücken). Für die fachtheoretischen Grundlagen bieten auch Otto & Mosbrugger (2006) oder Hlawatsch et al. (2005) eine erste Orientierung.

Ein zweiter didaktischer Zielbereich liegt im Bereich der Naturrisiko- und Verwundbarkeitswahrnehmung (vgl. Otto 2009). Im Geographieunterricht sollen Schüler lernen, Naturrisiken und ihre potenziellen Auswirkungen auf Gesellschaften bzw. auf konkret betroffene Menschen im Sinne des Verwundbarkeitsansatzes zu betrachten, z.B. unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit und der Anpassungsfähigkeit von sozioökonomischen Systemen (vgl. Kapitel 1.2.1). Hier könnte genauer untersucht werden, inwiefern die Schüler in ihren Alltagsvorstellungen bereits in den Kategorien des Verwundbarkeitsansatzes denken und wo es bedeutende Abweichungen davon gibt, die im Unterricht beachtet werden sollten. Eine erste empirische Untersuchung in diesem Sinne wurde als Anschlussprojekt zu der hier vorgestellten Arbeit bereits durchgeführt (Schuler 2009).

Schließlich könnten Alltagstheorien auch noch stärker im Hinblick auf spezifische Ziele der Bildung für nachhaltige Entwicklung und des Globalen Lernens untersucht werden. Von besonderem Interesse ist dabei einerseits der Einfluss von bestimmten subjektiven Theorien auf die Bewertung des Problems globaler Klimawandel bzw. auf ethische Urteile im Nachhaltigkeitskontext (z.B. „globale Gerechtigkeit“) sowie der Einfluss auf die Vorstellungen zu den Handlungsmöglichkeiten und die Handlungsbereitschaft im Sinne des Klimaschutzes. Dabei geht es um die Rolle, die Alltagstheorien als Voraussetzung von Bewertungs- und Gestaltungskompetenz im Sinne des Rahmenmodells von

<sup>103</sup> Nach Abschluss der hier vorliegenden Arbeit wurde eine solche Untersuchung von Niebert (2010) vorgelegt. In seiner didaktischen Rekonstruktion der globalen Erwärmung werden auch einige der hier aufgezeigten Ergebnisse repliziert und anhand der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens interpretiert. Zudem werden entsprechende Lernangebote konzipiert und evaluiert.

Rost, Lauströer und Raack (2003) spielen (vgl. Kapitel 1.2.2, Tabelle 5). Die Ergebnisse der explorativen Vorstudie in dieser Untersuchung zeigen, dass viele Schüler undifferenzierte Vorstellungen von den Handlungsmöglichkeiten beim Klimaschutz haben, die auch für das eigene Alltagshandeln relevant sein können (vgl. Abbildung 34). Die Ergebnisse der Hauptstudie legen nahe, dass dies u.a. auf das Luftverschmutzungs-Modell sowie das Ozonloch-Modell zurückgeführt werden kann. Bei den Folgentheorien konnte u.a. festgestellt werden, dass es bedeutende Theorielücken bei Konzepten gibt, die für die Bewertung der Situation vieler Menschen in den Entwicklungsregionen der Welt wichtig sind, z.B. mögliche Probleme bei der Versorgung mit Wasser oder Nahrungsmitteln, verschiedene soziale Probleme oder sozioökonomische Folgen. Auch im Kontext der Bildung für nachhaltige Entwicklung und des Globalen Lernens gibt es also gute Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten, die sich an den theoretischen Grundlagen bei Bolscho & Seybold (1996), Kroß (2004), Böhn (2007) oder Engelhard et al. (2009) orientieren können.

#### *Entwicklung und Evaluation von Lernangeboten nach Conceptual-Change-Kriterien*

Vielleicht noch wichtiger als eine weitere Ausdifferenzierung der Erkenntnisse über die Beschaffenheit der Alltagstheorien über den globalen Klimawandel ist die Anwendung dieser Erkenntnisse bei der Entwicklung von Lernangeboten und Unterrichtsmaterialien. Für dieses wichtige Ziel wurden in dieser Arbeit bereits eine Vielzahl an didaktischen Leitlinien formuliert, die bei der Konzeption von Lernumgebungen hilfreich sind, die sich an Conceptual-Change-Kriterien orientieren. Zu den atmosphärischen Prozessen bei der Erklärung des Treibhauseffektes (Stichwort „Ozonloch-Modell“) wurde ein erstes Beispiel für eine solche Lernumgebung bereits entwickelt und publiziert (Reinfried, Schuler, Aeschbacher & Huber 2008). Zu weiteren Teilaspekten des Themas könnten insbesondere mit Blick auf die hier erhobenen Basismodelle noch weitere Arbeiten folgen.

Die Aufgabe der Fachdidaktiken liegt allerdings nicht nur in der Entwicklung, sondern auch in der empirischen Evaluation solcher Lernumgebungen durch Interventions- und Wirkungsstudien oder durch Lernprozessanalysen. Zu der oben beschriebenen Lernumgebung sind solche Studien derzeit in Arbeit (Reinfried et al. 2010). Weitere Studien zu anderen Teilaspekten des Themenfelds wären sehr sinnvoll. Eine lohnende Aufgabe kann auch die kritische Analyse von Schulbüchern und anderen bereits vorhandenen Unterrichtsmaterialien im Lichte der Ergebnisse dieser Arbeit sein.

#### *Lehrerbildung*

Damit die Ergebnisse dieser Studie und auch ganz allgemein die Erkenntnisse der Alltagsvorstellungsforschung unterrichtswirksam werden können, müssen sie den Lehrern natürlich auch bekannt sein und gemeinsam mit den darauf abgestimmten Unterrichtsstrategien Eingang in die Lehrerbildung finden. Manche hier formulierten didaktischen Leitlinien zielen weniger auf die Entwicklung neuer, aufwendiger Unterrichtsmaterialien, sondern vielmehr auf das Arrangement und die Durchführung des alltäglichen Unterrichts. Dies gilt sowohl für themenspezifische als auch für themenübergreifende Aspekte, wie sie in Kapitel 5.6 vorgestellt wurden. Gerade weil es sich bei Alltagsvorstellungen und Conceptual Change in der Geographiedidaktik noch um sehr junges Themengebiet handelt, das auch in manchen Standardlehrbüchern noch kaum berücksichtigt wird, sollte neben entsprechenden Zeitschriftenpublikationen (z.B. Reinfried 2008) ein besonderes Augenmerk auch auf die Thematisierung in didaktische Lehrveranstaltungen im Lehramtsstudium sowie in Lehrerfortbildungen gelegt werden. Bereits vorliegende Forschungen wie diese Arbeit können dabei auch exemplarisch herangezogen werden, um ein grundsätzliches Bewusstsein dafür zu schaffen, wie wichtig das Aufspüren und das systematische Aufgreifen von Alltagsvorstellungen im Unterricht zu ganz verschiedenen Themen ist und wie man die eigene, tägliche Unterrichtspraxis gestalten sollte, damit ein nachhaltigerer Lernerfolg im Sinne der moderat-konstruktivistischen Lerntheorie ermöglicht werden kann.

## 6 Literatur

Letzter Zugriff auf alle Internetquellen: 14.01.2011

- Aeschbacher, U., Calo, C. & Wehrli, R. (2001): „Die Ursache des Treibhauseffektes ist ein Loch in der Atmosphäre“: Naives Denken wider besseres Wissen. In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 33(4), S. 230-241.
- Aeschbacher, U. & Huber, E. (1996): Der Treibhauseffekt – auch eine pädagogische Herausforderung. Entwicklung eines Demonstrationsexperiments als didaktische Forschung. In: *Beiträge zur Lehrerbildung* 14 (2), S. 180-190.
- Andersson, B. & Wallin, A. (2000): Student's Understanding of the Greenhouse Effect, the Social Consequences of Reducing CO<sub>2</sub>-Emissions and the Problem of Ozone Layer Depletion. In: *Journal of Research in Science Teaching* 37(10), S. 1096-1111.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1980): *Psychologie des Unterrichts*, Bd. 1. 2. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz.
- Barth, M. (2007): Bildung für nachhaltige Entwicklung – ein Handlungsfeld (auch) für den Geographieunterricht?! In: *Praxis Geographie* 37(9), S. 10-12.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. & Palutikof, J. P. (Hrsg.) (2008): *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genf: IPCC.  
[www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf).
- Bayrhuber, H., Bündler, W., Euler, M., Hansen, K.-H., Hassenpflug, W., Hildebrandt, K., Hlawatsch, S., Hoffmann, L., Lucius, E. R., Raffelsiefer, M. & Siemer, F. (o. J.): *Didaktische Analyse des Themas System Erde*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).  
<http://systemerde.ipn.uni-kiel.de/poster/Analyse.pdf>.
- Bayrhuber, H. & Hlawatsch, S. (Hrsg.) (2005): *System Erde – Unterrichtsmaterialien für die Sekundarstufe II (CD-ROM)*, Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Berger, P. & Luckmann, T. (1977): *Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie*. 5. Aufl. Frankfurt a. M.: Fischer.
- Bernd, H., Hippchen, T., Jüngst, K. & Strittmatter, P. (2000): Durcharbeiten von Begriffsstrukturdarstellungen in unterrichtlichen und computergestützten Lernumgebungen. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hrsg.): *Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken*. Göttingen: Hogrefe, S. 15-36.
- Bilharz, M. & Gräsel, C. (2006): Gewusst wie: Strategisches Umwelthandeln als Ansatz zur Förderung ökologischer Kompetenz in Schule und Weiterbildung. In: *Bildungsforschung* 3(1).  
[www.bildungsforschung.org/index.php/bildungsforschung/article/viewFile/27/25](http://www.bildungsforschung.org/index.php/bildungsforschung/article/viewFile/27/25).
- Bleichroth, W. (1991): Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 2(6), S. 4-11.
- BLK-Programm „21“ (Hrsg.) (2003): *Orientierungshilfen für die Erstellung einer Präambel und Empfehlungen / Richtlinien zur „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ in allgemein bildenden Schulen*. Berlin.  
[www.transfer-21.de/daten/texte/Praeambel-Richtlinien.pdf](http://www.transfer-21.de/daten/texte/Praeambel-Richtlinien.pdf).
- Bögeholz, S. (2007): Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen Nachhaltiger Entwicklung. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, S. 209-220.
- Bohle, H.-G. & Glade, T. (2008): Vulnerabilitätskonzepte in Sozial- und Naturwissenschaften. In: Felgentreff, C. & Glade, T. (Hrsg.): *Naturrisiken und Sozialkatastrophen*. Berlin: Spektrum, S. 99-119.
- Böhm, G. & Mader, S. (1998): Subjektive kausale Szenarien globaler Umweltveränderungen. In: *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie* 45(4), S. 270-285.
- Böhm, G. & Pfister, H. (2001): Mental representation of global environmental risks. In: *Research in Social Problems and Public Policy* 9, S. 1-30.
- Böhn, D. (2007): Globale Entwicklung. Ein Orientierungsrahmen für Lehrplanarbeit und Schule. In: *Geographie heute* 28(255/256), S. 64-67.

