

# **Verständnisentwicklung zum Kohlenstoffkreislauf durch Schulbuchinhalte**

Lehr-Lern-Forschung nach dem Modell der  
Didaktischen Rekonstruktion

Der Philosophischen Fakultät  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Philosophie (Dr. phil.)  
genehmigte Dissertation

von Detlef Eckebrecht  
geboren am 24.07.1955 in Asendorf

2013

Referent: Professor Dr. Harald Gropengießer

Korreferent: Professor Dr. Ulrich Kattmann

Tag der Promotion: 20.11.2013

## Zusammenfassung

Schulbücher sind nach wie vor ein Leitmedium für den Unterricht. Um herauszufinden, wie verständlich sie für Lernende sind, muss geklärt sein, was unter Verstehen durch die Lernenden verstanden werden soll. Lernen wird hier aufgefasst als die Entwicklung von fachlich angemessenen Vorstellungen mithilfe des angebotenen Lernmaterials zu einem Lerngegenstand. Das Schulbuch soll Lernenden ermöglichen, verfügbare Vorstellungen zu erweitern, zu ergänzen oder zu revidieren.

Diese Auffassung von Lernen steht im Einklang mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997, Gropengießer 2001). Den theoretischen Rahmen für die Untersuchung des Lernens mit dem Schulbuch bilden drei Theorien: Aus der Perspektive des Konstruktivismus ist Lernen die Bildung von Vorstellungen durch den Lernenden (Reich 2005). Vorstellungen können nicht weitergegeben oder übernommen werden, sondern sie sind das Ergebnis individueller mentaler Prozesse. Der (revidierte) Conceptual Change-Ansatz nimmt die Veränderung von Vorstellungen in den Blick (Strike & Posner 1992). Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson 1999) stellt die Bedeutung von Erfahrungen beim Lernen heraus, die in der Verwendung von Metaphern erkennbar wird.

Auf dieser Grundlage werden die Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern zum Kohlenstoffkreislauf untersucht und insbesondere, welche Vorstellungen die Lernenden bei der Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt entwickeln. Der Kohlenstoffkreislauf wurde exemplarisch gewählt als ein Thema, das sowohl durch seine gesellschaftliche Bedeutung im Zusammenhang mit Klimaveränderungen als auch durch seine inhaltliche Komplexität typisch ist für viele Inhalte des Unterrichts in der gymnasialen Oberstufe. Die Konzepte von Wissenschaftlern zum Kohlenstoffkreislauf wurden im Rahmen einer Reanalyse zweier Untersuchungen ermittelt (Hildebrandt 2006; Niebert 2010). Vier Lernern (18 Jahre) wurde in einer Interviewstudie jeweils ein Schulbuchinhalt vorgelegt. Die Phase des Lauten Denkens bei der Auseinandersetzung mit dem Material und das retrospektive Interview zu vorher verfügbaren Vorstellungen zum Lerngegenstand wurden videographiert und dann mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet (Mayring 2003; Gropengießer 2001, 2005).

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Lernenden mit den getesteten Schulbuchinhalten ihr Verständnis vom Kohlenstoffkreislauf erweitern konnten. In allen Fällen wurden jedoch auch lernhinderliche Eigenschaften des Materials erkannt. Teilweise wurde die Bildung fachlich angemessener Vorstellungen dadurch behindert, dass Text und Abbildung verschiedene Schemata an die Lerner herangetragen. Auch manche Fachtermini erwiesen sich als missleitend bzw. konnten von den Lernenden nicht angemessen von einem früheren Kontext auf den Kohlenstoffkreislauf übertragen werden. Es hat sich erwiesen, dass die Lernwirkungen der Schulbuchinhalte sehr differenziert aus der Perspektive der Lernenden untersucht werden kann. Deren Einbeziehung in die Entwicklung von Lernmaterial könnte zu einer Optimierung beitragen.

Schlagwörter: Schulbuchverständlichkeit, Modell der didaktischen Rekonstruktion, Kohlenstoffkreislauf

## Abstract

Textbooks are still a key medium for teaching and learning. To find out how understandable they are for learners, it should be clarified what is meant by understanding by the learners. Learning is here understood as the development of appropriate subject specific expert concepts using the offered learning material. The textbook should enable learners to extend existing concepts to supplement or revise.

This view on learning is consistent with the model of Educational Reconstruction (Kattmann et al., 1997, Gropengießer 2001). The theoretical framework for the study of learning with textbooks draws on three theories: From the perspective of constructivism, learning is the formation of concepts by the learner (Reich 2005). Concepts can not be passed or adopted, but they are the results of individual mental processes. The (revised) conceptual change approach focuses on alteration of concepts ( Posner et al. , 1982). Experimentalism (Lakoff & Johnson 1999) emphasizes the importance of experience for learning, which can be traced in the use of metaphors.

On this basis the concepts of students and researchers are investigated for carbon cycle and, in particular, what concepts learners develop in dealing with the textbook content. The carbon cycle was exemplarily chosen as a topic, because its social significance in the context of climate change and its complexity is typical of much of the content of the secondary school. The concepts of researchers to the carbon cycle were determined by reanalysing two studies (Hildebrandt 2006; Niebert 2010). Each of the four learners (18 years) was presented a textbook content in an interview study. The phase of thinking aloud in dealing with the material and the retrospective interview about pre-existing concepts about the subject to be learned were videotaped and then analyzed using qualitative content analysis (Mayring 2003; Gropengießer 2001, 2005).

The investigation has shown that learners were able to expand their understanding of the carbon cycle with the textbook content tested. In all cases, however, hindering properties of the material have been detected. In part, the formation of scientifically appropriate schemata was hampered by the fact that in text and illustration different schemata were presented to the learner. Also, some technical terms proved to be misdirecting and could not be transferred by the learner properly from a previous context on the carbon cycle. It has been shown that the learning effects of textbook content can be examined from the perspective of the learner in a sophisticated way. Their inclusion in the development of learning material could contribute to optimization.

Keywords: Textbook understandability, model of educational reconstruction, carbon cycle

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Fragestellung der Untersuchung .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung.....</b>	<b>11</b>
3.1	Schulbuchforschung.....	11
3.1.1	Kategorisierung der Untersuchungen zur Schulbuchforschung .....	11
3.1.2	Schulbuchbeurteilung.....	15
3.2	Verstehens- und Verständlichkeitsforschung.....	16
3.2.1	Forschung zur Textverständlichkeit .....	16
3.2.2	Forschung zur Bildverständlichkeit .....	17
3.2.3	Forschung zur Text-Bild-Verschränkung .....	18
3.2.4	Verständlichkeitsforschung im theoretischen Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion .....	18
3.3	Fazit .....	19
<b>4</b>	<b>Theoretischer Rahmen .....</b>	<b>21</b>
4.1	Konstruktivistische Grundlagen des Lernens.....	21
4.2	Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens.....	22
4.3	Der Conceptual Change-Ansatz .....	24
4.4	Verständlichkeit von Texten und Abbildungen .....	25
4.4.1	Grundbegriffe zum Thema Verstehen und Verständlichkeit.....	25
4.4.2	Textverständlichkeit.....	27
4.4.3	Verständlichkeit von Abbildungen.....	30
4.4.4	Text-Bild-Verschränkung .....	33
4.5	Zusammenfassung.....	36
<b>5</b>	<b>Das Untersuchungsdesign .....</b>	<b>39</b>
5.1	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsprogramm .....	39
5.1.1	Fachliche Klärung .....	40
5.1.2	Erfassen der Lernervorstellungen.....	40
5.1.3	Didaktische Strukturierung .....	40
5.2	Die Qualitative Inhaltsanalyse als methodisches Werkzeug .....	42
5.2.1	Aspekte der Qualitativen Inhaltsanalyse.....	42
5.2.2	Angemessenheit der Methoden zur Datenerhebung.....	43
5.3	Ermittlung der Verständlichkeit der Schulbuchinhalte .....	43
5.4	Zusammenfassung.....	43
<b>6</b>	<b>Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf – Fachliche Klärung.....</b>	<b>45</b>
6.1	Vorgehensweise und Quellen.....	45
6.2	Fachlich geklärte Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf .....	46
6.2.1	Vorstellungen zu den Kohlenstoffspeichern.....	47
6.2.2	Vorstellungen zu den Kohlenstoffflüssen.....	49
6.2.3	Gleichgewicht bei Zu- und Abflüssen eines Speichers .....	52
6.2.4	Von Kohlenstoffflüssen zum Kohlenstoffkreislauf .....	52
6.2.5	Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf .....	55
6.2.6	Folgen erhöhter CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Atmosphäre.....	56
6.3	Zusammenfassung.....	57

<b>7</b>	<b>Schulbuchinhalte zum Kohlenstoffkreislauf .....</b>	<b>61</b>
7.1	Schulbuchinhalte als didaktische Struktur .....	61
7.1.1	Lehrbuchinhalte als Grundlage für die Entstehung von Schulbuchinhalten.....	61
7.1.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Biologiebüchern für die gymnasiale Oberstufe .....	64
7.2	Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele .....	64
7.2.1	Fragestellungen .....	64
7.2.2	Methodisches Vorgehen.....	65
7.2.3	Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele .....	73
7.3.	Zusammenfassung.....	97
7.3.1	Untersuchung der dargestellten Inhalte.....	97
7.3.2	Aus dem Material abgeleitete Hypothesen zur Verständlichkeit .....	100
<b>8</b>	<b>Methoden zur Evaluation der Lernwirkung .....</b>	<b>103</b>
8.1	Erfassen von Vorstellungen, die Lernende bei der Bearbeitung von Schulbuchinhalten entwickeln .....	103
8.1.1	Fragestellungen .....	103
8.1.2	Methodisches Vorgehen.....	103
8.2	Maßnahmen zur Qualitätssicherung .....	109
<b>9</b>	<b>Lernervorstellungen im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Schulbuchinhalten.....</b>	<b>111</b>
9.1	Vorstellungen der einzelnen Lerner und deren Veränderung.....	111
9.1.1	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 1 .....	111
9.1.2	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 2 .....	118
9.1.3	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 3 .....	124
9.1.4	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 4 .....	131
9.2	Fazit.....	139
<b>10</b>	<b>Verständlichkeit der Schulbuchinhalte aus fachdidaktischer Perspektive.....</b>	<b>143</b>
10.1	Erfassen von lernfördernden und -hemmenden Eigenschaften von Schulbuchinhalten .....	143
10.1.1	Fragestellungen dieses Untersuchungsteils .....	143
10.1.2	Methodisches Vorgehen.....	143
10.1.3	Maßnahmen zur Qualitätssicherung .....	145
10.2	Verständlichkeit der einzelnen Schulbuchauszüge .....	145
10.2.1	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 1 .....	145
10.2.2	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 2.....	164
10.2.3	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 3.....	171
10.2.4	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 4.....	178
10.3	Fazit .....	184
<b>11.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>187</b>
11.1	Reflexion des theoretischen Rahmens .....	187
11.2	Reflexion des methodischen Vorgehens .....	188
11.3	Reflexion der Untersuchungsergebnisse .....	189
11.4	Empfehlungen für die Schulbuchentwicklung .....	189
11.5	Relevanz für die (biologiedidaktische) Lehr-Lern-Forschung .....	192
<b>12</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>193</b>
	<b>Ausführliches Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>200</b>

*Es gibt Bücher, durch welche man alles erfährt und doch zuletzt von der Sache nichts begreift.*

*Johann Wolfgang von Goethe*

## **1 Einleitung**

Das Schulbuch gilt als selbstverständlicher Begleiter des Unterrichts. Lehrer und Schüler unterscheiden sich sowohl prinzipiell als auch individuell stark in seinem Gebrauch (Weber 1992). Während Lernende mehr oder weniger regelmäßig das eingeführte Schulbuch zur Vor- und Nachbereitung des Lernstoffs, während des Unterrichts oder zum Lernen für schriftliche Arbeiten nutzen, verwenden Lehrer häufig mehrere verschiedene Schulbücher zur Unterrichtsvorbereitung oder zur Gestaltung von Unterrichtsmaterialien. In den Fokus der Lehrkräfte gerät das Buch insbesondere bei der Entscheidung über die Neueinführung eines neuen Lehrwerkes. Kriterien wie inhaltliche Vollständigkeit im Rahmen des geltenden Lehrplans, passende Reihung der Einzelthemen, Angebote an Unterrichtsmaterial und Experimenten spielen eine wichtige Rolle für die Entscheidung. Und natürlich die Verständlichkeit. Verständlichkeit wird in dieser Arbeit verstanden als Verständlichkeit für die Lernenden, und zwar in dem Sinne, „dass sie von der Sache etwas begreifen“ wie Goethe sagt, also dass sie über die angezielten Vorstellungen verfügen.

Auch aus Sicht eines Schulbuchredakteurs spielen die genannten Kriterien eine Rolle. Gemeinsam mit Autoren aus der Schulpraxis – Lehrkräften, Fachleitern, Didaktikern und Naturwissenschaftlern aus dem universitären Bereich – wird um Formulierungen gerungen, um ein für Schüler gut verständliches Werk zu schaffen. Doch wie wird dieses entscheidende Gütekriterium geprüft? In aller Regel geschieht dies durch Vorhersagen der Beteiligten, beim Entwickeln ebenso wie bei der Entscheidung für oder wider ein Schulbuch. Professionelle Unterstützung sollten Lehrer und Schulbuchautoren eigentlich aus dem Bereich der akademischen Schulbuchforschung erwarten dürfen. Recherchen allerdings haben ergeben, dass nur wenige Publikationen zur Verständlichkeit von Schulbüchern vorliegen (vgl. Groeben & Christmann 1989, 1996; Leitner 2008). Der größte Teil der Veröffentlichungen zur Schulbuchforschung ist mit anderen Themen befasst, z.B. der gesellschaftlichen Zuweisung von Geschlechterrollen (sog. genderstudies) oder zur Sichtweise auf andere Kulturen in Geographiebüchern etc. (vgl. Wiater 2003). Die meisten Veröffentlichungen zur Verständlichkeitsforschung enthalten Ergebnisse zur Anwendung aus der Theorie abgeleiteter Kriterien auf die untersuchten Materialien. Teilweise werden daraus theoretisch begründet Vorhersagen abgeleitet, die von Expertengruppen in empirieorientierten Verfahren verwendet werden, um

den Grad der Erfüllung von durch eben diese Experten festgelegten Normen zu prüfen (z.B. AAAS 1993). Dabei fehlt der empirische Befund, welches Verständnis die Schülerinnen und Schüler<sup>1</sup> tatsächlich mit diesen Schulbuchinhalten entwickeln können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Verständlichkeit von Schulbuchinhalten direkt zu untersuchen, das heißt an Lernenden selbst. Im Gegensatz zu den bislang vorliegenden Untersuchungen, zum Beispiel zur allgemeinen Textverständlichkeit (u.a. Sumfleth & Schüttler 1995 und Groeben 1982) oder zur Verständlichkeit von Grafiken (u.a. Seifert, Fischler & Peuckert 1999) oder beidem (u.a. Mayer & Sims 1994), ist Ziel dieses Forschungsvorhabens, die Lernwirkung eines Schulbuchegebots zu einem eng umgrenzten thematischen Inhalt detailliert zu untersuchen.

Im Fokus dieser Arbeit steht die Fähigkeit der Lernenden, ihre Vorstellungen mithilfe des Schulbuchegebots unabhängig von der Hilfestellung durch Lehrkräfte und ohne gezielte Fragestellung den vorherrschenden fachwissenschaftlichen Vorstellungen anzunähern. In einem geeigneten theoretischen Rahmen werden Schüleraussagen ausgewertet, die nach deren Beschäftigung mit Schulbuchinhalten empirisch gewonnen wurden. Soweit möglich sollen aus den Ergebnissen Anhaltspunkte gewonnen werden, die einerseits auf lernförderliche Eigenschaften des Schulbuchinhalts hinweisen und andererseits auf mögliche Lernhürden.

Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen (z. B. Kelterborn 1994, Schneider & Walter 1992, Oehmig 1988) wird ein Untersuchungsdesign gewählt, das auf einem konstruktivistischen Verständnis von Lernenden beruht (Gropengießer 2006). Unter Lernen soll hier die Annäherung von Schülervorstellungen an fachwissenschaftlich als gesichert geltende Vorstellungen verstanden werden. Im Sinne einer prozessorientierten Schulbuchforschung (vgl. Kapitel 3.1) wird der Lernvorgang selbst in den Blick genommen. Die Methode des Lauten Denkens (vgl. Kapitel 8) wird als empirischer Zugang zu Lernervorstellungen und Vorstellungsentwicklungen gewählt, da sie einerseits Einblicke in den Lernvorgang selbst erlaubt und andererseits hilfreich erscheint beim Erkennen von Lernhindernissen und deren Ursachen. Zur Feststellung des Lernfortschritts werden die Probanden direkt im Anschluss an die Beschäftigung mit dem Schulbuchinhalt in einem retrospektiven Interview befragt zu ihren Vorstellungen vom Lerngegenstand vor der Bearbeitung des Schulbuchinhalte und den eingetretenen Veränderungen (siehe Kapitel 8). Grundlage dieses Forschungsansatzes ist das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (siehe Kapitel 5.1), dem die oben genannte Vorstellung von Lernen zugrunde liegt.

Bezüglich der Auswertung wird aus zwei Gründen ein qualitatives Verfahren gewählt. Einerseits wird angestrebt, möglichst detailreich Einblick in den Lernvorgang im Zusammenspiel mit dem Lernangebot zu gewinnen. Andererseits steht die Identifizierung von lernförderlichen und lernhemmenden Eigenschaften des Lernangebots im Vordergrund und nicht deren Häufigkeit.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird in den allgemeinen Ausführungen auf die gleichzeitige Verwendung der männlichen und weiblichen Form aus Gründen der besseren Lesbarkeit verzichtet. Gemeint sind jedoch Personen beiderlei Geschlechts.



Als Lerngegenstand wurde der sogenannte Kohlenstoffkreislauf gewählt. Bei dieser Entscheidung waren mehrere Gesichtspunkte leitend. Es handelt sich um ein in fast allen Bundesländern obligatorisches Lehrplan-Thema. Aus diesem Grund ist es in allen auf dem Markt befindlichen Schulbüchern für die gymnasiale Oberstufe in Deutschland enthalten. Es weist eine relativ hohe Komplexität auf, da es eine Reihe von Vorstellungen zu Teilthemen beinhaltet, wie Fotosynthese, Speicher, Stoffflüsse, Kreislauf, Gleichgewicht, Nahrungsbeziehungen und Stoffumwandlungen. Gedanklich kann es mit einer Vielzahl von Vorstellungen verknüpft werden. Die Zusammenführung dieser Vorstellungen stellt hohe Ansprüche zugleich an die Lernenden und an den Schulbuchinhalt. Zu erwarten ist, dass aufgrund der in dieser Arbeit erhobenen Lernervorstellungen mithilfe der bereichsübergreifenden Interpretation (cross-case-Analyse, Gropengießer 2007) auf verallgemeinerbare Denkwege der Lernenden geschlossen werden kann. Es bietet damit die Möglichkeit, Lernhindernisse zu identifizieren und deren Wirkung zu untersuchen, um so Möglichkeiten erkennbar zu machen, Schulbuchinhalte zu optimieren.

Ziel der Untersuchung ist es, die Wirkung von auf den Kohlenstoffkreislauf bezogenen Schulbuchinhalten auf das Denken von Schülern (gymnasiale Oberstufe, ca. 16–18 Jahre alt) empirisch fundiert und theoriegeleitet zu erfassen. Bei diesem Vorhaben knüpfte ich an die Ergebnisse von Niebert (2010) an, der die auf den Kohlenstoffkreislauf bezogenen Vorstellungen von Wissenschaftlern fachlich geklärt und auf dieser Grundlage die Vorstellungsentwicklung von Lernenden bei der Auseinandersetzung mit dem Thema empirisch erhoben hat.



## 2 Fragestellung der Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die von Schulbuchinhalten zum Thema Kohlenstoffkreislauf ausgehenden Lernwirkungen zu untersuchen. Durch den Vergleich der in den Schulbuchinhalten erkennbaren Konzepte mit den Vorstellungen, die die Lerner bei der Auseinandersetzung mit diesen entwickelt haben kann die Lernwirksamkeit der Schulbuchinhalte geprüft werden. Im Rahmen der Evaluation sollen Elemente identifiziert werden, die das Lernen fördern bzw. dabei hinderlich sind. Soweit möglich sollen aus den Ergebnissen der Untersuchung Empfehlungen abgeleitet werden, die zur Verbesserung der Lernwirksamkeit von Schulbuchinhalten beitragen können. Ein Lernangebot, das während der Untersuchung entstand und einen Teil der Ergebnisse zu den oben genannten Forschungsaufgaben berücksichtigt, wird ebenfalls auf die gleiche Weise untersucht.

Die Untersuchung wird im methodischen Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion durchgeführt (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek 1997; Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann 2012). Angewandt auf den Untersuchungsgegenstand ergeben sich daraus folgende Fragestellungen:

- Über welche Vorstellungen verfügen Lernende zum Thema Kohlenstoffkreislauf?
- Inwieweit enthalten entsprechende Schulbuchangebote von der Scientific Community akzeptierte Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf und welche sind dies?
- In welchem Umfang und auf welche Weise bewirken die Lernangebote eine Veränderung (conceptual change) beziehungsweise Erweiterung (conceptual growth bzw. conceptual reconstruction) der Vorstellungen der Lernenden zum Thema Kohlenstoffkreislauf?
- Welche das Lernen fördernden bzw. hemmenden Eigenschaften weisen Schulbuchinhalte auf?

Das methodische Vorgehen ist den einzelnen Untersuchungsschritten angepasst und wird im jeweiligen Kapitel erläutert.



## **3 Stand der Forschung**

Während die Schulbuchforschung eine fast hundertjährige Tradition aufweist, ist die Verstehensforschung in dem hier gemeinten Sinne eine relativ junge Disziplin. Da es in dieser Arbeit um die Anwendung der Verstehensforschung auf Schulbuchinhalte geht, soll zu beiden Bereichen kurz der Stand dargestellt werden.

### **3.1 Schulbuchforschung**

In der Schulbuchforschung wurde und wird eine Fülle von Fragestellungen untersucht. Schon die Definition des Gegenstandes Schulbuch ist nicht unproblematisch. Klassisch soll hier die Definition von Bamberger genannt werden: „Wir wollen also unter ‚Schulbuch‘ die im Dienste der Jugend methodisch aufbereitete Textart verstehen und fügen die allgemein anerkannte Definition aus dem ‚Brockhaus‘ hinzu: ...‘ Ein eigens für den Schulunterricht erstelltes Lehr- und Arbeitsbuch, das in den Lehrplänen festgelegten Unterrichtsstoff sachgerecht und didaktisch aufbereitet darbietet; dazu gehört, dass es den lerntheoretischen Erkenntnissen entspricht und neben der Sachinformation auch zur Eigenarbeit anleitet“ (Bamberger 1995, 47). Diese Definition enthält einerseits leicht objektiv prüfbare Sachinformationen (eigens für den Schulunterricht erstelltes Lehr- und Arbeitsbuch) und auf der anderen Seite Aussagen, die eher als Zielvorgaben verstanden werden können (Unterrichtsstoff sachgerecht und didaktisch aufbereitet darbietet bzw. lerntheoretischen Kenntnissen entspricht). Außerdem enthält diese Definition nicht eine mögliche politische Dimension (Schulbuch als Politikum, vgl. Höhne 2003). Diese kann auch in einem Schulbuch für den Biologieunterricht in besonderer Weise hervortreten, wie zum Beispiel bei den Themenkomplexen Umwelterziehung, Gentechnik oder Reproduktionsbiologie.

Es gibt eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Thema Schulbuchforschung. Sie lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien systematisieren (vgl. 3.1.1). Bei der Sichtung der Literatur fällt auf, dass überwiegend Schulbücher zu den Fächern Geschichte, Gemeinschaftskunde, Religion und Erdkunde Gegenstand der Forschung sind (Thonhauser & Sams 1998). Den inhaltlichen Schwerpunkt der Arbeiten bilden explizite oder implizite Aspekte zum vermittelten Thema, zum Beispiel die dargestellte Sichtweise auf einzelne Länder in Konfliktsituationen (Beispiel: Stein & Schallenger 1976). Ausgangspunkt der Analyse sind in der Regel nicht empirische und nicht theoriegeleitete Kriterien beziehungsweise Kriterienkataloge, die quantitativ oder qualitativ auf einzelne Schulbücher oder vergleichend auf mehrere Schulbücher für eine bestimmte Zielgruppe angewendet werden. Nicht selten findet eine Bewertung der Schulbücher im Hinblick auf eine vorher definierte Zielsetzung statt. Diese wird häufig aus sozialpolitischen Vorgaben wie z.B. die Förderung von Toleranz abgeleitet.

#### **3.1.1 Kategorisierung der Untersuchungen zur Schulbuchforschung**

Die Vielzahl der unterschiedlichen Ansätze und Fragestellungen im Bereich der Schulbuchforschung lässt eine Systematisierung sinnvoll erscheinen, einerseits zur Orientierung in der Vielzahl der Veröffentlichungen und andererseits zur Einordnung des eigenen Forschungsthemas. Eine mögliche Einteilung orientiert sich an den unterschiedlichen Funktionen, die ein Schulbuch haben kann, z.B. in gesellschaftliche und pädagogisch didaktische Funktionen

(Wiater 2003). Weinbrenner schlägt folgende Einteilung der Schulbuchforschung vor: prozessorientierte, produktorientierte und wirkungsorientierte Schulbuchforschung (Weinbrenner 1995). Sie soll für die folgende Übersicht leitend sein.

### **Prozessorientierte Schulbuchforschung**

Dieser Bereich der Schulbuchforschung kann gegliedert werden nach dem Lebenszyklus von Schulbüchern, von der Entstehung bis zur Aussonderung. Hierzu gehören nach Weinbrenner:

1. Entwicklung des Schulbuches durch Autor(en) und Verlag
2. Zulassungs- und Genehmigungsverfahren
3. Vermarktung des Schulbuchs
4. Einführung des Schulbuchs in der Schule
5. Verwendung des Schulbuchs innerhalb und außerhalb des Unterrichts durch Schüler, Lehrer und Eltern
6. Aussonderung und Vernichtung des Schulbuchs

Die mögliche prägende Wirkung des Schulbuchs auf den Biologieunterricht zeigt eine Untersuchung zum Unterpunkt Verwendung des Schulbuchs. Eine Umfrage unter Biologielehrern in Baden-Württemberg von Weber (1992) ergab, dass 70 % der Lehrer es häufig zur Unterrichtsvorbereitung einsetzen, 65 % lassen ihre Schüler den Unterrichtsstoff anhand des Schulbuchs wiederholen und 94 % gaben an, dass sie es – wenigstens zeitweise – als selbstlehrendes Arbeitsmittel im Unterricht einsetzen (Einzelarbeit, Partnerarbeit, Gruppenarbeit). Auch bei der Nachbereitung von Unterrichtsinhalten wird das Schulbuch häufig von den Lehrkräften eingesetzt (bei 65 % zur Wiederholung, bei 43 % zur Einübung des erarbeiteten Lernstoffs, bei 74 % zur Festigung des Erlernten). Die Ergebnisse unterstreichen die selbstverständlich erscheinende Forderung nach Verständlichkeit der Schulbuchinhalte.

### **Produktorientierte Schulbuchforschung**

In diesen Zusammenhang gehören Untersuchungen, die das Schulbuch als Mittel der visuellen Kommunikation in den Mittelpunkt stellen. Weinbrenner (1995) unterscheidet hier zwischen Längsschnittanalysen (historische Schulbuchforschung) und vergleichender Schulbuchforschung (national und international). Er gliedert die produktorientierte Schulbuchforschung in die Dimensionen Wissenschaftstheorie, Design, Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Erziehungswissenschaft (Abbildung 3.1.1.1).

Weinbrenner verweist darauf, dass der überwiegende Teil der Veröffentlichungen mit Schwerpunkt Sozialwissenschaften in diesen Bereich gehört (Weinbrenner 1995, 25). In diesem Zusammenhang ist das Georg-Eckert-Institut (GEI) für internationale Schulbuchforschung zu nennen. Es definiert seine Ziele auf der eigenen Homepage folgendermaßen: „Im Zentrum der Arbeit steht die international vergleichende Analyse von Wahrnehmungsmustern, Wissensstrukturen und Kompetenzanforderungen in Schulbüchern. Die erkenntnisleitenden Interessen der Forschungen am GEI beziehen sich auf Fragen von Selbst- und Fremdbildern sowie von Inklusion und Exklusion durch Bildung. Schulbücher erweisen sich hierbei als wissenschaftlich, politisch und bildungspraktisch besonders relevante Medien, die wegen ihres verdichteten und kanonischen Charakters singulär sind: Sie definieren nicht nur ‚legitimes Wissen‘ und wünschenswerte Kompetenzen, sondern vermitteln auch staatlich

bzw. gesellschaftlich präferierte Identitätsangebote. Sie sind deshalb immer auch ein Politikum und verweisen auf die Kontexte, in denen sie hergestellt, genutzt und verhandelt werden. Schulbücher können ethnische, kulturelle, religiöse oder politische Konflikte auslösen oder abbilden, zugleich aber auch als Mittel der Konfliktbewältigung und Verständigung dienen.“<sup>2</sup> Folgerichtig stehen bei der Forschungsarbeit des Instituts Geschichts-, Erdkunde- und Sozialkundeschulbücher im Vordergrund. Ein Teil der vom GEI initiierten Untersuchungen gehört in den Bereich der Wirkungsorientierten Schulbuchforschung (s.u. und Abbildung 3.1.1.2). Einen Übersichtsartikel aus dem Bereich **Naturwissenschaften** (Physik) zu Fragestellungen dieses Forschungsbereichs findet man zum Beispiel bei Mikelskis (2008).

<b>Dimensionen</b>	<b>Kategorien</b>
<b>Wissenschaftstheorie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erkenntnisleitende Interessen</li> <li>– Aussagenanalyse</li> <li>– Begriffsbildung</li> <li>– Werturteile</li> <li>– Ideologien</li> </ul>
<b>Design</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Äußeres Design</li> <li>– Typographie</li> <li>– Farbe</li> <li>– Graphik</li> </ul>
<b>Fachwissenschaft (generelle Ebene von Sozialwissenschaften)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sachliche Richtigkeit</li> <li>– Aktueller wissenschaftlicher Diskussionsstand und Paradigmenwechsel</li> <li>– Kontroversität</li> <li>– Methoden</li> </ul>
<b>Fachdidaktik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fachdidaktischer Ansatz</li> <li>– Lernzielorientierung</li> <li>– Strukturierung und Sequenzierung</li> <li>– Reduktion und Transformation</li> <li>– Problemorientierung</li> <li>– Richtlinienbezug</li> </ul>
<b>Erziehungswissenschaft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erziehungswissenschaftliches Paradigma</li> <li>– Schulbuchtyp</li> <li>– Didaktische Funktionen</li> <li>– Methodische Funktionen</li> <li>– Textarten, Textstruktur und Textverständlichkeit</li> <li>– Kommunikations- und Interaktionsformen</li> </ul>

Abb. 3.1.1.1: Dimensionen und Kategorien produktorientierter Schulbuchforschung. (aus: Weinbrenner 1995, 2)

### **Wirkungsorientierte Schulbuchforschung**

Hierzu zählt Weinbrenner einerseits die Erforschung der Wirkungen von Schulbuchinhalten auf Lernende und Lehrer, aber auch gesellschaftliche Wirkungen auf die nationale und internationale Öffentlichkeit (Abbildung 3.1.1.2).

<sup>2</sup> Homepage des Georg-Eckert-Instituts (GEI) [www.gei-de/das-institut.html](http://www.gei-de/das-institut.html) [29.10.2010]

<b>1.</b>	<b>Wirkungen auf den Schüler</b>
<b>1.1</b>	Ist die Darstellung der Themen im Schulbuch der Verständnisebene des Schülers angemessen?
<b>1.2</b>	Werden durch die Art der Darstellung Bedürfnisse, Situation und Interessenlage der Schüler angesprochen? Werden sie durch das Schulbuch motiviert, sich mit den dort dargestellten Sachverhalten auseinanderzusetzen?
<b>1.3</b>	Ist das Schulbuch als Medium zur selbstständigen Aneignung und kritischen Auseinandersetzung mit Sachthemen des Unterrichts geeignet?
<b>2</b>	<b>Wirkungen auf den Lehrer</b>
<b>2.1</b>	Entspricht das Schulbuch der fachlichen sowie der didaktisch-methodischen Intention des Lehrers?
<b>2.2</b>	Ist das Schulbuch für den Lehrer Informationsquelle und Lernmedium?
<b>2.3</b>	Haben die im Schulbuch dargestellten Sachverhalte einen Einfluss auf Einstellungen, Denkgewohnheiten und Verhaltensweisen von Lehrern?
<b>3</b>	<b>Wirkungen auf die Öffentlichkeit</b>
<b>3.1</b>	In welcher Weise wird in der Öffentlichkeit auf bestimmte Schulbücher reagiert? <ul style="list-style-type: none"> <li>– Seitens der Eltern und ihrer Verbände,</li> <li>– seitens der Gewerkschaften und Unternehmerverbände,</li> <li>– seitens der Parteien,</li> <li>– seitens der Massenmedien,</li> <li>– seitens der zuständigen Hochschuldisziplinen?</li> </ul>
<b>3.2</b>	Gibt es öffentliche Stellungnahmen (z.B. „Schulbuchschele“)?
<b>3.3</b>	Wird durch die o.g. Gruppen versucht, Druck auf Lehrer, Kultusminister, Autoren, Verlage usw. auszuüben, Inhalte des Schulbuchs zu verändern, seinen Gebrauch im Unterricht einzuschränken oder ihm die Zulassung zu entziehen?
<b>4.</b>	<b>Wirkungen auf die internationalen Beziehungen</b>
<b>4.1</b>	In welcher Weise werden andere Länder, Völker, Rassen im Schulbuch dargestellt?
<b>4.2</b>	Sind Vorurteile, Ressentiments, Feindbilder und andere Realitätsverzerrungen in diesen Darstellungen erkennbar?
<b>4.3</b>	Ist das Schulbuch geeignet, die Schüler zu Toleranz, Weltoffenheit, internationaler Solidarität und zur Völkerverständigung zu erziehen?

Abb. 3.1.1.2: Wirkungsorientierte Schulbuchforschung (Weinbrenner 1995, 26)

Weinbrenner beschreibt insbesondere die Teilbereiche Wirkungen auf den Schüler und Wirkungen auf den Lehrer innerhalb der wirkungsorientierten Schulbuchforschung als besonders defizitär: „Ob und inwieweit ein Schulbuch von Lehrern und Schülern als Informationsquelle und Lernmedium benutzt werden kann, ob es als interessant und motivierend empfunden wird, ob es in einer schülergemäßen und verständlichen Sprache geschrieben wurde, ob ausreichende Lernhilfen und Benutzerhinweise vorhanden sind – diese und viele andere genuin pädagogische Fragestellungen warten auch innerhalb dieses Forschungstyps noch weitgehend auf eine Bearbeitung“ (Weinbrenner 1995, 25, 26).



### 3.1.2 Schulbuchbeurteilung

Neben Forschungsvorhaben, die der Theoriebildung, -entwicklung und -prüfung dienen, gibt es Untersuchungen, die nicht explizit auf einen theoriegestützten Forschungsrahmen Bezug nehmen. In manchen Arbeiten zum Thema Eigenschaften und Qualität von Unterrichtswerken werden mehrere Kategorien Weinbrenners berührt. In pragmatischen Arbeiten zur Beurteilung von inhaltlichen Aspekten, Wirkungen und möglichen Verwendungsformen des Lehrwerks werden teilweise Schulbuch und Begleitmaterialien gemeinsam untersucht. Wesentliches Argument ist in diesem Zusammenhang die Erkenntnis, dass viele Lehrkräfte, insbesondere solche mit wenig Erfahrung, ihre Unterrichtsplanung und -gestaltung sehr am Lehrwerk orientieren.

In der wohl größten Studie hat die American Association for the Advancement of Science (AAAS) die Qualität von Mathematik- und Biologie-Schulbüchern untersucht und die Ergebnisse im Internet veröffentlicht<sup>3</sup> (vgl. auch Kesidou & Roseman 2002). Umfangreiche Expertengruppen aus Naturwissenschaftlern, Didaktikern, Lehrerausbildern und schulischen Praktikern entwickelten in einer Reihe von Gesprächsrunden eine Liste von Bildungszielen für Mathematik und die drei Naturwissenschaften sowie einen Kriterienkatalog für die Beurteilung der Frage, inwieweit vorhandenes Unterrichtsmaterial für die Erreichung dieser Ziele förderlich ist. „The evaluations' purposes were to examine how well currently available curriculum materials help students to learn important ideas specified in national science and mathematics standards and to identify typical strengths and weaknesses of these materials“ (AAAS 1993). Die Bedeutung der Association for the Advancement of Science liegt auch darin, dass sie zur Verbreitung der Idee der Scientific Literacy als Bildungsziel auch in Deutschland entscheidend beigetragen hat (Eckebrecht & Schneeweiß 2003). Die Übersetzung naturwissenschaftliche Grundbildung gibt nur unzureichend wieder, dass das Verstehen und Anwenden von Gelerntem ausdrücklich einbezogen ist. Zusammengefasst wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

#### **Beurteilung des Stils**

- Sind die Sätze überschaubar und nicht zu lang?
- Ist der Text altersangemessen geschrieben?
- Sind wichtigere und weniger wichtige Informationen klar unterscheidbar?
- Ist der Gebrauch von Fremdwörtern sinnvoll (Vermeidung von Hindernissen beim Verstehen bei gleichzeitigem Ausbau des Wortschatzes)?

#### **Beurteilung der Motivation**

- Lädt der erste Satz zum Weiterlesen ein?
- Zeigt der Text die Relevanz der Inhalte auf?
- Liefert der Text Bezüge zum Schülerleben?
- Wird der Schüler in das Lernen ausdrücklich einbezogen?
- Erhält der Schüler Anleitungen zu eigenem Tun?

#### **Beurteilung der Sachlogik und des didaktischen Aufbaus**

- Enthält der Text eine sinnvolle Reihung von Lernfortschritten?
- Werden die Teilschritte dem Schüler deutlich gemacht (Zwischenüberschriften)?

#### **Beurteilung der Gestaltung**

- Ist die Seite optisch einladend gestaltet?
- Sind Fotos und Grafiken ansprechend?
- Sind Bezüge zwischen Texten und Abbildungen klar erkennbar?

---

<sup>3</sup> American Association for the Advancement of Science AAAS Project 2061 Textbook Evaluations: High School Biology Textbooks: A Benchmarks-Based Evaluation. Project 2061 Analysis Procedure, Criteria Used in Evaluating the Textbooks' Quality of Instructional Support. Internet [12.09.2010]

Im Sinne der Kategorisierung Weinbrenners (Weinbrenner 1995) werden hier überwiegend produkt-, aber auch wirkungsorientierte Kategorien untersucht. Zur Prüfung dieser Kriterien wurde ein Verfahren zur Beurteilung von Schulbüchern und Begleitmaterialien entwickelt. Kern dieses Verfahrens war eine Liste von Kriterien mit jeweils einer Reihe von Indikatoren für ihre Berücksichtigung, mit deren Hilfe bei ausgewählten Themen beurteilt wurde, inwieweit ein bestimmtes Lehrwerk den vorher definierten Bildungszielen dient. Jedes Werk wurde parallel von vier Teams aus zwei Personen unabhängig voneinander analysiert. Voneinander abweichende Beurteilungen der beteiligten acht Personen wurden unter Mitwirkung eines Project 2061-Mitarbeiters diskutiert. Als Ergebnis erhielt man einstimmig abgegebene Bewertungen. Das angegebene konsensorientierte Verfahren sollte zu weitgehend verlässlichen Beurteilungen führen. In einer Zuverlässigkeitsstudie wurde exemplarisch die Verlässlichkeit der Methode anhand der Beurteilung von vier Unterrichtswerken untersucht. Dazu wurde wie oben beschrieben verfahren. Die Ergebnisse der Gruppen wurden auf Kohärenz geprüft. Dabei wurde eine weitgehende Übereinstimmung der Bewertungen gefunden. Die Anwendung eines derart aufwendigen Verfahrens und die Prüfung einer großen Anzahl von Unterrichtsmaterialien kann als Versuch gewertet werden, Normen für die Qualitätsbestimmung von im Unterricht eingesetzten Materialien zu setzen.

Die Ergebnisse der Bewertungen sind nicht unumstritten. So weist William G. Holliday darauf hin, dass die Bewertenden in den einwöchigen Schulungen möglicherweise bezüglich kommerzieller Schulbuchangebote negativ beeinflusst wurden (Holliday 2003). Weiss stellt in einer Lehrerbefragung fest, dass diese eine deutlich positivere Meinung zu den nicht gut bewerteten Lehrwerken haben (Weiss 2001). Dennoch bleibt festzuhalten: Das von Weinbrenner angemahnte kritisch-innovatorische Erkenntnisinteresse, dass sich auf die Bestimmung von Kriterien für eine Veränderung und Verbesserung von Schulbüchern richten sollte (Weinbrenner 1995, 28), ist bisher nur in Ansätzen in der Forschung aufgenommen worden, insbesondere soweit es die Berücksichtigung und aktive Einbeziehung von Lernervorstellungen in die Entwicklung von Schulbuchinhalten betrifft (siehe 3.2). Sie lassen sich in den Kategorien von Weinbrenner unter der Rubrik Wirkungsorientierte Schulbuchforschung verorten, insbesondere bei den Fragen 1.1 und 1.3 (siehe Abbildung 3.1.1.2).

## **3.2 Verstehens- und Verständlichkeitsforschung**

„Ist die Darstellungsebene der Themen im Schulbuch der Verständnisebene der Schüler angemessen?“ Weinbrenner verortet diesen Forschungsbereich im Rahmen der wirkungsorientierten Schulbuchforschung (vgl. Abbildung 3.1.1.2). Soll in irgendeiner Weise dieser Fragestellung nachgegangen werden, so muss geklärt sein, was unter Verständnis beziehungsweise Verstehen im Zusammenhang mit Lernen aufgefasst werden soll.

### **3.2.1 Forschung zur Textverständlichkeit**

Nicht jeder verstehbare Text wird verstanden. Die Ansätze zur Verständlichkeitsforschung (siehe Kapitel Theoretischer Rahmen) zielen auf die Ermittlung von Verstehbarkeit, während Untersuchungen zu Lernervorstellungen (siehe 3.3) Aussagen darüber ermöglichen, wie und inwieweit Lerner etwas verstanden haben.

Das Hamburger Verständlichkeitskonzept (siehe Kapitel 4) ist eine Methode zur Bewertung der Verständlichkeit von Texten mit den Kriterien Einfachheit, Gliederung – Ordnung, Kürze – Prägnanz und anregende Zusätze. (Langer, Schulz von Thun, Meffert & Tausch 1973). Auf dieser Basis wurde empirisch geforscht (z.B. Langer 1983, Leitner 2008) und wurden Schulbücher beurteilt (Apolin 2002, Scheller 2010). Hier steht mehr oder weniger der Kommunikator im Zentrum des Interesses, dessen Publikation die Eigenschaft Verständlichkeit hat oder haben sollte. Kognitiv konstruktivistische Ansätze, wie der von Groeben (1982), beschreiben – in der Herleitung stärker theoriebasiert – Dimensionen, die den Kriterien des Hamburger Modells vergleichbar sind. Der entscheidende Unterschied zwischen Groebens Ansatz und dem Hamburger Verständlichkeitskonzept besteht darin, dass die Beurteilung der Verständlichkeit eines konkreten Textes nach Groeben nicht unabhängig vom jeweiligen Leser erfolgen kann.

### **Einbeziehung von Lernervorstellungen**

Umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung von Lernervorstellungen in den Naturwissenschaften wurden in den Jahren 1988 bis 1992 innerhalb des *Leeds National Curriculum Science Support Project* durchgeführt (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson 1994). In vielen Fällen stellte sich heraus, dass die Vorstellungen der Lernenden – teilweise auch nach der Behandlung im Unterricht – weit von wissenschaftlichen Erkenntnissen entfernt sind und diesen teilweise widersprechen.

Das Erkennen der Bedeutung von Schülervorstellungen spiegelt sich auch im Schulbuchbewertungs-Projekt der American Association for the Advancement of Science (AAAS) wider (AAAS 2005). Die Initiatoren der Studie gehen von der Annahme aus, dass es für das Fördern des naturwissenschaftlichen Verständnisses notwendig ist, dass Lernervorstellungen – sowohl Fehlvorstellungen als auch solche, die Basis des späteren Verstehens sein können – in den Unterricht einfließen. Folgerichtig geben sie als Qualitätsmerkmal an, ob das Unterrichtsmaterial Vorschläge zur Identifizierung und zum Ansprechen von Schülervorstellungen enthält. „Does the material include suggestions for teachers to find out what their students think about familiar phenomena related to the key ideas before the scientific ideas are introduced?“ (AAAS<sup>4</sup>) Bezüglich dieses Kriteriums werden alle untersuchten Lehrwerke aufgrund des exemplarisch untersuchten Kapitels negativ bewertet.

### **3.2.2 Forschung zur Bildverständlichkeit**

Neben der Kategorisierungen von Abbildungen nach ihrer Art (Schnotz 1994, Schumann & Müller 2000) oder Funktion (Ballstaedt 1997, Weidenmann 1994a) gibt es nicht- oder vor-konstruktivistische Forschungsansätze, die u.a. aus Untersuchungen zur neuronalen Verarbeitung von Bildern Kriterien ableiten, die die Verständlichkeit von Abbildungen beschreiben sollen. Wie auch bei der Textverständlichkeitsforschung fordern manche Ansätze die Einbeziehung des Rezipienten (hier Betrachters) bei der Beurteilung der Verständlichkeit (Schumann & Müller 2000).

---

<sup>4</sup> AAAS Project 2061 Textbook Evaluations: High School Biology Textbooks: A Benchmarks-Based Evaluation Project 2061 Analysis Procedure, Criteria Used in Evaluating the Textbooks' Quality of Instructional Support. <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/report/crit-used.htm> [04.01.2013]

### **3.2.3 Forschung zur Text-Bild-Verschrankung**

Forschungsansätze in diesem Bereich sind überwiegend stark von Ergebnissen neuronaler Forschung beeinflusst. Annahmen über die Eigenschaften der Eingangskanäle, Verarbeitungswege und Kapazitäten in Hirnbereichen oder Gedächtnisstrukturen werden herangezogen, um Aussagen über die Wirksamkeit von Text-Bild-Kombinationen zu treffen oder empirische Befunde zu erklären. Prominentes Beispiel ist die Theorie der dualen Codierung (Paivio 1971, 1986), die Grundlage weiterer theoretischer Ansätze ist (z.B. Eysenck & Keane 2000, Mayer 2005, Sweller 2005). Die meisten Untersuchungen sind als Laborexperimente angelegt, bei denen Probanden Abbildungen und geschriebene bzw. gesprochene Texte präsentiert werden. Anschließend werden häufig Behaltensleistungen überprüft, manchmal die Verständlichkeit durch Aufgaben. Soweit diese Forschung Anwendungsbezüge aufweist, betreffen sie überwiegend die Optimierung von Gebrauchsanweisungen bzw. im Bereich Lernen das Multimedia-Lernen mit Lernsoftware.

### **3.2.4 Verständlichkeitsforschung im theoretischen Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion**

„Die Lebenswelt mit ihren Erfahrungen, die Denkwelt mit ihren Vorstellungen und unsere Sprechwelt mit den darin verwendeten Zeichen sind eng miteinander verknüpft.“ (Gropengießer 2006). Dadurch öffnet sich einerseits über sprachlichen Äußerungen ein Fenster zu den Vorstellungen, z.B. der Lernenden (siehe Kapitel 3.2). Dies bedeutet andererseits jedoch auch, dass von Lehrkräften gesprochene Worte und Schulbuchtexte und -abbildungen auf lebensweltliche und denkweltliche Vorstellungen der Lernenden treffen.

Um herauszufinden, was Lernende verstanden haben beziehungsweise genauer, wie sie etwas verstanden haben, müssen sie als Rezipienten in das Zentrum der Untersuchung gerückt werden. Etwas verstehen kann man nur selbst. Als Voraussetzung für evidenzbasierte Aussagen zum Verstehen aus diesem Blickwinkel bedarf es einer Theorie des Verstehens, wie sie die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens darstellt (siehe Kapitel 4 Theoretischer Rahmen). Die Aussagen der Lernenden können auf darin zum Ausdruck kommende Vorstellungen untersucht werden. Lernen beziehungsweise Verstehen kann in diesem Kontext als Annäherung der Lernervorstellungen an wissenschaftliche Vorstellungen beschrieben werden (Conceptual Change, Krüger 2007). Da Alltagsvorstellungen, die sich lebensweltlich bewährt haben, häufig nicht einfach aufgegeben werden dürften, kann Lernen auch darin bestehen, wissenschaftliche Vorstellungen zumindest neben die Alltagsvorstellungen zu stellen (Gropengießer & Kattmann 2006, 158f). Insofern sind erkennbare Vorstellungen der Zugang zur Erforschung des Verstehens (Gropengießer 2006, 9). Verständlichkeit in diesem Sinne misst sich am Erreichen der angestrebten Lernwirkung. Forschungsergebnisse zur Verständlichkeit von Schulbüchern in diesem Sinne liegen bislang nicht vor. Der Ansatz hat sich jedoch bereits bewährt bei der Untersuchung der Lernwirkung von Vermittlungsexperimenten (Riemeier 2005, Niebert 2010 und bei der Analyse der Lernwirkung außerschulischer Lernorte (Groß 2007).

### 3.3 Fazit

Im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion (siehe Kapitel 4 Theoretischer Rahmen) hat sich die Einbeziehung von Lernervorstellungen bzw. Lernerperspektiven und die Klärung von wissenschaftlichen Vorstellungen bei der Planung (Didaktische Strukturierung) von Unterricht und die Erstellung von Material für den Unterricht bewährt (Kattmann 2007). Eine stetig wachsende Anzahl von Publikationen bestätigt die Fruchtbarkeit dieses Ansatzes in unterschiedlichen Bereichen (zitiert nach Kattmann 2007, 97):

- Beschreibung wesentlicher fachlich geklärter und lebensweltlicher Vorstellungen sowie lernrelevanter Korrespondenzen zwischen ihnen. Formulierungen entsprechender Leitlinien für den Unterricht (Frerichs 1999; Hilge 1999; Gropengießer 2001; Jelemenská 2006).
- Identifizieren von Ursachen lebensweltlicher Vorstellungen und Interpretationen zu deren Verständnis (Baalmann et al. 2004, Kattmann 2005, Gropengießer 2006), darunter Reanalysen quantitativer Daten (Lewis & Kattmann 2004).
- Ermitteln von wesentlichen Lernpfaden bezogen auf einen Lernbereich (Riemeier 2005; Weitzel 2006).
- Entwickeln und Evaluation von didaktisch rekonstruierten Unterrichtseinheiten (Baalmann & Kattmann 2000; Sander et al. 2004)
- Entwickeln einer fachlichen Unterrichtskonzeption (Kattmann 1995).
- Ansätze für eine Konzeption für die Bildungsarbeit in nichtschulischen Institutionen (Groß 2007).

All diesen Forschungsvorhaben ist gemein, dass sie Lernen als das Bilden von Vorstellungen durch die Lernenden auffassen. Vor diesem Hintergrund kann erwartet werden, dass das Modell der didaktischen Rekonstruktion auch bei der Untersuchung der Lernwirkung und Verständlichkeit von Schulbuchinhalten sinnvoll angewendet werden kann.

Die hier vorliegende Forschungsarbeit stellt einen Beitrag zur wirkungsorientierten Schulbuchforschung im Sinne Weinbrenners dar. Untersucht wird die Lernwirkung von Schulbuchinhalten auf die Lernenden (vgl. Abbildung 3.1.1.2). Unter Lernwirkung soll hier verstanden werden, zu welchen Vorstellungen die Lernenden bei der Auseinandersetzung mit dem Lernangebot gelangen und inwieweit sich ihre Vorstellungen dabei den fachlich geklärten annähern.

Zur Verständlichkeitsforschung kann die Arbeit ebenso beitragen. Verständlichkeit wird hier aufgefasst als Erreichen des Vermittlungsziels. Durch die Wahl des Untersuchungsdesigns (siehe Kapitel 5) werden nicht Einzelaspekte der Verständlichkeit erhoben, sondern die Ergebnisse zur Vorstellungsbildung bei den Lernenden dahingehend ausgewertet, welche Eigenschaften des Lernangebots sich im Lernprozess als fördernd oder hinderlich erwiesen haben. Da sich die Schulbücher in der Erreichung dieses Ziels unterscheiden, können die Ergebnisse auch zur Schulbuchbeurteilung herangezogen werden. Im Unterschied zu bisherigen Ansätzen (z.B. AAAS 1993) wird die Lernwirkung jedoch nicht prognostiziert, sondern explizit untersucht.



## 4 Theoretischer Rahmen

„Konstruktivistische Sichtweisen haben sich seit Ende der 1970er Jahre zum wichtigsten theoretischen Rahmen in der Lehr-Lern-Forschung entwickelt.“ (Widodo & Duit 2004, 234). Auf dieser Basis bildet seither der Prozess des Lernens einen Schwerpunkt in der empirischen fachdidaktischen Forschung. Konstruktivismus, Conceptual Change-Ansatz bzw. Conceptual Growth bzw. Conceptual Reconstruction und Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bilden das theoretische Fundament und den Rahmen für die Untersuchung von Lernerperspektiven als Ausgangspunkt für die Erforschung und Optimierung schulischen Lernens (Gropengießer 2006, 11). Ihnen ist gemeinsam, dass sie die individuellen Vorstellungen der Lernenden in den Vordergrund stellen. Im Folgenden sollen die Grundlagen dieser drei Theorien kurz dargestellt und Verbindungen aufgezeigt werden.

### 4.1 Konstruktivistische Grundlagen des Lernens

Der Konstruktivismus ist eine Erkenntnistheorie, die in der Neurobiologie gründet (z.B. Roth 1994). Alle äußeren und inneren Reize führen zu gleichförmigen Erregungen im Nervensystem, die durch Verarbeitung im Gehirn Bedeutung erlangen. „Eine direkte Abbildung der Welt durch die Nervenerregungen (...) ist unmöglich.“ (Roth 1994, 88). Die semantische Selbstreferentialität, informationelle Geschlossenheit oder semantische Geschlossenheit genannte Eigenschaft des Gehirns ist die Grundannahme dieser epistemologischen Theorie (zu Entstehung und Vergleich von Ausformungen des Konstruktivismus vgl. Reich 2004). Was können wir über die Welt wissen? Auf diese Frage antwortet der radikale Konstruktivismus, dass es kein objektives Wissen gibt, sondern nur eine subjektive Konstruktion der eigenen Wirklichkeit durch den Menschen. Diese These wird schon im Buchtitel von Heinz von Foerster ausdrucksstark unterstrichen: Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners (von Foerster & Pörksen 2004).

Nimmt man aus der Perspektive des Konstruktivismus das Lernen in den Blick, so muss gefolgert werden, dass (vermeintliches) Wissen nicht direkt vom Lehrenden auf den Lernenden übertragen werden kann, sondern vom Lernenden selbst in einer Lernsituation konstruiert werden muss (Killermann, Hiering & Starosta 2005). Die Perspektive des moderaten Konstruktivismus (Riemeier 2007) oder gemäßigte Konstruktivismus (Reich 2004) hat sich als Grundlage der Lehr- und Lernforschung in der konstruktivistischen Didaktik bewährt und zunehmend Verbreitung gefunden. Die konstruktivistische Didaktik fußt auf lerntheoretischen Ansätzen, die die oben genannten durch den Konstruktivismus gesetzten Randbedingungen berücksichtigen. In diesem theoretischen Rahmen sind die Vorstellungen der Lernenden Ausgangspunkt und Ziel des Lernprozesses. Das Gehirn als kognitives System erzeugt Bedeutungen, die anhand interner Kriterien geprüft und mit vorhandenen Vorstellungen verknüpft werden. Da angenommen wird, dass das Gehirn ein autopoietisches, von außen nicht determinierbares System ist, kann die das Individuum umgebende Umwelt die Konstruktion von Bedeutungen auslösen und beeinflussen, aber nicht determinieren (Roth 1994). Wie wir uns etwas vorstellen ist also das Ergebnis subjektiver kognitiver Prozesse.

„Das Motto der Rekonstruktion lautet: ‚Wir sind die Entdecker unserer Wirklichkeit.‘ “ So schreibt Kersten Reich über die Perspektive einer konstruktivistischen Didaktik (Reich 2005,

119). Im Zentrum des Interesses stehen bei diesem Ansatz die Vorstellungen der Lernenden. Unter Vorstellungen sollen hier „ganz allgemein Kognitionen, also Verständnisse und Gedanken (zu einem bestimmten Sachgebiet)“ verstanden werden (Baalmann, Frerichs, Weitzel, Gropengießer & Kattmann 2004, 8). Vorstellungen entstehen und verändern sich im Alltag, beim Lernen, durch Wahrnehmung von Medieninhalten, durch Erfahrungen oder auch nur dadurch, dass wir über etwas nachdenken. Aus dieser Sicht sind vorunterrichtliche Vorstellungen nicht immer mit dem gleichzusetzen, was in der didaktischen Literatur häufig mit Vorkenntnissen oder Vorwissen bezeichnet wird. Diese Termini weisen häufig auf den fachwissenschaftlichen Ausschnitt aus der Vorstellungswelt zu einem Sachgegenstand, während vorunterrichtliche Vorstellungen deren Gesamtheit meint (Burger 2001, 63f). In der Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand gelangen die Lernenden zu einem Verständnis, das durch die dann verfügbaren Vorstellungen gekennzeichnet ist.

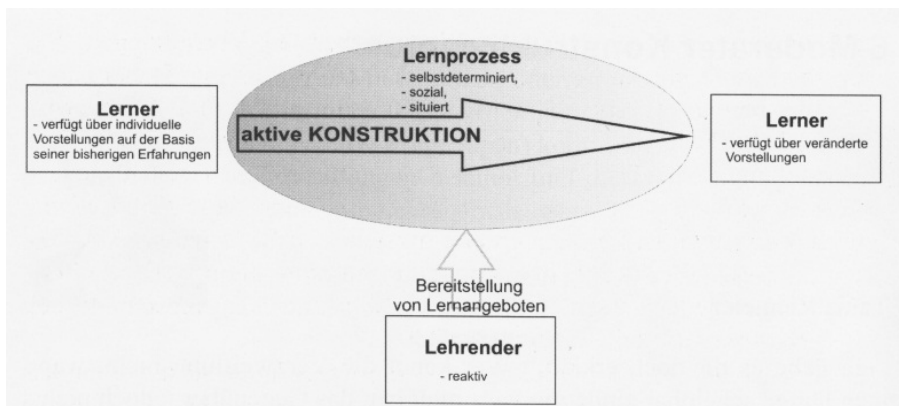


Abbildung 4.1.1: Elemente der konstruktivistischen Sichtweise vom Lernen (aus: Riemeier 2007, 70)

## 4.2 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (experientialism) geht zurück auf den Linguisten George Lakoff und den Philosophen Mark Johnson (1980, dt. 1998). Die beiden Autoren haben eine Theorie zum Verhältnis von Erfahrung, Denken und Sprache entwickelt haben. Die Theorie wurde weiterentwickelt zu einem Instrument der biologiedidaktischen Forschung (Gropengießer 2001). Im Rahmen dieser Theorie wird Sprache beschrieben als „Fenster auf unsere Kognition“ (Gropengießer 2007, 105), denn zwischen unserer Sprache und unserem Denken bzw. unseren Vorstellungen besteht ein enger Zusammenhang.

Die Grundelemente der Theorie lassen sich wie folgt beschreiben (in Anlehnung an Gropengießer (2006, 43f) und Riemeier (2005, 14ff):

- Kognition ist verkörpert (engl. embodied cognition). Erfahrungen mit der Wahrnehmung, mit Körperbewegungen, mit der physischen und sozialen Umwelt münden auf der Basis der Strukturen unseres kognitiven Systems in Vorstellungen, „d.h. Erfahrungen sind die Basis unseres Verständnisses“ (Riemeier 2005, 14). So erhalten Basisbegriffe wie Mutter oder Haus ihre Bedeutung, ebenso oben oder unten. Auch Schemata wie das Teil-Ganzes-Schema oder das Start-Weg-Ziel-Schema sind erfahrungsbasierte Vorstellungen, die unmittelbar verstanden werden (Lakoff 1987, 267 und 275).



- Kognition ist imaginativ. Unser kognitives System überträgt aus Ursprungsbereichen, in denen wir erfahrungsbasiert Verständnis erlangen, Vorstellungen auf Zielbereiche, die unmittelbarer Erfahrung nicht zugänglich sind. „In weiten Bereichen werden Verständnisse durch den Einsatz vor allem von Metaphern und Metonymien geschaffen.“ (Gropengießer 2006, 43). Nach Lakoff und Johnson (1980) sind Metaphern nicht nur ein Aspekt von Sprache, sondern grundlegend für das Funktionieren unseres kognitiven Systems. Als Beispiel führt Gropengießer (2006, 35f) an: „Liebe ist eine Reise.“ Dies belegen Metaphern wie Seitensprung, Fehltritt, Leerlauf, Stillstand, es geht nicht mehr weiter oder der Start ins neue Leben. Lakoff und Johnson (1980, 6) bezeichnen dies als „metaphorische Konzepte“. Bei der Verwendung von Metonymien wird ein Ganzes durch die Bezeichnung eines Teils beschrieben, beispielsweise Bühne für das Theater oder ‚jemand trinkt‘ für Alkoholismus.
- Kognition hat Gestalteigenschaft. „Wir organisieren unser Wissen, so postuliert George Lakoff (1990, 68f), durch Strukturen, die Idealisierte Cognitive Modelle (ICMs) genannt werden.“ (Gropengießer 2006, 40). Lakoff verdeutlicht dies u.a. am ICM „Junggeselle“ (a.a.O. 70f). Auf den ersten Blick könnte dieser Begriff mit der Beschreibung „unverheirateter erwachsener Mann“ klar beschrieben sein. Doch bei näherer Betrachtung wird deutlich, dass dieser Begriff nur im Rahmen bestimmter gesellschaftlicher Erwartungen für Männer im heiratsfähigen Alter einen Sinn ergibt. Auch die Einschränkung der Verwendung des Begriffs (Priester, Homosexueller, Moslem mit weniger als vier Frauen) zeigt, dass es sich um mehr als einen einfachen Begriff handelt. Riemeier (2005) nennt als Beispiel die Termini im Zusammenhang mit einer Infektionskrankheit. Metaphern aus dem Bereich des Kampfs (bekämpfen, besiegen) bilden gemeinsam ein ICM.
- Kognition korrespondiert mit Sprache. Wenn unsere Sprache durch und durch metaphorisch strukturiert ist und auf den gleichen konzeptuellen Strukturen beruht, wie unser Denken und Handeln (Lakoff & Johnson 1980), dann können wir durch die Analyse von Metaphern und Metonymien Einblick in Vorstellungen und Verstehen erlangen.

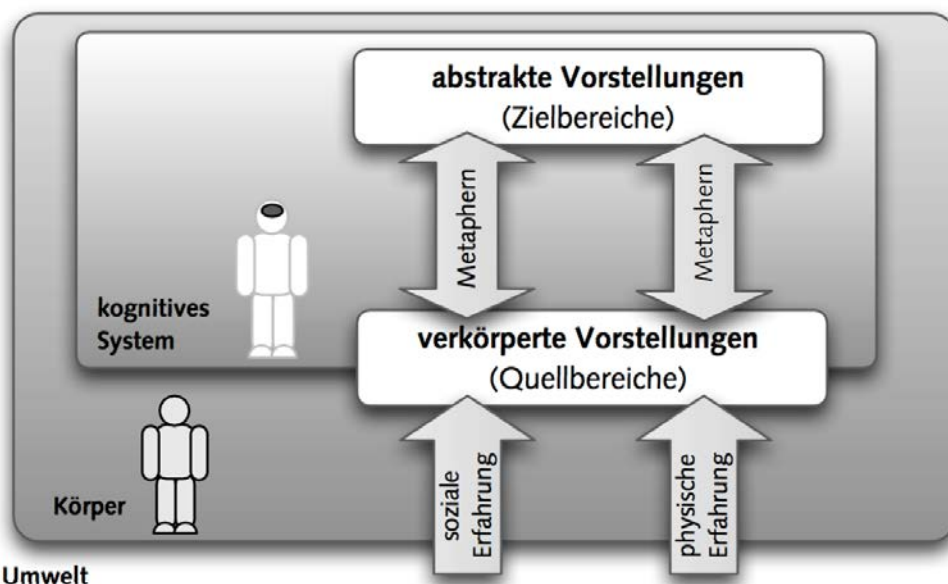


Abbildung 4.2.1 Verstehen fußt auf Erfahrung (aus: Niebert 2010, 16)

Die Fruchtbarkeit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kommt darin zum Ausdruck, dass sie eine Lerntheorie verbindet mit einem Weg, über die sprachliche Analyse Lernvorgänge und ihre Ergebnisse der Untersuchung zugänglich zu machen.

### 4.3 Der Conceptual Change-Ansatz

Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens führen primäre, lebensweltliche Erfahrungen zu Vorstellungen (conceptions), die im Laufe des weiteren Lebens erweitert und auf andere Bereiche übertragen werden. Mit den Modalitäten dieses Vorgangs beschäftigt sich der Conceptual Change-Ansatz.

Unter dem Terminus Conceptual Change findet man eine Reihe von Ansätzen, denen der Versuch gemeinsam ist, die Entwicklung, das Anwachsen und das Verändern von Vorstellungen zu beschreiben beziehungsweise zu erklären, d.h. eine „Theorie der Lernvorgänge“ zu bieten (Krüger 2007). Posner und Strike nehmen Piagets Begriffe von Assimilation und Akkomodation (Piaget 1988, 45ff) und Kuhns Ausführungen zu Paradigmenwechsel und Vorstellungen zum Lernen (Kuhn 1976) in ihre Theorie von Conceptual Change auf (Posner, Strike, Hewson & Gertzog 1982), die Özdemir und Clark einfürend so beschreiben: “They proposed that if a learner’s current conception is functional and if the learner can solve problems within the existing conceptual schema, then the learner does not feel a need to change the current conception. Even when the current conception does not successfully solve some problems, the learner may make only moderate changes to his or her conceptions. This is called “conceptual capture” (Hewson 1981) or “weak restructuring” (Carey 1985). In such cases, the assimilations go on without any need for accommodation” (Özdemir & Clark 2007, 352). Hier wird deutlich, dass Conceptual Change nicht zwangsläufig einen radikalen Vorstellungswechsel meint, sondern ein breites Spektrum von Integrationsprozessen und Übergängen denkbar ist. Bezogen auf schulisches Lernen sind hier alle Annäherungen bereits vorhandener alltagsweltlicher bzw. lebensweltlicher, vorwissenschaftlicher oder wissenschaftlicher Vorstellungen an die auf der Zielebene vorhandenen wissenschaftlichen Vorstellungen gemeint (Duit 1996). In einem zweiten Schritt können die Lernenden auf der Metaebene Vorstellungen zur Plausibilität von Konzepten entwickeln (Schneeweiß 2010). Es geht darum, „Unterricht darauf anzulegen, dass die Lernenden eine Metaposition gegenüber wissenschaftlichen und eigenen Vorstellungen entwickeln können, aus der sie auch ihren eigenen Lernfortschritt beurteilen können“ (Kattmann 2007, 96). Lebensweltliche Vorstellungen erweisen sich häufig als sehr widerstandsfähig gegenüber den an Lernende herangetragenen Vorstellungen (Krüger 2007). Das wirft die Frage auf, wie das oben genannte Ziel erreicht werden kann. Posner et al. (1982) nennen vier Bedingungen, die eine Rekonstruktion von Vorstellungen in der angezielten Richtung wahrscheinlicher werden lassen:

1. Es muss Unzufriedenheit mit der existierenden Vorstellung herrschen.
2. Die neue Vorstellung muss Verständlichkeit besitzen, d.h. sie muss rational ergründbar sein.
3. Die neue Vorstellung muss Plausibilität besitzen, d.h. sie muss den Anschein erwecken, Probleme lösen zu können, die die alte Vorstellung nicht bewältigen konnte.
4. Die neue Vorstellung muss Fruchtbarkeit besitzen, d.h. sie sollte mehr versprechen als andere konkurrierende Vorstellungen.

Es ist wichtig zu beachten, dass es nicht darauf ankommt, dass die Lehrkraft davon überzeugt ist, dass diese Bedingungen erfüllt sind. Vielmehr findet erfolgreiches Lernen nur dann statt, wenn die Lernenden die gegebene Lernsituation dementsprechend einschätzen (Krüger 2007, 86). Dieser Ansatz hat sich auch insofern als fruchtbar erwiesen, als er dazu beigetragen hat, dass eine Vielzahl von Untersuchungen zu vorhandenen Vorstellungen (aus der Perspektive der Zielebene Fehlvorstellungen, auch Vorläufervorstellungen (engl. prior conceptions), Alltagsvorstellungen) und den Bedingungen für Vorstellungsänderungen durchgeführt wurde. Daraus erwachsene Kritik führte zu einer moderaten Überarbeitung der Theorie (Strike & Posner 1992), die insbesondere der Erkenntnis Rechnung trägt, dass nicht nur Eigenschaften der Vorstellungen deren Akzeptanz bestimmen, sondern auch motivationale, soziale und institutionelle Aspekte. Das bedeutet, Faktoren wie die Lernumgebung, die Lehrerpersönlichkeit, Mitschüler usw. (zusammenfassend „conceptual ecology“ Strike & Posner 1992, 150) sind mitbestimmend für die Bereitschaft von Lernenden, vorhandene Vorstellungen zu revidieren.

Der ursprüngliche Ansatz des Conceptual Change hat sich im Laufe der Zeit aufgefächert in mehrere Varianten. Duit unterscheidet zwischen kontinuierlichen (evolutionären) und diskontinuierlichen (revolutionären) Ansätzen (Duit 2000, Duit, Roth & Komorek 2001). Unter kontinuierlicher Vorstellungsveränderung wird die schrittweise Veränderung oder Erweiterung von Vorstellungen in Richtung fachlich angemessener verstanden, man spricht dann von Conceptual Growth. Conceptual Change als diskontinuierliche Vorstellungsänderung einschließlich der oben beschriebenen Bandbreite betont, dass durch Lernen eine vorunterrichtliche Vorstellung, die als Barriere wirkt, im Zuge der Lösung eines kognitiven Konflikts überwunden wird und an dessen Stelle eine neue tritt, die der fachlich geklärten Vorstellung angenähert ist (Schmidt 2011). Um die aktive Rolle der Lernenden bei der Veränderung von Vorstellungen im Lernprozess und das fruchtbare Einfließen von vorhandenen Vorstellungen angemessen zu berücksichtigen, kann das Lernen als Conceptual Reconstruction bezeichnet werden (Kattmann 2005).

## **4.4 Verständlichkeit von Texten und Abbildungen**

Im deutschsprachigen Raum angebotene Schulbücher für den naturwissenschaftlichen Unterricht enthalten Texte und unterschiedliche Arten von Abbildungen. Bei der Untersuchung und Beschreibung von deren Lernwirksamkeit werden immer wieder bestimmte Termini verwendet, teilweise mit unterschiedlichem Bedeutungsgehalt. Deshalb sollen diese Termini erläutert werden, bevor sie bei der Klärung der Themen Textverständlichkeit und Abbildungsverständlichkeit verwendet werden.

### **4.4.1 Grundbegriffe zum Thema Verstehen und Verständlichkeit**

In der Alltagssprache hat der Begriff Verstehen mehrere Ebenen: etwas akustisch verstehen, eine (fremde) Sprache verstehen, etwas auslegen beziehungsweise interpretieren können (Hermeneutik), sich auf etwas verstehen (Experte sein), sich verstehen (zwischen Personen), Verständnis für etwas haben (sich einfühlen). Das Verstehen eines Textes, der in einer Sprache geschrieben ist, die man grundsätzlich versteht, wird mit dem Begriff der Verständlichkeit als Eigenschaft des Kommunikationsmittels benannt (Ballstaedt 1997). Dies gilt in

gleicher Weise für Abbildungen (Ballstaedt 1996). Verständlichkeit ist eine Voraussetzung für den Prozess des Verstehens, der im Rezipienten abläuft. Den Begriffen Verstehen, Verständlichkeit und Verständnis liegt derselbe Wortstamm zu Grunde. Im Rahmen eines Vermittlungsprozesses bedeutet Verstehen im Sinne der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, dass Lernende zu an sie herangetragenen Lerngegenständen Vorstellungen konstruieren bzw. ihre Vorstellungen so verändern, dass sie zu fachlich geklärten Vorstellungen kompatibel sind. Bei dem Terminus Verständlichkeit geht es hier nicht um die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Sprachperzeption (Wesselkamp 1994), sondern um ein Bündel von Eigenschaften der Darstellung sprachlicher und inhaltlicher Art. Verständlichkeit eröffnet bzw. fördert die Möglichkeit zu verstehen. Verständlichkeit kann so verstanden werden als Aussage darüber, inwieweit Lernende durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt zu Vorstellungen gelangen, die den darin erkennbaren Vorstellungen der Autoren entsprechen.

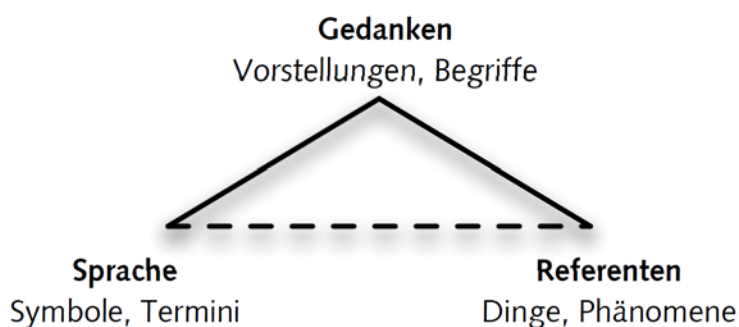


Abb. 4.4.1.1: Semiotisches Dreieck (Niebert 2010, 14)

Das semiotische Dreieck (Abbildung 4.4.1.1) stellt anschaulich dar, dass es zwischen Sprache und Referenten keine direkte Verbindung gibt. Sprache (und logische Bilder) fußen auf Vorstellungen, die ein Sich-Äußernder vom Referenten hat (Niebert 2010). Fotografien, realistische Zeichnungen und Daten bzw. deren Darstellung sind Referenten in diesem Sinne. Von Schulbuchautoren erzeugte Texte und Darstellungen zur Veranschaulichung von Zusammenhängen nehmen eine Sonderstellung ein. Sie stellen nicht den Referenten selbst dar, sondern basieren auf ihren Vorstellungen davon, die sie in der Auseinandersetzung mit veröffentlichten Wissenschaftlervorstellungen zum Referenten erlangt haben. Bezüglich des Verstehens kann unterschieden werden zwischen Annäherung an die Vorstellungen, die im Schulbuch zum Ausdruck kommen und der Annäherung an die Vorstellungen der Wissenschaftler vom Referenten, mit denen sich die Lernenden in der Regel nicht direkt auseinandersetzen. Wenn Lernen aufgefasst als die Annäherung eigener Vorstellungen an die wissenschaftlich geklärten, so ist dies mit Schulbuchinhalten nur insoweit möglich, wie sie diese darstellen.