- Bojanowski, A. (2007): Der Klimabasar. In: Die Zeit 6/2007. [www.zeit.de/2007/06/IPCC-Bericht](http://www.zeit.de/2007/06/IPCC-Bericht).
- Bolscho, D., Eulefeld, G. & Seybold, H. (1980): Umwelterziehung. Neue Aufgaben für die Schule. München: Urban & Schwarzenberg.
- Bolscho, D. & Seybold, H. (1996): Umweltbildung und ökologisches Lernen. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Bolscho, D. & Haan, G. de (Hrsg.) (2000): Konstruktivismus und Umweltbildung. Opladen: Leske und Budrich.
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1993): The 'Greenhouse Effect': children's perception of causes, consequences and cures. In: International Journal of Science Education 15(5), S. 531-552.
- Braun, A. (1983): Umwelterziehung zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Eine vergleichende Betrachtung theoretischer Erziehungspostulate mit Kenntnissen, Einstellungen und praktizierten Handlungsweisen 15- bis 16-jähriger Schüler. Frankfurt a. M.: Haag u. Herchen.
- Braun, A. (2004): Umweltbewusstsein und Umweltverhalten. Aufgabenfeld und Forschungsstand der Geographiedidaktik. In: Geographie und Schule 26(152), S. 2-9.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2002): Bericht der Bundesregierung zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Bonn: BMBF.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2002): Umweltbewusstsein in Deutschland 2002. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin: BMU.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2008): Umweltbewusstsein in Deutschland 2008. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin: BMU.
- Buzan, T. & Buzan, B. (1996): Das Mind-map-Buch. Landsberg am Lech: mvg.
- Caravita, S. & Halldén, O. (1994): Re-framing the problem of conceptual change. In: Learning and Instruction 4(1), S. 89-111.
- 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. 4-10.
- Cranach, M. von (1995): Über das Wissen sozialer Systeme. In: Flick, U. (Hrsg.): Psychologie des Sozialen. Repräsentationen in Wissen und Sprache. Reinbek: Rowohlt, S. 22-53.
- Cubasch, U. & Kasang, D. (2000): Anthropogener Klimawandel. Stuttgart, Gotha: Klett-Perthes.
- Dann, H. (1992): Variation von Lege-Strukturen zur Wissensrepräsentation. In: Scheele, B. (Hrsg.): Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster: Aschendorff, S. 2-41.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996): Types and qualities of knowledge. In: Educational Psychologist 31(2), S. 105-113.
- Denzin, N. K. (1989): The Research Act. 3. Aufl. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG) (Hrsg.) (2007): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen. 4. Aufl. Bonn: Selbstverlag der DGfG.
- Deutsche Shell (Hrsg.) (2002): Jugend 2002. Zwischen pragmatischem Idealismus und robustem Materialismus, 14. Shell-Jugendstudie. Frankfurt a. M.: Fischer.
- Dewey, J. (1981): The later works, 1925-1953. Illinois: Southern Illinois University Press.
- diSessa, A. (1988): Knowledge in pieces. In: Forman, G. & Pufall, P. (Hrsg.): Constructivism in the Computer Age. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 49-70.
- Dove, J. (1996): Student Teacher Understanding of the Greenhouse Effect, Ozone Layer Depletion and Acid Rain. In: Environmental Education Research 2(1), S. 89-100.
- 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. (2008): Erde oder Boden, Horizonte oder Schichten? Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Bodens. In: Geographie heute 29(265), S. 34-39.
- 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. IV. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 47-84.

- Duit, R. (1996): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Duit, R. & Rhöneck, C. v. (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. IPN Schriftenreihe. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 145-162.
- Duit, R. (1997): Ziele für den naturwissenschaftlichen Unterricht – Anspruch und Realität. In: Plus Lucis, 1/1997, S. 3-13. <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/971/duit.pdf>.
- Duit, R. (2000): Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In: Duit, R. & Rhöneck, C. v. (Hrsg.): Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung. IPN Schriftenreihe. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 77-103.
- Duit, R. (2004): Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Stand der Dinge und Ausblick. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.): Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis, S. 267-272.
- Duit, R. (2006): Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Forschungsergebnisse und Realität der Unterrichtspraxis. In: Girwidz, R., Gläser-Zikuda, M., Laukenmann, M. & Rubitzko, T. (Hrsg.): Lernen im Physikunterricht. Hamburg: Kovač, S. 13-22.
- Duit, R. (Hrsg.) (2009): Students' and Teachers' Conceptions and Science Education. Bibliography, Final Version March 2009. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN). [www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html](http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html).
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998): Learning in science – From behaviourism towards social constructivism and beyond. In: Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (Hrsg.): International Handbook of Science Education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 3-26.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003): Conceptual Change – A powerful framework for improving science teaching and learning. In: International Journal of Science Education 25(6), S. 671-688.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2005): Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In: Fischer, E. H. (Hrsg.): Developing standards in research on science education. London: Taylor & Francis, S. 1-9.
- Dutke, S. (1994): Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie. Reihe Arbeit und Technik, Bd. 4. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Edelmann, W. (2000): Lernpsychologie. 6. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Eggert, S. & Bögeholz, S. (2006): Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 12, S. 199-217.
- Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-100103221>.
- Engelhard, K. (Hrsg.) (1995): Umwelt und Entwicklung. Eine Herausforderung für Wissenschaft, Politik und Schule. Münster: Waxmann.
- Engelhard, K., Mönter, L. & Otto, K.-H. (2009): Die Welt im Wandel. In: Praxis Geographie 39(9), S. 4-8.
- Fabian, P. (2002): Leben im Treibhaus. Unser Klimasystem – und was wir daraus machen. Berlin: Springer.
- Flath, M. & Fuchs, G. (Hrsg.) (1997): Umwelterziehung im Geographieunterricht. Gotha: Klett-Perthes.
- Flath, M. & Fuchs, G. (Hrsg.) (1998): „Globalisierung – Beispiele und Perspektiven für den Geographieunterricht“. Gotha: Klett-Perthes.
- Flick, U. (1995): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. Reinbek: Rowohlt.
- Flick, U. (Hrsg.) (1998): Wann fühlen wir uns gesund? – Subjektive Vorstellungen von Gesundheit und Krankheit. Weinheim: Juventa.
- Flick, U. (2004): Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung. 2. Aufl. Reinbek: Rowohlt.
- Forum „Schule für eine Welt“ (1996): Globales Lernen. Anstöße für die Bildung in einer vernetzten Welt. Jona.
- Frischknecht-Tobler, U., Nagel, U. & Seybold, H. (Hrsg.) (2008): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich: Pestalozzianum.
- Fuchs, G. (1998): Globalisierung – (mehr als) Wirtschaft ohne Grenzen. In: Praxis Geographie 28(7/8), S. 4-10.
- Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U. & Reuber, P. (Hrsg.) (2007): Geographie. Physische Geographie und Human-geographie. Heidelberg: Spektrum.

- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: Zeitschrift für Pädagogik 41(6), S. 867-888.
- Glaser, B. & Strauss, A. (1967): The discovery of Grounded Theory: Strategies for qualitative research. Chicago: Aldine.
- Glaserfeld, E. v. (1996): Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Göpfert, H. (1988): Naturbezogene Pädagogik. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Gräsel, C. (1999): Die Rolle des Wissens beim Umwelthandeln – oder: Warum Umweltwissen träge ist. In: Unterrichtswissenschaft 27(3), S. 196-212.
- Gräsel, C. (2000): Ökologische Kompetenz: Analyse und Förderung. Habilitationsschrift. Fakultät für Psychologie und Pädagogik der Ludwig-Maximilian-Universität München. München.
- Gräsel, C. (2002): Methodologische Aspekte einer Befragung von Schüler/innen zu Umweltwissen und ökologischem Handeln. In: Rieß, W. & Seybold, H. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Grundschule. Gmünder Hochschulreihe, Bd. 22. Schwäbisch Gmünd, S. 63-70.
- Greeno, J. G. (1989): A perspective on thinking. In: American Psychologist 44(2), S. 134-141.
- Greeno, J. G. (1992): The situation in cognitive theory: Some methodological implications of situativity. Paper presented at the Congress of the American Psychological Society, San Diego, CA.
- Groeben, N. (1992): Die Inhalts-Struktur-Trennung als konstantes Dialog-Konsens-Prinzip?! In: Scheele, B. (Hrsg.): Struktur-Legen-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster: Aschendorff, S. 42-89.
- Groeben, N. & Scheele, B. (1977): Argumente für eine Psychologie des reflexiven Subjekts. Darmstadt: Steinkopff.
- Groeben, N., Wahl, D., Schlee, J. & Scheele, B. (1988): Das Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts. Tübingen: Francke.
- Groeben, N. & Scheele, B. (2000): Dialog-Konsens-Methodik im Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research 1(2), Art. 10.  
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0002105>.
- Gropengießer, H. (2001): Didaktische Rekonstruktion des Sehens: Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. 2. Aufl. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 1. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Gropengießer, H. (2003): Lebenswelten / Denkwelten / Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 4. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Gruber, H., Mandl, H. & Renkl, A. (2000): Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In: Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen: Hogrefe, S. 139-156.
- Haan, G. de (1984): Die Schwierigkeiten der Pädagogik. In: Beer, W. & Haan, G. de (Hrsg.): Ökopädagogik. Aufstehen gegen den Untergang der Natur. Weinheim, Basel: Beltz, S. 77-91.
- Haan, G. de (2007): Bildung für nachhaltige Entwicklung als Handlungsfeld. In: Praxis Geographie 37(9), S. 4-9.
- Haan, G. de & Kuckartz, U. (1996): Umweltbewusstsein. Denken und Handeln in Umweltkrisen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Haan, G. de & Harenberg, D. (1999): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Gutachten zum Programm. Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 72. Bonn: BLK.
- Habrich, W. (1999): Umweltbildung. In: Geographie heute 20(174), S. 2-6.
- Harenberg, D. (2000): Syndrome globalen Wandels als überfachliches Unterrichtskonzept. Forschungsgruppe Umweltbildung, Paper 00-159. FU Berlin.
- Hasselmann, K. (1997): Die Launen der Medien. In: Die Zeit 32/1997.
- Hasselmann, K. (1999): Cooperative and Non-Cooperative Multi-Actor Strategies of Optimizing Greenhouse Gas Emissions. In: Storch, H. von & Flöser, G. (Hrsg.): Anthropogenic Climate Change. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 209-256.
- Haubrich, H. (1998): Geographie hat Zukunft. Wege der Geographie und ihrer Didaktik. Seelze-Velber: Kallmeyer.
- Haubrich, H. (2000): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung durch Qualitätssicherung in der geographischen Erziehung. In: Schallhorn, E. (Hrsg.): Didaktik und Schule. Bretten: VDSG, S. 41-54.