Ein wichtiger Parameter für Verstehen ist das Vorwissen, verstanden als das, „was vorher bereits einmal verstanden wurde“ (Rögner 2005, II-45). Laucken (1994) nennt „das Vorliegen eines Ordnungsgeflechts, in das der zu verstehende Gegenstand (...) einordbar ist“ als eine Voraussetzung von Verstehen. Die Vorsilbe ‚vor‘ grenzt das in eine Verstehenssituation Mitgebrachte von dem in ihr erworbenen Wissen ab (Stamp 1991). Aus der Sicht der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann es sich dabei um Alltagsvorstellungen oder um unterrichtlich erworbene Vorstellungen handeln, die lernförderlich oder lernhemmend wirken

können, abhängig davon, ob sie zu fachlich geklärten Vorstellungen passen oder nicht (vgl. Conceptual Change-Ansatz Kapitel 4.3). Schulbuchautoren und Lernende unterscheiden sich in dieser Hinsicht deutlich. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion (siehe Kapitel 5.1) beschreibt die Aufgabe, diesen Unterschied bei der Erzeugung des Lerngegenstands zu berücksichtigen.

#### **4.4.2 Textverständlichkeit**

Ein Lehrtext kann beschrieben werden als eine Vergegenständlichung des Wissens eines Textproduzenten bezüglich eines bestimmten Gegenstandes oder Sachverhalts mit Vermittlungsabsicht (Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan 1981, Schnotz 1994a). Er stellt insofern einen Sonderfall der Kommunikation dar. Im Rahmen einer konstruktivistischen Sicht auf Lernen wird als Wissen des Textproduzenten dessen Verständnis vom Gegenstand aufgefasst.

Im Folgenden soll eine kurze Übersicht über die Entwicklung von Modellen zu Textverstehen und Textverständlichkeit gegeben werden. Ziel ist es nicht, eines dieser Modelle zur Ermittlung der Verständlichkeit der Schulbuchtexte anzuwenden. Die Auseinandersetzung mit ihnen erweist sich dennoch als fruchtbar, da sie Hinweise darauf geben können, welche Hemmnisse für das angezielte Verstehen auftreten können.

Eine Erweiterung des Kommunikationsmodells von Bühler (1982) findet man bei Roelcke (1994). Dessen Modell berücksichtigt, dass Textproduzent und Rezipient nicht über das gleiche Zeichensystem (das gleiche Verständnis) verfügen, eine hinreichende Schnittmenge jedoch notwendig ist für die Möglichkeit des Verstehens. Dieses Modell ist mit dem konstruktivistischen Ansatz des Lernens insofern kompatibel, dass es die Subjektivität von Textproduzent und Rezipient berücksichtigt. Es fordert u.a. die Berücksichtigung vermuteten Vorwissens (Roelcke: gemeinsame Kotexte) (vgl. Roelcke 1994). Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann der Prozess der Externalisierung des Wissens des Textproduzenten durch das Schreiben und der aktive Verarbeitungsprozess des Rezipienten beim Lesen als kooperative Kommunikationssituation aufgefasst werden (Schnotz 1994a, 12). Textverstehen kann als komplexe konstruktive Handlungen des Rezipienten aufgefasst werden (u.a. Ballstedt et al. 1981), die von Leser-Text-Interaktionen, dem Vorwissen des Lesenden und dessen Zielvorstellungen beeinflusst sind. In den 1970er Jahren begann im deutschsprachigen Raum eine intensive Forschung zum Thema Textverständlichkeit, deren Ergebnisse im Folgenden kurz zusammengefasst werden sollen.

Zu den empirisch induktiven Ansätzen gehören Lesbarkeitsformeln (u.a. Flesch-Reading-Ease, Flesch 1948; Anpassung an die deutsche Sprache Amstad 1978) und das Hamburger Verständlichkeitskonzept (Langer, Schulz von Thun, Meffert & Tausch 1973). Das Hamburger Verständlichkeitskonzept stellt eine Methode zur Bewertung der Verständlichkeit von Texten dar, die auf der empirisch-induktiven Suche nach Kriterien und deren anschließender Prüfung beruht.

Die gefundenen Kriterien werden vier Dimensionen zugeordnet:

- *Einfachheit*: Wortwahl und Satzbau;
- *Gliederung – Ordnung*: innere Ordnung (logisch aufeinander bezogene Sätze) und äußere Ordnung (übersichtlicher Aufbau, Hervorhebungen, beschriftete Absätze usw.);
- *Kürze – Prägnanz*: Angepasstheit des Sprachaufwands im Verhältnis zum Lernziel;
- *Stimulanz*: „Zutaten, die beim Leser Interesse, Anteilnahme, Lust am Lesen, (...) hervorrufen sollen“ (Langer, Schulz von Thun & Tausch 1974).

Die Beurteilung eines konkreten Textes erfolgt im Rahmen eines Rating-Verfahrens durch Experten, die die Beurteilungsmerkmale als Lage in einem bipolaren Begriffspaar angeben.

Von unterschiedlichen Seiten wird Kritik an diesem Modell geübt. So beklagt Hofer (1976) die mangelnde theoretische Herleitung der relevanten Textmerkmale. Noch gravierender ist der Vorwurf, dass dieses Konzept Verständlichkeit ausschließlich als textimmanentes Merkmal betrachtet (Tergan 1981). Um diesem Mangel zu begegnen, wird das Konzept teilweise um eine Zielgruppenanalyse ergänzt (Freitag 2001). Das Hamburger Verständlichkeitskonzept hat trotz der angeführten Kritik weite Verbreitung gefunden bei der Ermittlung der Verständlichkeit von Texten und deren Optimierung. Deswegen wird es in diesem Kapitel vorgestellt, auch wenn es in wissenschaftlichen Arbeiten zur Textverständlichkeit – insbesondere im Kontext Schule – wenig Anwendung findet.

Kognitiv-konstruktivistische Ansätze zum Textverstehen gehen davon aus, dass die Verständlichkeit eines Textes nicht unabhängig vom Leser ermittelt werden kann (Groeben & Christmann 1989). Im Ansatz von Groeben (Groeben 1972, 1982) erfolgt die Herleitung von Kriterien auf deduktivem Weg. Er benennt folgende vier Dimensionen von Texten, die aus psychologischen und psycholinguistischen Ansätzen hergeleitet werden:

- *Stilistische Einfachheit*: Hierzu gehören kurze Sätze mit aktiven Verben, Vermeidung von Nominalisierungen (z.B. „wegen der Armut“ statt „weil sie arm sind“) und die Verwendung von Wörtern aus dem aktiven Wortschatz des Adressaten.
- *Semantische Redundanz*: Hinter dieser Dimension steckt die Erfahrung, dass Wiederholungen einen einprägungsfördernden Einfluss haben (Groeben 1982).
- *Kognitive Strukturierung*: Zu dieser Dimension gehören kurze vorgeschaltete Texte zu den eigentlichen Inhalten (Advance Organizer), Kenntlichmachung wichtiger Sätze oder Wörter, die Angabe von Ähnlichkeiten und bzw. oder Unterschieden zwischen vorkommenden Begriffen sowie eine Zusammenfassung am Ende des Textes.
- *Konzeptueller Konflikt*: Im Zusammenhang mit dieser Dimension wird beurteilt, ob ein Text alternative Lösungsmöglichkeiten für ein behandeltes Problem bereitstellt beziehungsweise ein Text einen kognitiven Konflikt an den Leser heranträgt und damit seine Neugierde steigert.

Die *stilistische Einfachheit* enthält Elemente aus der Lesbarkeitsforschung, wie sie z.B. in der Lesbarkeitsformel „Flesch Reading Ease nach Flesch (1948) zum Ausdruck kommt. Deren Anwendung hat z.B. gezeigt, dass amerikanische Lehrbücher zur kognitiven Psychologie leichter zu lesen sind als deutsche, auch, aber nicht nur wegen kürzerer Sätze und Worte (Groeben 1982, 179). In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt zu Lese- und Behaltensleistungen in Abhängigkeit von Satzty-

pen, wie z.B. Aktiv, Passiv, Satzschachtelungen, usw. (Überblick in Groeben & Christmann 1996, 69). Nach Groeben handelt es sich bei der stilistischen Einfachheit um eine Grundvoraussetzung für die (leichte) Verständlichkeit von Texten.

Die *semantische Redundanz* und die Informationsdichte spiegeln wider, wie vorhersagbar Zeichen in einem Text sind. Texte mit hoher semantischer Redundanz sind eher lang und wirken leicht langweilig, solche mit geringer semantischer Redundanz sind kurz und eher schwer zu verstehen. Untersuchungen zeigen, dass Texte mit mittlerer semantischer Redundanz als gut verständlich eingestuft werden und gut behalten werden (Dieter 2007). Ein Maß für den optimalen Grad semantischer Redundanz ist bisher nicht gefunden. Da außertextliche Parameter (z.B. Vorwissen und Motivation des Lesers) Einfluss haben, ist dies vielleicht auch nicht möglich.

Für das Verstehen im konstruktivistischen Sinne, also die Fähigkeit des Textes, beim Leser die Bildung von Vorstellungen zu ermöglichen, hält Groeben inhaltliche Aspekte des Textes (Strukturierung und Organisation) und Eigenschaften des Rezipienten (Wissensvoraussetzungen, Motivation) für entscheidend (Groeben 1978, 143). In der Tradition der kognitiven Lerntheorie, deren bekannter Vertreter David Paul Ausubel ist, kann die Rezeption und Verarbeitung eines Textes als Vorgang aufgefasst werden, bei dem der Leser Bedeutungshaltiges in seine kognitiven Strukturen eingliedert (Groeben 1996). Diese Subsumtion setzt voraus, dass eine wie immer geartete Kognitionsstruktur beim Rezipienten vorhanden ist, in die Informationen aus dem Text in einem aktiven konstruktiven Prozess integriert werden. In diesem Zusammenhang ist der *advance organizer* (deutsch: Organisationshilfen, Vorstrukturierung) als einer der praktischen Prinzipien bei der Textgestaltung zu sehen. Eine derartige dem eigentlichen Lehrtext vorangestellte Einführung gibt eher abstrakt und inklusiv an, wozu es im folgenden Text geht. Diesen Aspekt und die folgenden fasst Groeben unter dem Punkt *Kognitive Strukturierung* zusammen. Die weiteren Elemente sind die Deutlichmachung der inneren Logik des Textes, z.B. Argumentationsketten, Gliederung der Gedanken durch Absätze und Zwischenüberschriften und die Kenntlichmachung von Schlüsselbegriffen. In der inhaltlichen Abfolge hat sich als vorteilhaft für das Verstehen erwiesen, wenn der Leser von der abstrakten, inklusiven Ebene schrittweise absteigend zu den Teilaspekten bzw. Einzelinformationen geführt wird (Christmann 1989). Da die kognitive Lerntheorie Eigenschaften des Textrezipienten ausdrücklich einbezieht, können motivationsorientierte Modelle zum Textverstehen in einen solchen Ansatz einbezogen werden. Dazu können Lernzielangaben gehören (Rothkopf & Billington 1979) oder die Weckung von Neugier durch Herantragen eines kognitiven Konflikts an den Lernenden (Berlyne 1974).

In empirischen Untersuchungen testete Groeben (1982) die deduktiv hergeleiteten Dimensionen und leitete aus seinen Befunden 20 programmatische Regeln zur didaktischen Herstellung sprachlichen Lernmaterials ab, die aber nach Ansicht von Kritikern nicht die Verständlichkeit eines Textes in einer konkreten Situation gewährleisten können (Andersen 1985). Der Vergleich des Hamburger Verständlichkeitskonzepts mit dem Ansatz von Groeben zeigt ungeachtet der unterschiedlichen Genese, dass die angegebenen Dimensionen durchaus kompatibel sind (Tergan 2000).

Hamburger Verständlichkeitskonzept	Ansatz von Groeben
Einfachheit	stilistische Einfachheit
Gliederung/Ordnung	kognitive Strukturierung
Kürze/Prägnanz	semantische Redundanz
zusätzliche Stimulanz	konzeptueller Konflikt

Abb. 4.4.2.1 Vergleich des Hamburger Verständlichkeitskonzepts mit dem Ansatz von Groeben

Beide Konzepte sind durch empirische Untersuchungen belegt, obgleich sich dabei auch gezeigt hat, dass sie nicht in der Lage sind, die Kategorie Textverständlichkeit vollständig abzudecken. Im Rahmen dieser Untersuchung zur Lernwirksamkeit von Schulbuchinhalten können sie dazu beitragen, auftretende Verstehensschwierigkeiten möglicherweise auf bestehende Defizite der Textverständlichkeit der Schulbuchinhalte zurückzuführen und Wege zu deren Vermeidung aufzuzeigen.

Ein wichtiger Aspekt zur Textverständlichkeit ist Klarheit über das Ziel. Ein Schulbuchtext soll einen Lerngegenstand an Lernende herantragen. Er stellt eine didaktische Struktur dar, die an die Lernenden neue Inhalte zum Lerngegenstand in einer auf der Zielebene definierten Tiefe heranträgt. Dabei kann für die Textverständlichkeit unterschieden werden zwischen „maximal verständlich“ und „optimal verständlich“ (Groeben & Christmann 1996, 78). Der Unterschied liegt begründet in dem an einen Text gestellten Anspruch, möglichst lernförderlich zu sein. Insofern sollte er eine Herausforderung darstellen. Es muss also ein Mittelweg gefunden werden zwischen Verständlichkeit (dazu gehört auch Einfachheit) und Gehalt an Neuem.

#### 4.4.3 Verständlichkeit von Abbildungen

Schulbücher zu naturwissenschaftlichen Fächern enthalten eine Vielzahl bildhafter Darstellungen. Hier soll zuerst ein kurzer Überblick über die Systematisierung von Bildern und Theorien zu ihrer Verständlichkeit gegeben werden, um schließlich darzustellen, vor welchem theoretischen Hintergrund die Verständlichkeit der untersuchten Abbildungen zum Kohlenstoffkreislauf ermittelt werden soll.

Bildhafte Darstellungen lassen sich nach Weidenmann in die drei Rubriken künstlerische, unterhaltende und informierende Bilder einordnen (Weidenmann 1994a, 9). Hier soll die Kategorie informierende Bilder näher betrachtet werden, da die in Biologieschulbüchern vorkommenden Abbildungen weitgehend dieser Kategorie angehören. Eine weitere Differenzierung stellt die Einteilung der informierenden Bilder in Abbilder und logisch-analytische Bilder dar (Abbildung 4.4.3.1). Logische Bilder sind solche, [...] durch die Sachverhalte sichtbar gemacht werden, die in der Realität so nicht wahrgenommen werden können, und die keine Ähnlichkeit mit dem Dargestellten besitzen.“ (Schnotz 1994, 95).



Abbilder (darstellende Bilder)	Logisch-analytische Bilder
simulieren ein Abbild der realen Welt	visualisieren abstrakte Strukturen, Relationen, Mengen und Abläufe
Fotografien, Filme, Zeichnungen, Gemälde (in Biologieschulbüchern häufig Fotografien oder Zeichnungen von Lebewesen, Fossilien, Ökosystemen, Versuchsaufbauten etc.)	Diagramme aller Art, schematische Darstellungen, Mind-Maps (in Biologieschulbüchern häufig Zahlenwerte/Messergebnisse qualitativ oder quantitativ visualisierende Diagramme, Beziehungen visualisierende Pfeildia-gramme etc.)

Abb. 4.4.3.1: Arten von informierenden Bildern (verändert nach Weidenmann 1994a)

Grundlage für die Erstellung visueller Repräsentanzen mit einer didaktischen Zielsetzung in Schulbüchern ist häufig eine Grafik aus dem wissenschaftlichen Bereich. Deshalb erscheint es sinnvoll, kurz die Ziele der Visualisierung in wissenschaftlichen Grafiken zu betrachten. „Bildhafte Darstellungen sind ein weit verbreitetes Medium zur Präsentation von Fakten und Informationen.“ (Schumann & Müller 2000, 1) Den beiden Autoren geht es vorrangig um die Grundlagen der Visualisierung wissenschaftlicher Daten oder Datenmengen (engl. Scientific Visualisation). Ziel dieser wissenschaftlich-technischen Visualisierung ist, die Voraussetzungen dafür zu schaffen dass der Betrachter ein mentales Modell, verstanden als Repräsentation eines Gegenstandes oder Prozesses im Bewusstsein, entwickeln kann, bei dem die visuellen Attribute einer Darstellung in definierter Form den Eigenschaften der Datenmenge entsprechen (vgl. Robertson 1990). Den Eigenschaften der Datenmengen werden dazu visuelle Attribute zugeordnet. Dies kann in drei verschiedenen Stufen der Information erfolgen:

- Auf der elementaren Stufe werden die Informationen in direkter Form abgebildet, das heißt das Bild enthält zu jeder Information eine entsprechende Repräsentation.
- Die nächste Stufe enthält bereits eine Interpretation, indem sie das Wesentliche einer Gruppe von Informationen verdeutlicht.
- Ziel der dritten Stufe von Visualisierung ist es, die Gesamtheit aller in den Daten verborgenen Informationen darzustellen (vgl. Bertin 1982).

Der Weg von den Rohdaten zur Visualisierung kann mit dem Modell der Visualisierungspipeline (Abbildung 4.4.3.2) beschrieben werden (Schumann & Müller 2000).

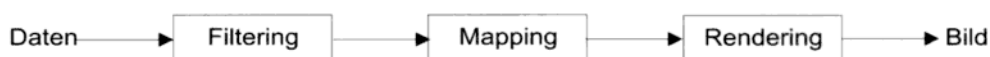


Abb. 4.4.3.2: Visualisierungspipeline (aus: Schumann & Müller 2000, 15)

Bei dieser Verfahrensweise werden Rohdaten in einem ersten Bearbeitungsschritt einer Datenaufbereitung (Filtering) unterzogen. Dazu können gehören: Vervollständigung (Interpolation), Reduzierung (Selektion), Glättung (Fehlerkorrektur) und die Bestimmung charakteristischer Eigenschaften (Extrema, Gradienten, Informationsgehalt, Statistik). Im nächsten Schritt erfolgt die bildhafte Darstellung der so aufbereiteten Daten (Mapping) unter

Definierung visueller Variablen (z.B. Größe, Helligkeit, Textur, Farbe usw.). Im dritten Schritt (Rendering) erfolgt die Transformation der bildhaften Darstellung anhand einer Geometrie- und Merkmalsbeschreibung in ein digitales Bild. Das entstandene Bild repräsentiert eine begründete Deutung der Rohdaten durch den Wissenschaftler und den Grafiker und enthält eine Vermittlungsabsicht.

Nimmt man die oben beschriebenen theoretischen Grundlagen aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in den Blick, so muss festgestellt werden, dass das oben dargestellte Vorgehen konstruktivistische Elemente enthält, und zwar umso mehr, je komplexer die Darstellung ist. Insbesondere bei den Teilschritten Mapping und Rendering sind die subjektiven Vorstellungen der an der Gestaltung der Grafiken beteiligten Personen vom Sachgegenstand entscheidend für die Ausgestaltung. Bei den in dieser Untersuchung betrachteten grafischen Darstellungen zum Kohlenstoffkreislauf (siehe Kapitel 7.2.2) handelt es sich um grafische Repräsentationen der gleichen kausalen Zusammenhänge, in die in den meisten Fällen Repräsentationen numerischer Werte einbezogen sind. Die Verschiedenheit der vier Grafiken zum Kohlenstoffkreislauf lässt die Unterschiedlichkeit der Vorstellungen der Autoren bzw. Grafiker erkennen. So können z.B. Kohlenstoffvorkommen auf der Erde als Speicher (Behälter) oder Stationen dargestellt sein. Diese können in eine stilisierte Landschaft eingebettet sein oder in einem rein logischen Diagramm angeordnet sein. Die Art der Darstellung hat Auswirkungen darauf, welche Vorstellungen Lernende mithilfe der Grafik erlangen (siehe Kapitel 10.2). In der Praxis der Schulbuchproduktion dienen häufig vorhandene Vorlagen als Basis der Abbildungsgestaltung. Die Visualisierungsschritte werden häufig nicht aktiv auf das schulische Lernen adaptiert und nicht den im Text zum Ausdruck kommenden Vorstellungen angepasst (siehe Kapitel 4.4.4).

Zur Funktion von Bildern nennt Ballstaedt (1997, 2004) fünf wesentliche Punkte: die Reduzierung von Komplexität, die Steuerung der Informationsaufnahme, Motivation und Stimulation, Veranschaulichung und räumliche Orientierung. Für den Wissenserwerb mit Bildern nennt Weidenmann (1994a) vier Funktionen, die sich teilweise mit den Aussagen von Ballstaedt homologisieren lassen:

- *Aktivierungsfunktion*: Lernende rufen ausgehend von der Darstellung bestehende Schemata auf, entsprechende Wissensstrukturen werden aktiviert.
- *Konstruktionsfunktion*: die Darstellungen helfen, mentale Modelle unter Berücksichtigung bereits bekannter Elemente zusammensetzen und so eine neue Wissensstruktur aufzubauen.
- *Fokussfunktion*: Die Darstellung stellt Teile einer vorhandenen Wissensstruktur beziehungsweise eines mentalen Modells in den Vordergrund und bietet die Möglichkeit der Ergänzung und oder Korrektur.
- *Ersatzfunktion*: Wenn Vorwissen oder ein mentales Modell nicht vorhanden sind, können Darstellungen ein Ersatz sein, an den gedanklich angeknüpft werden kann.

Bei den In dieser Arbeit untersuchten grafischen Darstellungen im Schulbuch sollen ihre Vermittlungseigenschaften aus der Perspektive der Lernenden im Vordergrund stehen. Die Qualität von Visualisierungen kann über den Grad der Erreichung des kommunikativen Ziels definiert werden (Schumann & Müller 2000). Grafische Darstellungen können also unter-

schiedlich effektiv sein. Im Rahmen der Erzeugung oder Beurteilung grafischer Darstellungen sind folgende Fragestellungen zu beachten (Robertson zitiert nach Schumann & Müller 2000, 8):

- „Welche mentalen Modelle repräsentieren die verschiedenen Arten der Informationen am effektivsten und sind am besten zur Kommunikation geeignet?
- Welche definierbare und wiedererkennbare visuelle Repräsentation dieser Modelle ist am besten geeignet, um spezifische Informationen darzustellen?
- Wie kann das gewählte Modell dem Betrachter am effektivsten zugänglich gemacht werden?“

Bei der Gestaltung sollten Art und Struktur der Daten, das Bearbeitungsziel bei der Visualisierung, das Vorwissen des Betrachters, die visuellen Fähigkeiten und Vorlieben des Betrachters, übliche Metaphern bzw. Konventionen des Anwendungsgebietes und die charakteristischen Eigenschaften des Darstellungsmediums beachtet werden. Steht das Betrachten der grafischen Darstellungen im Zusammenhang mit schulischem Lernen, so verdienen die Punkte vorhandene Lernervorstellungen und vorhandene Fähigkeiten zum Bildverstehen (Visual Literacy) besondere Beachtung. Zum Terminus Visual Literacy gibt es keine eindeutige Definition. Das liegt zum einen daran, dass das er mit Bezug auf ganz unterschiedliche Medien verwendet wird, von der informellen Grafik über Animationen bis hin zu Film und Fernsehen. Zum anderen befassen sich mit dem Thema Wissenschaftler ganz unterschiedlicher Disziplinen, die von unterschiedlichen theoretischen Standpunkten ausgehen. Eine ausführliche Diskussion unterschiedlicher Definitionen findet man bei Ko Hoang (2000, 9ff.). Er schlägt aus medienpädagogischer Sicht folgende Definition vor: „Visual Literacy sind die Fähigkeiten und Fertigkeiten, Bilder und visuelle Aussagen in verschiedenen Medien bewusst wahrzunehmen, kritisch zu rezipieren, angemessen und sinnvoll zu nutzen sowie aktiv und kreativ zu gestalten.“ (Ko Hoang 2000, 14) Visuelle Medien unterschiedlicher Art werden häufig von Lehrern im Unterricht dargeboten und in unterschiedlichen Sozialformen diskutiert (Pettersson 1990).

Aus fachdidaktischer Sicht stellen die Abbildungen im Schulbuch eine didaktische Struktur dar. Entsprechend der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (siehe Kapitel 4.2) wird in dieser Arbeit untersucht, inwieweit die in die Untersuchung einbezogenen Abbildungen zum Kohlenstoffkreislauf fachlich geklärte Inhalte dergestalt an Lernende herantragen, dass sie aufgrund der bei Lernen vorhandenen Vorstellungen und deren Fähigkeiten des Bildverstehens die aus fachdidaktischer Perspektive angestrebten Vorstellungen ermöglichen bzw. welche Vorstellungen sie anbieten.

#### **4.4.4 Text-Bild-Verschränkung**

Es ist eine charakteristische Eigenschaft von im deutschsprachigen Raum gebräuchlichen Schulbüchern zu den naturwissenschaftlichen Fächern, dass sie Informationen zu den meisten Themen sowohl in schriftlicher Form als auch in bildlichen Darstellungen enthalten. Die Summe aller nicht zum Textkörper gehörenden Elemente bezeichnet Choppin (1992) als Paratext und stellt fest, dass der Anteil des Paratexts im Vergleich zur Vergangenheit zugenommen hat.

Text und Abbildung ergänzen sich in ihrer kommunikativen Funktion. Sie sind nicht äquivalent, sondern können auf unterschiedliche Weise in Beziehung zueinander stehen (Ballstaedt 2005): Kongruenz liegt vor, wenn Text und Bild dieselben Begriffe enthalten. Ballstaedt spricht von Komplementarität, wenn Text und Bild verschiedene Vorstellungen anbieten, aber dadurch in Beziehung stehen, dass sie füreinander den Kontext darstellen. Im Falle der Elaboration repräsentieren Text und Bild verschiedene Konzepte, die erst durch Nachdenken und Interpretation in Beziehung gesetzt werden können. In der vorliegenden Untersuchung werden den Schülern Schulbuchinhalte, die aus Text und Abbildung bestehen, als eine didaktische Struktur vorgelegt und in Äußerungen bei der Bearbeitung erkennbare Vorstellungen erhoben, aus denen dann Rückschlüsse gezogen werden auf die verständnisfördernden Wirkungen der beiden Komponenten.

Ein gravierender Unterschied zwischen Text und Bild liegt in der Wahrnehmung. Ein Text wird linear und kontinuierlich wahrgenommen, der Leser wird so durch die Informationsmenge geführt. Im Gegensatz dazu wird ein Bild ganzheitlich und simultan wahrgenommen (Choppin 1992). Dadurch ist es stärker polysem, also mehrdeutig in dem Sinne, dass die wahrnehmende Person – neben der intendierten Interpretation – zu weiteren gelangen kann. Die wahrnehmende Person geht nach Choppin stärker als bei einem Text in die Deutung ein. Diesen Effekt kann der Autor eines Text-Bild-Arrangements dadurch beeinflussen, dass er mit dem Text den Leser auf die denotative Bedeutung der Abbildung, also auf den intendierten Kern hinführt. Dazu kann auch eine entsprechende Bildlegende beitragen. Zur Text-Bild-Verschränkung liegen nur wenige Untersuchungen vor. Eine Ausnahme bilden amerikanische Studien (z.B. Fleming 1984), in denen die Augenbewegung aufgezeichnet wurde. Mit Hilfe dieser Methode konnte bei Probanden der Wechsel zwischen Lesen und Bildbetrachtung rekonstruiert werden. In der vorliegenden Untersuchung wird dieser Aspekt dadurch berücksichtigt, dass sowohl in der Phase des Lauten Denkens während der Rezeption als auch im sich direkt anschließenden retrospektiven Interview Aussagen ausgewertet werden, die Hinweise darauf geben, welche Elemente des Schulbuchinhalts welche Vorstellungen die Lernenden durch die Auseinandersetzung mit Text und Bild entwickeln. Dabei wird auch die in der Videoaufzeichnung erkennbare Zuwendung zu Text oder Abbildung beachtet (vgl. Kapitel 8).

Die Verteilung der Informationen auf Text und Bild variiert sehr stark.

- Es können ein alle Informationen enthaltender Text und dekorative Bilder (zum Beispiel Fotos von im Text vorkommenden Arten) kombiniert sein.
- Text und komplexe Grafik können – wie zum Beispiel bei Schulbuchinhalten zum Kohlenstoffkreislauf – die zu vermittelnden Inhalte jeweils nahezu vollständig enthalten, unter Umständen sogar unter Verwendung unterschiedlicher Metaphern und Schemata (siehe Kapitel 7).

An dieser Stelle ist zu fragen, welche Auswirkungen das parallele Anbieten von Informationen durch Text und Bild zu einem Lerngegenstand auf die Lernwirkung hat und wie die Kombination der beiden Komponenten möglichst lernförderlich aufeinander abgestimmt werden kann.

In der Forschung zum Zusammenwirken von Text- und Bildverstehen bezogen auf naturwissenschaftliche und technische Darstellungen überwiegen nichtkonstruktivistische Theorien. Im Folgenden werden drei Ansätze kurz dargestellt, weil die Ergebnisse der Untersuchungen auch in einem konstruktivistischen Forschungsrahmen fruchtbar gemacht werden können, und zwar in dem Sinne, dass empirisch belegte Ergebnisse bezüglich der untersuchten Bild-Text-Verschränkungen herangezogen werden, um Problemfeldern bei deren Verstehen zu erkennen und zu systematisieren. Die in den Theorien postulierten Gedächtnisstrukturen und deren kausale Wechselwirkungen sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Die *Theorie der dualen Codierung* (Paivio 1971, 1986) geht – in Übereinstimmung mit Befunden der Neurobiologie – davon aus, dass der Mensch über zwei unabhängige, aber miteinander verbundene Codierungs- beziehungsweise Symbolsysteme verfügt, ein nonverbales und ein verbales. Bild und Sprache als externe Repräsentation weisen unterschiedliche Eigenschaften auf (Abbildung 4.4.3.3), die jeweils adäquat verarbeitet werden (Eysenck & Keane 2000).

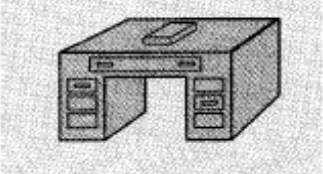
	<p style="text-align: center;">Das Buch liegt auf dem Tisch.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Es sind keine diskreten Symbole vorhanden.</li> <li>– Die Relation der Objekte ist implizit wiedergegeben ohne Symbol für die Relation.</li> <li>– Es ist keine klare Grammatik vorhanden.</li> <li>– Die Darstellung ist konkret.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Wörter stellen diskrete Symbole dar.</li> <li>– Die Relation der Objekte ist explizit durch ein Wortsymbol angegeben.</li> <li>– Es ist eine klare Grammatik vorhanden.</li> <li>– Die Darstellung ist abstrakt.</li> </ul>

Abb. 4.4.3.3: Nonverbale und verbale Repräsentationen (verändert nach Eysenck & Keane 2000)

Durch empirische Untersuchungen konnten Unterschiede der beiden Systeme festgestellt werden (vgl. Anderson 2000, 108f. bzw. 214). So wurde die Anordnung geometrischer Muster in einer Fläche schneller memoriert als die Anordnung entsprechender Worte, jedoch die lineare Anordnung der Worte schneller als die der entsprechenden Symbole. Das Gedächtnis für Bilder ist in der Regel besser als das für Wörter, konkrete Wörter werden besser behalten als abstrakte. Erklärt wird dies damit, dass Bilder und konkrete Wörter durch die entsprechenden Wörter beziehungsweise Bilder doppelt codiert sind.

Die *Cognitive Theorie of Multimedia Learning* (CTML) greift die Idee der unterschiedlichen Eingangskanäle auf und verknüpft sie mit Aspekten des Gedächtnisaufbaus (Mayer 2005). Obwohl der Ansatz in Forschung und Anwendung im Wesentlichen auf das Lernen mit elektronischen Medien abzielt, so gelten die Grundannahmen doch in gleicher Weise für die Kombination textlich und bildlich angebotener Lerninhalte zu einem Thema. Die Grundthesen der Theorie lauten:

- Menschen verarbeiten bildhafte und verbale Informationen in zwei separaten Systemen, die funktional unabhängig sind, aber interagieren können (Zwei-Kanal-Hypothese).
- In beiden Kanälen ist die Kapazität für Informationsverarbeitung sehr beschränkt, sodass nur kleine Informationsmengen gleichzeitig verarbeitet werden können (Hypothese der beschränkten Kapazität).
- Für bedeutungsvolles Lernen ist es notwendig, dass die Lernenden die aufgenommenen Informationen aktiv verarbeiten (Hypothese des aktiven Lernens).

Nach diesem Modell werden im Gedächtnis die über die unterschiedlichen Kanäle aufgenommenen Informationen zusammengeführt und unter Einflussnahme von Inhalten des Langzeitgedächtnisses verarbeitet.

Die *Cognitive Load Theorie* (CLT) (Sweller 2005) stimmt mit den Grundannahmen der CTML überein. Es werden drei Arten von kognitiver Belastung beschrieben:

- Die intrinsische kognitive Belastung (*intrinsic cognitive load*) ist diejenige, die durch die Komplexität und den Schwierigkeitsgrad des Lernmaterials verursacht wird.
- Die extrinsische kognitive Belastung (*extrinsic cognitive load*) ergibt sich aus der Gestaltung des Lernmaterials. Überflüssiges, Irrelevantes, Ablenkendes erhöht die extrinsische kognitive Belastung.
- Die lernbezogene kognitive Belastung (*germane cognitive load*) ist derjenige Teil der kognitiven Belastung, die sich aus der Beanspruchung des Gedächtnisses für den Lernvorgang selbst ergibt. Lernen wird hier aufgefasst als das Kreieren von Schemata und Verknüpfen neuer Inhalte mit im Langzeitgedächtnis vorhandenen Schemata.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die doppelte Codierung von Lerninhalten in Wort und Bild Chancen für ein besseres Behalten beziehungsweise Verstehen eröffnet, aber auch die Gefahr der Überforderung des kognitiven Systems in sich birgt, insbesondere dann, wenn die Lernangebote besonders komplex sind oder nicht notwendige (ablenkende) Informationen enthalten. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass Text und Abbildung nicht so zueinander passen, dass sie dieselben Vorstellungen fördern, und dass dadurch Widersprüche auftreten. In dieser Untersuchung werden den Kohlenstoffkreislauf betreffende Aussagen von Lernenden mit Bezug zum Text- und Abbildungsverstehen im Hinblick auf deren lernfördernde und lernhemmende Wirkungen vergleichend analysiert.

## 4.5 Zusammenfassung

Soll die Lernwirkung beziehungsweise die Lernwirksamkeit von Unterrichtsmaterialien oder Unterrichtssituationen untersucht werden, so ist es aus konstruktivistischer Sicht geboten, die Vorstellungen der Lernenden beziehungsweise deren Veränderungen zu erfassen. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens beschreibt das Verhältnis von Erfahrung, Denken und Sprache. Sie bildet die Grundlage dafür, von Äußerungen der Lernenden auf ihre Vorstellungen zu schließen. Der *Conceptual Change-Ansatz* zeigt Bedingungen für eine erfolgreiche Rekonstruktion von Vorstellungen auf und bietet u.a. Möglichkeiten, lernhemmende Eigenschaften von Lernanlässen als solche zu erkennen und zu verstehen.

Verstehen wird im Rahmen dieser Untersuchung als Prozess des individuellen Veränderens oder Erweiterns von Vorstellungen zu einem Sachgegenstand (hier Kohlenstoffkreislauf) aufgefasst, verursacht durch Lernanlässe, die in diesem Falle in Form eines Schulbuchinhalts an Lernende herangetragen werden. Verständlichkeit ist eine Eigenschaft des Kommunikationsmittels in Bezug auf eine Zielgruppe, die sich im konkreten Fall in dieser Untersuchung in der Rezeption durch die Lernenden erweist.

Zur Verständlichkeit von Texten und Abbildungen wurden unterschiedliche theoretische Ansätze dargestellt, um einen kurzen Überblick zu geben. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens betrachtet nicht neuronale Strukturen oder Kanäle. Sie nutzt vielmehr die Äußerungen der Lernenden als Zugang zu ihren Vorstellungen. Dennoch können einzelne Aspekte der Theorien zur Verständlichkeit hilfreich sein beim Erkennen und Systematisieren von lernfördernden bzw. -hemmenden Eigenschaften der Schulbuchinhalte. Dies gilt sowohl für die vier Dimensionen der Textverständlichkeit nach Groeben (1972, 1982) als auch die Einbeziehung der vier Funktionen von Bildern beim Wissenserwerb nach Weidenmann (1994a). So kann sich beispielsweise erweisen, dass ein Text die angezielten Vorstellungen deshalb nicht bei den Lernenden hervorrufen kann, weil die Sätze zu kompliziert aufgebaut sind oder die Herstellung logischer Bezüge fehlt. Abbildungen können möglicherweise deshalb nicht zum Verständnis beitragen, weil die Lernenden überfordert sind mit der Decodierung der an sie herangetragenen Strukturen und so nicht zu einem adäquaten Verständnis gelangen. Insbesondere die bildhafte Darstellung von Daten (Mapping) und ihre Transformation in die endgültige Form eines logischen Bildes (Rendering) sind diejenigen Teilschritte der Bildentstehung, die entscheidend sind für die Verständlichkeit der Abbildung für Lernende im oben genannten Sinne.

Die Analyse der Auswirkungen der Verschränkung von Texten und Bildelementen stellt eine sehr komplexe Untersuchungsaufgabe dar, die nicht unabhängig von der Untersuchung des Textverstehens und des Bildverstehens bearbeitet werden kann. Das Zusammenwirken wird nicht aus der Perspektive unterschiedlicher Kanäle oder neuronaler Strukturen betrachtet. Empirische Befunde aus diesem Bereich können jedoch insofern hilfreich sein, als sie den Blick darauf lenken, die Übereinstimmung der durch Text und Abbildung an die Lernenden herangetragenen Vorstellungen zu prüfen, den Grad der Redundanz zu beachten oder die Vermittlungsmöglichkeiten der beiden Darstellungsformen des Lerngegenstands zu analysieren.





## 5 Das Untersuchungsdesign

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Lernwirkung von Schulbuchinhalten untersucht und ihre Lernwirksamkeit geprüft werden. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, Wege zur Optimierung der Verständlichkeit von Schulbüchern aufzuzeigen. Die Grundannahmen zum Lernen sind im Kapitel 4 (Theoretischer Rahmen) dargestellt. Den geeigneten Rahmen für diese Untersuchung bildet das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek 1997), dem die gleiche konstruktivistische Sichtweise auf das Lernen zugrunde liegt. Für die Teilschritte des Forschungsvorhabens werden Vorgehensweisen gewählt, die sich bei Untersuchungen im Rahmen dieses Modells bewährt haben.

### 5.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsprogramm

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion bildet einen „theoretischen Rahmen zur Planung, Durchführung und Auswertung fachdidaktischer Unterrichtsforschung“ (Gropengießer 2006, 10). Das Fachdidaktische Triplet (Abbildung 5.1.1) nennt die drei Forschungsaufgaben fachliche Klärung, Lernpotential-Diagnose und didaktische Strukturierung, die nicht unabhängig voneinander, sondern in ständigem Bezug aufeinander durchgeführt werden sollen. „Dadurch sollen die im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion durchgeführten Forschungsarbeiten lernförderlicher werden als solche, die sich allein auf eine fachwissenschaftlichen Struktur oder psychologische Prinzipien stützen könnten“ (Kattmann 2007, 94).

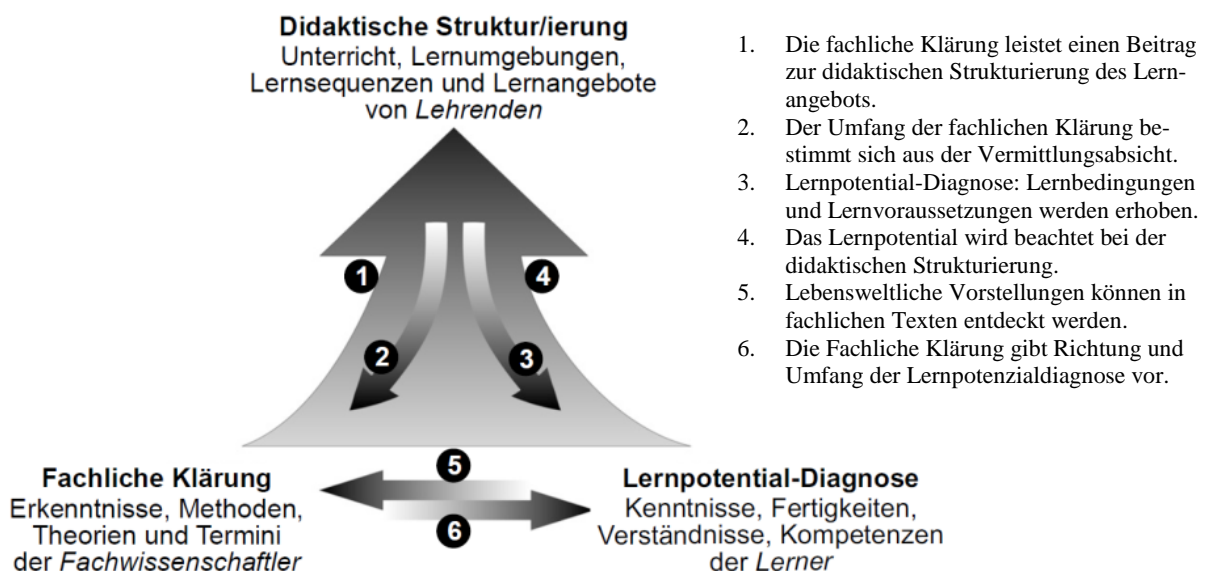


Abb. 5.1.1: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Gropengießer & Kattmann 2009, 161) ergänzt durch Erklärungen zu den Ziffern

### **5.1.1 Fachliche Klärung**

Unter fachlicher Klärung wird nicht allein die Identifizierung der Faktenlage aus aktueller fachlicher Sicht verstanden. Vielmehr werden fachwissenschaftliche Aussagen – ebenso wie Lernerperspektiven bzw. Lernervorstellungen (s.u.) – als Vorstellungen im konstruktivistischen Sinne verstanden (vgl. Theoretischer Rahmen, Kapitel 4). Wissenschaftlervorstellungen können aus deren Veröffentlichungen durch kritische Analyse auf der Basis der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Kapitel 4.2) erschlossen werden (Gropengießer 2007). Dabei wird das Verständnis des Autors aus metaphern-theoretischer Perspektive in den Blick genommen. Die Fachliche Klärung erfolgt im Hinblick auf ein didaktisch strukturiertes Lernangebot. Daraus folgt, dass bei Analyse die Vermittlungsabsicht leitend ist. Zum Thema Kohlenstoffkreislauf liegt eine auf dieser Basis erfolgte fachliche Klärung vor (Niebert 2010). Ferner wird in der vorliegenden Untersuchung eine evidenzbasierte Analyse von wissenschaftlichen Veröffentlichungen herangezogen, die nicht auf diesem theoretischen Rahmen fußt (Hildebrandt 2006). In der Reanalyse wird dies berücksichtigt, indem hier zum Ausdruck kommende Vorstellungen auf der Basis der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ermittelt werden. Die Dokumentenanalyse erfolgt auf der Basis der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2003, Kapitel 5.2)

### **5.1.2 Erfassen der Lernervorstellungen**

Vorstellungen der Lernenden zu einem Thema können auf unterschiedliche Weise ermittelt werden, z.B. indem man sie auffordert, sie zeichnerisch darzustellen oder über sie zu sprechen (vgl. Driver, Rushword & Wood-Robinson 1994). Zur Nutzung von Sprache als Zugang zum Verständnis bei Lernenden gibt es vielfältige Erkenntnisse, auch bezüglich biologischer Inhalte, die im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion untersucht wurden. Dies gilt sowohl für auf dieser Grundlage erstellte und geprüfte didaktisch strukturierte Lernangebote (u.a. Riemeier 2005; Niebert 2010; Schneeweiß 2010) als auch für bestehende Lernangebote, die als didaktische Struktur aufgefasst werden (Groß & Gropengießer 2003). Die Datenerhebung kann dabei während der Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand oder retrospektiv erfolgen (Groß 2007). Auf der Basis von Videoaufzeichnungen werden Transkripte erstellt, die einer Dokumentenanalyse unterzogen werden, die auf der Theorie der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2003, Kapitel 5.2) basiert.

### **5.1.3 Didaktische Strukturierung**

Die didaktische Strukturierung stellt eine Planungsaufgabe dar, die die Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der Ermittlung der Lernerperspektiven zusammenführt, wie im Kapitel 5.3 (Conceptual Change-Ansatz) beschrieben. Kattmann nennt dazu vier leitende Fragen (Kattmann 2007, 96f.):

- „Welches sind die wichtigsten Elemente der Alltagsvorstellungen von Schülern, die im Unterricht berücksichtigt werden müssen?
- Welche unterrichtlichen Möglichkeiten eröffnen sich, wenn die Schülervorstellungen beachtet werden?
- Welche Vorstellungen und Konnotationen sind bei der Vermittlung von Begriffen und der Verwendung von Termini zu beachten?

- Welche der lebensweltlichen Vorstellungen von Schülern korrespondieren mit wissenschaftlichen Konzepten dergestalt, dass sie für ein angemessenes und fruchtbares Lernen genutzt werden können?“

An dieser Stelle ist zu fragen, ob, und wenn ja inwieweit, das Konzept der didaktischen Strukturierung im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion auch für die Strukturierung von Schulbuchinhalten in einem Biologiebuch anwendbar ist. Neben einer Reihe von didaktischen Funktionen im Unterrichtsgeschehen als schulisches Arbeitsmittel (z.B. Abbildungsquelle, Quelle für eine Versuchsanleitung) kann das Schulbuch auch die Funktion eines Selbstbildungsmittels haben (Killermann, Hierung & Starosa 2005, 175). Während im unterrichtlichen Einsatz individuell unterschiedlich auftretende Verstehenshemmnisse bearbeitet, Fragen beantwortet und Lücken geschlossen werden können, sind die Lernenden im Selbststudium (z.B. nach versäumten Unterrichtsstunden) darauf angewiesen, möglichst gut didaktisch strukturierte und verständliche Inhalte vorzufinden. Die vier leitenden Fragen Kattmanns (s.o.) können auch leitend für die Strukturierung des Schulbuchinhalts als Ganzes sein. Das Gleiche gilt für das Methodengefüge zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Abb. 5.1.3.1).

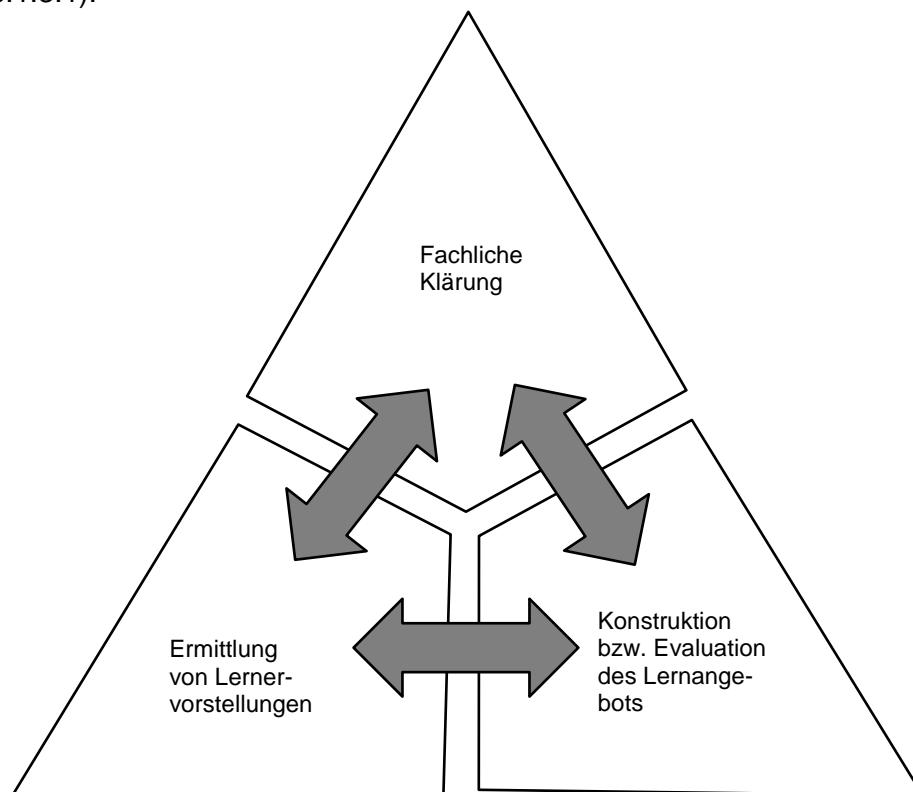


Abb. 5.1.3.1: Komponenten der didaktischen Rekonstruktion: Das Methodengefüge (in Anlehnung an Kattmann et. al 1997, 10)

Alle drei Komponenten des Modells der Didaktischen Rekonstruktion weisen als wesentliches verbindendes Element Vorstellungen auf. Zur Anwendung des Modells der Didaktischen Rekonstruktion in der didaktischen Forschung führt Kattmann aus, dass die Untersuchungsaufgaben in Wechselwirkung zueinander stehen und nicht linear nacheinander abgearbeitet werden sollten, sondern in ständiger wechselseitiger Beeinflussung dem Ziel entgegengeführt werden (Kattmann et. al. 1997, 13).

In der vorliegenden Untersuchung wird die Lernwirkung vorhandener Schulbuchinhalte analysiert. Sie stellen eine didaktische Struktur dar, deren erfahrungsstiftende und Vorstellungen begründende, erweiternde und verändernde Wirkung auch dann im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion untersucht werden können, wenn sie nicht auf dieser Grundlage entstanden sind, ähnlich der Analyse der Lernwirkung außerschulischer Lernorte (Groß 2007). Ein vorgefundenes Lernangebot kann an Vermittlungszielen gemessen werden, indem es mit wissenschaftlichen Vorstellungen und Lernerperspektiven in Beziehung gesetzt wird (Groß 2007, 57f). Die Schulbuchinhalte werden im Rahmen dieser Untersuchung einer Dokumentenanalyse unterzogen, die auf der Theorie der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2003) fußt.

Dadurch gelten bezüglich der drei Teilschritte im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion (Fachliche Klärung, Ermittlung der Lernvorstellungen, Evaluation des Lernangebots) die gleichen Bedingungen für das Erschließen von Vorstellungen. Die Ergebnisse der drei Dokumentenanalysen können unmittelbar miteinander in Beziehung gesetzt werden.

## **5.2 Die Qualitative Inhaltsanalyse als methodisches Werkzeug**

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion beschreibt ein Verfahren zur Erzeugung eines didaktisch rekonstruierten Lerngegenstands und zeigt als Forschungsprogramm Wege zu methodisch kontrollierten und evidenzbasierten Untersuchungen in diesem Rahmen auf. Die Qualitative Inhaltsanalyse stellt ein angemessenes Werkzeug dar, um von der Ebene der Sprache zur Ebene der Vorstellungen zu gelangen. Die von Mayring (2003) beschriebenen Grundlagen wurden von Gropengießer für die Lehr-Lern-Forschung im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion adaptiert (Gropengießer 2001, 2005).

### **5.2.1 Aspekte der Qualitativen Inhaltsanalyse**

Der Terminus Qualitative Inhaltsanalyse birgt zwei Aspekte: qualitativ und Inhaltsanalyse. Eine qualitative Untersuchung erscheint hier aus mehreren Gründen angemessen. Bei der Untersuchung der Lernwirkung des Schulbuchinhalts sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Vorstellungen Lernende in der selbstständigen Auseinandersetzung mit dem Lernangebot entwickeln und inwieweit sich darin eine Annäherung an fachliche geklärte Vorstellungen erkennen lässt. Für das Erkennen von Denkstrukturen und Denkpfaden ist die Tiefe der Untersuchung ein entscheidendes Kriterium. Außerdem zielt die Untersuchung auf mögliche Lernwirkungen und Lernhemmnisse des Materials und nicht auf die Häufigkeit ihres Auftretens. Nimmt man das Ziel eines möglichst gut verständlichen und lernwirksamen Lerngegenstands in den Blick, so reicht das Erkennen von Wirkungen in diesem Bereich.

Das methodisch kontrollierte Vorgehen in Teilschritten bei der Inhaltsanalyse kann als Maßnahme zur Qualitätssicherung angesehen werden. Bei der Herausarbeitung der Denkstrukturen geht auch eine Analyse der in den Dokumenten erkannten Metaphern ein (Schmitt 2003). Die Einzelheiten des methodischen Vorgehens werden jeweils bei den entsprechenden Untersuchungsschritten dargestellt.

### **5.2.2 Angemessenheit der Methoden zur Datenerhebung**

Für die fachliche Klärung und die Untersuchung des Lernangebots liegen Dokumente als Grundlage der Analyse vor. Um für die Interpretation der Lernervorstellungen, von deren Veränderungen und den in den Äußerungen erkennbaren lernförderlichen und lernhemmenden Eigenschaften des vorgelegten Materials eine valide Basis zu erhalten, muss das Verfahren bestimmte Bedingungen erfüllen. Für die Wahl der Methode zur Datenerhebung gilt das Kriterium der Gegenstandsangemessenheit, d.h. des sinnvollen Bezuges zwischen Theorie, Untersuchungsgegenstand und Forschungsmethode (Flick 1995, 13f.). Wenn Sprache als Zugang zu Vorstellungsveränderungen beim Lernen bildet, kann auf Methoden zurückgegriffen werden, die sich in einer Reihe von Untersuchungen auf der Basis des Modells der Didaktischen Rekonstruktion bewährt haben (vgl. Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann 2012, 24). Die Methode Lautes Denken bietet einen unmittelbaren Zugang zur Denkwelt des Interviewten, während die unmittelbare Retrospektion dann valide Aussagen ergibt, wenn die Fragestellung verständlich und das Alter der Probanden angemessen ist (Ericsson & Simon 1993). Die dabei einzuhaltenden Rahmenbedingungen und Einzelheiten des Vorgehens werden in den Kapiteln zu den einzelnen Untersuchungsaufgaben diskutiert.

### **5.3 Ermittlung der Verständlichkeit der Schulbuchinhalte**

Die Verständlichkeit von Text und Abbildungen und deren Kombination kann auf unterschiedliche Weise untersucht werden (vgl. Kapitel 4.4). Im Fokus dieser Untersuchung stehen weder der linguistische Ansatz zur Textverständlichkeit noch Theorien zur Bildverständlichkeit oder Text-Bild-Relation. Aus didaktischer Sicht erweist sich die Verständlichkeit von Unterrichtsmaterial, also auch des Schulbuchs, in seiner Fähigkeit, Vorstellungen bei Lernenden zu ermöglichen bzw. sie dahingehend zu verändern, dass sie sich den fachlich geklärten Vorstellungen annähern. Insofern sind Lerner aussagen in Bezug zum Schulbuchinhalt der adäquate Zugang. Im Rahmen didaktische Analyse der Schulbuchinhalte (Kapitel 7) werden Hypothesen zur Verständlichkeit aufgestellt und begründet, die im Rahmen der Untersuchung der Lernwirkung anhand der Lerner aussagen geprüft werden. Die oben genannten theoretischen Ansätze werden dabei genutzt, um mögliche lernhemmende Eigenschaften des Materials und mögliche Wege zu deren Optimierung aufzuzeigen.

### **5.4 Zusammenfassung**

Die folgende Übersicht bietet einen Überblick über die Untersuchungsaufgaben, die ihnen zu Grunde liegenden Datenquellen und die verwendeten Methoden. Das Untersuchungsdesign weist die typischen Elemente eines Forschungsvorhabens im Rahmen des Forschungsprogramms ‚Didaktische Rekonstruktion‘ auf. Die Vorstellungsentwicklung der Lernenden wird in Beziehung gesetzt zu Eigenschaften des Lernangebots Schulbuchinhalt. Insofern stellt die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur wirkungsorientierten Schulbuchforschung dar.

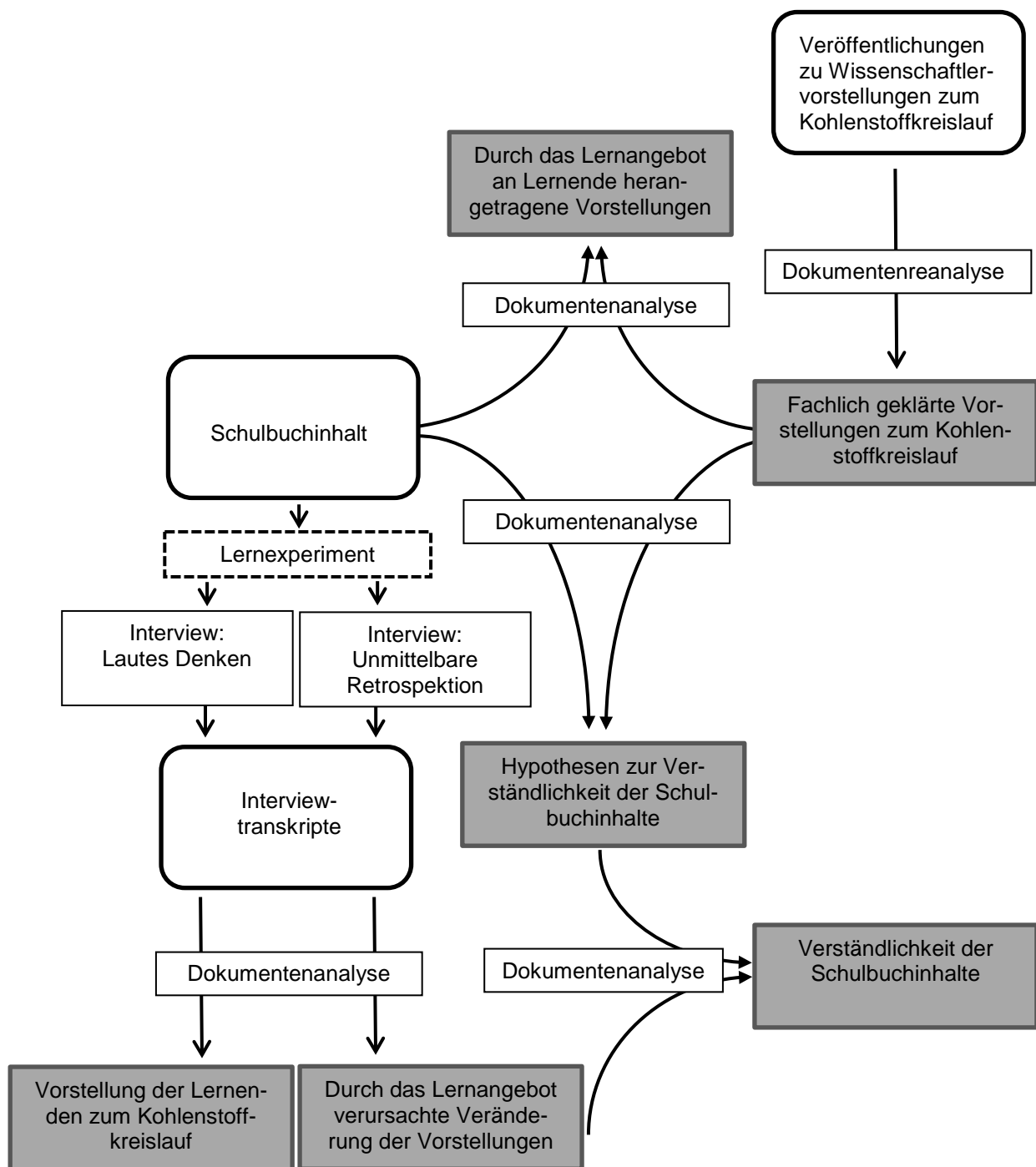


Abb. 5.4.1: Übersicht über das Untersuchungsdesign

## **6 Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf – Fachliche Klärung**

Gegenstand der Fachlichen Klärung sind Veröffentlichungen von Wissenschaftlern zum Thema Kohlenstoffkreislauf. Entsprechend dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (vgl. Kapitel 5.1) besteht die Untersuchungsaufgabe Fachliche Klärung darin, den Stand der fachwissenschaftlichen Theoriebildung aus fachdidaktischer Perspektive, also unter Berücksichtigung der Vermittlungsabsicht zu klären (Gropengießer 2001). Dabei werden die Ausführungen in Lehrbüchern und Fachartikeln erkennbare Vorstellungen interpretativ erschlossen. Da die Analyse der Schulbuchinhalte und die Ermittlung der Lernervorstellungen auf die gleiche Weise durchgeführt werden, sind die Ergebnisse vergleichbar und können somit aufeinander bezogen werden (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek 1997). Ziel ist es also, fachlich geklärte Vorstellungen im Sinne einer von der Gemeinschaft der Wissenschaftler anerkannten Lehrmeinung herauszuarbeiten.

### **6.1 Vorgehensweise und Quellen**

Im Rahmen didaktischer Forschung auf der Grundlage des Modells der Didaktischen Rekonstruktion hat sich für die fachliche Klärung die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2003, vgl. Kapitel 5.2) in einer von Gropengießer (2001) für fachdidaktische Fragestellungen adaptierten Form bewährt. Danach werden Quellentexte durch Ausführung der drei Schritte Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung untersucht. Die Sprache wird als Fenster zu den Gedanken der Fachwissenschaftler aufgefasst (vgl. Kapitel 4.2). Aufgabe im Rahmen der Fachlichen Klärung ist es also, Texte und insbesondere darin vorkommende Metaphern und deren in Abbildungen grafisch dargestellte Repräsentanzen analytisch darauf zu untersuchen, in welcher Weise sie auf Begriffe, Konzepte, Denkfiguren bzw. Theorien weisen.

In der vorliegenden Untersuchung soll die fachliche Klärung als Reanalyse von wissenschaftlichen Arbeiten erfolgen, die zum Thema Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf vorliegen. Eine umfassende, der Didaktischen Rekonstruktion folgende Analyse von Wissenschaftlervorstellungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf (und Treibhauseffekt) wurde von Niebert (2010) durchgeführt. Die in dieser Arbeit dargestellte fachliche Klärung basiert auf der begründeten Auswahl von vier Werken:

- Schlesinger, W. H. (1997). Biogeochemistry, an Analysis of Global Change (The Global Carbon Cycle, 358–382)
- Houghton, H. (2002). Physics of the Atmospheres (Climate and Climate Change, 250–260)
- Smith, T. M. & Smith, R. (2006). Elements of Ecology (Biochemical Cycles, 478–482)
- Weltklimarat (IPCC) (2007). Vierter Sachstandsbericht des Weltklimarates (The Carbon Cycle and the Climate System, 511–538)

Niebert bezieht sich bei der Untersuchung dieser Fachliteratur (Niebert 2010, 42–65) auf Metaphern, Schemata und metaphorische Konzepte (Zusammenfassung von Metaphern aus dem gleichen Quellbereich), die er innerhalb des theoretischen Rahmens seiner Arbeit darstellt (Niebert 2010, 10–27). Beide der Arbeit lassen erkennen, dass es ihm – wie schon der

Titel der Arbeit vermuten lässt – um das Verständnis des Klimawandels geht. Gegenstand der hier dargestellten Reanalyse seiner Befunde sind nur die in der Arbeit enthaltenen Aussagen über Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf, da die Analyse von Schulbuchinhalten (Kapitel 7) zeigt, dass die Folgen anthropogener Kohlenstoffdioxidfreisetzung für das Klima mehr oder weniger separat im Anschluss an die Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs behandelt werden.

Über die von Niebert analysierten Wissenschaftlervorstellungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf hinaus sollen weitere Quellen in die Untersuchung einbezogen werden, die ebenfalls in einer fachdidaktischen Arbeit zum Thema Kohlenstoffkreislauf dargestellt sind, und zwar in der Dissertation von Kristin Hildebrandt zur Lernwirksamkeit von Darstellungsformen für das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs im Biologieunterricht (Hildebrandt 2006). Diese Untersuchung wurde nicht im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion durchgeführt. Von Hildebrandt werden Fakten aus einer Reihe von Fachpublikationen zusammengestellt. Die Ergebnisse jener Untersuchung werden in der vorliegenden Arbeit genutzt, um im Rahmen einer Reanalyse darin erkennbare Vorstellungen der Forschergemeinschaft zu ermitteln und zu den Befunden von Niebert in Beziehung zu setzen.

Als Ergebnis der fachlichen Klärung werden die interpretativ erschlossenen Konzepte zusammengestellt, denen jeweils eine Kurzform zur Benennung zugeordnet wird. Diese Konzeptnamen werden in den folgenden Kapiteln im Text zur Nennung der Konzepte verwendet.

## 6.2 Fachlich geklärte Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf

Sowohl bei Niebert (2010) als auch bei Hildebrandt (2006) bildet ein System aus Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Übertritten von Kohlenstoffatomen das Grundgerüst für die Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs. Das *Speicher-Fluss-Schema* ist der Ausgangspunkt für die Rekonstruktion der fachwissenschaftlichen Sichtweise auf den Kohlenstoffkreislauf. In beiden Fällen wird es zur Gliederung der fachwissenschaftlichen Vorstellungen genutzt, indem nacheinander Ausführungen zu *Speichern*, *Stoffflüssen* und *Flussraten* gemacht werden. Die Beziehung der Komponenten kann in einem einfachen Schema dargestellt werden (Abbildung 6.2.1 nach Niebert 2010).

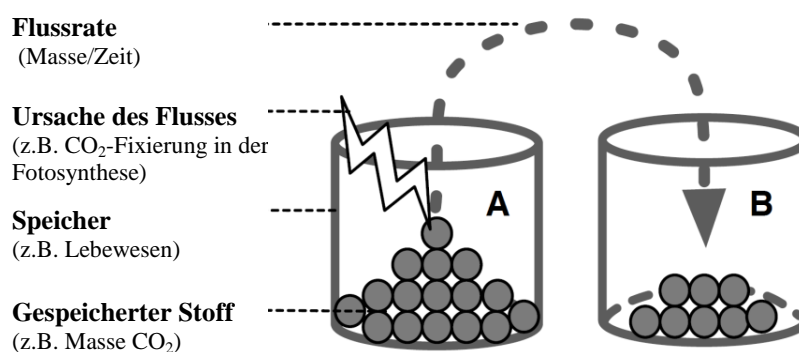


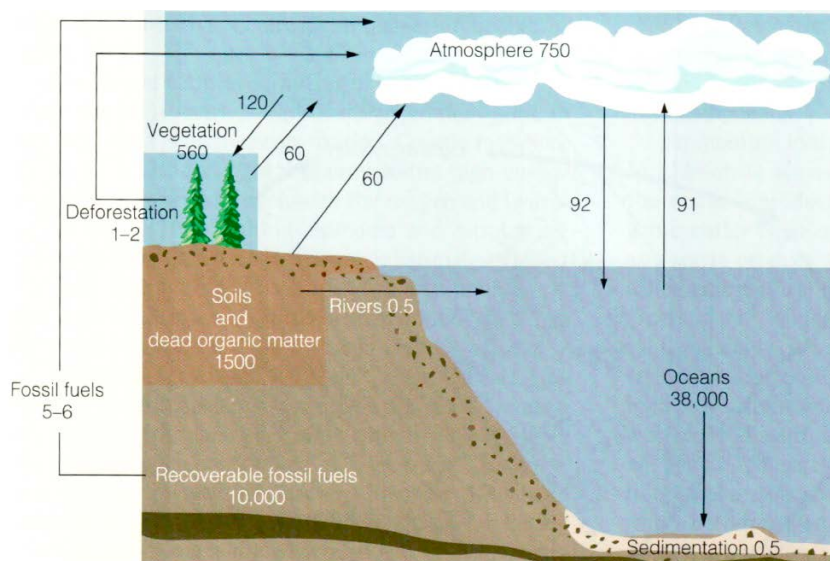
Abb. 6.2.1: Elemente des Speicher-Fluss-Schemas (verändert nach Niebert 2010, 48)



Im Folgenden werden die Vorstellungen der Wissenschaftler zu den Komponenten des Speicher-Fluss-Schemas kurz dargestellt.

### 6.2.1 Vorstellungen zu den Kohlenstoffspeichern

Die Zuordnung des auf der Erde vorkommenden Kohlenstoffs zu Kohlenstoffspeichern erfolgt in den erfassten Darstellungen der Fachwissenschaftler uneinheitlich. Allein die Atmosphäre wird in allen Publikationen als Speicher bezeichnet. Als weitere Speicher werden Landlebewesen, Ozeane, Sedimente und Fossiler Kohlenstoff angegeben (vgl. Abbildung 6.2.1.1). Die Zusammenstellung der Speicher folgt keiner einheitlichen Systematik (z.B. räumlicher Lage, Entstehungsgeschichte). Vielmehr scheinen für die Kombination der Speicher pragmatische Erwägungen ausschlaggebend gewesen zu sein, sodass die jeweiligen Darstellungen Kohlenstoffflüsse zeigen, denen unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen. Z.B. wird in Bezug auf Kohlenstoffablagerungen in geologischen Zeiträumen nach fossilen Brennstoffen und Sedimenten unterschieden. Aus fachdidaktischer Perspektive, also mit Blick auf die Vermittlungsabsicht, erleichtert diese Unterscheidung das Verständnis zum Teilaspekt anthropogen verursachter Kohlenstoffflüsse. Bezüglich des Speichers Ozeane findet man auch eine Unterteilung in Oberflächenwasser und Tiefenwasser (Abbildung 6.2.4.4). Dies kann das Verstehen physikalisch oder biogen (z.B. durch Fotosynthese) verursachter Kohlenstoffflüsse zwischen Speichern erleichtern.



**Figure 22.5:** The global carbon cycle. Boxes show the sizes of the majors pools of carbon, and arrows indicate the major exchanges (fluxes) among them. All values are in gigatons (Gt) of carbon and exchanges are on an annual timescale. The largest pool of carbon, geologic , is not included because of the slow rates (geologic timescale) of transfer with other active pools.

Abb. 6.2.1.1: Kohlenstoffkreislauf bei Smith & Smith (2006, 481)

Eine dazu alternative Gliederung orientiert sich konsequent an der Einteilung der Geosphäre in Schichten (Hildebrandt 2006, Abbildung 6.2.1.2). Als Schichten werden Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre und Biosphäre angegeben, wobei teilweise die Biosphäre im engeren Sinne auch von der Pedosphäre unterschieden wird. Diese geologische Einteilung der Erde in Schichten ist nicht am Vorkommen oder der Entstehungsart unterschiedlicher kohlenstoffhaltiger Verbindungen orientiert. So werden der Lithosphäre u.a. Sedimentgesteine,

fossile Rohstoffe und Gashydrate zugeordnet. Die Biosphäre ist nach dieser Einteilung nicht räumlich getrennt von der Pedosphäre und der Litosphäre. Sie bezeichnet die Summe aller Lebewesen.

Speicher	Form	Kohlenstoffmenge [GtC]
<b>Atmosphäre</b>	Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ), Kohlenstoffmonoxid (CO) und Methan (CH <sub>4</sub> )	720 <sup>1</sup> ; 730 <sup>3</sup> ; 750 <sup>2; 5</sup> ; 790 <sup>4</sup>
<b>Biosphäre</b>	Organischer Kohlenstoff und Calciumcarbonat (CaCO <sub>3</sub> ) in terrestrischen Organismen und in marinen Organismen	460 <sup>4</sup> ; 500 <sup>3</sup> ; 560 <sup>2</sup> ; 610 <sup>5</sup> ; 600 – 1000 <sup>1</sup>  1 – 2 <sup>1</sup> ; 3 <sup>2; 4; 5</sup>
<b>Hydrosphäre</b>	Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ), Hydrogencarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) und Carbonat (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	37.400 <sup>1</sup> ; 38.000 <sup>3</sup> ; 39.000 <sup>2</sup> ; 39.120 <sup>5</sup> ; 39.150 <sup>4</sup>
<b>Lithosphäre</b>	<u>Sediment</u> : Carbonate (z. B. Calciumcarbonat (CaCO <sub>3</sub> , Calcit), Calcium-Magnesium-Carbonat (CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Dolomit)) Kerogen Gashydrate  <u>Fossile Rohstoffe</u> : Kohle, Erdöl und Erdgas	> 60.000.000 <sup>1; 2</sup>  15.000.000 <sup>1; 2</sup> 10.000 <sup>6</sup>  4.130 <sup>1</sup>
<b>Pedosphäre</b>	<u>Boden</u> : Detritus, Humus und Torf	1.200 <sup>1</sup> , 1.460 <sup>4</sup> ; 1.500 <sup>3</sup> ; 1.580 <sup>2; 5</sup>

Abb. 6.2.1.2: Kohlenstoffvorkommen im System Erde: <sup>1</sup>Falkowski, Scholes, Boyle et al. (2000), <sup>2</sup>Ittekkot, Rixen, Suthhof et al. (2002), <sup>3</sup>IPCC (2001), <sup>4</sup>Lochte (2004); <sup>5</sup>Schimmel, Enting, Heimann et al. (1995) <sup>6</sup>Bund-Länder-Kommission (1999 (aus Hildebrandt 2006, 23)

Beim Vergleich der beiden Systeme aus Speichern ist zu beachten, dass *Ozeane* und *Hydrosphäre* sich bezüglich der in den Ozeanen vorkommenden Lebewesen unterscheiden. Während bei der Betrachtung des Speichers Ozeane der dort enthaltene biogene Kohlenstoff einbezogen wird, wird er bei der Schichten-Darstellung dem Speicher Biosphäre zugeordnet. Dies hat Auswirkungen auf die Speichergrößen, das heißt die den Speichern zugeordneten Kohlenstoffmassen.

Nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden die fachliche Klärung und das Erfassen von Lernervorstellungen wechselseitig aufeinander bezogen und dienen der Rekonstruktion eines didaktisch konstruierten Lernangebots. Mit Blick auf die Vermittlungsabsicht erscheint die Einteilung der Kohlenstoffspeicher in Atmosphäre, Landlebewesen, Sedimente, fossile Brennstoffe und Meer trotz ihrer Heterogenität vorteilhafter, und zwar aus mehreren Gründen. Sie ist für Lernende anschaulicher, da sie zu den meisten Elementen dieses Systems aus Speichern über lebensweltliche bzw. mithilfe von Unterricht entwickelten Vorstellungen verfügen. Die separate Behandlung der lithosphärischen Speicher Sedimentgestein und Fossile Brennstoffe beim Thema Treibhauseffekt bzw. Erderwärmung wird vorbereitet (s.u.). Die Bezeichnungen „Fossile Brennstoffe“ bzw. „Fossile Rohstoffe“ sind ungenau. Erdölprodukte werden nicht zwangsläufig verbrannt und Calciumcarbonat kann Rohstoff

sein. Man könnte die fossilen Stoffe in organische und anorganische unterteilen, wobei die anorganischen jedoch auch biogenen Ursprungs sind (vgl. 10.2.1.4). Unter Verwendung der gebräuchlichen Terminologie lassen sich in Übereinstimmung mit Niebert (2010) als fachlich geklärte Konzepte formulieren:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Der Kohlenstoff auf der Erde kann den Speichern Atmosphäre, Landlebewesen, Sedimente, Fossile Brennstoffe und Ozeane zugeordnet werden.</i>	<i>Kohlenstoff in Speichern</i>
<i>Die Kohlenstoffspeicher enthalten unterschiedlich viel Kohlenstoff.</i>	<i>Unterschiedliche Speichergröße</i>
<i>Die Kohlenstoffspeicher enthalten Kohlenstoff in unterschiedlichen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>

Die Betrachtung der Speichergrößen ist auch propädeutisch für die unterrichtliche Behandlung des Themas Klimawandel, denn sie erlaubt den Lernenden zu erkennen, dass eine Veränderung der Flussrate insbesondere in Bezug zu dem relativ kleinen Speicher Atmosphäre zu deutlichen Veränderungen führen kann, während auf der anderen Seite große Kohlenstoffmengen in einem Speicher aufgrund geringer Flussraten in der Dynamik der Kohlenstoffverteilung auf der Erde von sehr geringer Bedeutung sind. Dies zeigt das Beispiel des Kohlenstoffspeichers Lithosphäre/Sedimente. Er enthält 99,95 % des Kohlenstoffs auf der Erde und weist eine minimale Flussrate auf (Hildebrandt 2006, 22–23). In einem Teil der Fachpublikationen wird der Speicher Ozeane geteilt in die Speicher Oberflächenwasser und Tiefenwasser (z.B. IPCC 2007). Dies ist aus fachdidaktischer Perspektive dann sinnvoll, wenn Kohlenstoffflüsse im Ökosystem Meer thematisiert werden sollen, da nur im Oberflächenwasser Fotosynthese stattfindet. Vorstellungen dazu können als Konzept formuliert werden:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Ozeane können unterteilt werden in die Kohlenstoffspeicher Oberflächenwasser und Tiefenwasser.</i>	<i>Mehrteiliger Speicher Ozeane</i>

## 6.2.2 Vorstellungen zu den Kohlenstoffflüssen

„Atmosphäre, Biosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre tauschen an ihren Grenzflächen permanent Kohlenstoff oder seine chemischen Verbindungen aus“ (Hildebrandt 2006, 24). Die physikalischen, chemischen und biochemischen Ursachen für die Flüsse zwischen den Kohlenstoffspeichern und deren Größenordnungen (Flussraten) werden in der Literatur weitgehend einheitlich dargestellt (Niebert 2010, 48). Zu nennen sind hier Fotosynthese bzw. Primärproduktion, Atmung, Zersetzung (engl. decomposition), Diffusion, Lösung, Verwitterung, Sedimentation, Flusstransport und als anthropogene Ursachen Abholzung und Verbrennung (Abbildung 6.2.2.1). Auch bezüglich der Flussraten enthalten unterschiedliche Quellen der Fachliteratur sehr ähnliche Zahlenangaben (Abbildung 6.2.2.2)

Hildebrandt führt für die Vorstellungen der Fachwissenschaftler zu den Ursachen von Kohlenstoffflüssen das Konzept *Kohlenstoffpumpe* (Kohlenstoff wird gepumpt) ein (Hildebrandt 2006, 32ff.). Sie unterscheidet bezüglich des „Kohlenstoffkreislaufs im Ozean“ zwischen physikalischer Kohlenstoffpumpe (Gesamtheit aller Prozesse, die den vertikalen Transport

von gelöstem anorganisch Kohlenstoff in die Tiefen des Ozeans bestimmen) und biologischer Kohlenstoffpumpe (Gesamtheit aller Prozesse, die den Transport von durch biologische Aktivität entstandenen organischen und anorganischen Kohlenstoffverbindungen, wie zum Beispiel abgestorbene Organismen und Muschelschalen, in die Tiefen des Ozeans bestimmen). Die Metapher Pumpe erscheint aus dem Blickwinkel der Vermittlungsabsicht wenig hilfreich, da sie z.B. für das Ausatmen von Kohlenstoffdioxid oder das Sich-Lösen von

Quelle	Ziel	Bezeichnung	Quelle
Vegetation	Atmosphäre	<i>respiration</i>	(Smith & Smith: S. 478, 3; Schlesinger: S. 359, IPCC: S. 515; Houghton: S. 253*)
		<i>decomposition</i>	(Smith & Smith: S. 480; Houghton: S. 253)
		<i>land use change</i>	(IPCC: S. 515, 1)
		<i>deforestation</i>	(Houghton: S. 253; Smith & Smith: S. 478)
		<i>net destruction of vegetation</i> <i>land sink</i>	(Schlesinger: S. 359) (IPCC: S. 515)
Atmosphäre	Vegetation	<i>photosynthesis</i>	(IPCC: 508, 13; Smith & Smith: S. 478; Houghton: S. 253, Schlesinger: S. 380, 2)
		<i>(gross) primary production</i>	(IPCC: S. 515; Smith & Smith: S. 478, 3; Schlesinger: S. 359)
Ozeane	Atmosphäre	<i>diffusion</i>	(Smith & Smith: S. 479, 1)
Atmosphäre	Ozeane	<i>physical &amp; chemical exchange</i> <i>gas exchange</i>	(Houghton: S. 253) (IPCC: S. 519, 1)
Vegetation	Ozeane	<i>riverine transport, rivers</i>	(IPCC: S. 51; Houghton: S. 253)
Sedimente	Atmosphäre	<i>weathering</i>	(IPCC: S. 515, 1)
Atmosphäre	Sedimente		
Ozeane	Sedimente	<i>sedimentation</i>	(Smith & Smith: S. 480, 3)
		<i>deep ocean burial</i>	(IPCC: S. 515, 1)
		<i>burial</i>	(Schlesinger: S. 359)
Fossile Energieträger	Atmosphäre	<i>combustion</i>	(Smith und Smith: S. 478)
		<i>burning of fossil fuel</i>	(IPCC: S. 501, 4)
		<i>fossil fuel use</i>	(Houghton: S. 253)

Abb. 6.2.2.1: Bezeichnungen der Ursachen der Kohlenstoffflüsse (aus: Niebert 2010, 50).

Quelle	Ziel	Konzept (... Ist Ursache des Kohlenstoffflusses)	Flussrate (in 10 <sup>15</sup> g/Jahr)			
			Schlesinger	Houghton	Smith&Smith	IPCC
Vegetation	Atmosphäre	<i>Atmung</i>	120	60	120	120
Atmosphäre	Vegetation	<i>Fotosynthese</i>	120	62	120	119,6 + 2,6
Ozeane	Atmosphäre	<i>Gasaustausch</i>	90	92	91	70,6 + 20
Atmosphäre	Ozeane	<i>Gasaustausch</i>	92	92	92	70 + 22,2
Vegetation	Ozeane	<i>Flusstransport</i>	0,8	-	0,5	0,8
Sedimente	Atmosphäre	<i>Verwitterung</i>	./.	./.	./.	0,2
Atmosphäre	Sedimente	<i>Verwitterung</i>	./.	./.	./.	0,2
Ozeane	Sedimente	<i>Sedimentierung</i>	0,1	./.	0,5	0,2
Fossile Energieträger	Atmosphäre	<i>Verbrennung</i>	6	5,5	5-6	6,4
Vegetation	Atmosphäre	<i>Abholzung</i>	0,9	1,5	1-2	1,5

Abb. 6.2.2.2: Beschreibung und Beträge der Flussraten in den untersuchten Quellen (./. = kein Fluss angegeben; - = Fluss ohne Betrag) (aus: Niebert 2010, 51)

Kohlenstoffdioxid im Meerwasser keinen Erklärungswert hat, sondern möglicherweise ein Hemmnis bei der Entwicklung von Verständnis darstellt. Als Objekt kann sie die Vorstellung einer Station zwischen zwei Speichern fördern und damit die Vorstellung blockieren, dass Eigenschaften der beiden in Verbindung stehenden Speicher (z.B. unterschiedliche Wasserdichte in Schichten der Ozeane) Ursache des Flusses sind. In den Veröffentlichungen der Wissenschaftler werden bei der Beschreibung von Kohlenstoffflüssen häufig Wörter wie freisetzen, abgeben, aufnehmen oder binden verwendet. Verkörperte Vorstellungen dazu verweisen auf das *Behälterschema* (in einen *Behälter* aufnehmen, aus einem *Behälter* abgeben). Die Behälter stehen zueinander in Beziehung als Akzeptor bzw. Donator. Die Metapher Pumpe induziert die Vorstellung einer weiteren ‚Instanz‘, die ihre Wirkung zwischen Speichern entfaltet, während die Speicher ansonsten als direkt in Kontakt stehende Behälter gedacht werden. Freisetzen weist auf ‚in Freiheit entlassen‘. Die Formulierung ‚freier Kohlenstoff‘ wird in Bezug auf Kohlenstoff in der Atmosphäre verwendet. Im gasförmigen CO<sub>2</sub> ist Kohlenstoff frei. Dieser Zustand endet, wenn der Kohlenstoff gebunden wird.

Die Fachliteratur setzt (naturgemäß) bezüglich der physikalischen, chemischen und biologischen Grundlagen der Kohlenstoffflüsse Wissen voraus. Die Vorgänge werden entweder durch Fachtermini repräsentiert (z.B. Fossilisation, Assimilation, Dissimilation) oder allgemein beschrieben (Bildung von ...). Gerade deshalb erscheint es sinnvoll, diesbezügliche Lernervorstellungen genau zu betrachten und ebenso im Schulbuch bereitgestellte Lernangebote (vgl. Kapitel 10).

Der Betrachtung von Kohlenstoffflüssen und Flussraten liegt das Start-Weg-Ziel-Schema zugrunde. Die Herausforderung für das Verstehen der Zusammenhänge besteht hier einerseits in der relativ großen Anzahl von Wegen und der dabei einzubeziehenden Flussraten und andererseits im Begreifen der Gesamtheit dieser Vorgänge als Kohlenstoff*kreislauf*. Insofern erscheint der systematische Ansatz nach Hildebrandt (2006) weniger geeignet, da er insbesondere bezüglich der chemischen und physikalischen Ursachen ohne deren ausführliche Behandlung nur schwer Vorstellungen anbieten kann, die an vorhandene Vorstellungen der Schüler anknüpfen. Die Zusammenstellung bietet nach Niebert (2010) die Möglichkeit, Übergänge zwischen Speichern als Stoffflüsse zwischen Kohlenstoffspeichern aufzufassen, die sowohl zu vorher im Unterricht erworbenen Vorstellungen als auch zu Alltagsvorstellungen Bezüge aufweisen. Als fachlich geklärt lassen sich folgende Konzepte angeben:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Zwischen Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffübergänge (Kohlenstoffflüsse) statt.</i>	<i>Flüsse zwischen Speichern</i>
<i>Pflanzen binden durch Fotosynthese Kohlenstoff</i>	<i>Kohlenstoffbindung</i>
<i>Kohlenstoff wird in Nahrungsketten weitergegeben</i>	<i>Kohlenstoffweitergabe</i>
<i>Dissimilation setzt Kohlenstoff frei</i>	<i>Kohlenstofffreisetzung</i>
<i>Die jährlichen Kohlenstoffflüsse können quantitativ abgeschätzt als Flussraten angegeben werden.</i>	<i>Unterschiedliche Flussraten</i>
<i>Ein großer Speicher weist nicht zwangsläufig eine große Flussrate zu einem anderen Speicher auf.</i>	<i>Flussrate unabhängig von Speichergroße</i>
<i>Über den Speicher Atmosphäre stehen räumlich getrennte Speicher indirekt in Verbindung.</i>	<i>Atmosphäre verbindet Speicher</i>
<i>Menschen in der Industriegesellschaft erzeugen zusätzliche Kohlenstoffflüsse.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse</i>

Diese Konzepte stehen nicht im Widerspruch zur Synopse von Hildebrandt, erscheinen aber aus den oben genannten Gründen geeigneter als Grundlage für die Entwicklung eines didaktisch rekonstruierten Lernangebots.

### 6.2.3 Gleichgewicht bei Zu- und Abflüssen eines Speichers

Die Angabe der Masse Kohlenstoff in einem Speicher stellt eine Momentaufnahme dar. Der Wert ist nur dann über einen längeren Zeitraum konstant, wenn entweder keine nennenswerten Kohlenstoffzuflüsse und -abflüsse stattfinden oder wenn sie in ihrer Summe gleich groß sind. Der letztgenannte Zustand wird in der Fachliteratur als Gleichgewicht bezeichnet. Die Metapher Gleichgewicht beinhaltet die verkörperte Vorstellung der Balance, der ‚Ausgewogenheit‘. Wenn sich unser Körper im Gleichgewicht befindet, fallen wir nicht um. Entsprechend ist die Vorstellung von Gleichgewicht emotional positiv besetzt. Das zeigt sich auch, wenn etwas nicht mehr im Gleichgewicht ist, weil eine ‚Störung‘ des Gleichgewichts auftritt (vgl. Kapitel 6.2.5). Der Terminus dynamisches Gleichgewicht enthält zwei Bestandteile: Es findet etwas statt (dynamisch), aber in der Summe ändert sich nichts (Gleichgewicht). Das sind zwei Bilder, die auf den ersten Blick nicht zusammenpassen, aber durch die Betrachtung gegenläufiger Veränderungen den Blick auf die Erklärung eines Zustandes freigeben.

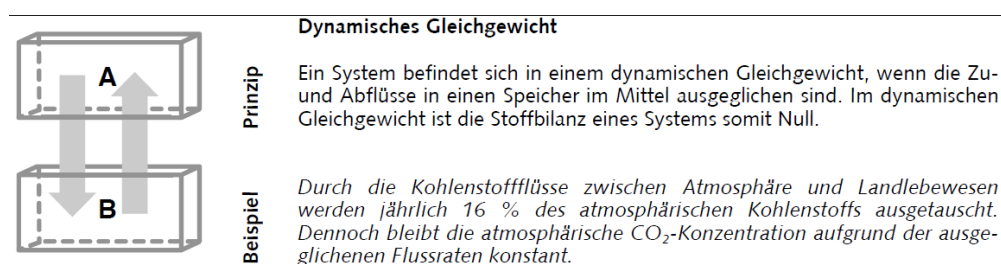


Abb. 6.2.3.1: Prinzip des dynamischen Gleichgewichts (Niebert 2010, 53)

Konzept	Konzeptname
<i>Etwa gleich große Zu- und Abflüsse aus einem Kohlenstoffspeicher bilden ein dynamisches Gleichgewicht.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>

### 6.2.4 Von Kohlenstoffflüssen zum Kohlenstoffkreislauf

Theoretisch lässt sich das Kreislaufschema aus dem Start-Weg-Ziel-Schema dadurch herleiten, dass das Ziel zum Start erneuter Durchläufe wird. Untersuchungen zu Lernervorstellungen zum Blutkreislauf (Riemeier, Jankowski, Kersten, Pach, Rabe, Sundermeier & Gropengießer 2010) machen deutlich, dass die Übertragung der Metapher Kreislauf auf den Blutkreislauf des Menschen für Lernende nicht einfach ist. Zum Blutkreislauf haben Lernende keine verkörperten (aus der unmittelbaren Erfahrung erwachsenen) Vorstellungen, sondern nur abstrakte, imaginative Vorstellungen, also durch die metaphorische Nutzung der Struktur einer verkörperten Vorstellung entstandene Vorstellungen (Riemeier et al 2010, 79). Die Anwendung der Metapher Kreislauf auf den Kohlenstoffkreislauf birgt mehrere Schwierigkeiten. Die bildhafte Vorstellung eines Läufers auf einer kreisförmigen Bahn (die zugrundeliegende verkörperten Vorstellung) legt nahe, dass es nur einen vorgezeichneten Weg gibt. Dies erweist sich schon beim Blutkreislauf als Lernhindernis (Riemeier et al. 2010), da das Blut innerhalb des Kreislaufs verschiedene Wege nehmen kann und nimmt. Gleiches gilt in noch stärkerem Maße für ein Kohlenstoffatom im Kohlenstoffkreislauf. Dazu stellt Niebert (2010)

fest: „Der Kreislauf ist in der Metapher *Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf* sehr abstrakt, da nur modellhaft immer wieder gleiche Orte passiert oder die gleichen Zustände eingenommen werden können (...). Die für Kreisläufe und auch Zyklen charakteristische Sequenz immer gleicher Stadien oder Orte ist ebenfalls bei den Kohlenstoffflüssen nur modellhaft gegeben. Fachlich nicht angemessene Interpretationen der Kreislaufmetapher können aus einer zu starken Fokussierung auf das Kreislaufschema entstehen, die Vorstellungen zur Folge haben, in denen Kohlenstoff immer den gleichen Weg nimmt oder in Teilkreisläufen (z.B. Ozean/Atmosphäre) gefangen ist.“ (Niebert 2010, 122). Die dort zu findende Aussage „Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf“ (vgl. Abbildung 6.2.4.1) ist in der wissenschaftlichen Literatur teilweise explizit (z.B. Houghton 2002, 253, Abbildung 6.2.4.2) oder implizit zu finden.

Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf	
<b>Quellbereich:</b> Kreislaufschema	<b>Zielbereich:</b> der Kohlenstoffkreislauf ist ein geschlossenes System, in dem Kohlenstoff zwischen Speichern ausgetauscht wird.

Abb. 6.2.4.1: Die Kreislaufmetapher bezüglich des Kohlenstoffkreislaufs (Niebert 2010, 122)

Andere Autoren verzichten auf die Visualisierung des Kreislaufschemas und stellen nur Speicher und Flüsse dar, meist unter Angabe von Flussraten (Abbildung 6.2.4.3 und 6.2.4.4).

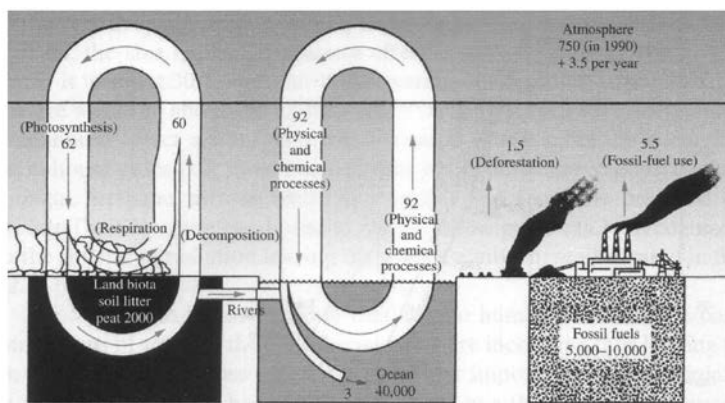


Figure 14.8: The reservoirs of carbon in the earth, the biosphere, the ocean and the atmosphere and the annual exchanges of carbon dioxide (expressed in terms of the mass of carbon it contains) between the reservoirs (from Houghton, 1997). The units are gigatonnes (Gt). Emissions of carbon dioxide into the atmosphere from the burning of fossil fuel currently amount to about 5.5 gigatonnes of carbon per annum.

Abb. 6.2.4.2: Kohlenstoffkreislauf bei Houghton (2002, 253)

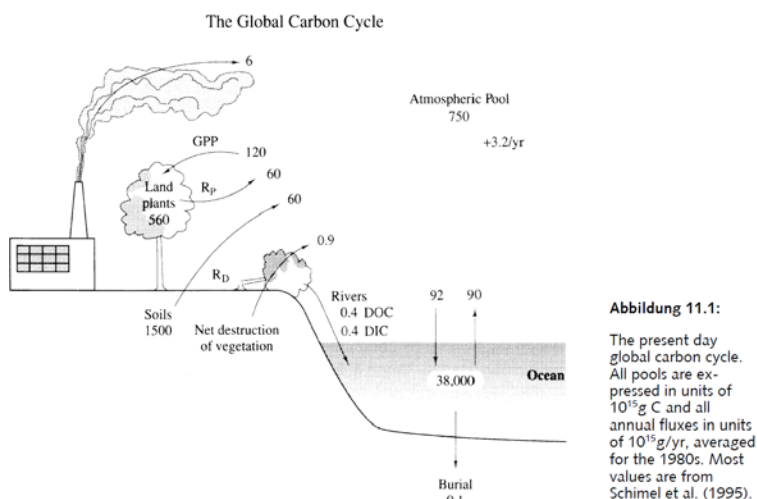
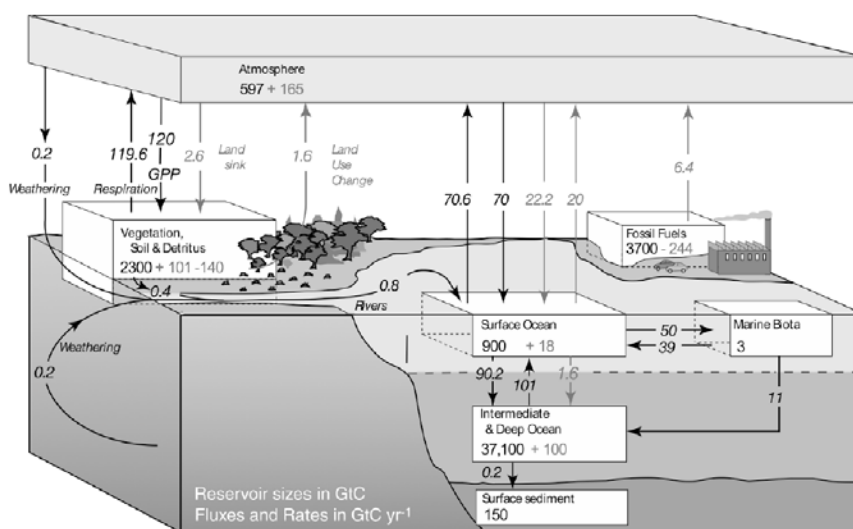


Abbildung 11.1: The present day global carbon cycle. All pools are expressed in units of  $10^{15}$ g C and all annual fluxes in units of  $10^{15}$ g/yr, averaged for the 1980s. Most values are from Schimel et al. (1995).

Abb. 6.2.4.3: Kohlenstoffkreislauf bei Schlesinger (1997, 359)

Eine weitere potenzielle Schwierigkeit beim Anwenden des Kreislaufschemas auf den Kohlenstoffkreislauf liegt auf stofflicher Ebene. Im Kohlenstoffkreislauf werden alle auf der Erde vorkommenden Kohlenstoffverbindungen in ihrer Gesamtheit betrachtet. Im engeren Sinne müsste vom Kreislauf der Kohlenstoffatome gesprochen werden. In den wissenschaftlichen Darstellungen tritt häufig Kohlenstoffdioxid in den Vordergrund. So wird in der Fotosynthese Kohlenstoffdioxid fixiert oder gebunden, im Rahmen von Dissimilation oder Verbrennung Kohlenstoffdioxid freigesetzt oder von Ozeanen Kohlenstoffdioxid gelöst, meist ohne auf die damit verbundenen chemischen Reaktionen einzugehen. Hier wird eine Ausrichtung auf das in den Lehrbüchern meist folgende Thema Klimawandel bzw. Treibhauseffekt erkennbar. Vor diesem Hintergrund kann auch die Unterscheidung zwischen natürlichem und künstlichem im Sinne von anthropogen zusätzlich freigesetztem Kohlenstoffdioxid verstanden werden. Zum Natürlich-Künstlich-Schema gibt es unterschiedliche Beschreibungen (vgl. Niebert 2010, 22). Künstlich bedeutet hier: von Menschen zu einem intendierten Zweck hergestellt. Damit ist nicht die vom Menschen als biologischem Wesen aufgenommene und abgegebene Kohlenstoffmenge gemeint. Der Bezug zum intendierten Zweck kommt auch in der Bezeichnung fossiler Kohlenstoffablagerungen bzw. des entsprechenden Speichers als fossile Energieträger oder fossile Brennstoffe zum Ausdruck. Mit dieser Vorstellung sind die Denkfiguren vorindustrielles Gleichgewicht und anthropogenes Ungleichgewicht verbunden (vgl. Niebert 2010, 54–58). Mit Gleichgewicht ist hier ein dynamisches Gleichgewicht gemeint (Abbildung 6.2.3.1). Für das Verstehen der Summe aller dieser Gleichgewichte als Kohlenstoffkreislauf ist zu beachten, dass es hier zu jeder Bewegung eine gegenläufige Bewegung gibt, also dem Kreislauf im Gegensatz zum Blutkreislauf keine Richtung vorgegeben ist.

Zum Kohlenstoffkreislauf findet man bei einigen Autoren eine Zerlegung in Teilkreisläufe (vgl. Niebert 2010, 51). So unterscheidet Houghton (2002) zwischen terrestrischem und marinem Kreislauf (Abbildung 6.2.4.2), während nach Hildebrandt (2006) auch zwischen einem kurzfristigen, durch biochemische Vorgänge geprägten, und einem langfristigen, durch geochemische Prozesse geprägten Kreislauf aufgrund der zeitlichen Dimension unterschieden werden kann.



**Figure 7.3:** The global carbon cycle for the 1990s, showing the main annual fluxes in GtC yr<sup>-1</sup>: pre-industrial 'natural' fluxes in black and 'anthropogenic' fluxes in red. [...] Gross fluxes generally have uncertainties of more than ±20% but fractional amounts have been retained to achieve overall balance when including estimates in fractions of GtC yr<sup>-1</sup> for riverine transport, weathering, deep ocean burial, etc.

Abb. 6.2.4.4: Kohlenstoffkreislauf beim IPCC (IPCC 2007, 515)



Das komplexe Gefüge Kohlenstoffkreislauf kann alternativ durch unterschiedliche Sätze von Konzepten beschrieben werden, die sich in Übereinstimmung mit wissenschaftlich abgesicherten Vorstellungen zum Thema befinden. Sie können zusammengefasst werden unter der Denkfigur ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘. Dadurch werden diese Vorstellungen abgegrenzt von denen zu direkten und indirekten Einflüssen auf die globale Kohlenstoffverteilung durch menschliches Handeln in industriellem Maßstab (Niebert 2010).

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Der globale Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Kohlenstoffflüssen.</i>	<i>Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf</i>
<i>Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen und zwischen Atmosphäre und Ozeanen bilden annähernd dynamische Gleichgewichte.</i>	<i>Gleichgewichtige Land und Ozean</i>
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen.</i>	<i>Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	<i>Land- und Ozeankreislauf</i>

oder:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Landlebewesen und Atmosphäre bilden einen terrestrischen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Terrestrischer Kreislauf</i>
<i>Ozeane und Atmosphäre bilden einen marinen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Mariner Kreislauf</i>
<i>Die beiden Kreisläufe stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.</i>	<i>Verbundene Kreisläufe</i>
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen.</i>	<i>Unterschiedliche Verweildauer</i>
<i>Kohlenstoffatome können unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	<i>Unterschiedliche Wege</i>
<i>Nach der mittleren Aufenthaltsdauer des Kohlenstoffs in den Speichern kann man zwischen einem Kurzzeit- und einem Langzeitkreislauf unterscheiden.</i>	<i>Kurzzeit- und Langzeitkreislauf</i>

Im Rahmen der fachlichen Klärung kann nicht eindeutig bestimmt werden, auf welcher Basis das maximal lernförderliche didaktisch rekonstruierte Lernangebot fußen sollte. Während die erste Alternative alle Elemente des globalen Kohlenstoffkreislaufs in ein System integriert, stellt die zweite Variante die Betrachtung der Ökosysteme in den Vordergrund und betont die zeitliche Dimension.

### **6.2.5 Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf**

Mit Fortschreiten der Industrialisierung hat der Mensch zunehmend Kohlenstoffflüsse verursacht, die durch ihre Größenordnung geeignet sind, signifikante Veränderungen von Flussraten und Speicherinhalten zu bewirken. Die beiden entscheidenden Vorgänge sind die Oxidation von Kohlenstoff aus fossilen Brennstoffen und die damit einhergehende Kohlenstoff-

dioxidemission in die Atmosphäre und die Abholzung eines erheblichen Teils der auf der Erde vorhandenen Wälder, woraus ein zusätzlicher Kohlenstofffluss in die Atmosphäre resultiert bzw. ein verminderter Fluss von der Atmosphäre in den Speicher Landlebewesen.

Mit Blick auf dieses Geschehen findet man für den globalen Kohlenstoffkreislauf insgesamt die Unterscheidung einer vorindustriellen (natürlichen) Gleichgewichtssituation und die Periode des vom Menschen („künstlich“) verursachten anthropogenen Ungleichgewichts. Unter der Denkfigur „Anthropogenes Ungleichgewicht“ können Konzepte zusammengefasst werden, die Einflüsse des Menschen betreffen (Niebert 2010). In diesem Zusammenhang findet man in Lehrbüchern Termini wie „Störung des Gleichgewichts“ (eng. disturbance), die einerseits auf eine Personifizierung weisen und andererseits eine Wertung beinhalten, wenn man gestört im Sinne von beeinträchtigt, belästigt versteht (Niebert 2010). Das unterstreicht die Vorstellung von einem vorindustriellen Gleichgewicht als Normalzustand bzw. als wünschenswertem Zustand.

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Brandrodung erzeugt der Mensch zusätzliche Kohlenstoffflüsse in den Speicher Atmosphäre.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse in Atmosphäre</i>
<i>Anthropogen verursachte zusätzliche Kohlenstoffflüsse können als Störung des natürlichen Gleichgewichts aufgefasst werden.</i>	<i>Mensch stört Gleichgewicht</i>

### 6.2.6 Folgen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre

Der durch Menschen verursachte zusätzliche Kohlenstoffdioxidfluss in die Atmosphäre hat zu einem deutlichen Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration geführt. Dieser Vorgang hält an. Alle von Niebert in seine Untersuchung einbezogenen Lehrbücher enthalten Aussagen zu der Tatsache, dass diese erhöhte Konzentration Auswirkungen auf die Kohlenstoffflüsse aus dem Speicher Atmosphäre in andere Speicher hat, insbesondere in die Speicher Landlebewesen und Meer. Bezüglich der Größe dieses Effekts variieren die Schätzungen der Lehrbuchautoren. Konzepte zu diesem Thema können unter der Denkfigur „Reagierender Kohlenstoffkreislauf“ zusammengefasst werden (Niebert 2010).

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Als Folge der erhöhten Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre fließt zusätzlich Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Richtung Ozeane und Landlebewesen.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>
<i>In der Summe sind derzeit die anthropogenen Kohlenstoffzuflüsse in die Atmosphäre größer als die indirekt verursachten Abflüsse.</i>	<i>In Summe Anstieg in der Atmosphäre</i>

In einem dynamischen System ist zu erwarten, dass diese sekundären Veränderungen von Flussraten ihrerseits zu weiteren tertiären Veränderungen von Flussraten aus den betroffenen Speichern führen. Da die Größenordnungen in jedem Schritt abnehmen und quantitative Schätzungen zu diesen Einflüssen schwierig sind, können sie unberücksichtigt bleiben.



Unter dem Stichwort moderner Kohlenstoffkreislauf findet man bei Niebert (2010) eine grafische Darstellung, die die fachlich geklärten Inhalte aus seiner Sicht zusammenfassend darstellt (Abbildung 6.3.2). Sie stellt Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffflüsse zwischen ihnen in den Vordergrund unter Einbeziehung anthropogener Einflüsse und deren Auswirkungen auf Flussraten. Die Anordnung der Pfeile legt einen Vergleich von Zu- und Abflüssen bezüglich der Speicher nahe. Eine Visualisierung des Kreislaufschemas tritt dahinter zurück.

Die Konzepte zum Kohlenstoffkreislauf können drei Denkfiguren zugeordnet werden: Vorindustrielles Gleichgewicht, Anthropogenes Ungleichgewicht und Reagierender Kohlenstoffkreislauf (Niebert 2010). Die Darstellungen der Wissenschaftler in Text und Abbildungen weisen immer wieder auf bestimmte verkörperte Vorstellungen: Speicher – Behälterschema; Flüsse – Start-Weg-Ziel-Schema; Kreislauf – Start-Weg-Ziel-Schema mit Ziel = Start; Gleichgewicht – Balance. Die fachlich geklärten Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf können als Set aus Konzepten angegeben werden:

### Denkfigur ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘

<b>Vorstellungen zu Kohlenstoffspeichern</b>	
<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Der Kohlenstoff auf der Erde kann den Speichern Atmosphäre, Landbewesen, Sedimente, Fossile Brennstoffe und Ozeane zugeordnet werden.</i>	<i>Kohlenstoff in Speichern</i>
<i>Es gibt gebundenen und freigesetzten Kohlenstoff</i>	<i>Gebundener und freigesetzter Kohlenstoff</i>
<i>Die Kohlenstoffspeicher enthalten unterschiedlich viel Kohlenstoff.</i>	<i>Unterschiedliche Speichergroße</i>
<i>Die Kohlenstoffspeicher enthalten Kohlenstoff in unterschiedlichen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Ozeane können unterteilt werden in die Kohlenstoffspeicher Oberflächenwasser und Tiefenwasser.</i>	<i>Mehrteiliger Speicher Ozeane</i>
<i>Fossile Brennstoffe sind aus Lebewesen entstanden</i>	<i>Biogener Ursprung fossiler Brennstoffe</i>

<b>Vorstellungen zu Kohlenstoffflüssen</b>	
<i>Zwischen Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffübergänge (Kohlenstoffflüsse) statt.</i>	<i>Flüsse zwischen Speichern</i>
<i>Die jährlichen Kohlenstoffflüsse können quantitativ abschätzt als Flussraten angegeben werden.</i>	<i>Unterschiedliche Flussraten</i>
<i>Pflanzen binden durch Fotosynthese Kohlenstoff</i>	<i>Kohlenstoffbindung</i>
<i>Kohlenstoff wird in Nahrungsketten weitergegeben</i>	<i>Kohlenstoffweitergabe</i>
<i>Dissimilation setzt Kohlenstoff frei</i>	<i>Kohlenstofffreisetzung</i>
<i>Menschen in der Industriegesellschaft erzeugen zusätzliche Kohlenstoffflüsse.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse</i>

<b>Gleichgewicht bei Zu- und Abflüssen eines Speichers</b>	
<i>Etwa gleich große Zu- und Abflüsse aus einem Kohlenstoffspeicher bilden ein dynamisches Gleichgewicht.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>

<b>Von Kohlenstoffflüssen zum Kohlenstoffkreislauf</b>	
<i>Der globale Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Kohlenstoffflüssen.</i>	<i>Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf</i>
<i>Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen und zwischen Atmosphäre und Ozeanen bilden annähernd dynamische Gleichgewichte.</i>	<i>Gleichgewichte Land und Ozean</i>
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen.</i>	<i>Unterschiedlich langes Verweilen in Speichern</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	<i>Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs</i>
<i>Alternativ zu einem Kreislauf können Teilkreisläufe beschrieben werden:</i>	
<i>Landlebewesen und Atmosphäre bilden einen terrestrischen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Terrestrischer Kreislauf</i>
<i>Ozeane und Atmosphäre bilden einen marinen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Mariner Kreislauf</i>
<i>Terrestrischer und Mariner Kreislauf stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.</i>	<i>Verbundene Kreisläufe</i>

Es kann auch eine Einteilung nach der mittleren Verweildauer des Kohlenstoffs erfolgen, wenn die hohen Flussraten zwischen Atmosphäre und Ökosystemen und die geringen zwischen Sedimenten und anderen Speichern betont werden sollen:

<i>Nach der mittleren Aufenthaltsdauer des Kohlenstoffs in den Speichern kann man zwischen einem Kurzzeit- und einem Langzeitkreislauf unterscheiden</i>	<i>Kurzzeit- und Langzeitkreislauf</i>
--	--

### **Denkfigur ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘**

<b>Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf</b>	
<i>Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Brandrodung erzeugt der Mensch zusätzliche Kohlenstoffflüsse in den Speicher Atmosphäre.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse</i>
<i>Anthropogen verursachte zusätzliche Kohlenstoffflüsse können als Störung des natürlichen Gleichgewichts aufgefasst werden.</i>	<i>Mensch stört Gleichgewicht</i>

### **Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘**

<b>Folgen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre</b>	
<i>Als Folge der erhöhten Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre fließt zusätzlich Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Richtung Ozeane und Landlebewesen.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>
<i>In der Summe sind derzeit die anthropogenen Kohlenstoffzuflüsse in die Atmosphäre größer als die indirekt verursachten Abflüsse.</i>	<i>In Summe Anstieg in der Atmosphäre</i>



## **7 Schulbuchinhalte zum Kohlenstoffkreislauf**

Alle in Deutschland bundesländerübergreifend angebotenen Biologieschulbücher für die gymnasiale Oberstufe enthalten Texte und Abbildungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf, die in das Themengebiet Ökologie eingebettet sind. Dies ist in der Tatsache begründet, dass in der Mehrzahl der Bundesländer das Thema Kohlenstoffkreislauf oder biogene Stoffkreisläufe in den entsprechenden Richtlinien für das Fach Biologie für die gymnasiale Oberstufe verankert ist. In diesem Kapitel wird die Untersuchung der Schulbuchinhalte dargestellt. Zum einen werden diese analysiert im Hinblick auf die darin zum Ausdruck kommenden Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf. Zum anderen werden aus der Perspektive der Verständlichkeit begründete Hypothesen zur Verständlichkeit der dieser Schulbuchinhalte aufgestellt, deren empirische Prüfung in Kapitel 10 dargestellt ist.

### **7.1 Schulbuchinhalte als didaktische Struktur**

Biologieschulbücher enthalten Texte und Abbildungen zu biologischen Themen, die zur Erfüllung einer Vermittlungsabsicht entwickelt und produziert werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Optimierung der verstehensfördernden Wirkung wichtiger Gesichtspunkt bei ihrer Entstehung ist. Schulbücher diese Wirkung entfalten, indem sie Vorstellungen anbieten, das Bezeichnen von Vorstellungen erleichtern und dazu anregen, Schemata zu reflektieren. Im Folgenden soll dieser Entstehungsweg kurz beleuchtet werden, zum einen weil er die Ergebnisse der Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf (Kapitel 7.2) und deren Verständlichkeit (Kapitel 10) verstehen hilft, und zum anderen weil er bedeutsam ist für Möglichkeiten zur Optimierung (Kapitel 11).

#### **7.1.1 Lehrbuchinhalte als Grundlage für die Entstehung von Schulbuchinhalten**

Die Inhalte von Lehrbüchern aus dem wissenschaftlichen Bereich stellen eine mehr oder weniger vollständige Zusammenfassung der aktuellen Vorstellungen der Forscher zu einem Themengebiet dar. Sie werden in der Regel von Autoren aus dem Hochschulbereich geschrieben. Während wissenschaftliche Einzelveröffentlichungen überwiegend der Bereitstellung aktueller Forschungsergebnisse in der scientific community dienen, richten sich Lehrbücher an Studenten, Lehrpersonen und wissenschaftlich Interessierte und beinhalten insofern eine Vermittlungsabsicht und eine mehr oder weniger deutlich erkennbare didaktische Ausrichtung. Sie variieren stark in der Umsetzung dieser didaktischen Komponenten. Innerhalb der Untersuchung von Schulbuchinhalten zum Kohlenstoffkreislauf haben sie einerseits Bedeutung für die fachliche Klärung der Vorstellungen von Fachwissenschaftlern (vgl. Kapitel 6). Andererseits sind die Lehrbücher bedeutsam als eine wichtige Informationsquelle für Schulbuchautoren, sodass zu erwarten ist, dass Schulbücher vergleichbare Konzepte wie die Lehrbücher enthalten.

An der Erstellung von Schulbuchinhalten wirken in der Regel Personen aus den Bereichen Schule (Lehrkräfte, Fachleiter, Fachberater etc.) und Hochschule (Fachwissenschaftler, Didaktiker) als Autoren oder Berater mit, die in Zusammenarbeit mit Verlagsmitarbeitern die Inhalte entwickeln. Das Layout wird überwiegend von Vorgaben durch den Verlag bestimmt.

Grafiken werden in der Regel von professionellen Grafikern, die zumeist keine naturwissenschaftliche Ausbildung haben, nach Entwürfen der Autoren angefertigt. Die Betrachtung dieses Entstehungsweges ist für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung, denn Lernwirkung und Lernwirksamkeit der Schulbuchinhalte sollen daran gemessen werden, ob bzw. inwieweit sie einen Beitrag zur Annäherung von Schülervorstellungen an die von der Wissenschaft allgemein akzeptierten Vorstellungen leisten können, die aus didaktischer Perspektive fachlich geklärt sind. Schon bei der ersten Durchsicht von Schulbüchern für die gymnasiale Oberstufe fällt auf, dass Inhalte mit den gängigen universitären Lehrbüchern übereinstimmen. Schulbuchautoren orientieren sich häufig an Lehrbüchern aus dem Wissenschaftsbereich. Aus konstruktivistischer Sicht sind Zeichen der Zugang zu darin zum Ausdruck kommenden Vorstellungen zu einem Sachgegenstand (Referenten). Schulbuchautoren haben in der Regel keine unmittelbaren Vorstellungen zum Referenten Kohlenstoffkreislauf als Forschende. Sie gelangen zu Vorstellungen darüber, indem sie – vergleichbar mit dem Vorgehen der Lernenden bei der Auseinandersetzung mit Schulbuchinhalten – aus ihrer Perspektive auf Vorstellungen schließen, die Veröffentlichungen an sie herantragen.

Wie das semiotische Dreieck (Abbildung 4.4.1) zeigt, bieten Zeichen einen Zugang auf Vorstellungen eines Sich-Äußernden auf einen Referenten, nicht jedoch unmittelbar auf den Referenten selbst. Aussagen über einen naturwissenschaftlichen Referenten in einem Schulbuch stellen geäußerte Vorstellungen von Schulbuchautoren über erlangte Vorstellungen von Lehrbuchautoren zum Referenten dar (Abbildung 7.1.1.1). Wie Hochschullehrbücher die Vorstellungen von deren Autoren enthalten, repräsentieren Schulbuchinhalte die Vorstellung von deren Autoren und Redakteuren. Auf allen Ebenen können neben fachlich geklärten Vorstellungen auch Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen (misconceptions) oder vorwissenschaftliche Vorstellungen (prior conceptions) in die Darstellung einfließen.

Neben der inhaltlichen Übereinstimmung mit fachlich geklärten Vorstellungen soll der didaktischen Aufbereitung der Inhalte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Sie kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Hier soll neben dem Weg der didaktischen Rekonstruktion (s.u.) ein traditioneller Weg kurz dargestellt werden, da auf dieser Grundlage die meisten aktuell verbreiteten Schulbuchinhalte entstanden sind. Dabei lassen sich mehrere Teilschritte unterscheiden. In einem ersten Schritt findet eine didaktische Reduktion statt. Aus der Fülle der fachlichen Inhalte muss – unter Berücksichtigung von Vorgaben durch Richtlinien oder Rahmenpläne – eine Auswahl der Vermittlungsgegenstände getroffen werden. Neben dem Weglassen von wissenschaftlichen Daten gehören zu dieser didaktischen Reduktion das Überführen verbaler Darstellungen in einfache Diagramme und die Entwicklung von Modellvorstellungen (vgl. Staeck 1995). Neben der inhaltlichen Reduktion erfolgt meist auch eine Vereinfachung in der sprachlichen Darstellung sowie der wissenschaftsbezogenen Methoden. In diesem Falle spricht man von einer didaktischen oder methodischen Transformation (Gropengießer & Kattmann 2006, 47ff.). Sie kann auch Schritte der Neuordnung und der Verknüpfung mit anderen (z.B. gesellschaftlichen oder ethischen) Komponenten enthalten. Weber unterscheidet die kognitive und die emotionale Dimension der didaktischen Reduktion. Er geht davon aus, dass diese Schritte Biologielehrern und Autoren so selbstverständlich geworden sind, dass sie nicht immer hinreichend bewusst vorgenommen werden (Weber 1976). Bezüglich der beiden Formen der Reduktion (vgl. ebd.) ist festzustellen, dass sowohl die Auswahl eines Ausschnitts aus dem Gesamtkomplex als auch die Reduktion von Einzel-



komponenten innerhalb des dargestellten Ausschnitts bei den betrachteten Schulbuchinhalten vorkommen.

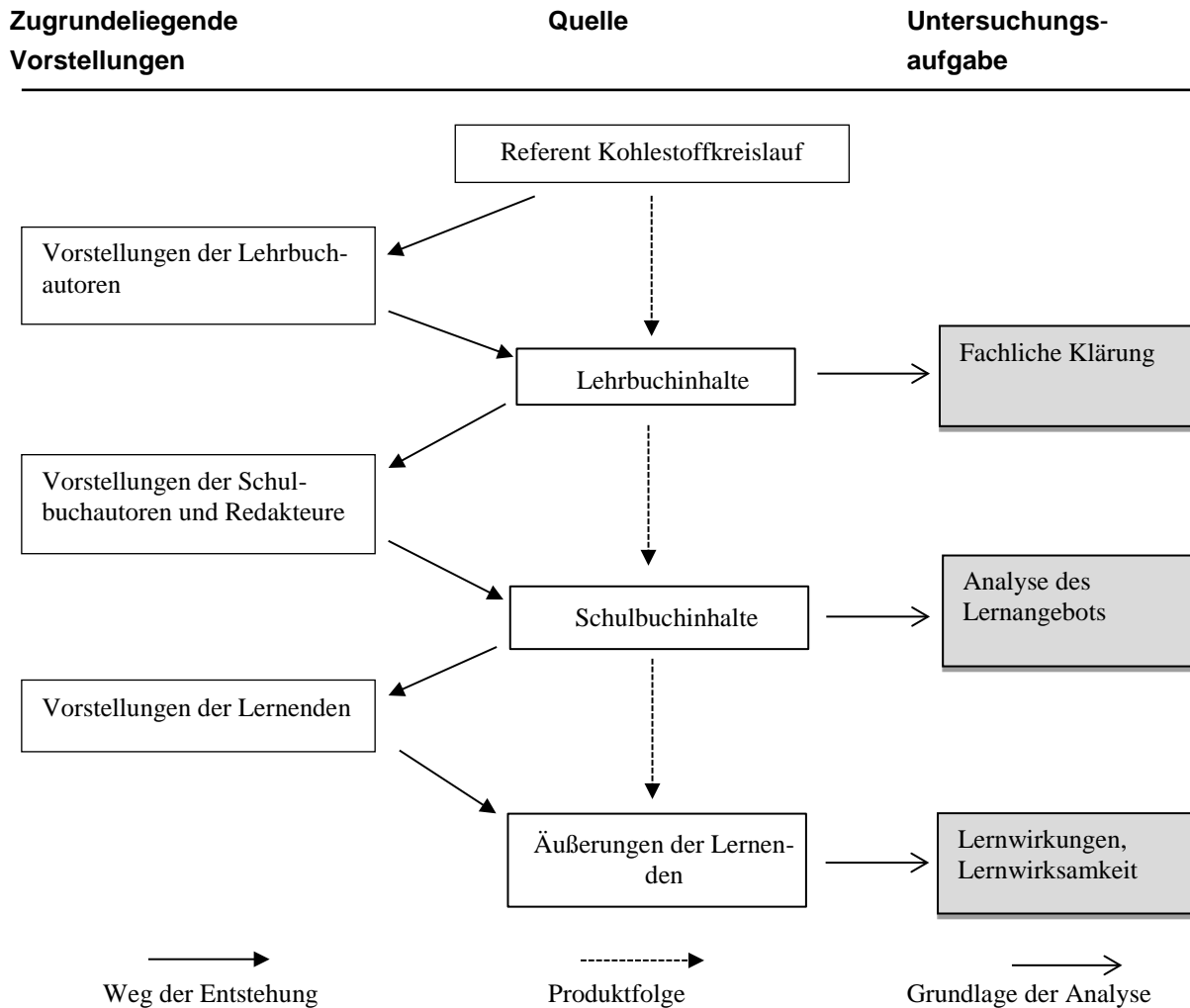


Abb. 7.1.1.1: Konstruktivistische Sicht auf Entstehung und Wirkung von Schulbuchinhalten und die Untersuchungsaufgaben nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (vgl. Kapitel 5.1) erfolgt die Entwicklung eines didaktisch strukturierten Lernangebots in engem Bezug mit der fachlichen Klärung und unter Einbeziehung von bei den Lernenden vorhandenen Vorstellungen, die aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens als lernförderlich integriert oder als lernhemmend bearbeitet werden können. Im Einzelnen ist zu fragen:

- Ist der Kerngedanke des Themas klar erkennbar? (Elementarisierung)
- Sind vorhersehbar fehlerleitende oder überflüssige Termini enthalten? (Kritische Analyse)
- Sind die zum Verständnis des Phänomens notwendigen fachlichen Voraussetzungen bedacht; d.h. können sie vorausgesetzt werden oder werden sie dargestellt? (Fachliche Rahmung)
- Sind Bezüge des Themas zur Alltagswelt der Lernenden dargestellt? (Lebensweltliche Einbettung)

Während die Lehrkraft im Unterricht auf Anzeichen entsprechender Lernhindernisse eingehen kann, muss von Schulbuchinhalten erwartet werden, dass diese Aspekte bei der Darstellung des Lerngegenstandes berücksichtigt sind.

### **7.1.2 Der Kohlenstoffkreislauf in Biologiebüchern für die gymnasiale Oberstufe**

Die Untersuchung von Niebert (2010) hat einerseits gezeigt, dass die Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf bei Lernenden andere sind als die von Wissenschaftlern. Andererseits findet man sowohl Fachwissenschaftler als auch Lernende vergleichbare verkörperte Vorstellungen, sie verwenden teilweise die gleichen Denkwerkzeuge und Schemata. In Bezug auf diese Ausgangslage fällt Schulbuchautoren nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion die Rolle eines Mittlers zu. Das allerdings setzt voraus, dass die Autoren nicht nur die Vorstellungswelt der Wissenschaftler kennen, sondern auch die der Lernenden, um ihnen einen Weg anzubieten, durch die Bearbeitung von Text und Abbildungen ihre Vorstellungen den fachwissenschaftlichen anzunähern. Aus konstruktivistischer Perspektive auf das Lernen und Lehren wird zudem der Anspruch an das Material gestellt, das Lernende damit mehr oder weniger selbstständig arbeiten können. Die Komplexität des Themas Kohlenstoffkreislauf (vgl. Kapitel 6) legt nahe, in Abhängigkeit vom unterrichtlichen Kontext eine Schwerpunktsetzung vorzunehmen und eine Reihenfolge der Vermittlungsschritte zu planen. Bezüglich der ausgewählten Beispiele gilt: Der Kohlenstoffkreislauf wird in den Biologieschulbüchern als eigenständiges Thema dargestellt, und zwar nach den Themen Assimilation und Dissimilation im Themengebiet Stoffwechsel vor dem Thema Treibhauseffekt bzw. Global Warming im Themengebiet Ökologie.

## **7.2 Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele**

Die Schulbuchinhalte werden mit dem Ziel analysiert, die in ihnen zum Ausdruck kommenden inhaltstragenden Vorstellungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf zu rekonstruieren und diese dann mit den fachlich geklärten Vorstellungen von Wissenschaftlern zu vergleichen. In einem zweiten Schritt werden Hypothesen bezüglich der Lernwirksamkeit der Schulbuchinhalte aufgestellt.

### **7.2.1 Fragestellungen**

Zu den Eigenschaften, die von einem Schulbuchinhalt erwartet werden dürfen, gehören neben der didaktisch begründeten, von Richtlinien der Kultusministerien mitbestimmten Auswahl der Inhalte deren Übereinstimmung mit fachlich geklärten wissenschaftlichen Vorstellungen und die Darbietung in einer für Lernende verständlichen Weise (Weinbrenner 1995). Für die Untersuchung der Schulbuchinhalte sollen folgende Fragestellungen leitend sein:

1. Welche Vorstellungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf enthalten die untersuchten Schulbücher und inwieweit stimmen diese mit den fachlich geklärten Vorstellungen bei Wissenschaftlern überein?
2. Welche Hypothesen zur Lernwirksamkeit bzw. Verständlichkeit der Schulbuchinhalte lassen sich aus den Schulbuchinhalten unter Berücksichtigung möglicher Lernervorstellungen zum Thema ableiten?

Die aufgestellten Hypothesen werden später anhand der in den Äußerungen der Lernenden während der Interviews erkennbaren Aspekte zum Thema Verständlichkeit geprüft (Kapitel 10).

## **7.2.2 Methodisches Vorgehen**

Die Untersuchungsaufgabe ‚Vorstellungen in Schulbuchinhalten zum Thema Kohlenstoffkreislauf‘ wird als Dokumentenanalyse durchgeführt. Die Untersuchung orientiert sich an den Ergebnissen der Fachlichen Klärung. Da diese Ergebnisse auch zur Systematisierung bei der Ermittlung der Lernervorstellungen (Kapitel 9) verwendet werden, ist sichergestellt, dass die Ergebnisse aller Untersuchungsaufgaben sinnvoll aufeinander bezogen werden können.

Die Analyse der Schulbuchangebote erfolgt auf der Basis des für diese Arbeit aufgespannten theoretischen Rahmens (vgl. Kapitel 4) mit darauf abgestimmten Methoden (vgl. Kapitel 5). Besonderes Augenmerk gilt neben den Konzepten und Denkfiguren den Metaphern und Schemata („image schematic structures“, Lakoff 1990), wie sie in wissenschaftlichen Lehrbüchern erkennbar sind und die bei Lernenden vorkommen (vgl. Niebert 2010, 17 ff.). Für den hier betrachteten Kontext relevante Schemata sind das Start-Weg-Ziel-Schema, das Kreislaufschema, das Behälterschema, das Speicher-Fluss-Schema, das Personenschema und die Natürlich-Künstlich-Unterscheidung. Wenn diese Schemata als konstituierend für Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf bei Wissenschaftlern und Lernenden erkannt sind, ist ihre Verwendung auch in illustrierten Texten mit Vermittlungsabsicht, also den Schulbuchinhalten, zu erwarten. Die folgende Analyse zeigt diesbezüglich gravierende Unterschiede.

Die interpretative Ableitung der Konzepte und Denkfiguren erfolgt auf der Basis der Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2003) in der für die biologiedidaktischen Forschung adaptierten Form nach Gropengießer (2005) in den Stufen Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung. Anschließend werden die in der Abbildung zum Ausdruck kommenden Vorstellungen vergleichend zu den im Text erkannten dargestellt.

Die Ergebnisse der Qualitativen Inhaltsanalyse von den Schulbuchinhalten zum Thema Kohlenstoffkreislauf, also die rekonstruierten Konzepte werden in Form einer Liste übersichtlich zusammengestellt, die sie aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens unter Denkfiguren subsumiert. Auf diese Weise wird ein Vergleich mit den Ergebnissen der fachlichen Klärung erleichtert. In diesem Teil wird auch der Text-Abbildungs-Bezug geklärt.

Im darauf folgenden Teil der Untersuchung werden begründete Hypothesen zur Lernwirkung und Lernwirksamkeit der Schulbuchinhalte aufgestellt, die einerseits auf den theoretischen Grundlagen zur Verständlichkeit von Texten und Bildern und deren Kombination (Kapitel 5) und andererseits auf der inhaltlichen Analyse der Schulbuchinhalte fußen. Anhand der Transkripte zu den Interviews mit Lernenden, die das ausgewählte Schulbuchmaterial zum Lernen verwenden, wird dann geprüft, ob bzw. inwieweit sich diese Hypothesen als zutreffend erweisen (Kapitel 10). Diese Ergebnisse können dann Grundlage sein für Vorschläge zur Optimierung von Schulbuchinhalten (Kapitel 11.4).

Für die Auswahl der untersuchten Schulbücher waren mehrere Aspekte leitend. Es wurden bundesweit angebotene Schulbücher für den Biologieunterricht in der gymnasialen Oberstufe ausgewählt, da sie das Thema Kohlenstoffkreislauf in ganzheitlicher Weise anbieten und nicht in einer auf den speziellen Lehrplan eines Bundeslandes adaptierten Form. Neben Gesamtbänden werden sogenannte Kursbände oder Themenhefte angeboten, die einen Teilbereich der Biologie (hier Ökologie) in der Regel für die Verwendung in einem Kurshalbjahr enthalten. Auch dieser Produkttyp (Werke 1, 8 und 9; siehe unten) sollte in der Auswahl der untersuchten Werke enthalten sein. Für die Untersuchung in Betracht gezogen wurden folgende Werke:

- **Werk 1:** Hafner, L. & Philipp, E. (Hrsg.) (1986): Materialien für den Sekundarbereich II Biologie – Ökologie. Hannover: Schroedel Verlag
- **Werk 2:** Beyer, I. et al (2005) Natura Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag
- **Werk 3:** Braun, J., Paul, A. & Westendorf-Bröring, E. (2011) Biologie heute SII. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- **Werk 4:** Becker, A., Bokelmann, I., Krull, H.-P. & Schäfer, M. (2012) Natura Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag
- **Werk 5:** Hausfeld, R. & Schulenberg, W. (Hrsg.) (2010). Bioskop Sekundarstufe II. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- **Werk 6:** Weber, U. (Hrsg.) (2009). Biologie Oberstufe Gesamtband. Berlin: Cornelsen Verlag
- **Werk 7:** Bayrhuber, H., Hauber, W. & Kull, U. (Hrsg.) (2010). Linder Biologie. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- **Werk 8:** Brennecke, A., Groß, J., Küster, H., Leibold, R., Leienbach, K., Linnert, A., Post, M. & Schuck, A. (2012). Biosphäre Sekundarstufe II, Ökologie. Berlin: Cornelsen Verlag
- **Werk 9:** Philip, E., Starke, A. & Verbeeck, B. (2013) Materialien für den Sekundarbereich II Biologie – Ökologie. (Teildruck) Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage

Der Vergleich der Werke ergab teilweise Übereinstimmungen in der Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs in Text und Bild (vgl. Abbildung 7.2.2.1). Bezüglich der Werke 5 und 6 zeigen schon die Abbildungen, dass der Globale Kohlenstoffkreislauf nicht vollständig dargestellt ist. Gleiches gilt für den Text. Deshalb wurden diese Werke nicht für Vermittlungsexperimente verwendet. Die Abbildungen in den Werken 3, 7 und 9 weisen starke Ähnlichkeit bezüglich der Darstellungsweise auf einschließlich einer Betonung der Atmosphäre durch die Anordnung der Pfeile. Kohlenstoffspeicher sind weder flächig noch räumlich dargestellt. Die Abbildungen in den Werken 5 und 8 sind nahezu identisch. Sie weisen stark stilisierte Landschaftselemente auf und Rechtecke zu den meisten Kohlenstoffspeichern. Die Abbildung in Werk 1 enthält keine Darstellungen von Landschaft oder Lebewesen. Kohlenstoffspeicher sind als Quader dargestellt. Die Abbildung in Werk 4 zeigt in einem Blockbild einen Landschaftsschnitt mit wenigen figürlichen Darstellungen und als Quader eingezeichnete Kohlenstoffspeichern. Kohlenstoffflüsse sind in allen Darstellungen durch Pfeile repräsentiert.

Für die Vermittlungsexperimente wurden Werke mit möglichst unterschiedlichen Darstellungen des Kohlenstoffkreislaufs in Text und Abbildung ausgewählt, um eine maximale Variation zu erreichen. Dies trifft für die Werke 1, 2, 3 und 4 zu. Im Verlauf der Bearbeitung der Un-

tersuchungsaufgaben Analyse der Schulbuchinhalte (Kapitel 7.2.3), der mit ihrer Hilfe erlangten Vorstellungen (Kapitel 9) und ihrer Verständlichkeit (Kapitel 10) ergab sich erwartungsgemäß eine zunehmende Übereinstimmung von Aspekten, sodass nach der Bearbeitung von vier Schulbuchinhalten in allen Untersuchungsaufgaben davon ausgegangen werden kann, dass die Ergebnisse die Bandbreite der auftretenden Variationen weitgehend abdecken.

Der untersuchte Schulbuchinhalt aus Werk 4 nimmt eine Sonderstellung ein. Während der Durchführung der Untersuchungen wurde der Band *Natura Oberstufe* (2005) neu bearbeitet. Als Redakteur dieser Neubearbeitung hatte ich die Gelegenheit, bis dahin vorhandene Ergebnisse der Untersuchung und Erkenntnisse aus der Analyse fachdidaktischer Literatur in die redaktionelle Betreuung des entstehenden Werkes einfließen zu lassen. Insofern stellt es ein Zwischenergebnis der didaktischen Strukturierung im Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion dar.



Zu jedem Werk wurde eine Kopie der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf angefertigt und so geschnitten, dass alle relevanten Inhalte erkennbar sind, nicht jedoch Aspekte, die zu anderen Themen gehören. Die Auswahl wird für die verwendeten Werke kurz begründet.

Werk 1: Für die Auswahl der Inhalte waren folgende Aspekte leitend: Die ausgewählten Teile müssen einen Sinnzusammenhang ergeben. Deshalb wurde neben dem Text und der Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf auch der aus zwei Absätzen bestehende Einführungstext zu biogenen Stoffkreisläufen einbezogen. Er stellt grundlegende Aspekte zu Stoffkreisläufen bereit, die für das Verstehen der Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf relevant sind. Die Grafik zum Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre auf Hawaii und am Südpol und die sich darauf beziehende Aufgabe erfordern für das Verstehen Grundlagen, die Text und Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf bereitstellen, sind aber selbst für deren Verstehen nicht Voraussetzung. Der abgegrenzte Text mit der Überschrift „Das CO<sub>2</sub>-Problem“ hat die Folgen anthropogener zusätzlicher Kohlenstoffdioxidfreisetzung zum Thema. Die im Text beschriebenen Klimaveränderungen und deren Ursachen werden verständlich, wenn die Lernenden Vorstellungen zum globalen Kohlenstoffkreislauf gedanklich nutzen und erweitern. Er enthält einen indirekten Bezug zur Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf (die anthropogenen Einflüsse),

**72.1. Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre.** A Auf Hawaii; B Am Südpol. Die erkennbaren jahreszeitlichen Schwankungen ergeben sich daraus, daß die Pflanzendecke während der Wachstumsperiode stärker CO<sub>2</sub> photosynthetisch einbaut.

**A 72.2.** Überlegen Sie, warum die jahreszeitlichen Schwankungen des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehaltes im Bereich der Südhalbkugel (Abb. 72.1. B) geringer sind!

### 5.7. Kreislauf der Stoffe

An den Energiefluß ist ein Fluß von Stoffen d. Ökosystem gekoppelt. Dieser Stofffluß begi den autotrophen Organismen, die anorganis bindungen in körpereigene Substanz umw Über die verschiedenen Konsumenten-Stuf sich der Transport durch die Nahrungskett Durch die Zersetzung organischen Abfalls er anorganische Verbindungen, die dann wiede die Produzenten als Ausgangsmaterial genu den können.

Es ergibt sich so in der Biosphäre ein Kreis Materie, der prinzipiell ausgeglichen sein m Zufuhr von Materie von außen ist nicht mögl getrieben wird dieser Kreislaufprozeß jede Energie, die primär oder sekundär von de stammt.

**Kohlenstoffkreislauf.** Jedes in einem Lebewe kommende Element macht einen charakti Kreislauf durch, der isoliert betrachtet werde Kohlenstoff ist das entscheidende Element scher Verbindungen. Es wird als CO<sub>2</sub> bei de synthese von den grünen Pflanzen eingeba Biosphäre stehen drei große Kohlenstoffspei Verfügung: Die Atmosphäre, die Vegetat Festlandes und die obere Schicht der We Diese drei Speicher enthalten jeweils etw (Gt = Gigatonnen = 10<sup>9</sup> Tonnen) Kohlen

weitaus größeren Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen der Erdkruste spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.

Die Landoberfläche einerseits und die Meeresoberfläche andererseits stehen jeweils mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch; dabei ist die Bilanz zwischen CO<sub>2</sub>-Bindung durch Photosynthese und CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Dissimilationsprozesse ausgeglichen.

Stickstoffkreislauf. Auch Stickstoff ist als Bestandteil von Proteinen und Nucleinsäuren für die Organismen von zentraler Bedeutung. Die N-autotrophen Pflanzen nehmen dieses Element in Form anorganischer Ionen, überwiegend als Nitrat, auf. Alle N-heterotrophen Lebewesen, wie die große Gruppe der Tiere, sind auf organische Stickstoffverbindungen angewiesen, die sie mit der Nahrung aufnehmen. Aus den organischen Abfällen setzen die Destruenten anorganisches Ammonium frei, das die nitrifizierenden Bakterien zu Nitrat oxidieren.

Die denitrifizierenden Bakterien setzen aus dem Nitrat molekularen Stickstoff frei, der für die meisten Organismen nicht verwertbar ist. Lediglich die Stickstoff-fixierenden Bakterien, unter ihnen die symbiotischen Knöllchenbakterien, bauen Luftstickstoff im größeren Umfang in organische Stickstoffverbindungen ein.

**72.3. Kreislauf des Kohlenstoffs** (Angaben in Gigatonnen C pro Jahr)

**73.1. Kreislauf des Stickstoffs**

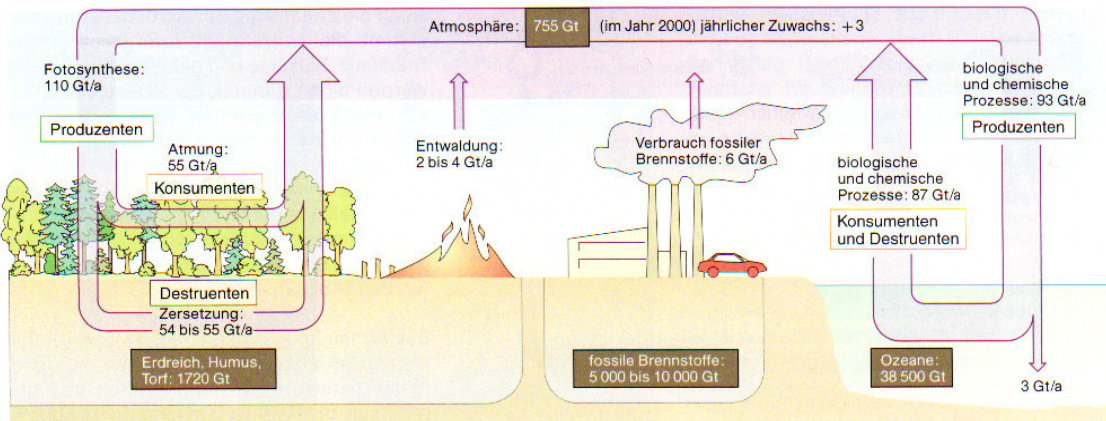
**Das CO<sub>2</sub>-Problem**

Das Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre hat für die Biosphäre zwei wesentliche Funktionen: Zu einem ist es Ausgangsstoff der Photosynthese. Zum anderen ist es im hohen Maße klimastimmend, da es Wärmestrahlung der Erdoberfläche absorbiert. Die Rückstrahlung der Sonnenwärme in den Weltraum wird dadurch erheblich vermindert und eine Auskühlung der Biosphäre verhindert. Man spricht vom *Treibhauseffekt* des CO<sub>2</sub>. Veränderungen des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre könnten daher zu Klimaveränderungen führen. Nach verschiedenen Berechnungen lag der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Lufthülle um 1850 bei 270 ppm (0,027 Vol%) und um 1890 bei 290 ppm. Er ist heute auf 340 ppm gestiegen, was einer Zunahme um 25 % entspricht. Seit 1958 verfügt man über exakte Daten der CO<sub>2</sub>-Zunahme von zwei Meeresstationen auf Hawaii und am Südpol. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre hat in den letzten Jahren weiter exponentiell zugenommen; zur Zeit liegt die Zunahme bei über 1 ppm pro Jahr. Ein ppm entspricht dabei einer Kohlenstoffmenge von 2,1 Gt. Es ist unbestritten, daß die Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehalts auf menschliche Maßnahmen zurückzuführen ist. So werden durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe jährlich etwa 5 Gt Kohlenstoff freigesetzt. Da nur ein Teil dieser Menge in der Atmosphäre verbleibt, muß es zusätzlich CO<sub>2</sub>-bindende Faktoren geben. Man nimmt an, daß die Weltmeere das zusätzliche CO<sub>2</sub> überwiegend als Hydrogencarbonat- und als Carbonat-Ionen binden. Umstritten ist die Rolle der Landvegetation bei steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt. Einer erhöhten Primärproduktion stehen die Vernichtung großer Waldflächen sowie die Störung der Photosynthese durch Luftverschmutzung entgegen. Ebenso umstritten sind die möglichen Auswirkungen des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre. Eine Verdoppelung des Gehalts in den nächsten 50 Jahren würde zu einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung um 3 °C führen. Als Folge würden sich die warmen Klimazonen der Erde nach Norden und Süden ausdehnen. Das Treiben der Arktis könnte schmelzen und der Meeresspiegel um einige Meter steigen.

Abb. 7.2.2.2: Die untersuchten Inhalte aus Werk 1 (grau: nicht vorgelegt)

allerdings ohne Verweis auf die Abbildung. Aus den genannten Gründen wurden Abbildung, Aufgabe und zusätzlicher Text der Schülerin nicht vorgelegt. Durch das Weglassen dieser Elemente entsteht ein Schulbuchausschnitt, der mit den Ausschnitten aus anderen Werken vergleichbar ist. Text und Abbildung zum ebenfalls auf der Doppelseite dargestellten Stickstoffkreislauf wurden aus den gleichen Gründen ebenfalls nicht einbezogen.

Werk 2: Die Doppelseite 350/351 ist überschrieben mit dem Titel ‚Stoffkreislauf‘. Sie enthält neben einem einführenden Absatz eine Textpassage mit der Überschrift ‚Kreislauf des Kohlenstoffs‘ und eine Abbildung dazu (vgl. Abbildung 7.2.2.3). Der außerdem auf der Seite 350 beginnende Text mit der Zwischenüberschrift ‚Kreislauf des Stickstoffs‘ und die Abbildung dazu wurden nicht berücksichtigt, ebenso wenig wie die Inhalte der Seite 351.



1 Globaler Kreislauf des Kohlenstoffs (Angaben in Gigatonnen pro Jahr)

## Stoffkreislauf und Energiefluss

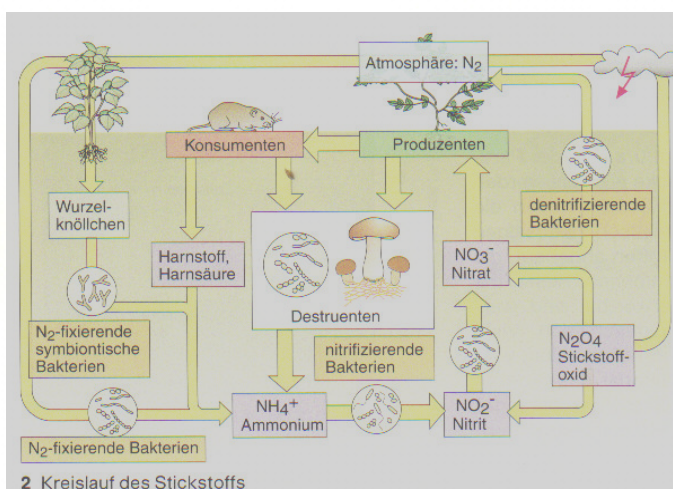
Durch Primärproduzenten werden anorganische Stoffe in Biomasse gebunden, durch Konsumenten und Destruenten werden sie wieder freigesetzt. Damit durchlaufen chemische Elemente wie Kohlenstoff und Stickstoff einen Kreislauf.

### Kreislauf des Kohlenstoffs

Das wichtigste chemische Element in der Biomasse ist *Kohlenstoff*. Alle Biomasse besteht aus Kohlenstoffverbindungen, die von Produzenten aus Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) hergestellt werden. Sie erfüllen bei allen Organismen die Doppelfunktion als Gerüststoff und Energieträger. Durch Fraß und Ab-

bau werden sie an Konsumenten bzw. Destruenten weitergereicht, die daraus eigene Biomasse aufbauen oder sie für den Energiebedarf verbrauchen und dabei das anorganische  $\text{CO}_2$  zurückbilden. Dies geschieht so lange, bis sämtlicher Kohlenstoff, der ursprünglich in Biomasse fixiert wurde, wieder als  $\text{CO}_2$  frei geworden ist. Damit schließt sich der Kohlenstoffkreislauf.

Die Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen fixieren durch Photosynthese einen Teil des in der Atmosphäre vorhandenen Kohlenstoffs. Einen weiteren Anteil binden chemische Prozesse, die  $\text{CO}_2$  zu Carbonat (v. a. Calciumcarbonat, „Kalk“) umsetzen. Früher oder später gelangt sämtlicher Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  wieder in die Atmosphäre, sodass statistisch das gesamte  $\text{CO}_2$  alle drei bis vier Jahre einmal im Austausch mit der Biosphäre umgesetzt wird.