- Haubrich, H., Reinfried, S. & Schleicher, Y. (2007): Lucerne Declaration on Geographical Education for Sustainable Development. In: *Geographie und ihre Didaktik* 35(3), S. 155-164.
- Hauenschild, K. & Bolscho, D. (2005): *Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der Schule – Ein Studienbuch*. Frankfurt a. M.: Lang.
- Hauff, V. (Hrsg.) (1987): *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Grevén: Eggenkamp.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. & Mayer, J. (1998): *Naturwissenschaftliche Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 169-219.
- Hemmer, I. (1998): *Nachhaltige Entwicklung als neues Leitbild der Umwelterziehung und des Geographieunterrichts?* In: *Regensburger Beiträge zur Didaktik der Geographie*, Bd. 5, S. 197-206.
- Hemmer, I. & Hemmer, M. (1997): *Lehrerinteresse und Schülerinteresse an Inhalten und Regionen des Geographieunterrichts – ein Vergleich auf der Grundlage empirischer Untersuchungen*. In: Convey, A. & Nolzen, H. (Hrsg.): *Geographie und Erziehung, Geography and Education. Münchner Studien zur Didaktik der Geographie*, Bd. 10. München: Münchner Universitätschriften, S. 119-128.
- Hemmer, I., Hemmer, M., Bayrhuber, H., Häußler, P., Hlawatsch, S., Hoffmann, L. & Raffelsiefer, M. (2005): *Interesse von Schülerinnen und Schülern an geowissenschaftlichen Themen – Ergebnisse einer Interessenstudie im Rahmen des Projekts „Forschungsdialo System Erde“ unter besonderer Berücksichtigung des Geographieunterrichts*. In: *Geographie und ihre Didaktik* 33(2), S. 57-72.
- Hemmer, I. & Hemmer, M. (2006): *Kontinuität und Wandel im Schülerinteresse an einzelnen Themen des Geographieunterrichts – Ergebnisse zweier empirischer Untersuchungen aus den Jahren 1995 und 2005*. In: Zolitschka, B. (Hrsg.): *Buten un binnen – wagen un winnen. Tagungsband zum 30. Deutschen Schulgeographentag in Bremen 2006*. Bremen, S. 181-185.
- Hemmer, M., Rahner, M. & Schuler, S. (2011, in Druck): *Naturrisiken im Geographieunterricht – ausgewählte Ergebnisse empirischer Studien zur Schülerperspektive, didaktische Konsequenzen und Forschungsperspektiven*. In: *Geographie und ihre Didaktik* 39(1).
- Hildebrandt, K. (2007): *Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs*. Diss. Universität Kiel. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:8-diss-24121>.
- Hiller, J. (2010): *Lernprozesse unter der Lupe: Vermittlungsexperimente zum Treibhauseffekt auf der Basis des Conceptual-Change-Ansatzes*. Unveröff. Magisterarbeit, PH Ludwigsburg, Abt. Geographie. Ludwigsburg.
- Hlawatsch, S., Lücken, M., Hansen, K.-H., Fischer, M. & Bayrhuber, H. (2005): *Forschungsdialo: System Erde. Schlussbericht*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN). [http://systemerde.ipn.uni-kiel.de/Schlussbericht20\\_12\\_05-EF.pdf](http://systemerde.ipn.uni-kiel.de/Schlussbericht20_12_05-EF.pdf).
- Hoffmann, R. (2002): *Umweltbildung im Geographieunterricht: Von Umwelterziehung zu Bildung für nachhaltige Entwicklung*. In: *Geographie und ihre Didaktik* 30(4), S. 173-188.
- Hoffmann, R. (2006): *Klimawandel. Fachdidaktische Überlegungen zum Thema im Geographieunterricht*. In: *Geographie heute* 27(241/242), S. 2-8.
- Hoffmann, R. (2008): *Leben mit dem Risiko? Zum Beitrag des Geographieunterrichts beim Umgang mit Naturereignissen*. In: *Geographie und Schule* 30(171), S. 24-30.
- Höhle, E. (2002): *Der Klimawandel im Verständnis der Öffentlichkeit*. In: Zwick, M. & Renn, O. (Hrsg.): *Wahrnehmung und Bewertung von Risiken. Arbeitsberichte der TA-Akademie Nr. 202*, Stuttgart: TA-Akademie, S. 120-135.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001a): *Climate Change 2001. Synthesis Report to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001b): *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001c): *Climate Change 2001. Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001d): *Climate Change 2001. Mitigation. Contribution of the Working Group III to the Third Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007b): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007c): *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007d): *Klimaänderung 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Vierter Sachstandsbericht des IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press. Deutsche Übersetzung durch ProClim, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle. Bern, Wien, Berlin. [www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm#6](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#6).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2008): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jekel, T. (2008): Plädoyer für relationale Raumkonzepte in einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: *Geographie und ihre Didaktik* 36(2), S. 65-84.
- Johnson-Laird, P. N. (1983): *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jüngst, K. (1995): Studien zur didaktischen Nutzung von Concept Maps. In: *Unterrichtswissenschaft* 23(3), S. 229-250.
- Jüngst, K. & Strittmatter, P. (1995): Wissensstrukturdarstellung: Theoretische Ansätze und praktische Relevanz. In: *Unterrichtswissenschaft* 23(3), S. 194-207.
- Kahlert, J. (2001): Umweltwissen in didaktischen Netzen aufbauen – ein Modell für eine fächerübergreifende wissensorientierte Umweltbildung. In: Gärtner, H. & Hellberg-Rode, G. (Hrsg.): *Umweltbildung und nachhaltige Entwicklung*, Bd. 1: Grundlagen. Baltmannsweiler: Schneider, S. 31-51.
- Kaiser, F. & Fuhrer, U. (2000): Wissen für ökologisches Handeln. In: Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.): *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln*. Göttingen: Hogrefe, S. 52-71.
- Kanwischer, D. (2006): Die Ordnung der Dinge und/oder die Ordnung der Blicke? Überlegungen zu einem konstruktivistischen Geographieunterricht. In: Dickel, M. & Kanwischer, D. (Hrsg.): *TatOrte. Neue Raumkonzepte didaktisch inszeniert*. Berlin: Lit Verlag, S. 277-297.
- Kasang, D. (2007): Wetterextreme und Klimawandel. In: *Hamburger Bildungsserver*. [www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/extreme/index.htm](http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/extreme/index.htm).
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3(3), S. 3-18.
- 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: Springer, S. 93-104.
- Kempton, W. (1991): Lay perspectives on global climate change. In: *Global Environmental Change* 1(3), S. 183-208.
- Kempton, W., Boster, J. & Hartley, J. (1995): *Environmental values in American culture*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klafki, W. (1970): Der Begriff der Didaktik und der Satz vom Primat der Didaktik (im engeren Sinne) im Verhältnis zur Methodik. In: Klafki, W. et al. (Hrsg.): *Funkkolleg Erziehungswissenschaft 2. Eine Einführung*. Frankfurt a. M.: Fischer, S. 55-92.
- Knörzer, M. (2004): *Schulentwicklung in Salem. Evaluation eines nachhaltigen Bildungsprozesses an der Schule Schloss Salem*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Köck, H. (1997): Der systemtheoretische Ansatz im Geographieunterricht. In: Convey, A. & Nolzen, H. (Hrsg.): *Geographie und Erziehung. Münchner Studien zur Didaktik der Geographie*, Bd. 10. München: Münchner Universitätschriften, S. 137-146.
- Köck, H. (2003a): Dilemmata der (geographischen) Umwelterziehung (Teil I). In: *Geographie und ihre Didaktik* 31(1), S. 28-43.

- Köck, H. (2003b): Dilemmata der (geographischen) Umwelterziehung (Teil II). In: *Geographie und ihre Didaktik* 31(2), S. 61-79.
- Köck, H. (Hrsg.) (2008): Themenheft Exemplarik und Transfer. *Geographie und Schule* 30(176).
- Koulaidis, V. & Christidou, V. (1999): Models of Students' Thinking Concerning the Greenhouse Effect and Teaching Implications. In: *Science Education* 83(5), S. 559-576.
- Krings, T. (2002): Zur Kritik des Sahel-Syndromansatzes aus der Sicht der Politischen Ökologie. In: *Geographische Zeitschrift* 90(3+4), S. 129-141.
- Krings, T. (2008): Politische Ökologie. Grundlagen und Arbeitsfelder eines geographischen Ansatzes der Mensch-Umwelt-Forschung. In: *Geographische Rundschau* 60(12), S. 4-9.
- Kroß, E. (1992): Von der Inwertsetzung zur Bewahrung der Erde. Die curriculare Neuorientierung der Geographiedidaktik. In: *Geographie heute* 13(100), S. 57-62.
- Kroß, E. (1995): Global lernen. In: *Geographie heute* 16(134), S. 4-9.
- Kroß, E. (2004): Globales Lernen als Aufgabe des Geographieunterrichts. In: Kroß, E. (Hrsg.): *Globales Lernen im Geographieunterricht – Erziehung zu einer nachhaltigen Entwicklung. Geographiedidaktische Forschungen*, Bd. 38. Nürnberg: HGD, S. 5-24.
- Kroß, E. (2008): Globalisierung als Thema des Geographieunterrichts. In: Schamp, E. (Hrsg.): *Handbuch des Geographieunterrichts*, Bd. 9: Globale Verflechtungen. Köln: Aulis, S. 8-18.
- Kuckartz, U. (1999): *Computergestützte Analyse qualitativer Daten. Eine Einführung in Methoden und Arbeitstechniken*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Kuckartz, U. (2005): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kürschner, C., Horz, H. & Schnotz, W. (2007): Wissenserwerb als konstruktiver Prozess. In: *Geographie und Schule* 29(168), S. 11-18.
- Kyburz-Graber, R. & Högger, D. (2000): Sozio-ökologische Umweltbildung aus konstruktivistischer Sicht. In: Bolscho, D. & Haan, G. de (Hrsg.): *Konstruktivismus und Umweltbildung*. Opladen: Leske und Budrich, S. 123-146.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980): *Metaphors we live by*. Chicago, London: The University Chicago Press.
- Lamnek, S. (2005): *Qualitative Sozialforschung*. 4. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Langeheine, R. & Lehmann, J. (1986): *Die Bedeutung der Erziehung für das Umweltbewusstsein*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Latif, M. (2009): *Klimawandel und Klimadynamik*. Stuttgart: Ulmer (UTB).
- Lauströer, A. & Rost, J. (2008): Operationalisierung und Messung von Bewertungskompetenz. In: Bormann, I. & Haan, G. de (Hrsg.): *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 89-102.
- Lehmann, J. (1999): *Befunde empirischer Forschung zu Umweltbildung und Umweltbewusstsein*. Opladen: Leske und Budrich.
- Lethmate, J. (2000): Ökologie gehört zur Erdkunde – aber welche? Kritik geographiedidaktischer Ökologien. In: *Die Erde* 131(1), S. 61-79.
- Lethmate, J. (2007): "Didaktische Rekonstruktion" als Forschungsrahmen der Geographiedidaktik. In: *Geographische Rundschau* 59 (7/8), S. 54-59.
- Lohnert, B. & Schrüfer, G. (2005): Krisenbewältigung in Afrika. Das Konzept der Vulnerabilität als didaktischer Rahmen. In: *Praxis Geographie* 35(6), S. 4-8.
- Luhmann, N. (1984): *Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Mandl, H. & Ballstaedt, S.-P. (1986): Assessment of concept-building in text comprehension. In: Klix, F. & Hagendorf, H. (Hrsg.): *Human memory and cognitive capabilities. Mechanisms and performances*. Amsterdam: North-Holland, S. 861-870.
- Mandl, H., Friedrich, H. & Hron, A. (1988): Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In: Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.): *Wissenspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 123-160.
- Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.) (1988): *Wissenspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Mandl, H. & Fischer, F. (Hrsg.) (2000a): *Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken*. Göttingen: Hogrefe.

- Mandl, H. & Fischer, F. (2000b): Mapping-Techniken in Lern- und Kooperationsprozessen. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hrsg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Göttingen: Hogrefe, S. 3-12.
- Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.) (2000): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Handlungsansätze. Göttingen: Hogrefe.
- Martens, T. (2000): Kognitive und affektive Bedingungen von Umwelthandeln. Berlin: dissertation.de.
- Martens, T. & Rost, J. (1998): Der Zusammenhang von wahrgenommener Bedrohung durch Umweltgefahren und der Ausbildung von Handlungsintentionen. In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie 45(4), S. 345-364.
- Maturana, H. R. & Varela, F. J. (1987): Der Baum der Erkenntnis: die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern, München, Wien: Scherz.
- Mausner, W. (2007): Globaler Wandel und Grenzen des Wachstums. In: Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U. & Reuber, P. (Hrsg.): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg: Spektrum, S. 966-975.
- Maxeiner, D. (1997): Ist der Treibhauseffekt wirklich auf menschlichen Einfluß zurückzuführen? Zweifel sind angebracht. In: Die Zeit 31/1997. [www.zeit.de/1997/31/klima97.txt](http://www.zeit.de/1997/31/klima97.txt). 19970725.xml.
- Mayring, P. (1996): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Mayring, P. (2000a): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 7. Aufl. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Mayring, P. (2000b): Qualitative Inhaltsanalyse. In: Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research 1(2), Art. 20. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0002204>.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. & Behrens, W. W. (1992): Die neuen Grenzen des Wachstums. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Meinefeld, W. (2000): Hypothesen und Vorwissen in der qualitativen Sozialforschung. In: Flick, U., Kardorff, E.v. & Steinke, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbek: Rowohlt, S. 265-275.
- Meixner, J. & Müller, K. (Hrsg.) (2001): Konstruktivistische Schulpraxis. Beispiele für den Unterricht. Neuwied, Kriftel: Luchterhand.
- Meyer, C. (2003): Bedeutung, Wahrnehmung und Bewertung des bilingualen Geographieunterrichts. Studien zum zweisprachigen Erdkundeunterricht (Englisch) in Rheinland-Pfalz. Online-Dissertation Universität Trier. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:385-1928>.
- Ministerium für Kultus und Sport Baden-Württemberg (MKS) (1994): Bildungsplan für das Gymnasium. Kultus und Unterricht, Lehrplanheft 4/1994. Stuttgart. [www.ls-bw.de/bildungsplaene/allgibschulen/lp/bpg9.pdf](http://www.ls-bw.de/bildungsplaene/allgibschulen/lp/bpg9.pdf)
- Müller, M. (2009): Meteoriteneinschläge auf der Erde. Fachliche Konzepte, Schülerperspektiven und didaktische Umsetzung. Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 43. Weingarten: HGD.
- Nerb, J. (2000): Die Bewertung von Umweltschäden. Kognitive und emotionale Folgen von Medienmeldungen. Bern: Huber.
- Niebert, K. (2010): Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 31. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2008): Es wird wärmer, weil mehr Sonne auf die Erde scheint - Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern zum Klimawandel. In: Harms, U. & Sandmann, A. (Hrsg.): Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Essen 2007. Innsbruck, Wien, Bozen: StudienVerlag, S. 141-158.
- Novak, J. (1998): Learning, creating and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. Mahwah, NJ.: Lawrence Erlbaum.
- Novak, J. & Gowin, D. (1984): Learning how to learn. Cambridge: Cambridge University Press.
- Obermann, H. (1997): Umwelterziehung im Fach Geographie – Nöte und Notwendigkeiten. In: Flath, M. & Fuchs, G. (Hrsg.): Umwelterziehung und Geographieunterricht. Gotha, Stuttgart: Klett-Perthes, S. 7-15.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005): Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen – Zusammenfassung. [www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf).
- Österlind, K. (2005): Concept formation in environmental education: 14-year old's work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. In: International Journal of Science Education 27(8), S. 891-908.