2 Kreislauf des Stickstoffs

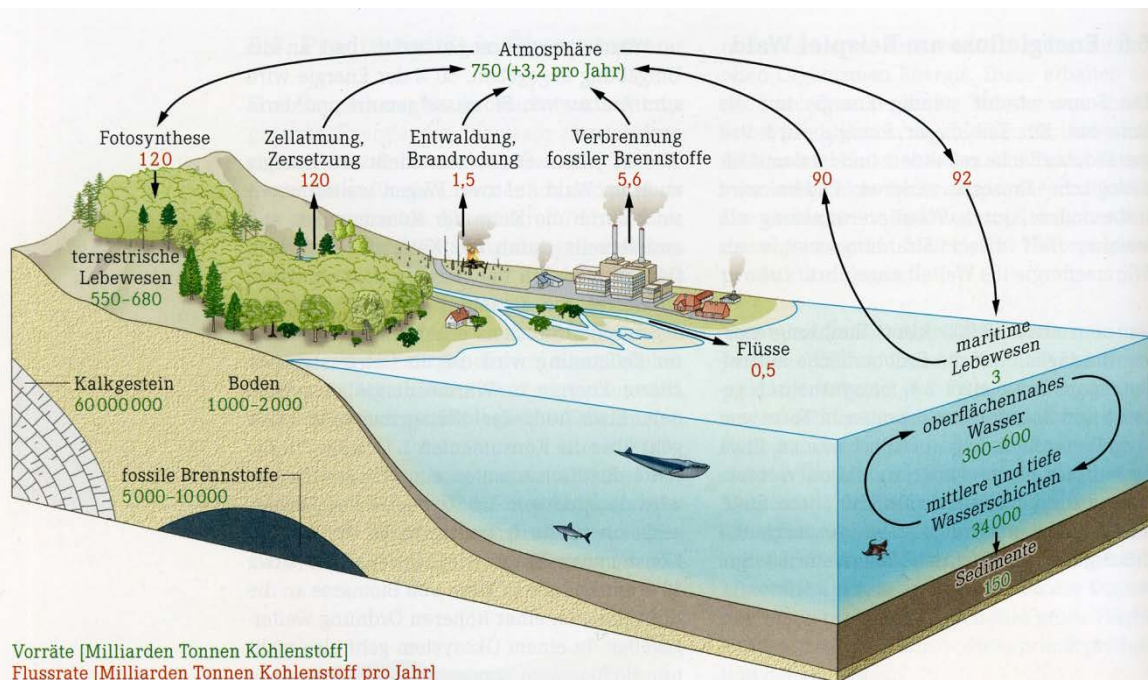
### Kreislauf des Stickstoffs

*Stickstoff* ist ein wesentliches Bauelement biologischer Moleküle, z. B. von Aminosäuren und Nucleotiden. Pflanzen bauen in Biomoleküle Stickstoffatome ein, die sie mit Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) oder Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) aus dem Boden aufgenommen haben. Jährlich werden dadurch ca. 175 Millionen Tonnen Stickstoff gebunden. Einige Bakterien können auch den chemisch stabilen atmosphärischen Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) nutzen. Manche dieser Bakterien leben symbiontisch in den Wurzelknöllchen einiger Pflanzen. Konsumenten und Destruenten verwerten die Stickstoff-

Abb. 7.2.2.3: Die untersuchten Inhalte aus Werk 2 (grau: nicht vorgelegt)



Werk 3: Die Doppelseite 324/325 ist überschrieben mit dem Titel ‚Globale Stoffkreisläufe‘. Die Seite 325, die Inhalte zum Thema Stickstoffkreislauf aufweist, wurde nicht berücksichtigt.



### 1 Kohlenstoffkreislauf

#### 5.6 Globale Stoffkreisläufe

Alle Elemente bleiben letztendlich in der Biosphäre erhalten, werden aber ständig neu verteilt. Diese Verteilungen können zusammenfassend als Kreisläufe dargestellt werden (► **Stoff- und Energieumwandlung**). Der **Kohlenstoffkreislauf** beschreibt den Weg des Kohlenstoffs von der fotosynthetischen Bindung in Form von Kohlenstoffdioxid bis zu dessen Freisetzung einschließlich der zwischenzeitlichen Einlagerung im Boden und in Gesteinen.

Die Fotosynthese betreibenden Lebewesen nehmen den Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre auf und binden ihn in organischen Stoffen. Durch Zellatmung und Zersetzung dieser Stoffe wird Kohlenstoff wieder als Kohlenstoffdioxid an die Atmosphäre abgegeben. Ein Teil des organisch gebundenen Kohlenstoffs wird aber auch bis zu mehreren Jahrhunderten im Boden festgelegt. Außerdem kann ein Teil in Seen und Meeren auf den Grund sinken und dort als kohlenstoffhaltige Sedimente über viele Tausend Jahre lagern. Auch abgestorbene Landpflanzen können viele Millionen Jahre lang in tieferen Erdschichten erhalten bleiben, wenn sie von der Sauerstoffzufuhr abgeschnit-

ten werden. Auf diese Weise sind in früheren geologischen Zeiträumen die Lagerstätten von Kohle, Erdöl und Erdgas, den **fossilen Brennstoffen**, entstanden. Der zu Sedimentgestein, zum Beispiel zu Kalkgestein gewordene oder in fossilen Pflanzenresten festgelegte Kohlenstoff geht aber erst nach Jahrtausenden wieder in die Atmosphäre über, wenn die Gesteinsschichten durch geologische Prozesse wieder an die Erdoberfläche gelangen und dort der Verwitterung ausgesetzt sind.

Die jährliche Kohlenstoffbilanz von Landökosystemen ist nahezu ausgeglichen. In der Atmosphäre wird jedoch seit einigen Jahrzehnten ein Anstieg der Kohlenstoffdioxid-Konzentration gemessen. Vor Beginn der massiven Nutzung von Kohle und Erdöl als Energieträger, also vor mehr als 150 Jahren, lag sie bei maximal 0,028 Prozent, heute dagegen bei über 0,038 Prozent. Auch die Entwaldung vor allem in den Tropen trägt zum Anstieg der atmosphärischen Kohlenstoffdioxid-Konzentration bei. Durch Brandrodung wird der im Holz der Bäume gespeicherte Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt. Beunruhigend ist dies, weil es den Wärmehaushalt der Erde und damit in unberechenbarer Weise auch das Klima beeinflusst.

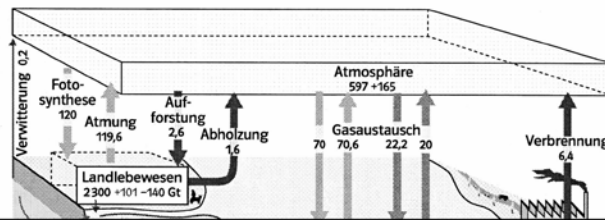
Abb.7.2.2.4: Die untersuchten Inhalte aus Werk 3

Werk 4: Die Seite 364 wurde ungekürzt untersucht.

## Kohlenstoffkreislauf

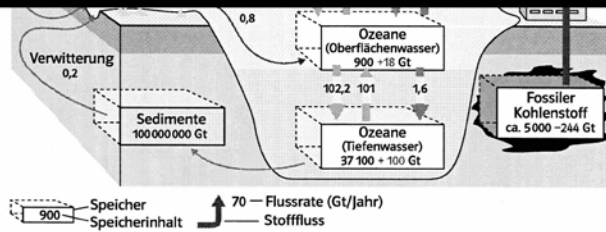


ische Mengen  
peicher in einen  
1 Flussraten (Ein-  
ie lassen sich ab-  
ch ändern sich  
langfristig kaum,  
Abflüsse in ähnl-  
ifweisen. Diesen  
als *dynamisches*



Jedes Jahr fließen gigant  
Kohlenstoff von einem S  
anderen. Man spricht voi  
heit: Gigatonnen/Jahr). S  
schätzen (Abb. 1). Denno  
die Inhalte der Speicher  
da die Speicher Zu- und A  
licher Größenordnung an  
Zustand bezeichnet man

Gleichgewicht. Die Atmosphäre umspannt die gesamte Erde. Dadurch stehen weit voneinander entfernte Speicher in Verbindung. So kann sich ein CO<sub>2</sub>-Molekül, das ein Tier ausatmet, nach Monaten bis Millionen von Jahren weit entfernt im Meerwasser lösen und dort von einer Alge aufgenommen werden. Aus diesem C-Atom kann dann z. B. durch Photosynthese ein Teil eines Glucosemoleküls werden.



Speicher Speicherinhalt  
70 — Flussrate (Gt/Jahr)  
Stofffluss

grün: natürlich, grau: natürlich, anorganisch,  
rot: vom Menschen verursacht, orange: indirekte Folgen menschl.

schlichen Handlens

### Der Einfluss des Menschen

Für die Flussrate ist nicht die Größe eines Kohlenstoffspeichers entscheidend, sondern die Geschwindigkeit der Umsetzung in diesem Speicher. Die heutigen Vorkommen von Kohle, Erdöl und Erdgas sind vor Jahrmillionen entstanden. Erst durch die Förderung dieses fossilen Kohlenstoffs und dessen Verbrennung entsteht ein zusätzlicher Kohlenstofffluss

100: vom Menschen verursacht, orange: indirekte Folgen menschl.  
1 Kreislauf des Kohlenstoffs

reiben Stoffwechsel.  
if, wandeln sie in che-  
um und geben ande-  
rgänge kann man für  
en, aber auch global.  
en wichtiges Element  
ir kommt auch in der

Alle Lebewesen betr-  
Sie nehmen Stoffe au  
mischen Reaktionen  
re Stoffe ab. Diese VC  
Lebewesen betrachte  
Ein für alle Lebewes  
ist der Kohlenstoff. F

unbelebten Natur vor, z. B. als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre, als Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>) im Kalkstein oder in vielen Verbindungen in Kohle und Erdöl.

### Der natürliche Kohlenstoffkreislauf

Um sich einen Überblick zu verschaffen, kann man allen Kohlenstoff auf der Erde Speichern zuordnen (Abb. 1). Kohlenstoffatome können durch Lebewesen von einem Speicher in einen anderen gelan-

in Richtung Atmosphäre. Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre kann zu zusätzlichen Flüssen in die anderen Speicher führen. In der aktuellen Diskussion zu möglichen Klimaveränderungen durch den steigenden Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre sind diese Flussraten von entscheidender Bedeutung.

A1 Kohlenstoffatome werden auch weitergegeben, wenn Pflanzenteile einem



gen, z. B. dadurch, dass Pflanzen Kohlenstoff als Bestandteil von Kohlenstoffdioxid aufnehmen und die Kohlenstoffatome dann bei der Photosynthese zum Aufbau

Pflanzenfresser als Nahrung dienen und dieser später von einem Raubtier gefressen wird. Ordnen Sie die Weitergabe in der Nahrungskette in das in Abb. 1 dargestell-

Abb. 7.2.2.5: Die untersuchten Inhalte aus Werk 4

### 7.2.3 Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele

Zu jedem der ausgewählten Schulbücher wurden Text und Abbildung im Hinblick auf darin erkennbare Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf untersucht sowie die Verschränkung zwischen Text und Abbildung. Diese Vorstellungen werden in Form einer Liste von erkennbaren Konzepten zusammengestellt. Danach wird das Lernangebot als didaktische Struktur aus dem Blickwinkel der durch das Modell der Didaktischen Rekonstruktion definierten Aufgabe der didaktischen Strukturierung beschrieben. Außerdem wurden auf der Basis der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und der Theorien zur Verständlichkeit von Texten und Abbildungen (Kapitel 3.2) Hypothesen zu verstehensfördernden und verstehenshemmenden Eigenschaften der Schulbuchinhalte zum Kohlenstoffkreislauf aufgestellt.

#### 7.2.3.1 Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 1

Für die Untersuchung wurde der in Kapitel 7.2.2. beschriebene Ausschnitt aus Werk 1 analysiert.

##### 7.2.3.1.1 In Werk 1 erkennbare Vorstellungen

Text und Abbildung des Schulbuchinhalts werden nacheinander untersucht, anschließend deren Verschränkung.

##### Textanalyse

###### Zusammenfassung

Unter der Überschrift „Kreislauf der Stoffe“ werden in einem allgemeinen, einleitenden Absatz Stoffflüsse beschrieben: vom Ausgangspunkt autotrophe Organismen über Konsumentenstufen bis zur Zersetzung organischen Abfalls, angetrieben durch einen Energiefluss. Durch die Wiederaufnahme der anorganischen Produkte der Zersetzung schließt sich der Kreislauf, der auf der Erde ein geschlossener Kreislauf ist. Die notwendige Energie stammt direkt oder indirekt von der Sonne.

Unter der Zwischenüberschrift Kohlenstoffkreislauf folgen Ausführungen zum Element Kohlenstoff. Die Aufnahme von Kohlenstoff durch autotrophe Organismen bildet den Ausgangspunkt der biogenen Weitergabe. Atmosphäre, Vegetation des Festlandes und die obere Schicht der Weltmeere werden als drei etwa gleich große Kohlenstoffspeicher genannt, zwischen denen ein Austausch stattfindet, bei dem Assimilation und Dissimilation sich ausgleichen. Die großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen werden als unbedeutende CO<sub>2</sub>-Quelle genannt, ohne dies zu begründen.

###### Explikation

Die Metapher Fluss wird sowohl für Energie als auch für Stoffe verwendet, und zwar bezogen auf ein Ökosystem. „Dieser Stofffluss beginnt bei den autotrophen Organismen, die anorganische Verbindungen in körpereigene Substanz umwandeln.“ Diese Aussage verweist auf die unbelebte Natur als Stoff-Quelle für Lebewesen, die im Fokus des weiteren Textes stehen. Die Termini *Konsumenten-Stufen* und *Nahrungsketten* machen deutlich, dass der Stofffluss (Transport) nicht kontinuierlich gedacht wird, sondern gestuft durch die Trophieebenen. Die Stoffe verlassen die biogene Phase durch die Zersetzung durch Destruenten, sie werden wieder anorganisch. Durch die erneute biogene Fixierung beginnt der Vorgang

von neuem, der Kreislauf ist geschlossen. Diese Darstellung folgt dem Start-Weg-Ziel-Schema und führt über die Gleichsetzung von Ziel und Start zum Kreislauf, ohne dass dies explizit erwähnt wird. Der „Kreislauf der Materie in der Biosphäre“ ist weitgehend als biogener Kreislauf dargestellt, den die Stoffe in einem Schritt verlassen, um sofort wieder aufgenommen zu werden.

In den Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf wird diese Vorstellung wieder aufgenommen, indem als Anfangspunkt der „Einbau von CO<sub>2</sub> bei der Fotosynthese durch grüne Pflanzen“ genannt wird. Nach dieser Aussage folgt ein radikaler Wechsel der Betrachtungsebene. Die Vegetation des Festlandes wird als ein globaler Kohlenstoffspeicher genannt, neben der Atmosphäre und der oberen Schicht der Weltmeere. Der Terminus Vegetation beschränkt sich auf die CO<sub>2</sub> aufnehmenden Pflanzen, Konsumenten und Destruenten bleiben bei der globalen Sichtweise unberücksichtigt. Die Nennung der oberen Schicht der Weltmeere als Speicher lässt hier offen, ob darin lebende Organismen mitgedacht werden. Die Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen werden ausdrücklich nicht als Speicher bezeichnet, mit der Begründung, dass sie als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle spielen. Im Zentrum all dieser Aussagen steht das CO<sub>2</sub>. Diese Sichtweise wird im letzten Absatz besonders deutlich: „Die Landoberfläche einerseits und die Meeresoberfläche andererseits stehen jeweils mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch; dabei ist die Bilanz zwischen CO<sub>2</sub>-Bindung durch Fotosynthese und die CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Dissimilationsprozesse ausgeglichen.“

Während im allgemeinen Teil des Textes die biogene Stoffweitergabe erwähnt ist (Konsumentenketten, Destruenten), lassen die Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf der Terminus Dissimilationsprozesse nur erahnen, dass vielleicht zumindest die Abgabe von CO<sub>2</sub> durch Produzenten und Konsumenten mitgedacht ist, während die Weitergabe biogenen Kohlenstoffs auch indirekt nicht genannt ist. Die Aussage zu den Sedimentgesteinen lässt erkennen, dass der Kohlenstoff auf der Erde nicht konsequent Speichern zugeordnet wird (Sedimentgesteine sind kein Kohlenstoffspeicher), mit der Begründung, sie „spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.“ Das bedeutet: nur potenzielle CO<sub>2</sub>-Quellen sind Speicher.

### Strukturierung

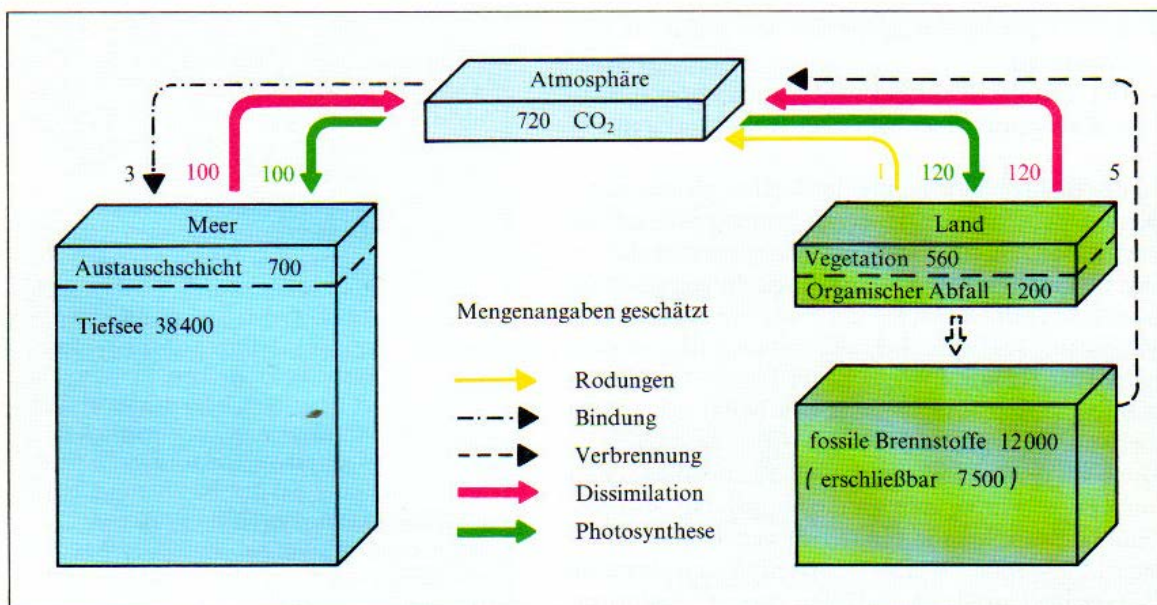
Insgesamt trägt der Text zwei Vorstellungswelten an den Leser heran. Im allgemeinen Teil kann man sich einen Fluss der Stoffe über mehrere Stufen vorstellen. Das zugrunde liegende Konzept ist *Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf*. Dabei fällt es allerdings schwer, das Ende dieses Flusses an der „untersten“ Stufe als Beginn an der gleichen Stelle zu denken, wie es für die Vorstellung von einem unendlichen Kreislauf notwendig ist.

Im speziellen Teil des Textes zum Kohlenstoffkreislauf steht die Vorstellung von drei Speichern im Sinne von Behältern im Vordergrund. Sie enthalten eine bestimmte Stoffmasse Kohlenstoff und zwischen ihnen (Landoberfläche/Atmosphäre bzw. Meeresoberfläche/Atmosphäre) findet ein Austausch von CO<sub>2</sub> statt, der „ausgeglichen“ ist. Erkennbar wird das Konzept *Kreislauf ist ausgeglichener Austausch*. Ausgeglichen kann hier im Sinne eines dynamischen Gleichgewichts verstanden werden. Bereits im allgemeinen Teil des Textes werden Stoffflüsse genannt. Verbunden mit der Vorstellung von Gegenläufigkeit können zwei Flüsse (Zu- und Abfluss) bewirken, dass in der Summe keine Veränderung eintritt, da die Flüsse einander ausgleichen. Insofern verbindet das oben genannte Konzept die elementa-

ren Konzepte *Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf* und *Flüsse im Gleichgewicht*. In der Unterscheidung zwischen terrestrischem und marinem Austausch kommt das Konzept *Gleichgewichte Land und Ozean* zum Ausdruck.

### Abbildungsanalyse

In der Grafik werden vier Speicher angegeben: Meer (hier allerdings unterschieden in Austauschschicht und Tiefsee), Atmosphäre, Land (mit Vegetation/organischer Abfall) und die im Text nicht erwähnten fossilen Brennstoffe. Wie im Text beschrieben werden mit roten und grünen Pfeilen Flüsse zum und vom Speicher Atmosphäre dargestellt, deren Flussraten (als Zahlen für die Masse Kohlenstoff pro Jahr angegeben, Einheit in der Bildlegende genannt) ausgeglichen sind. Zusätzlich enthält die Grafik für den Speicher fossile Brennstoffe einen Abfluss zur Atmosphäre (gestrichelter Pfeil) und einen in Fluss von der Atmosphäre zum Speicher Meer (Pfeil mit Punkt-Strich-Muster). Außerdem wird die Auswirkung von Rodungen (gelber Pfeil) dargestellt. Auf die modellhafte Darstellung von Organismen wird verzichtet.



72.3. Kreislauf des Kohlenstoffs (Angaben in Gigatonnen C pro Jahr)

Abb. 7.2.3.1.1: Darstellung zum globalen Kohlenstoffkreislauf (Hafner & Philipp 1986, 72)

Die Abbildung stützt – wie der Text zum Kohlenstoffkreislauf – die Vorstellung von Kohlenstoffspeichern als Behälter (Konzept: *Kohlenstoff in Speichern*). Dies wird unterstrichen durch die dreidimensionale Darstellung und die Anpassung der Quadergröße an die Masse gespeicherten Kohlenstoffs, auch wenn die Größen der Quader nicht genau proportional zur Masse dargestellt sind (Konzept: *Unterschiedliche Speichergrößen*). Entsprechend der Textaussage, Sedimentgesteine seien für den Kohlenstoffkreislauf nicht von Bedeutung, werden diese nicht als Kohlenstoffspeicher dargestellt. Wie auch im Text wird in der Abbildung der Dissimilation nicht die Assimilation gegenübergestellt, sondern der Terminus Fotosynthese verwendet (Konzepte: *Kohlenstoffbindung* und *Kohlenstofffreisetzung*). Bezüglich der Gestaltung der Pfeile und Quader kann die Verwendung der Farbe grün für den Kohlenstofffluss durch Fotosynthese den Bezug zu grünen Pflanzen unterstützen. Die Mischfärbung der

Speicher Land und fossile Brennstoffe mit großen Grünanteilen kann möglicherweise die Vorstellung wecken oder unterstützen, dass der hier gespeicherte Kohlenstoff überwiegend in Pflanzen oder Pflanzenresten fixiert ist. Die Gestaltung der Pfeile zu anthropogen verursachten Kohlenstoffflüssen (Rodung, Verbrennung) und dem daraus folgenden Fluss (Bindung) lässt keine Systematik erkennen. Dieser Teil der Darstellung lässt Vorstellungen zu den Denkfiguren ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ mit den Konzepten *Mensch verursacht Flüsse* und *Mensch stört Gleichgewicht* und die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ mit den Konzepten *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre* und durch die Zahlenwerte *In Summe Anstieg in der Atmosphäre* erkennen. Ebenso wird aus der Legende nicht erkennbar, ob die Pfeile für Flussraten oder Flüsse stehen.

Im ersten, allgemeinen Teil des Textes ist das Start-Weg-Ziel-Schema und das Kreislaufschema erkennbar. Dem gegenüber liegen dem zweiten, speziell auf Kohlenstoff bezogenen Textteil und der Abbildung das Behälterschema und das Gleichgewichtsschema zugrunde.

### Mithilfe von Text und Abbildung rekonstruierte Konzepte

Mithilfe des einleitenden allgemeinen Textes lassen sich auf Stoffkreisläufe bezogen folgende Konzepte rekonstruieren, wobei im ersten Absatz die Betrachtungsebene ein Ökosystem ist, während sich der zweite Absatz auf die gesamte Biosphäre bezieht:

Konzept	Konzeptname
<i>Durch ein Ökosystem fließen Energie und Stoffe gekoppelt.</i>	<i>Gekoppelter Stoff- und Energiefluss</i>
<i>Am Beginn eines Stoffflusses steht die Umwandlung anorganischer Verbindungen in körpereigene Substanz durch autotrophe Lebewesen.</i>	<i>Stoffbindung</i>
<i>Nahrungsketten transportieren die organische Substanz durch verschiedene Konsumentenstufen.</i>	<i>Stoffweitergabe</i>
<i>Durch die Zersetzung organischen Abfalls entstehen anorganische Verbindungen, die wieder von Produzenten als Ausgangsstoff genutzt werden können.</i>	<i>Stofffreisetzung</i>
<i>In der Biosphäre existiert ein ausgeglichener Stoffkreislauf.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>

Die Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf und die Abbildung dazu weisen auf folgende Konzepte:

Konzept	Konzeptname
<i>Kohlenstoff wird bei der Fotosynthese von grünen Pflanzen eingebaut.</i>	<i>Kohlenstoffbindung</i>
<i>Der Kohlenstoff in der Biosphäre kann den drei Speichern Atmosphäre, Vegetation des Festlandes und obere Schicht des Meeres zugeordnet werden.</i>	<i>Kohlenstoff in Speichern</i>
<i>Der Speicher Ozeane besteht aus Teilspeichern</i>	<i>Mehrteiliger Speicher Ozeane</i>
<i>Die größten Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.</i>	<i>Unterschiedliche Speichergroße; jedoch nicht explizit Flussrate unabhängig von Speichergroße</i>
<i>Die Speicher Landoberfläche und Meeresoberfläche stehen mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch.</i>	<i>Atmosphäre verbindet Speicher</i>
<i>CO<sub>2</sub>-Bindung durch Fotosynthese und CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Dissimilation sind ausgeglichen.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>

Die Abbildung im Schulbuch bietet die Möglichkeit, weitere Konzepte zu rekonstruieren:

Konzept	Konzeptname
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse</i>
<i>Die Tiefsee enthält große Mengen Kohlenstoff.</i>	<i>Unterschiedliche Speichergröße</i>

Das letzte Konzept ist wenig fruchtbar, da Text und Abbildung keine Bedeutung dieser Tatsache erkennen lassen. Die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ wird im Pfeil mit der Legende Bindung erkennbar, allerdings ohne jede Erläuterung (vgl. Verständlichkeit 7.2.3.1.3). Er kann für folgendes Konzept stehen:

Konzept	Konzeptname
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bindet das Meer zusätzlich Kohlenstoff.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>

Während der Text nur Konzepte aus dem Bereich der Denkfigur ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ erkennen lässt, sind in der Abbildung auch die Denkfiguren ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ und ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ zu erkennen.

### 7.2.3.1.2 Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 1 aus fachdidaktischer Sicht

Stoffwechselfvorgänge, die in Verbindung stehen mit der Fotosynthese, mit Nahrungsbeziehungen und dem Abbau organischer Substanzen durch Destruenten werden in Form einer linearen Kette als Ursachen für Stoffflüsse an die Lernenden herangetragen. Durch die Wiederaufnahme der Produkte der Destruenten durch autotrophe Organismen wird der Kreis geschlossen. Diese sehr allgemeinen Ausführungen beziehen sich weder konkret auf ein Ökosystem noch auf ein Element. Sowohl zu den Themen Fotosynthese und Nährstoffabbau als auch zum Thema Nahrungskette setzt das Material voraus, dass die Schüler aus vorangegangenen Unterricht über Vorstellungen verfügen, die sie hier einbringen können. Im Vergleich zu fachlich geklärten Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf ist allerdings festzustellen, dass alle beteiligten Organismen CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgeben. Diese Vorstellung wird nicht an die Lernenden herangetragen. Der Text und die Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf nehmen diese Vorstellungen nur bezüglich der Fotosynthese auf, die Vorstellung zum Kreislauf wird nicht gestützt. Zur didaktischen Rekonstruktion gehört nicht nur das Anbieten von fachlich geklärten Vorstellungen, sondern auch das Aufzeigen eines Weges, auf dem die Lernenden schrittweise ihre Vorstellungen weiterentwickeln können. Ein möglicher Weg könnte in diesem Falle darin bestehen, den Weg der Stoffe in Nahrungsbeziehungen konkret am Beispiel Kohlenstoff zu beschreiben, dann den Übergang auf die globale Betrachtungsebene bewusstmachen und dann durch Verallgemeinern Grundprinzipien aller Stoffkreisläufe aufzuzeigen.

### 7.2.3.1.3 Hypothesen zur Verständlichkeit

Während im allgemeinen Teil des Textes der Transport (die Weitergabe) von Stoffen in Nahrungsbeziehungen und das „wieder“ Am-Anfang-Ankommen das Kreislaufschema stützen, steht im Text zum Kohlenstoffkreislauf und der dazugehörigen Abbildung die Vorstellung von Speichern und der wechselseitige Austausch zwischen ihnen im Vordergrund. In diesem Zusammenhang kann folgende Hypothese geprüft werden:

- *Im Schulbuchinhalt nicht erklärte Wechsel der „Vorstellungsebenen“ erschweren das Verstehen.*

Während nicht konstruktivistische Ansätze zum Lernen diesen Wechsel als kognitive Belastung (vgl. Sweller 2005) oder mit der Hypothese der beschränkten Kapazität (Mayer 2005) beschreiben, kann aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens vermutet werden, dass die Verknüpfung von Vorstellungen von Kreislauf mit Vorstellungen von Speichern und Austausch ohne Hilfestellung durch das Schulbuch misslingen kann.

Der Text enthält eine relativ große Anzahl von Fachtermini (15 Termini in 35 Textzeilen). Viele von ihnen bezeichnen für das Verständnis wichtige Vorstellungen, werden im Text aber ohne Erklärung verwendet. Dadurch besteht die Gefahr, dass den Lernenden nicht bekannte Termini das Verstehen behindern.

- *Die Verwendung vieler nicht im Material erklärter Fachtermini kann das Verstehen behindern.*

Die Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf gibt in Form eines abstrakten logischen Schemas die Komponenten eines Systems und Zusammenhänge zwischen den Systemelementen wieder. Auf die Darstellung von Lebewesen, deren Kohlenstoffaufnahme, -gehalt und -abgabe die Grundlagen der Zusammenhänge zwischen den Elementen des Systems bilden, wird verzichtet. Dies erschwert möglicherweise das Verstehen (siehe dazu auch die Ausführungen zu Natura Oberstufe 2005). Die entsprechende Hypothese lautet:

- *Piktogramme können durch das Anbieten von Alltagsvorstellungen (oder auch fachlichen Vorstellungen) das Verstehen von abstrakten logischen Bildern oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.*

### 7.2.3.2 Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 2

Für die Untersuchung wurde der in Kapitel 7.2.2. beschriebene Ausschnitt aus Werk 2 analysiert.

#### 7.2.3.2.1 Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen

Text und Abbildung des Schulbuchinhalts werden nacheinander untersucht, anschließend deren Verschränkung.



## Der Text

### Zusammenfassung

In einer Einleitung zu Stoffkreisläufen wird ein allgemeines Schema dargestellt: Produzenten *fixieren* anorganische Stoffe, Konsumenten und Destruenten *setzen sie wieder frei*. Das „wieder“ wird im Folgesatz konsequent aufgenommen: „Damit durchlaufen chemische Elemente [...] einen Stoffkreislauf“.

Unter der Zwischenüberschrift „Kreislauf des Kohlenstoffs“ wird Kohlenstoffdioxid als Kohlenstoffquelle für alle Kohlenstoffverbindungen in der Biomasse genannt. Diese werden an Konsumenten beziehungsweise Destruenten „*weitergereicht*“, die daraus wieder anorganisches CO<sub>2</sub> *zurückbilden*, bis sämtlicher Kohlenstoff *wieder freigeworden* ist. „Damit schließt sich der Kohlenstoffkreislauf.“ Hier werden die Aussagen aus dem ersten Absatz zur Bindung, Weitergabe und Freisetzung von Kohlenstoff auf das Element Kohlenstoff übertragen.

Ein weiterer Anteil des atmosphärischen CO<sub>2</sub> wird durch chemische Prozesse zu Carbonat umgesetzt. „Früher oder später gelangt sämtlicher Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre, so dass statistisch das gesamte CO<sub>2</sub> alle 3 bis 4 Jahre einmal im Austausch mit der Biosphäre umgesetzt wird.“

### Explication

Den Ausgangspunkt des Textes zum Kohlenstoffkreislauf bildet das Kohlenstoffdioxid, das nach Fixierung in Produzenten das Edukt für die Produktion aller Kohlenstoffverbindungen in der Biomasse ist. Durch oxidativen Abbau wird der Kohlenstoff „wieder als CO<sub>2</sub> frei“. Hier kann man – wie auch in den einleitenden Sätzen – das Start-Weg-Ziel-Schema (Gropengießer 2006) vermuten. Die Vorstellung unterstützende Schemata als unmittelbar bedeutungstragend (Lakoff 1990, 367) – hier Behälter (Speicher) und Start-Weg-Ziel (Flüsse) – werden nicht explizit genutzt. Formulierungen im Text weisen auf ein anderes Konzept: Freies Kohlenstoffdioxid wird „fixiert“, („gebunden“, geradezu gefangen), „weitergereicht“ und schließlich „wieder frei“. Es durchläuft *Stationen* und ist am Ende *wieder frei*. Nur die Wörter „zurückgebildet“ und „Kohlenstoffverbindungen“ enthalten einen Hinweis auf chemische Umwandlungen.

Da Ziel und Ausgangspunkt identisch sind („wieder als CO<sub>2</sub>“), leitet der Text aus dieser Information zum Kreislaufmodell über: „Damit schließt sich der Kohlenstoffkreislauf.“ Diese Vorstellung wird im zweiten Teil des folgenden Abschnitts wieder aufgenommen und mit einer Zeitangabe versehen. Durch das immer wiederkehrende Durchlaufen von Stationen entsteht ein Zyklus, ähnlich der immer wieder zu beobachtenden Abfolge der Jahreszeiten (vgl. Niebert 2010, 16f.).

Die Aussage „Früher oder später gelangt sämtlicher Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre, ...“ relativiert möglicherweise das Speichermodell. Man kann sich fragen: „Sind die Speicher dann leer bzw. gibt es an den anderen Stationen dann keinen Kohlenstoff mehr?“ Den Speichern/Stationen werden nicht explizit Flüsse zwischen ihnen zugeordnet. Die Einschränkung „statistisch“ in der Zeitangabe zeigt, dass den Autoren bewusst ist, dass es sich hier um einen Durchschnittswert handelt. Da weitere Ausführungen dazu fehlen, kann vermutet werden, dass die Lernenden nicht eine fachlich tragfähige Perspektive zu dieser Aus-

sage einnehmen können. Die Aussage wirft eher Fragen auf, wie: Wie ist das bei einem Baum oder dem Menschen zu verstehen? Findet so intensiver Umbau statt, dass langlebige Organismen einem so raschen Kohlenstoffaustausch unterliegen oder gibt es auch auf organischer Ebene einen Durchschnittswert (z.B. jährlicher Laubwechsel versus Langlebigkeit des Stammholzes)? Außerdem ist die Aussage ein Hinweis darauf, dass die Ausführungen die Atmosphäre als Ausgangspunkt und Endpunkt des Kohlenstoffkreislaufs darstellen. Das „wieder Freisetzen“ kann Vorstellungen zu Rückgewinnung oder Recycling aktivieren.

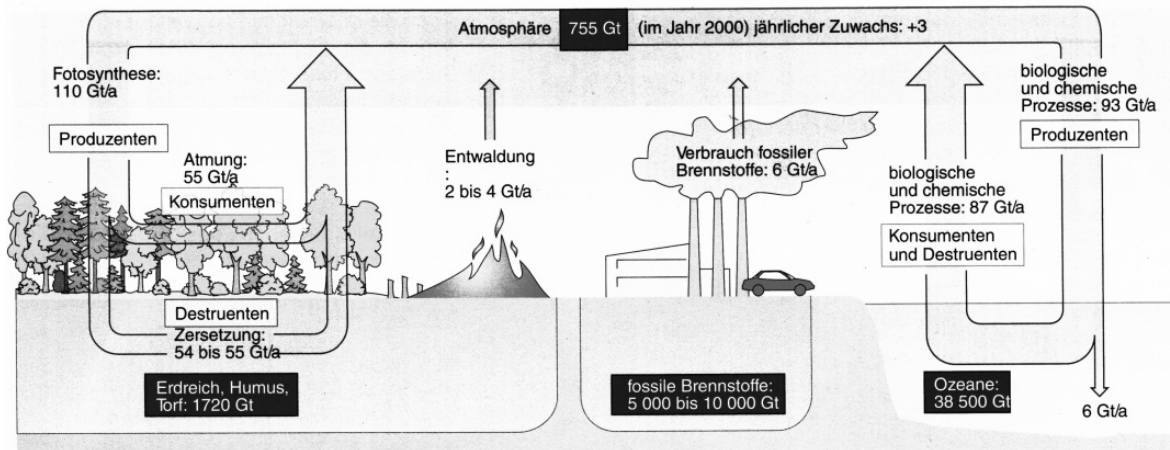
Zu den Speichern für Kohlenstoff enthalten die Ausführungen nur sehr knappe und unvollständige Angaben. „Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen“, Atmosphäre und Kalkablagerungen werden im letzten Absatz genannt, jedoch nicht als Speicher benannt. Der folgende Satz zur „statistischen“ Umlaufgeschwindigkeit geht – wenn überhaupt – von anderen Speichern aus (Atmosphäre und Biosphäre). Langzeitspeicher, wie Kohlenstofflager organischer Ursprungs und Kalkgestein, werden nicht thematisiert.

### Strukturierung

Das Start-Weg-Ziel-Schema und das Kreislaufschema sind nicht eindeutig leitend in der Darstellung. Die Konzepte *Kohlenstoffbindung*, *Kohlenstoffweitergabe* und *Kohlenstofffreisetzung* sind in den Textpassagen zu Stoffkreisläufen allgemein und denen zum Kohlenstoffkreislauf erkennbar. Eine Reihe von Formulierungen weist auf Vorstellungen von Stationen des Kohlenstoffs oder gar des Kohlenstoffdioxids, die zyklisch durchlaufen werden. Die Benennung von CO<sub>2</sub> als Ausgangsstoff und Endprodukt wird zur Überleitung vom Start-Weg-Ziel-Schema zum Kreislaufschema herangezogen (Ziel = Start). Die mehrfache Verwendung des Wortes „wieder“ stützt die Vorstellung der Reaktionsfolgen als Zyklus oder Kreislauf. Biomasse/Biosphäre und Atmosphäre werden als Stationen oder Speicher einander gegenübergestellt, ohne explizit als solche bezeichnet zu werden.

### Die Abbildung

Die zum Thema gebotene Grafik (Abbildung 7.2.3.2.1) enthält deutlich andere Aussagen. Es ist ein Speicher-Fluss-Schema dargestellt. Den farblich unterlegten und benannten Darstellungen der Speicher Erdreich/Humus, fossile Brennstoffe und Ozeane sind Zahlenangaben zum Kohlenstoffgehalt zugeordnet (Konzepte: *Kohlenstoff in Speichern*, *Unterschiedliche Speichergroße*). Nur beim Speicher Atmosphäre ist die Zahlenangabe unterlegt. Die Bezeichnungen geben teilweise die stoffliche Komponente an (Humus, Torf), teilweise die anthropogene Bedeutung (fossile Brennstoffe) und teilweise eine räumliche Zuordnung (Atmosphäre, Ozeane). Das im Text genannte „Calciumcarbonat/Kalk“ wird weder als Speicher noch in anderer Weise dargestellt. Die Kästen mit der Beschriftung ‚Produzenten‘, ‚Konsumenten‘, ‚Destruenten‘ und ‚Konsumenten und Destruenten‘ sind deutlich anders dargestellt als die Speicher Erdreich/Humus, fossile Brennstoffe und Ozeane und nicht mit Zahlen zum Kohlenstoffgehalt versehen. Damit sind sie als Kohlenstoffspeicher nicht erkennbar und können eher die Vorstellung einer Station stützen. Mit den Bezeichnungen Fotosynthese, Atmung und biologische und chemische Prozesse für Flussursachen weisen sie auf die Konzepte *Kohlenstoffbindung*, *Kohlenstoffweitergabe* und *Kohlenstofffreisetzung*. Die Zahlenangaben an den Pfeilen mit der Einheit Gt/a stellen quantitative Angaben zu den Flussraten dar (Konzepte: *Unterschiedliche Flussraten*, *Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf*).



1 Globaler Kreislauf des Kohlenstoffs (Angaben in Gigatonnen pro Jahr)

Abbildung 7.2.3.2.1 Darstellung zum globalen Kohlenstoffkreislauf (Bayer et al 2005, 350)

Der Vergleich der Flussraten aus der Atmosphäre und in die Atmosphäre lässt für die für den Teilkreislauf Land und für den Teilkreislauf Ozeane (Konzepte: *Terrestrischer Kreislauf*, *Mariner Kreislauf*, *Verbundene Kreisläufe*) näherungsweise Ausgeglichenheit erkennen (Konzept: *Gleichgewichte Land und Ozean*). Der mit 3 Gt/a beschriftete Pfeil am rechten Rand der Grafik lässt vermuten, dass sich ein Speicher darunter befindet, der Kohlenstoff aufnimmt, der dem Kreislauf entzogen wird (Konzept: *Dem Kreislauf entzogener Kohlenstoff*).

Faktisch sind zwei Kohlenstoffkreisläufe dargestellt (terrestrisch und ozeanisch, jeweils zeichnerisch angedeutet), die über den Speicher Atmosphäre miteinander verbunden sind (Konzept: *Verbundene Kreisläufe*). In der Fachliteratur findet man derartige Darstellungen z.B. bei Smith & Smith (2006) und Houghton (2002). Im mittleren Teil befindet sich die Darstellung zweier anthropogen verursachter Zuflüsse zum Speicher Atmosphäre (Konzept: *Mensch verursacht Flüsse in die Atmosphäre*). Aus den Zahlen zur Freisetzung durch Verbrennen fossiler Brennstoffe 6 Gt/a bzw. Entwaldung 2-4 Gt/a und jährlicher Zuwachs in der Atmosphäre (+3 Gt/a) ergibt sich ein indirekter Hinweis auf die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘, auf die der Text jedoch nicht Bezug nimmt. Hier lassen sich indirekt die Konzepte *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre* und *In Summe Anstieg in der Atmosphäre* erkennen.

### Mithilfe von Text und Abbildung rekonstruierte Konzepte

Zum einleitenden allgemeinen Text zu Stoffkreisläufen lassen sich folgende Konzepte rekonstruieren:

Konzept	Konzeptname
Primärproduzenten binden anorganische Stoffe in Biomasse.	Stoffbindung
Konsumenten und Destruenten setzen die anorganischen Stoffe wieder frei.	Stoffweitergabe Stofffreisetzung
Das immer wiederkehrende Binden und Freisetzen der anorganischen Stoffe stellt einen Stoffkreislauf dar.	Kreislauf ist Zyklus

Der Text zum Kohlenstoffkreislauf bietet keine Vorstellungen zu Speichern und Stoffflüssen an, sondern zu Stationen, die vom Kohlenstoff durchlaufen werden.

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Produzenten/Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen binden Kohlenstoffdioxid in Biomasse.</i>	<i>Kohlenstoffbindung</i>
<i>Konsumenten und Destruenten verwenden den gebundenen Kohlenstoff und setzen ihn als Kohlenstoffdioxid wieder frei.</i>	<i>Kohlenstoffweitergabe</i>
<i>Das immer wiederkehrende Durchlaufen von Stationen durch den Kohlenstoff stellt den Kohlenstoffkreislauf dar.</i>	<i>Kohlenstoffkreislauf ist Zyklus</i>
<i>Statistisch wird das gesamte atmosphärische Kohlenstoffdioxid alle drei bis vier Jahre im Austausch mit der Biosphäre umgesetzt.</i>	<i>Regelmäßige Umläufe</i>
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Sämtlicher ursprünglich in Biomasse gebundene Kohlenstoff wird schließlich wieder als CO<sub>2</sub> frei.</i>	<i>Vollständige Wiederfreisetzung</i>
<i>Durch chemische Prozesse entsteht aus einem Teil des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids Kalk.</i>	<i>Kohlenstoffbindung in Form von Kalk</i>

Die von der Abbildung an die Lernenden herangetragenen Vorstellungen zu Kohlenstoffspeichern und Kohlenstoffflüssen können durch folgende Konzepte beschrieben werden:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Erdreich/Humus, Lager fossile Brennstoffe, Ozeane und die Atmosphäre sind Kohlenstoffspeicher.</i>	<i>Kohlenstoff in Speichern</i>
<i>Kohlenstoff durchläuft in einem Stofffluss die Speicher Atmosphäre, Produzenten, Konsumenten bzw. Destruenten und wieder Atmosphäre.</i>	<i>Flüsse (in und) zwischen Speichern</i>
<i>Die Übergänge zwischen Stationen bzw. Speichern können quantitativ (durch Flussraten; jedoch nicht als solche benannt) beschrieben werden.</i>	<i>Unterschiedliche Flussraten</i>
<i>Verbrennung fossiler Brennstoffe und Entwaldung setzen Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre frei.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse in Atmosphäre</i>
<i>Im Meer wird Kohlenstoff dem Kreislauf entzogen.</i>	<i>Dem Kreislauf entzogener Kohlenstoff</i>
<i>Außerdem möglicherweise: Landlebewesen und Atmosphäre bilden einen terrestrischen Kohlenstoffkreislauf. Ozeane und Atmosphäre bilden einen marinen Kohlenstoffkreislauf. Terrestrischer und Mariner Kreislauf stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.</i>	<i>Terrestrischer Kreislauf Mariner Kreislauf Verbundene Kreisläufe</i>

Text und Abbildung verwenden implizit unterschiedliche Schemata (Stationen bzw. Behälter), ohne dass dies im Text erläutert wird. Der Kohlenstoff auf der Erde wird nicht konsequent Speichern zugeordnet. Zum Text können nur Konzepte aus dem Bereich der Denkfigur ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ rekonstruiert werden, zur Abbildung auch solche zur Denkfigur ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ und durch Berechnungen zur Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘.

### **7.2.3.2.2 Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 2 aus fachdidaktischer Sicht**

Im Vergleich zu den fachlich geklärten Konzepten zum Kohlenstoffkreislauf repräsentieren die Metaphern Stationen und Zyklus andere Vorstellungen als Speicher und Stoffflüsse, die neben dem Start-Weg-Ziel-Schema auch auf das Behälterschema weisen. Dadurch entfallen Vorstellungen zum dynamischen Gleichgewicht durch gleich große Zu- und Abflüsse zu Speichern. In der Grafik dargestellte zusätzliche (anthropogen verursachte) Kohlenstoffflüsse zur Atmosphäre werden im Text nicht erwähnt. Die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ wird in der Abbildung dann indirekt erkennbar, wenn man die Zahlenangaben zu anthropogen verursachten Flussraten (als Terminus von Text und Abbildung nicht bereitgestellt) und den Zuwachs in der Atmosphäre vergleicht. Den angegebenen Flussraten zu den anthropogen verursachten Flüssen in die Atmosphäre (zusammen 8 bis 10 Gt/a) steht die Angabe gegenüber, dass der jährliche Zuwachs dort nur ca. 3 Gt/a beträgt. In den Ozeanen ist für den Zufluss die Flussrate mit 93 Gt/a und für den Abfluss zur Atmosphäre ein Wert von 87 Gt/a angegeben. 3 Gt/a werden auf eine nicht bezeichnete Weise gebunden. Der Text behandelt diesen Aspekt nicht. Die statistische Angabe zur Umlaufzeit im Text („alle drei bis vier Jahre“) kann sich nur auf den in der Literatur beschriebenen Kurzzeitkreislauf beziehen. Die der Fachliteratur teilweise erkennbare Denkfigur ‚Kurzzeit- bzw. Langzeitkreislauf‘ (Hildebrandt 2006) wird in Text und Abbildung nicht dargestellt. Der größte Kohlenstoffspeicher Sedimentgestein (vgl. Fachliche Klärung, Kapitel 6) fehlt in der Abbildung gänzlich, im Text wird lediglich die Kalkbildung erwähnt.

Während der Text das Kreislaufschema verwendet, ohne auf die Grundvorstellung dieses Schemas einzugehen, stellt die Abbildung das Speicher-Fluss-Schema in den Vordergrund. Insofern werden unterschiedliche verkörperte Vorstellungen aktiviert, die sich nicht zu einem Gesamtbild zusammenfügen. Der Text enthält eine Reihe von Fachtermini, die fachliche Vorstellungen bezeichnen, die Lernenden bekannt sein müssen, damit sie die Zusammenhänge vollständig verstehen können.

### **7.2.3.2.3 Hypothesen zur Verständlichkeit**

Zur Herleitung begründeter Hypothesen zur Lernwirkung und Lernwirksamkeit des Schulbuchinhalts können hier die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und Ergebnisse der empirischen Verständlichkeitsforschung (vgl. Kapitel 5) herangezogen werden.

Es kann gefragt werden, ob die Metaphern Stationen und Zyklus (im untersuchten Schulbuch) in gleicher Weise wie die Metaphern Speicher und Flüsse (in der Fachliteratur vorherrschend) geeignet sind, an Lernende Vorstellungen zur Grundstruktur des Kohlenstoffkreislaufs heranzutragen. Stationen, die als verkörperte Vorstellungen z.B. vom Reisen bei Lernenden zu erwarten sind, gliedern einen Weg in Teilschritte. Die gilt auch für die metaphorische Verwendung, wie z.B. bei „Stationen des Lebenswegs“. Mit Stationen sind qualitative Unterschiede assoziiert, auch bei der metaphorischen Verwendung. Stationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie verschieden sind und dass zwischen den Aufenthalten bei verschiedenen Stationen ein Zeitraum liegt. Hingegen gründet das Verständnis von Speicher auf dem Behälterschema, die eher mit quantitativen Angaben assoziiert sind. So kann ein Speicher voll oder leer sein, groß oder klein sein, viel oder wenig enthalten. Zum Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs gehören quantitative Angaben zur Verteilung des Kohlenstoffs und quanti-

tative Angaben zu Vorgängen, die zu einer anderen Verteilung des Kohlenstoffs führen können. In diesen Zusammenhang gehört auch die Vorstellung eines Gleichgewichts zwischen Zu- und Abfluss bzw. Vorstellungen zu veränderten Flussraten. Daraus kann folgende Hypothese abgeleitet werden:

- *Die Metaphern Speicher und Flüsse sind eher geeignet, Lernenden eine systematische Vorstellungsentwicklung zum Kohlenstoffkreislauf zu ermöglichen als die Metaphern Stationen und Zyklus.*

Für die Assimilation von anorganischen Stoffen bzw. anorganischem Kohlenstoff in CO<sub>2</sub> werden unterschiedliche Termini bzw. Umschreibungen verwendet. Im Text steht „Durch Primärproduzenten [...] gebunden“ und „Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen fixieren ...“, während in der Abbildung der Terminus „Produzenten“ die Agenten der Veränderung repräsentiert. Nach Groeben (1972, 1982) fördert Redundanz, wenn sie nicht zu häufig vorkommt, die Verständlichkeit von Texten. Forschungen zur Text-Bild-Verschränkung belegen, dass Verständlichkeit durch Nichtübereinstimmung behindert wird, während sich Übereinstimmungen positiv auf die Verständlichkeit auswirken (vgl. Kapitel 5). Fotosynthese und Primärproduktion beziehen sich zwar auf die gleichen biochemischen Abläufe (wenn man von der Chemosynthese absieht), bezeichnen aber – wie die Wortbedeutungen nahelegen – unterschiedliche Aspekte dieses Geschehens. Lernende müssen jeweils erkennen, dass in allen drei Fällen die Assimilation anorganischen Kohlenstoffs gemeint ist. Dieser Terminus wird im Material allerdings nicht verwendet. Danach ist zu vermuten:

- *Das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erschweren.*

Eine weitere die Verständlichkeit fördernde Eigenschaft von Materialien stellt Einheitlichkeit dar (Bertin 1982, 7). In der Abbildung wird ein Teil des Kohlenstoffs visuell Speichern (Rechtecken mit Bezeichnung und Kohlenstoffmassenangabe) zugeordnet, ein weiterer als Teil eines Pfeils mit Massenangabe in einem entsprechenden Rechteck (Atmosphäre) und ein weiterer Teil (die Landlebewesen) in andersfarbigen Rechtecken ohne entsprechende Massenangaben (siehe oben: Stationen statt Speicher). Im dargestellten Ozean endet ein Pfeil mit der Zahlenangabe für die Flussrate (3 Gt/a) ohne weitere Information, wo der Kohlenstoff verbleibt. Die Entwaldung ist repräsentiert in Form eines Piktogramms, das einen brennenden Wald darstellt. Der größte Speicher Sedimentgesteine ist nicht dargestellt. Der Text enthält keine Hinweise zur Erklärung der hier beschriebenen Uneinheitlichkeit. Man kann vermuten:

- *Die uneinheitliche Darstellung von vergleichbaren Komponenten in einem komplexen Gefüge erschwert das Verstehen.*

Der Kohlenstoffkreislauf ist ein globales, komplexes Gefüge, in dem biochemische und chemische Reaktionen und physikalische Prozesse, verschiedene Ökosysteme, unterschiedliche Lebensformen und die Dimension Zeit von Bedeutung sind. Während der Text nur eine Aussage zu räumlicher Zuordnung enthält („Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen“), bietet die Abbildung durch piktogrammhafter Darstellung der Ökosysteme Wald und Ozean auf einer Horizontlinie mit der Atmosphäre darüber und Speichern darunter räumliche Orientierung. Folgende Hypothesen können geprüft werden:

- *Das Verstehen komplexer Systeme mit vielen Komponenten kann durch Übersicht gebende grafische Darstellungen erleichtert werden.*
- *Piktogramme können durch das Anbieten von Alltagsvorstellungen (oder auch fachlichen Vorstellungen) das Verstehen von abstrakten logischen Bildern oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.*

Text und Abbildung können – wie oben beschrieben – einander ergänzen. Enthält die Abbildung Komponenten, die der Text nicht (ausführlich) behandelt, kann der Fall eintreten, dass diese Komponenten nicht angemessen von den Lernenden benannt werden können. Dies behindert vielleicht nicht nur das sich Äußern dazu, sondern auch das Nachdenken darüber. Die entsprechende Hypothese lautet:

- *Die Bereitstellung von Termini durch den Text für Komponenten in der Abbildung erleichtert das Verstehen.*

### **7.2.3.3 Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 3**

Für die Untersuchung wurde der in Kapitel 7.2.2. beschriebene Ausschnitt aus Werk 3 analysiert.

#### **7.2.3.3.1 Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen**

Text und Abbildung des Schulbuchinhalts werden nacheinander untersucht, anschließend deren Verschränkung.

##### **Der Text**

###### **Zusammenfassung**

In einer Einleitung wird dargestellt, dass die Elemente auf der Erde insgesamt erhalten bleiben, aber in dynamischen Prozessen ständig neu verteilt werden, die zusammenfassend als Kreisläufe beschrieben werden können. Der Weg des Kohlenstoffs im Kohlenstoffkreislauf beginnt mit der Bindung durch Fotosynthese und führt über zwischenzeitliche Einlagerungen bis hin zu seiner Freisetzung.

Im Folgenden wird dieser Weg näher beschrieben. Nach der Fixierung von CO<sub>2</sub> kann der Kohlenstoff durch Zellatmung direkt wieder in die Atmosphäre freigesetzt werden, oder er ist unterschiedlich lange festgelegt im Boden, in Sedimenten, in fossilen Brennstoffen oder in Sedimentgesteinen.

Die Kohlenstoffbilanz ist bei Landökosystemen nahezu ausgeglichen. Der dennoch beobachtbare Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre wird mit der Kohlenstoffdioxidfreisetzung aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Entwaldung in den Tropen begründet. Abschließend wird auf die unberechenbaren Auswirkungen dieses Anstiegs auf das Klima hingewiesen.

###### **Explication**

Grundsätzlich wird im Text zwischen zwei Zuständen des Kohlenstoffs unterschieden. Er kann frei bzw. freigesetzt sein in Form von atmosphärischem Kohlenstoffdioxid oder gebun-

den bzw. festgelegt in organischen Verbindungen oder Kalkstein. Das atmosphärische CO<sub>2</sub> ist Ausgangspunkt der textlichen Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs. Einmal gebunden kann der Kohlenstoff unterschiedliche Stationen durchlaufen, die mit unterschiedlichen Verweildauern an den jeweiligen Stationen verbunden sind. Letztlich führen alle Wege zur Wiederfreisetzung in Form von CO<sub>2</sub>. Damit ist der Kohlenstoff wieder am Ausgangspunkt seines Weges angekommen. Auf diese Weise schließt sich der Kreis. Im Text ist nicht explizit erwähnt, dass der Weg damit von Neuem beginnen kann und als Eigenschaft eines Kreislaufs das immer wieder Durchlaufen von Stationen gegeben ist.

Im gesamten Text steht die Atmosphäre im Zentrum. Fast das letzte Drittel des Textes befasst sich mit dem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und dessen Ursachen und Folgen. Die Zusammenhänge im Kohlenstoffkreislauf werden in knapper Form an die Lernenden herangetragen und dann verwendet, um den globalen Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration zu erklären mit Hinweis auf dessen Bedeutung für das Klima, ohne allerdings diese Bedeutung zu erklären.

#### Strukturierung

Das Start-Weg-Ziel-Schema ist leitend für die textlichen Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf. Aus der Beschreibung des Wegs des Kohlenstoffs können einerseits die Konzepte *Kohlenstoffbindung*, *Kohlenstoffweitergabe* und *Kohlenstofffreisetzung* rekonstruiert werden. Andererseits weisen Textpassagen auf das Erreichen, Verlassen und Widererreichen von Stationen, auf denen der Kohlenstoff in unterschiedlichen Verbindungen verschieden lange verweilt (Konzepte: *Kreislauf ist Zyklus*, *Unterschiedliche Verweildauer*, *Unterschiedliche Kohlenstoffverbindungen*). Der Text beantwortet zwei Fragen: Wie verlässt Kohlenstoff die Atmosphäre? Auf welchem Weg und nach welcher Zeit gelangt der Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre?

Die Betrachtungen zur Bilanz beschränken sich auf die natürliche Ausgeglichenheit zwischen Bindung und Wiederfreisetzung einerseits (Konzept: *Flüsse\* im Gleichgewicht*) und anthropogen verursachte zusätzliche Freisetzungen andererseits (Konzept: *Mensch verursacht Flüsse\* in die Atmosphäre*, *Mensch stört Gleichgewicht*). Darin sind die Denkfiguren ‚Vorindustrielles (Natürliches) Gleichgewicht‘ und ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ erkennbar. Auf die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ sind keine Hinweise zu finden.

(\* Der Text bietet eher Vorstellungen im Sinne von Übergängen oder gebundene bzw. freigesetzte Mengen an, während in der Abbildung quantifizierte Übergänge als Flussraten benannt werden. Deshalb wird hier zugunsten der Vergleichbarkeit mit den Inhalten der anderen Schulbücher die Bezeichnung Flüsse verwendet.)

Der Text trägt nicht die Vorstellung von einer Zuordnung des Kohlenstoffs zu mehr oder weniger großen Speichern und von Stoffflüssen zwischen ihnen an die Lernenden heran. Lediglich bezüglich der Atmosphäre kann mithilfe von Konzentrationsangaben und Aussagen zur Zunahme des Kohlenstoffdioxidgehalts gedanklich das Behälterschema verknüpft werden. In die als Behälter gedachte Atmosphäre gelangt durch menschliche Einflüsse zusätzlich Kohlenstoffdioxid.



## Die Abbildung

In der Abbildung ist eine Landschaftsdarstellung mit den Bereichen Land und Meer und deren Untergründe mit einem Pfeildiagramm kombiniert. Die als Vorräte bezeichneten Elemente der Abbildung entsprechen den in der Fachliteratur angegebenen Speichern (Konzept: *Kohlenstoff in Speichern* („Vorräten“), *Unterschiedliche Speichergröße*). Die Speicher sind in der dreidimensionalen Abbildung nicht als Quader dargestellt, sondern durch Piktogramme veranschaulicht. Die Masse der Vorräte ist nur durch die Zahlenangabe repräsentiert (Konzept: *Unterschiedliche Speichergröße*). Die Farbe der Legende wird nur in den quantitativen Angaben zum Speicherinhalt, nicht aber in deren Bezeichnung wiederholt. Pfeile zwischen den Speichern sind beschriftet mit Bezeichnungen für die Flussursachen und entsprechend der Legende mit rot dargestellten Zahlenwerten zu den Flussraten (Konzepte: *Flüsse zwischen den Speichern*, *Unterschiedliche Flussraten*). Bezüglich der Flüsse zwischen Atmosphäre und Meer sind keine Ursachen benannt, ebenso wie bei den Flüssen zwischen den unterschiedlichen Meeresschichten.

Die Anordnung der Pfeile unterstreicht die auch im Text erkennbare Zentriertheit auf die Atmosphäre (vgl. Abbildung 7.2.3.3.1.1). Neben natürlichen werden auch anthropogen verursachte Flüsse durch Pfeile, Zahlen zur Flussrate und benannte Flussursachen dargestellt (Konzepte: *Mensch verursacht Flüsse in die Atmosphäre*). Sie werden in der Darstellungsweise nicht unterschieden. Von den Vorräten Kalkgestein, Boden und fossile Brennstoffe gehen keine Pfeile aus.

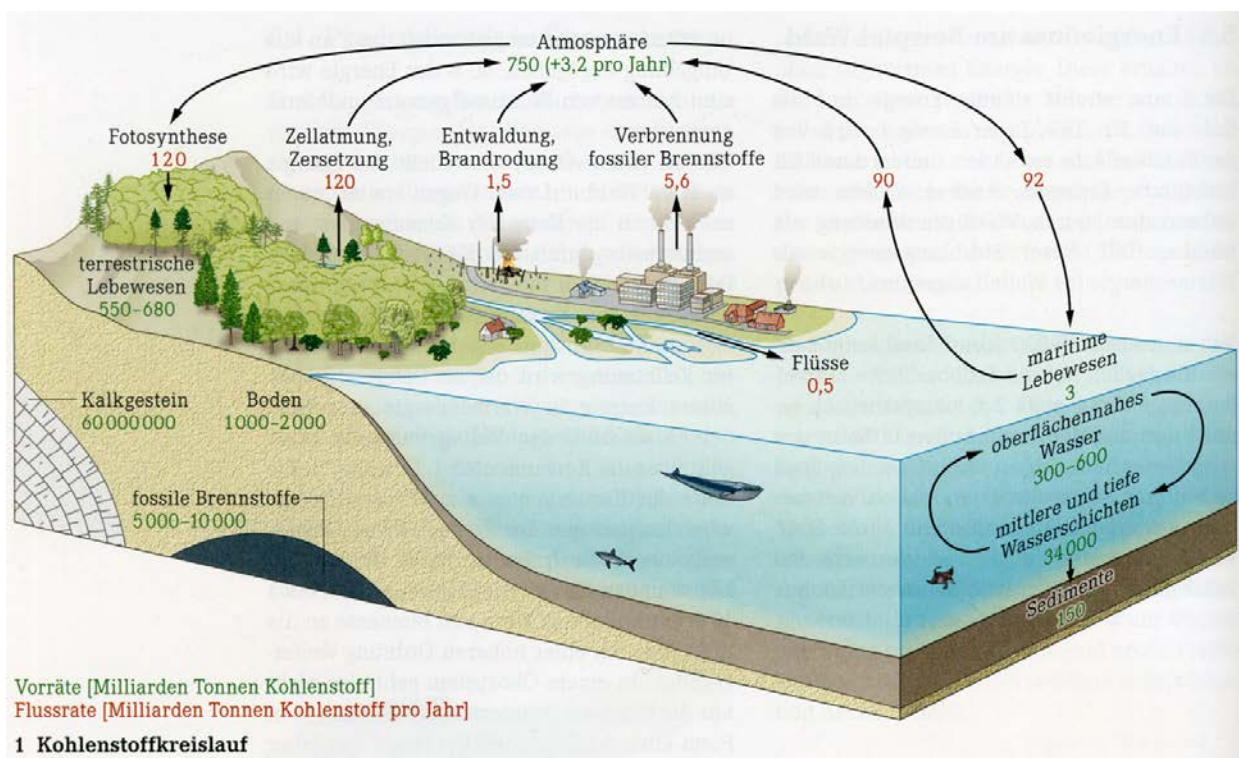


Abb. 7.2.3.3.1.1: Kohlenstoffkreislauf (aus: Biologie heute SII. Schroedel Verlag 2011, 324)

Die Abbildung stützt die Vorstellung von Wegen, die der Kohlenstoff aufgrund von Prozessen nimmt (Konzept: *Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs*). Die Flussraten geben Massen des Kohlenstoffs an, die auf diese Weise von einem Vorrat zu einem anderen gelangen. Zum Pfeil der mit „Flüsse“ beschriftet ist, findet man keine Darstellung der Kohlenstoffquelle.

Die Angabe „(+3,2 pro Jahr)“ in der Abbildung (Abbildung 7.2.3.3.1.1 oben) kann als Hinweis auf den Anstieg der Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre gedeutet werden (Konzept: *In Summe Anstieg in der Atmosphäre*). Verrechnet die aufgeführten Zahlenwerte zu den Flussraten, müsste man einen Anstieg von 4,6 Gt/Jahr erwarten. Da die Zahlenangaben zum Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre im Text (in %) einen anderen Bezugsrahmen haben, lässt sich der Widerspruch auch mithilfe des Textes nicht klären.

Flüsse im Sinne der Denkfigur ‚Reagierenden Kohlenstoffkreislauf‘ sind nicht gesondert dargestellt. (Konzept: *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre*). Aus diesem Grund kann nicht entschieden werden, ob die Differenz zwischen Kohlenstoffaufnahme und -abgabe durch die Meere in diesem Sinne zu deuten ist. Insofern bleibt unsicher, ob daraus das Konzept *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre* rekonstruiert werden kann.

### Mithilfe von Text und Abbildung rekonstruierte Konzepte

Text und Abbildung lassen folgende Konzepte erkennen:

Konzept	Konzeptname
<i>Elemente werden in der Biosphäre ständig neu verteilt.</i>	<i>Stoffbindung, Stoffweitergabe, Stofffreisetzung</i>
<i>Fotosynthese betreibende Lebewesen binden Kohlenstoff</i>	<i>Kohlenstoffbindung</i>
<i>Zellatmung und Zersetzung setzen Kohlenstoffdioxid frei</i>	<i>Kohlenstofffreisetzung</i>
<i>Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt den Weg des Kohlenstoffs von der Bindung bis zur Wiederfreisetzung</i>	<i>Kreislauf ist Weitergabe</i>
<i>Kohlenstoff kann im Kohlenstoffkreislauf unterschiedliche Stationen durchlaufen.</i>	<i>Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs</i>
<i>Kohlenstoff kann im Kohlenstoffkreislauf unterschiedlich lange an Stationen verweilen.</i>	<i>Unterschiedliche Verweildauer</i>
<i>Etwa gleich große Zu- und Abflüsse an Land bilden ein Gleichgewicht.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>
<i>Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Brandrodung steigt der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse in Atmosphäre</i>
<i>Der vom Menschen verursachte Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre beeinflusst das Klima.</i>	<i>Mensch verursacht Klimaveränderung</i>

Mithilfe der Abbildung werden weitere, im Text nicht berücksichtigte Aspekte des Themas an die Lernenden herangetragen. Sie können durch folgende Konzepte beschrieben werden:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Die Übergänge zwischen Stationen können quantitativ durch Flussraten beschrieben werden.</i>	<i>Unterschiedliche Flussraten</i>
<i>Im Ökosystem Meer können die Stationen maritime (gemeint sind marine) Lebewesen, oberflächennahes Wasser und mittlere bzw. tiefe Wasserschichten unterschieden werden.</i>	<i>Mehrteiliger Speicher Ozeane</i>
Möglicherweise: <i>Es gibt einen Land- und einen Meer-Kohlenstoffkreislauf.</i>  <i>Terrestrischer und Mariner Kreislauf stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.</i>	<i>Terrestrischer Kreislauf</i> <i>Mariner Kreislauf</i> <i>Verbundene Kreisläufe</i>
Möglicherweise: <i>Als Folge der erhöhten Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre fließt zusätzlich Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Richtung Ozeane und Landlebewesen.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>

### 7.2.3.3.2 Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 3 aus fachdidaktischer Sicht

Als Ergebnis der fachlichen Klärung kann eine am Systemgedanken orientierte Sichtweise auf das Thema Kohlenstoffkreislauf gelten. Der Kohlenstoff in der Biosphäre wird Speichern zugeordnet, in und zwischen denen Stoffflüsse stattfinden, die natürlicherweise wechselseitig annähernd in dynamischen Gleichgewichten stehen. Anthropogen verursachte zusätzliche Kohlenstoffdioxidfreisetzungen führen zu Veränderungen von Stoffflüssen und somit Verschiebungen der Gleichgewichte. Daraus folgt mit Blick auf die Bilanz eine Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre.

In Text und Abbildung des betrachteten Schulbuchinhalts zum Kohlenstoffkreislauf ist eine andere Schwerpunktsetzung als die oben skizzierte zu erkennen. Im Zentrum des Lernangebots steht nicht die globale Verteilung, sondern der Weg des Kohlenstoffs, und zwar von und zur Atmosphäre. Ziel ist offenbar, den Boden dafür zu bereiten, dass die Lernenden die Ursachen für den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre verstehen. Die Bedeutung der anderen Speicher liegt nach dieser Betrachtungsweise in ihrer Funktion als Zwischenstationen des Kohlenstoffs auf dem Weg zur Atmosphäre. Das Start-Weg-Ziel-Schema ist hier leitend, wobei Start und Ziel die Atmosphäre ist. Das Immer-Wiederkehrende oder Zyklische als wesentliches Element des Kreislaufs wird nicht betont. Der Kohlenstoffkreislauf wird nicht als System aus Kohlenstoffspeichern und Stoffflüssen dargestellt.

Die Abbildung stützt diese Interpretation. Durch die Anordnung der Pfeile rückt die Atmosphäre in den Fokus der Aufmerksamkeit. Die Speicher Boden, Kalkgestein und fossile Brennstoffe sind in das System der Pfeile nicht mit einbezogen, allein der Text trägt die Bedeutung dieser Speicher an die Lernenden heran. Auf die Darstellung von Kohlenstoffflüssen innerhalb der Speicher terrestrische Lebewesen und marine Lebewesen (Konzept: *Kohlenstoffweitergabe im Speicher*) wird im Sinne einer didaktischen Reduktion verzichtet. Die in anderen untersuchten Schulbuchbeispielen verwendeten Fachtermini Assimilation/Dissimilation und autotroph/heterotroph werden nicht verwendet. Die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ wird nicht explizit an die Lernenden herangetragen.

### 7.2.3.3 Hypothesen zur Verständlichkeit

Der Text weist im Vergleich zu den anderen untersuchten Schulbuchinhalten deutlich weniger Fachtermini auf. Das erhöht nicht nur die Lesbarkeit des Textes, sondern kann im Zusammenhang mit der oben beschriebenen Reduktion der inhaltlichen Aspekte förderlich wirken für das Verstehen des Wegs des Kohlenstoffs. Daraus können zwei Hypothesen zur Verständlichkeit abgeleitet werden:

- *Die Fokussierung auf Wege bzw. ausgewählte Stationen des Kohlenstoffs kann das Verstehen der globalen Kohlenstoffflüsse fördern.*
- *Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, fördert das Verstehen des zentralen Inhalts.*

Andererseits können eben diese Fokussierung und die dominante Darstellung des Speichers Atmosphäre dazu führen, dass der Kohlenstoffkreislauf nicht als Gesamtsystem verstanden wird.

- *Die Ausrichtung auf einen Teil eines Gesamtsystems im Material kann das Verstehen des Gesamtsystems erschweren.*

Text und Abbildung stellen die Atmosphäre – wie oben beschrieben – in den Mittelpunkt der Betrachtung. Diese Übereinstimmung fördert das Verstehen.

- *Die Übereinstimmung von durch Text und Abbildung angebotenen Vorstellungen ist förderlich für das Verstehen.*

Die Abbildung trägt eine Reihe von quantitativen Aussagen an die Lernenden heran, und zwar bezüglich der Kohlenstoffmassen an den Stationen (in den Speichern) und zu den Flussraten. Dazu enthält der Text keinerlei Bezüge. Der Begriff Flussrate wird nicht erklärt. Aus der Abbildung lässt sich theoretisch ableiten, dass die Größen Speicherinhalt und Flussrate weitgehend unabhängig voneinander sind. Es kann bezweifelt werden, ob es Lernenden ohne Hilfestellung gelingt, dies zu erkennen. Unabhängig davon, ob das Lernen dieses Inhalts von den Autoren intendiert ist, lässt sich als Hypothese formulieren:

- *Komplexe Informationen in Grafiken (hier ein System aus Begriffen und Zahlenwerten), können Lernende ohne textliche Hilfe nur schwer für die Vorstellungsentwicklung nutzen.*

Bezüglich der Verwendung der Metaphern Stationen oder Speicher bei der Vermittlung der Grundstruktur des Kohlenstoffkreislaufs kann hier die gleiche Argumentation gelten wie bei den Ausführungen zum Schulbuch Natura Oberstufe (2005) (Kapitel 7.2.3.2.3). Daraus folgt die Hypothese:

- *Die Metapher Speicher ist besser geeignet, Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an Lernende heranzutragen als die Metapher Stationen.*

### 7.2.3.4 Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 4

Für die Untersuchung wurde der in Kapitel 7.2.2. beschriebene Ausschnitt aus Werk 4 analysiert. Sie entstand unter redaktioneller Betreuung des Autors dieser Arbeit während der laufenden Untersuchungen.

### 7.2.3.4.1 Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen

Text und Abbildungen des Schulbuchinhalts werden nacheinander untersucht, anschließend deren Verschränkung.

#### Der Text

##### Zusammenfassung

Unter der Überschrift ‚Kohlenstoffkreislauf‘ enthält die Seite einen durch Zwischenüberschriften in drei Abschnitte gegliederten Text. In einem einleitenden Absatz wird übergeleitet von den Stoffumwandlungen in einzelnen Lebewesen zu einer globalen Sicht auf Stoffumwandlungen. Kohlenstoff wird dargestellt als wichtiger Bestandteil von Lebewesen und als in unterschiedlichen Verbindungen in der unbelebten Natur vorkommend.

Unter der Zwischenüberschrift ‚Der natürliche Kohlenstoffkreislauf‘ wird postuliert, dass sich der Kohlenstoff auf der Erde Speichern zuordnen lässt. Durch Fotosynthese kann Kohlenstoff vom Speicher Atmosphäre in den Speicher Landlebewesen gelangen. Pflanzen oder Tiere, die Pflanzen gefressen haben, geben einen Teil dieses Kohlenstoffs in Form von  $\text{CO}_2$  wieder an die Atmosphäre ab. Flussraten werden definiert als quantitative Angaben zu zwischen Speichern stattfindenden Kohlenstoffflüssen. Da die Zu- und Abflüsse ein dynamisches Gleichgewicht bilden, ändern sich die Inhalte der Speicher langfristig kaum. Über die Atmosphäre stehen auch weit entfernte Speicher indirekt miteinander in Verbindung. Dies wird an einem Beispiel für einen möglichen Weg eines Kohlenstoffatoms verdeutlicht.

Unter der Zwischenüberschrift ‚Einfluss des Menschen‘ wird ausgesagt, dass die Flussrate von der Umsetzungsgeschwindigkeit in einem Speicher bestimmt wird. Vor Jahrmillionen in fossilen Brennstoffen gespeicherter Kohlenstoff wird derzeit durch deren Verbrennung in die Atmosphäre freigesetzt. Dadurch steigt die Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre, die wiederum Ursache ist für erhöhte Stoffflüsse in andere Speicher. Abschließend wird auf die Bedeutung dieser zusätzlichen Kohlenstoffflüsse in der Diskussion zum Klimawandel hingewiesen.

Auf der Seite befinden sich zwei Aufgaben. Die erste fordert dazu auf, die Kohlenstoffweitergabe in der Nahrungskette Pflanze – Pflanzenfresser – Raubtier in das in Abbildung 1 dargestellte System aus Speichern und Stoffflüssen einzuordnen. Die zweite Aufgabe verlangt das Aufzeigen unterschiedlicher Wege des Kohlenstoffs in Abbildung 1.

##### Explikation

Die Einleitung beinhaltet einen Perspektivwechsel von Stoffumwandlungen im einzelnen Lebewesen zu globalen Umwandlungen. Außerdem werden neben den organischen kohlenstoffhaltigen Molekülen anorganische Kohlenstoffverbindungen mit einbezogen.

Der natürliche Kohlenstoffkreislauf wird definiert als System aus globalen Kohlenstoffspeichern und Kohlenstoffflüssen, die zwischen diesen Speichern und innerhalb von ihnen stattfindenden. Diese von der Realität abstrahierte Sicht wird an konkreten Beispielen auf der Ebene von Lebewesen erläutert. Dabei werden die Übergänge Atmosphäre – Landlebewesen, Landlebewesen – Landlebewesen und Landlebewesen – Atmosphäre in den Blick genommen. Die Formulierung „wieder als  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre frei“ lässt einerseits auf das

Start-Weg-Ziel-Schema schließen und andererseits auf das Kreislauf-Schema, da das Ziel des Kohlenstoffs gleich dem Ausgangspunkt ist.

Den dynamischen Stoffflüssen steht der annähernd konstante Kohlenstoffgehalt der Speicher gegenüber. Der scheinbare Widerspruch wird aufgelöst, indem das System aus der Perspektive der Speicher in den Blick genommen wird. Bei gleich großem Zu- und Abfluss gleichen sich diese beiden Effekte aus. Dieser Zustand stellt ein dynamisches Gleichgewicht dar.

Die anthropogen verursachte Erhöhung der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre wird durch die Mobilisierung von Kohlenstoff aus dem vorher weitgehend abgeschlossenen Speicher fossile Brennstoffe erklärt (Erzeugung eines zusätzlichen Kohlenstoffflusses zum Speicher Atmosphäre). Die Darstellung der möglichen Folgen (erhöhte Kohlenstoffflüsse von der Atmosphäre in andere Speicher) lässt auf die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ schließen.

Ausführungen zu den Aufgaben befinden sich im Abschnitt 7.2.3.4.2.

### Strukturierung

Leitend für die Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf ist das verstandene Speicher-Fluss-Schema, das auf globaler Ebene angewendet wird. Dies kann aufgefasst werden als Kombination des Behälter-Schemas mit dem Start-Weg-Ziel-Schema (Niebert 2010). Indem verkörperte Vorstellungen zu Behältern auf die Metapher Speicher (Behälter zum Hineingeben, Aufbewahren, Herausnehmen) übertragen werden, können Lernende Vorstellungen in diesem Zielbereich entwickeln (Konzepte: *Kohlenstoff in Speichern, Verschiedene Kohlenstoffverbindungen, Unterschiedliche Speichergröße*). Dies gilt in gleicher Weise für die Metapher Stofffluss (Konzept: *Flüsse zwischen Speichern*). Als Ursachen des Flusses zwischen den Behältern werden bezüglich der Speicher Atmosphäre und Landlebewesen Stoffwechsellvorgänge und physikalische Prozesse angegeben (Konzepte: *Verschiedene Kohlenstoffverbindungen, Kohlenstoffbindung, Kohlenstoffweitergabe, Kohlenstofffreisetzung*).

Der Text leitet über von einer großen Zahl von Einzelereignissen zu einer globalen Sicht. Das bedeutet, Lernende müssen bei der Bearbeitung des Materials in zwei Größenordnungen denken, dem einzelnen Atemzug eines Tieres und den Milliarden Tonnen Kohlenstoff, die alle Landlebewesen pro Jahr abgeben. Das Gleiche gilt auch für die Dimension Zeit, z.B. beim Abbau aufgenommener Nährstoffe und der Verbrennung Jahrtausende alter fossiler Brennstoffe. Der Text wechselt zwischen diesen Ebenen und verknüpft sie so. Daraus lässt sich das Konzept *Unterschiedlich langes Verweilen in Speichern* rekonstruieren.

Aus der Textpassage zum dynamischen Gleichgewicht lassen sich folgende Konzepte rekonstruieren: *Flüsse im Gleichgewicht* und *Gleichgewichte Land und Ozean*.

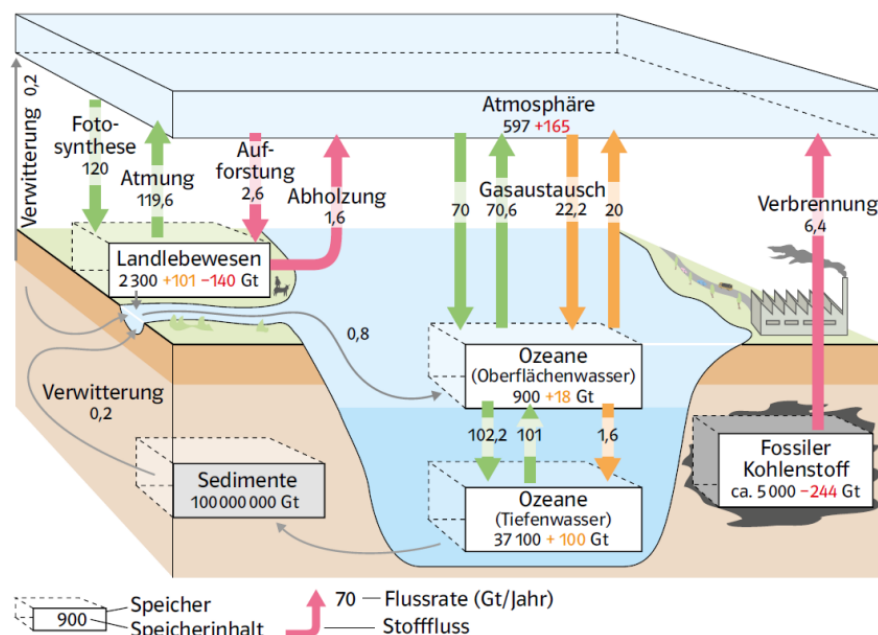
Durch die Zwischenüberschriften ‚Der natürliche Kohlenstoffkreislauf‘ und ‚Der Einfluss des Menschen‘ wird das Natürlich-Künstlich-Schema (vgl. Kapitel 6.2.4) an die Lernenden herangetragen. Die Gliederung entspricht der Unterscheidung zwischen den Denkfiguren ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ und ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘. Durch die Förderung und

Verbrennung von Inhalten des Speichers Fossile Brennstoffe entsteht ein zusätzlicher Kohlenstofffluss in Richtung Atmosphäre (Konzept: *Mensch verursacht Flüsse*). Da diesem Fluss kein Stofffluss in umgekehrter Richtung entgegensteht, ergibt sich ein Ungleichgewicht (Konzept: *Mensch stört Gleichgewicht*).

Auf die Denkfigur ‚Reagierender Kreislauf‘ weist neben der Abbildung (s.u.) ein Satz, in dem der steigende Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre als Flussursache benannt wird (Konzept: *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre*).

## Die Abbildungen

Die Schulbuchseite enthält eine Übersichtsgrafik und ein Foto. Die Grafik entspricht im Wesentlichen dem Ergebnis der fachlichen Klärung (Abbildung 6.3.2). Darin werden sechs Speicher dargestellt: Atmosphäre, Landlebewesen, Ozeane (Oberflächenwasser), Ozeane (Tiefenwasser), Sedimente und Fossiler Kohlenstoff, wobei die dreidimensionale quaderförmige Darstellung die Vorstellung von Behältern unterstützt (Konzept: *Kohlenstoff in Speichern*). Deren Kohlenstoffgehalt ist als Zahlenwert angegeben (Konzept: *Unterschiedliche Speichergröße*). Zwischen ihnen stattfindende Kohlenstoffflüsse sind durch unterschiedlich gefärbte Pfeile repräsentiert, an denen die Flussursache bezeichnet ist und Zahlenwerte die jeweiligen Flussraten angeben (Konzepte: *Flüsse zwischen Speichern*, *Kohlenstoffbindung*, *Kohlenstoffweitergabe*, *Kohlenstofffreisetzung*, *Unterschiedliche Flussraten*). Mithilfe der Farbgebung nach natürlichen und von Menschen verursachten Kohlenstoffflüssen wird zwischen ihnen unterschieden. Flüsse, die indirekt vom Menschen verursacht sind, sind in einer gesonderten Farbe dargestellt. Dies weist auf die Konzepte *Mensch verursacht Flüsse* und *Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre*. Die Abbildung zeigt die Differenzierung des Ökosystems Ozeane in zwei Speicher (Konzept: *Mehrteiliger Speicher Ozeane*). In Ergänzung zum Text stellt sie neben der Verbrennung fossiler Brennstoffe auch die Auswirkungen von Abholzung und Aufforstung auf den Kohlenstoffkreislauf dar.



grün: natürlich, grau: natürlich, anorganisch, rot: vom Menschen verursacht, orange: indirekte Folgen menschlichen Handelns

Abb. 7.2.3.4.1.1: Kreislauf des Kohlenstoffs (aus: Becker et al 2012, 364)

Mithilfe der Abbildung können die gleichen Schemata und Denkfiguren rekonstruiert werden wie mit dem Text. Durch die Andeutung von Land und Meer gibt sie eine grobe Orientierung. Die Anordnung der Bildelemente und Pfeile kann Vorstellungen von zwei Teilkreisläufen stützen (Konzepte: *Terrestrischer Kreislauf*, *Mariner Kreislauf*, *Verbundene Kreisläufe*). Abgesehen von der schematischen Darstellung einer Fabrik enthält sie keine bildlichen Darstellungen (z.B. von Lebewesen oder Vorgängen, wie z.B. der Brandrodung).



In Braunkohle erkennbares Pflanzenstück

Abb. 7.2.3.4.1.2: Braunkohlenfossil (aus: Becker et al 2012, 364)

Das Foto auf der Schulbuchseite zum Kohlenstoffkreislauf (Abbildung 7.2.3.4.1.2) zeigt ein Stück Braunkohle mit dem Abdruck von einem Teil eines Farnwedels. Zusammen mit der Legende ist daraus das Konzept *Biogener Ursprung fossiler Brennstoffe* rekonstruierbar. So kann die Vorstellung gestützt werden, dass in fossilen Brennstoffen Kohlenstoff gespeichert ist, der vor Jahrmillionen von Pflanzen gespeichert wurde und bei der Verbrennung dieser Stoffe wieder in die Atmosphäre gelangt.

Die Aufgaben fordern die Lernenden auf, aus der Perspektive einzelner Lebewesen oder eines Kohlenstoffatoms auf das in der Abbildung dargestellte globale System von Speichern und Flüssen zu schauen. Lernenden wird ermöglicht, die beiden Ebenen in Beziehung zu setzen. Die zweite Aufgabe weist eindeutig in die Richtung des Konzepts *Unterschiedliche Wege*.

### **Mithilfe von Text und Abbildung rekonstruierte Konzepte**

Die textlichen Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf und die darauf bezogenen Abbildungen lassen auf folgende Konzepte schließen:



<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Der Kohlenstoff auf der Erde kann den Speichern Atmosphäre, Landlebewesen, Ozeane (Oberflächenwasser), Ozeane (Tiefenwasser), Sedimente und Fossile Brennstoffe zugeordnet werden.</i>	<i>Kohlenstoff in Speichern</i>
<i>Die Kohlenstoffspeicher enthalten unterschiedlich viel Kohlenstoff</i>	<i>Unterschiedliche Speichergröße</i>
<i>Kohlenstoff kommt auf der Erde in unterschiedlichen chemischen Verbindungen vor.</i>	<i>Verschiedene Kohlenstoffverbindungen</i>
<i>Zwischen den Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffflüsse statt.</i>	<i>Flüsse zwischen Speichern</i>
<i>Landlebewesen und Atmosphäre bilden einen terrestrischen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Terrestrischer Kreislauf</i>
<i>Ozeane und Atmosphäre bilden einen marinen Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Mariner Kreislauf</i>
<i>Terrestrischer und Mariner Kreislauf stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.</i>	<i>Verbundene Kreisläufe</i>
<i>Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen bilden annähernd ein dynamisches Gleichgewicht.</i>	<i>Flüsse im Gleichgewicht</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen.</i>	<i>Unterschiedlich langes Verweilen in Speicher</i>
<i>Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	<i>Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs</i>
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Abholzung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	<i>Mensch verursacht Flüsse</i>
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre steigt die Flussrate in Richtung der Speicher Ozeane und Landlebewesen.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>

Die grafische Darstellung enthält Zahlenwerte und zeigt zwei Speicher zum Ökosystem Ozeane. Dadurch sind zusätzlich folgende Konzepte daraus rekonstruierbar:

<b>Konzept</b>	<b>Konzeptname</b>
<i>Der größte Speicher Sedimente ist aufgrund der niedrigen Flussrate von geringer Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf.</i>	<i>Flussrate unabhängig von Speichergröße</i>
<i>Die Ozeane können aufgrund ihrer Schichtung als zwei Speicher aufgefasst werden.</i>	<i>Mehrteiliger Speicher Ozeane</i>

#### **7.2.3.4.2 Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 4 aus fachdidaktischer Sicht**

In seiner Grundstruktur entspricht der Schulbuchinhalt den fachlich geklärten Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf. Text und Abbildung stellen den Kreislauf als ein System aus Kohlenstoffspeichern und -flüssen dar. Ein einführender Absatz zitiert Vorstellungen, über die Lernende in der für den Einsatz des Buches vorgesehenen Klassenstufe verfügen sollten, und leitet zur globalen Sichtweise über. Konzepte zum globalen Kohlenstoffkreislauf werden an die Lernenden herangetragen und teilweise mit ausgewählten Beispielen auf der organismischen Größenebene veranschaulicht. Es kann das Start-Weg-Ziel-Schema rekonstruiert werden, das gedanklich mit der Ergänzung Ziel = Start zum Kreislauf-Schema entwickelt wird. Es gibt keinen Hinweis auf eine Vorstellung von ‚immer wieder von Neuem‘ als Bestandteil des Kreislaufschemas. Mithilfe der Darstellung des dynamischen Gleichgewichts bezüglich der Zu- und Abflüsse in bzw. von Speichern wird einer Vorstellungsentwicklung in Richtung anthropogen verursachtem Ungleichgewicht und Folgeaktionen der Boden bereitet (Denkfigur ‚Reagierende Kohlenstoffkreislauf‘).

Die Aufgaben fordern Lernende dazu auf, Aspekte des Kohlenstoffkreislaufs aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten. Die erste Aufgabe stützt die Vorstellung, dass Kohlenstoff auch innerhalb eines Speichers weitergegeben wird, während der zweiten Aufgabe verstanden werden kann, dass es nicht einen vorgezeichneten Weg des Kohlenstoffs im Kreislauf gibt, sondern viele unterschiedliche.

Das Material enthält im Text nur wenige Bezeichnungen, die nicht erklärt werden (z.B. Photosynthese, Glucose). Auf die Verwendung bedeutungsähnlicher Termini (z.B. Fotosynthese, Assimilation) wird verzichtet.

#### **7.2.3.4.3 Hypothesen zur Verständlichkeit**

Auch anhand dieses Schulbuchmaterials können einige der Hypothesen geprüft werden, die bereits zur Lernwirkung der anderen untersuchten Schulbuchinhalte aufgestellt wurden. Diese werden hier nicht gesondert begründet, soweit sich Begründungen schon weiter oben finden lassen.

- *Die Metaphern Speicher und Flüsse sind eher geeignet, systematische Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an Lernende heranzutragen als die Metaphern Stationen und Zyklus.*

(vgl. hierzu Kapitel 7.2.3.2.3)

- *Komplexe Informationen in Grafiken (hier ein System aus Begriffen und Zahlenwerten), können Lernende ohne textliche Hilfe nur schwer für die Vorstellungsentwicklung nutzen.*

(vgl. hierzu Kapitel 7.2.3.3.3)

- *Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, ist förderlich für das Verstehen des zentralen Inhalts.*

(vgl. hierzu Kapitel 7.2.3.3.3)

Bei der folgenden Hypothese handelt es sich um die positiv gewendete Form einer Hypothese, die zum Material Natura Oberstufe (2005) aufgestellt wurde (vgl. Kapitel 7.2.3.2.3):

- *Das Verzichten auf das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erleichtern.*

Die folgende Hypothese wurde im Zusammenhang mit dem Material Biologie heute SII aufgestellt, aber vor einem anderen Hintergrund. Handelte es sich dort um die Fokussierung auf einen Speicher (Atmosphäre), so ist hier die Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs als System aus Speichern und Stoffflüssen gemeint.

- *Die Übereinstimmung von in Text und Abbildung zum Ausdruck kommenden Vorstellungen fördert das Verstehen.*

## 7.3. Zusammenfassung

Die vergleichende Zusammenfassung bezüglich der Inhalte und der Hypothesen zur Verständlichkeit werden hier getrennt dargestellt.

### 7.3.1 Untersuchung der dargestellten Inhalte

Die untersuchten Schulbücher stellen das Thema Kohlenstoffkreislauf auf einer Seite oder etwas weniger Fläche dar, wobei sich unter Berücksichtigung der Schriftgröße die Unterschiede als noch geringer erweisen. Sie enthalten alle einen Text und eine Übersichtsgrafik. Dennoch weisen sie bezüglich der von ihnen an die Lernenden herangetragenen Vorstellungen deutliche Unterschiede auf (vgl. Abbildung 7.3.1.1). In manchen Werken steht der Weg des Kohlenstoffs über Stationen im Vordergrund (Natura 2005 Text, Biologie heute SII), während andere ganz oder teilweise die Grundstruktur des Kohlenstoffkreislaufs als ein System aus Speichern und zwischen ihnen stattfindenden Flüssen darstellen (Natura 2012, Ökologie Schroedel, Abbildung Natura 2005). Alle untersuchten Werke enthalten die Denkfiguren ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ und ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ direkt (Biologie heute SII, Natura 2012) oder indirekt, wobei indirekt bei Ökologie Schroedel und Natura 2005 bedeutet, dass die Auswirkungen menschlichen Handelns in der Abbildung dargestellt sind, der Text aber keinen Bezug darauf nimmt. Die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ ist in Natura 2012 in Text und Abbildung dargestellt, in Ökologie Schroedel nur in der Abbildung. Die beiden anderen Werke verzichten darauf.

Neben diesen grundsätzlichen Unterschieden sind Differenzen bezüglich des Darstellens einzelner Aspekte erkennbar. So variiert die Darstellung von Kohlenstoffspeichern in der Gliederung (Ozeane als ein Speicher oder geteilt, Berücksichtigung der Sedimente) und der Darstellung (Aktivierung des Behälterschemas durch räumliche Darstellung oder Farbfläche oder nur Schriftzug in einer Landschaftsdarstellung). Außerdem unterscheiden sich die Materialien in der Präsentation einzelner Tatsachen, die über die Grundstruktur hinausgehen, z.B. Einbeziehung des Energieflusses, Verweildauer von Kohlenstoff in einzelnen Speichern, Bezüge zum Kalkkreislauf.

Die folgende Zusammenstellung aus den Schulbuchinhalten rekonstruierter Konzepte ist geordnet nach den Denkfiguren ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘, ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ und ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘: Ähnliche aber nicht bedeutungsgleiche Konzepte sind in einer Tabellenzeile untereinander aufgeführt.

	Konzepte	Konzeptname	1	2	3	4
<b>Denkfigur Vorindustrielles Gleichgewicht</b>						
Kohlenstoffspeicher	Am Beginn eines Stoffflusses steht die Umwandlung anorganischer Verbindungen in körpereigene Substanz durch autotrophe Lebewesen.		X	X		
	Der Kohlenstoff in der Biosphäre kann den Speichern Atmosphäre, Vegetation des Festlandes und Ozeane/Schichten des Meeres zugeordnet werden.	Kohlenstoff in Speichern	X			X
	Erdreich/Humus, Lager fossile Brennstoffe, Ozeane und die Atmosphäre sind Kohlenstoffspeicher.			X		
	Die Kohlenstoffspeicher enthalten unterschiedlich viel Kohlenstoff.	Unterschiedliche Speichergröße	X	X		X
	Die verschiedenen Kohlenstoffvorräte sind unterschiedlich groß				X	
	Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.	Verschiedene Kohlenstoffverbindungen		X	X	X
	Die Ozeane können aufgrund ihrer Schichtung als zwei Speicher aufgefasst werden.	Mehrteiliger Speicher Ozeane			X	X
	Fossile Brennstoffe sind aus Lebewesen entstanden	Biogener Ursprung fossiler Brennstoffe			X	X
	Elemente werden in der Biosphäre ständig neu verteilt				X	
Kohlenstoffflüsse	Zwischen Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffübergänge (Kohlenstoffflüsse) statt.	Flüsse zwischen Speichern	X			X
	Zwischen den Stationen des Kohlenstoffs finden Übergänge statt			X	X	
	Die jährlichen Kohlenstoffflüsse können quantitativ abschätzt als Flussraten angegeben werden.	Unterschiedliche Flussraten	(X)	(X)	X	X
	Kohlenstoff wird bei der Fotosynthese von grünen Pflanzen eingebaut.	Kohlenstoffbindung	X		X	X
	Konsumenten und Destruenten verwenden den gebundenen Kohlenstoff und setzen ihn als Kohlenstoffdioxid wieder frei			X		
	Kohlenstoff wird in Nahrungskettenweitergegeben	Kohlenstoffweitergabe im Speicher	X	X	(X)	X
	Durch die Zersetzung organischen Abfalls entstehen anorganische Verbindungen, die wieder von Produzenten als Ausgangsstoff genutzt werden können.	Kohlenstofffreisetzung	X	X		
	Durch Zellatmung wird der Kohlenstoff im natürlichen Kohlenstoffkreislauf wieder frei.				X	X
	Das immer wiederkehrende Binden und Freisetzen der anorganischen Stoffe stellt einen Stoffkreislauf dar.			X		
Gleichgewicht	Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen bilden annähernd ein dynamisches Gleichgewicht.	Flüsse im Gleichgewicht				X

Kohlenstoffkreislauf	Der globale Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Kohlenstoffflüssen.	Kohlenstoffflüsse sind Kreislauf	X			X
	Die Speicher (Stationen) Landoberfläche und Meeresoberfläche stehen mit der Atmosphäre im CO <sub>2</sub> -Austausch.		X	(X)	(X)	X
	Das immer wiederkehrende Durchlaufen von Stationen durch den Kohlenstoff stellt den Kohlenstoffkreislauf dar.	(Durchlaufen von Stationen ist Kreislauf)		X	X	
	Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt den Weg des Kohlenstoffs von der Bindung bis zur Freisetzung.				X	
	Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen und zwischen Atmosphäre und Ozeanen bilden annähernd dynamische Gleichgewichte.	Gleichgewichte Land und Ozean	X	(X)	(X)	(X)
	Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.	Verschiedene Kohlenstoffverbindungen	(X)	X	X	X
	Kohlenstoff kann im Kohlenstoffkreislauf unterschiedlich lange an Stationen verweilen.	Unterschiedlich langes Verweilen in Speichern			X	
	Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen					X
	Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.	Unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs				X
	Landlebewesen und Atmosphäre bilden einen terrestrischen Kohlenstoffkreislauf.	Terrestrischer Kreislauf		(X)	(X)	
	Ozeane und Atmosphäre bilden einen marinen Kohlenstoffkreislauf.	Mariner Kreislauf		(X)	(X)	
	Terrestrischer und Mariner Kreislauf stehen durch den Kohlenstoffspeicher Atmosphäre miteinander in Verbindung.	Verbundene Kreisläufe		(X)	(X)	
	Nach der mittleren Aufenthaltsdauer des Kohlenstoffs in den Speichern kann man zwischen einem Kurzzeit- und einem Langzeitkreislauf unterscheiden	Kurzzeit- und Langzeitkreislauf				
	Die größten Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen spielen als CO <sub>2</sub> -Quelle keine Rolle.		X			X
	Sämtlicher ursprünglich in Biomasse gebundene Kohlenstoff wird schließlich wieder als CO <sub>2</sub> frei.			X	X	
Durch chemische Prozesse entsteht aus einem Teil des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids Kalk.			X			
Statistisch wird das gesamte atmosphärische Kohlenstoffdioxid alle drei bis vier Jahre im Austausch mit der Biosphäre umgesetzt.			X			

<b>Denkfigur Anthropogenes Ungleichgewicht</b>						
	Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.	Mensch verursacht Flüsse	X	X	X	X
	Der Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre beeinflusst das Klima.	Mensch stört Gleichgewicht			X	

<b>Denkfigur Reagierender Kohlenstoffkreislauf</b>					
	<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bindet das Meer zusätzlich Kohlenstoff.</i>	<i>Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre</i>	X		
	<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre steigt die Flussrate in Richtung der Speicher Ozeane und Landlebewesen.</i>				X

Abb. 7.3.1.1: In den Schulbüchern identifizierte Konzepte. Ähnliche Konzepte sind in einer Tabellenzelle wiedergegeben. (X): Das Konzept ist so nicht explizit enthalten, aber indirekt erkennbar. (1 Werk1; 2 Werk 2; 3 Werk 3; 4 Werk 4)

### 7.3.2 Aus dem Material abgeleitete Hypothesen zur Verständlichkeit

Die untersuchten Schulbuchinhalte werden als didaktische Struktur aufgefasst, bei deren Ausgestaltung die Lernwirkung leitend sein muss. Als Verständlichkeit werden die Eigenschaften des Materials aufgefasst, die diese Wirkung ermöglichen, erleichtern oder behindern bzw. verhindern. Neben Theorien zur Verständlichkeit von Texten, Abbildungen und deren Kombinationen fließen Plausibilitätserklärungen und Erfahrungen in diesen Untersuchungsschritt ein. Erkenntnisse zu kausalen Wirkungen können sich aus der Prüfung der Hypothesen an den Interview-Transkripten (Kapitel 10) ergeben. Die Hypothesen sind in Abbildung 7.3.2.1 zusammengestellt.

Die Werke weisen erhebliche Unterschiede in der Verwendung von Fachtermini auf. Die Verwendung vieler im Text nicht erklärter Termini (Ökologie Schroedel) erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass einem Lernenden nicht bekannte Termini die Bildung von Vorstellungen be- oder verhindern. Das Gleiche gilt, wenn in Text und Abbildung nicht die gleichen Termini verwendet werden oder Termini synonym verwendet werden, die nicht vollständig bedeutungsgleich sind (vgl. auch Kapitel 10 und Abbildung 11.4.1).

Text und Abbildung unterschieden sich in manchen Schulbüchern deutlich in der Darstellung von alternativen Konzepten zum Kohlenstoffkreislauf (Ökologie Schroedel, Natura 2005), in der Übereinstimmung der Terminologie (Biologie heute SII) und in der Überlappung von Text- und Bildaussagen (alle untersuchten Werke). Man kann vermuten, dass dieses Vorgehen in dem Bemühen begründet ist, auf dem diesem Thema zugewiesenen Platz möglichst viele Aspekte zu platzieren, doch auch daraus können Probleme bezüglich der Verständlichkeit erwachsen.

Hypothesen	Werk			
	1	2	3	4
<i>Im Schulbuchinhalt nicht erklärte Wechsel der „Vorstellungsebenen“ erschweren das Verstehen.</i>	X			
<i>Piktogramme können durch das Anbieten von Alltagsvorstellungen (oder auch fachlichen Vorstellungen) das Verstehen von abstrakten logischen Bildern oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.</i>	X	X		
<i>Die Metaphern Speicher und Flüsse sind eher geeignet, systematische Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an Lernende heranzutragen als die Metaphern Stationen und Zyklus.</i>		X		
<i>Die Verwendung vieler nicht im Material erklärter Fachtermini kann das Verstehen behindern.</i>	X			
<i>Das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erschweren.</i>		X		
<i>Das Verzicht auf das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erleichtern.</i>				X
<i>Die uneinheitliche Darstellung von vergleichbaren Komponenten in einem komplexen Gefüge erschwert das Verstehen.</i>		X		
<i>Das Verstehen komplexer Systeme mit vielen Komponenten kann durch Übersicht gebende grafische Darstellungen erleichtert werden.</i>		X		
<i>Die Bereitstellung von Termini durch den Text für Komponenten in der Abbildung erleichtert das Verstehen.</i>		X		
<i>Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, ist förderlich für das Verstehen des zentralen Inhalts.</i>			X	X
<i>Die Metapher Speicher ist besser geeignet, Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an Lernende heranzutragen als die Metapher Stationen.</i>			X	X
<i>Die Fokussierung auf mögliche Wege bzw. mögliche Stationen des Kohlenstoffs kann das Verstehen der globalen Kohlenstoffflüsse fördern.</i>			X	
<i>Die Ausrichtung auf einen Teil eines Gesamtsystems im Material kann das Verstehen des Gesamtsystems erschweren.</i>			X	
<i>Komplexen Informationen in Grafiken, in diesem Fall einem System aus Zahlenwerten, können Lernende ohne textliche Hilfe nur schwer zur Vorstellungsentwicklung nutzen.</i>			X	X
<i>Die Übereinstimmung von in Text und Abbildung zum Ausdruck kommenden Vorstellungen ist förderlich für das Verstehen.</i>				X

Abb. 7.3.2.1: Hypothesen zur Verständlichkeit der Werke 1–4





## **8 Methoden zur Evaluation der Lernwirkung**

Die Lernwirkung der Schulbuchinhalte zum Thema Kohlenstoffkreislauf soll empirisch untersucht werden. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion hat sich eine Vorgehensweise bewährt, die aus den Teilschritten Interviews, deren Transkription und einer anschließenden Dokumentenanalyse auf der Basis der qualitativen Inhaltsanalyse besteht (Gropengießer 2005, 2007). Ziel ist es, in den Aussagen der Lerner zum Ausdruck kommende Konzepte und Denkfiguren zu erkennen, die wiederum mit den fachlich geklärten und mit aus den Schulbuchinhalten rekonstruierten Konzepten verglichen werden. In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen bei der Ermittlung von Lernervorstellungen und deren Ordnung dargestellt und begründet und in Bezug gesetzt zum theoretischen Rahmen.

### **8.1 Erfassen von Vorstellungen, die Lernende bei der Bearbeitung von Schulbuchinhalten entwickeln**

Alle Teilschritte des methodischen Vorgehens von der Datenerhebung bis zur Interpretation der Daten sind abgestimmt auf den theoretischen Rahmen und die Fragestellungen.

#### **8.1.1 Fragestellungen**

Auf der Grundlage des aufgespannten theoretischen Rahmens (Kapitel 4) und des methodischen Rahmens (Kapitel 5) werden folgende Fragen geklärt:

1. Welche Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf entwickeln Lerner bei der selbstständigen Auseinandersetzung mit entsprechenden Schulbuchinhalten?
2. Inwieweit haben sich die Vorstellungen, über die die Lernenden vor dem Interview verfügten, durch die selbstständige Auseinandersetzung mit den entsprechenden Schulbuchinhalten verändert?

#### **8.1.2 Methodisches Vorgehen**

Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung stellen mit Blick auf die Fragestellung methodisch auszugestaltende Schritte dar. Nach der begründeten Entscheidung für Erhebungsverfahren, die sowohl zum theoretischen Rahmen passen als auch die Klärung der gestellten Forschungsfragen ermöglichen (siehe Kapitel 4 und 5), müssen die Teilschritte zur Datenerhebung und Auswertung festgelegt werden. Die Teilschritte müssen so gestaltet sein, dass sie die Validität der Ergebnisse sicherstellen.

### 8.1.2.1 Auswahl des Schulbuchinhalts

Die Auswahl des Schulbuchinhalts erfolgte nach mehreren Kriterien (vgl. auch Kapitel 7.2).

- *Relevanz*: Das Thema soll in den meisten Bundesländern unterrichtet werden und dementsprechend in Schulbüchern für die entsprechenden Jahrgangsstufen behandelt sein.
- *Schüleralter*: Für die Datenerhebung durch Lautes Denken und retrospektives Interview ist es vorteilhaft, wenn die Lerner über eine gewisse Ausdrucksfähigkeit verfügen und ihre Lernfortschritte selbst reflektieren können. Deshalb wurde ein Thema ausgewählt, dass von Schülern der gymnasialen Oberstufe behandelt werden kann.
- *Nutzung vorhandener Untersuchungsergebnisse*: Als Thema wurde der Kohlenstoffkreislauf gewählt, weil damit einerseits die beiden vorgenannten Kriterien erfüllt sind und andererseits zu diesem Thema wissenschaftliche Untersuchungen zu empirisch erfassten Schülervorstellungen und den Vorstellungen von Wissenschaftlern, die fachlich geklärt sind, vorliegen.

Das Thema Kohlenstoffkreislauf erfüllt also alle oben genannten Bedingungen. Es wird in nahezu allen Bundesländern in der gymnasialen Oberstufe behandelt. Entsprechende Schulbuchinhalte sind demzufolge Teil der Biologiebücher für die Sekundarstufe II, wenden sich also an Schüler der Jahrgangsstufen 11–13 (G 9) beziehungsweise 10 – 12 (G 8). Wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse zu diesem Thema liegen vor (Niebert 2010; Hildebrandt 2006). Die Auswahl der Ausschnitte aus den einzelnen Schulbüchern folgt den Kriterien der Auswahlgültigkeit (siehe Kapitel 8.2) und wird in Kapitel 9.1.1 für jeden untersuchten Schulbuchausschnitt einzeln begründet.

### 8.1.2.2 Auswahl der Probanden

Passend zur Zielgruppe der untersuchten Schulbücher wurden als Probanden Schülerinnen und Schüler im Alter von 17-18 Jahren ausgewählt, die die Jahrgangsstufe 11 oder 12 eines Gymnasiums in Baden-Württemberg besuchen und Biologiekurse belegt haben. Nach einem Kontakt mit der Schulleitung eines Gymnasium und der Erteilung der Genehmigung der Untersuchung wurden Biologielehrkräfte, die in Kursen der Oberstufe unterrichten, gebeten, in ihren Kursen zu fragen, welche Lerner bereit wären, in Form eines ca. einstündigen Gesprächs/Interviews an einer Untersuchung mitzuwirken, die das Ziel hat, die Verständlichkeit von Schulbüchern zu verbessern. Zum thematischen Inhalt (Kohlenstoffkreislauf) erhielten die Probanden keine Vorinformation. Die unterrichtenden Lehrkräfte wurden um eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Lernenden im Fach Biologie und auch ihrer Kommunikationsbereitschaft gebeten. Ausgewählt wurden Probanden mit mindestens mittleren schulischen Leistungen im Fach Biologie und mit hoher Kommunikationsbereitschaft. Obwohl geschlechtsspezifische Unterschiede nicht erwartet werden, wurde darauf geachtet, dass sowohl Jungen als auch Mädchen zu den Probanden gehören. Die Probanden bzw. deren Erziehungsberechtigte unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

### **8.1.2.3 Erhebung von Daten zu Lernervorstellungen**

Die Datenerhebung erfolgte in Sitzungen mit einzelnen Lernenden außerhalb der Unterrichtszeit. Aus praktischen Erwägungen fanden die Treffen nach dem Unterricht im Schulgebäude in einem separaten Raum statt, der von der Schule zur Verfügung gestellt wurde. Lehrer oder andere Schüler waren nicht anwesend. Die Sitzung begann mit einer persönlichen Vorstellung des Interviewenden als externer Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Biologiedidaktik von Harald Gropengießer, Leibniz Universität Hannover. Dann wurde das Untersuchungsziel genannt: Ermittlung der Verständlichkeit von Schulbuchinhalten und Gewinnen von Erkenntnissen, die zur Entwicklung verständlicherer Schulbücher beitragen können. Anschließend wurde die geplante Vorgehensweise erläutert: Äußern der Gedanken beim Bearbeiten einer Schulbuchseite ggf. mit entsprechender Vorübung (siehe unten) und anschließendes Gespräch. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass es in dieser Situation nicht um das Zeigen von Leistung geht, dass Inhalte der Sitzung nicht an Dritte (z.B. Lehrer oder Mitschüler) weitergegeben werden und die Aufzeichnungen später durch Namensänderung anonymisiert werden. Dieses Vorgehen hat sich in einer Reihe von Untersuchungen bewährt (z.B. Riemer 2005, Groß 2007). Dann wurden die Aufzeichnungsgeräte eingeschaltet und getestet. Zum Einsatz kamen eine Tonaufzeichnungsanlage (Laptop Typ Acer extensa 5235, Programm Audacity, Mikrofon Typ elecom) und eine digitale Videokamera (Panasonic HDC-SD 40). Die doppelte Aufzeichnung dient der Datensicherheit. Die Bildaufzeichnung ist hilfreich bei der Interpretation nonverbaler Äußerungen und gibt Hinweise darauf, mit welchem Text- oder Abbildungsbereich sich der Proband gerade beschäftigt. Das dem jeweiligen Schüler zur Verfügung gestellte Material wurde am Ende der Sitzung eingesammelt, sodass gegebenenfalls Notizen, Unterstreichungen, Zeichnungen o.Ä. mit zur Auswertung herangezogen werden können.

#### **8.1.2.3.1 Datenerhebung durch Lautes Denken**

Die Methode Lautes Denken ist geeignet, den Prozess zu untersuchen, der zu mentalen Repräsentationen führt (Konrad 2010). In Form der Introspektion zeigt sie die engste Verbindung zwischen dem Denken und dem verbalen Bericht, aber auch die unmittelbare Retrospektion kann einen nahezu unverfälschten Einblick gewähren (Ericsson & Simon 1993). Bei den Interventionen durch den Interviewer gilt es, einen Mittelweg zu finden zwischen hilfreicher Intervention zur Vervollständigung der Datenbasis und der Vermeidung von Störungen bei der Vorstellungsentwicklung auf Seiten der Probanden (Schreiner 2006).

Zu Beginn der Sitzung wird angeboten, eine Vorübung zum Lauten Denken mithilfe eines kurzen Textes zu einem anderen Themenbereich als Kohlenstoffkreislauf durchzuführen. Dem Probanden wird freigestellt, mit der Vorübung oder gleich mit dem Schulbuchinhalt zu beginnen. In dieser Phase soll eine lockere, zum freien Sprechen anregende Atmosphäre geschaffen werden.

Der Proband erhält den Schulbuchinhalt zum Kohlenstoffkreislauf als farbigen Ausdruck vorgelegt. Das Layout wurde nötigenfalls so abgewandelt, dass alle Inhalte auf einer Seite erscheinen (siehe Kapitel 9.1.1). Der Abstand zwischen Abbildungen und darauf bezogenen Textpassagen wird beibehalten. Der Proband wird aufgefordert, das vorgelegte Material durcharbeiten und möglichst alle ihm dabei durch den Kopf gehenden Gedanken zu ä-

ßern. Ihm wird freigestellt, den Text laut oder leise zu lesen. Vorversuche haben gezeigt, dass sich manche Schüler durch lautes Lesen irritiert und in ihrem Denken behindert fühlen. Der Proband kann einen Stift für Unterstreichungen, Markierungen, Bemerkungen oder dergleichen verwenden. Bei längeren Sprechpausen erfolgen möglichst sparsam Interventionen (vgl. Schreiner 2006), wie z. B.: „Bitte sagen Sie, was Sie gerade denken.“ Äußert sich der Proband zur Abbildung oder zu einzelnen Textpassagen nicht, so wird er gebeten, die Abbildung zu beschreiben beziehungsweise den Text mit eigenen Worten wiederzugeben. Fallen dem Interviewenden Zögern oder widersprüchliche Aussagen der Probanden auf, bringt er sprachliche Impulse als Interventionen ein, die die Probanden zu weiteren Aussagen anregen. Inhaltliche Fragen, die der Proband dem Interviewer stellt, werden nicht beantwortet, können aber Anlass für Interventionen durch den Interviewenden sein, wie: „Wie könnte das denn Ihrer Meinung nach sein?“ oder „Was glauben Sie, was das bedeutet?“. Die Schulbuchtexte und Abbildungen enthalten eine Reihe von Fachtermini. Erweisen sich diese als hinderlich bei der Entwicklung von Vorstellungen (z.B. durch Nicht-Kennen und daraus resultierender Verunsicherung), so können die Interventionen nach einer Phase reinen Fragens und Aufforderns zu Aussagen auch Hilfen enthalten. Dadurch soll den Probanden ermöglicht werden, diese Verständnishürde zu überwinden und die Entwicklung von Vorstellungen fortzusetzen.

#### **8.1.2.3.2 Datenerhebung durch unmittelbare Retrospektion**

Das sich direkt an die Phase des Lauten Denkens anschließende retrospektive Interview dient zwei Forschungszielen: Zum einen können dadurch die in der Phase des Lauten Denkens erhobenen Daten zu den Kognitionsprozessen während der Auseinandersetzung mit den Schulbuchinhalten vervollständigt und ergänzt werden (s.o.). Damit wird nachinstruktional das Lernergebnis ermittelt beziehungsweise die Ermittlung ergänzt oder abgesichert (Konrad 2010). Zum anderen sollen dann Aussagen gewonnen werden, die erkennen lassen, inwieweit durch die Schulbuchinhalte mentale Aktivitäten möglich sind, die zu Veränderungen der Vorstellungen der Lerner zum Kohlenstoffkreislauf geführt haben, also was sie dazugelernt haben (Ermittlung des Lernfortschritts). Dieses Vorgehen stellt eine prozessbasierte Analyse von Lehr-Lernsituationen dar (von Aufschnaiter 2003).

Wie oben beschrieben können Interventionen in der Phase des Lauten Denkens dazu führen, dass Probandenäußerungen nicht Verbalisierungen von Gedanken sind, sondern an den Interviewer gerichtete Äußerungen. Deshalb sollen Äußerungen der Probanden und gegebenenfalls Markierungen auf dem dargebotenen Material in der unmittelbaren Retrospektion für Nachfragen genutzt werden, um dadurch die Daten zu vervollständigen. In der Interviewsituation muss der Befragende also abwägen zwischen dem Verzicht auf direkte Introspektion in der Phase des Lauten Denkens zur Minderung der Gefahr der Störung durch Intervention und dem Risiko, dass eine spätere Rekonstruktion der Lernervorstellungen nicht vollständig gelingt (vgl. Bernardini 2001, Schreiner 2006).

Im Rahmen der anschließenden retrospektiven Befragung werden die Probanden gebeten, ihre Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf, die ihnen vor der Befragung verfügbar waren, zu beschreiben und im zweiten Schritt auch – nach ihrer Einschätzung – die Veränderungen dieser Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt. Wenn die

Probanden Probleme haben, darüber Auskunft zu geben, werden situativ abgestimmt konkretere Fragen gestellt, z.B.: „Sie haben bei der unterrichtlichen Behandlung der Fotosynthese über die Fixierung von Kohlenstoffdioxid gesprochen. Was haben Sie sich zum Verbleib dieses Kohlenstoffs vorgestellt?“ oder „Welche Quellen für das atmosphärische Kohlenstoffdioxid hätten Sie vor dieser Sitzung genannt?“.

Im Zeitraum der Datenerhebung wird ein dynamischer Interviewleitfaden mitgeführt, der die Erfahrungen aus den bereits durchgeführten Interviews berücksichtigt. Ziel der Verwendung dieses Instruments ist es, in der konkreten Interviewsituation ein Inventar von Interventionen zur Verfügung zu haben, die sich bewährt haben, weil sie den Befragten ermöglichen, über ihre Vorstellungsentwicklung Auskunft zu geben, ohne dass durch diese Intervention der Prozess zu stark gestört wird.

#### **8.1.2.4 Datenauswertung: Lernervorstellungen und Schulbuchinhalte**

Für die Auswertung der Daten wird eine Vorgehensweise gewählt, die sich an der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring orientiert (Mayring 2003; Gropengießer 2005). Mithilfe der im Lauten Denken und im retrospektiven Interview aufgezeichneten Äußerungen der Lernenden werden in einem mehrschrittigen Verfahren Vorstellungen und deren Veränderung durch das Lernangebot ermittelt. Dabei sind die unter 8.1.1 genannten Fragestellungen leitend für die inhaltliche Auswertung.

Die Aufbereitung der Daten und deren Auswertung erfolgen in mehreren Schritten (Abbildung 8.1.2.4.1). Die Vorgehensweise entspricht im Wesentlichen dem in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung etablierten Verfahren (Gropengießer 2005). Die Bild- und Tonaufzeichnungen werden entsprechend den von Gropengießer zusammengestellten Regeln *transkribiert* (Gropengießer 2001, 144 ff).

Im Rahmen der Wortprotokollierung wird der Dialekt bereinigt, ohne jedoch Sprachstil oder Satzbau zu verändern. Der Name des Probanden wird zum Schutz der Persönlichkeitsrechte durch einen fiktiven Namen ersetzt. Das Wortprotokoll wird durch *Kommentare* zu Pausen oder nonverbalen Äußerungen ergänzt. Im folgenden Schritt, dem *Redigieren*, werden im Sinne der Fragestellung Bedeutung tragende Aussagen ausgewählt, sprachlich leicht geglättet und in eigenständige Aussagen transformiert, d.h. so formuliert, dass sie unabhängig von der Gesamtkommunikation verständlich sind. Zur Qualitätssicherung wird diese redigierte Fassung mit dem Originaldokument abgeglichen. Das folgende *Ordnen* der Aussagen orientiert sich einerseits an inhaltlichen Bezügen und Zusammenhängen und andererseits an den Fragestellungen der Untersuchung (siehe Kapitel 8.1.1). Die auf diese Weise zusammengestellten Aussagen der Lernenden werden auf Widersprüche und Vorkommen bedeutungsgleicher Passagen geprüft. In der sich anschließenden *Explikation* werden in den geordneten Aussagen Begriffe und Konzepte bezogen auf den Referenzgegenstand (Kohlenstoffkreislauf) identifiziert. In der abschließenden *Strukturierung* werden die erhobenen Konzepte so geordnet und zusammengestellt, dass Denkstrukturen und Denkfiguren erkennbar werden.

<b>Technik</b>	<b>Einzel Schritte des Vorgehens</b>	<b>Ergebnis</b>
Aufbereitung	Wortprotokollierung	Transkripte relevanter Äußerungen der Interviewpartner
	Kommentierung	
	Auswählen Bedeutung tragender Aussagen	
	Auslassen von Redundanzen und Füllsätzen	Redigierte Aussagen
	Transformieren in eigenständige Aussagen des Interviewpartners	
Auswertung	Thematisches Ordnen der redigierten Aussagen	Geordnete Aussagen
	Kohärenzprüfung und Identifizieren von Widersprüchen	
	Bündeln bedeutungsgleicher Aussagen	
	Sequenzierung	
	Charakteristika des Verständnisses erschließen	Explikation
	Sprachliche Aspekte auslegen	
	Quellen der Vorstellungen scheiden	
	Brüche und bestehende Probleme identifizieren	
	Konzepte herauspräparieren und formulieren	
Strukturierung	Verallgemeinerung der Einzelstrukturierung durch Kategorienbildung	Denkfiguren mit Konzepten zur Identifizierung und Klassifizierung von Vorstellungen
	Zusammenstellen der Kategorien von Vorstellungen zu Denkstrukturen	

Abb. 8.1.2.4.1: Vorgehensweise bei der Qualitativen Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung (verändert nach Gropengießer 2005, 176)

Diese Vorgehensweise beachtet einerseits die Trennung von referenziellem, gedanklichem und sprachlichem Bereich (Abbildung 8.1.2.4.2) und erlaubt andererseits, Lernervorstellungen mit auf gleicher theoretischer Grundlage erhobenen Wissenschaftlervorstellungen und den in den Schulbuchinhalten identifizierten zu vergleichen.

Die erfassten Konzepte zum Kohlenstoffkreislauf werden auch in Bezug auf die Verwendung von Metaphern analysiert (siehe Kapitel 4). „Die systematische Metaphernanalyse kann als Auswertungsmethode nur Teil eines gegenstandsangemessenen Forschungsprozederes sein“ (Schmitt 2003, 2). Metaphern werden identifiziert und geordnet. Dabei werden diejenigen Metaphern zusammengestellt, die dem gleichen Ursprungsbereich entstammen und den gleichen Zielbereich beschreiben, also zu einem metaphorischen Konzept gehören (Schmitt 2003). Dieses wiederum wird unter dem Blickwinkel des Forschungsvorhabens betrachtet, also dem Erkennen von Vorstellungsentwicklungen bei den Lernenden zum Kohlenstoffkreislauf mit Blick auf die Auseinandersetzung mit den Schulbuchinhalten. Die Ergebnisse der Datenauswertung werden geordnet nach Konzepten.

referentieller Bereich <b>Referent</b>	gedanklicher Bereich <b>Vorstellung</b> (engl.: conception)	sprachlicher Bereich <b>Zeichen</b>
Wirklichkeitsbereich	Theorie (engl.: theory)	Aussagengefüge
Wirklichkeitsaspekt	Denkfigur (engl.: principle)	Darlegung Grundsatz
Sachverhalt	Konzept (engl.: notion)	Behauptung Satz Aussage
Ding, Objekt		Terminus
Ergebnis	Begriff (engl.: concept)	(Fach-)Wort
aber auch: Vorstellung und		Ausdruck
Zeichen		„Bezeichnung“
Individuum		„Benennung“ (Eigen-)Name

Abb. 8.1.2.4.2: Komplexitätsebenen von Vorstellungen und korrespondierende Termini im sprachlichen und referentiellen Bereich (aus Gropengießer 1997, 74)

## 8.2 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

In der Planungsphase zur Durchführung der Untersuchungsaufgaben wurden Maßnahmen bedacht und eingefügt, die geeignet sind, die Qualität der Untersuchungsergebnisse einzuschätzen und zu sichern. Diese lassen sich gliedern in Auswahlgültigkeit, Verfahrensgültigkeit und korrelative Gültigkeit (Gropengießer 2001, 132).

### Auswahlgültigkeit

Die zum Interview gebetenen Lernenden sind Schülerinnen und Schüler des Jahrgangs 12, die an einem zweistündigen oder vierstündigen Biologiekurs am Gymnasium teilnehmen (vgl. Kapitel 8.1.2.2). Damit entsprechen sie der für die verwendeten Schulbuchinhalte vorgesehenen Zielgruppe. Sie haben vor dem Untersuchungszeitraum nicht an einem Ökologiekurs teilgenommen und verfügen somit nicht über unterrichtliches Wissen zum Thema Kohlenstoffkreislauf auf dem Niveau der gymnasialen Oberstufe. Bezüglich der schulischen Leistungen wurden solche Lerner ausgewählt, die nach Auskunft der unterrichtenden Lehrkräfte über ein gutes sprachliches Ausdrucksvermögen verfügen.

Bei der Auswahl der Schulbücher, deren Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf auf ihre Lernwirkung und Verständlichkeit hin untersucht werden sollten, war das Ziel leitend, im deutschsprachigen Raum derzeit gebräuchliche Schulbücher in ihrer inhaltlichen und didaktischen Breite zu berücksichtigen (vgl. auch Kapitel 7.2.2). Untersucht wurden Gesamtbände für die gymnasiale Oberstufe und ein Themenheft Ökologie (konzipiert für ein Halbjahr der Kursstufe). Die Erscheinungsjahre variieren von 1986 bis 2012. Es wurden Werke unterschiedlicher deutscher Schulbuchverlage berücksichtigt (Ernst Klett Verlag und Schroedel Verlag). Alle berücksichtigten Werke enthalten im Kapitel Ökologie einen Abschnitt, dessen Überschrift

den Terminus Kohlenstoffkreislauf enthält. In einigen Werken (Natura 2005, Biologie heute SII, Ökologie Schroedel) ist der Abschnitt zum Kohlenstoffkreislauf in das Thema Stoffkreisläufe eingebettet. In diesen Fällen wurde der den Probanden präsentierte Ausschnitt so gewählt, dass der Bezug zu teilweise vorhandenen Einleitungen gewährleistet ist, das Material aber eine überschaubare Länge (1 Seite) nicht überschreitet (siehe Kapitel 7.2.2)

## **Verfahrensgültigkeit**

Zur Sicherung der Verfahrensgültigkeit dienen Maßnahmen, die sich an allgemeinen Gütekriterien qualitativer sozialwissenschaftlicher Forschung orientieren (Mayring 2003) und sich in vergleichbaren Forschungsvorhaben bewährt haben (Gropengießer 2001):

1. *Verfahrensdokumentation*: Alle relevanten Umstände und angewendeten Verfahren bei der Erhebung, der Aufbereitung der Aufzeichnungen und die Schritte der Auswertung werden nachvollziehbar und detailliert dokumentiert.
2. *Schrittweises kontrolliertes Vorgehen*: Die Aufbereitung der erhobenen Lerneräußerungen erfolgt in methodisch begründeten Stufen (Mayring 2003) unter Berücksichtigung der Fragestellung. Originalaufzeichnungen und Transkripte werden gesichert und erlauben so das Nachvollziehen der Bearbeitungsschritte.
3. *Argumentative Interpretationsabsicherung*: Interpretationen werden argumentativ abgesichert, sowohl in der Explikation als auch in der Zusammenfassung.
4. *Mitwirkung der Probanden*: Eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Untersuchung ist die Bereitschaft der Lerner, ihre Vorstellungen zum Untersuchungsgegenstand in der Erhebungssituation zu äußern. Zur Erreichung einer vertrauensvollen Atmosphäre sollen verschiedene Maßnahmen beitragen. Neben freundlicher Ansprache und dem Hinweis, dass sie mit ihrer Teilnahme an der Untersuchung einen möglichen Beitrag zur Verbesserung der Verständlichkeit von Schulbüchern leisten, wird den Lernenden versichert, dass ihre Äußerungen für die Veröffentlichung anonymisiert werden und weder Lehrern noch Mitschülern zugänglich gemacht werden.
5. *Interne methodologische Triangulation*: In der Erhebungsphase wird Wert darauf gelegt, dass die Probanden verschiedene Zugänge zum Thema der Untersuchung finden können. Dies geschieht einerseits mithilfe des vorgelegten Materials, da alle untersuchten Schulbuchinhalte sowohl textliche als auch bildliche Elemente enthalten. Auch Interventionen in Form sprachlicher Impulse können der Validierung durch Triangulation dienen (Beispiel: Wie würden Sie das einem Mitschüler erklären?). Zu verschiedenen Zeitpunkten oder mithilfe verschiedener Methoden erhobene, gleichsinnige Aussagen verweisen darauf, dass Probanden keine ad-hoc-Erklärungen (z.B. infolge von Erklärungsnotständen) formulieren. Vielmehr wird in der sozialwissenschaftlichen Forschung angenommen, dass gleichsinnige Aussagen in mehr oder weniger stabilen kognitiven Strukturen oder Prozessen gründen.

## **Korrelative Gültigkeit**

Trotz der Berücksichtigung aller Aspekte zur Auswahl- und Verfahrensgültigkeit kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dass es sich bei den Ergebnissen um extreme Sonderfälle handelt. Deshalb werden sie verglichen mit Ergebnissen anderer Untersuchungen (Niebert 2010) und den Ergebnissen aus der Untersuchung der Schulbuchinhalte und den Ergebnissen der fachlichen Klärung.



## **9 Lernervorstellungen im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Schulbuchinhalten**

Im Folgenden werden anhand der Aussagen von Schülern während der Bearbeitung von Schulbuchinhalten deren Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf rekonstruiert. Dazu werden die Transkripte der Interviews fachdidaktisch und methodisch dem Forschungsrahmen angemessen (vgl. Kapitel 8) einer Dokumentenanalyse unterzogen.

### **9.1 Vorstellungen der einzelnen Lerner und deren Veränderung**

Die Bearbeitung der Transkripte erfolgt für jeden Probanden einzeln. Die Ergebnisse werden anschließend zusammenfassend betrachtet. Die Teilschritte der Analyse der Lernaussagen sind an der Abfolge der Fragestellungen (Kapitel 8.1.1) orientiert. Es wird also zuerst untersucht, welche Vorstellungen von Lernenden mithilfe ihrer Aussagen zum Schulbuchinhalt rekonstruiert werden können. Mit dem Ziel der Übersichtlichkeit werden Aussagen zusammengefasst. Dabei wird mit dem Ziel der Qualitätssicherung beachtet, dass die in den Blick genommenen Aussagen repräsentativ sind für alle übrigen Passagen des Transkripts zum gleichen Aspekt. Die redigierten Aussagen der Lernenden werden thematisch geordnet wiedergegeben. Die Vorstellungen der Lernenden werden auf der Ebene von Konzepten erfasst. Explikation und Strukturierung folgen dieser Ordnung.

Daran schließt sich die Untersuchung der Vorstellungsentwicklung durch die Bearbeitung der Schulbuchinhalte an. Dazu gehören Vorstellungen, Erweiterungen und Veränderungen vorher verfügbarer Vorstellungen und das Erkennen des Nichtzutreffens bisheriger Vorstellungen. Grundlage sind die Transkripte des retrospektiven Interviews, aber auch Passagen aus der Phase des Lauten Denkens, soweit sie für diese Untersuchungsaufgabe relevant sind.

#### **9.1.1 Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 1**

##### **9.1.1.1 Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt**

Der Schülerin Nadine wurde ein Auszug aus Werk 1 vorgelegt (siehe Abbildung 7.2.2.1). Die Auswertung der Aussagen der Schülerin ergibt, dass sie zu folgenden Vorstellungen gelangt.

##### **Kohlenstoff kann den Speichern Vegetation, Meeresoberfläche und Atmosphäre zugeordnet werden**

Hier steht, dass es in unserem ganzen großen Ökosystem drei verschiedene Kohlenstoffspeicher gibt: die Atmosphäre, die Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  speichert; die Vegetation, die durch Pflanzen, Photosynthese, auch  $\text{CO}_2$  speichert beziehungsweise dieses  $\text{CO}_2$  benutzt und die obere Schicht der Weltmeere speichert auch diesen Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$ . (Nadine, 80–86)

Nadine wird gebeten, zu sagen, wie sie das auf der Schulbuchseite Stehende einem Mitschüler erklären würde. Daraufhin äußert die Nadine unter anderem:

Kohlenstoff ist ein sehr wichtiger Stoff, der in verschiedenen Stoffspeichern vorkommt. Das sind die Vegetation, die Wasseroberfläche und die Atmosphäre. (Nadine, 224–228)

Die Schicht des Weltmeeres. Man weiß ja auch, dass dieses Wasser selbst eine Kapazität hat, CO<sub>2</sub> zu binden und dadurch auch Kohlenstoff bindet. (Nadine, 241–242)

Beide Äußerungen lassen erkennen, dass sie das im Schulbuch dargestellte Konzept *Kohlenstoff in Speichern* übernimmt. Die folgenden Aussagen zeigen, dass sie dieses Konzept auch verwendet.

### **Zwischen den Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffflüsse statt**

Der letzte Satz besagt, dass auf der Landoberfläche hauptsächlich durch Fotosynthese diese CO<sub>2</sub>-Bindung oder dieser Austausch stattfindet und sonst gibt es auch eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch die Dissimilations-Prozesse. (Nadine, 97–100)

Die Atmosphäre steht in Verbindung einmal mit dem Meer (zeigt auf Abbildung links), das als Kohlenstoffspeicher fungiert, und mit dem Land, wo uns Vegetation und organische Abfälle Kohlenstoff freigeben. (Nadine, 115–118)

Die erste Aussage zu Kohlenstoffflüssen ist sehr eng an den Schulbuchtext angelehnt. Die Schülerin nimmt hier keine gedankliche Verknüpfung mit Dissimilationsprozessen vor, sondern zitiert den Text, wie folgende Aussage zeigt: „Ehrlich gesagt, kann ich mir nicht viel darunter vorstellen. Dissimilation kennt man aus dem gesellschaftlichen Bereich, wenn man dissimiliert wird.“(Nadine, 184) Dass sie dennoch eine Vorstellung zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung gedanklich verfügbar machen kann, zeigt die zweite Aussage zum Freigeben von Kohlenstoff durch Speicher. Es bleibt hier offen, ob sie damit die Aufnahme des Kohlenstoffs in einen anderen Speicher verbindet. Die folgende Aussage zum Kreislauf zeigt jedoch, dass sie sich Kohlenstoffflüsse als Übergänge zwischen den Speichern vorstellt.

### **Flussraten stehen im Gleichgewicht**

Es ist sehr wichtig, dass das immer im Gleichgewicht ist und dass das durch verschiedene Prozesse in diesem Gleichgewicht gehalten wird. (Nadine, 230–231)

Diese sehr allgemein gehaltene Aussage lässt keine eindeutigen Schlüsse über zu Grunde liegende Vorstellungen zu. Die Betonung der Wichtigkeit weist auf eine positive verkörperte Vorstellung von Gleichgewicht im Sinne von „das Gleichgewicht halten-nicht umfallen (vgl. Niebert 2010, 19) Bezieht man jedoch die folgenden Aussagen zur Denkfigur ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ mit ein, so kann diese Aussage im Sinne der Denkfigur ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ gedeutet werden (vgl. Niebert 2010, 50).

### **Rodungen und Verbrennung fossiler Brennstoffe stören das Gleichgewicht**

Durch Rodungen ist dieses Gleichgewicht von Atmosphäre und an Land gestört, dieser Austausch kann nicht mehr so gut stattfinden, weil es nicht mehr genug Fotosynthese gibt. (Nadine, 128–132)

Man sieht hier (zeigt in der Abbildung auf den gestrichelten Pfeil von Atmosphäre zu Meer) diese Bindung zu dieser Oberschicht des Meeres und der Atmosphäre. Man sieht auch, dass durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen CO<sub>2</sub> frei wird, weil ja CO<sub>2</sub> beziehungsweise Kohlenstoff ja in diesen Fossilen [gemeint sind fossile Brennstoffe] enthalten ist, weil das vorher Lebewesen waren und durch diese Verbrennung gelangt es ja direkt in die Atmosphäre. Es gelangt nicht in die Erde oder in das Meer, sondern direkt in die Atmosphäre, weil das Gase sind, die ausgestoßen werden. (Nadine, 122–128)

Nadine schließt aus den in der Grafik eingezeichneten Pfeilen (mit Zahlenwerten für die Flussraten) auf geänderte Kohlenstoffflüsse durch Rodungen und Verbrennung fossiler Brennstoffe. Im Falle der Rodung begründet sie die Störung des Gleichgewichts nicht mit einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Freisetzung, sondern mit verminderter CO<sub>2</sub>-Bindung durch Photosynthese (Rodung bedeutet weniger Pflanzen). Die Äußerungen zur Verbrennung fossiler Brennstoffe zeigen, dass sie auf einen zusätzlichen Kohlenstofffluss in die Atmosphäre schließt, den zusätzlichen Fluss von Atmosphäre zum Meer jedoch nicht als Folge davon erkennt. Für die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ gibt es hier keinen Hinweis.

### **Kohlenstoff kann verschiedene Wege nehmen im Kohlenstoffkreislauf**

Eine Pflanze atmet das in der Atmosphäre steckende CO<sub>2</sub> ein. Es kann in den eigenen Zellen abgelagert werden. Dann kann ein Tier kommen, sich von dieser Pflanze ernähren und dadurch dass die Pflanze diesen Kohlenstoff gespeichert hat, nimmt es das selbst auf und bei den Wirbeltieren wird es im Skelett abgelegt. Wenn wir Sauerstoff einatmen, atmen wir dieses CO<sub>2</sub> dann wieder aus. Da geben wir wieder diesen Kohlenstoff ab. Eigentlich ist es so, dass wir, die Pflanzen und die Atmosphäre einen eigenen, kleinen Kreislauf innerhalb des großen Kreislaufs darstellen. (Nadine, 271–286)

Es kann sein, dass jetzt ein größeres Tier kommt und das kleinere frisst und dann hat der das und der lagert das in seinen Knochen ab und wird wieder Opfer von irgendwas, stirbt ab, organischer Abfall, und wird dann irgendwo unten als Fossil abgelagert (zeigt in der Abbildung auf fossile Brennstoffe). Der Kohlenstoff hat auch andere Auswege, wenn das zum Beispiel ein Tier ist, das sich von Pflanzen ernährt und auch im Wasser lebt, kann es ja natürlich sein, dass es dann irgendwie auch ins Wasser gelangt und ins Meer. (Nadine, 308–316)

Die Äußerungen der Schülerin zeigen, dass sie sich unterschiedliche Wege eines Kohlenstoffatoms vorstellen kann, sowohl innerhalb eines Kohlenstoffspeichers als auch bezüglich des möglichen Übergangs zu einem anderen Kohlenstoffspeicher. Dabei spricht sie auch von Kreisläufen (s.u.), stellt sich jedoch eher ein Geben und Nehmen zwischen Behältern vor, das Weitergeben von Bekommenem und Weitergeben an unterschiedliche Speicher einschließt. Daraus wird deutlich, dass sie hier unterschiedliche Wege des Kohlenstoffs denkt, wenn auch als Teil eines globalen, alle Speicher einschließenden Kreislaufs.

### **Die Kohlenstoffflüsse ergeben einen Kreislauf**

Das zeigt dann eine Art Kreislauf. Die Atmosphäre gibt Kohlenstoff an das Land, an das Meer ab, kriegt aber auch im Gegensatz dazu was zurück vom Land oder von dem Meer. (Nadine, 167–169)

Hier wird der Kohlenstoffkreislauf beschrieben als aus Gleichgewichten bestehend zwischen den Speichern Atmosphäre und Land einerseits und Atmosphäre und Meer andererseits. Diese Aussage zu Kohlenstoffflüssen zwischen den Speichern stellt Nadine in den Zusammenhang Kreislauf, wobei der zweite Teil jedoch zeigt, dass sie sich ausgewogene wechselseitige Übergänge zwischen den Speichern vorstellt. Dies deutet darauf hin, dass ihrer Vorstellung nicht das Kreislauf-Schema zu Grunde liegt, sondern das Behälter-Schema und das Geber-Nehmer-Schema (Stoffaustausch zwischen jeweils zwei Behältern). Die Formulierung „eine Art Kreislauf“ legt nahe, dass dies nicht der eigentlichen Vorstellung der Schülerin von Kreislauf entspricht. Der reziproke Austausch von Stoffen zwischen zwei Behältern ist nicht kongruent mit der Vorstellung von Kreislauf im Sinne von „im Kreis laufen“. Das entspräche dem Start-Weg-Ziel-Schema mit Ziel = Start. Dies zeigen auch die folgenden Äußerungen.

## **Der Austausch zwischen zwei Speichern ist ein kleiner Kreislauf**

Hier die Vegetation. Pflanzen nehmen  $\text{CO}_2$  auf aufgrund der Atmung [„Pflanzen atmen  $\text{CO}_2$  ein“]. Wenn sich ein Tier von einer Pflanze ernährt, nimmt der grundsätzlich dieses  $\text{CO}_2$  auf und, lagert das teilweise ab, atmet das aber auch aus und dann haben wir hier einen eigenen, kleinen Kreislauf (zeichnet in die Abbildung gegenläufige Pfeile zwischen Land und Atmosphäre ein). (Nadine, 293–296)

\* Hier zeigt sich die Vorstellung „ $\text{CO}_2$  wird weitergegeben“. An anderer Stelle äußert die Schülerin aber „Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  oder „diesen Kohlenstoff“.

### **9.1.1.2 Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews**

Hier werden Aussagen ausgewertet, die sich auf die Veränderungen von Vorstellungen oder während der Auseinandersetzung mit den Schulbuchinhalten neu gewonnene beziehen (Fragestellung (2), siehe Kapitel 8.1.1). Sie sind mit Konzepten überschrieben, die aus den Aussagen abgeleitet sind.

#### **Der Kohlenstoff auf der Erde kann Speichern zugeordnet werden**

Ich hätte den Kohlenstoffkreislauf nicht erklärt mit diesen drei Speichern, obwohl ich die gekannt habe. (Nadine, 396–397)

Das Wort Speicher erhält als „Kohlenstoffspeicher“ eine Bedeutung im Zusammenhang Kohlenstoffkreislauf, der für die Verteilung des Kohlenstoffs auf der Erde das Behälterschema aktiviert. Der Schülerin war bekannt, dass sich Kohlenstoff als Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre befindet, als Kohlenstoffverbindungen in Landlebewesen, im Meer und in fossilen Brennstoffen.

#### **Die Speicherinhalte und die Flussraten lassen sich quantitativ erfassen**

Das Grundprinzip kannte ich, nicht jedoch das mit den Gigatonnen, die Beträge. (Nadine, 381–382)

Nadine gibt mithilfe dieser Aussage zu erkennen, dass ihr vor der Beschäftigung mit dem Schulbuchinhalt einzelne Prozesse des Kohlenstoffkreislaufs bereits aus dem Unterricht bekannt waren, wie die  $\text{CO}_2$ -Bindung durch Fotosynthese, die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung durch den abbauenden Stoffwechsel und die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe. Neu sind für sie quantitative Angaben zu den Speicherinhalten und Umsetzungen im globalen Maßstab. Die durch den Text und die Abbildung angebotenen Vorstellungen stehen für sie teilweise im Widerspruch zu früher im Unterricht erworbenen Vorstellungen.

Man sagt auch, dass diese Speicher ungefähr die gleiche Kapazität von 700 Gigatonnen Kohlenstoff haben. Was mich sehr verwundert hat, dass diese großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen gar keine Rolle spielen, weil wenn man Fossile verbrennt, kommt da  $\text{CO}_2$  heraus, dann wird viel  $\text{CO}_2$  ausgestoßen. (Nadine, 86–90)

Ansonsten gab es da eigentlich nichts Neues, außer mit diesem Sedimentgestein, dass das nicht so eine große Rolle als  $\text{CO}_2$ -Quelle spielt. Wir hatten das ziemlich intensiv damals behandelt. Das natürlich vom Verbrennen von diesen Rohstoffen, dass es natürlich ganz schlecht für unseren  $\text{CO}_2$ -Haushalt ist. (Nadine, 384–387)

Diese Äußerungen lassen in diesem Zusammenhang zweierlei erkennen. Zum einen hat sie den natürlichen Kalkkreislauf als globales Phänomen im Chemieunterricht kennengelernt und erhält im Text die Information, dass „die weitaus größeren Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen der Erdkruste als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle spielen“. Die Formulierung „spielen keine Rolle“ führt nicht zu der Vorstellung von einer im Verhältnis zu den übrigen sehr kleinen Flussrate.

Zum anderen assoziiert sie mit Fossil sowohl die als fossile Ablagerungen von Kalk als Sedimentgestein als auch fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas). Dadurch steht für sie ihre Vorstellung von der sehr wohl relevanten CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe im Widerspruch zur Textaussage. Das zeigt auch die folgende Aussage aus dem retrospektiven Interview:

Für mich war der Kohlenstoffkreislauf Folgendes: Im Kalkgebirge regnet das Wasser herunter, Kohlenstoff wird gelöst, landet dann im Wasser, so hatten wir den Kohlenstoffkreislauf gelernt. Ich wäre nicht eingegangen auf Vegetation, Atmosphäre, oberste Wasserschicht. Ich hätte den alten Kreislauf, so wie wir das damals vereinfacht, ganz schematisch, gelernt hatten, erklärt. (Nadine, 399–404)

Um die Schülerin zu Äußerungen zum Verhältnis der Kreisläufe anzuregen, wurde sie in einer Intervention danach gefragt.

Nein, es gibt nicht zwei Kreisläufe. Den, den ich damals gelernt habe, das ist, denke ich, nur ein Teil von diesem Kohlenstoffkreislauf. Das hatte mehr mit Wasser zu tun. Dadurch kann man sich das besser vorstellen, auch wenn man jünger ist, dass da der Stoff gelöst wird aus dem Kalk. Man kann sich das einfach besser vorstellen als wenn man sagt, da atmet eine Pflanze und gibt das ab und dann kommen die Tiere. (Nadine, 405-411)

Nadine bestätigt durch diese Aussagen die oben genannte Interpretation.

Wenngleich der Terminus Flussrate in Text und Abbildung nicht genannt wird, interpretiert Nadine die Zahlenangaben in der Abbildung in Übereinstimmung mit der fachlich geklärten Sichtweise, sowohl bezüglich der Konstanz der Speicherinhalte durch gleiche Zu- und Abflüsse als auch in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Atmosphäre als Folge von Rodungen.

Dieser Wert [gemeint sind die natürlichen Zu- und Abflüsse der Speicher] ist eigentlich immer gleich, nur sieht man halt hier beim Land, dass diese eine Gigatonne von der Rodung halt ein bisschen dieses Gleichgewicht stört. Dadurch dass die Vegetation reduziert wird, fehlt dann Kapazität. Es wird nicht wieder gleich viel aufgenommen, aber auch nicht wieder sehr viel abgegeben. Und deshalb ist diese Rodung negativ. (Nadine, 171–175)

Die Schülerin erhält durch die Zahlenangaben zu Rodung und Verbrennen fossiler Brennstoffe in der Abbildung eine Bestätigung ihrer Vorstellung von einer CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Atmosphäre.

### **Der Kalkkreislauf ist ein Teil des Kohlenstoffkreislaufs**

Die beiden oben zitierten Aussagen der Schülerin (Nadine, 399 ff und 405 ff) lassen erkennen, dass sie den früher im Unterricht kennengelernten Kalkkreislauf mit dem durch den Schulbuchinhalt an sie herangetragenen Kohlenstoffkreislauf verbindet, indem sie den Kalk-

kreislauf als Teil des Kohlenstoffkreislaufs bezeichnet. Dies entspricht den fachwissenschaftlichen Vorstellungen. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass aus dieser Zuordnung auf das Verstehen der fachlichen Hintergründe geschlossen werden kann. Die Schülerin folgt damit nicht der sie irritierenden Textaussage, dass Sedimentgesteine für den Kohlenstoffkreislauf keine Rolle spielen (Nadine, 87). Möglicherweise beruht dies aber auf der falschen Vorstellung, dass Sedimentgesteine („Fossile“) gleichzusetzen sind mit fossilen Brennstoffen, bei deren Verbrennung CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt.

Was mich sehr verwundert hat, dass diese großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen gar keine Rolle spielen, weil wenn man Fossile verbrennt, kommt da CO<sub>2</sub> heraus, dann wird viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen. (Nadine, 87–90)

### **Die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Menge in der Atmosphäre ist negativ**

Nadine verfügt aus früherem Unterricht über eine wertende Vorstellung zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Menge in der Atmosphäre.