- Otto, K.-H. (1997): Umwelthandeln in der Schule. Das Beispiel "Abfall und Entsorgung". Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Otto, K.-H. (2007): Umwelt und Entwicklung. In: Engelhard, K. (Hrsg.): Welt im Wandel. Ein Informations- und Arbeitsheft für die Sekundarstufe II. Stuttgart: Omnia, S. 134-169.
- 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. & Mosbrugger, V. (2006): Das System Erde – Mensch: Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften in Schule und Gesellschaft. In: Geographie heute 27(243), S. 2-7.
- Peters, H. P. & Heinrichs, H. (2005): Öffentliche Kommunikation über Klimawandel und Sturmflutrisiken. Bedeutungskonstruktion durch Experten, Journalisten und Bürger. Jülich: Forschungszentrum Jülich. <http://hdl.handle.net/2128/460>.
- Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. (2008): Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. In: Science 321(5894), S. 1340-1343.
- Piaget, J. (1969): Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde. Stuttgart: Klett.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993): Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. In: Review of Educational Research 63(2), S. 167-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982): Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: Science Education 66(2), S. 211-227.
- Prein, G., Kelle, U. & Kluge, S. (1993): Strategien zur Integration quantitativer und qualitativer Auswertungsverfahren. Arbeitspapiere des SFB 186 Nr. 19. Universität Bremen.
- Rahmstorf, S. (2007): A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. In: Science 315(5810), S. 368-370.
- Rahmstorf, S. & Schellnhuber, H. J. (2007): Der Klimawandel. 5. Aufl. München: C.H. Beck.
- Rayner, S. & Malone, E. (Hrsg.) (1998): Human Choice and Climate Change (4 Bände). Columbus, Ohio: Batelle.
- Reinfried, S. (2006a): Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. Geographie heute 27(243), S. 38-42.
- Reinfried, S. (2006b): Conceptual Change in Physical Geography and Environmental Sciences Through Mental Model Building – The Example of Groundwater. In: International Research in Geographical and Environmental Education 15(1), S. 41-61.
- Reinfried, S. (2006c): Interessen, Vorwissen, Fähigkeiten und Einstellungen von Schülerinnen und Schülern berücksichtigen. In: Haubrich, H. (Hrsg.): Geographie unterrichten lernen – Die neue Didaktik der Geographie konkret. München: Oldenbourg, S. 49-78.
- Reinfried, S. (2006d): Fremd- und Selbstwahrnehmung. In: Haubrich, H. (Hrsg.): Geographie unterrichten lernen – Die neue Didaktik der Geographie konkret. München: Oldenbourg, S. 58-61.
- Reinfried, S. (2006e): Mapping-Verfahren. In: Haubrich, H. (Hrsg.): Geographie unterrichten lernen – Die neue Didaktik der Geographie konkret. München: Oldenbourg, S. 144-145.
- Reinfried, S. (2007a): Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. In: Geographie und Schule 29(168), S. 19-28.
- Reinfried, S. (2007b): Welche Unterrichtsstrategien verändern geographische Alltagsvorstellungen nachweislich? Eine empirische Studie zum Conceptual Change am Beispiel subjektiver Theorien über Grundwasser. In: Geographie und ihre Didaktik 35(1), S. 20-30.
- Reinfried, S. (Hrsg.) (2008): Themenheft Schülervorstellungen. Geographie heute 29(265/266).
- Reinfried, S. (Hrsg.) (2010): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin: Logos.
- Reinfried, S., Schleicher, Y. & Rempfler, A. (Hrsg.) (2007): Geographical Views On Education For Sustainable Development. Proceedings. Lucerne Symposium Switzerland, July 29-31, 2007. Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 42. Weingarten: HGD.
- Reinfried, S., Schuler, S., Aeschbacher, U. & Huber, E. (2008): Der Treibhauseffekt – Folge eines Lochs in der Atmosphäre? Wie Schüler sich ihre Alltagsvorstellungen bewusst machen und sie verändern können. Geographie heute 29(265), S. 24-33.

- Reinfried, S. & Schuler, S. (2009): 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., Aeschbacher, U., Huber, E. & Rottermann, B. (2010a): Den Treibhauseffekt zeigen und erklären. In: Reinfried, S. (Hrsg.): *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion*. Berlin: Logos, S. 123-156.
- Reinfried, S., Rottermann, B., Aeschbacher, U. & Huber, E. (2010b): Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderungen von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie. In: *Geographie und ihre Didaktik* 38(4), S. 218-239.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. 5. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 613-658.
- Rempfler, A. (2007): Moderater Konstruktivismus im Geographieunterricht konkret. In: *Geographie und Schule* 29(168), S. 29-35.
- Rempfler, A. (2009): Systemkompetenz: Forschungsstand und Forschungsfragen. In: *Geographie und ihre Didaktik* 37(2), S. 58-79.
- Rempfler, A. & Uphues, R. (2008): Entwicklung eines domänenpezifischen Kompetenzstruktur- und Kompetenzstufenmodells zur Systemkompetenz in Geographie (unveröff. Manuskript). PHZ Luzern, Universität Erlangen-Nürnberg.
- Renkl, A. (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. In: *Psychologische Rundschau* 47(2), S. 78-92.
- Reuber, P. (2005): Konflikte um Ressourcen. Ein Thema der Politischen Geographie und der Politischen Ökologie. In: *Praxis Geographie* 35(9), S. 4-9.
- Rhode-Jüchtern, T. (2004): Das Klima ist doch auch nur eine Konstruktion! Über eine konstruktivistische Geographiedidaktik in der Lehrerbildung. In: *Praxis Geographie* 34(9), S. 55-57.
- Rhode-Jüchtern, T. (2006): Derselbe Himmel, verschiedene Horizonte. Zehn Werkstücke zu einer Geographiedidaktik der Unterscheidung. Materialien zur Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde, Bd. 18. Wien: Institut für Geographie und Regionalforschung.
- Rhode-Jüchtern, T. (2009): Eckpunkte einer modernen Geographiedidaktik. Hintergrundbegriffe und Denkfiguren. Seelze: Kallmeyer.
- Rhode-Jüchtern, T., Schindler, J. & Schneider, A. (2008): Transfer und Exemplarik. Empirische Illustrationen zum Syndromansatz. In: *Geographie und Schule* 30(176), S. 19-26.
- Riemeier, T. (2005): *Biologie verstehen: Die Zelltheorie*. Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, Bd. 7. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Rieß, W. (2003): Die Kluft zwischen Umweltwissen und Umwelthandeln als pädagogische Herausforderung – Entwicklung und Erprobung eines Prozessmodells zum „Umwelthandeln in alltäglichen Anforderungssituationen“. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9, S. 147-159.
- Rieß, W. (2005): Ökologisches Handeln von Primarschülern: Subjektive Theorien als Ursache für umweltfreundliche wie umweltbelastende Verhaltensweisen. In: Holl-Giese, W. & Schrenk, M. (Hrsg.): *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen*. Hamburg: Kovač, S. 175-198.
- Rieß, W. (2006): Lehr-Lern-Forschung im Rahmen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE). In: Rieß, W. & Apel, H. (Hrsg.): *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – aktuelle Forschungsfelder und Forschungsansätze*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften, S. 17-31.
- Rieß, W. (2010): *Bildung für nachhaltige Entwicklung. Theoretische Analysen und empirische Studien*. Münster u.a.: Waxmann.
- Rieß, W. & Mischo, C. (2008): Evaluationsbericht „Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) an weiterführenden Schulen in Baden-Württemberg“. Maßnahme Lfd. 15 im Aktionsplan Baden-Württemberg. [www2.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/43211/](http://www2.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/43211/).
- Rode, H., Bolscho, D., Dempsey, R. & Rost, J. (2001): *Umwelterziehung in der Schule. Zwischen Anspruch und Wirksamkeit*. Opladen: Leske und Budrich.
- Rost, J. (2002): Umweltbildung – Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? In: *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik* 25(1), S. 7-12.
- Rost, J., Gresele, C. & Martens, T. (2001): *Handeln für die Umwelt – Anwendung einer Theorie*. Münster: Waxmann.

- Rost, J., Lauströer, A. & Raack, N. (2003): Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. In: Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 52(8), S. 10-15.
- Rye, J., Rubba, P. & Wiesenmayer, R. (1997): An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. In: International Journal of Science Education 19(5), S. 527-551.
- Scheele, B. (Hrsg.) (1992): Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Münster: Aschendorff.
- Scheele, B. & Groeben, N. (1984): Die Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT). Eine Dialog-Konsens-Methode zur Erhebung Subjektiver Theorien mittlerer Reichweite. Weinheim: Beltz.
- Scheele, B. & Groeben, N. (1988): Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion Subjektiver Theorien. Tübingen: Francke.
- Scheunpflug, A. (2001): Die globale Perspektive einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Herz, O., Seybold, H. & Strobl, G. (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Globale Perspektiven und neue Kommunikationsmedien. Opladen: Leske und Budrich, S. 87-99.
- Scheunpflug, A. & Schröck, N. (2000): Globales Lernen. Einführung in eine pädagogische Konzeption entwicklungsbezogener Bildung. Stuttgart: Brot für die Welt.
- Schiefele, U. & Heinen, S. (2001): Wissenserwerb und Motivation. In: Rost, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. 2. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 795-799.
- Schindler, J. (2005): Syndromansatz. Ein praktisches Instrument für die Geographiedidaktik. Praxis Neue Kulturgeographie, Bd. 1. Münster: Lit.
- Schmeinck, D. (2007): Wie Kinder die Welt sehen: Eine empirische Ländervergleichsstudie zur räumlichen Vorstellung von Grundschulkindern. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schmidt-Wulffen, W. (1996): Umweltbildung – Antwort auf das Schlüsselproblem der Umweltzerstörung? In: Praxis Geographie 26(7-8), S. 21-23.
- Schmidt-Wulffen, W. (1999): Schüler- und Alltagsweltorientierung im Erdkundeunterricht. Perthes pädagogische Reihe. Gotha: Klett-Perthes.
- Schniotalle, M. (2003): Räumliche Schülervorstellungen zu Europa. Berlin: Tenea.
- Schnotz, W. (1994): Aufbau von Wissensstrukturen. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (1996): Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung. In: Duit, R. & Rhöneck, C. v. (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 11-36.
- Schnotz, W. (2001): Wissenserwerb mit Multimedia. In: Unterrichtswissenschaft 29(4), S. 292-318.
- Schnotz, W. (2006): Conceptual Change. In: Rost, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. 3. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 77-82.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999): Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie 46(3), S. 217-236.
- Schönwiese, C.-D. (2003): Klimatologie. 2. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB).
- Schönwiese, C.-D. (2004): Globaler Klimawandel im Industriezeitalter. Beobachtungsindizien und Ursachen. In: Geographische Rundschau 56(1), S. 4-9.
- Schramke, W. (1999): Concept Mapping. Schüler strukturieren ihr Wissen. In: Praxis Geographie 29(7-8), S. 18-23.
- Schreiber, R. & Schuler, S. (2005): Wege Globalen Lernens unter dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung. In: Praxis Geographie 35(4), S. 4-10.
- Schubert, J. C. (2006): Verstehen durch Verwandeln. Reduktionsstrategien. In: Praxis Geographie 36(7-8), S. 14-17.
- Schuler, S. (2002): Subjektives Wissen über globale Umweltprobleme. In: Seybold, H. & Rieß, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Grundschule. Gmünder Hochschulreihe, Bd. 22. Schwäbisch Gmünd: Pädagogische Hochschule, S. 145-158.
- Schuler, S. (2003): Zur gesellschaftlichen Wahrnehmung des globalen Klimawandels. In: Burger, D., Meurer, M. & Vogt, J. (Hrsg.): Studien zur Geographie und Geoökologie. Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie, Bd. 18. Karlsruhe: Institut für Geographie und Geoökologie, S. 133-144.
- Schuler, S. (2004a): Alltagstheorien von Schülerinnen und Schülern zum globalen Klimawandel. In: Kroß, E. (Hrsg.): Globales Lernen im Geographieunterricht – Erziehung zu einer nachhaltigen Entwicklung. Geographiedidaktische Forschungen, Bd. 38. Nürnberg: HGD, S. 123-145.