Wir hatten das ziemlich intensiv damals behandelt vom Verbrennen dieser Rohstoffe, dass es ganz schlecht für unseren CO<sub>2</sub>-Haushalt ist. (Nadine, 385–386)

Das Wort Haushalt weist in diesem Zusammenhang auf das Variabel-Sein dieser Größe hin. Es wird in entsprechender Weise in unterschiedlichen biologischen Zusammenhängen gebraucht (z.B. der Salzhalt in unserem Körper). Wie in diesem Beispiel durch Ernährung und Exkretion ist mit dem Wort eine Vorstellung von Zu- und Abfluss verbunden, die im Gleichgewicht (Homöostase) stehen. Diese Vorstellung wird auch in einer Aussage Nadines in der Phase der Auseinandersetzung mit dem Material deutlich.

Dieser Wert ist eigentlich immer gleich, nur sieht man hier beim Land, dass diese eine Gigatonne von der Rodung halt ein bisschen dieses Gleichgewicht stört und deshalb ist das negativ. Durch die Reduktion der Vegetation fehlt uns dann Kapazität. Es wird nicht wieder gleich viel aufgenommen wie abgegeben. Und deshalb ist diese Rodung negativ. (Nadine, 171–175)

Beide Äußerungen zeigen deutlich, dass die Schülerin eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre negativ bewertet. In diesem Sinne interpretiert sie die durch die Abbildung bereitgestellte quantitative Angabe zur Wirkung von Rodungen als Ursache eines Ungleichgewichts. Hier wird eine vorhandene Vorstellung durch die an sie herangetragenen Daten gefestigt.

#### **9.1.1.3 Zusammenfassung**

Nadine hält sich bei ihren Aussagen sehr eng an das vorgegebene Material, wobei sie teilweise darin vorkommende Termini verwendet, von deren Bedeutung sie keine Vorstellung hat (z.B. Dissimilation). Sie gelangt zu einer Vorstellung von Kohlenstoffspeichern, zwischen denen Kohlenstoffflüsse stattfinden. Dabei kann sie teilweise Vorstellungen aus früherem Unterricht adäquat integrieren (z.B. das Konzept ‚Durch Fotosynthese binden Pflanzen Kohlenstoff/CO<sub>2</sub>‘. In manchen Fällen gelingt das jedoch nicht. So unterscheidet sie nicht zwischen dem früher im Unterricht behandelten Kalkkreislauf und dem hier dargestellten Kohlenstoffkreislauf, bei dem biogene Kohlenstoffflüsse im Vordergrund stehen. Sie unterschei-

det nicht konsequent zwischen Sedimentgesteinen (im Wesentlichen Kalk) und fossilen Brennstoffen (im Wesentlichen organische Kohlenstoffverbindungen biogenen Ursprungs). Auf der Ebene des vorindustriellen Gleichgewichts entwickelt sie zu gegenläufigen Kohlenstoffflüssen zwischen Vegetation und Atmosphäre Vorstellungen, die den fachlich geklärten und im Schulbuchtext sehr knapp dargestellten entsprechen. Sie verwendet den Terminus Kreislauf, die Entwicklung einer entsprechenden Vorstellung zum Kreislauf-Schema (Start – Weg – Ziel mit Ziel = Start) ist jedoch nicht erkennbar, auch wenn sie äußert, dass der Speicher Atmosphäre mit den beiden Speichern Land und Meer durch Gleichgewichte von Kohlenstoffübergängen in Verbindung steht. Bezüglich der Denkfigur ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ lässt sie Vorstellungen zu den Ursachen Rodung von Wäldern und Verbrennung fossiler Brennstoffe erkennen. Dies mündet aber nicht in eine Vorstellung von einem reagierenden Kohlenstoffkreislauf, wie er in der Abbildung am Pfeil mit der Legende ‚Bindung‘ zu erkennen ist. Dieser Pfeil steht für den zusätzlichen Kohlenstofffluss von der Atmosphäre zum Speicher Meer infolge der anthropogen erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre.

Konzepte im Lernangebot in Werk 1	Verfügbare Konzepte von Nadine
<i>Am Beginn eines Stoffflusses steht die Umwandlung anorganischer Verbindungen in körpereigene Substanz durch autotrophe Lebewesen.</i>	–
<i>Kohlenstoffdioxid wird bei der Fotosynthese von grünen Pflanzen eingebaut.</i>	+
<i>Durch die Zersetzung organischen Abfalls entstehen anorganische Verbindungen, die wieder von Produzenten als Ausgangsstoff genutzt werden können.</i>	–
<i>Der Kohlenstoff in der Biosphäre kann den drei Speichern Atmosphäre, Vegetation des Festlandes und obere Schicht des Meeres zugeordnet werden.</i>	+
<i>Die Übergänge zwischen Stationen können quantitativ durch Flussraten beschrieben werden.</i>	+
<i>Der globale Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Kohlenstoffflüssen</i>	+
<i>Die größten Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.</i>	–
<i>Die Speicher Landoberfläche und Meeresoberfläche stehen mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch.</i>	+
<i>CO<sub>2</sub>-Bindung durch Fotosynthese und CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Dissimilation sind ausgeglichen (stehen im Gleichgewicht).</i>	+
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	+
<i>Die Tiefsee enthält große Mengen Kohlenstoff.</i>	–
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bindet das Meer zusätzlich Kohlenstoff.</i>	–

9.1.1.3.1 Aus den Aussagen der Probanden rekonstruierte Konzepte (+ übereinstimmend zum Schulbuchinhalt, (+) teilweise übereinstimmend zum Schulbuch, – nicht erkennbar)

Das retrospektive Interview zeigt, dass die Schülerin ihr bekannte Konzepte wie „Pflanzen binden Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre bei der Fotosynthese“ oder „Verbrennung organischer Stoffe setzt Kohlenstoffdioxid frei“ in den größeren Zusammenhang „Zwischen Kohlenstoffspeichern wird Kohlenstoff ausgetauscht“ integrieren kann. Insofern hat der Schulbuchinhalt Nadines Vorstellungen in angestrebter Weise erweitern können. Ihr nicht bekannte Termini wie „autotroph“ und Dissimilation“ und interferierende fachliche Inhalte (Kalkkreislauf – Kohlenstoffkreislauf) haben sich als lernhinderlich erwiesen (vgl. 10.2.1.4).

## 9.1.2 Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 2

### 9.1.2.1 Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt

Der Schülerin Vanessa wurde ein Auszug aus Werk 2 zum Thema Kohlenstoffkreislauf vorgelegt (vgl. Abbildung 7.2.2.2). Vanessa liest den Text sehr schnell. Sie ist nach ihren Aussagen durch einige Passagen irritiert. Dadurch springt sie anfänglich zwischen verschiedenen Textstellen. Sie liest zuerst den ganzen Text. Ihr widersprüchlich erscheinende Aussagen zwischen dem zweiten und dritten Absatz veranlassen sie, sich mit der Abbildung auseinanderzusetzen. Im Folgenden wird dargestellt, welche Vorstellungen nach daraus rekonstruierbaren Konzepten geordnet.

#### **Kohlenstoff kommt in verschiedenen Verbindungen vor**

(Die Schülerin zitiert aus dem Text) „Sie [Kohlenstoffverbindungen] erfüllen bei allen Organismen die Doppelfunktion als Gerüststoff und Energieträger.“ Ich wusste, dass die reaktionsfähig sind, aber ob ich das als Energieträger bezeichnet hätte, weiß ich nicht. (Vanessa, 58–61)

Aus dem Kohlenstoff wird in den Pflanzen oder durch die Biomasse dann  $\text{CO}_2$  gebildet und das  $\text{CO}_2$  gelangt dann wieder in die Atmosphäre. (Vanessa, 118–120)

Dann ist der Kohlenstoff im Ozean, also hier bei den 38.500 Gigatonnen oder wird wieder umgewandelt durch diese chemischen Prozesse und gelangt dann wieder in die Luft. (Vanessa, 286–290)

Das heißt, die Produzenten wandeln dann dieses  $\text{CO}_2$  um in irgendwelche anderen Kohlenstoffverbindungen. (Vanessa, 398–399)

Vanessa unterscheidet zwischen Kohlenstoff, Kohlenstoffdioxid und anderen Kohlenstoffverbindungen. Ihre Aussagen diesbezüglich sind nicht immer widerspruchsfrei, wie das folgende Beispiel zeigt, in dem sie offenbar die Textpassage „ein Teil des in der Atmosphäre vorhandenen Kohlenstoffs“ irritiert.

Die Pflanzen oder die Konsumenten und Destruenten machen aus dem Kohlenstoff in der Atmosphäre das  $\text{CO}_2$ , also das Kohlenstoffdioxid. (Liest den Text nochmals durch). Ja. In der Atmosphäre ist Kohlenstoff und der gelangt durch die Biomasse oder direkt in die Pflanzen und die machen daraus dann Kohlenstoffdioxid. Und das Kohlenstoffdioxid wird dann entweder noch mal chemisch umgesetzt oder gelangt wieder in die Atmosphäre und da wird es dann wieder gespalten. (Vanessa, 122–130)

Die oben zitierten Äußerungen lassen jedoch den Schluss zu, dass Vanessa über Vorstellungen zum Element Kohlenstoff, zu Kohlenstoffdioxid und zu organischen Kohlenstoffverbindungen verfügt. Sie kann das Konzept *Verschiedene Kohlenstoffverbindungen* sachangemessen verwenden bei der Bildung von Verständnis zum Konzept *Flüsse zwischen Speichern* (s.u.).

#### **Es gibt gebundenen und freigesetzten Kohlenstoff**

Das  $\text{CO}_2$  kommt von der Atmosphäre in die Biomasse, es wird fixiert, und wird dann durch die Destruenten und Konsumenten wieder freigegeben. (Vanessa, 80–82)

Ich denke, Atmosphäre ist einfach das, was in der Luft ist, was nicht gebunden ist an Lebewesen. (Vanessa, 264–265)

Hier steht, dass der Kohlenstoff auch gebunden werden kann, also nicht immer gleich umgesetzt werden muss. (Vanessa, 455–456)



Das heißt, dass wir eigentlich jetzt diese [in fossilen Brennstoffen] gespeicherten oder fixierten Kohlenstoffatome freisetzen. (Vanessa, 488–490)

Diese Aussagen zeigen, dass Vanessa zwischen freiem und gebundenem Kohlenstoff bzw. Kohlenstoffdioxid (dies unterscheidet sie nicht immer in ihren Äußerungen) unterscheidet. Frei bedeutet für sie in der Atmosphäre sein (d.h. nicht in einem Behälter, s.u.). Im Gegensatz dazu ist für sie gebundener Kohlenstoff an Lebewesen oder frühere Lebewesen (fossile Brennstoffe) gebunden. Das Metaphernpaar frei – gebunden verwendet sie zur Beschreibung der Eigenschaft des Kohlenstoffs und für die Übergänge zwischen den Zuständen: freisetzen bzw. fixieren, binden. Hier kommen verkörperte Vorstellungen von frei bzw. gebunden sein zum Ausdruck, wie beweglich sein bzw. einen Ort nicht verlassen können. Kohlenstoff im Kohlendioxid wird also als frei verstanden, obwohl der Kohlenstoff an Sauerstoff chemisch gebunden ist.

### **Kohlenstoff kann Speichern zugeordnet werden**

Die Vorstellung, dass der Kohlenstoff bestimmten Speichern zugeordnet werden kann, wird weder durch den Text noch durch die Abbildung explizit an die Schülerin herangetragen. In der Abbildung sind Erdreich/Humus/Torf, fossile Brennstoffe und Ozeane und (gestalterisch abweichend) Atmosphäre als farbige Rechtecke dargestellt, die Zahlenwerte mit der Einheit Gigatonnen enthalten. Diese Werte Masse Kohlenstoff in den Speichern an (nicht explizit durch die Bildlegende oder den Text als solche bezeichnet). Da der Text Umwandlungen auf organischer Ebene in den Vordergrund stellt, ist verständlich, dass sich nur wenige Äußerungen der Schülerin auf die Speicher beziehen.

Wie ich den Text verstanden habe, gelangt das CO<sub>2</sub> von der Atmosphäre in die Biomasse ... und von da aus dann wieder in die Atmosphäre. Oder halt direkt von der Atmosphäre da rein. (Vanessa, 89–91)

[Vanessa beschreibt Teile der Abbildung] ... dieser Kasten mit dem Humus. (Vanessa, 101)

Bei jedem größeren Bereich sind diese Kästen, in denen steht, wie viel Tonnen Kohlenstoff da gerade sind, also so viele Tonnen Kohlenstoff jetzt im Moment in den Ozeanen, in der Atmosphäre, bei den fossilen Brennstoffen und im Erdreich sind. (Vanessa, 163–171)

Dann ist der Kohlenstoff im Ozean, also hier bei den 38.500 Gigatonnen oder wird wieder umgewandelt durch diese chemischen Prozesse und gelangt dann wieder in die Luft. (Vanessa, 286–290)

Die wenigen Aussagen zeigen jedoch teilweise direkt („im Ozean bei den 38 500 Gigatonnen) oder indirekt durch die Bezeichnung der Übergänge („gelangt von der Atmosphäre in die Biomasse“), dass Vanessa sich im Prinzip Behälter vorstellt, die Kohlenstoff enthalten. Dies zeigen auch die oben zitierten Transkript-Passagen zum Konzept *Gebundener und freigesetzter Kohlenstoff*. Mit Ausnahme des Kohlenstoffspeichers Atmosphäre treten die Vorstellungen von *gebunden* und *Behälter* zusammen auf. In der Atmosphäre ist der Kohlenstoff nach Vanessas Vorstellung *frei*. Insofern assoziiert Vanessa Atmosphäre nicht mit Behälter. Das Behälterschema beinhaltet auch, dass man in Behälter etwas hineintun bzw. aus ihnen herausnehmen kann. In den oben wiedergegebenen Transkript-Zitaten ist teilweise auch das folgende Konzept *Flüsse zwischen Speichern* erkennbar.

## **Zwischen den Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffflüsse statt**

Das CO<sub>2</sub> kommt von der Atmosphäre in die Biomasse, es wird fixiert, und wird dann durch die Destruenten und Konsumenten freigegeben. (Vanessa, 80–82)

Von der Atmosphäre gelangt Kohlenstoff in die Lebewesen, die hauptsächlich mit Kohlenstoff arbeiten und es reagiert dadurch, dass Kohlenstoff in der Atmosphäre ist, also CO<sub>2</sub>, und von da aus entweder direkt in die Pflanzen geht, also direkt von den Pflanzen herausgefiltert wird, oder über diese Biomasse. (Vanessa, 111–114)

In der Abbildung ist links ein Wald und dort sind eben die Konsumenten, also die Pflanzen, Bäume, die eben Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid umwandeln, und zwar 55 Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr und man sieht oben die Atmosphäre und wie eben dann Pfeile durch den Wald gehen und von den Konsumenten und Destruenten und rechts in einen Ozean, hinein, die dann die chemischen Prozesse anzeigen und eben wie dann der ganze Kohlenstoff wieder als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre kommt. (Vanessa, 139–151)

Dann ist der Kohlenstoff im Ozean, also hier bei den 38.500 Gigatonnen oder wird wieder umgewandelt durch diese chemischen Prozesse und gelangt dann wieder in die Luft. (Vanessa, 286–290)

Vanessa beschreibt mehrfach Vorgänge, die zum Übertritt von Kohlenstoff von einem Speicher in einen anderen führen, z.B. von Lebewesen in die Atmosphäre oder vom Ozean in die Atmosphäre. Die Pfeile in der Abbildung deutet sie als Darstellungen solcher Kohlenstoffübergänge. Da weder Text noch Abbildung die Termini Kohlenstoffspeicher bzw. Kohlenstoffflüsse an die Schülerin herantragen, umschreibt sie die Vorgänge. Hier wird erkennbar, dass Vanessa das Behälterschema mit dem Start-Weg-Ziel-Schema kombiniert. Kohlenstoff gelangt von einem Behälter (Start) in einen anderen (Ziel). Diese Kombination ergibt das Speicher-Fluss-Schema.

## **Kohlenstoff fließt im Kohlenstoffkreislauf**

Wie ich den Text verstanden habe, gelangt das CO<sub>2</sub> von der Atmosphäre in die Biomasse und durch die Biomasse dann in die Konsumenten und Destruenten und von da aus dann wieder in die Atmosphäre. (Vanessa, 89–91)

Kreislauf sehe ich hier. Hier (sie macht mit dem Finger kreisförmige Bewegungen im linken und dann im rechten Teil der Grafik entlang der dort eingezeichneten Pfeile) geht es wieder hinein und hier geht es auch wieder hinein. Nichts geht's nach außen. Es geht immer im Kreis (sie macht eine kreisförmige Bewegung mit mehreren Umläufen). (Vanessa, 196–205)

Im letzten Absatz steht, dass der Kohlenstoff gebunden werden kann, also nicht immer gleich umgesetzt werden muss. Weil der aber trotzdem später wieder umgesetzt wird und wenn jedes Kohlenstoffteilchen mit einer Nummer versehen würde, dass dann eben in drei, vier Jahren alles einmal aus der Atmosphäre verbraucht wurde und dann wieder in der Atmosphäre gelandet ist. (Vanessa, 455–459)

So ein Kreislauf ist ja immer ein in sich geschlossenes System. (Vanessa, 494)

Vanessas Äußerungen und Handbewegungen lassen erkennen, dass sie das Kreislaufschema anwendet, also die Vorstellung von Start – Weg – Ziel mit Ziel = Start und sich dies immer wieder erneut stattfindend vorstellt.

## **Terrestrischer und mariner Teilkreislauf ergeben einen Kohlenstoffkreislauf**

Die im Transkript Zeile 201 ff beschriebenen Zeigebewegungen machen deutlich, dass Vanessa – entsprechend den Pfeildarstellungen in der Abbildung – sich zwei getrennte

Kreisläufe vorstellt. Nach einer Intervention (siehe unten) beschreibt die Schülerin eine Verbindung der beiden Teilkreisläufe, die die Vorstellung von einem Kohlenstoffkreislauf erkennen lässt.

Ich denke schon, dass ein Kohlenstoffatom von der linken Seite der Abbildung zur rechten kommen kann. Ich weiß jetzt nicht, wie genau sie hier Atmosphäre definieren. Aber ich denke, Atmosphäre ist einfach das, was in der Luft, was nicht gebunden ist an Lebewesen und dann, gerade wenn die Pflanzen  $\text{CO}_2$  umgewandelt haben, dass dann eben nebendran ein Ozean ist. Also es kann auch so laufen (macht auf der Grafik eine ovale Zeigebewegung, unten nach rechts, oben nach links). (Vanessa, 261–268)

Vanessa zeigt einen großen Kreislauf, allerdings durch die Erde als Verbindung terrestrisch/marin. Da es in ihren übrigen Aussagen keinen Hinweis auf die Vorstellung von einem globalen Kreislauf gibt, der Land und Meer einschließt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Intervention dafür Ursache ist. Andererseits zeigen ihre Äußerungen zur Atmosphäre, dass sie diese als Verbindung zwischen den beiden Teilkreisläufen betrachtet.

### **Flussraten stehen im Gleichgewicht**

Weder der Text noch die Abbildung tragen die Aussage dieses Konzepts explizit an die Lernenden heran. In der Abbildung sind Flussraten angegeben, auch wenn sie nicht als solche bezeichnet werden. Im terrestrischen Bereich ist die Flussrate zur Atmosphäre in zwei Komponenten geteilt, im marinen Bereich weichen die Werte voneinander ab und sind auch unter Berücksichtigung der Flussrate zur Sedimentierung (in der Abbildung nicht als solche benannt) nicht ausgeglichen. Folgende Aussage lässt erkennen, dass sich Vanessa den gesamten Kohlenstoffkreislauf als sich im Gleichgewicht befindend vorstellt (natürliches Gleichgewicht).

So ein Kreislauf ist ja immer so ein in sich geschlossenes System. Und wenn jetzt das Gleichgewicht oder wenn jetzt ein Teil in diesem Kreislauf eben sich stark verändert, was ja in dem Fall jetzt die Atmosphäre ist, dann funktioniert der Kreislauf ja nicht mehr, weil der jetzt zum Beispiel in dem Fall hier, ja mehr Kohlenstoff produziert als entsorgt wird. (Vanessa, 494–497)

Der letzte Satz kann so verstanden werden, dass sich Vanessa vorstellt, dass im Gleichgewicht ‚Produzieren‘ und ‚Entsorgen‘, also Kohlenstoffzufluss und -abfluss ohne Einfluss des Menschen gleich groß sind. Da Vanessa möglicherweise nicht an einzelne Flussraten denkt, die im Gleichgewicht stehen, kann man ihre Vorstellungen vielleicht besser in folgendes Konzept fassen:

### **Der natürliche Kohlenstoffkreislauf befindet sich im Gleichgewicht**

#### **Durch Verbrennung fossiler Brennstoffe und Entwaldung verschiebt sich das Gleichgewicht**

Man sieht in der Abbildung, dass der ganze Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  wieder in die Atmosphäre kommt. Zum Beispiel durch Entwaldung. Es sieht hier aus, als würde Wald verbrennen. Durch das Feuer entsteht  $\text{CO}_2$ . Das Gleiche passiert bei dem Verbrauch fossiler Brennstoffe, die werden auch verbrannt. (Vanessa, 148–155)

Hier (zeigt auf die Grafik) sieht man, dass in Zukunft, mehr Kohlenstoff in der Atmosphäre sein wird. Man sieht das hier zum Beispiel an der plus 3. Bei dem Verbrauch fossiler Brennstoffe erkennt man in der Abbildung ein Auto. Wir wissen alle: mehr Autos, mehr CO<sub>2</sub>, Treibhauseffekt. (Vanessa, 173–180)

Durch Entwaldung wird das CO<sub>2</sub> in den Pflanzen oder in dem Wald dann freigesetzt. (Vanessa, 505–506)

Das Gleichgewicht verschiebt sich irgendwie Richtung Atmosphäre. (Vanessa, 492)

Wenn sich ein Teil in diesem Kreislauf stark verändert, was in dem Fall die Atmosphäre ist, dann funktioniert der Kreislauf nicht mehr, weil zum Beispiel in dem Fall hier nicht mehr Kohlenstoff produziert als entsorgt wird. (Vanessa, 495–497)

Nur die Abbildung bietet Vorstellungen zu diesem Konzept an. Vanessa interpretiert die schematische Darstellung von Waldbrand, Auto und Fabrik, die zugeordneten Pfeile mit Angaben zur Flussursache und Flussrate (nicht als solche bezeichnet) und die Angabe im Bereich Atmosphäre (jährlicher Zuwachs: +3) als Freisetzen von Kohlenstoffdioxid durch den Menschen, das einen Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration zur Folge hat. Hier werden im Zusammenhang mit dem Kohlenstoffkreislauf die Denkfiguren ‚Vorindustrielles Gleichgewicht‘ und ‚Anthropogenes Ungleichgewicht‘ erkennbar. Die Erwähnung des Treibhauseffekts im Zusammenhang mit der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzung zeigt, dass sie die an sie herangetragenen Vorstellungen mit vorhandenen verbinden kann.

### **9.1.2.2 Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews**

Neben den Äußerungen im retrospektiven Interview erklärt Vanessa auch spontan in der Phase des Lauten Denkens, dass das Material ihr bisher Unbekanntes an sie heranträgt.

#### **Kohlenstoffverbindungen fungieren auch als Energieträger**

(Die Schülerin zitiert aus dem Text) „Sie [Kohlenstoffverbindungen] erfüllen bei allen Organismen die Doppelfunktion als Gerüststoff und Energieträger.“ Ich wusste, dass die reaktionsfähig sind, aber ob ich das als Energieträger bezeichnet hätte, weiß ich nicht. (Vanessa, 58–61)

Vanessa kennt nach ihren Aussagen die Vorgänge bei der Fotosynthese und nennt z.B. im Zusammenhang mit dem Verbrennen fossiler Brennstoffe den Antrieb von Autos, empfindet aber dennoch die Vorstellung, Kohlenstoffverbindungen seien Energieträger als neu. Der Text hilft ihr an dieser Stelle, in anderen Zusammenhängen erworbene Vorstellungen in diesen Kontext zu übertragen.

Im retrospektiven Interview zählt Vanessa Aspekte auf, zu denen das Material Vorstellungen an sie herangetragen hat, die zu neuen oder veränderten Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf geführt haben.

#### **Die globalen Reaktionen des Kohlenstoffs ergeben einen Kreislauf**

Ich hätte nicht gedacht, dass das wirklich so ein Kreislauf ist. Klar, wir verbrauchen Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und dann machen es die Pflanzen wieder umgekehrt, aber das war auch alles. Ich hatte nicht so einen Kreis gedacht, so das Eck hier von dem Ding (zeigt auf linken Teil der Abbildung). (Vanessa, 478–482)

Besonders die Abbildung regt hier die Vorstellung von einem (Teil-)Kreislauf an, der aus mehreren Komponenten besteht. Die Form und Anordnung der Pfeile (Rechteck mit deutlich abgerundeten Ecken) in Verbindung mit dem Wort Kreislauf helfen Vanessa, über die Form und das Wort Kreis eine Vorstellung zum Konzept *Terrestrischer Kreislauf* zu erlangen, dass aus ihrer Sicht über eine Vorstellung von Hin- und Rückreaktion hinausgeht.

### **Das Freisetzen gespeicherter Kohlenstoffatome ist Ursache der Klimaerwärmung**

Klimaerwärmung: man fragt sich natürlich, wenn das alles jetzt wieder verbraucht wird, woher, wenn es wirklich ein Kreislauf ist, dann müssen ja eigentlich diese fossilen Brennstoffe (zeigt auf „fossile Brennstoffe“ in der Abbildung), die müssen ja eigentlich weniger werden, damit hier (zeigt auf rechten Teil der Abbildung) dieser Zuwachs passiert. Was ja Sinn macht, weil wir ja irgendwann keine fossilen Brennstoffe mehr haben. Das heißt aber, dass wir eigentlich jetzt, und das war mir vorher nicht klar, diese gespeicherten oder fixierten Kohlenstoffatome freisetzen. (Vanessa, 483–490)

Vanessa kennt den Zusammenhang „mehr Autos, mehr Treibhauseffekt“ (Vanessa, 179). Sie erkennt, dass sie dies durch die Auseinandersetzung mit dem Material zum Kohlenstoffkreislauf in einen größeren Zusammenhang stellen kann.

#### **9.1.2.3 Zusammenfassung**

Vanessa konzentriert sich zuerst auf den Text. Dort erkennt sie Bezüge zwischen den Textaussagen und bei ihr vorhandenen Vorstellungen, wie z.B. dass durch Fotosynthese Kohlenstoff gebunden wird. Nachdem sie in der Abbildung eine Erklärung für einen scheinbaren Widerspruch im Text sucht, orientiert sie sich zunehmend an der Abbildung. Dadurch gelangt sie zu einer Sichtweise vom Kohlenstoffkreislauf als System aus Speichern und Stoffflüssen und erkennt die Bedeutung des Kreislaufschemas in diesem Zusammenhang, gelangt also diesbezüglich zu Vorstellungen, die weitgehend den fachlich geklärten entsprechen. Die Landlebewesen erkennt sie nicht als einen Kohlenstoffspeicher (vgl. Kapitel 10 Verständlichkeit), in den Kohlenstoff durch Bindung von  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre fließt und aus dem Kohlenstoff durch oxidativen Abbau wieder im  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre fließt. Vanessa erkennt, dass durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe zusätzlich Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt und verbindet dies mit vorhandenen Vorstellungen zum Treibhauseffekt. Vorstellungen zur Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ sind nicht erkennbar. Sie werden auch durch das Material nicht an sie herangetragen. Die folgende Tabelle (Abbildung 9.1.2.3.1) gibt einen Überblick, inwieweit Vanessa nach der Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt über die ihr so angebotenen Vorstellungen verfügt.

Konzepte im Lernangebot in Werk 2	Verfügbare Konzepte von Vanessa
<i>Am Beginn eines Stoffflusses steht die Umwandlung anorganischer Verbindungen in körpereigene Substanz durch autotrophe Lebewesen.</i>	(+)
<i>Kohlenstoffdioxid wird bei der Fotosynthese von grünen Pflanzen eingebaut.</i>	+
<i>Durch die Zersetzung organischen Abfalls entstehen anorganische Verbindungen, die wieder von Produzenten als Ausgangsstoff genutzt werden können.</i>	+
<i>Das immer wiederkehrende Binden und Freisetzen der anorganischen Stoffe stellt einen Stoffkreislauf dar.</i>	+
<i>Erdreich/Humus, Lager fossile Brennstoffe, Ozeane und die Atmosphäre sind Kohlenstoffspeicher.</i>	+
<i>Produzenten/Pflanzen auf dem Land und in den Ozeanen binden Kohlenstoffdioxid in Biomasse.</i>	(+)
<i>Es gibt gebundenen und freien Kohlenstoff</i>	+
<i>Konsumenten und Destruenten verwenden den gebundenen Kohlenstoff und setzen ihn als Kohlenstoffdioxid wieder frei</i>	+
<i>Kohlenstoff durchläuft in einem Stofffluss die Stationen Atmosphäre, Produzenten, Konsumenten und/oder Destruenten und wieder Atmosphäre.</i>	(+)
<i>Das immer wiederkehrende Durchlaufen von Stationen durch den Kohlenstoff stellt den Kohlenstoffkreislauf dar.</i>	+
<i>Es gibt einen Land- und einen Meer-Kohlenstoffkreislauf.</i>	+
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	+
<i>Sämtlicher ursprünglich in Biomasse gebundene Kohlenstoff wird schließlich wieder als CO<sub>2</sub> frei.</i>	+
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	+
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bindet das Meer zusätzlich Kohlenstoff.</i>	-
<i>Durch chemische Prozesse entsteht aus einem Teil des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids Kalk.</i>	-
<i>Statistisch wird das gesamte atmosphärische Kohlenstoffdioxid alle drei bis vier Jahre im Austausch mit der Biosphäre umgesetzt.</i>	(+)

Abb. 9.1.2.3.1: Verständnis der Probandin zu den im Material erkennbaren Konzepten (+ erlangt, (+) teilweise erlangt, - nicht erlangt)

### 9.1.3 Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 3

#### 9.1.3.1 Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt

Dem Schüler Fred wird ein Auszug aus dem Werk 3 zum Thema Kohlenstoffkreislauf vorgelegt (vgl. Abbildung 7.2.2.3). Fred liest im ersten Teil der Sitzung den Text absatzweise und betrachtet dann die Abbildung. Er vergleicht die Vorstellungen, die Text und Abbildung an ihn herantragen. Die Auswertung von Freds Aussagen ergibt, dass er zu folgenden Vorstellungen gelangt.

## Kohlenstoff kommt in verschiedenen Verbindungen vor

Pflanzen brauchen, um Fotosynthese zu betreiben, zunächst Kohlenstoffdioxid und das gewinnen sie aus der Luft und benutzen es dann und speichern es ein, indem sie es in Zucker umwandeln bei der Fotosynthese und wenn jetzt zum Beispiel ein Tier eine Pflanze frisst, benutzt es den Zucker und verbrennt ihn in Anführungszeichen in der Zelle und daraus wird Energie gewonnen und dabei entsteht Kohlenstoffdioxid. (Fred 140–144)

Im Kalkgestein ist ja Kohlenstoff drin gespeichert und Kohlenstoffdioxid besteht aus Kohlenstoff [gemeint ist: enthält Kohlenstoff, siehe folgender Satz]. Also wenn dem Sauerstoff der Kohlenstoff fehlt, um Kohlenstoffdioxid zu bilden, ... (Fred, 286–288)

Wenn Kalkgestein an der Oberfläche mit einer Säure in Verbindung kommt, dann wird Kohlenstoffdioxid frei. (Fred 289–290)

Freds Aussagen lassen erkennen, dass er das Element Kohlenstoff mit verschiedenen Stoffen in Verbindung setzt (z.B. Kohlenstoffdioxid, Zucker, Kalkstein).

## Der Kohlenstoff auf der Erde kann Speichern zugeordnet werden

Text und Abbildung tragen dieses Konzept nicht explizit an den Schüler heran. Nur einmal wird im Text das Wort *gespeichert* verwendet: „Durch Brandrodung wird der im Holz der Bäume *gespeicherte* Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt.“ Die Wörter Einlagerung, lagern, Lagerstätten, festlegen, Vorräte weisen auf Deponieren von etwas, aber nicht auf die konsequente Zuordnung von Deponiertem zu Speichern. Insofern verwundert nicht, dass auch Fred in diesem Zusammenhang unterschiedliche Wörter verwendet.

Dürfte nicht theoretisch auch Kohlenstoff eingelagert werden, wenn die Bäume zerfallen und dann nachher, wenn *Schichten* entstehen, auch schon so eine Art Schichten oben? (Fred, 77–78)

Der nächste Absatz gibt auch Sinn, dass der Kohlenstoff weiter *eingelagert* wird und auch wieder frei wird, jetzt zum Beispiel da durch die Verbrennung bei den fossilen Brennstoffen. (Fred, 97–99)

Es wird halt der Kohlenstoffkreislauf erklärt, dass Kohlenstoff vom Meer offenbar *herausgenommen* wird aus dem Kreislauf, *zugegeben* wird durch Verbrennungen von Bäumen, von fossilen Brennstoffen und das Ganze halt ein Kreislauf ist, der ziemlich ausgewogen ist und teilweise die Sachen über Millionen bis Milliarden von Jahren tief *gespeichert* werden können in der Erde und dann halt durch geologische Prozesse wie Erdbeben oder so was und dann immer wieder in die Atmosphäre gelangen können. (Fred, 123–128)

Und dass ein Teil in Seen und Meeren *abgespeichert* wird, haben wir auch rechts auf der Abbildung zu sehen, wo die mittleren und tiefen Wasserschichten größere Mengen an Kohlenstoff *einspeichern* und dann ganz unten die Sedimente, wo absterbende Muscheln und Tierreste wieder neue *Schichten bilden*, da wird auch eine *Masse eingespeichert*, das ist auch zu sehen. (Fred, 170–173)

Die Frage ist, ob deswegen die *Speicherkapazität* abnimmt. (Fred, 201–202)

Ja, wir haben den Kohlenstoffkreislauf im Unterricht behandelt, da hatten wir halt drinnen, dass es bestimmte Sachen gibt, die aus der Atmosphäre den Kohlenstoffdioxid gewinnen, also halt *rausnehmen*. Das ist das Meer, es sind Bäume, wir führen zu durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen, durch die Entwaldung zum Beispiel, *die organische Speicher* sind, das ist das Kalkgestein, die fossilen Brennstoffe, das Meer auch, das nicht hier im Kreis sein dürfte und halt auch gering in Sedimenten. (Fred, 214–219)

Wird es da ja wieder gespeichert und das kann wieder frei werden, indem Wasser durchfließt und ähnliches. (Fred, 282–283)

Fred verwendet die Wörter *Schichten, Speicher, Speicherkapazität, eingelagert, herausgenommen, zugegeben, einspeichern, abgespeichert, rausnehmen* in Verbindung mit Kohlenstoff in Bäumen, Meer, Atmosphäre, fossile Brennstoffe, Kalkgestein und Sedimenten. Darin lässt sich das Behälter-Schema erkennen. Dass er damit auch Speicher verbindet, wird in seiner Äußerung zu Wald als organischem Speicher deutlich (Fred, 217). Freds Äußerungen lassen erkennen, dass er nicht den gesamten Kohlenstoff auf der Erde einer definierten Anzahl von Speichern zuordnet. Für ihn sind Bäume Speicher ebenso wie neue entstehende Schichten kohlenstoffhaltiger Ablagerungen. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann erklären, dass Fred eine verkörperte Vorstellung von Behältern an die textliche und bildliche Darstellung von Kohlenstoffvorräten und -übergängen heranträgt, auch wenn dies durch den Schulbuchinhalt nicht explizit an ihn herangetragen wird.

### **Zwischen Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffübergänge statt.**

Insbesondere die Verben in den oben genannten Transkript-Zitaten zeigen, dass Fred Vorstellungen zur Weitergabe von Kohlenstoff von einem Speicher in andere hat, die er jeweils mit einem konkreten Vorgang verbindet. Kohlenstoffflüsse werden im Text nicht als solche bezeichnet. Der Terminus *Flussrate* in der Bildlegende wird von ihm richtig gedeutet (s.u.), aber so wie er zu keiner einheitlichen Vorstellung von Speichern gelangt, betrachtet er auch die Übergänge nicht einheitlich als Stoffflüsse, sondern verbindet sie mit dem Konzept *Gebundener und freigesetzter Kohlenstoff*. (vgl. Transkript-Zitate vorige Seite und die beiden folgenden zur Flussrate). Also kann auch das folgende Konzept Freds Aussagen rekonstruiert werden:

### **Es gibt gebundenen und freigesetzten Kohlenstoff**

### **Die jährlichen Kohlenstoffflüsse können quantitativ abgeschätzt als Flussraten angegeben werden.**

Die Flussrate ist wie viel von diesem Kohlenstoff beziehungsweise Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre rausgenommen oder abgegeben wird und die Vorräte, das sind jetzt halt die Kalkgesteine im Boden und die Flussrate zum Beispiel, dass die Bäume 120 Milliarden Tonnen durch Fotosynthese aus dem Kreislauf entziehen<sup>5</sup> und die fossilen Brennstoffe jetzt 5,6 Milliarden bei Verbrennungen wieder freigeben. (Fred, 224–228)

Ich habe das Wort deshalb nicht verwendet, weil es nicht unbedingt in meinem normalen Sprachgebrauch ist. Ich habe gedacht, das ist auch so erkenntlich, dass die Posten sich verändern. (Fred, 230–232)

Freds Aussagen lassen nicht eindeutig erkennen, dass er die Dimension Zeit bei den „rausgenommenen oder abgegebenen“ Mengen bzw. genauer Massen mitdenkt im Sinne von „jährlich“, wie es im Schulbuch enthalten ist in der Bildlegende (pro Jahr) und im Text (jährliche Kohlenstoffbilanz).

---

<sup>5</sup> Weitere Ausführungen zu diesem Zitat s.u.



## **Kohlenstoff kann verschiedene Wege nehmen im Kohlenstoffkreislauf**

Durch Lebewesen, die in der Erde leben, könnten die Abfallprodukte, also wenn ein Baum abstirbt, dass das dann wieder eingespeichert wird und dass Kohlenstoff herausgeholt wird aus dem Kreislauf und eingespeichert wird, und so in neue Erdschichten dann der Kohlenstoff eingespeichert wird. Es sind vermutlich Bakterien oder kleinere Lebewesen wie Würmer und ähnliches. (Fred, 154-159)

Ein Teil wird in Seen und Meeren abgespeichert. Das sehen wir auch rechts auf der Abbildung, wo die mittleren und tiefen Wasserschichten größere Mengen an Kohlenstoff einspeichern und dann ganz unten die Sedimente, wo absterbende Muscheln und Tierreste wieder neue Schichten bilden, da wird auch eine Masse eingespeichert, das ist auch zu sehen. Dass dann die ganzen abgestorbenen Pflanzen und Tiere in den tieferen Erdschichten sich später zu fossilen Brennstoffen entwickeln können oder sogar fossile Brennstoffe sind, ist auch gezeigt, bei den fossilen Brennstoffen. Was jetzt fehlt aber, aber was die Abbildung vermutlich zu unübersichtlich machen würde, dass fossile Brennstoffe auch in geringen Mengen entstehen und in größeren Mengen gefördert werden. Aber das wird dann vermutlich zu unübersichtlich. Was jetzt hier nicht mit drin ist auf der Abbildung ist, dass der Kalkstein zum Beispiel oder der Boden wieder Kohlenstoff in den Kreislauf abgeben kann. (Fred, 170–180)

Das hätte ich jetzt einfach so verstanden, dass die teilweise irgendwelche Pflanzenteile oder halt irgendwelche Pflanzenteile, die sich nachher absetzen oder ganz einfach vom Gestein Kohlenstoff sich rauslöst. Wenn zum Beispiel Wasser irgendwo über Kalkgestein drüber, unten durchläuft. (Fred, 250–253)

Fred erkennt sowohl im Text als auch in der Abbildung, dass Kohlenstoff durch biogene oder nicht biogene Prozesse von einem Speicher in einen anderen gelangen kann. Aus der Textpassage „im Boden festgelegt“ und dem Terminus „terrestrische Lebewesen“, den er (entgegen der wissenschaftlichen bzw. intendierten Bedeutung) als im Boden lebende Organismen versteht, schließt er auf einen „Zwischenspeicher“ Erdschichten.

## **Flussraten stehen im Gleichgewicht**

Pflanzen brauchen, um Fotosynthese zu betreiben, zunächst Kohlenstoffdioxid und den gewinnen sie halt aus der Luft und benutzen den dann halt und speichern den dann halt ein, indem sie ihn in Zucker umwandeln bei der Fotosynthese und der Zucker kann, wenn jetzt zum Beispiel ein Tier eine Pflanze frisst, benutzt es, benutzt das Tier den Zucker und verbrennt ihn halt in Anführungszeichen in der Zelle und daraus wird Energie gewonnen und dabei entsteht Kohlenstoffdioxid. Das wird dann wieder frei gegeben, wenn das Tier atmet und halt die (...) Abfallprodukte, die dabei entstehen, also das Kohlenstoffdioxid, wieder abgibt. In der Abbildung wird das Ganze durch die Fotosynthese bei den Bäumen links auf der Abbildung und direkt, und direkt rechts daneben geht's dann halt um die Zersetzung, wo allerdings der Pfeil von den Bäumen weggeht und da wären vielleicht Tiere oder etwas ähnliches sinnvoller. Terrestrische Lebewesen? Lebewesen, die in der Erde leben. Das könnte vielleicht das sein, was ich vorhin angesprochen habe, dass die Abfallprodukte, also wenn ein Baum abstirbt, dass das dann wieder eingespeichert wird und dass halt Kohlenstoff herausgeholt wird aus dem Kreislauf und eingespeichert wird. Und so in neue Erdschichten dann halt der Kohlenstoff eingespeichert wird und es sind dann halt vermutlich Bakterien oder kleinere Lebewesen wie Würmer und ähnliches. (Fred, 140–158)

Fred wurde nach dem Durcharbeiten des Schulbuchinhalts gebeten, sich vorzustellen, dass das Thema Kohlenstoffkreislauf im Unterricht behandelt worden sei und er einen Mitschüler in groben Zügen darüber informieren wolle. Fred sagte daraufhin:

Wir haben den Kohlenstoffkreislauf im Unterricht behandelt. Da hatten wir drin, dass es bestimmte Sachen gibt, die aus der Atmosphäre den Kohlenstoffdioxid gewinnen, also herausnehmen, das ist das Meer, es sind Bäume. Wir führen zu durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen, durch die Entwaldung zum Beispiel, die organische Speicher, das ist das Kalkgestein, die fossilen Brennstoffe, das Meer auch, das nicht hier im Kreis sein dürfte und auch gering in Sedimenten. Und wir haben kurz den

Kohlenstoffkreislauf behandelt und festgestellt, dass es mehr oder weniger im Gleichgewicht ist und haben uns angeschaut, welche Posten wie groß sind und was sich da tut. (Fred, 214–221)

Fred erkennt die Gegenläufigkeit der Kohlenstoffflüsse durch Fotosynthese und Zellatmung. Der Fokus liegt bei ihm – wie auch im Material – auf dem Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre. Freds Vorstellungen zum Gleichgewicht in diesem Zusammenhang beziehen sich nicht auf einzelne Paare von Flussraten (das wäre in der Abbildung bei Fotosynthese/Zellatmung gegeben), sondern auf das Gesamtsystem aus allen Flüssen (siehe auch Transkript-Zitat unten: Fred, 125).

### **Die Kohlenstoffflüsse ergeben einen Kreislauf**

Freds Äußerungen zum Kreislauf lassen darauf schließen, dass seine Vorstellungen dazu uneinheitlich sind.

Das Ganze ist ein Kreislauf, der ziemlich ausgewogen ist. (Fred, 125)

Durch Lebewesen, die in der Erde leben, könnten die Abfallprodukte, also wenn ein Baum abstirbt, dass das dann wieder eingespeichert wird und dass Kohlenstoff herausgeholt wird aus dem Kreislauf und eingespeichert wird, und so in neue Erdschichten dann der Kohlenstoff eingespeichert wird. Es sind vermutlich Bakterien oder kleinere Lebewesen wie Würmer und ähnliches. (Fred, 154–158)

... das Meer auch, das nicht hier im Kreis sein dürfte (Fred, 218)

Die Tatsache, dass der Schüler (auch in hier nicht zitierten Transkript-Passagen) mehrfach das Wort „wieder“ verwendet, lässt darauf schließen, dass er sich nicht nur Hin- und Rückflüsse vorstellt, sondern auch das Kreislaufschema im Blick hat im Sinne eines Start-Weg-Ziel-Schemas mit dem Ziel als neuem Start. Es ist schwierig abzugrenzen, was für ihn zum Kohlenstoffkreislauf gehört und was nicht. Einerseits nennt er „das Ganze“ den Kohlenstoffkreislauf, andererseits stehen für ihn abgestorbene Bäume und das Meer außerhalb des Kreislaufs. Möglicherweise besteht für ihn der Kohlenstoffkreislauf aus der Atmosphäre und den Landlebewesen und den Flüssen zwischen diesen beiden Speichern im Sinne eines ‚kleinen Kohlenstoffkreislaufs‘. Dazu sind am meisten alltagsweltliche und unterrichtlich erworbene Vorstellungen verbreitet, u.a. weil dies bei der Behandlung des Themas Stoffwechsel traditionell eng verbunden unterrichtet wird. Bezogen auf den Schulbuchinhalt kann dazu beitragen, dass es auf eine globale Definition des Kohlenstoffkreislaufs unter Einbeziehung aller Speicher und Stoffflüsse verzichtet (siehe auch Verständlichkeit Kapitel 10).

Die folgende Äußerung zeigt möglicherweise, dass der Schüler bei der Verwendung des Wortes Kreislauf ungenau ist, denn hier wird Kreislauf mit Atmosphäre gleichgesetzt.

Die Flussrate ist wie viel von diesem Kohlenstoff beziehungsweise Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre rausgenommen oder abgegeben wird und die Vorräte das sind jetzt halt die Kalkgesteine im Boden und die Flussrate zum Beispiel, dass die Bäume sich 120 Milliarden Tonnen durch Fotosynthese aus dem Kreislauf entziehen und die fossilen Brennstoffe jetzt 5,6 Milliarden bei Verbrennungen wieder freigeben. (Fred, 224–228)

## **Der Kalkkreislauf ist ein Teil des Kohlenstoffkreislaufs**

Fred erwähnt den Kalkkreislauf, den er nach seiner Aussage im Unterricht im Fach Naturwissenschaft und Technik<sup>6</sup> kennengelernt hat. Auf Nachfrage, ob Kalkkreislauf und Kohlenstoffkreislauf etwas miteinander zu tun haben, antwortet er:

Ja, an sich schon, weil im Kalkgestein Kohlenstoff gespeichert ist und Kohlenstoffdioxid enthält Kohlenstoff. Wenn jetzt zum Beispiel Kalk zum Teil gespeichert ist, könnte natürlich weniger Kohlenstoffdioxid da sein und ein Berührungspunkt wäre jetzt zum Beispiel, wenn Kalkgestein an der Oberfläche mit einer Säure in Verbindung kommt, dann wird Kohlenstoffdioxid frei. (Fred, 286–290)

Es wird erwähnt, dass das im Kalkgestein eingesperrt wird und dass es durch geologische Prozesse frei werden kann, allerdings wirklich mehr erwähnt wurde es nicht, aber zum Beispiel den Kalkkreislauf reinzukriegen wäre zu viel. (Fred, 194–196)

Fred kann beim Thema Kalkkreislauf Gelerntes in Verbindung mit einer Textpassage zur Verwitterung im Schulbuch fachlich angemessen in seine Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf integrieren.

## **Rodungen und Verbrennung fossiler Brennstoffe stören das Gleichgewicht**

Durch das Verbrennen ist klar, dass Bäume fehlen. Was man vielleicht auch dazu sagen sollte ist, dass wenige Bäume wieder hinzukommen und somit zum Beispiel die Speicherkapazität wegfällt und möglicherweise das Ganze im nächsten Jahr noch extremer kippt und der Kohlenstoffhaushalt nicht mehr ausgeglichen sein wird. (Fred, 102–106)

Wir holzen die ganzen Bäume ab und verbrennen die fossilen Brennstoffe, das Meer wird erwärmt. Die Frage ist ob deswegen die Speicherkapazität abnimmt, andererseits schmelzen die Pole, also dürfte sich das vermutlich auch fast irgendwo in der Waagschale halten. (Fred, 200–203)

Durch das ‚noch extremer kippt‘ wird deutlich, dass Fred den anthropogenen Einfluss als Störung des globalen Gleichgewichts erkennt und dass er diese Auswirkungen negativ bewertet. Darin lässt sich also auch das folgende Konzept erkennen:

## **Die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Menge in der Atmosphäre ist schlecht**

Freds Vermutungen zum Ausgleich für ihn gegenläufiger Effekte (Erwärmung der Meere / Abschmelzen der Polkappen) stellen offenbar den Versuch dar, Vorstellungen, die er z.B. aus den Medien kennt, in seine Vorstellungen zu einem globalen Gleichgewicht zu integrieren.

### **9.1.3.2 Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews**

Nach eigenen Angaben hat Fred Themen aus den Bereichen Kalkkreislauf, Nutzung fossiler Brennstoffe und die Folgen für das Klima im Unterrichtsfach Naturwissenschaft und Technik in der Klassenstufe 10 kennengelernt. In diesem Fach stehen fächervernetzende Themen im Vordergrund.

---

<sup>6</sup> Im Fach Naturwissenschaft und Technik werden in Baden-Württemberg in den Klassenstufen 8 - 10 Themenstellungen aus dem Blickwinkel aller Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik, Geowissenschaften) fächervernetzend behandelt.

Das Problem ist, durch NWT [Unterrichtsfach Naturwissenschaft und Technik] hatten wir den Kohlenstoffkreislauf in der 10. Klasse schon. Wir hatten den kompletten Kalkkreislauf behandelt, wir hatten auch das mit fossilen Brennstoffen, dass das Zeug gespeichert wird. Wir hatten, dass es [Kohlenstoffdioxid] im Meer gespeichert wird, wir haben sogar berechnet, das war so ein Versuch, wie groß die Speicherkapazität von Wasser ist. Also wir hatten das Ganze an sich schon etwas ausführlicher. (Fred, 266–274)

Kalkkreislauf war, dass saurer Regen in Verbindung mit ... mir fällt es gerade nicht ein, aber es wird ja gelöst, Kohlensäure ist Teil vom sauren Regen. Es wird aufgelöst und es wird dann halt durch das Wasser weiter nach unten getragen und dann setzt sich das zum Beispiel in Stalagmiten und Stalagiten ab. (Fred, 277–281)

Ich überlege gerade, ob sonst noch was fehlt, weil ich habe irgendwie das Gefühl, dass was beim Kohlenstoffkreislauf fehlt, wie es aussieht, abgesehen von dieser Zersetzung hier, aber mehr ist hier nicht. (Fred, 88–90)

Im NWT-Unterricht wurden Themen behandelt, die im Rahmen des Kohlenstoffkreislaufs mehr oder weniger von Bedeutung sind. Fred kann die überwiegend chemischen und physikalischen Kenntnisse zum Kalkkreislauf und der Löslichkeit von Gasen in Wasser bei der Bearbeitung des Lernangebots aus dem Schulbuch in die dort an ihn herangetragenen Vorstellungen integrieren, ebenso wie seine Kenntnisse zur Fotosynthese, Zellatmung und zur Zersetzung durch Destruenten. Auch zu den Auswirkungen des sich erhöhenden CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre verfügt er über Vorstellungen. Er hat den Eindruck, nicht viel Neues dazugelernt zu haben. Dieser Eindruck wird möglicherweise auch dadurch gestützt, dass der Schulbuchinhalt den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre in den Vordergrund stellt. Sowohl bezüglich des Gesamtsystems aus Kohlenstoffspeichern und -flüssen mit ihren quantitativen Angaben als auch bezüglich der biogenen Flussursachen, die im Material erkennbar sind, erkennt er nicht in vollem Umfang, inwieweit die Auseinandersetzung mit dem Material seine Vorstellungen erweitert hat.

### 9.1.3.3 Zusammenfassung

Durch seine Ausrichtung auf den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt und dessen Bedeutung für das Klima lenkt das Schulbuch die Aufmerksamkeit auf diese Thematik. Die Definition von Kohlenstoffkreislauf lässt diese Fokussierung im Material erkennen: „Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt den Weg des Kohlenstoffs von der fotosynthetischen Bindung in Form von Kohlenstoffdioxid bis zu dessen Freisetzung einschließlich der zwischenzeitlichen Einlagerung im Boden und in Gesteinen.“ Die Formen der „zwischenzeitlichen Einlagerung“ werden zwar knapp beschrieben und zu einem großen Teil in der Abbildung dargestellt, sie werden aber als Zwischenstationen in ihrer Bedeutung herabgesetzt. Aus fachlicher Sicht besteht der Kohlenstoff aus gleichwertigen Kohlenstoffspeichern, die durch die Form der Speicherung, die Größe des Speichers und die Größe der Zu- und Abflüsse charakterisiert sind. Zu dieser Vorstellung gelangt der Schüler bei der Bearbeitung des Materials nicht.

Fred gelangt zu einer Vorstellung des vorindustriellen Gleichgewichts im Kohlenstoffkreislauf und der Auswirkungen menschlichen Handelns auf das Gleichgewicht, ohne den Kohlenstoffkreislauf als Gesamtsystem zu verstehen. Das zeigt sich auch an seinen uneinheitlichen Äußerungen dazu, was zum Kohlenstoffkreislauf gehört („... wird dem Kohlenstoffkreislauf entnommen“).

Konzepte im Lernangebot in Werk 3	Verfügbare Konzepte von Fred
<i>Elemente werden in der Biosphäre ständig neu verteilt</i>	+
<i>Kohlenstoffdioxid wird bei der Fotosynthese von grünen Pflanzen eingebaut.</i>	+
<i>Durch Zellatmung wird der Kohlenstoff im natürlichen Kohlenstoffkreislauf wieder frei.</i>	+
<i>Es gibt gebundenen und freigesetzten Kohlenstoff</i>	+
<i>Die Übergänge zwischen Stationen können quantitativ durch Flussraten beschrieben werden.</i>	+
<i>Das immer wiederkehrende Durchlaufen von Stationen durch den Kohlenstoff stellt den Kohlenstoffkreislauf dar.</i>	+
<i>Der Kohlenstoffkreislauf beschreibt den Weg des Kohlenstoffs von der Bindung bis zur Freisetzung</i>	(+)
<i>Kohlenstoff kann im Kohlenstoffkreislauf unterschiedlich lange an Stationen verweilen.</i>	+
<i>Es gibt einen Land- und einen Meer-Kohlenstoffkreislauf.</i>	+
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	+
<i>Sämtlicher ursprünglich in Biomasse gebundene Kohlenstoff wird schließlich wieder als CO<sub>2</sub> frei.</i>	–
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	+
<i>Der Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre beeinflusst das Klima</i>	+
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre steigt die Flussrate in Richtung der Speicher Ozeane und Landlebewesen.</i>	(+)

Abb. 9.1.3.3.1: Zu den im Material erkennbaren Konzepten vom Probanden Verständnis erlangt (+ erlangt, (+) teilweise erlangt, – nicht erlangt)

## 9.1.4 Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 4

### 9.1.4.1 Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt

Leo liest die ersten beiden Absätze und wendet sich dann ausführlich der Abbildung zu. Danach arbeitet er die beiden folgenden Absätze durch und wechselt dabei mehrfach zur Abbildung und betrachtet dort die zum Text passenden Stellen. Aus den Aussagen des Schülers können folgende Konzepte rekonstruiert werden:

#### Kohlenstoff kommt in verschiedenen Verbindungen vor

Und dann wird dieser Kohlenstoff, wie zum Beispiel jetzt bei der Pflanze dazu verwendet, Fotosynthese zu betreiben. (Leo, 249–250)

... und dadurch werden die C-Atome ...Ja, dann steht ja hier: „Pflanzen und Tiere bauen in ihrem Stoffwechsel Kohlenstoffverbindungen ab und geben einen Teil des Kohlenstoffs wieder als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre frei.“ Das wäre dann dieser Pfeil nach außen (zeigt auf den Pfeil ‚Atmung‘ in der Grafik). (Leo, 259–262)

Leo beschreibt nicht explizit chemische Reaktionen, bei denen Kohlenstoffverbindungen zu anderen werden, er unterscheidet jedoch Kohlenstoff als Element, Kohlenstoffatome und

Kohlenstoffdioxid und zitiert einen Satz aus dem Text in einem Zusammenhang, der erkennen lässt, dass er über Vorstellungen dazu verfügt. Dafür spricht auch, dass er auf die passende Stelle in der Grafik verweist.

### **Kohlenstoff kann Speichern zugeordnet werden**

Also laut dem Text sind die Speicher Speicher für Kohlenstoff, ja Kohlenstoff, Kohlenstoffatome und diese Speicher können eben eine bestimmte Menge aufnehmen. (Leo, 178–180)

Ich stelle mir das so vor, dass eben Kohlenstoff drin gespeichert wird, aber dass das nur zu einer bestimmten Menge geht. (Leo, 188–189)

Ich dachte, der Speicher wäre so was wie eine Vorratskammer für Kohlenstoff. (Leo, 224)

In Leos Aussagen wird deutlich, dass er sich die Kohlenstoffspeicher als Behälter vorstellt, in denen sich der Kohlenstoff befindet. Zum Behälterschema gehört, dass man sich Behälter mit einem definierten Volumen vorstellt. Ein Behälter kann voll sein. Bezüglich der Kohlenstoffspeicher trifft diese Behältereigenschaft nicht zu (mit der einzigen theoretischen, aber unrealistischen Ausnahme, dass Meerwasser die Grenze der Löslichkeit erreicht). Diese Vorstellung wirkt sich bei Leo jedoch nicht als Lernhindernis aus. Aus seinen Äußerungen zum reagierenden Kohlenstoffkreislauf (s.u.) kann man ableiten, dass er diese zusätzlichen Flüsse für möglich hält, in seiner Vorstellung also keiner der Behälter an seiner Kapazitätsgrenze angelangt ist. Als Leo sich mit der ersten Aufgabe auseinandersetzt, wird in seiner Vorstellung eine weitere Eigenschaft von Speicher, also Behälter erkennbar: Speicher sind stationär.

Wenn man das einordnen soll in das System aus Speichern und Stoffflüssen, dann würde ich die Pflanze am Anfang als Speicher wählen, ja, weil die ja unbeweglich ist und (lächelnd) darauf wartet, gefressen zu werden. Dann ist das Pflanzen fressende Tier, das die Pflanze aufnimmt, ein kleiner Zwischenspeicher und das was dann ganz oben in der Nahrungskette steht, das Fleisch fressende Tier ist dann wohl der Endverbraucher. Dass hier die Pflanze am Anfang das speichert, weil die ziemlich unbeweglich ist, damit verbinde ich auch das Wort speichern. (Leo, 288–294)

Tiere sind für ihn also keine ‚richtigen‘ Speicher, da sie beweglich sind. Er bezeichnet Pflanzenfresser als „kleine Zwischenspeicher“ und Fleischfresser als „Endverbraucher“ (was keine Einordnung in das System Speicher enthält). Die Formulierung „kleine Zwischenspeicher“ kann auf die Vorstellung von kleinen Behältern im Behälter Speicher weisen.

Mit dem Behälterschema für Kohlenstoffspeicher verbindet Leo bestimmte Eigenschaften des Behälters:

- endliche Größe (er kann voll sein),
- etwas kann hineingetan bzw. herausgenommen werden (siehe folgendes Konzept),
- er ist stationär („ziemlich unbeweglich“)
- er kann kleinere Behälter („Zwischenspeicher“) enthalten.

Auf Nachfrage (Und dann?) verlängert Leo die Kette von Nahrungsbeziehung. Die von der Aufgabe angezielte Lösung (Das beschriebene Beispiel stellt Kohlenstoffweitergaben innerhalb des Speichers Landelbewesen dar) nennt Leo nicht. Er bleibt auf der Ebene *Jedes Lebewesen ist ein Zwischenspeicher für Kohlenstoff*.

## **Zwischen Kohlenstoffspeichern finden Kohlenstoffflüsse statt**

Innerhalb unserer Erde werden diese gespeicherten Mengen an Kohlenstoff untereinander weitergegeben, zum Beispiel auch dadurch, dass sie zuerst zu den Lebewesen gelangen, diese die ausatmen, sodass Kohlenstoff in andere Speicher gelangt. (Leo, 180–183)

Mit dem Pfeil [vom Speicher Sedimente] zu den Landlebewesen verbinde ich, dass die Landlebewesen ihren Vorrat sozusagen aus diesem Speicher nehmen und diesen dann weiter verwerten und eben in die Atmosphäre weitergeben.<sup>7</sup> (Leo, 212–214)

Leo wurde gebeten, zusammenzufassen, was er dem Material entnommen hat. Dabei äußerte er:

Es gibt Kohlenstoffspeicher, einmal in Form von Sedimenten und die lagern Unmengen an Kohlenstoff und sind auch in der Lage, diesen Kohlenstoff weiterzugeben. (Leo, 352–354)

Die Aussagen lassen erkennen, dass Leo eine verkörperte Vorstellung von den Kohlenstoffflüssen hat: Stofffluss ist Weitergabe. Verbunden mit dem Behälterschema führt das zu: Stofffluss ist Weitergabe aus einem Behälter in einen anderen Behälter. Für den Fluss von Kohlenstoff in einen Speicher verwendet Leo auch das Wort „einspeichern“ (Leo, 320). Darin kommt die Vorstellung von ‚in den Speicher hineintun‘ zum Ausdruck.

Das zweite Transkriptzitat zeigt auch, dass er sich eine Abfolge von Weitergaben von Speicher zu Speicher vorstellt: Sedimente -> Landlebewesen -> Atmosphäre. Auch Leos Aussagen zu Aufgabe 2 (Leo, 313ff siehe unten) lassen diese Vorstellungen erkennen.

## **Große Speicher weisen nicht zwangsläufig große Flussraten auf**

Diese Vorstellung soll folgende Passage im Text des Materials ermöglichen: „Für die Flussrate ist nicht die Größe eines Kohlenstoffspeichers entscheidend, sondern die Geschwindigkeit der Umsetzung in diesem Speicher.“ Erst auf Nachfrage zur Bedeutung des größten Kohlenstoffspeichers Sedimentgesteine äußert sich Leo zu diesem Thema:

Aber das kann ja irgendwie nicht sein, weil bei diesen kleinen Mengen, die der Speicher Sedimente abgibt [gemeint ist die Flussrate 0,2 Gt/Jahr] und diesen großen Mengen [Speichergröße 1000 000 000 Gt], die hier, wo so wenig Mengen als Speicherung möglich sind (zeigt auf den Speicher Landlebewesen mit der Speichergröße 2300 Gt), scheint mir der Speicher eher unwichtig zu sein. Auch wenn er so große Mengen an Kohlenstoff gespeichert hat. (Leo, 226–229)

Zumindest für den Speicher Sedimente gelangt Leo zu der im oben genannten Konzept bezeichneten Vorstellung. Hier ist auch seine Vorstellung von Bedeutung, dass der Speicher Sedimente „so etwas wie eine Vorratskammer“ ist für den Speicher Lebewesen. Der kognitive Konflikt besteht für ihn darin, dass der Speicher Lebewesen mit einer Flussrate von 0,2 Gt/Jahr vom Speicher Sedimente ‚versorgt wird‘<sup>8</sup>, aber selbst eine Flussrate von 119,6 Gt/Jahr aufweist. Er erkennt hier nicht den Bezug zur Flussrate durch Fotosynthese. Seine

---

<sup>7</sup> Dieser Äußerung liegt die missverständliche Darstellung eines Pfeils in der Abbildung zugrunde: Leo geht davon aus, dass der mit Verwitterung bezeichnete Pfeil zum Speicher Landlebewesen führt und nicht – wie intendiert – zum schematisch dargestellten Fluss. Seine Deutung steht jedoch der Interpretation seiner Aussagen bezüglich der Vorstellungen zu Stoffflüssen nicht im Wege.

<sup>8</sup> Vgl. Fußnote Seite vorige Seite

Aussagen zeigen auch, wie schwer es für ihn ist, sich die weitgehende Unabhängigkeit von Speichergröße und Flussrate vorzustellen (vgl. Kapitel 10 Verständlichkeit).

### Flussraten stehen im Gleichgewicht

Wir waren bei dieser Flussrate. Das scheint ja hier zusammenzuhängen, also durch Atmung abgegeben, aber durch Fotosynthese wieder aufgenommen. Das heißt, das ist dieses dynamische Gleichgewicht, das ich in anderem Zusammenhang schon mal gehört habe, ich weiß jetzt aber nicht genau, welcher das war. (Leo, 84–87)

Leo wurde gebeten, zusammenzufassen, was er dem Material entnommen hat. Dabei sagte er:

Es geht um den Kohlenstoffkreislauf und darum, dass eben Kohlenstoff in der Natur, wenn wir jetzt vom natürlichen Zustand ausgehen ohne das Eingreifen des Menschen, dass dann zumindest das Gleichgewicht besteht, dass Kohlenstoff abgegeben wird, aber auch für eigene Prozesse, wie jetzt zum Beispiel bei den Pflanzen die Fotosynthese, wieder aufgenommen wird. (Leo, 349–352)

Der Schulbuchtext enthält eine allgemeine Aussage zum dynamischen Gleichgewicht als Zustand, der durch gleich große Zu- und Abflüsse gekennzeichnet ist. Leo trägt diese Vorstellung an ein passendes Beispiel heran. Dabei mag ihm helfen, dass er schon früher an einem anderen Beispiel, an das er sich konkret nicht erinnert, eine Vorstellung vom dynamischen Gleichgewicht erworben hat. Das zweite Transkriptzitat enthält zwei Vorstellungsebenen zu Gleichgewicht. Im zweiten Teil lässt sich die Vorstellung vom dynamischen Gleichgewicht durch gleiche Zu- und Abflüsse wiedererkennen, während der erste Teil auf die Denkfigur des natürlichen (also nicht anthropogen gestörten) Gleichgewichts des Gesamtsystems Kohlenstoffkreislauf weist. Dass beide Vorstellungsebenen in einem Zusammenhang geäußert werden, kann ein Hinweis darauf sein, dass sich Leo das Gesamtsystem – fachlich angemessen – als aus einzelnen dynamischen Gleichgewichten bestehend vorstellt.

### Kohlenstoffflüsse ergeben einen Kreislauf

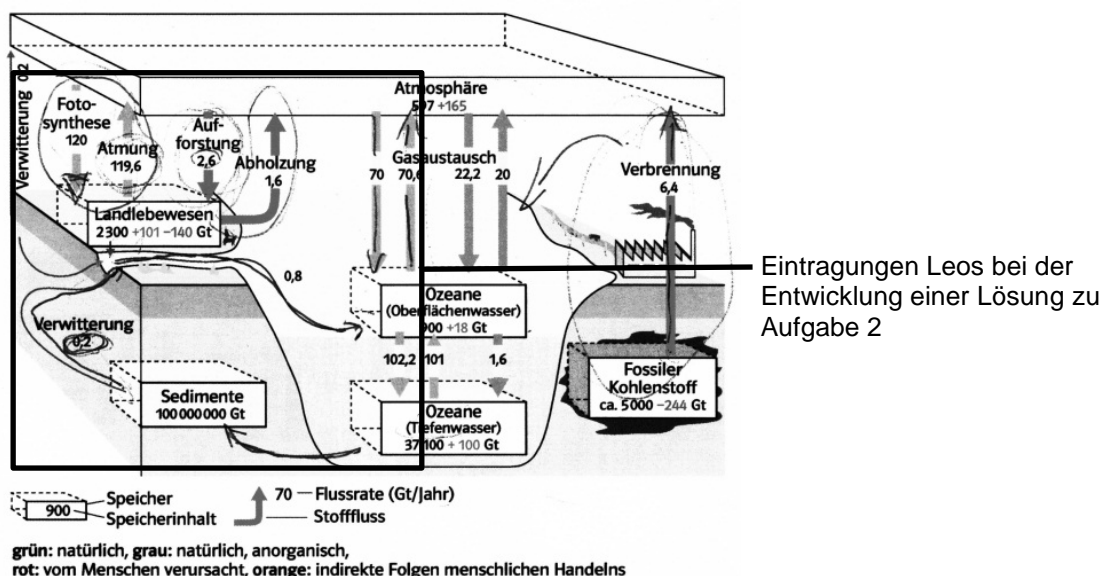


Abb. 9.1.4.1.2: Auszug aus dem zur Bearbeitung vorgelegten Material mit Eintragungen des Probanden



Aufgabe 2 im Schulbuchinhalt fordert dazu auf, unter Verwendung von Abbildung 1 zwei möglichst unterschiedliche Wege eines Kohlenstoffatoms im Kohlenstoffkreislauf, ausgehend von einem Speicher bis wieder in diesen Speicher, miteinander zu vergleichen. Während Leo spricht, zeichnet er in die Abbildung Pfeile ein (Abbildung 9.1.4.1.2).

Also ich soll jetzt hier mit diesen Pfeilen arbeiten mit der Abbildung. Okay. Ja, dann wäre ein Weg natürlich der hier vom Tiefenwasser zum Einspeichern in die Sedimente, die geben es dann wieder weiter an den Ozean, nehme ich mal an. Also eigentlich dann wieder zurück. (Leo, 313–316)

Leo beschreibt einen Weg des Kohlenstoffs vom Ozean (Tiefenwasser) über Sedimente zum Ozean (Oberflächenwasser). Das ist ein Weg über drei Speicher. Zu den Vorgängen bei den Stoffflüssen zwischen den beiden ozeanischen Speichern enthalten Text und Abbildung keine Aussagen. Wissen dazu ist bei Schülern wenig verbreitet, sodass man davon ausgehen kann, dass Leo dazu keine Vorstellungen hat. Seine Aussagen lassen erkennen, dass er gedanklich Ozeane als einen Speicher auffasst.

Eine Aussage und eine Geste von Leo zu Aufgabe 1 zeigt ebenfalls, was er sich unter Kreislauf vorstellt:

Von dem Kreislauf her muss das ja irgendwie immer weitergehen. (Leo macht mit der Hand eine mehrfach kreisende Bewegung). (Leo, 305)

Die zeigt, dass der Schüler sich unter Kreislauf nicht nur das Wiederankommen am Start vorstellt, sondern das zyklische ‚Immer-wieder-Vorbeikommen‘ an den Stationen des Kreislaufs. Auch Aussagen zu einer erwogenen und dann abgelehnten Lösungsidee können herangezogen werden, um zu erkennen, welche Vorstellung von Kreislauf der Schüler hat.

344 Noch einen Weg? Da würde ich jetzt direkt mal den Weg des Menschen wählen. Nein, der geht anscheinend nur nach oben. (Leo, 288–294)

Die Aussage zeigt, dass für Leo zum Kreislaufschema gehört, dass der Kohlenstoff wieder am Startpunkt ankommt und er erkennt, dass dies bei der anthropogenen Kohlenstofffreisetzung durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe nicht zutrifft.

### **Der natürliche Kohlenstoffkreislauf ist ausgeglichen**

Dieser natürliche Kohlenstoffkreislauf besteht durch die Abgabe von Kohlenstoff und die Wiederaufnahme. Und dann wird dieser Kohlenstoff, wie zum Beispiel jetzt zum Beispiel Pflanze dazu verwertet, Fotosynthese zu betreiben. Ja, also natürlicher Kreislauf, bei dem man, sage ich mal, versucht auf Null wieder rauszukommen, was den Out- und Input angeht. (Leo, 247–252)

Leos Aussagen zeigen, dass sich für ihn hier zwei Schemata überlagern: das Kreislaufschema und das Gleichgewichtsschema. Dazu gehören die Denkfiguren „Kreislauf ist Abgabe und Wiederaufnahme“ einerseits und andererseits „Natürlich ist ausgeglichen“ (als Gegensatz zu „Anthropogen ist nicht ausgeglichen“). Möglicherweise steht dahinter die Vorstellung vom natürlichen Kohlenstoffkreislauf als ein Behälter, bei dem der Mensch durch Verbrennen fossiler Brennstoffe einen Zufluss verursacht (und z.B. durch Aufforstung einen Abfluss verursachen kann). Insofern ergibt sich ein Zusammenhang zum folgenden Konzept:

## **Rodungen und Verbrennung fossiler Brennstoffe stören das natürliche Gleichgewicht**

Bei der Verbrennung der fossilen Brennstoffe, wie zum Beispiel Kohle und Erdöl wird Kohlenstoff nur abgegeben, von Menschen aber nicht wieder aufgenommen. Es herrscht kein dynamisches Gleichgewicht da und so gesehen ist das, was der Mensch ja abgibt, doch ziemlich viel. (Leo, 91–93)

Diese Aussage zeigt, dass Leo die Vorstellung von einem dynamischen Gleichgewicht an das Gesamtsystem des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs heranträgt (vgl. auch Leo, 111ff, s.u.). Außerdem kommt hier sein Erkennen zum Ausdruck, dass eine relativ kleine Flussrate langfristig zu einer gravierenden Veränderung führen kann, wenn ihr kein Fluss in umgekehrter Richtung entgegensteht.

## **Die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Menge in der Atmosphäre ist nicht gut**

Also es wird was für diesen natürlichen Kreislauf getan, wenn man nicht nur abholzt und diesen natürlichen Kreislauf unterbricht, sondern man auch wieder Bäume wachsen lässt und dadurch dieses dynamische Gleichgewicht fördert, von dem hier die Rede ist. Wenn ich jetzt von diesem Wert ausgehe, sieht es fast so aus, als ob mehr aufgeforstet wird als abgeholzt wird. Das erscheint mir komisch, das dachte ich eigentlich nicht. Das ist vielleicht ein bisschen medienbeeinflusst, wo die ganze Zeit gesagt wird, die Regenwälder, die sind schon fast weg. Dann scheint das ja nicht so. (Leo, 110–116)

Dieses natürliche Gleichgewicht wird eben durch das Eingreifen vom Menschen erschwert dadurch, dass er zum Beispiel Öl verbrennt oder eben diese fossilen Kraftstoffe für sich nutzt und dadurch Kohlenstoff zwar abgibt, aber in sich keins mehr aufnimmt oder diese Mengen, die er abgibt, nicht wieder aufnimmt und dadurch herrscht eigentlich Kohlenstoffüberschuss in der Atmosphäre. (Leo, 355–358)

Etwas für den natürlichen Kreislauf tun, das Gleichgewicht fördern, der Mensch macht es dem natürlichen Gleichgewicht schwer, Kohlenstoffüberschuss in der Atmosphäre: Diese Formulierungen lassen erkennen, dass für Leo der Zustand des natürlichen (nicht anthropogen veränderten) Kreislaufs positiv besetzt ist. Es ist gut, wenn der Mensch etwas für diesen natürlichen Kreislauf tut. Es ist negativ, wenn er es dem natürlichen Gleichgewicht schwer macht. Das Konzept Mensch stört Gleichgewicht ist für Leo verbunden mit einer Wertung. Hier zeigt sich wieder die Verwebung zwischen den Denkschemata Gleichgewicht und Kreislauf, denn einerseits besteht der Kohlenstoffkreislauf aus einem System dynamischer Gleichgewichte von Stoffflüssen zwischen Speichern, andererseits denkt Leo das Gesamtsystem als im Gleichgewicht befindlich, wenn der Mensch es nicht stört. Bemerkenswert ist auch, dass Leo hier Erinnerungen aufruft zu Aussagen, die Medien (Fernsehen etc.) an ihn herangetragen haben. Er setzt sie mit Inhalten des Schulbuchs in Beziehung.

## **Der CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre führt zu veränderten Kohlenstoffflussraten**

In diesem Konzept (*Zusätzliche Flüsse aus der Atmosphäre*) kommt die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘ zum Ausdruck.

Indirekte Folgen. (Überlegt, schaut auf das Bild). Ich weiß das nicht. Der Gasaustausch ändert sich anscheinend, das scheint die Thematik zu sein. Auf jeden Fall gibt es einen Unterschied zwischen indirekten Folgen und direkten Folgen, die dadurch entstehen, dass eben hier (zeigt auf den rechten Teil der Abbildung) verbrannt wird. Und das führt dann anscheinend zu Auswirkungen hier (zeigt auf die orange gefärbten Pfeile zwischen Atmosphäre und Ozeanen) zu irgendwelchen indirekten Folgen. Die Erderwärmung wahrscheinlich, dass das Eis schmilzt und der Wasserspiegel steigt, so als Beispiel. (Leo, 163–171)

Leos Aussage: „Der Gasaustausch ändert sich“ kann als synonym aufgefasst werden für „Die Kohlenstoffflüsse ändern sich“. Leo erkennt das Prinzip und nimmt die orangefarbenen Pfeile wahr, hat aber keine konkrete Vorstellung dazu im Sinne der Verschiebung dynamischer Gleichgewichte der Flussraten zwischen Speichern (reagierender Kohlenstoffkreislauf). Er stellt stattdessen Vermutungen an zu Folgen außerhalb des Kohlenstoffkreislaufs, von denen er z.B. in den Medien oder in vorherigem Unterricht erfahren hat, nämlich Erderwärmung, Eisschmelze und Anstieg des Meeresspiegels.

#### **9.1.4.2 Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews**

Zur Bearbeitung dieser Untersuchungsaufgabe werden natürlich die Äußerungen des Schülers im retrospektiven Interview herangezogen, aber – wie auch bei den anderen Probanden – alle übrigen Teile der Sitzung. Auf die Frage, was er dazugelernt habe, antwortet Leo:

Davon gehört habe ich natürlich schon. Das ist ja eben immer großes Thema, die Erderwärmung und wir müssen aufpassen. Ja, von diesem natürlichen Gleichgewicht wusste ich schon. Daran, dass die Sedimente irgendeine Funktion hatten, kann ich mich auch ganz grob erinnern, aber auch erst, seitdem ich das wieder gelesen habe. Also da fehlt, glaube ich, ein bisschen was bei mir. Und diese Kohlenstoffspeicher, das war mir an sich nicht ganz bewusst davor. Aber ja, das war es, glaube ich. (Leo, 364–369)

Durch die Medien und den Unterricht in unterschiedlichen Fächern werden Vorstellungen zum Klimawandel an die Lernenden herangetragen. Häufig stehen dabei die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration und als deren Folge die Erderwärmung im Vordergrund. Leos Äußerungen zeigen – wie auch die der anderen Probanden – ein Wiedererkennen von Einzelaspekten aus dieser Perspektive. „Von etwas gehört haben“ bedeutet aber nicht, eine tragfähige Vorstellung darüber erlangt haben. Als tragfähige Vorstellung wird eine solche aufgefasst, die der fachlich geklärten Sichtweise entspricht, also den akzeptierten wissenschaftlichen Vorstellungen, und die ihren Erklärungswert darin zeigt, dass sie mit anderen Vorstellungen sinnstiftend verknüpft werden kann. Das Lernangebot trägt den Kohlenstoffkreislauf als eigenständiges Thema an die Lernenden heran, dass auch einen Beitrag dazu leisten kann, die anthropogen verursachten Veränderungen der Erdatmosphäre zu verstehen. Leos Aussagen während der Auseinandersetzung mit dem Material zeigen, dass er vielleicht manche Speicher kannte, aber sich den Kohlenstoffkreislauf nicht als System aus Speichern und Stoffflüssen vorgestellt hat. Das war ihm nicht nur „nicht ganz bewusst“.

In einem Gesprächsteil nach dem retrospektiven Interview wurde Leo gefragt, wie er lerne. Er antwortete darauf, dass er sich zusammenfassende Notizen mache, zu diesem Thema beispielsweise die Folgenden. Diese Äußerungen werden hier herangezogen, da sie zur Triangulation dienen können.

Kohlenstofffluss gleich Flussrate und dann die Einheit dahinter. Inhalte der Speicher ändern sich langfristig kaum, da Zu- und Abflüsse. Dann in Verbindung damit dynamisches Gleichgewicht. Für Flussrate Geschwindigkeit und nicht Größe [der Speicher] entscheidend. (Leo, 430–433)

Hier nennt Leo eine Reihe von Stichworten, zu denen das Schulbuch Vorstellungen anbietet. Leos Äußerungen während der Auseinandersetzung mit dem Material lassen erkennen, dass er sich zu all diesen Aspekten dabei Vorstellungen erarbeitet hat, die ihm so nicht verfügbar

waren. Dazu gehört, dass Kohlenstoffflüsse zwischen Speichern sich durch Flussraten beschreiben lassen und dass für Flussraten die Geschwindigkeit der Umsetzungen und nicht die Größe der Speicher entscheidend ist. In der Interaktion mit dem Schulbuchinhalt verbindet der Schüler vorhandene Vorstellungen, darunter auch solche aus früherem Unterricht, mit neuen oder erweiterten Vorstellungen. Er unterschätzt, wie viel er in Bekanntes hineingelernt hat.

### 9.1.3.3 Zusammenfassung

Leo nutzt den Text und die Grafik zusammen als Lernangebot. Das zeigt sich daran, dass er sowohl beim Verstehen des Textes Hilfe bei der Grafik sucht als auch umgekehrt vorgeht. Viele Äußerungen lassen erkennen, dass er nicht Aussagen wiedergeben will, sondern verstehen möchte. Das belegen Aussagen wie. „Das kommt mir komisch vor“ (Leo, 45) und Fragen, die er sich in der Phase des Lauten Denkens stellt. Auf die Inhalte bezogen kann man feststellen: Leo gelangt er zu einer Vorstellung vom Kohlenstoffkreislauf als System aus Kohlenstoffspeichern und Stoffflüssen zwischen ihnen. Dabei nutzt er das Behälterschema, das Start-Weg-Ziel-Schema, das Gleichgewichtsschema und das Kreislaufschema für das Verstehen im Zielbereich Kohlenstoffkreislauf. Er kann auch teilweise vorhandene Vorstellungen auf die durch das Material an ihn herangetragenen beziehen, z.B. die Fotosynthese als Flussursache und die CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch fossile Brennstoffe. Andererseits gelingt ihm genau dies an anderen Stellen nicht, wie z.B. bei der Vorstellung von (Zell-)Atmung als Flussursache oder der Verschiebbarkeit als Eigenschaft dynamischer Gleichgewichte. Seine Äußerungen zu den Aufgaben, die beide darauf abzielen, Vorstellungen aus anderer Perspektive an das Grundsystem aus Speichern und Flüssen heranzutragen, bestätigen dieses Bild aus Verstandenem, teilweise Verstandenem und nicht Verstandenem.

Konzepte im Lernangebot in Werk 4	Verfügbare Konzepte von Leo
<i>Die gegenläufigen Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre und Landlebewesen bilden annähernd ein dynamisches Gleichgewicht.</i>	+
<i>Kohlenstoff kann unterschiedlich lange in einem Speicher verweilen</i>	+
<i>Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	+
<i>Der globale Kohlenstoffkreislauf besteht aus einem System von Kohlenstoffspeichern und dazwischen stattfindenden Kohlenstoffflüssen</i>	+
<i>Kohlenstoff durchläuft den Kohlenstoffkreislauf in unterschiedlichen chemischen Verbindungen.</i>	+
<i>Die größten Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.</i>	(+)
<i>Die Nutzung fossiler Brennstoffe und Rodung setzen Kohlenstoff in die Atmosphäre frei.</i>	+
<i>Die Ozeane können aufgrund ihrer Schichtung als zwei Speicher aufgefasst werden.</i>	(+)
<i>Durch den erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre steigt die Flussrate in Richtung der Speicher Ozeane und Landlebewesen.</i>	+
<i>Kohlenstoff kann unterschiedliche Wege innerhalb und zwischen Speichern nehmen.</i>	(+)

Abb. 9.1.4.3.1: Zu den im Material erkennbaren Konzepten vom Probanden Verständnis erlangt (+ erlangt, (+) teilweise erlangt, – nicht erlangt)

## 9.2 Fazit

Alle den Probanden vorgelegten Materialien haben dazu beigetragen dass die Lernenden Vorstellungen erlangt bzw. erweitert haben, allerdings in keinem Fall vollständig im intendierten Ausmaß. Dies soll hier auf der Ebene der Vorstellungen betrachtet werden. Die Ergebnisse zum Aspekt Verständlichkeit werden in Kapitel 10 dargestellt.

Alle Interviews zeigen, dass die Lernenden bei der Auseinandersetzung mit dem dargebotenen Schulbuchinhalt die an sie herangetragenen Vorstellungen mit solchen aus früherem Unterricht oder anderen Quellen wie den Medien und alltagsweltlichen Vorstellungen verknüpfen. Dabei zeigt sich, dass verkörperte Vorstellungen von entscheidender Bedeutung für das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs sind.

### Speicher und Flüsse

Der Kohlenstoffkreislauf als System aus Speichern, zwischen denen Kohlenstoffflüsse stattfinden, wird gedacht als Behälter, aus denen Teilchen entnommen werden bzw. die Teilchen abgeben, die dann in andere Behälter gelangen. Alle Interviews enthalten eine Vielzahl entsprechender Aussagen. Auch die Untersuchung von Niebert (2010, 18ff) hat gezeigt, dass Lerner und Wissenschaftler zum Verstehen des Kohlenstoffkreislaufs ähnliche Schemata nutzen. Selbst die Probandin Vanessa, die das Material aus Werk 1 bearbeitet, dass weder im Text noch in der Abbildung explizit eine Vorstellung zu Speicher an sie heranträgt, lässt durch Formulierungen wie „wird gespeichert“ (Vanessa, 490) und „gelangt da rein“ (Vanessa, 94) erkennen, dass sie sich Speicher vorstellt, und zwar als Behälter. Leos Äußerungen zeigen, dass er Behältereigenschaften auf die Kohlenstoffspeicher überträgt: Ein Behälter kann kleinere Behälter enthalten (Zwischenspeicher; Leo, 295; 301). Ein Behälter kann voll sein (Leo, 182; 192). Hier zeigt sich, dass das Behälterschema im Zusammenhang mit den Kohlenstoffspeichern auch fehllieft kann. Die Kohlenstoffspeicher als theoretisches Konstrukt weisen keine starre Begrenzung auf, sodass „voll sein“ hier keine adäquate Vorstellung ist.

### Gleichgewicht

Zum Gleichgewicht lassen die Aussagen der Lernenden mehrere Denkfiguren erkennen:

- Gleichgewicht ist wechselseitiger Austausch: Wenn zwischen zwei Kohlenstoffspeichern wechselseitige Flüsse mit annähernd gleicher Flussrate stattfinden, stehen sie im (dynamischen) Gleichgewicht. Aussagebeispiel: *Austausch zwischen Atmosphäre und Land ist Gleichgewicht (Nadine 153)*.
- (Vorindustrielles) Gleichgewicht ist gut, Ungleichgewicht ist schlecht: Die Wertung wird in der negativen Form erkennbar. Beispiele: *Das natürliche Gleichgewicht wird durch den Menschen erschwert (Leo, 361)*. *Rodung stört das Gleichgewicht (Nadine, 201)*. In der verkörperten Vorstellung vom Gleichgewicht im Sinne von „nicht umfallen“ ist das Fallen beim Aus-dem-Gleichgewicht-Geraten schon konnotiert.

Die oben genannten Äußerungen führen zu einer weiteren Denkfigur:

- Anthropogene Veränderung des Gleichgewichts ist Störung: Hier variieren die Aussagen bezüglich der Wertung. Sie können neutral sein oder negativ besetzt. *Das Gleichgewicht verschiebt sich (Vanessa 493). Es herrscht kein Gleichgewicht (durch Verbrennung abgegeben, aber nicht wieder aufgenommen, Leo 92). Störung ist negativ für das Gleichgewicht (Nadine 209).*

## Kreislauf

Zum Kreislaufschemata werden eine Reihe von Vorstellungen in den Schüleraussagen deutlich. Zum natürlichen (nicht anthropogen beeinflussten) Kohlenstoffkreislauf werden einige ihm zugeschriebene Eigenschaften erkennbar. Er ist abgeschlossen (*Ein Kreislauf ist immer ein geschlossenes System (Vanessa, 495). Der natürliche Kreislauf versucht auf Null rauszukommen (Leo, 255).* Er verkörpert Bewegung (*Der natürliche Kreislauf muss irgendwie immer weitergehen (Leo, 309)* und er hat eine Richtung (*Pflanzen drehen nachts den Kreislauf um (Nadine, 346).*

Teilweise wird das Kreislaufschemata mit dem Gleichgewichtsschemata – im Sinne von es kommt alles wieder zurück – gleichgesetzt, vermischt oder als eine Einheit gedacht: *Der natürliche Kreislauf besteht aus Abgabe und Wiederaufnahme. (Leo, 252). Der Kreislauf ist ziemlich ausgewogen (Fred, 125).*

Das in Lerneräußerungen erkennbare Konzept ‚Der Kohlenstoffkreislauf besteht aus Teilkreisläufen‘ kann möglicherweise auch als Vermischung von Gleichgewichts- und Kreislaufschemata interpretiert werden, wenn die wechselseitigen, etwa gleich großen Kohlenstoffflüsse zwischen zwei Speichern betrachtet werden: *Pflanzen und Atmosphäre haben einen eigenen kleinen Kreislauf innerhalb des großen (Nadine, 331).*

Teilweise wird der natürliche Kohlenstoffkreislauf als eigenes System gedacht, zu dem es ein Außerhalb gibt. *Bäume entziehen dem Kreislauf durch Fotosynthese Kohlenstoff (Fred, 227). Vom Meer wird Kohlenstoff aus dem Kreislauf herausgenommen (Fred, 123). Kalkstein und Boden können Kohlenstoff in den Kreislauf abgeben, (Fred, 179). Kohlenstoff wird aus dem Kreislauf herausgeholt (Fred, 156). Zum Kreislauf wird Kohlenstoff durch Verbrennen hinzugegeben (Fred, 124).* Möglicherweise zeigt sich hier, dass beim Verweilen in einem Speicher die zum Kreislauf gehörende Komponente Bewegung als fehlend empfunden wird. Wissenschaftler sprechen überwiegend davon, dass in erdgeschichtlichen Zeiträumen Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen und in Sedimenten bzw. fossilen Brennstoffen gespeichert wurde und gegenwärtig in einem zusätzlichen Fluss teilweise wieder der Atmosphäre zugeführt wird (Niebert 2010, 57f). Inwieweit darin die Vorstellung zum Ausdruck kommt, der Kohlenstoff sei über lange Zeit dem (kurzzeitigen) Kohlenstoffkreislauf entzogen, bleibt offen. Manche Wissenschaftler sprechen ausdrücklich davon, dass durch Sedimentation dem Kohlenstoffkreislauf Kohlenstoff entzogen wird (z. B. Riedel 2008, 377; Kappas 2009, 250).

Wie auch beim Gleichgewicht gibt es zum Kohlenstoffkreislauf bezüglich des anthropogenen Einflusses neutrale und (negativ) wertende Vorstellungen. *Es wird was für diesen natürlichen Kreislauf getan (Leo, 107; 111). Durch Abholzen unterbricht man diesen natürlichen Kreislauf (Leo, 112). Der Mensch greift in den natürlichen Kreislauf ein. (Leo, 137) Der Mensch fördert den natürlichen Kreislauf. (Leo, 112).*

Diese Untersuchung zeigt, wie viele andere Untersuchungen im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion (z.B. Gropengießer 2001, Riemeier 2005, Schneeweiß 2008, Niebert 2010), dass Lernervorstellungen einen großen Einfluss darauf haben, welches Verständnis sie zu den an sie herangetragenen Lerngegenständen entwickeln. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird verständlich, dass verkörperte Vorstellungen, wie sie im Behälterschema, Start-Weg-Ziel-Schema, Speicher-Fluss-Schema, Gleichgewichtsschema und Kreislaufschema zum Ausdruck kommen, einerseits fruchtbar sind bei dem Erkennen der Vorstellungen der Lernenden und andererseits auch Einblick geben, wie Lernende zu Vorstellungen bezüglich der an sie herangetragene Lerngegenstände erlangen.





## **10 Verständlichkeit der Schulbuchinhalte aus fachdidaktischer Perspektive**

Aufgabe der Schulbuchinhalte ist es, bezeichnete Vorstellungen und Schemata an die Lernenden heranzutragen. Die dabei förderlich bzw. hinderlich wirkenden Eigenschaften der Schulbuchinhalte sind Gegenstand dieses Untersuchungsteils. Während im Kapitel 9.1 Lernaussagen ausgewertet wurden im Hinblick auf den Erwerb und die Veränderung von Vorstellungen zum Lerngegenstand durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt, werden sie in diesem Kapitel genutzt, um Schulbuchinhalte daraufhin zu untersuchen, inwieweit sie verständlich sind und welche verstehensfördernden und -hemmenden Elemente sie aufweisen. Dieser Teil der Untersuchung nimmt Eigenschaften der Schulbuchinhalte, also der Texte und Abbildungen und deren Zusammenwirken, aus didaktischer Perspektive in den Blick.

### **10.1 Erfassen von lernfördernden und -hemmenden Eigenschaften von Schulbuchinhalten**

#### **10.1.1 Fragestellungen dieses Untersuchungsteils**

Das Verstehen von Schulbuchinhalten durch Lernende wird beeinflusst von der Eigenschaft Verständlichkeit des Schulbuchinhalts und von Vorstellungen, über die Lernende bereits verfügen können. Deshalb können die Interviews zum Lernen mit dem Schulbuch verwendet werden, um auf lernfördernde und lernhemmende Eigenschaften des Materials zu schließen, also zur Bearbeitung folgender Fragestellungen:

1. Welche lernfördernden oder lernhemmenden Eigenschaften haben die Texte?
2. Welche lernfördernden beziehungsweise lernhemmenden Eigenschaften haben die Abbildungen?
3. Welche lernfördernden beziehungsweise lernhemmenden Eigenschaften haben Texte und Abbildungen in Kombination?

Leitend ist auch bei diesem Teil der Untersuchung die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (siehe Kapitel 4). Theorien zur Verständlichkeit von Texten und Bildern können bei der Analyse hilfreich sein und werden an passender Stelle herangezogen. Dieser Untersuchungsteil zielt aber – in Übereinstimmung mit dem Untersuchungsdesign – nicht auf eine vollständige sprach- oder bildwissenschaftliche Analyse, sondern stellt einen Untersuchungsschritt im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion dar und ist deshalb auf das fachliche Verstehen gerichtet.

#### **10.1.2 Methodisches Vorgehen**

Zur Auswahl der Schulbuchinhalte und zur Auswahl der Probanden gelten die gleichen Bedingungen wie bei der Evaluation der Lernwirkung von Schulbuchinhalten (siehe Kapitel 8). Bei der Untersuchung verstehensfördernder und verstehenshemmender Eigenschaften der

Schulbuchinhalte bilden wiederum die Aussagen der Lernenden den Ausgangspunkt. Im Hinblick auf die Fragestellungen als relevant betrachtete Äußerungen werden als redigierte Aussagen zusammengestellt, geordnet und interpretiert. Bei der Interpretation werden die im Kapitel 4 dargestellten Theorien zur Text- und Bildverständlichkeit und zur Text-Bild-Kohärenz beachtet. Den Schwerpunkt dieser Untersuchung bilden jedoch nicht linguistische oder bildtheoretische Aspekte, sondern die didaktischen Dimensionen des Materials, also der Blick auf die Schulbuchinhalte als didaktisch rekonstruiertes Lernangebot im Sinne des Modells der didaktischen Rekonstruktion. Dennoch erweisen sich die Theorien zur Textverständlichkeit (Groeben 1972, 1982), Bildverständlichkeit (Weidenmann 1994b) und der Text-Bild-Kohärenz auf zweierlei Weise hilfreich: Sie können einerseits das Erkennen von Problemfeldern erleichtern, wie sich auch bei der Aufstellung von Hypothesen zur Materialverständlichkeit (Kapitel 7) gezeigt hat. Außerdem ermöglichen sie die Erklärung mancher verstehensfördernder bzw. verstehenshemmender Wirkungen des Materials und können so Perspektiven eröffnen zur Optimierung von Schulbuchinhalten im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 11). Sie werden jedoch eingebunden in die komplexen Zusammenhänge der Vorstellungsbildung und -veränderung bei den Lernenden, d.h. die Untersuchung fußt auf der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion.

Die Datengrundlage für die Bearbeitung dieser Untersuchungsaufgabe bilden einerseits die Transkripte zu den Sitzungen, in denen sich die Lernenden mit den Schulbuchaussagen auseinandergesetzt haben, und der daran anschließenden retrospektiven Befragung (Kapitel 9.1). Andererseits werden in Verbindung dazu die Schulbuchinhalte selbst herangezogen. Die Datenauswertung erfolgt in Anlehnung an das Vorgehen bei der Datenauswertung bei der Evaluation der Lernwirkung der Schulbuchinhalte (Kapitel 9.1). Redigierte Aussagen aus den Transkripten zu einem Schulbuchinhalt werden jeweils so zusammengestellt und geordnet, dass sie zur Explikation und Ableitung allgemeiner Aussagen bezüglich eines Aspekts von Verständlichkeit herangezogen werden können.

<b>Technik</b>	<b>Einzelschritte des Vorgehens</b>	<b>Ergebnis</b>
Auswertung bezüglich verstehensfördernder und verstehenshemmender Eigenschaften des Schulbuchinhalts	Bündeln bedeutungsgleicher Aussagen	Geordnete, redigierte Aussagen
	Charakteristika des Verständnisses bzw. der Verstehensschwierigkeiten erschließen	Explikation
	Konzepte zur Verständlichkeit herauspräparieren und formulieren	
Strukturierung der Ergebnisse zu verstehensfördernden und verstehenshemmenden Eigenschaften des Schulbuchinhalts	Verallgemeinerung durch Kategorienbildung	Allgemeingültige Aussagen zur Identifizierung von verstehensfördernden und verstehenshemmenden Eigenschaften von Schulbuchinhalten
	Zusammenstellen der Kategorien	
	Abgleich der Befunde mit Theorien des Verstehens	

Abb. 10.1.2.1: Vorgehensweise bei der Qualitativen Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung (in Anlehnung an Gropengießer 2005, 176)

Die Untersuchungsaufgabe wird für jeden untersuchten Schulbuchinhalt getrennt bearbeitet. Zu den drei Untersuchungsaufgaben (siehe Kapitel 10.1.1) erkannte Konzepte werden mit theoretischen Grundlagen (s.o.) abgeglichen. Anschließend werden die Ergebnisse zur jeweiligen Untersuchungsaufgabe zusammengefasst.

Außerdem werden sie genutzt, um Hypothesen zur Verständlichkeit zu prüfen, die im Rahmen der Analyse des Schulbuchmaterials (Kapitel 7) aufgestellt wurden. Da die Hypothesen so allgemein gefasst sind, dass sie sich nicht zwangsläufig nur auf eine Eigenschaft eines konkreten Materials beziehen, können auch Aussagen zu den anderen Materialien zur Prüfung herangezogen werden. Vergleichbare Befunde zu unterschiedlichen Schulbüchern werden jeweils beim ersten Auftreten ausführlich diskutiert. Bei wiederholtem Vorkommen mit anderen Aspekten wird darauf verwiesen.

### **10.1.3 Maßnahmen zur Qualitätssicherung**

Zur Qualitätssicherung wurden die gleichen Maßnahmen getroffen wie bei der Evaluation der Lernwirkung von Schulbuchinhalten (siehe Kapitel 8.2).

## **10.2 Verständlichkeit der einzelnen Schulbuchauszüge**

Die Äußerungen der Lernenden während der Interviews werden herangezogen, um nacheinander Textverständlichkeit, Bildverständlichkeit und die Lernwirkung der Text-Bild-Verschränkung zu untersuchen.

### **10.2.1 Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 1**

Um Dopplungen zu vermeiden, sind einige Aspekte zur Text- und Bildverständlichkeit und zu Text-Bild-Verschränkung im Rahmen der Prüfung der Hypothesen ausgeführt.

#### **10.2.1.1 Textverständlichkeit**

Bei der Untersuchung der Textverständlichkeit werden nur die Aspekte untersucht, die sich auf den Text allein beziehen. Die Verständlichkeit des Textes in seinem Zusammenwirken mit der Abbildung wird unter dem Punkt Text-Bild-Verschränkung (10.2.1.3) dargestellt.

### **Fachtermini aktivieren bei Lernenden nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen**

Fachtermini sind hilfreich, wenn alle an der Kommunikation Beteiligten über die gleichen Vorstellungen zu ihrer Bedeutung verfügen. In Schulbuchtexten werden Fachtermini meist in einem Kontext eingeführt und in späteren Texten als Repräsentanzen wissenschaftlicher Vorstellungen verwendet. Bezüglich des Verstehens von Fachtermini kann zwischen Lernenden einer Lerngruppe und verschiedenen Lerngruppen starke Variabilität angenommen werden. Die Gefahr, dass ein Fachterminus, zu dem Lernende keine Vorstellung entsprechend der fachlich geklärten haben, sich als lernhinderlich erweist, steigt mit der Anzahl nicht erläutelter Fachtermini. In dem hier untersuchten Text enthalten 35 Zeilen des zweiseitigen

Textes 15 im Text nicht erklärte Fachtermini: Energiefluss, Ökosystem, autotrophe Organismen, anorganische Verbindungen, Konsumenten-Stufen, Produzenten, Biosphäre, Kreislaufprozess, Kohlenstoffkreislauf, organische Verbindungen, Fotosynthese, Biosphäre, Atmosphäre, Sedimentgesteine, Erdkruste Dissimilationsprozesse. Das offenbar dahinter stehende Ziel, Wissensstrukturen in hoher Dichte an die Lernenden heranzutragen, wird hier nicht in vollem Umfang erreicht, wie spontane Aussagen der Schülerin und Äußerungen aufgrund von Interventionen zeigen. Einige der im Text vorkommenden Fachtermini rufen bei der Schülerin nicht die fachlich adäquaten Vorstellungen hervor. Der Text beschreibt die bezeichneten Vorstellungen ebenfalls nicht.

Ehrlich gesagt, kann ich mir unter Dissimilation nicht viel vorstellen. Man kennt das aus dem gesellschaftlichen Bereich, wenn man dissimiliert wird [Verwechslung mit assimiliert?]. Ehrlich gesagt, kann ich mit dem Begriff nicht viel anfangen. (Nadine, 183–187)

Was ich mir unter „autotroph“ vorstelle? - Auto, das heißt irgendwas selbstständig möglich, selbst induzierend vielleicht oder selbst aufrecht erhaltend, „troph“, habe ich nicht verstanden. Wenn hinter auto was anderes am Ende gewesen wäre, könnte ich das vielleicht noch aus dem Kontext herausnehmen, aber dieses autotroph, da weiß ich nicht, was das bedeutet. (Nadine, 191–195)

Bezüglich des Verstehens der Fachtermini Dissimilation und autotroph zeigen die Äußerungen der Schülerin, dass sie deren Bedeutung anfänglich nicht kennt. Sie versucht, durch Übertragung von Bedeutungen des Wortes oder von Teilen des Wortes aus anderen Kontexten in diesen Bedeutungszusammenhang eine Vorstellung von der Bedeutung des Fachterminus zu erlangen. Sowohl die Übertragung aus Zusammenhängen zu Alltagsvorstellungen als auch die Übertragung aus anderen fachlichen Zusammenhängen (Assimilation soziologisch und Assimilation biologisch) bergen die Gefahr, dass eine andere als die fachlich geklärte Vorstellung mit dem Terminus verbunden wird (Strömdahl 2012).

Dieses Wort [autotroph] hat mich in dem ganzen Absatz ein bisschen verunsichert, weil das für mich aussah, als ob das ein wichtiger Begriff ist, der einen wichtigen Prozess beschreibt. (Nadine, 197-199)

Wenn es heißt: „beginnt mit dem autotrophen Organismus“, dann heißt das, dass da irgendwas induziert wird von einem Organismus, der irgendwie was Besonderes kann. Das muss einen Grund haben. Da dachte ich, dass das wohl wichtig ist, ein Schlüsselbegriff ist für diesen Abschnitt. (Nadine, 206–209)

Diese Aussagen geben einen Einblick in die Wirkungen des ihr unbekanntes Terminus auf die Schülerin. Sie erschließt aus dem Text, dass der Terminus wichtig sein muss für das Verstehen des Absatzes. Das Nichtverstehen verunsichert sie.

### **Fachtermini bezeichnen genau einen fachlichen Inhalt**

Der Terminus Vegetation löst bei der Schülerin Irritation aus. Im ersten Absatz des Textes stehen die Termini *autotrophe Organismen* und *Produzenten*, durch den Terminus *Nahrungskette* sind Tiere und andere Lebewesen (Konsumenten und Destruenten) eingebunden. Im dritten Absatz ist die *Vegetation des Festlandes* als einer der drei großen Kohlenstoffspeicher genannt. Im letzten Absatz ist die *Landoberfläche* als mit der Atmosphäre im Austausch stehend angegeben. Auf die Nachfrage, wie sie Tiere in das System einordnet, sagt Nadine:

Ich denke, dass die Tiere vielleicht mit in die Atmosphäre gehören. Vegetation. Das hat mich auch am Anfang ziemlich verwirrt, denn es hieß einfach „die Atmosphäre“. Man denkt da an verschiedene atmosphärische Schichten und die ganzen Gase, die da existieren. (Nadine, 234–238)

Vegetation, die Pflanzen, die lagern das auch in sich, aber das Gleiche passiert ja bei uns auch. ... Da war ich ziemlich verwirrt, weil ich nicht wusste, wo jetzt der Mensch oder die Tiere vorkommen. Ich weiß jetzt nicht, ob das eher zur Vegetation gehört. Womöglich gehört das eigentlich auch dahin, weil wir leben auf dem Land und wir haben ja auch mit den Pflanzen, dadurch dass die CO<sub>2</sub> ausatmen und wir das wieder einatmen. [Hier verwechselt die Schülerin einatmen und ausatmen. (Nadine, 242–249) [Nadine äußert das an anderer Stelle (Nadine, 80, 139, 309) fachlich angemessen.]

Als fachlich geklärte Vorstellung kann hier die Einbeziehung aller Lebewesen dieser Biozönose gelten (vgl. Kapitel 6). Die adäquate Bezeichnung für diesen Speicher könnte *Landlebewesen* sein. Die zutreffende Verwendung von Fachtermini bei der Bezeichnung fachlich geklärter Vorstellungen ist eine wesentliche Voraussetzung für das Verstehen (Strömdahl 2012). Auch wenn die Pflanzen unter den Landlebewesen den größten Anteil an der Speicherung von Kohlenstoff haben, rechtfertigt dies nicht die im Terminus Vegetation zum Ausdruck kommende Reduktion, insbesondere, wenn gerade die Rolle der ausgeschlossenen Lebewesen (Tiere, Pilze, Bakterien usw. oder in ökologischen Kategorien die Konsumenten und Destruenten) für das Verstehen des Gesamtzusammenhangs wesentlich ist.

### Alltagsvorstellungen und vorhandene Schemata können eine Brücke bilden zu fachlich geklärten Vorstellungen

Wenn der Speicher jetzt von der Atmosphäre zum Land geht oder ans Meer denke ich mal, dass diese Menge von 100 Gigatonnen und hier 120 von der Atmosphäre als Stoff in das Land gehen oder in die Vegetation und dann in das Meer. Das zeigt dann auch eine Art Kreislauf. Die Atmosphäre gibt Kohlenstoff an das Land, an das Meer ab, kriegt aber auch im Gegensatz dazu was zurück vom Land oder von dem Meer. (Nadine, 164-169)

Diese Aussage legt den Schluss nahe, dass das Wort Speicher bei der Schülerin eine verkörperte Vorstellung des Behälterschemas (Lakoff 1990) aktiviert, dass sich als ordnendes Prinzip und für das Verstehen der Stoffflüsse zwischen den Speichern als lernförderlich erweist. Zum Stofffluss ist das Geben-Nehmen-Schema erkennbar, in dem Sinne, dass Kohlenstoff von einem Behälter in einen anderen gegeben bzw. in einen Behälter aufgenommen wird. Das Geben-Nehmen-Schema mündet jedoch nicht zwangsläufig in eine Vorstellung

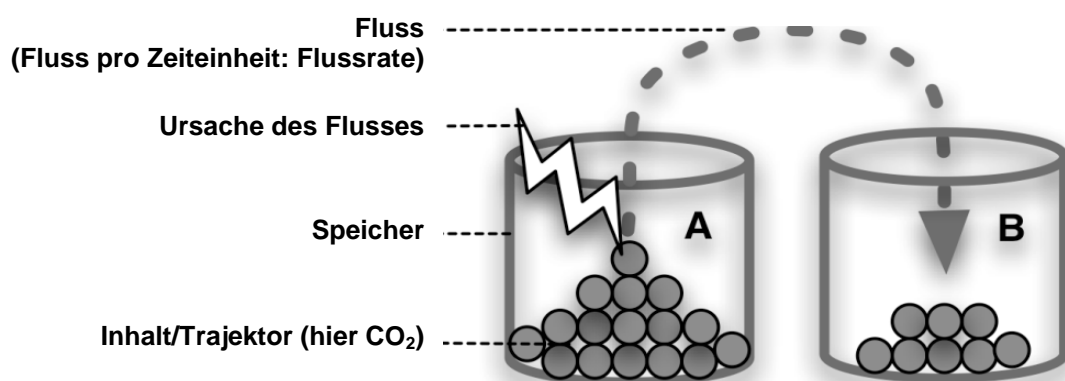


Abb. 10.2.1.1.1: Das Speicher-Fluss-Modell (nach Niebert 2010, 18, verändert)

von Fluss. Text und Abbildung enthalten das Wörter Fluss und Flussrate nicht. Der Text „Angaben in Gigatonnen C pro Jahr“ in der Bildlegende als Maßeinheit für die Flussrate führt nicht dazu, dass die Schülerin bei Übergaben an Stofffluss denkt. Sie fasst das Speicher-Fluss-Schema (vgl. Lakoff 1990, Johnson 1987) in diesem Kontext als zusammengesetzt aus Behälter und Übergaben auf (siehe Abbildung 10.2.1.1.1). Diese Interpretation wird bestätigt durch eine Aussage der Schülerin innerhalb des retrospektiven Interviews als Teil der Antwort auf die Frage: „Wie hätten Sie den Kohlenstoffkreislauf vor der Beschäftigung mit dieser Seite erklärt?“

Ich hätte den Kohlenstoffkreislauf nicht erklärt mit diesen drei Speichern, obwohl ich die gekannt habe. Ich wäre darauf nicht eingegangen. (Nadine, 396–397)

### **Der Schulbuchtext muss die angezielten Wissensstrukturen darstellen und bezeichnen**

Wenn den Lernenden ein für das Bezeichnen einer fachlichen Vorstellung notwendiger oder auch nur hilfreicher Fachterminus nicht bereitgestellt wird, kann dadurch das Verstehen und das eigene Bezeichnen erschwert sein, wie hier die Beispiele *Fluss* und *Flussrate* zeigen. Im oben genannten Transkript-Ausschnitt (Nadine, 197 ff) nennt die Schülerin Kohlenstoffmengen (die sie nicht von Massen unterscheidet, wie die Nennung von 100 bzw. 120 Gigatonnen zeigt), die von einem Speicher in einen anderen „gehen“. Der Unterschied zwischen *Fluss* und *Flussrate* liegt in der Einbeziehung der Dimension Zeit. Der Zusatz „pro Jahr“ verweist auf jährlich, auf „das immer Wiederkehrende“ und stützt damit die Vorstellung eines Kreislaufs. Außerdem hat dieser Aspekt propädeutische Wirkung für die nicht im Text, aber in der Abbildung angebotene Vorstellung des anthropogen verursachten Ungleichgewichts. Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Waldrodung steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre *jährlich* an. In der zeitlichen Dimension führt das Ungleichgewicht zu einem stetigen Anstieg.

Des Weiteren nutzt der Text die Vorstellung der Flussrate nicht bei der Erklärung der unterschiedlichen Bedeutung der Speicher für den globalen Kohlenstoffkreislauf.

Was mich sehr verwundert hat, dass diese großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen gar keine CO<sub>2</sub>-Quelle sind oder dass sie in dem Sinne gar keine Rolle spielen, weil man kennt das ja, dass Fossile, wenn man die verbrennt, kommt da CO<sub>2</sub> heraus, und dass viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen wird. Man kennt das auch von dem Problem mit den Rohstoffen, dass man da nicht zu viel verbrennen sollte. (Nadine, 87–91)

Der Schulbuchtext enthält keine direkte Aussage darüber, dass große Speicher nicht zwangsläufig große Flussraten zu anderen Speichern aufweisen, also auch große Speicher mit kleiner Flussrate möglich sind und vorkommen.

Der letzte Satz besagt, dass die Landoberfläche hauptsächlich durch Fotosynthese diese CO<sub>2</sub>-Bindung oder diese Bilanz oder diesen Austausch macht und es gibt auch eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch die Dissimilations-Prozesse, sodass es dort ausgeglichen wird. (Nadine, 97–101)

Die sind abgekapselt in Anführungsstrichen, deshalb können die da womöglich auch nicht leicht heraus. (Nadine, 325–326)

Die folgenden Äußerungen der Schülerin zeigen, dass sie dies ohne den Terminus Flussrate nur schwer ausdrücken kann (gleiche Flussraten im Gleichgewicht bzw. Ungleichgewicht aufgrund verschieden großer Flussraten).

Man sieht, dass die Rodung der Vegetation oder des Waldes auch einen Einfluss auf die Atmosphäre hat, weil diese Interaktion eine Störung ist, weil wenn Vegetation weniger da ist, heißt das, dass es eine kleinere Interaktion gibt oder dieses Gleichgewicht von Atmosphäre und Land, dieser Austausch nicht mehr so gut stattfinden kann, weil es ja nicht mehr genug Fotosynthese gibt. (Nadine, 128–132)

Das Gleichgewicht durch gleiche Flussraten umschreibt sie als ausgeglichenes Geben und Nehmen. Das durch Veränderung einer der beiden Flussraten entstehende Ungleichgewicht bezeichnet sie als Austausch, der nicht mehr so gut stattfinden kann. Das lässt eine Vorstellung vom fachlich richtigen Konzept erkennen, obwohl ihr teilweise angemessene Worte fehlen, zumal sie die Erklärung für das Ungleichgewicht nennt.

### **Kognitive Konflikte müssen aufgelöst werden**

Die folgenden Textpassagen aus dem Schulbuchinhalt tragen einen kognitiven Konflikt (Groeben & Christmann 1996; Dieter 2007) an die Schülerin heran:

„Der Biosphäre stehen drei große Kohlenstoffspeicher zur Verfügung: die Atmosphäre, die Vegetation des Festlandes und die obere Schicht der Weltmeere.“

„Die weitaus größeren Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen in der Erdkruste spielen als CO<sub>2</sub>-Quelle keine Rolle.“

Während der erste Satz besagt, dass der Kohlenstoff auf der Erde den drei Speichern Atmosphäre, Vegetation des Festlandes und obere Schicht der Weltmeere zugeordnet werden kann, bringt der zweite zum Ausdruck, dass sich der größte Teil des Kohlenstoffs in einem weiteren, nicht als solchen bezeichneten Speicher befindet. Die Lösung dieses kognitiven Konflikts liegt im letzten Teil des zweiten Satzes, in dem aber nur ausgesagt wird, dass dieser Kohlenstoff „keine Rolle spielt“. Dies reicht aber nicht aus, die Vorstellung an die Schülerin heranzutragen, dass dies in sehr kleinen Flussraten bezüglich der anderen Speicher begründet ist (s.o.). Nadine äußert zu dieser Textpassage:

Was mich sehr verwundert hat, dass diese großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen gar keine CO<sub>2</sub>-Quelle sind oder dass sie in dem Sinne gar keine Rolle spielen, weil man weiß ja, dass bei der Verbrennung von Fossilen CO<sub>2</sub> herauskommt und dass dabei viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen wird. Man kennt das auch von dem Problem mit den Rohstoffen, dass man nicht zu viel davon verbrennen sollte. (Nadine, 87–91)

Hier zeigt sich einerseits die das Verstehen behindernde Wirkung der klaren Trennung von Kalk- und Kohlenstoffkreislauf (s.u.) im Text des Schulbuchs und andererseits, dass das Fehlen einer Begründung im Text (sehr kleine Flussraten) gedanklich nicht von der Schülerin überwunden werden kann. Die Schülerin ist „verwundert“, denn sie erkennt keine kausale Erklärung. Alternativ hätte das Sedimentgestein als vierter Speicher genannt werden können mit einer Erklärung der geringen Bedeutung durch die geringen Flussraten. Diese Verwunderung ist nicht herbeigeführt im Sinne eines kognitiven Konflikts zur Förderung der Textverständlichkeit (Groeben & Christmann 1996). Der Schulbuchinhalt wäre ohne diese möglicherweise als Vereinfachung gedachte Verkürzung verständlicher.

### **Interferierende Fachinhalte müssen klar in Beziehung gesetzt werden**

In ihren Äußerungen unterscheidet Nadine nicht immer eindeutig zwischen Sedimentgestein und fossilen Brennstoffen, wie ihre oben zitierte Aussage (Nadine, 87ff.) belegt. In die gleiche Richtung weist die folgende Aussage:

Das war das mit diesem Sedimentgestein, weil ja organischer Abfall, der nach unten in die Erde weiter heruntergeht dann schließlich als Fossilien endet. (Nadine, 120–122)

Hier handelt es sich um nicht bedeutungsgleiche, aber sich überlappende Inhalte. Die Abfolge *Ablagerung – Fossilien – fossile Brennstoffe – Sedimentgestein* enthält zwei gedankliche Stränge: *Ablagerung von marinen Lebewesen mit Kalkschalen – Fossilienbildung – Sedimentgestein (Kalkstein)* und den zweiten: *Ablagerung organischer Materialien unter Luftabschluss – Umwandlung in Kohle, Erdöl und Erdgas – Förderung und Verwendung als fossile Brennstoffe*. Zur Unterscheidung könnte die Kategorisierung anorganisch – organisch oder chemisch – biologisch herangezogen werden, auch wenn dabei die Grenzziehung nicht ganz unproblematisch ist (z.B. Kalkstein aus Muschelkalk, chemische Reaktionen in Lebewesen). Gestützt wird eine derartige Unterscheidung aus der Perspektive der Schülerin dadurch, dass sie den Kalkkreislauf im Chemieunterricht in der anorganischen Chemie kennengelernt hat. Auf die Frage, wie sie den Kohlenstoffkreislauf vor der Auseinandersetzung mit dem hier untersuchten Schulbuchinhalt Mitschülern erklärt hätte, sagt die Schülerin:

Ansonsten gab es da eigentlich nichts Neues, außer dass das Sedimentgestein nicht so eine große Rolle als CO<sub>2</sub>-Quelle spielt, weil wir das damals ziemlich intensiv behandelt hatten, dass das Verbrennen dieser Rohstoffe ganz schlecht ist für den CO<sub>2</sub>-Haushalt, dass es den durcheinander bringt. Ich habe das halt in einer anderen Rolle gesehen oder hatte das als eine andere Rolle gelernt. Vom Prozess her war eigentlich nichts dabei, was ich nicht schon kannte. (Nadine, 384–389)

Wir hatten das damals so gelernt: Im Kalkgebirge regnet Wasser herunter, Kohlenstoff wird gelöst, landet dann im Wasser und geht dann in diesen alten Kreislauf [aus fachlicher Sicht meint sie Kalkkreislauf]. So hatten wir den Kohlenstoffkreislauf gelernt. Ich wäre nicht so eingegangen auf Vegetation, Atmosphäre, oberste Wasserschicht. Ich hätte dann eher den alten Kreislauf, so wie wir das damals vereinfacht, ganz schematisch gelernt hatten, so hätte ich das dann erklärt. (Nadine, 399–404)

Um die Schülerin zu Äußerungen zum Verhältnis der Kreisläufe anzuregen, wurde sie in einer Intervention danach gefragt.

Nein, es gibt nicht zwei Kreisläufe. Den, den ich damals gelernt habe, das ist, denke ich, nur ein Teil von diesem Kohlenstoffkreislauf. Das hatte mehr mit Wasser zu tun. Dadurch kann man sich das besser vorstellen, auch wenn man jünger ist, dass da der Stoff gelöst wird aus dem Kalk. Man kann sich das einfach besser vorstellen als wenn man sagt, da atmet eine Pflanze und gibt das ab und dann kommen die Tiere. (Nadine, 405–411)

Zur Erklärung der oben wiedergegebenen Lerneraussagen kann der Conceptual Change-Ansatz herangezogen werden (vgl. Kapitel 4), auch wenn es sich hier nicht um den Wechsel von Alltagsvorstellungen zu fachlich geklärten handelt, sondern einerseits um Vorstellungen aus vorangegangenem Unterricht und andererseits um Vorstellungen, die das Schulbuch anbietet. Die Vorstellungen zum Kalkkreislauf erscheinen der Schülerin anschaulicher (Kalk löst sich in Wasser), einfacher und verständlicher. Die Aussagen der Schülerin lassen ihr Bemühen erkennen, durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchtext erlangte Vorstellungen in bestehende Konzepte zu integrieren oder mit ihnen zu kombinieren. Da es sich nicht um eine Ablösung von Vorstellungen handelt, kann die Aufgabe des Lernangebots als Ermöglichen und Fördern von Conceptual Growth aufgefasst werden (vgl. Kapitel 4). Die Schülerin verfügt über Vorstellungen zur CO<sub>2</sub>-Fixierung durch Pflanzen, zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Atmung, zu chemischen Reaktionen innerhalb des Kalkkreislaufs und zur Problematik des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre („dass es ganz schlecht ist für den CO<sub>2</sub>-Haushalt“). Aus fachdidaktischer Sicht besteht auf der Grundlage der Theorie des erfahrungsbasierten Ver-



stehens die Aufgabe darin, im Rahmen der didaktischen Strukturierung ein Lernangebot zu entwickeln, das Lernenden hilft, Bezüge herzustellen zwischen vorhandenen Vorstellungen und sie zu verknüpfen mit weiteren fachlich geklärten Vorstellungen, die in einem Vermittlungsprozess an sie herangetragen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Thema Kohlenstoffkreislauf besonders viele Teilgebiete der Naturwissenschaften berührt, innerhalb der Biologie insbesondere aus Bereichen der Stoffwechselphysiologie und der Ökologie. Die Aussagen der Schülerin zeigen, dass das hier teilweise gelungen ist (Nadine 465ff.) und teilweise nicht (Nadine, 439ff.). Das Schulbuch entfaltet hier nicht hinreichend leitende Wirkung beim Zusammenfügen und Ergänzen von Vorstellungen.

### **Denkfiguren müssen konsequent unterstützt werden**

Die Denkfiguren *Gleichgewicht* (hier eher im Sinne von ausgewogenem Geben und Nehmen („gibt Kohlenstoff ab, ... kriegt aber auch im Gegensatz was zurück“)) und *Kreislauf* scheidet die Schülerin nicht klar voneinander, obwohl erkennbar ist, dass sie einen Unterschied vermutet („eine Art Kreislauf“, Nadine 192, s.o.). Während mit dem Wort Kreislauf die verkörperte Vorstellung des „im Kreis Laufens“ und dabei immer wieder an denselben Stellen vorbeikommen verbunden ist, ist mit Geben und Zurückbekommen keine Kreisbewegung, sondern eine Hin- und Her-Bewegung assoziiert (siehe auch Bildverstehen 10.2.1.2). In der Zusammenfassung stellt Nadine keine Beziehung zwischen den Denkfiguren Gleichgewicht und Kreislauf her:

Auf dieser Buchseite wird ein Kreislauf der Stoffe erklärt. [...] Dann wird das große Beispiel Kohlenstoffkreislauf dargestellt. Kohlenstoff ist ein Stoff, der jetzt in jedem Lebewesen vorkommt und deshalb in unserem Biotop Erde ein sehr wichtiger Stoff ist, der in verschiedenen Stoffspeichern vorkommt. Das war das Bekannte, die Vegetation, die Pflanzen, die da ja viel mit machen. Dann war das die Wasseroberfläche, ein sehr großer Speicher und dann die Atmosphäre an sich. Das ist da, wo diese Gase und diese Stoffe sich viel drin herumbewegen. Und, es ist sehr wichtig, dass das immer im Gleichgewicht ist und dass das durch verschiedene Prozesse auch in diesem Gleichgewicht gehalten wird. (Nadine, 219–231)

Dieser Aspekt wird auch in den folgenden Aussagen deutlich.

### **Der Schulbuchtext gibt einen Lernweg vor**

Inwieweit durch ein Lernangebot Vorstellungen und Schemata an Lernende herangetragen werden können, hängt auch davon ab, wie die Teile einer Sinneinheit angeordnet sind. Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass die kognitive Strukturierung (auch kognitive Gliederung oder Ordnung) eines Textes die wichtigste Größe für seine Verständlichkeit darstellt (Groeben, Christmann 1996, Dieter 2007). Aus konstruktivistischer Sicht ist darunter die Möglichkeit einer sinnvollen kognitiven Strukturierung durch den Rezipienten zu verstehen. Das Prinzip der kognitiven Strukturierung gilt auf allen Ebenen: Buch, Kapitel, ggf. Unterkapitel und Einzelthemen. Dabei soll ein Netz aktiven Wissens aufgebaut werden. In dieser Untersuchung wird die kognitive Strukturierung eines Einzelthemas betrachtet, dass in Biologieschulbüchern in der Regel mit einer Überschrift beginnt und vor der Überschrift zum folgenden Einzelthema endet. Es stellt eine Sinneinheit dar, in der meist wie in dem hier betrachteten Beispiel mehrere miteinander in Zusammenhang stehende Teilaspekte aufeinander folgend und bezogen dargestellt sind.

Im ersten Teil der Phase des Lauten Denkens paraphrasiert die Schülerin weitgehend den Schulbuchtext:

Am Anfang ist so eine Einführung in das Thema. Dabei geht es eigentlich um diesen Fluss von Stoffen, der eigentlich allgemein in einem Ökosystem passiert. (Nadine, 51–53)

Ansonsten geht es hauptsächlich um anorganische Verbindungen, die in körpereigene Substanz umgewandelt werden. Und das wandert dann durch diese verschiedenen Stufen, durch diese Nahrungskette. (Nadine, 59–61)

Auch interessant war, dass diese Zersetzung von organischem Abfall zu anorganischen Verbindungen stattfindet und dann das wieder als Ausgangsmaterial genutzt wird. Da wird auch dieser Kreislauf wieder klar. (Nadine, 63–65)

Danach kommt ein größerer Text oder ein größeres Beispiel mit dem Kohlenstoffkreislauf und am Anfang wird noch genannt, dass in jedem Lebewesen verschiedene Elemente einen bestimmten Kreislauf haben, der für sich selbst charakteristisch ist und den man auch isoliert betrachten kann. (Nadine, 72–75)

Und hier steht, dass in der Biosphäre drei verschiedene Kohlenstoffspeicher zur Verfügung stehen. Das ist einmal die Atmosphäre, die einen Teil der Gase, auch Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  speichert, dann gibt es die Vegetation, die durch Pflanzen, Fotosynthese, auch  $\text{CO}_2$  speichert und das  $\text{CO}_2$  benutzt und die obere Schicht der Weltmeere besitzt auch eine Kapazität für diesen Kohlenstoff, die speichert soviel ich weiß auch eine Form von  $\text{CO}_2$ . (Nadine, 80–86)

Am Ende steht, dass die Landoberfläche und die Meeresoberfläche auch mit der Atmosphäre in Verbindung treten und ein  $\text{CO}_2$ -Austausch stattfindet. (Nadine, 92–94)

Die Aussagen zeigen, dass die Schülerin die grundsätzliche Gliederung, also die kognitive Struktur des Textes erkennt: zuerst eine allgemeine Einleitung (an Energieflüsse gekoppelte Stoffflüsse von Produzenten über Konsumenten zu Destruenten – Wiederfreisetzung anorganischer Stoffe durch Destruenten – Wiederaufnahme der anorganischen Stoffe durch Produzenten – dadurch Schließen des Stoffkreislaufs), dann der konkrete Fall Kohlenstoffkreislauf (Stoffflüsse zwischen den drei großen Speichern).

Im Folgenden sollen die Aussagen der Schülerin zur Struktur des Textes im Hinblick auf die Frage interpretiert werden, inwieweit die Strukturierung lernförderlich bzw. lernhemmend wirkt. Die erste zitierte Aussage (Nadine 58ff.) zeigt, dass der Text bei der Schülerin Vorstellungen aktiviert, die sie dem Text folgend dann konkretisiert (Nadine, 67ff.). Ohne den Bezug zu Speichern (die werden im Schulbuchtext erst später genannt) gelangt die Schülerin zu einer Vorstellung von Kreislauf:

Auch interessant war, dass diese Zersetzung von organischem Abfall zu anorganischen Verbindungen stattfindet und dann das wieder als Ausgangsmaterial genutzt wird. Da wird auch dieser Kreislauf wieder klar, dass sich also immer dieses organische, anorganische wiederholt. (Nadine, 63–66)

Diese Aussagen der Schülerin erinnern an die Darstellung eines chemischen Gleichgewichts. Dabei laufen immer wieder Hin- und Rückreaktion ab. Das kann im Sinne einer verkörperten Vorstellung von Geben und Nehmen gedeutet werden, aber auch als Vorstellung von einer Umwandlung, auf die eine weitere, gegenläufige folgt mit der Entstehung des Ausgangsstoffes usw. Das entspricht folgendem Schema:

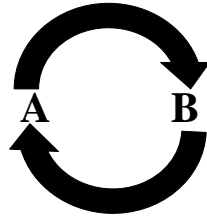


Abb. 10.2.1.1.2: Das Kreislaufmodell der sich wiederholenden Umwandlungen

Die Aussagen der Schülerin beziehen sich zu Beginn auf den ersten Teil des Buchtextes (allgemeine Aussagen zu Stoffkreisläufen). Speicher und Flussraten werden erst im zweiten Teil (Kohlenstoffkreislauf) eingeführt, obwohl sie elementar sind für die hier intendierte Vorstellung des globalen Stoffkreislaufs. Sie fehlen als Vorstellungen auslösende Elemente im vorderen Teil. Die so vorgenommene kognitive Strukturierung kann verantwortlich dafür sein, dass die Schülerin hier keine adäquate Vorstellung von globalen Stoffkreisläufen entwickelt (siehe dazu auch die Interpretation zu Nadine, 192ff. im Teil Bildverständlichkeit, 10.2.1.2). Zur Beziehung der Denkfiguren Gleichgewicht und Kreislauf bietet das Schulbuch hier keine leitende Struktur.

Im Vergleich zum anschließend im Text beschriebenen globalen Kohlenstoffkreislauf bleibt die im ersten Textteil an die Schülerin herangetragene Vorstellung auf der Ebene von Teilprozessen innerhalb des Speichers Landlebewesen (im Text mit Vegetation benannt). Demgegenüber verwendet die Schülerin in ihren Ausführungen den Text zum Kohlenstoffkreislauf betreffend die Termini Speicher und Stoffflüsse (Nadine, 107ff.), spricht aber mit Bezug auf den Text nicht mehr von Kreislauf. Die kognitive Struktur des Textes mit seiner Aufteilung in einen allgemeinen Teil mit Bezügen zu Stoffflüssen in Stoffkreisläufen und die Einführung des Speichermodells im zweiten Teil, der sich konkret auf den Kohlenstoffkreislauf bezieht und auf die Wiederaufnahme des Kreislauf-Schemas verzichtet führt dazu, dass die Schülerin die jeweils an sie herangetragenen Vorstellungen nicht zu einem durchgängigen Denkpfad verbindet.

### **Wiederholungen sind von ähnlichen Aussagen zu scheiden**

Untersuchungen zur Textverständlichkeit haben gezeigt, dass das Vorkommen von Wiederholungen, die semantischer Redundanz, Einfluss auf das Lernen hat. Texte mit mittlerer semantischer Redundanz und mittlerer Informationsdichte haben sich als gut verständlich und nicht zu langweilig erwiesen (Groeben & Christmann 1990). Die Inhalte solcher Texte werden besonders gut behalten (Dieter 2007). Auch wenn kein Idealmaß präzise definiert werden kann (vgl. Kapitel 4), so kann doch untersucht werden, wieweit aus den Äußerungen der Schülerin beim Bearbeiten des Textes diesbezüglich Probleme oder wirksame Hilfen erkennbar werden.

Ansonsten geht es eigentlich hauptsächlich um anorganische Verbindungen, die in körpereigene Substanz umgewandelt werden. Und das geht natürlich, das wandert dann durch diese verschiedenen Stufen, durch die Nahrungskette und das würde ich dann so verstehen, dass wenn jetzt ein kleines Tier diesen Stoff umgewandelt hat, dass da ein größeres Tier das frisst, dann besitzt das größere Tier die Energie. (Nadine, 59–63)

Der letzte Satz besagt, dass die Landoberfläche hauptsächlich durch Fotosynthese diese CO<sub>2</sub>-Bindung oder diese Bilanz oder diesen Austausch macht und es gibt auch eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch die Dissimilations-Prozesse, sodass es dort ausgeglichen wird. (Nadine, 97–101)

Die Vorstellung von Stoffweitergabe wird im Text aus unterschiedlichem Blickwinkel wiederholt:

- zuerst allgemein (Stoffe im Ökosystem): „Dieser Stofffluss beginnt mit den autotrophen Organismen, die anorganische Verbindungen in körpereigene Substanz umwandeln. Über die verschiedenen Konsumenten-Stufen setzt sich der Transport durch die Nahrungskette fort.“
- dann das Element Kohlenstoff: „Es wird als CO<sub>2</sub> bei der Fotosynthese von den grünen Pflanzen eingebaut.“
- und schließlich nach Einführung der Speicher: „Die Landoberfläche einerseits und die Meeresoberfläche andererseits stehen jeweils mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch.“

In Äußerungen zum Gelesenen paraphrasiert die Schülerin im Wesentlichen den Text. Das bedeutet, weder im Schulbuchtext noch in den Aussagen der Schülerin werden Vorstellungen explizit wiederholt bzw. auf der Basis der Wiederholung weiterentwickelt in den drei hier angedeuteten Stufen: zuerst Fluss von Kohlenstoff innerhalb eines Speichers, dann Fluss von einem Speicher in einen anderen und zum Schluss die Darstellung des Gesamtsystems aus drei Speichern und den Kohlenstoffflüssen. Das Erkennen des Zusammenhangs wird auch dadurch erschwert, dass Termini nicht entsprechend wiederholt, sondern solche mit ähnlicher aber nicht gleicher Bedeutung verwendet werden: Assimilation, bei der Fotosynthese eingebaut, Austausch (vgl. Kapitel 11.4). Das entspricht nicht dem Konzept der semantischen Redundanz (Groeben 1982).

### **Vorhandene Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen**

Das Grundprinzip kannte ich vorher. Vielleicht das mit diesen Gigatonnen, diese Beträge. ... Ansonsten gab es da eigentlich nichts Neues, außer dass das Sedimentgestein nicht so eine große Rolle als CO<sub>2</sub>-Quelle spielt, weil wir das damals ziemlich intensiv behandelt hatten, dass das Verbrennen dieser Rohstoffe ganz schlecht ist für den CO<sub>2</sub>-Haushalt, dass es den durcheinander bringt. Ich habe das halt in einer anderen Rolle gesehen oder hatte das als eine andere Rolle gelernt. Vom Prozess her war eigentlich nichts dabei, was ich nicht schon kannte. (Nadine, 381–389)

Wir hatten das damals so gelernt: Im Kalkgebirge regnet Wasser herunter, Kohlenstoff wird gelöst, landet dann im Wasser und geht dann in diesen alten Kreislauf [sie meint Kalkkreislauf]. So hatten wir den Kohlenstoffkreislauf gelernt. Ich wäre nicht so eingegangen auf Vegetation, Atmosphäre, oberste Wasserschicht. Ich hätte dann eher den alten Kreislauf, so wie wir das damals vereinfacht, ganz schematisch gelernt hatten, so hätte ich das dann erklärt. (Nadine, 399–404)

Die Schülerin kannte aus früherem Unterricht (Chemie) den natürlichen Kalkkreislauf. Kohlenstoffdioxid und Kalk (Sedimentgestein) kommen im Kohlenstoff- und im Kalkkreislauf vor. Die im Kalkkreislauf zusammengestellten anorganischen Reaktionen können als kleiner Teil des globalen Kohlenstoffkreislaufs aufgefasst werden. Entsprechend der Reihenfolge des Kennenlernens geht die Schülerin anders vor. Sie versucht, das neu Kennengelernte in ihre bisherigen Vorstellungen zu integrieren. Die Auswirkungen des Verbrennens fossiler Brennstoffe (Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre) bestehen im Kalkkreislauf in der verstärkten Hydrogencarbonat-Bildung und entsprechend verstärkter Auswaschung von Kalkgestein. Die Schülerin bestätigt auf Nachfrage die oben genannte Interpretation:

Nein, es gibt nicht zwei Kreisläufe. Den, den ich damals gelernt habe, das ist, denke ich, nur ein Teil von diesem Kohlenstoffkreislauf. Das hatte mehr mit Wasser zu tun. Dadurch kann man sich das besser vorstellen, auch wenn man jünger ist, dass da der Stoff gelöst wird aus dem Kalk. Man kann sich das einfach besser vorstellen als wenn man sagt, da atmet eine Pflanze und gibt das ab und dann kommen die Tiere. (Nadine, 405–411)

Obwohl Nadines erster Satz den Zusammenhang fachlich korrekt enthält, hat sie inhaltlich keine entsprechende Vorstellung zur Beziehung der beiden Kreisläufe. Die didaktische Struktur im Schulbuch hilft ihr nicht, ihre Vorstellungen zum Kalkkreislauf fachlich angemessen mit denen vom globalen Kohlenstoffkreislauf zu verbinden. Auch die Tatsache, dass Nadine nicht zwischen Kalkstein (fossilem Kalk) und fossilen Brennstoffen (organische Verbindungen) unterscheidet, stützt diese Annahme.

### **10.2.1.2 Bildverständlichkeit**

Bei der Abbildung im untersuchten Schulbuchinhalt handelt es sich um ein informierendes Bild (Weidenmann 1994b) bzw. instruktionales Bild (Schnotz 1994). Die Analyse bezüglich verstehensfördernder bzw. -hemmender Wirkungen der Abbildung orientiert sich in ihrer Gliederung an den von Weidenmann vorgeschlagenen Kategorien: Konstruktionsfunktion, Aktivierungsfunktion, Fokusfunktion und Ersatzfunktion (Weidenmann 1994a). Er strebt jedoch keine bildtheoretische Analyse an, sondern stellt eine Untersuchung der Vorstellung anbietenden Wirkungen anhand der Äußerungen der Schülerin in der Lernsituation aus fachdidaktischer Perspektive dar (vgl. 10.1.2).

#### **Logische Bilder setzen Elemente zueinander in Beziehung**

Logische Bilder können helfen, mentale Modelle aus neuen und bereits bekannten Elementen zusammenzusetzen und so eine neue Wissensstruktur zu konstruieren (Konstruktionsfunktion).

Bei dem Diagramm hier unten war mir am Anfang, als ich den Text noch nicht gelesen hatte, nicht klar, was das darstellen soll, aber im Nachhinein, als ich den Text gelesen hatte, ist das Diagramm eigentlich auch sehr gut und sehr schematisch dargestellt, aber schematisch in einem positiven Sinn, sodass man das eigentlich auch sehr gut verstehen kann. (Nadine, 105–109)

Die Äußerung der Schülerin lässt erkennen, dass sie den Eindruck hat, anhand der Abbildung Orientierung bezüglich der Zusammenhänge der im Text enthaltenen Aussagen zum Kohlenstoffkreislauf erlangt zu haben. Nadines Aussage macht auch deutlich, dass die Abbildung ohne den Text für sie unverständlich war. Nach dem Lesen des Textes bietet sie jedoch die Möglichkeit, die vielen im Text linear angebotenen Informationen auf einmal simultan in den Blick zu nehmen (Choppin 1992).

#### **In einer logischen Struktur können zusätzliche Informationen verankert werden**

Die Grundstruktur der Abbildung besteht aus Quadern und Pfeilen zwischen ihnen als Repräsentanten von Kohlenstoffspeichern und zwischen ihnen stattfindenden Kohlenstoffflüssen, deren Ursachen durch die Gestaltung der Pfeile und eine Legende codiert sind. In diese Struktur sind Zahlen eingefügt, einerseits in den Quadern und andererseits an den Pfeilen. Die Legende in der Bildunterschrift („Angaben in Gigatonnen C pro Jahr“) kann sich allerdings nur auf die Zahlen an den Pfeilen beziehen (Flussraten), nicht auf die Speicherinhalte, deren Masse als unterschiedliche Größe der Speicher codiert ist.

Man sieht an den Werten, dass zwischen der Dissimilation und der Fotosynthese der Wert gleich groß ist, das gleiche auch beim Meer. (Nadine, 142–143)

Die Zahl da dran, das muss ich ehrlich sagen, habe ich nicht ganz verstanden. Die Angaben in Gigatonnen heißen wohl, dass dieser Wert beim Kohlenstoffgehalt irgendeine Rolle spielt. Ich denke, wenn der Pfeil von Land zum Beispiel in die Atmosphäre geht, ... dass womöglich dann diese Kapazität vom Land in die Atmosphäre gelangt als Kohlenstoffgehalt. (Nadine, 159–164)

Nadine erschließt die Bedeutung der Zahlen an den Pfeilen (Flussraten) aus der Abbildung. Ihre Wortwahl lässt erkennen, dass sie sich nicht auf die Legende bezieht, sondern ein allgemeines Deutungsschema anwendet: Pfeil heißt Bewegung/Übergang (s.u.), die damit verbundene Zahl ist eine quantitative Angabe, d.h. eine bestimmte Masse („Kapazität“) geht von A nach B. Die Ausdrucksweise der Schülerin zeigt, wie oben auch für den Text erkannt, dass auch die Abbildung nicht die Wörter für die Bezeichnung der Elemente bereitstellt.

### **Vorstellungen sind nicht beliebig kombinierbar**

Die Bezeichnung für das Gesamtgefüge Kohlenstoffkreislauf und die Ausgeglichenheit von Stoffflüssen im Sinne von Gleichgewicht rufen jeweils verkörperte Vorstellungen auf. Wir verfügen jedoch nicht über eine verkörperte Vorstellung, die beide kombiniert.

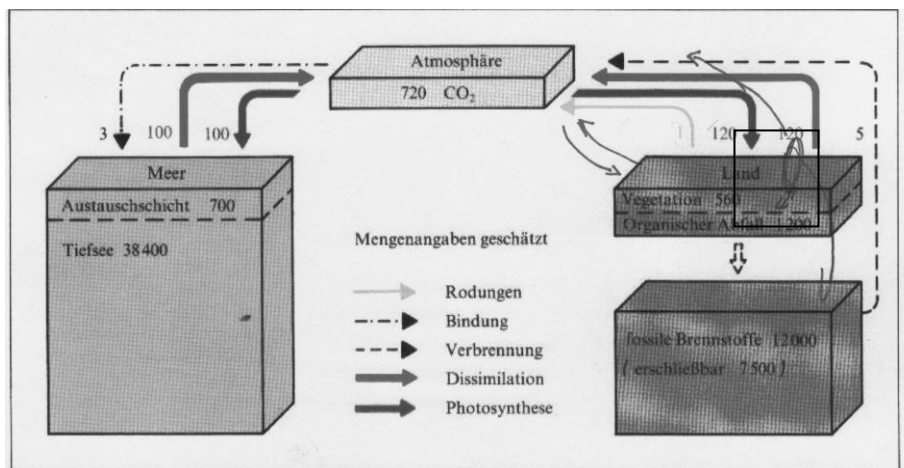
Wenn der Speicher jetzt von der Atmosphäre zum Land geht oder ans Meer denke ich mal, dass diese Menge von 100 Gigatonnen und hier 120 von der Atmosphäre als Stoff in das Land gehen oder in die Vegetation und dann in das Meer. Das zeigt dann auch eine Art Kreislauf. Die Atmosphäre gibt Kohlenstoff an das Land, an das Meer ab, kriegt aber auch im Gegensatz dazu was zurück vom Land oder von dem Meer. (Nadine, 164–169)

Die Aussagen der Schülerin zu den Kohlenstoffflüssen weisen auf eine Vorstellung von wechselseitigem Geben und Nehmen. Geber und Nehmer sind zwei Speicher (Atmosphäre/Meer bzw. Atmosphäre/Vegetation), die Gabe ist CO<sub>2</sub>. Qualitativ kann sich das Geben und (wieder) Bekommen immerwährend fortsetzen. Die Formulierung „eine Art Kreislauf“ kann so verstanden werden, dass ihr Konzept zu Kreislauf und das hier dargestellte nicht ganz übereinstimmen. Quantitativ weisen die gleich großen Zahlenwerte für die Zu- und Abflüsse auf einen Gleichgewichtszustand. Die folgenden Äußerungen und der Eintrag in die Abbildung lassen den Schluss zu, dass sie sich anstelle eines Gleichgewichts der Flüsse zwischen zwei Speichern einen „kleinen Kreislauf“ innerhalb des großen vorstellt.

Vor allem diese Pfeile, die drücken diesen Kreislauf eigentlich sehr gut aus. (Nadine, 111)

Eigentlich ist es ja so, dass wir, die Pflanzen und die Atmosphäre einen eigenen, kleinen Kreislauf innerhalb des großen Kreislaufs darstellen. Wir müssen uns auch auf Land befinden, also müssten wir hier irgendwo sein (zeigt auf die Abbildung oben rechts). Das passiert hier bei Vegetation, ich nehme mal eben den Stift, die nehmen jetzt hier CO<sub>2</sub> auf aufgrund der Atmung. Wenn sich ein Tier von einer Pflanze ernährt, nimmt es dieses CO<sub>2</sub> auf und wir lagern zwar teilweise was ab, atmen das aber aus durch die Atmung und dann haben wir hier einen eigenen, kleinen Kreislauf [zeichnet in die Abbildung Pfeile ein, siehe Abbildung 10.2.1.2.1]. (Nadine, 284–296)

Wenn bezüglich einer grafischen Darstellung von Inhalten verschiedene mentale Modelle repräsentiert werden können, ist zu fragen, welches Modell dies am effektivsten leistet (Schumann & Müller 2000). Die Äußerungen der Schülerin zeigen, dass hier die Vorstellung der Gleichgewichte dominiert, die sie als „kleine Kreisläufe“ benennt.



72.3. Kreislauf des Kohlenstoffs (Angaben in Gigatonnen C pro Jahr)

- Eintrag der Schülerin  
entsprechend dem  
unten stehenden  
Schema



Abb. 10.2.1.2.1: Darstellung zum Kohlenstoffkreislauf aus dem vorgelegten Material mit Eintragungen der Probandin

### Eine Abbildung kann bei Lernenden vorhandene Vorstellungen und Schemata aktivieren

Die Fähigkeit eines Bildes, Vorstellungen an Lernende heranzutragen oder vorhandene zu aktivieren, wird besonders dann deutlich, wenn keine inhaltliche Entsprechung in textlicher Form vorhanden ist. Dies trifft im konkreten Beispiel bezüglich der anthropogenen Kohlenstofffreisetzung zu. Der Schulbuchtext trägt zwar das Thema Kohlenstoffkreislauf an die Schülerin heran, es finden sich dort zu anthropogenen Kohlenstoffdioxidfreisetzungen jedoch keine Ausführungen. Die Schülerin verfügt aber über Vorstellungen, die in diesem Kontext von Bedeutung sind.

Man sieht hier auch, dass durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen auch  $\text{CO}_2$  frei wird, weil  $\text{CO}_2$  beziehungsweise Kohlenstoff in diesen Fossilien enthalten ist, weil das vorher Lebewesen waren, und durch diese Verbrennung gelangt es direkt in die Atmosphäre. (Nadine, 124–127)

Man sieht, dass Rodungen der Vegetation oder des Waldes auch einen Einfluss auf die Atmosphäre haben, weil dadurch diese Interaktion jetzt meiner Meinung nach gestört ist. (Nadine, 128–130)

Durch die Darstellung eines Speichers „fossile Brennstoffe“ und eines gestrichelten Pfeils zum Speicher Atmosphäre (Legende: Verbrennung) aktiviert die Schülerin in anderen Kontexten erworbene Vorstellungen zur Verbrennung fossiler Brennstoffe. Gleiches gilt für den Pfeil in der Abbildung mit der Legende Rodungen. Durch die Abbildung kann Nadine es in den Kontext Kohlenstoffkreislauf integrieren, indem sie schlussfolgert, welche Auswirkungen das jeweils auf die Kohlenstoffgehalte der Speicher hat. Dies kann auch als Beispiel dafür verstanden werden, dass in einer logischen Struktur weitere Informationen verankert werden können (s.o.).