- Schuler, S. (2004b): Alltagstheorien über den globalen Klimawandel. Eine empirische Untersuchung von Schülervorstellungen. In: Praxis Geographie 34(11), S. 42-43.
- Schuler, S. (2005): Umweltwissen als Subjektive Theorie. Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In: Schrenk, M. & Holl-Giese, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg: Kovač, S. 97-112.
- Schuler, S. (2009): Schülervorstellungen zu Bedrohung und Verwundbarkeit durch den globalen Klimawandel. In: Geographie und ihre Didaktik 37(1), S. 1-28.
- Schuler, S. (2010): Wie entstehen Schülervorstellungen? – Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen am Beispiel des globalen Klimawandels. In: Reinfried, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin: Logos, S. 157-188.
- Seitz, K. (2002): Bildung in der Weltgesellschaft. Gesellschaftstheoretische Grundlagen Globalen Lernens. Frankfurt a. M.: Brandes & Apsel.
- Seitz, K. (2008): Klimawandel in den Köpfen – Zur Rolle des Globalen Lernens in der „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. In: VENRO (Hrsg.): Jahrbuch Globales Lernen 2007/2008 – Standortbestimmung, Praxisbeispiele, Perspektiven. Bielefeld: Welthaus Bielefeld.
- Seybold, H. (1997): Umweltbildung unter dem Anspruch nachhaltiger Entwicklung – Aufgaben und didaktisch-methodische Konsequenzen. In: Flath, M. & Fuchs, G. (Hrsg.): Umwelterziehung und Geographieunterricht. Gotha: Klett-Perthes, S. 16-28.
- Seybold, H. (2001): Leitbilder nachhaltiger Entwicklung und ihre Bedeutung für Globales Lernen. In: Herz, O., Seybold, H. & Strobl, G. (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Globale Perspektiven und neue Kommunikationsmedien. Opladen: Leske und Budrich, S. 65-76.
- Seybold, H. & Rieß, W. (2005): Von der Umweltbildung zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung? Erhebung des Ist-Standes an baden-württembergischen Grundschulen. In: Holl-Giese, W. & Schrenk, M. (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg: Kovač, S. 215-234.
- Stark, R. (2002): Conceptual Change: kognitivistisch oder kontextualistisch? Forschungsbericht Nr. 149. München: Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Ludwig-Maximilian-Universität.
- Stark, R. (2003): Conceptual Change: kognitiv oder situiert? In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 17(2), S. 133-144.
- Stehr, N. (1999): „Mastering“ the Global Commons. In: Storch, H. von & Flöser, G. (Hrsg.): Anthropogenic Climate Change. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 257-280.
- Stehr, N. & Storch, H. von (1995): The Social Construct of Climate and Climate Change. Climate Research 5, S. 99-105.
- Stehr, N. & Storch, H. von (1999): Klima, Wetter, Mensch. München: Beck.
- Steiner, G. (1988): Analoge Repräsentationen. In: Mandl, H. & Spada, H.: Wissenspsychologie. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Stern, N. (2006): Stern Review on the economics of climate change. Cambridge.  
[http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm).
- Strauss, A. (1998): Grundlagen qualitativer Sozialforschung: Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen soziologischen Forschung. 2. Aufl. München: Fink.
- Transfer-21 (Hrsg.) (2007): Orientierungshilfe Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I. Begründungen, Kompetenzen, Lernangebote. Berlin: Freie Universität.  
[www.transfer-21.de/daten/materialien/Orientierungshilfe/Orientierungshilfe\\_Kompetenzen.pdf](http://www.transfer-21.de/daten/materialien/Orientierungshilfe/Orientierungshilfe_Kompetenzen.pdf).
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2004): Fluorierte Treibhausgase in Produkten und Verfahren. Technische Maßnahmen zum Klimaschutz. Berlin: UBA.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2008): Kipp-Punkte im Klimasystem. Welche Gefahren drohen? Dessau: UBA.  
[www.umweltbundesamt.de/publikationen/fpdf-l/3283.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fpdf-l/3283.pdf).
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2009): Copenhagen Accord. Bonn: UNFCCC.  
[http://unfccc.int/meetings/cop\\_15/items/5257.php](http://unfccc.int/meetings/cop_15/items/5257.php).
- Vankan, L., Rohwer, G. & Schuler, S. (2007): Diercke Methoden – Denken lernen mit Geographie. Braunschweig: Westermann.

- Vosniadou, S. (1994): Capturing and modelling the process of conceptual change. In: *Learning and Instruction* 4(1), S. 45-69.
- Vosniadou, S. (Hrsg.) (2008): *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. (1992): Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. In: *Cognitive Psychology* 24(4), S. 535-585.
- Vosniadou, S. (1999): Conceptual Change Research: State of the Art and Future Directions. In: Schnotz, W., Vosniadou, S. & Carretero, M. (Hrsg.): *New Perspectives on Conceptual Change*. Amsterdam: Pergamon, S. 3-13.
- Wahl, D. (1991): Handeln unter Druck. Der weite Weg vom Wissen zum Handeln bei Lehrern, Hochschullehrern und Erwachsenenbildnern. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Wahl, D. (2002): Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln? In: *Zeitschrift für Pädagogik* 48(2), S. 227-241.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994): Research on Alternative Conceptions in Science. In: Gabel, D. (Hrsg.): *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, S. 177-210.
- Weichhart, P. (2005): Auf der Suche nach der „dritten Säule“. Gibt es Wege von der Rhetorik zur Pragmatik? In: Müller-Mahn, D. & Wardenga, U. (Hrsg.): *Möglichkeiten und Grenzen integrativer Forschungsansätze in Physischer und Humangeographie*. Forum IFL, Bd. 2. Leipzig: IFL, S. 109-136.
- Weingart, P., Engels, A. & Pansegrau, P. (2002): Von der Hypothese zur Katastrophe. Der anthropogene Klimawandel im Diskurs zwischen Wissenschaft, Politik und Massenmedien. Opladen: Leske und Budrich.
- Weischet, W. & Endlicher, W. (2008): *Einführung in die Allgemeine Klimatologie*. 7. Aufl. Berlin, Stuttgart: Gebr. Borntraeger.
- Wender, K. (1988): Semantische Netze als Bestandteil gedächtnispsychologischer Theorien. In: Mandl, H. & Spada, H. (Hrsg.): *Wissenspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 55-73.
- Widodo, A. & Duit, R. (2005): Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 11, S. 131-146.
- Wieser, C. (2008): Beziehungen zwischen Lebenswelt und Lernen – eine Untersuchung zu Semantik, Verwendung und Problemen einer zentralen Denkfigur der Geographiedidaktik. In: Dobler, K., Jekel, T. & Pichler, H. (Hrsg.): *Kind : macht : raum*. Heidelberg: Wichmann, S. 134-153.
- Wilhelmi, V. (2004): Vom Umweltbewusstsein zum Umweltverhalten – Unterrichtsstrategien auf dem Prüfstand. In: *Geographie und Schule* 26(152), S. 31-37.
- Wilhelmi, V. (2006): Nachhaltigkeit und Umwelterziehung – Leitbilder des Geographieunterrichts. In: *Praxis Geographie* 36(2), S. 4-8
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002): Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen. Göttingen: Hogrefe.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (1996): *Welt im Wandel – Herausforderung für die deutsche Wissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (1997): *Welt im Wandel – Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2001): *Welt im Wandel – Neue Strukturen globaler Umweltpolitik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2003): *Über Kioto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert*. Sondergutachten. Berlin: WBGU.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2005): *Welt im Wandel – Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2008): *Welt im Wandel – Sicherheitsrisiko Klimawandel*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2009): *Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz*. Berlin: WBGU.
- Witzel, A. (1985): Das problemzentrierte Interview. In: Jüttermann, G. (Hrsg.): *Qualitative Forschung in der Psychologie*. Weinheim: Beltz, S. 227-255.

- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 1(1), Art. 22. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0001228>.
- Wollnik, C. (2002): Mind Maps und Concept Maps. In: *Praxis Geographie* 32(11), S. 12-16.
- Wygotski, L. (1964): *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Zierhofer, W. (1998): *Umweltforschung und Öffentlichkeit. Das Waldsterben und die kommunikativen Leistungen von Wissenschaft und Massenmedien*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Zwick, M. & Renn, O. (Hrsg.) (2002): *Wahrnehmung und Bewertung von Risiken. Arbeitsberichte der TA-Akademie Nr. 202*. Stuttgart: TA-Akademie, S. 120-135.

# Bochumer Geographische Arbeiten (BGA)

— seit 1967 —

herausgegeben vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum

begründet von Peter Schöller, Schriftleitung: Frank Dickmann

Europäischer Universitätsverlag / Bochumer Universitätsverlag

ISSN 0523-798X

- 1 Bochum und das mittlere Ruhrgebiet (vergriffen), ISBN 978-3-506711-81-6
- 2 Fritz-Wilhelm Achilles: Hafenstandorte und Hafenfunktionen im Rhein-Ruhr-Gebiet (vergriffen)
- 3 Alois Mayr: Ahlen in Westfalen (vergriffen). Als Band 2 der "Quellen und Studien zur Geschichte der Stadt Ahlen" (Selbstverlag der Stadt Ahlen) noch erhältlich. Halbleinen 2,50 €
- 4 Horst Förster: Die funktionale und soziogeographische Gliederung der Mainzer Innenstadt. 1969, 94 S., 21 Abb., 42 Tab., 4 Bildtafeln, 4 beigegebene Karten (davon 2 farbig). Kartoniert 2,50 €
- 5 Heinz Heineberg: Wirtschaftsgeographische Strukturwandlungen auf den Shetland-Inseln. 1969, 142 S., 27 Tab., 54 einzelne Karten und Diagramme, 10 Bilder. Kartoniert 2,50 € ISBN 978-3506711-85-4
- 6 Dietrich Kühne: Malaysia - Ethnische, soziale und wirtschaftliche Strukturen. 1970, 286 S., 23 Abb. und Karten. Kartoniert (vergriffen)
- 7 Zur 50. Wiederkehr des Gründungstages der Geologischen Gesellschaft zu Bochum. (Festschrift mit 6 Beiträgen), 1970, 80 S., 41 Abb., 7 Karten. Kartoniert 2,50 € ISBN 978-3-506711-87-8
- 8 Hanns Jürgen Buchholz: Formen städtischen Lebens im Ruhrgebiet - untersucht an sechs stadtgeographischen Beispielen. 1970, 100 S., 9 Farbkarten, 17 Abb., 16 Bilder, 51 Tab. Kartoniert (vergriffen)
- 9 Franz-Josef Schulte-Althoff: Studien zur politischen Wissenschaftsgeschichte der deutschen Geographie im Zeitalter des Imperialismus. 1971, 250 S., (vergriffen)
- 10 Lothar Finke: Die Verwertbarkeit der Bodenschätzungsergebnisse für die Landschaftsökologie, dargestellt am Beispiel der Briloner Hochfläche. 1971, 104 S., 5 Abb., 16 Tab., 6 Karten. Kartoniert 2,50 €
- 11 Gert Duckwitz: Kleinstädte an Nahe, Glan und Alsenz. Ein historisch-geographischer, wirtschafts- und siedlungsgeographischer Beitrag zur regionalen Kulturlandschaftsforschung. 1971, 172 S., 23 Tab., 48 Karten und Diagramme. Kartoniert (vergriffen)
- 12 Hans-Winfried Lauffs: Regionale Entwicklungsplanung in Südbrasilien. Am Beispiel des Rio dos Sinos-Gebietes. 1972, 232 S., 27 Tab., 27 Abb., 2 Farbkarten. Kartoniert (vergriffen)
- 13 Ländliche Problemgebiete. Beiträge zur Geographie der Agrarwirtschaft in Europa. 1972, 208 S., 30 Abb. Kartoniert (vergriffen)
- 14 Peter Schöller, Hans H. Blotevogel, Hanns J. Buchholz, Manfred Hommel: Bibliographie zur Stadtgeographie. 1973, 158 S. Kartoniert (vergriffen)
- 15 Liberia 1971. Ergebnisse einer Studienbereisung durch ein tropisches Entwicklungsland. Von K. Hottes, H. Liedtke, J. Blenck, B. Gerlach, G. Grundmann, H.H. Hilsinger, H. Wiertz. 1973, 170 S., 11 Tab., 53 Abb. Kartoniert (vergriffen) ISBN 978-3931128-07-4
- 16 Trends in Urban Geography. Reports on Research in Major Language Areas. Edited by Peter Schöller. 1973, 75 S., 4 Tab., 6 Abb. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506711-96-2

- 17 Manfred Hommel: Zentrenausrichtung in mehrkernigen Verdichtungsräumen an Beispielen aus dem rheinisch-westfälischen Industrie-Gebiet. 1974, XII, 186 S., 82 Tab., 23 Karten und Diagramme. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71197-0
- 18 Hans Heinrich Blotevogel: Zentrale Orte und Raumbeziehungen in Westfalen vor der Industrialisierung (1780-1850). 1975, X, 268 S., 13 Tab., 63 Abb. Gebunden 2,50 € ISBN 978-3402058-76-3
- 19 Hans-Ulrich Weber: Formen räumlicher Integration in der Textilindustrie der EWG. 1975, XII, 114 S., 45 Abb., 28 Tab. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71199-7
- 20 Klaus Brand: Räumliche Differenzierungen des Bildungsverhaltens in Nordrhein-Westfalen. 1975, XI, 167 S., 15 Abb., 31 Tab., 16 Karten. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71200-4
- 21 Winfried Flüchter: Neulandgewinnung und Industrieansiedlungen vor den japanischen Küsten. Funktionen, Strukturen und Auswirkungen der Aufschüttungsgebiete (umetate-chi). 1975, XII, 192 S., 28 Abb., 16 Tab., 8 Bilder. Kartonierte (vergriffen) ISBN 978-3-506-71201-1
- 22 Karl-Heinz Schmidt: Geomorphologische Untersuchungen in Karstgebieten des Bergisch-Sauerländischen Gebirges. Ein Beitrag zur Tertiärmorphologie im Rheinischen Schiefergebirge. 1975, XII, 170 S., 24 Abb., 17 Tab., 1 Karte, Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71202-0
- 23 Horst-Heiner Hilsinger: Das Flughafen-Umland. Eine wirtschaftsgeographische Untersuchung an ausgewählten Beispielen im westlichen Europa. 1976, 152 S., 9 Tab., 13 Fotos und Luftbilder. Kartonierte 2,50 €
- 24 Niels Gutschow: Die japanische Burgstadt. 1976, 138 S., zahlreiche Tab., Abb., Fotos und Karten. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71204-7
- 25 Arnhild Scholten: Länderbeschreibung und Länderkunde im islamischen Kulturraum des 10. Jahrhunderts. Ein geographischer Beitrag zur Erforschung länderkundlicher Konzeptionen. 1976, 148 S., 4 Abb., 3 kartographische Skizzen. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71205-5
- 26 Fritz Becker: Neuordnungen ländlicher Siedlungen in der Bundesrepublik Deutschland. 1976, 120 S., 23 Tab., 13 Karten, 8 Abb. Kartonierte (vergriffen) ISBN 978-3506712-06-6
- 27 Werner Rutz: Indonesien - Verkehrserschließung seiner Außeninseln. 1976, 182 S., 62 Tab., 16 mehrfarbige Karten, 2 Graphiken. Kartonierte (vergriffen)
- 28 Wolfgang Linke: Frühes Bauerntum und geographische Umwelt. Eine historisch-geographische Untersuchung des Früh- und Mittelneolithikums westfälischer und nordhessischer Bördenlandschaften. 1976, 205 S., 14 Tab., 9 Verbreitungskarten, 93 Karten mit Katalog. Kartonierte 2,50 € ISBN 978-3506712-08-0
- 29 Dorothee Hain: Velbert - ein kontaktbestimmter Wirtschaftsraum. 1977, 228 S., 57 Tab., 12 Abb., 37 Karten. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71209-8
- 30 Bernhard Butzin: Die Entwicklung Finnisch-Lapplands. Ansatz zu einem Modell des regionalen Wandels. 1977, 190 S., 43 Tab., 64 Abb., 1 Übersichtskarte. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71210-1
- 31 Heinz-Josef Gramsch: Die Entwicklung des Siegtales im jüngsten Tertiär und im Quartär. 1978, 196 S., 30 Tab., 35 Abb. Kartonierte 2,50 € ISBN 978-3506712-11-0
- 32 Anne-Marie Meyer zu Düttingdorf: Klimaschwankungen im maritimen und kontinentalen Raum Europas seit 1871. 1978, 140 S., 16 Tab., 128 Abb. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71212-8
- 33 Herbert Kersting: Industrie in der Standortgemeinschaft neuer Binnenhäfen. 1978, 200 S., 47 Tab., 25 Abb. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71213-6
- 34 Wilfried Dege: Zentralörtliche Beziehungen über Staatsgrenzen. Untersucht im südlichen Oberrheingebiet. 1979, 184 S., 18 Tab., 10 Karten im Anhang. Kartonierte 2,50 € ISBN 3-506-71214-4

- 35 Johannes Karte: Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. 1979, 226 S., 23 Abb., 27 tabell. Übersichten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71215-2
- 36 Wilhelm Kuttler: Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkungen auf potentielle Erholungsgebiete. 1979, 129 S., 26 Tab., 39 Abb., 1 Karte. Kartoniert (vergriffen)
- 37 Otto Sporbeck: Bergbaubedingte Veränderungen des physischen Nutzungspotentials. Dargestellt am Beispiel des linksrheinischen Braunkohlenreviers. 1979, 202 S., 24 Tab., 41 Abb., 19 Karten im Anhang, 4 Deckblätter. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71217-9
- 38 Peter Schölller, Willi Walter Puls, Hanns J. Buchholz (eds.): Federal Republic of Germany. Spatial Development and Problems. 1980, 68 S., 22 Tab., 40 Abb. Kartoniert (vergriffen) ISBN 978-3-506-71218-9
- 39 Karlheinz Hottes and F.E.I. Hamilton (ed.): Case Studies in Industrial Geography. 1980. 147 S., 28 Tab., 25 Abb. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71219-5
- 40 Herbert Liedtke (Hrsg.): Beiträge zur Glazialmorphologie und zum periglaziären Formenschatz. 1981, 140 S., 4 Tab., 60 Abb., 5 Bilder. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71220-9
- 41 Manfred Hommel: Die Bedeutung der Industrial Estates als Entwicklungs- und Planungsinstrument für industrielle Problemgebiete: Das Beispiel Schottland. 1983, 144 S., 26 Tab., 34 Abb., 17 Karten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71251-9
- 42 Detlef Schreiber, Karlheinz Hottes (Hrsg.): Stausee Kernade. Geographische Beiträge im interdisziplinären Forschungsprojekt der Ruhr-Universität Bochum. 1982, 131 S., 32 Tab., 39 Abb., 10 Karten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71252-7
- 43 Günter R. Janhofer: Problemklima Südkalifornien. Klimakartierung der westlichen USA nach dem Verfahren von Schreiber. 1983, 120 S., 12 Tab., 48 Abb., 1 Farbkarte. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71253-5
- 44 Hans-Jürgen Klink und Herbert Liedtke (eds.): Physical Geography in the Federal Republic of Germany. 1984, 93 S., 14 Tab., 34 Abb., 1 Farbkarte. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71254-3
- 45 Rainer Glawion: Die natürliche Vegetation Islands als Ausdruck des ökologischen Raumpotentials. 1985, 220 S., 72 Tab., 56 Abb., 6 Karten im Anhang (davon 5 farbig). Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71255-1
- 46 Werner Herzog: Kartographie und Bürgerbeteiligung im Rahmen der vorbereitenden Bauleitplanung. Empirische Untersuchungen zur kartographischen Kommunikation. 1986, 180 S., 21 Tab., 40 Abb. und Fotos, 16 Übersichten, 7 farbige Beilagen. Kartoniert 2,50 € ISBN 978-3506712-56-1
- 47 Wilhelm Kuttler: Raum-zeitliche Analyse atmosphärischer Spurenstoffeinträge in Mitteleuropa. 1986, 220 S., 56 Tab., 159 Abb. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71257-8
- 48 Rolf Heyer: Funktionswandel innerstädtischer grünbestimmter Freiräume in deutschen Großstädten. 1987, 254 S., 33 Tab., 74 Abb., 22 Karten im Anhang. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71258-6
- 49 Thomas Littmann: Jungquartäre Ökosystemveränderungen und Klimaschwankungen in den Trockengebieten Amerikas und Afrikas. 1988, 223 S., 8 Tab., 22 Abb., 4 Karten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71259-4
- 50 Rolf Heyer und Manfred Hommel (Hrsg.): Stadt und Kulturraum. Peter Schölller zum Gedenken. 1989, 247 S., 26 Tab., 8 Fotos, 30 Karten, 2 Übersichten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71260-8
- 51 Horst Förster und Bronislaw Kortus (Hrsg./eds.): Sozialgeographische Probleme der Agglomerationen von Krakau und Oberschlesien / Social Geographical Problems of the Cracow and Upper Silesia Agglomerations. 1989, 178 S., 31 Tab., 32 Diagramme, 6 Fotos, 30 Karten im Text, 1 mehrfarbige Karte als Beilage. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71261-6

- 52 Winfried Flüchter: Hochschulstandorte und Bildungsverhalten unter Aspekten der Raumordnung in Japan. 1990, 277 S., 48 Tab., 40 Abb., davon 15 Farbkarten im Anhang. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71262-4
- 53 Peter Reinirkens: - Siedlungsböden im Ruhrgebiet - Bedeutung und Klassifikation im urban-industriellen Ökosystem Bochums. 1991, 146 S., 29 Tab., 32 Abb., 3 Karten. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71263-2
- 54 Harald Mark: Karststudien in Thailand. 1991, 162 S., 8 Tab., 65 Abb., davon 22 Katten, 26 Photos. Kartoniert 2,50 € ISBN 3-506-71264-0
- 55 Eberhard Kroß: Die Barriadas von Lima - Stadtentwicklungsprozesse in einer lateinamerikanischen Metropole. 1992, 415 S., zahlreiche Karten, Photos und Tab. Kartoniert 49,- € ISBN 3-506-71265-9
- 56 Rainer Glawion: Waldökosysteme in den Olympic Mountains und im pazifischen Nordwesten Nordamerikas. Geoökologisch-vegetations-geographische Analysen und Bewertungen. 1993, 145 S., 28 Abb., 27 Tab. Kartoniert 21,- € ISBN 3-506-71266-7
- 57 Jürgen Schewe: Touristische Stadtkarten: raumbezogene Informations- und Werbemittel im Städtetourismus. 1992, 153 S., 65 Abb., darunter zahlreiche Kartenausschnitte, 19 Tab. Kartoniert 21,- € ISBN 3-506-71267-5
- 58 Heiner Dürr und Jürgen Gramke (Hrsg.): Das Ruhrgebiet im Wandel - Regionales Erbe und Gestaltung für die Zukunft. Festschrift zum 49.Deutschen Geographentag Bochum. 1993, 207 S., 57 Abb., 8 Tab. Kartoniert 17,50 € ISBN 3-506-71268-3
- 59 Thomas Littmann: Immissionsbelastung durch Schwebstaub und Spurenstoffe im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands. 1994, 147 S., 90 Abb., 10 Tab. Kartoniert 21,- € ISBN 3-925143-60-2
- 60 Ulrike Grabski-Kieron: Leitziele der Landschaftspflege für die Agrarlandschaft Brandenburgs- Beiträge zur ländlichen Entwicklung im Raum Königs Wusterhausen. 1995, 143 S., 29 Abb., 20 Karten (darunter 2 mehrfarbig), 29 Tab. Kartoniert 22,50 € ISBN 3-925143-61-0
- 61 Thomas Held: Stoffhaushaltliche Untersuchungen in Kleingärten der Stadt Witten/Ruhr mit besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. 1996, 152 S., 58 Abb., 79 Tab. Kartoniert 19,- € ISBN 3-925143-62-9
- 62 Jürgen Herget: Die Flußentwicklung des Lippetals. 1997, 144 S., 9 Tab., 26 Abb., 25 Karten. Kartoniert 19,- € ISBN 3-925143-63-7
- 63 Andreas Pflitsch: Untersuchung der räumlichen Repräsentanz lokaler Windverhältnisse für die Ausbreitung von Stäuben im Nahbereich bodennaher Emissionsquellen. Bochum. 1998, 118 S., 1 CD ROM, 8 Karten nur auf CD, 21 Abb. nur auf CD, 28 Tab. Kartoniert 19,50 € ISBN 978-3925143-64-9
- 64 Elmar Jasper: Verkehrspolitik in Heidelberg. Die politisch-administrative Bearbeitung des Verkehrsproblems in Deutschlands "Bundeshauptstadt für Natur- und Umweltschutz 1996/1997" 1998, 94 S., 11 Abb., 2 Tab. Kartoniert 12,50 € ISBN 3-925143-65-3
- 65 Jürgen Steinrücke: Changes in the Northern Hemispheric Zonal Circulation in the Atlantic-European Sector since 1881 and their Relationship to Precipitation Frequencies in the Mediterranean and Central Europe. 1998, 137 S., 60 Abb., 37 Tab., 22 Katten. Kartoniert 19,- € ISBN 3-925143-66-1
- 66 Benedikt M. Rey: Piktogramme und ihre Bedeutung in der Kartographie. 1999. 120 S., 29 Abb., 13 Tab., 17 Diagramme. Kartoniert i 6,- € ISBN 978-3925143-67-0
- 67 Dirk Bronger: Lhasa. Vom Zentrum des Tibetischen Buddhismus zu einem Chinesischen Regionalzentrum. Historische, strukturelle und funktionale Entwicklung 633-1998 n. Chr.. 2001. 103 S., 23 Abb., 10 Figuren., 3 Tab., 20 Fotos. Kartoniert 15,- € ISBN 3-925143-68-8
- 68 Monika Bürger: Windrelevante Reliefklassifizierung. Parametrisierung des Orographieeinfluss-

ses auf mesoskalige Strömungsfelder als Grundlage einer windklimatologisch relevanten Orographietypisierung. 2002. 137 S., 68 Abb., 5 Karten, 63 Tab. Kartoniert 17,- € ISBN 3-925143-69-6

- 69 Lutz Trettin: Abfallwirtschaft und informeller Sektor in der City of Calcutta. Struktur, Funktionsweise und Verwundbarkeit des Entsorgungssystems einer südasiatischen Metropole. 2002. 221 S., 54 Abb., 26 Karten, 16 Tab. Kartoniert 9,- € (vergriffen) ISBN 978-3925143-70-0
- 70 Stefan Harnischmacher: Fluvialmorphologische Untersuchungen an kleinen, naturnahen Fließgewässern in Nordrhein - Westfalen – eine empirische Studie. 2002. 318 S., 215 Abb., 29 Karten, 4 Fotos, 30 Tab. Kartoniert 15,- € ISBN 3-925143-71-8
- 71 Antje Tönnis: Neue Nachhaltigkeit im Wald Deutsche und kanadische Forstwirtschaft zwischen weltweiten Verhandlungen und Projekten vor Ort. 2004. 152 S., 45 Abb., 10 Tab. Kartoniert 10,- € ISBN 3-925143-72-6
- 72 Markus Schwabe: Ein Neues Stadtmodell für die Postindustrielle Stadt? Eine sozialräumliche Untersuchung französischer Städte. 2005. 244 S., 160 Abb. teilweise farbig, 31 Tab. Kartoniert 12,- €. ISBN 978-3925143-73-1
- 73 Michael Dohlen: Ein Stoffbilanzierung in urbanen Waldökosystemen der Stadt Bochum. 2006. 162 S., 53 Abb. teilweise farbig, 46 Tab. Kartoniert 12,- € ISBN 3-925143-74-2
- 74 Angela Hof: Land Use Change and Land Cover Assessment in Grazing Reserves in Northwest Nigeria--A Geographical Analysis Based an Remote Sensing and Geographic Information Science. 2006. 124 S., 49 Abb. teilweise farbig, 32 Tab. Kartoniert 10,- € ISBN 3-925143-75-0
- 75 Armin Hartmann: Aktivierung von Altstandorten für den Wohnungsbau. Nachhaltige Flächenbewirtschaftung am Beispiel der ehemaligen Seilwerke "Puth" in Hattingen. 2006. 117 S., 46 Abb., 29 Karten, 6 Tab., 25 Fotos. Kartoniert 9,- €
- 76 Peter Chiffard: Der Einfluss des Reliefs, der Hangsedimente und der Bodenvorfeuchte auf die Abflussbildung im Mittelgebirge - Experimentelle Prozess-Studien im Sauerland. 2006. 172 S., 99 Abb. teilweise farbig, 38 Tab., 6 Fotos. Kartoniert 11,- € ISBN 3-925143-77-7
- 77 Markus Oster: Ein neues dynamisches Visualisierungssystem zur Online- und Offlinepräsentation interaktiver 3D-Geländemodelle, 2007. 88 S., 1 CD-ROM, Broschiert 9,- €, ISBN 978-3-925143-78-6
- 78 Stephan Schuler: Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels – Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive, 2011, iv, 398 S., farbige Abb., Broschiert 49,- €, ISBN 978-3-89966-367-9

Bestellungen: Ruhr-Universität Bochum, Postfach Bochumer Universitätsverlag, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, verlag@rub.de, <http://verlag.rub.de>, Tel. (0234) 32-11993, Fax -14993.

# Materialien zur Raumordnung (MzR)

— seit 1969 —

herausgegeben vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum

begründet von Karlheinz Hottes, Schriftleitung: Carsten Jürgens

Europäischer Universitätsverlag / Bochumer Universitätsverlag

ISSN 2192-5577

- 1 Karlheinz Hottes und Dietrich Kühne: Verkehrsfeld Lünen/Nord. 1969. 75 S.
- 2 Karlheinz Hottes und Dietrich Kühne: Die Verkehrsfelder Lünen West und Süd. 1969. 71 S.
- 3 Karlheinz Hottes und Hanns Jürgen Buchholz: Stadtbahntrassen und Citystruktur in Bochum. 1970 (vergriffen)
- 4 Traute Weinzierl: Raumordnende Flurbereinigungsmaßnahmen in Fremdenverkehrsgebieten. 1970. 80 S.
- 5 Karlheinz Hottes und Josef Niggemann: Flurbereinigung als Ordnungsaufgabe. 1971 (vergriffen)
- 6 Jean-Claude Marandon: Der kombinierte Güterverkehr Schiene/Straße in der BRD als Faktor der Industrieansiedlung. 1973 (vergriffen)
- 7 Karlheinz Hottes und Günter Grundmann: Bewertung der Flächennutzung im Gebiet südlich des Hauptbahnhofes Bochum. 1972 (vergriffen)
- 8 Karlheinz Hottes und Fritz Becker: Wört - Eine ländliche Gemeinde im strukturräumlichen Entwicklungsprozeß Ostwürttembergs. 1973. 1,- €. 58 S.
- 9 Hanns Jürgen Buchholz, Heinz Heineberg, Alois Mayr und Peter Schöller: Modelle kommunaler und regionaler Neugliederung im Rhein-Ruhr-Wupper-Ballungsgebiet und die Zukunft der Stadt Hattingen. 1971. 1,- €. 135 S.
- 10 Karlheinz Hottes, Hanns Jürgen Buchholz und Manfred Hieret: Bochum-Gerthe. Analyse und Vorschläge zur Entwicklung. 1972 (vergriffen)
- 11 Karlheinz Hottes und Fritz Becker: Langenberg im bergisch-märkischen Grenzsäum. 1972 (vergriffen)
- 12 Karlheinz Hottes und Horst H. Hilsinger: Die Verkehrsfelder Lünen-Ost. 1972. (vergriffen) 1,- €. 66 S.
- 13 Peter Michael Pötke: Retirement und Tourismus an der Westküste Floridas. 1973. 1,- €. 225 S.
- 14 Karlheinz Hottes, Rainer Teubert und Wilhelm von Kürten: Die Flurbereinigung als Instrument aktiver Landschaftspflege. 1974 (vergriffen)
- 15 Dietrich Badewitz: Der Odenwaldkreis - ein Wirtschaftsraum? Zum Problem der Abgrenzung von Wirtschaftsräumen. 1974. 1,- €. 99 S.
- 16 Karlheinz Hottes, Fritz Becker und Josef Niggemann: Flurbereinigung als Instrument der Siedlungsneuordnung. 1975 (vergriffen)
- 17 Herbert Becher, Gabriele Erpenbeck, Wilhelm Dahl, Ernst Zieris, Karlheinz Hottes, Uwe Meyer: Integration ausländischer Arbeitnehmer. Siedlungs-, Wohnungs-, Freizeitwesen. 1977 (vergriffen)

- 18 Karlheinz Hottes, Rainer Teubert: Vertriebene und Flüchtlinge im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet. 1977 (vergriffen)
- 19 Bernd Hupfeld: Der Flughafen Düsseldorf als ein Zentrum des Luftfrachtverkehrs. 1978 (vergriffen)
- 20 Franz-Josef Paus und Sabine Rhode-Doetsch: Abgrabungen als Raumordnungsproblem im Regierungsbezirk Düsseldorf. 1978 (vergriffen)
- 21 Robert Marks: Ökologische Landschaftsanalyse und Landschaftsbewertung als Aufgaben der Angewandten Physischen Geographie dargestellt am Beispiel der Räume Zwiesel/Falkenstein (Bayer. Wald) und Nettetal (Niederrh.). 1979 (vergriffen)
- 22 Reinhold E. Lob, Hans-Werner Wehling: Die Nutzungsstruktur des Essener Innenstadt. 1980 (vergriffen)
- 23 Walter Ziegler: Privatisierte Wohnkolonien. Beispiele aus dem Ruhrgebiet. 1983 (vergriffen)
- 24 Hannelore Wiertz: Prinzipien innerstädtischer Gliederung von Madras. Ansätze zu einer planerischen Bestandsaufnahme. 1983. 1,- €. 326 S.
- 25 Wilhelm Kuttler und Detlef Schreiber (Hrsg.): Stadt- und geländeklimatische Untersuchungen im südlichen Münsterland. 1984. 1,- €. 134 S.
- 26 Derek R. Diamond, Karlheinz Hottes, Wu-Chuan-chun (eds.): Regional Planning in Different Political Systems. The Chinese Setting. 1984. 1, €
- 27 Karlheinz Hottes und Harald Uhlig (Hrsg.): Probleme der Entwicklungsländerforschung in Süd- und Südostasien. 1984. 1,- €. 251 S.
- 28 Peter Schöller (Hrsg.): Auswirkungen der kommunalen Neugliederung, dargestellt an Beispielen aus Nordrhein-Westfalen. 1984. 1,- €. 265 S.
- 29 Jürgen Dodt, Hans Friedrich Gorki, Werner Herzog, Heinz Pape, Angela Schöppner: Bibliographie zur Stadtkartographie - A Bibliography of Urban Cartography. 1985. 1,- €. 187 S.
- 30 Wolfgang Schulte: Florenanalyse und Raumbewertung im Bochumer Stadtbereich. 1985 (vergriffen) ISBN 978-3925143-00-7
- 31 Ralf-Rainer Braun, Wolfgang M. Kaerkes: Bibliographie zur Stadtökologie und ökologischen Stadtplanung. 1985. 1,- €. 303 S. ISBN 3-925143-01-7.
- 32 Karlheinz Hottes, Egbert Wever, Hans-Ulrich Weber (eds.): Technology and Industrial Change in Europe. 1986. 1,- €. 150 S. ISBN 3-925143-02-5
- 33 Hans-Peter Noll: Bergbau und Umwelt. Eine Auswahlbibliographie zur Nordwanderung des Ruhrbergbaus. 1987. 75 S. 1,- € ISBN 3-925143-03-3
- 34 Frank Erzner: Die Stellung Bochums und Dortmunds im Interaktionsfeld des Flughafens Düsseldorf. 1987. 1,- €. 83 S. ISBN 3-925143-04-1
- 35 Wolfgang M. Kaerkes: Zur ökologischen Bedeutung urbaner Freiflächen - dargestellt an Beispielen aus dem mittleren Ruhrgebiet. 1987. 1,- €. 346 S. ISBN 3-925143-05-X
- 36 Angela Schöppner: Urlaub auf dem Bauernhof. Eine fremdenverkehrsgeographische Untersuchung. 1988 (vergriffen). ISBN 3-925143-08-4
- 37 Peter M. Klecker: Die Geomorphologische Detailkartierung des Blattes 3520 Loccum - EDV-gestützte Auswertung und Anwendung in der ökologischen Planung. 1989 (vergriffen). ISBN 978-3-925143-09-0
- 38 Fritz Becker und Karlheinz Hottes (Hrsg.): Stadtrandentwicklungen in Indien: Planung, Ausbau, Wandel. 1989. ISBN 3-925143-05-1

- 39 Jai-Han Kim: Die Auswirkungen der Grenzziehung auf die Grenzgebiete - ein Vergleich zwischen Südkorea und der Bundesrepublik Deutschland. 1990. 1,- €. ISBN 3-925143-10-6
- 40 Karlheinz Hottes und Horst Förster (Hrsg.): Bergbau und Regionalentwicklung in Nordamerika. 1991. 1,-€. 181 S. ISBN 3-925143-10-6
- 41 Wolfgang Beckröge: Dreidimensionaler Aufbau der städtischen Wärmeinsel am Beispiel der Stadt Dortmund. 1990 (vergriffen). ISBN 3-925143-11-4
- 42 Barbara Laaser: Konzentrationsgradienten von Pflanzennährstoffen im Kontaktbereich von Äckern und Auen. 1992. 1,- €. ISBN 3-925143-12-2
- 43 Gert Duckwitz und Horst-Jürgen Wienen (Hrsg.): Städtische Lebensverhältnisse im Spiegel der Bürgermeinung. 1990 (vergriffen). ISBN 3-925143-13-0
- 44 Jürgen Steinrücke: Atmosphärischer Eintrag von Nähr- und Schadstoffen in einem Naturschutzgebiet im ländlichen Raum. 1991. 152 S. (vergriffen) ISBN 3-925143-14-9
- 45 Karsten Schreiber: Das Navajogebiet und seine Institutionen im Umbruch der Industrialisierung. 1991. 1,- €. 227 S. ISBN 3-925143-15-7
- 46 Volker Duddek: Kompostierung organischer Garten- und Haushaltsrückstände. Konzept zur Einführung der Biotonne - dargestellt am Beispiel der Stadt Gelsenkirchen. 1994. 7,- € ISBN 3-925143-16-5
- 47 Henry Bakis, Karlheinz Hottes und Hans-Ulrich Weber (ed.): Telecommunications and emerging spatial and economic organisation. 1995. 6,50 € ISBN 3-925143-17-3
- 48 Andreas Bendig: Ökologische Bewertung von Hochwasserrückhaltebecken am Beispiel von zwei Standorten im Ruhrgebiet. 1995. 7,- € ISBN 3-925143-18-1
- 49 Thomas Held & Jürgen Herget: Forum Angewandte Geographie: "Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung". 1997 (vergriffen). ISBN 978-3925143-19-9
- 50 Bernhard Butzin: Zur Zukunft des Ruhrgebiets. Materialien einer Spurensuche. 1998
- 51 Klaus Pirke: "Ohne Drähte läuft da sowieso nichts..." Mieterinteressen und Partizipation in der Erneuerung denkmalwerter Arbeitersiedlungen des Ruhrgebiets. 1998. 7,50 € ISBN 3-925143-21-1
- 52 Jürgen Herget & Thomas. Held: Forum Angewandte Geographie: "Fließgewässerrenaturierung". 1998. 102 S. (vergriffen) ISBN 3-925143-22-X
- 53 Tanja Runkel: Die Entwicklung eines Informationssystems zur Niederschlagsversickerung am Beispiel der Stadt Wuppertal". 1999. 6,50 € ISBN 3-925143-23-8
- 54 Katja Holzmüller, Harald Zepp, Reinhold Müller, Michael Jung: Landschaftsökologische Untersuchungen im Bergischen Freilichtmuseum. 1999. 4,50 € ISBN 3-925143-25-4
- 55 Otto Sporbeck, Jörg Borkenhagen, Klaus Müller-Pfannenstiel, Josef Lüchtemeier: Leitfaden für Umweltverträglichkeitsstudien zu Straßenbauvorhaben. 1999. 8,- € ISBN 3-925143-26-2
- 56 Sebastian Kisters: „Ruhrpott, Ruhrpott!". Wie die Europapokaltrumphe von Schalke 04 und Borussia Dortmund Image und Identität des Ruhrgebiets veränderten. 2000. 6,50 € ISBN 3-925143-27-0
- 57 Stefan Waluga, Thomas Held, Jürgen Herget: Forum Angewandte Geographie: „GIS in der Praxis". 2000. 5,- €
- 58 Volker Hecht & Christian Weis: Border Crossings in Southern Africa. Regional Development through Economic Integretion and Road Transport Strategies. 2001. 6,50 € ISBN 3-925143-29-7

- 59 Britta Freis & Marlon Jopp: Messen und Verstehen in der Wissenschaft. 2001. 7,50 €.  
ISBN 3-925143-30-0
- 60 Johannes Immanuel Wamser: Mumbai - Standort für deutsche Firmen? Analyse und Bewertung der indischen Megastadt Bombay als „globales“ Investitionsziel deutscher Unternehmer. 2002. 7,- €. ISBN 978-3925143-31-1
- 61 Johannes Flacke, Thomas Held & Jürgen Herget: Forum Angewandte Geographie: „Lokale Agenda 21“ 2002. 5,- €. ISBN 978-3925143-32-8
- 62 Khanh Hung Duong: Regionalentwicklung in Vietnam: Ausmaß und Dynamik des regionalen Entwicklungsgefälles in den 90er Jahren. 2003. 7,50 € ISBN 3-925143-33-5
- 63 Jürgen Dodt, H. Mark, G. Ruppel: Kriegsbedingte Kontaminationsanteile auf altlastverdächtigen Altstandorten. Ein praxisbezogener Erfassungsansatz bei Standortrecherchen. 2003. 6,50 €. ISBN 3-925143-35-1
- 64 Stefan Harnischmacher, Jürgen Herget & Thomas Held: Forum Angewandte Geographie: "EU-Wasserrahmenrichtlinien". 2005 . 7,- €. ISBN 3-925143-37-8
- 65 Erstellt vom: Öko-Zentrum NRW Hamm. Arbeiten im Park. Anspruch und Realität qualitätsorientierter Gewerbeflächenentwicklung. Evaluation des Modellvorhabens des Grundstücksfonds Nordrhein-Westfalen anhand von 19 Projekten des Brachflächenrecyclings. 2005.8,- € ISBN 3-925143-36-X
- 66 Bernhard Butzin, Peter Noll: Sustainable Brownfield Regeneration in Europe. Improving the quality of derelict land recycling. 2005. 6,-€ ISBN 3-925143-38-6
- 67 Jana Eglitis, Elmar Schulte-Tigges: Lokale „Livelihoods“ und Ökotourismus. Beispiele aus West-Zambia- Potenziale und Konflikte. 2005.8,- € ISBN 3-925143-39-4
- 68 Thomas Oversteeg: Transparenz und Nachvollziehbarkeit durch Wissensmanagement an einem Beispiel aus der Essener Wirtschaftsförderung (EWG). 2005. 6,- € ISBN 3-925143-40-8
- 69 Meerha Choa: Selbstgenutztes Wohneigentum im Bestand als Strategie für die Aufwertung innerstädtischer Altbauquartiere in den neuen Bundesländern Dargestellt am Beispiel Selbstnutzerprogramm in Leipzig). 2007. 6,- € ISBN 978-3-925143-41-0
- 70 Otto, Karl-Heinz (Hg.): Industriewald als Baustein postindustrieller Stadtlandschaften - Interdisziplinäre Ansätze aus Theorie und Praxis am Beispiel des Ruhrgebiets. 2007. 7,- € ISBN 978-3-925143-42-7
- 71 Anne Dailly Hamdorf & Marion Gnanko Geisler: Landminen-Auswirkungen auf Gesellschaften in Entwicklungsländern. Mit den Fallbeispielen Afghanistan und Mozambique. 2007. 10,- € ISBN 978-3-925143-43-4
- 72 Judith M. Heering: Multitemporale Luftbilddauswertung zur Dokumentation und Analyse der Entwicklung postindustrieller Vegetation am Beispiel des Industriewaldstandortes Rheinelbe. 2008. 87 S., 1 CD-ROM, 9,- € ISBN 978-3-925143-44-1
- 73 Martin Chan, Frank Dickmann: „Virtuelle Exkursionen“ im Internet. Die Nutzung frei zugänglicher Software für die Visualisierung räumlicher Informationen auf interaktiven Webseiten. 2010. 88 S., 9,- € ISBN 978-3-925143-45-8
- 74 Harald Zepp (Hg.): Oberflächenabdichtung nach dem Boden-Natur-Dichtungssystem (BND-System) auf der Zentraldeponie Castrop-Rauxel, 2010, 285 S., zahlr. s/w Abb., 10,- € ISBN 978-3-89966-365-5

Bestellungen: Ruhr-Universität Bochum, Postfach Bochumer Universitätsverlag, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, verlag@rub.de, <http://verlag.rub.de>, Tel. (0234) 32-11993, Fax -14993.

# Bochumer Geographische Arbeiten. Sonderreihe (BGAS)

— seit 1973 —

herausgegeben vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum

begründet von Peter Schöller, Schriftleitung: Frank Dickmann

Europäischer Universitätsverlag / Bochumer Universitätsverlag

ISSN 0342-2089

- 1 Wilhelm von Kürten: Landschaftsstruktur und Naherholungsräume im Ruhrgebiet und in seinen Randzonen. 1973, 320 S., 12 Tab., 47 Abb. und Karten (teils mehrfarbig und großformatig). Gebunden (vergriffen) ISBN 978-3506712-21-9
- 2 Julius Hesemann: Geologie Nordrhein-Westfalens. 1975, 416 S., 119 Tab., 225 Abb. Gebunden 2,50 €. ISBN 978-3506712-22-6
- 3 Detlef Schreiber: Entwurf einer Klimaeinteilung für landwirtschaftliche Belange. 1973, 104 S., 20 Abb., 13 teils mehrfarbige Karten im Anhang. Kartoniert 2,50 €. ISBN 978-3931128-50-0
- 4 Werner Mikus: Verkehrszellen. Beiträge zur verkehrsräumlichen Gliederung am Beispiel des Güterverkehrs der Großindustrie ausgewählter EG-Länder. 1974, 192 S., 15 Tab., 35 Abb., 25 Karten. Kartoniert 2,50 €. ISBN 3-506-71224-1
- 5 Dirk Bronger: Formen räumlicher Verflechtung von Regionen in Andhra Pradesh/Indien als Grundlage einer Entwicklungsplanung. Ein Beitrag der Angewandten Geographie zur Entwicklungsländerforschung. 1976, 268 S., 43 Tab., 43 Karten (teils mehrfarbig und großformatig), 10 Figuren und Diagramme. Gebunden 2,50 €. ISBN 978-3506712-25-7
- 6 Karlheinz Hottes und P. Michael Pötke: Ausländische Arbeitnehmer im Ruhrgebiet und im Bergisch-Märkischen Land. Eine bevölkerungsgeographische Studie. 1977, 110 S. und 114 S. Anhang, 83 Tab., 20 Abb., 64 Karten. Kartoniert 2,50 €. ISBN 3-506-71226-8
- 7 Heinz Pape: Er Riad. Stadtgeographie und Stadtkartographie der Hauptstadt Saudi-Arabiens. 1977, 150 S., 47 Abb., 16 Tab., 8 Fotos, 5 Kartenbeilagen im Anhang. Kartoniert 2,50 €. ISBN 978-3931128-54-8
- 8 Jürgen Dodt und Alois Mayr (Hrsg.): Bochum im Luftbild (vergriffen) ISBN 3-506-71228-4
- 9 Heinz Heineberg: Zentren in West- und Ost-Berlin. Untersuchungen zum Problem der Erfassung und Bewertung großstädtischer funktionaler Zentrenausstattungen in beiden Wirtschafts- und Gesellschaftssystemen Deutschlands. 1977 (vergriffen) ISBN 978-3506712-29-5
- 10 Hanns Jürgen Buchholz: Bevölkerungsmobilität und Wohnverhalten im sozialgeographischen Gefüge Hong Kongs. 1978 (vergriffen) ISBN 978-3506712-31-8
- 11 Horst Förster: Nordböhmen. Raumbewertungen und Kulturlandschaftsprozesse 1918-1970. 1978, 208 S., 41 Abb., 75 Tab., 2 Figuren, 3 Tafeln. Kartoniert (vergriffen) ISBN 978-3506712-32-5
- 12 Jean-Claude Marandon: Auslandsinvestitionen. Räumliche Verteilung und räumliche Auswirkung von ausländischen Industrieansiedlungen in Belgien, Frankreich, Süditalien und in der Bundesrepublik Deutschland. 1983, 184 S., 55 Abb., 71 Tab., 24 Fotos. Kartoniert 2,50 €. ISBN 3-506-71233-0
- 13 Dieter Glatthaar & Jürgen Herget (Hrsg.): "Physische Geographie und Landeskunde - Festschrift für Herbert Liedtke. 1998, 154 S. Kartoniert 12,50 €. ISBN 3-925143-24-6
- 14 Thomas Schmitt (Hrsg.): Themen, Trends und Thesen der Stadt- und Landschaftsökologie- Festschrift für Hans-Jürgen Klink. 2003, 159 S. Kartoniert 15,00 € ISBN 3-925143-34-3