Ein weiteres Beispiel in diesem doppelten Sinne ist die Einbindung der Entstehung der fossilen Brennstoffe. Im rechten Teil der Abbildung ist sie stark vereinfacht dargestellt (Abbildung 10.2.1.2.1). Nadine äußert zu diesem Abbildungsteil:

Es kann natürlich sein, dass jetzt ein größeres Tier kommt und das kleinere frisst, und dann hat der den Kohlenstoff und lagert den in seinen Knochen ab und wird wieder Opfer von irgendwas oder stirbt ab und wird organischer Abfall. Da wird es dann irgendwo unten ein Fossil, das kann natürlich auch sein (zeigt im rechten Teil der Abbildung von oben nach unten). (Nadine, 308–311)

Der Pfeil vom Speicher Land in Richtung des Speichers Fossile Brennstoffe ist nicht in einer Legende erklärt. Die Schülerin beschreibt nicht die fachlich angemessene Vorstellung der Umwandlung überwiegend pflanzlicher Biomasse, sondern bei ihr vorhandene Vorstellungen von der Fossilisation von Tieren.

### **Grafische Elemente können verkörperte Vorstellungen aufrufen**

Wenn Vorwissen oder ein mentales Modell nicht vorhanden sind, können bildliche Darstellungen ein Ersatz sein, an den gedanklich angeknüpft werden kann. Im einfachsten Fall kann in einem Biologiebuch ein Lebewesen dargestellt sein, das die Lernenden nicht kennen. In der hier betrachteten Abbildung kann die räumliche Darstellung der Kohlenstoffspeicher als Quader auf die verkörperte Vorstellung eines Behälters weisen. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Kapitel 4) kann erwartet werden, dass auf Erfahrungen beruhende Vorstellungen zum Behälterschema beim Verständnis des Lerngegenstands Kohlenstoffspeicher im Kohlenstoffkreislauf genutzt werden können. Das gleiche Prinzip gilt für die Aktivierung von Vorstellungen zu früheren Unterrichtsinhalten. Die Auswertung von Nadines folgenden Äußerungen zum Speicher Meer zeigt, dass ein (hier nicht realisierter) Einsatz eines Bildelements Nadine vermutlich das Verständnis erleichtert hätte.

Man sieht, dass die Werte zwischen der Dissimilation und der Fotosynthese gleich groß sind, wie auch beim Meer. Dass durch Fotosynthese – ich denke Wasserpflanzen sind gemeint, die ja eigentlich nicht in der obersten Schicht sind, wobei dann womöglich die Tiere sich von dem CO<sub>2</sub> nehmen, wobei ich jetzt gedacht hätte, dass das eher ausgestoßen wird vom Meer, dieses CO<sub>2</sub>, weil die Tiere atmen das ja aus. Und in der Tiefsee, da sind ja eigentlich die Pflanzen, sofern da überhaupt welche vorhanden sind. Das ist ja ziemlich tief, das ist da ein bisschen schwer zu verstehen. Ich weiß nicht, ob ich da jetzt irgendwo dagegen laufe, aber vielleicht sind damit auch die höheren Gegenden im Meer oder Algen vielleicht gemeint, die CO<sub>2</sub> aufnehmen. (Nadine, 142–150)

Nach Nadines Vorstellung wachsen Pflanzen „normalerweise“ auf dem Boden. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens muss man geradezu erwarten, dass Lernende diese verkörperte Vorstellung auf das Wachstum von Pflanzen im Meer übertragen. Die Schülerin gerät in einen kognitiven Konflikt, da sie weiß, dass Pflanzen Licht benötigen und Licht den Boden der Tiefsee nicht erreicht. Sie kann ihre erkennbare Irritation überwinden, indem sie flache Meeresbereiche beziehungsweise Algen in ihre Überlegungen einbezieht. Die Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf in diesem Buch verzichtet – im Gegensatz zu den meisten anderen Werken – vollständig auf piktogrammhaftere Darstellungen von Kohlenstoff aufnehmenden oder abgebenden Organismen, die der Schülerin Möglichkeiten geboten hätten, die dargestellte theoretische Ebene mit der Ebene der konkreten Lebewesen angemessen zu verbinden. In diesem konkreten Fall ist zu vermuten, dass die Darstellung von grünen Algen und entsprechenden Konsumenten für die Schülerin hilfreich gewesen wäre. Dabei ist zu bedenken, dass die Abbildung nicht zu detailreich und dadurch unübersichtlich wird. Alternativ könnten die Bezeichnungen der Speicher so erweitert werden, dass der Bezug zu den dort vorkommenden Lebewesen angegeben ist: Meer/Austauschschicht mit marinen Produzenten, Konsumenten und Destruenten bzw. Land/Landlebewesen mit dort vorkommenden Produzenten, Konsumenten und Destruenten (s.u.).

Das abstrakte logische Bild verzichtet nicht nur auf die Darstellung von Lebewesen, sondern wählt auch bei den Bezeichnungen der Speicher und in der Legende bezüglich der Kohlenstoffflüsse Termini, die nicht (Meer, Austauschschicht, Tiefsee, Atmosphäre, Land, Bindung,



Verbrennung) oder nur indirekt (Vegetation, organischer Abfall, fossile Brennstoffe, Rodungen, Dissimilation, Fotosynthese) auf Lebewesen verweisen. Erst eine Intervention (Welchen Weg könnte ein Kohlenstoffatom aus der Atmosphäre nehmen?) veranlasst die Schülerin, die Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Kohlenstoff auf organischer Ebene zu betrachten.

Es könnte passieren, dass das zum Beispiel eine Pflanze aufnimmt. Die atmet dieses CO<sub>2</sub> ein. Es kann sein, dass es abgelagert wird in den eigenen Zellen. Dann kann ein Tier kommen, sich von dieser Pflanze ernähren und dadurch, dass die Pflanze diesen Kohlenstoff gespeichert hat, nimmt es das selbst auf und – vor allem bei Wirbeltieren – wird es im Skelett abgelegt. ...Wenn wir dieses Tier essen, dann besitzen wir diesen Kohlenstoff. Es kann auch dazu kommen, dass wir, wenn wir jetzt Sauerstoff einatmen, wir dieses CO<sub>2</sub> dann wieder ausatmen. Da geben wir wieder diesen Kohlenstoff ab. Eigentlich ist es ja so, dass wir, die Pflanzen und die Atmosphäre einen eigenen kleinen Kreislauf innerhalb des großen Kreislaufs darstellen. (Nadine, 274–286)

Als weiteres Beispiel für das Aufrufen verkörperter Vorstellungen können die Pfeile in der Abbildung aufgefasst werden. Im Gegensatz zur Linie, die „Trennlinie“ oder Verbindung („Leine“) verkörpern kann, erhält der Pfeil durch die Spitze den Zusatz Richtung: Pfeil heißt Bewegung/Übergang in eine Richtung.

### 10.2.1.3 Text-Bild-Verschränkung

In diesem Teil der Untersuchung soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit Text- und Abbildungsteil des Schulbuchinhalts sich gegenseitig in ihrer beim Lernenden Vorstellungen ermöglichenden Wirkung fördern oder behindern. Dazu werden die zum Textverstehen und Abbildungsverstehen gewonnenen Erkenntnisse in Beziehung gesetzt.

#### **Die Übersichtsgrafik bietet Orientierung zu den im Text dargestellten Aspekten**

Die folgende Äußerung der Schülerin gibt nicht nur ihre eigene Einschätzung der Verständlichkeit der Abbildung wieder, sondern entspricht auch ihrem Vorgehen. Sie liest zuerst den Text und versucht dann, diesen mithilfe der Abbildung besser zu verstehen.

Bei dem Diagramm hier unten war mir am Anfang, als ich den Text noch nicht gelesen hatte, nicht klar, was das darstellen soll, aber im Nachhinein, als ich den Text gelesen hatte, ist das Diagramm eigentlich auch sehr gut und sehr schematisch dargestellt, aber schematisch in einem positiven Sinn, sodass man das eigentlich auch sehr gut verstehen kann. (Nadine, 105–109)

Schematische Vereinfachungen empfindet Nadine als hilfreich. Von der Abbildung erwartet sie, dass diese ihr – vergleichbar mit einer Landkarte – bei der Ordnung und Systematisierung der Einzelinformationen hilft (Konstruktionsfunktion). Dazu homologisiert Nadine Teile der Abbildung und Textpassagen:

Die Atmosphäre steht in Verbindung einmal mit dem Meer (zeigt auf Abbildung links) und mit dieser Austauschschicht, also diese oberste Meeresschicht, die als Kohlenstoffspeicher fungiert und wir haben das Land (zeigt auf Abbildung rechts). Und da haben wir zwei Arten, die Kohlenstoff freigeben. (Nadine, 115–118)

Die entsprechende Textpassage lautet: „Die Landoberfläche einerseits und die Meeresoberfläche andererseits stehen jeweils mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch.“

### **Text und Abbildung sollten in ihren Aussagen zueinander passen**

Text und Abbildung stimmen in der Darstellung der Speicher Atmosphäre, Meeresoberfläche und Land(oberfläche) überein, wobei der Text synonym Vegetation und Landoberfläche verwendet, während die Abbildung Land unterscheidet in Vegetation und organischen Abfall. Der in der Grafik dargestellte Speicher Fossile Brennstoffe wird im Text nicht erwähnt. Unterschiede stellen nach Nadines Aussagen für sie eine Hürde beim Verstehen dar (Nadine, 280, 290).

### **Übereinstimmung zwischen Text und Abbildung kann auch bedeuten, dass sie die gleichen Schwächen aufweisen**

Die geringe Bedeutung der Sedimentgesteine für den Kohlenstoffkreislauf wird im Text nicht erklärt (vgl. Textverständlichkeit). Stattdessen wird (fachlich ungenau) Bedeutungslosigkeit postuliert.

Was mich sehr verwundert hat, dass diese großen Kohlenstoffvorräte in den Sedimentgesteinen gar keine CO<sub>2</sub>-Quelle sind. (Nadine, 87–88)

Die Abbildung trägt einige Aspekte des Kohlenstoffkreislaufs an die Schülerin heran, die nicht im Text dargestellt sind. Konsequenterweise hätte der im Text genannte (wenn auch nicht so bezeichnete) vierte Kohlenstoffspeicher Sedimentgestein ebenfalls in der Grafik dargestellt werden können. Seine geringe Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf ließe sich an der geringen Flussraten (Zahlen am Pfeil) erkennen.

Die Atmosphäre steht in Verbindung einmal mit dem Meer (zeigt auf Abbildung links) und mit dieser Austauschschicht, also diese oberste Meeresschicht, die als Kohlenstoffspeicher fungiert und wir haben das Land (zeigt auf Abbildung rechts). Und da haben wir zwei Arten, die Kohlenstoff freigeben. Einmal war das ja diese Vegetation, das war ja ein großer Speicher *und einmal waren das diese organischen Abfälle, die aber so gesehen keine CO<sub>2</sub>-Quelle sind. Das war das mit diesem Sedimentgestein, weil ja organischer Abfall, der ja nach unten in die Erde weiter heruntergeht und dann ja schließlich als Fossilien endet.*\* Man sieht hier auch jetzt, diese Bindung ist durch diese gestrichelte Linie dargestellt. Man sieht da diese Bindung zum Meer, zur obersten Schicht des Meeres und der Atmosphäre. Das erklärt auch, dass durch Verbrennung von diesen fossilen Brennstoffen CO<sub>2</sub> frei wird, weil ja CO<sub>2</sub> beziehungsweise Kohlenstoff ist in diesen Fossilien enthalten, weil das ja vorher Lebewesen waren und durch diese Verbrennung gelangt es direkt in die Atmosphäre. Es gelangt nicht in die Erde oder in das Meer, sondern direkt in die Atmosphäre, weil das ja Gase sind, die ausgestoßen werden. Man sieht, dass Rodungen der Vegetation oder des Waldes auch einen Einfluss auf diese Atmosphäre hat, weil durch diese Interaktion jetzt gestört ist, weil wenn Vegetation weniger da ist, heißt das, dass dieses Gleichgewicht von Atmosphäre und Land, dieser Austausch nicht mehr so gut stattfinden kann, weil es nicht mehr genug Fotosynthese gibt. (Nadine, 115–132)

\* zur kursiv gesetzten Aussage siehe „Die Abbildung kann auch Fehlvorstellungen stützen“.

Die Schülerin ordnet den Pfeilen Vorgänge bzw. Erklärungen zu, die sie aus dem Text bzw. aus ihrem Vorwissen kennt. Den Pfeil vom Speicher Atmosphäre zum Speicher Meer erklärt sie nicht. Insofern kann die Abbildung die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘, die implizit in ihr enthalten ist, nicht an die Schülerin herantragen. Hier hätte es einer Stützung durch den Text bedurft.

## Die Abbildung kann auch Fehlvorstellungen stützen

...und einmal waren das diese organischen Abfälle, die aber so gesehen keine CO<sub>2</sub>-Quelle sind. Das war das mit dem Sedimentgestein, weil organischer Abfall, der nach unten in die Erde weiter heruntergeht und dann ja schließlich als Fossilien endet. (Nadine, 119–122)

Diese Ausführungen zeigen, dass Nadine zur Erklärung der Bedeutung des organischen Abfalls nicht auf den einleitenden Text zurückgreift („Durch die Zersetzung organischen Abfalls entstehen anorganische Verbindungen, die dann wieder durch die Produzenten als Ausgangsmaterial genutzt werden können.“), in der Abbildung dem Pfeil von organischem Abfall zu fossilen Brennstoffen folgt, aber statt der Kohlebildung die Entstehung von fossilem Kalk denkt. Die Kohlenstofffreisetzung aus Vegetation und organischem Abfall ist in der Grafik zusammenfassend nur durch einen Pfeil dargestellt. Auch dies erschwert möglicherweise die Gewinnung von Vorstellungen aus diesem Abbildungsteil.

Wenn der Speicher jetzt von der Atmosphäre zum Land geht oder ans Meer, denke ich mal, dass diese Menge von 100 Gigatonnen und hier 120 von der Atmosphäre als Stoff in das Land gehen oder in die Vegetation und dann in das Meer. Das zeigt dann auch eine Art Kreislauf. Die Atmosphäre gibt Kohlenstoff an das Land, an das Meer ab, kriegt aber auch im Gegensatz dazu was zurück vom Land oder von dem Meer. (Nadine, 164–169)

Wie zum Bildverstehen ausgeführt (s.o.), entwickelt die Schülerin anhand der Abbildung keine Vorstellung vom Kohlenstoffkreislauf („großer Kreislauf“). Der Text enthält – wie die Abbildung – Aussagen zu Übergängen zwischen einzelnen Speichern. Die Aussage: „Es ergibt sich so in der Biosphäre ein Kreislauf der Materie.“ kann bei der Schülerin nicht die Vorstellung von einem globalen Kohlenstoffkreislauf im Sinne von Start-Weg-Ziel mit Ziel = Start aktivieren. Der Text stützt eher die Vorstellung von einzelnen Gleichgewichten:

Auszug aus dem Schulbuchtext: „Die Landoberfläche einerseits und die Meeresoberfläche andererseits stehen jeweils mit der Atmosphäre im CO<sub>2</sub>-Austausch; dabei ist die Bilanz zwischen CO<sub>2</sub>-Bindung durch Fotosynthese und CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Dissimilationsprozesse ausgeglichen.“

### 10.2.1.4. Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse (Kapitel 7)

Die Analyse der Schulbuchinhalte zeigte, dass im Text des allgemeinen Teils Stoffkreisläufe als Transport von Stoffen auf einem Weg dargestellt sind, der immer wieder am Ausgangspunkt ankommt, während Text und Abbildung zum Kohlenstoffkreislauf diesen als System aus Speichern und Kohlenstoffaustausch zwischen ihnen darstellten. Dies führte zum Aufstellen folgender Hypothese:

- *Im Schulbuchinhalt nicht erklärte Wechsel der „Vorstellungsebenen“ erschweren das Verstehen.*

Diese Hypothese hat sich im Interview bestätigt. Die Schülerin folgt dem Material und überträgt die Vorstellung vom Kreislauf aus dem allgemeinen Textteil nicht auf die Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf und nicht auf die Abbildung. Die Beschreibung des wechselseitigen Austauschs zwischen zwei Speichern als „kleinen Kreislauf“ kann als Versuch verstanden werden, das u.a. von der Zwischenüberschrift Kohlenstoffkreislauf vorgegebene Kreislauf-Schema an den entsprechenden Inhalt heranzutragen. Das Zusammenführen der Vorstel-

lungen zu Kreislauf und Speichern/Austausch gelingt Nadine nicht (siehe Ausführungen zu Bildverständlichkeit und Text-Bild-Verschrankung).

Der Verzicht auf die Darstellung von Lebewesen in der Abbildung führte zum Aufstellen folgender Hypothese:

- *Piktogramme können durch das Aktivieren von Alltagsvorstellungen (oder auch fachlichen Vorstellungen) das Verstehen von abstrakten logischen Bildern oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.*

Die folgenden Aussagen der Schülerin können zu ihrer Überprüfung herangezogen werden:

Man sieht, dass die Werte zwischen der Dissimilation und der Fotosynthese gleich groß sind, wie auch beim Meer. Dass durch Fotosynthese – ich denke Wasserpflanzen sind gemeint, die ja eigentlich nicht in der obersten Schicht sind, wobei dann womöglich die Tiere sich von dem CO<sub>2</sub> nehmen, wobei ich jetzt gedacht hätte, dass das eher ausgestoßen wird vom Meer, dieses CO<sub>2</sub>, weil die Tiere atmen das ja aus. Und in der Tiefsee, da sind ja eigentlich die Pflanzen, sofern da überhaupt welche vorhanden sind. Das ist ja ziemlich tief, das ist da ein bisschen schwer zu verstehen. Ich weiß nicht, ob ich da jetzt irgendwo dagegen laufe, aber vielleicht sind damit auch die höheren Gegenden im Meer oder Algen vielleicht gemeint, die CO<sub>2</sub> aufnehmen. (Nadine, 142–150)

Nadine versucht, die CO<sub>2</sub>-Aufnahme bzw. -abgabe durch die Austauschschicht der Meere zu erklären. Im Unterricht werden meist Landökosysteme ausführlicher besprochen. Die Aussagen zeigen, dass Nadine zuerst versucht, Vorstellungen aus diesem Kontext zu übertragen und dabei an sessile Pflanzen denkt, bevor sie Fotosynthese betreibende Algen in ihre Überlegungen einbezieht. Es kann vermutet werden, dass die Darstellung von Pflanzen und Tieren Nadine die Erklärung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme bzw. -Abgabe durch Meere erleichtert hätte. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann erwartet werden, dass Hilfen bei der Vorstellungsbildung oder -änderung besonders dann sinnvoll sind, wenn vorhandene Vorstellungen der Lernenden in einem neuen Kontext fehlleiten.

Ein weiteres mögliches Beispiel für die hilfreiche Wirkung von Darstellungen von Lebewesen in abstrakten Schemata zu biologischen Zusammenhängen kann aus Nadines Ausführen zu den fossilen Brennstoffen abgeleitet werden. Mit „fossil“ assoziiert Nadine Fossilien/Knochen (Nadine 122ff, 308ff). Man kann vermuten, dass z.B. die Darstellung von in Kohle erkennbaren Pflanzenteilen ihr bei der Unterscheidung geholfen hätte. „Fossile Brennstoffe“ ist eine verbreitete Bezeichnung, aber ungenau. Es handelt sich um organische und anorganische Kohlenstoffverbindungen, wobei die anorganischen ebenfalls von Lebewesen stammen.

#### **10.2.1.5. Zusammenfassung**

Die Schülerin drückt ihre persönliche Meinung über das Lernangebot zum Kohlenstoffkreislauf nach dem Durchlesen des Textes und Betrachten der Abbildung so aus:

Insgesamt kannte ich das Thema. Was mir halt gefallen hat war, dass das nicht zu oberflächlich dargestellt ist. Es ist auch ein bisschen Information da, die mich jetzt überrascht hat, worüber ich nicht Bescheid wusste. (Nadine, 103–105)

Auf die Frage des Interviewers, was sie gut oder schlecht verstanden hat, antwortet Nadine:

Also ich habe da jetzt nicht viel Probleme gehabt, das zu verstehen, aber mich irritiert immer noch das mit diesem Dissimilationsprozess. Ich kann mir, ehrlich gesagt, immer noch nicht wirklich viel darunter vorstellen. Ansonsten hatte ich eigentlich nicht viele Probleme, das zu verstehen. Also, hoffentlich liege ich nicht falsch damit. (Nadine, 360–363)

Aus der Sicht des Interviewenden überschätzt die Probandin den Lernerfolg. Sie hat Bezüge zu früheren Lerninhalten erkannt, diesen aber an vielen Stellen nicht fachlich angemessen mit den an sie herangetragenen neuen Aspekten verbinden können. Das Schulbuch hat jedoch ermöglicht, dass die Schülerin ihre Vorstellungen zumindest teilweise den fachwissenschaftlich geklärten annähern konnte. (vgl. Kapitel 9.2.1.1.3).

Der *Text* weist eine hohe Informationsdichte auf. Das zeigt sich auch an der Verwendung von 15 im Text nicht erklärten Fachtermini, die jeweils mehr oder weniger komplexe Konzepte repräsentieren. Zu den Fachtermini Dissimilation und autotroph kann die Schülerin keine adäquate Vorstellungen konstruieren und somit nicht für das Verständnis der folgenden Ausführungen nutzen. Satzbau und andere stilistische Merkmale, wie Fremdwortgebrauch, Bezüge zwischen den Sätzen etc. erscheinen angemessen. Der Text stellt nicht konsequent das Speicher-Fluss-Schema in den Mittelpunkt. Der erste Teil des Textes (die ersten beiden Absätze) enthalten allgemeine Aussagen zu Stoffkreisläufen und zum Energiefluss in Ökosystemen, allerdings ohne die Vorstellungen von Stoffspeichern an den Leser heranzutragen. Der zweite Teil ab der Zwischenüberschrift Kohlenstoffkreislauf führt die Zuordnung des Kohlenstoffs zu Speichern ein, überträgt aber nicht die allgemeinen Aussagen aus dem ersten Teil auf dieses konkrete Beispiel bzw. verwendet dabei andere Termini. Beispiel: „Dieser Stofffluss beginnt mit den autotrophen Organismen“ – „Es wird CO<sub>2</sub> von den grünen Pflanzen bei der Photosynthese eingebaut.“ Als Folge bezieht die Schülerin die beiden Textteile nicht so aufeinander, wie es für das Verstehen notwendig wäre. So äußert sie zum ersten Teil, dass sie Kreislauf hier als Abfolge anorganisch – organisch versteht, überträgt dies aber nicht auf den im zweiten Teil behandelten Kohlenstoffkreislauf, sondern beschreibt Kreislauf hier als wechselseitiges Geben und Nehmen zwischen zwei Speichern. Die geringe Bedeutung der Sedimentgesteine für den Kohlenstoffkreislauf wird im Text ohne Begründung postuliert. Sie bleibt von der Schülerin unverstanden (s.u. Ausführungen zum Text-Bild-Verhältnis).

In der *Abbildung* zum Kohlenstoffkreislauf sind vier Speicher dargestellt: Atmosphäre, Meer (unterteilt in Austauschschicht und Tiefsee), Land (unterteilt in Vegetation und organischer Abfall) und fossile Brennstoffe. Die Kohlenstoffflüsse zwischen den Speichern sind als Pfeile dargestellt, die durch eine Legende bezeichnet sind und an denen Zahlen die jährlichen Flussraten angeben. Die Äußerungen der Schülerin lassen erkennen, dass sie die Speicher als Behälter versteht und die Pfeile angemessen als Repräsentationen von Stoffflüssen versteht. Die Bezeichnungen der Speicher enthalten keine Angaben zu dort vorkommenden Lebewesen, außer dem fehlleitenden Terminus Vegetation, der auf Pflanzen und nicht auf alle Landlebewesen verweist. Aus fachdidaktischer Sicht sollten mit Blick auf lebensweltliche Bezüge Tier und Mensch einbezogen werden. Auf piktogrammhaftere Darstellungen von Lebewesen wurde verzichtet. Die Schwierigkeiten der Schülerin, den Räumen Meer und Land Lebewesen und damit Assimilations- und Dissimilationsprozesse zuzuordnen, zeigen sich an mehreren Stellen.

Die *Text-Bild-Verschränkung* zeigt sich offensichtlich durch die Nennung und Darstellung von Speichern und Stoffflüssen. Allerdings wirken sich fehlende Passungen zwischen den beiden Medien verstehenshemmend aus. Der Text nennt drei Speicher, der vierte in der Abbildung dargestellte (fossile Brennstoffe) wird im Text nicht erwähnt. Der laut Text größte Kohlenstoff-„Vorrat“ Sedimentgesteine ist als Speicher in der Abbildung nicht dargestellt. Folglich fehlt auch die Darstellung der geringen Flussraten, die der Schülerin die Möglichkeit gegeben hätten, die geringe Bedeutung der Sedimentgesteine für den globalen Kohlenstoffkreislauf zu verstehen. Den Bezug zwischen Sedimentgesteinen und fossilen Brennstoffen erkennt die Schülerin zwar prinzipiell (Kalkkreislauf = Teil des Kohlenstoffkreislaufs), ihre Äußerungen dazu enthalten aber eine Reihe von Vermischungen (keine Trennung zwischen Ablagerung anorganischer Verbindungen wie Kalk und Ablagerungen von Kohlenwasserstoffen, die wir als fossile Brennstoffe nutzen können). Enthielte die Abbildung auch diesen Speicher, könnte analog zur Beziehung der Speicher Land – fossile Brennstoffe auch der Bezug Meer – Sedimentgesteine dargestellt sein und so Kohlenstoffablagerungen in Form von Sedimentgestein bzw. fossilen Brennstoffen erkennbar werden. Die Darstellung anthropogener Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf in der Abbildung ohne textlichen Bezug kann sich die Schülerin teilweise aus der Abbildung und ihrem Vorverständnis erschließen, allerdings nicht die Gleichgewichtsverschiebung durch den erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre. Die Denkfigur ‚Reagierender Kreislauf‘ kann weder durch den Text noch durch die Abbildung an die Schülerin herangetragen werden.

## **10.2.2 Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 2**

Um Dopplungen zu vermeiden, sind einige Aspekte zur Text- und Bildverständlichkeit und zu Text-Bild-Verschränkung im Rahmen der Prüfung der Hypothesen ausgeführt.

### **10.2.2.1 Textverständlichkeit**

Die Verständlichkeit des Textes in seinem Zusammenwirken mit der Abbildung wird unter dem Punkt Text-Bild-Verschränkung (10.2.2.3) dargestellt.

#### **Verfügbare Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen**

Kohlenstoff ist in der Atmosphäre, also  $\text{CO}_2$ . Von da aus gelangt es entweder direkt an die Pflanzen, wird also direkt von den Pflanzen herausgefiltert oder wird eben über diese Biomasse, die hier nicht eingezeichnet ist, ... wobei ich jetzt nicht weiß, was Biomasse jetzt hier ist. Für mich ist Biomasse immer Kompost oder so etwas in der Richtung. Der Kohlenstoff gelangt direkt in die Pflanzen oder durch die Biomasse und dann in die Pflanzen, die daraus  $\text{CO}_2$  bilden, das dann wieder in die Atmosphäre gelangt. (Vanessa, 113–120)

Vanessa wurde in der Schlussphase des Lauten Denkens gebeten, die Inhalte des Materials zusammenzufassen. Dazu sagte sie u.a.:

Ich denke, vielleicht liegt es an mir, aber Biomasse ist ja ein relativ weitläufiger Begriff, das kann relativ viel sein. Ich kenne Biomasse speziell aus diesen Biomassenverbrennungsanlagen und da ist es hauptsächlich organischer Müll. (Vanessa, 304–308)

Wobei es natürlich mehr Sinn macht, wenn Biomasse hier als Dünger verstanden wird. (Vanessa, 330–331)

Die Schülerin hat den Terminus Biomasse im Kontext Müllverbrennung im Chemieunterricht kennengelernt. Der Text enthält keine Erklärung zum Terminus, in der Abbildung kommt er nicht vor. Die Vorstellungen von Biomasse in den beiden Zusammenhängen weisen einen Unterschied auf, der sich als lernhemmend erweist. Während Biomasse bei der Müllverbrennung als tote organische Masse gedacht wird, enthält der Text die Denkfigur ‚Biomasse betreibt Stoffwechsel‘ (nimmt Kohlenstoff auf und gibt Kohlenstoff ab). Aus der Abfolge Biomasse – Pflanzen kann man schließen, dass Vanessa den Speicher Erdreich Humus und Torf in der Abbildung mit Biomasse verbindet und dann dem Pfeil in Richtung Atmosphäre folgt, der durch die schematisch dargestellten Pflanzen führt (vgl. Bildverständlichkeit).

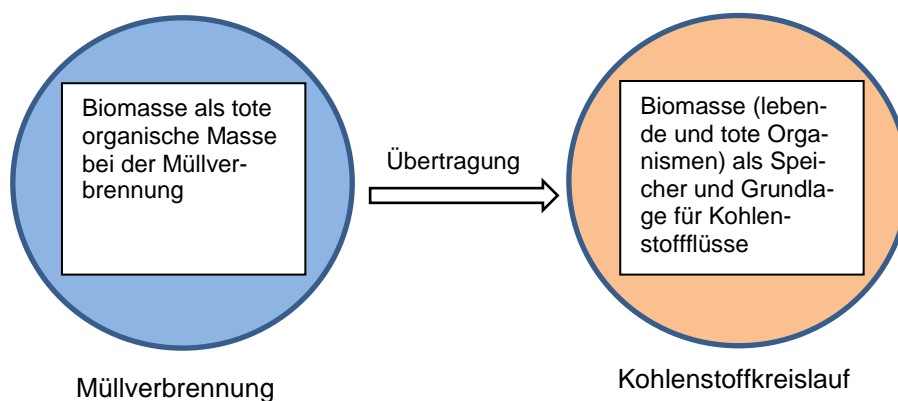


Abb. 10.2.2.1.1: Übertragung von Gelerntem in einen anderen Kontext

Vanessas Äußerungen zu Biomasse lassen erkennen, dass sie sich dazu einen Begriff gemacht hat und diesen jetzt in einem anderen Kontext an das Material heranträgt (siehe Abbildung 10.2.2.1.1).

### **Mit Fachtermini verbinden Lernende nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen**

Auch unter diesem Aspekt können die oben genannten Ausführungen der Probandin zum Terminus Biomasse (Vanessa, 113ff, 304ff, 330f) betrachtet werden. Fachtermini repräsentieren in Texten wissenschaftliche Vorstellungen. Wenn Lernende keine entsprechende Vorstellung dazu haben, können sie Teile des Materials nicht verstehen. Dabei kann es vorkommen, dass sie keine Vorstellungen zu dem Terminus haben oder eine nicht adäquate bzw. eine solche, die in Abhängigkeit vom Kontext nur einen Teilaspekt beinhaltet.

Das Beispiel des Terminus Primärproduzenten zeigt, dass manche Termini als Teile eines Systems aus Bezeichnungen verstanden werden sollen bzw. verstanden werden, die Ausdruck von Vorstellungen zu einem Ordnungsprinzip sind (siehe Kapitel 10.2.2.4).

## **Der Schulbuchtext gibt einen Lernweg vor**

Also es geht hauptsächlich um Kohlenstoffdioxid, wobei das jetzt irgendwie ein bisschen widersprüchlich ist, weil hier oben steht: „Dies geschieht so lange bis sämtlicher Kohlenstoff, der ursprünglich in Biomasse fixiert wurde, wieder als CO<sub>2</sub> frei geworden ist.“ und dann steht zwei Zeilen weiter unten, dass es fixiert wird. (Vanessa, 63–66)

Während im zweiten Absatz die Aufnahme von Kohlenstoff und seine Weitergabe innerhalb der Station Landlebewesen bis zur Abgabe in die Atmosphäre beschrieben ist, werden im dritten Absatz Übergänge zwischen Land, Atmosphäre, Ozeanen und Carbonaten (Sedimenten) thematisiert. Diesen Wechsel der Perspektive erkennt die Probandin nicht. Der Text bietet nicht die Vorstellung von Kohlenstoffspeichern und vom Speicher-Fluss-Schema an. Dadurch hätte er erleichtern können, beschriebene Vorgänge innerhalb unterschiedlicher Speicher diesen zuzuordnen. Der wiederholende Satz zu Beginn des dritten Absatzes (und das Fehlen einer Zwischenüberschrift) erschwert der Vanessa den gedanklichen Übergang.

### **10.2.2.2 Bildverständlichkeit**

#### **Eine Abbildung kann bei Lernenden vorhandene Vorstellungen und Schemata aktivieren**

Die Darstellung von Kohlenstoffspeichern aktiviert bei Vanessa das Kreislaufschema, wie z.B. folgende Äußerungen zeigen. Auf die Frage, wo sie in der Abbildung ‚Kreislauf‘ sieht, sagt sie:

Ja, hier (macht mit dem Finger kreisförmige Bewegungen im linken und dann im rechten Teil der Grafik) geht es wieder hinein und hier geht es auch wieder hinein. (Vanessa, 197–198)

Wie sie sich vorstellt, dass die Flüsse zwischen den Speichern einen Kreislauf ergeben, zeigt sie durch eine kreisende Handbewegung, die den Pfeilen in der Abbildung folgt. Durch die Abbildung gelangt sie zu einer Vorstellung von zwei (Teil-) Kreisläufen.

#### **Einheitlichkeit fördert die Lernwirkung von Abbildungen**

Die Sitzung mit Vanessa bestätigt den Umkehrschluss zu dieser Aussage: Mangelnde Einheitlichkeit in der Darstellung wirkt hemmend bei der Vorstellungsbildung. In der Abbildung sind vier Kohlenstoffspeicher dargestellt: Erdreich/Humus/Torf, fossile Brennstoffe, Ozeane und mit etwas abweichender Unterlegung die Atmosphäre. Der Kohlenstoffspeicher Landlebewesen/Biomasse (vgl. Fachliche Klärung Kapitel 6) ist nicht dargestellt. Es werden Lebewesengruppen (Produzenten, Konsumenten, Destruenten) als Verursacher/Agenten von Kohlenstoffflüssen benannt.

Also da ist links ein Wald und dort sind eben die Konsumenten, also die Pflanzen, Bäume, die eben Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid umwandeln, und zwar 55 Gigatonnen pro Jahr, also 55 Gigatonnen Kohlenstoff, die Kohlenstoffdioxid umsetzen durch Fotosynthese und eben die Destruenten, die das umsetzen und ungefähr auch die gleiche Menge haben. (Vanessa, 139–146)

Hier kann auch zur Verwirrung beigetragen haben, dass der mit Konsumenten beschriftete Pfeil durch die Baumkronen verläuft. Die Abbildung stützt hier nicht die Vorstellung von Kohlenstoffflüssen in den Speicher Landlebewesen und aus ihm heraus.



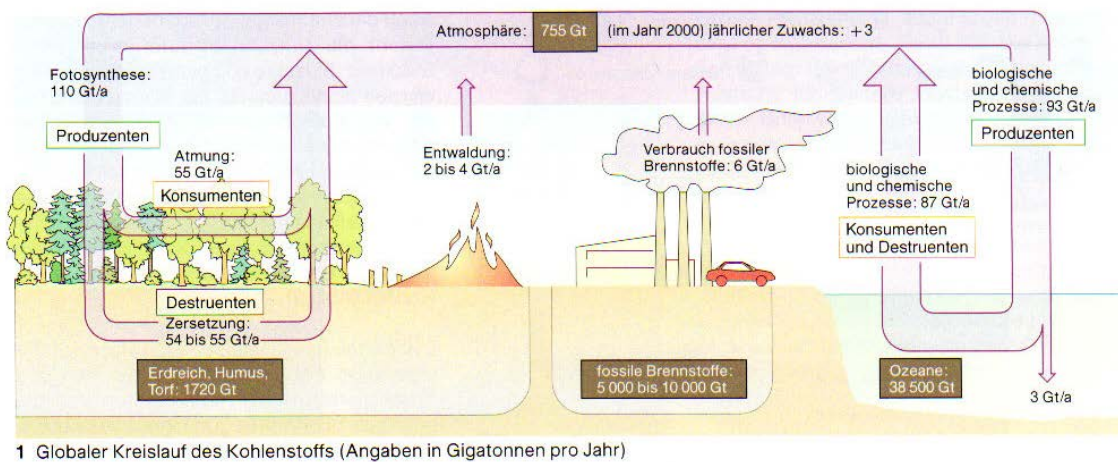


Abb. 10.2.2.2.1: Darstellung des zum Kohlenstoffkreislauf vorgelegten Materials (Werk 1)

## Logische Bilder setzen Elemente zueinander in Beziehung

Hierzu entsprechen die Befunde den in 10.2.1.2 dargestellten. Siehe auch 10.2.2.4.

### 10.2.2.3 Text-Bild-Verschränkung

#### Text und Abbildung sollten einander verstehen helfen

Oben beschriebene Schwächen in der Text- und Bildverständlichkeit gleichen einander bezüglich des terrestrischen Teils des globalen Kohlenstoffkreislaufs nicht aus, sondern verstärken sich.

Diese Biomasse wird in der Abbildung völlig rausgelassen beziehungsweise da ist ja kein Weg von der Atmosphäre über Biomasse zu den Konsumenten und Destruenten, außer eben vorne dieser Kasten mit dem Humus. (Vanessa, 96–101)

Bezüglich der Landlebewesen kann Vanessa Kohlenstoffspeicher und -flüsse nicht klar zuordnen. Die Beschriftung des Speichers Erdreich, Humus, Torf passt zu ihrer Vorstellung von Biomasse, während im Text der Terminus Biomasse im Sinne von Stoffwechsel betreibenden Lebewesen verwendet wird. Hinzu kommt die für Vanessa nicht nachvollziehbare Anordnung der Pfeile.

Als gravierendes Verstehenshemmnis erweist sich die grundsätzlich verschiedene Sichtweise auf den Kohlenstoffkreislauf im Text und in der Abbildung. Während der Text Wege des Kohlenstoffs im Kohlenstoffkreislauf in den Vordergrund stellt, zeigt die Abbildung eine Reihe von Stoffflüssen, bei denen die Atmosphäre eine zentrale Rolle einnimmt. Kohlenstoffspeicher sind teilweise nicht als solche dargestellt und teilweise nicht benannt, wie z.B. die Quelle der Zellatmung (vgl. 10.2.2.4).

#### Text und Abbildung sollten in ihren Aussagen zueinander passen

Diese Forderung stellt eine Voraussetzung für die vorige Aussage dar. Übereinstimmungen sind die Voraussetzung für das Herstellen von Beziehungen zwischen Text und Abbildung.

Dazu gehören die zum Ausdruck kommenden Schemata (s.o.) ebenso wie die Bezeichnungen von Elementen, Strukturen oder Vorgängen (Primärproduzenten – Produzenten, siehe auch 10.2.2.4).

#### **10.2.2.4. Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse (Kapitel 7)**

- *Die Metaphern Speicher und Flüsse sind eher geeignet, Lernenden eine systematische Vorstellungsentwicklung zum Kohlenstoffkreislauf zu ermöglichen als die Metaphern Stationen und Zyklus.*

Die beiden Metaphernpaare tragen unterschiedliche Vorstellungen an das Kreislaufschema heran. Nach Zerubavel (1985) sind Zyklen durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet: Sie werden meist vielfach durchlaufen, sie sind überlappend und sequenziell. Dies ist besonders typisch für Zeitzyklen, wie Tage, Monate, Jahreszeiten oder Jahre. Das Wort Stationen verwenden wir metaphorisch z.B. für Stationen einer Karriere oder Stationen der Schullaufbahn, wie Einschulung oder Versetzung. Im Gegensatz dazu aktiviert die Metapher Speicher das Behälterschema. In einem Behälter befindet sich etwas Stoffliches. Dazu passt die Vorstellung vom Hineingeben und Herausnehmen, dem – wie beim Fluss – das Start-Weg-Ziel-Schema zugrunde liegt. Da für den Kohlenstoffkreislauf die Vorstellung konstituierend ist, dass sich ein Kohlenstoff an einem Ort in einem Zustand befindet und durch chemische Reaktionen oder physikalische Vorgänge diesen Ort verlässt und an einem andern Ort einen anderen Zustand einnimmt, erscheint das Metaphernpaar Speicher/Flüsse passender zu sein. Die Aussagen der Schülerin können dies bestätigen. Sie orientiert sich in ihren Aussagen an der Abbildung, die Speicher und Flüsse darstellt.

... diese gespeicherten oder fixierten oder wie die das nennen, fixierten Kohlenstoffatome eben freisetzen. (Vanessa, 489–490)

Vanessa denkt *gespeichert* und „korrigiert“ sich unter der Wirkung des Textes in *fixiert*.

- *Die uneinheitliche Darstellung von vergleichbaren Komponenten in einem komplexen Gefüge erschwert das Verstehen.*

Bezüglich der uneinheitlichen Darstellung von Kohlenstoffspeichern in der Abbildung wurde diese Hypothese bestätigt (s.o. Bildverständlichkeit).

- *Das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erschweren.*

Also da steht „Primärproduzenten“. Da denke ich, dass da wahrscheinlich noch auf was anderes eingegangen wird und das jetzt nur so die Einleitung ist. Also es geht wahrscheinlich um die anorganischen Stoffe oder eben die Produzenten, die nach den Primärproduzenten kommen. (Vanessa, 55–57)

Primärproduzenten, wie gesagt, da hier ja nichts von sekundär oder so was steht, Produzenten, klar, produzieren was. (Vanessa, 340)

Vanessa schließt sprachlich von Primärproduzenten auf Sekundärproduzenten, kann dies aber nicht den Konsumenten und Destruenten zuordnen. In der Abbildung wird der Terminus Produzenten verwendet. So setzt sie sich gedanklich mit drei Termini auseinander: Primärproduzenten, Sekundärproduzenten und Produzenten. Dies wäre überflüssig und leichter verständlich, wenn in Text und Abbildung Fotosynthese betreibende Lebewesen einheitlich als Produzenten bezeichnet würden.

- *Das Verstehen komplexer Systeme mit vielen Komponenten kann durch Übersicht gebende grafische Darstellungen erleichtert werden.*

Hier (Vanessa zeigt auf den 2. Absatz im Text) ging es nur um die Biomasse und hier (zeigt auf den 3. Absatz im Text) ging es um die Atmosphäre. Das CO<sub>2</sub> kommt ja von der Atmosphäre in die Biomasse und wird dann durch die Destruenten und Konsumenten freigegeben und das was hier (zeigt auf den 3. Absatz im Text) fixiert wird, ist das in der Atmosphäre, also das was hier (zeigt auf den 3. Absatz im Text) ja auch gesagt wird. Okay. (liest Text schnell und leise, schaut auf die Abbildung). Ich versuche das jetzt irgendwie in Zusammenhang zu bringen. Wie ich das vom Text her verstanden habe, gelangt das CO<sub>2</sub> von der Atmosphäre in die Biomasse und durch die Biomasse dann in die Konsumenten und Destruenten und von da aus dann wieder in die Atmosphäre. Oder direkt von der Atmosphäre da rein. Und das direkt wäre hier der linke Teil (zeigt auf die Abbildung, dort ganz links). Aber diese Biomasse wird da völlig rausgelassen beziehungsweise da ist kein Weg von der Atmosphäre über Biomasse zu den Konsumenten und Destruenten außer vorne dieser Kasten mit dem Humus. (Vanessa, 79–101)

Vanessa liest vollständig den Text, bevor sie sich der Abbildung zuwendet. Anlass sind zwei Textpassagen, die nach ihrer Vorstellung im Widerspruch zueinander stehen. Sie versucht, zu einer Vorstellung vom Weg des Kohlenstoffs zu gelangen. Dazu trägt sie ihr Verständnis von Textstellen an die Abbildung heran. Da der Text wesentlich mit dem Terminus Biomasse argumentiert, sucht sie diesen (vergeblich) in der Abbildung (dort Produzenten, Konsumenten, Destruenten). Obwohl Vanessa hier durch die Abbildung nicht zu einer fachlich korrekten Vorstellung vom Weg des Kohlenstoffs gelangt, ist das die Übersicht erleichternde Potenzial der Grafik zu erkennen. Ohne deren Schwächen bezüglich der Passung zum Text (s.o.) wäre sie sicher hilfreicher.

In der Zusammenfassung zum Kohlenstoffkreislauf verwendet Vanessa die Grafik, indem sie den Pfeilen folgend die beiden Teilkreisläufe zeigt. Hier stützt die Grafik die globale Sichtweise.

- *Piktogramme können durch das Aktivieren von Alltagsvorstellungen (oder auch fachlichen Vorstellungen) das Verstehen von Abbildungen oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.*

Links steht da ein Wald und dort sind eben die Konsumenten, also die Pflanzen, Bäume, die eben Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid umwandeln, und zwar 55 Gigatonnen pro Jahr, also 55 Gigatonnen Kohlenstoff. (Vanessa, 139–142)

... durch Entwaldung, also es sieht hier aus, als würde hier Wald verbrennen, was Sinn macht, weil durch Feuer CO<sub>2</sub> entsteht. (Vanessa, 152–153)

Bei dem Verbrauch fossiler Brennstoffe ist ein Auto, also wir wissen alle: mehr Autos, mehr CO<sub>2</sub>. (Vanessa, 179)

Diese drei Transkriptzitate stützen die Hypothese, zeigen aber an einer Stelle gleichzeitig eine Gefahr auf. Die Platzierung der Beschriftung eines Pfeils mit ‚Konsumenten‘ in den Baumkronen leitet Vanessa zu der Fehlvorstellung Bäume = Konsumenten. Die unmittelbare Wirkung der bildhaften Darstellung kann die Konzentration auf die logische Struktur der Abbildung stören.

- *Die uneinheitliche Darstellung von vergleichbaren Komponenten in Text und Bild kann das Verstehen erschweren.*

Ein diese Hypothese stützendes Beispiel ist oben beschrieben (Biomasse im Text, Produzenten, Konsumenten, Destruenten in der Abbildung).

- *Die Bereitstellung von Termini durch den Text für Komponenten in der Abbildung erleichtert das Verstehen.*

Wie in Kapitel 9 beschrieben, lassen Vanessas Äußerungen erkennen, dass sie zum Kohlenstoffkreislauf eine Vorstellung von Speichern und Stoffflüssen hat. Zu Speichern formuliert sie z.B. hier bei den 38 000 Gigatonnen, diese Kästen, und zu den Kohlenstoffflüssen: Der Kohlenstoff geht von da aus in die Pflanzen, gelangt dann in ... oder geht zu ... Die Videoaufzeichnung der Sitzung zeigt, dass sie mehrfach nach entsprechenden Formulierungen sucht. Einmal verwendet sie das Wort gespeichert. Die Bereitstellung der Termini Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffflüsse durch den Text würde es der Schülerin nicht nur erleichtern, ihre Vorstellungen auszudrücken, sondern könnte auch Sicherheit geben im inhaltlichen Verständnis der Speicher durch die Aktivierung des Behälterschemas und der Stoffflüsse über das Start-Weg-Ziel-Schema.

#### **10.2.2.5. Zusammenfassung**

Der Text trägt – im Gegensatz zur Abbildung – nicht eine Vorstellung von Kohlenstoffspeichern und Kohlenstoffflüssen zwischen ihnen an die Lernenden heran, sondern stellt den Weg des Kohlenstoffs von der Fixierung atmosphärischen Kohlenstoffdioxids durch Produzenten über Nahrungsbeziehungen zu Konsumenten und Destruenten bis zur Wiederaufsetzung in die Atmosphäre dar. Bezüglich des Speichers Landlebewesen unterscheidet er nicht klar zwischen Speicherzu- und -abflüssen und Kohlenstoffweitergabe innerhalb des Speichers. Die im Text nicht erklärten Fachtermini Primärproduzenten und Biomasse verwirren die Schülerin. Da sie in der Abbildung so nicht vorkommen, erhält sie diesbezüglich durch die Grafik keine Hilfe.

In einer schematisierten Landschaftsdarstellung als Grundstruktur der Abbildung sind Stoffflüsse durch Pfeile dargestellt und Speicher und Flussursachen angegeben. Insofern trägt sie aus fachlicher Sicht anzuzielende Vorstellungen an die Schülerin heran. Die Landlebewesen werden jedoch nicht als Speicher dargestellt. Diese Uneinheitlichkeit erschwert das Verstehen, insbesondere dadurch, dass sich gerade darauf die von der Schülerin nicht verstandenen Termini beziehen. Die integrierten schematischen Darstellungen von Objekten (Auto, brennender Wald) können in den Kontext passende Vorstellungen aufrufen. Die Dar-

stellung des Waldes in Kombination mit den Pfeilen zu Kohlenstoffflüssen zeigt aber auch, dass dies fehlleiten kann, wenn die Anordnung von Bildelementen falsche Assoziationen weckt.

### **10.2.3 Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 3**

Um Dopplungen zu vermeiden, sind einige Aspekte zur Text- und Bildverständlichkeit und zur Text-Bild-Verschränkung im Rahmen der Prüfung der Hypothesen ausgeführt.

#### **10.2.3.1 Textverständlichkeit**

Die Verständlichkeit des Textes in seinem Zusammenwirken mit der Abbildung wird unter dem Punkt Text-Bild-Verschränkung (10.2.3.3) dargestellt.

#### **Der Schulbuchtext muss die angezielten Wissensstrukturen darstellen und bezeichnen**

Der Text verzichtet darauf, den Kohlenstoffkreislauf als ein System aus Kohlenstoffspeichern und Stoffflüssen an die Lernenden heranzutragen. Stattdessen beschreibt er mögliche Wege des Kohlenstoffs in Vorräte und aus Vorräten, geordnet nach der Verweildauer. Zur Bedeutung der beiden Parameter Speichergröße und Flussrate enthält der Text keine Aussagen, die Abbildung jedoch Zahlenwerte. Die in wissenschaftlichen Publikationen übliche Benennung von Kohlenstoffspeichern (im Sinne von Behältern) ist nicht im Text enthalten. Das Wort Kohlenstoffkreislauf deutet eher auf einen Prozess als auf ein statisches System aus Speichern als Grundlage. In den Aussagen des leistungsstarken Schülers Fred sind zwar Hinweise zu erkennen, dass er die Vorräte in Behältern bzw. Speichern denkt (Fred, 77; 97; 123; 170, siehe Kapitel 9.1.3.1). Dies reicht jedoch nicht aus, um das Gesamtsystem als Anordnung von Speichern zu erkennen. Auch die Abbildung kann dies nicht gänzlich kompensieren (siehe Bildverständlichkeit und Text-Bild-Verschränkung). Freds Aussage, für ihn sei das so verständlich (Fred, 241 s.u.), widerspricht dem nicht, denn er empfindet zwar das von ihm Erkannte verständlich, kann aber zu fehlenden Inhalten natürlich keine Aussagen machen. Das Gleiche gilt für biologische Aspekte der Kohlenstoffweitergabe in den Ökosystemen und die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘.

#### **Interferierende Fachinhalte müssen klar in Beziehung gesetzt werden**

Das Thema Kohlenstoffkreislauf ist nicht nur aufgrund seiner mannigfaltigen biologischen Zusammenhänge komplex, sondern auch, weil es Bezüge zu nicht biologischen oder nicht nur biologischen Themen aufweist, wie Klima, Kalkkreislauf, Energiewirtschaft und Umweltschutz. Der Kalkkreislauf ist direkt betroffen, da er Teil des Kohlenstoffkreislaufs ist. Für ein Biologieschulbuch, insbesondere für eine bundesweit zugelassene Ausgabe ist es nicht einfach, diese Bezüge sinnvoll zu berücksichtigen, da die Lernenden aus verschiedenen Fächern unterschiedliche Vorstellungen bei der Bearbeitung des Themas Kohlenstoffkreislauf mitbringen können. Auch die Lerngegenstände, die durch das Biologiebuch selbst auf vorangehenden Seiten an die Lernenden herangetragen werden, können nicht sicher vorausgesetzt werden, da diese nicht zwangsläufig vorher behandelt wurden. Kalkstein und seine mögliche Verwitterung sind im Text erwähnt. Da Speichergrößen und Flussraten nicht zur

Erklärung der Bedeutung einzelner Vorgänge eingeführt werden, können Lernende die Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf nur schwer abschätzen. Wurde der Kalkkreislauf im Chemie- oder NWT-Unterricht<sup>9</sup> behandelt, kann der Einfluss stark überschätzt werden, insbesondere dadurch, dass er selbst einen globalen Kreislauf darstellt (siehe auch Kapitel 10.2.3.2, vgl. auch Abbildung 10.2.3.2.2).

Es wird erwähnt, dass Kohlenstoff eingesperrt wird und dass er durch geologische Prozesse frei werden kann, allerdings wirklich nicht mehr als erwähnt. Zum Beispiel den Kalkkreislauf reinzukriegen wäre zu viel. (Fred, 194–196)

Kalkkreislauf war, dass saurer Regen in Verbindung mit (..) das mir fällt gerade nicht ein, wenn es halt gelöst ist, Kohlensäure ist ja Teil des sauren Regens. Es wird aufgelöst und es wird dann halt durch das Wasser weiter nach unten getragen und dann setzt sich das zum Beispiel ab in Stalagmiten und Stalagtiten. (Fred, 277–280)

Ja, es gibt einen Berührungspunkt oder gibt es einen zwischen Kalk- und Kohlenstoffkreislauf, weil im Kalkgestein ist ja Kohlenstoff gespeichert, und Kohlenstoffdioxid enthält Kohlenstoff. Und wenn dem Sauerstoff der Kohlenstoff fehlt, um Kohlenstoffdioxid zu bilden, wenn jetzt zum Beispiel Kalk zum Teil gespeichert ist, könnte natürlich weniger Kohlenstoffdioxid da sein und ein Berührungspunkt wäre jetzt zum Beispiel, wenn Kalkgestein an der Oberfläche mit einer Säure in Verbindung kommt, dann wird Kohlenstoffdioxid frei. (Fred, 285–291)

Fred als guter Schüler kann einen Bezug herstellen, allerdings ohne die quantitative Bedeutung zu erkennen. Das leistet auch die Abbildung nicht (s.u.). Auch hier gilt:

### **Vorhandene Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen**

Wurde der Kalkkreislauf in vorangehendem Unterricht behandelt, stand er dort im Zentrum des Interesses. Das kann dazu führen, dass seine Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf überschätzt wird, insbesondere wenn eine quantitative Einordnung über die geringe Flussrate unterbleibt (vgl. Kapitel 10.2.3.2).

### **10.2.3.2 Bildverständlichkeit**

Die Abbildung stellt eine Übersichtsgrafik dar, in der schematisch Land- und Gewässerökosysteme dargestellt sind, in die Kohlenstoffvorräte eingetragen sind und Pfeile, die mit Zahlen zu den Flussraten versehen sind. Auch die anthropogenen Kohlenstofffreisetzungen sind zeichnerisch dargestellt und mit Pfeilen und Angaben zu Flussraten versehen.

### **Die Einheitlichkeit fördert die Lernwirkung von Abbildungen**

Kohlenstoffvorräte sind nicht als Speicher dargestellt, sondern nur durch dargestellte Landschaftselemente zu erschließen, denen Benennungen und Zahlenwerte zugeordnet sind. Während bei den terrestrischen Lebewesen nur Pflanzen dargestellt sind, sind als marine Lebewesen, die fälschlicherweise als maritime Lebewesen benannt sind, nur Tiere zu erkennen, und zwar weit abseits vom Wort. Außerdem enthält die Abbildung Benennungen von Flussursachen in gleicher Schrift, die an ihrer Positionierung an Pfeilen und den roten Zahlenwerten für Flussraten von den Vorrätebenennungen zu unterscheiden sind.

---

<sup>9</sup> Naturwissenschaft und Technik (NWT) ist ein Unterrichtsfach in Baden Württemberg in den Klassenstufen 8–10, in dem fächerübergreifende, technikorientierte Themen auf der Grundlage von Inhalten der Basisfächer Biologie, Chemie, Geografie und Physik behandelt werden.

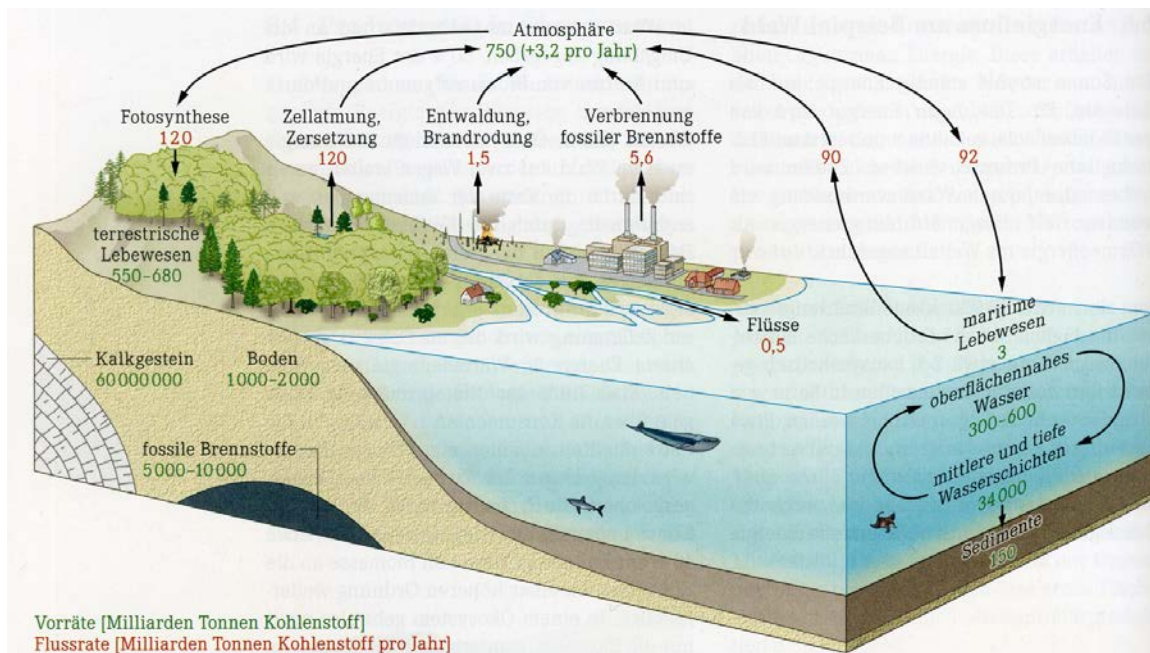


Abb. 10.2.3.2.1: Darstellung zum Kohlenstoffkreislauf im vorgelegten Material (Werk 3)

Allerdings sind nicht alle Kohlenstoffflüsse durch Pfeile eingetragen. Von den Speichern Kalkgestein, Boden und fossile Brennstoffe gehen keine Pfeile aus (siehe auch Text-Bild-Verschränkung). Das hat zur Folge, dass der jährliche Zuwachs beim Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre rechnerisch nicht aus den angegebenen Flussraten ableitbar ist.

Was jetzt hier nicht mit drin ist auf der Abbildung ist, dass der Kalkstein zum Beispiel oder der Boden wieder Kohlenstoff in den Kreislauf abgeben kann. (Fred, 178-180)

Aus der Tatsache, dass Fred dies erkennt, kann man nicht schließen, dass sich das Fehlen dieser Eintragungen nicht lernhinderlich auswirken kann.

### Interferierende Inhalte sollten klar getrennt werden

Am Pfeil von den Landlebewesen zur Atmosphäre stehen die beiden Wörter Zellatmung und Zersetzung. Diese beiden Termini, die auch im Text ohne weitere Erklärung genannt sind, bezeichnen Stoffwechselvorgänge auf nicht vergleichbaren Ebenen. Auch Destruenten können Zellatmung betreiben.

Also, in der Abbildung wird das Ganze durch die Fotosynthese bei den Bäumen links auf der Abbildung und direkt rechts daneben geht's dann halt um die Zersetzung, wo allerdings der Pfeil von den Bäumen weggeht und da wären vielleicht Tiere oder etwas ähnliches sinnvoller. (Fred, 148-150)

Fred unterscheidet hier nicht klar zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten. Seine Aussage lässt erkennen, dass er sich vorstellt, Tiere fressen Pflanzen und bauen sie ab und atmen dabei Kohlenstoffdioxid aus. Zersetzung ist kein eindeutiger Terminus.

### Vorhandene Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen

Dies gilt nicht nur bei textlichen Bezügen (s.o.), sondern auch bei bildlichen.

Und dass ein Teil in Seen und Meeren abgespeichert wird, können wir auch rechts auf der Abbildung sehen, wo die mittleren und tiefen Wasserschichten größere Mengen an Kohlenstoff einspeichern und

dann ganz unten die Sedimente, wo absterbende Muscheln und Tier Teile wieder neue Schichten bilden, da wird auch eine Masse eingespeichert, das ist auch zu sehen. (Fred, 170–173)

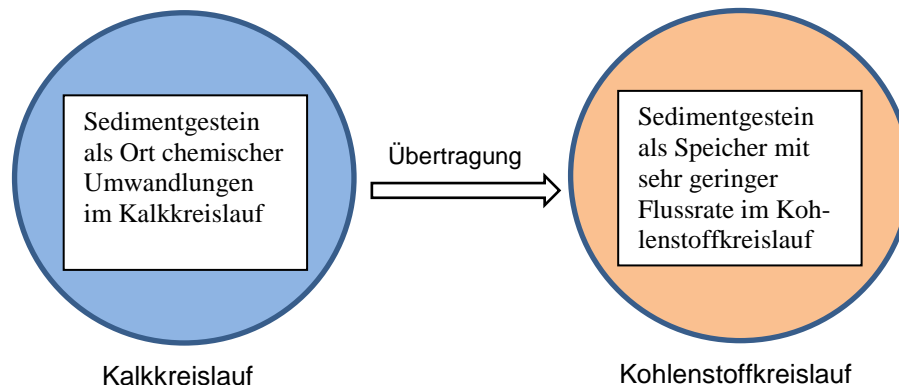


Abb. 10.2.3.2.2: Übertragung von Gelerntem in einen anderen Kontext

Die Entstehung von Kalkstein aus Muscheln und anderen abgelagerten kalkhaltigen Tierprodukten ist in Text und Abbildung nicht beschrieben, ist aber dem Schüler aus der Behandlung des Kalkkreislaufs bekannt. Fred gelingt – im Gegensatz zu Nadine (s.o.) – die Einordnung, soweit das Material dies ermöglicht.

### **Fachtermini aktivieren bei Lernenden nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen**

Terrestrische Lebewesen. Das sind Lebewesen, die in der Erde leben. (Fred, 154)

Der Terminus terrestrische Lebewesen ist dem Schüler offenbar nicht bekannt. Der Text enthält keinen Hinweis auf die Bedeutung. Fred versucht, sich den Begriff sprachlich zu erschließen. Dabei überträgt er seine Vorstellung zum Wort terrestrisch auf den Zielbereich, also die hier gemeinte Gruppe von Lebewesen (vgl. auch Assimilation Kapitel 12.2.1.1 und Biomasse Kapitel 10.2.2.1) Möglicherweise fördert auch die Anordnung der Worte unterhalb der Bäume die Fehlvorstellung, dass es sich auf unter der Erdoberfläche lebende Lebewesen handelt. Man kann vermuten, dass der Terminus Landlebewesen eher richtig erschlossen werden kann.

### **Abbildungen können Größenordnungen anschaulich machen**

Ich überlege gerade bei den gespeicherten Tonnen im Wasser, wieso das oben mehr war als unten. (Fred, 110)

Fred entnimmt aus den angegebenen Zahlenwerten zu den Speicherinhalten (laut Legende Vorräte) wie intendiert die Massen gespeicherten Kohlenstoffs, lässt im Interview aber nicht erkennen, dass er die enormen Unterschiede wahrnimmt (z.B. 60 Mio. Gt C im Kalkgestein, 750 Gt C als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre). In einer dreidimensionalen Abbildung bietet es sich an, die Größenordnungen der Vorräte/Speicher z.B. durch deren Darstellung als Quader zu visualisieren. Die vorhandene Abbildung verzichtet darauf.



### 10.2.3.3 Text-Bild-Verschränkung

Der Schüler hat den Text gelesen und zwischenzeitlich immer wieder die Abbildung betrachtet und dort die zum Text passenden Bildteile angeschaut.

**Die Übersichtsgrafik bietet Orientierung zu den im Text dargestellten Aspekten**  
Seine Aussagen belegen, dass Fred in der Abbildung die Stellen sucht, in denen er die textlich beschriebenen Zusammenhänge dargestellt findet.

Ein Teil wird in Seen und Meeren abgespeichert. Das sehen wir auch rechts auf der Abbildung, wo die mittleren und tiefen Wasserschichten größere Mengen an Kohlenstoff einspeichern und dann ganz unten die Sedimente, wo absterbende Muscheln und Tierreste wieder neue Schichten bilden. Da wird auch eine Masse eingespeichert, das ist auch zu sehen. Dass dann die ganzen abgestorbenen Pflanzen und Tiere in den tieferen Erdschichten sich später zu fossilen Brennstoffen entwickeln können oder sogar fossile Brennstoffe sind, ist auch gezeigt, bei den fossilen Brennstoffen. Was jetzt fehlt, aber die Abbildung vermutlich zu unübersichtlich machen würde, ist, dass fossile Brennstoffe auch in geringen Mengen entstehen und in größeren Mengen gefördert werden. Aber das wird dann vermutlich zu unübersichtlich. (Fred, 170–178)

Der vorletzte Satz dieses Zitats zeigt, dass Fred sich eine kontinuierliche Entstehung fossiler Brennstoffe vorstellt, obwohl der Text dafür frühere geologische Zeiträume angibt. Er hat hierzu eine ähnliche Vorstellung wie zur Aufforstung und Entwaldung.

Durch das Verbrennen ist klar, dass halt Bäume fehlen. Was man vielleicht auch dazu sagen sollte ist, dass wenige Bäume wieder hinzukommen. (Fred, 102–104)

Ein abführender Pfeil für den Verbrauch fossiler Brennstoffe und das Fehlen eines zuführenden könnten hier ein zusätzliches Signal sein.

### **In der logischen Struktur einer Abbildung können zusätzliche Informationen verankert werden**

Die Abbildung stiftet über den Textinhalt hinaus Erfahrungen, indem sie quantitative Angaben zu den Vorräten und den Flussraten enthält, wenn auch nicht vollständig (siehe Bildverständlichkeit). Der Text enthält hierzu keine Aussagen mit Ausnahme der ausgeglichenen Bilanz bei Landökosystemen. Dem Schüler fällt auf, dass manche textlichen Aussagen in der Abbildung nicht repräsentiert sind (z.B. Kohlenstofffreisetzung aus dem Vorrat Kalkgestein, Fred, 75, 88). Andere durch die Abbildung angebotene Vorstellungen erlangt Fred ohne textliche Hilfe nicht, wie z.B. die Tatsache, dass marine Lebewesen bei sehr geringer Biomasse ähnlich große Kohlenstoffflüsse erzeugen wie die sehr viel größere Biomasse der Landlebewesen. Zusätzliche Informationen in der Abbildung müssen entweder selbsterklärend sein oder der Text muss einen das Verstehen ermöglichenden bzw. erleichternden Hinweis enthalten, damit sie lernwirksam werden können.

### **Text und Abbildung sollten in ihren Aussagen zueinander passen**

Was jetzt hier nicht mit drin ist in der Abbildung ist, dass der Kalkstein zum Beispiel oder der Boden wieder Kohlenstoff in den Kreislauf abgeben kann. (Fred, 178–180)

Wird dem Text eine Übersichtsgrafik beigelegt, so erwarten Lernende, dass sie die im Text genannten Aspekte in der Abbildung wiederfinden oder Hinweise finden, die nachvollziehbar

machen, welche Aspekte dargestellt werden und welche nicht. Dies könnte z.B. der Hinweis sein, dass einige Stoffflüsse so gering sind, dass auf ihre Darstellung verzichtet wurde.

#### 10.2.3.4 Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse (Kapitel 7)

Auf der Grundlage der Analyse des Schulbuchinhalts wurden Hypothesen zu dessen Verständlichkeit aufgestellt. Mithilfe der Ergebnisse der untersuchten Lernwirkung und Verständlichkeit sollen sie hier geprüft werden.

- *Die Fokussierung auf Wege bzw. ausgewählte Stationen des Kohlenstoffs kann das Verstehen des globalen Kohlenstoffflusses fördern.*

Die Aussagen des Schülers, der sich mit dem Schulbuchinhalt auseinandergesetzt hat, zeigen, dass er diesen Aspekt des Inhalts gut verstanden hat. Andererseits muss festgestellt werden, dass das Material dadurch nicht alle anzustrebenden Inhalte eines didaktisch rekonstruierten Lernangebots an die Lernenden heranträgt, wie z.B. die Denkfigur ‚Reagierender Kohlenstoffkreislauf‘.

- *Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, fördert das Verstehen des zentralen Inhalts.*

Die Problematik des Verstehens von Fachtermini zeigt sich in dem untersuchten Schulbuchinhalt einerseits darin, dass der Schüler zum Terminus *terrestrische Lebewesen* eine falsche Vorstellung hat, und zum anderen in der falschen Bezeichnung für die *marinen Lebewesen* in der Abbildung (maritime Lebewesen). Auch in allen anderen untersuchten Schulbuchinhalten waren derartige Probleme zu erkennen. Insofern wird die Hypothese bestätigt. Begriffe können dargestellt und dann durch Fachtermini benannt werden. Die Nennung des Terminus allein führt häufig nicht zu einer kontextangemessenen Vorstellung und führt so zu Lücken des Verstehens.

- *Die Ausrichtung auf einen Teil eines Gesamtsystems im Material kann das Verstehen des Gesamtsystems erschweren.*

Das untersuchte Beispiel zeigt, dass das Material mit seiner Zentrierung auf den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre und dessen Veränderung gut verstanden wird, das Gesamtsystem aber dahinter zurücktritt. Dies zeigen auch die zusammenfassenden Aussagen des Schülers, in denen er teilweise Kohlenstoffkreislauf und Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre gleichsetzt:

Es wird der Kohlenstoffkreislauf erklärt, dass Kohlenstoff vom Meer offenbar herausgenommen wird aus dem Kreislauf, zugegeben wird durch Verbrennungen von Bäumen, von fossilen Brennstoffen. (Fred, 123–124)

- *Die Übereinstimmung von durch Text und Abbildung angebotenen Vorstellungen ist förderlich für das Verstehen.*

Fred hat beim Lesen des Textes immer wieder auf die Abbildung geschaut und dort jene Bereiche gesucht, die dem Textinhalt entsprechen. Abweichungen sind ihm aufgefallen. Bei Nachfragen, die sich nicht ausdrücklich auf eine Textpassage bezogen, hat er bei seiner Antwort häufig auf Stellen in der Abbildung gezeigt. Im umgekehrten Fall zeigt das Beispiel Nadine (Kapitel 10.2.1.3), dass mangelnde Übereinstimmung lernhinderlich wirkt. Insofern hat die Untersuchung diese Hypothese mehrfach bestätigt.

- *Komplexen Teilinformationen in Grafiken (hier ein System aus Begriffen und Zahlenwerten) können Lernende ohne textliche Hilfe nur schwer für die Vorstellungsentwicklung nutzen.*

Wie oben beschrieben hat sich der Schüler bei der Bearbeitung des Materials am Text orientiert und dann diese Aspekte in der Abbildung wiedererkannt. Die Zahlenangaben zu den Größen der Vorräte im oberflächennahen Wasser und mittleren und tiefen Wasserschichten haben ihn zu Vermutungen angeregt, die teilweise fachlich nicht angemessen sind. Sie stellen möglicherweise den Versuch dar, Aspekte in die Erklärung einzubeziehen, von denen Fred im Zusammenhang mit dem Thema Klimawandel gehört hat.

Wir holzen die ganzen Bäume ab und verbrennen die fossilen Brennstoffe, das Meer wird erwärmt. Die Frage ist ob deswegen die Speicherkapazität abnimmt, andererseits schmelzen die Pole, also dürfte sich das vermutlich auch fast irgendwo in der Waagschale halten. (Fred, 200–203)

Die Angaben zu Flüssen hat er erst auf Nachfrage wahrgenommen. Durch die Zahlenangaben mögliche Vergleiche zwischen Land- und Meeresökosystem hat er nicht angestellt. Daraus lässt sich schließen, dass die Lernwirkung dieser Angaben ohne Hinweise durch den Text, Aufgaben oder eine Lehrkraft gering ist.

- *Das Speicher-Schema ist besser geeignet, systematische Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an Lernende heranzutragen als das Stationen-Schema.*

Text und Abbildung des Schulbuchinhalts stützen den Eindruck, dass bei der Darstellung des Themas Kohlenstoffkreislauf im Vordergrund steht, wann und wie durch Fotosynthese der Atmosphäre entzogenes Kohlenstoffdioxid wieder dorthin gelangt. Der „zwischenzeitliche Einlagerung“ (Textzitat) in unterschiedlichen Vorräten wird unter diesem Aspekt Bedeutung zugemessen. Die Darstellung der globalen Kohlenstoffverteilung durch Zuordnung zu definierten Speichern beschreibt ein System, bei dem Speichergröße, Zu- und Abflüsse im Fokus stehen. Auf der Basis dieses Systems können dann Gleichgewichte bzw. Veränderungen beschrieben werden. Die Aussagen des Schülers zeigen, dass er der unterstellten Intention des Materials folgt und dem eigentlichen Basissystem wenig Aufmerksamkeit schenkt.

### **10.2. 3.5 Zusammenfassung**

Der Text weist eine klare inhaltliche Gliederung auf, die der äußerlich erkennbaren Gliederung in Absätzen entspricht. Die Sprache ist klar, es werden wenige Fachtermini verwendet. Der Text weist ein hohes Maß an stilistischer Einfachheit und kognitiver Strukturierung auf (Groeben 1972, 1982). Fred fasst seinen Eindruck in Kürze so zusammen:

Für mich ist das so verständlich. (Fred, 241)

Dieser Eindruck kann auch darin mitbegründet sein, das einheitlich das Start-Weg-Ziel-Schema zugrunde gelegt ist und er die wenigen Bezüge zu anderen Themen des Biologieunterrichts (Fotosynthese und Zellatmung) versteht.

Dies trifft auch für die Abbildung zu, die in vielen wesentlichen Teilen der textlichen Darstellung entspricht. Durch Zahlenangaben kann die Abbildung zusätzliche Erfahrungen stiften. Das gelingt jedoch nur teilweise, da die Angaben nicht selbsterklärend sind und der Text hierzu keine Hilfe bietet.

Der Verzicht auf die Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs als System aus Kohlenstoffspeichern und Stoffflüssen erschwert das Verständnis für die globale Kohlenstoffverteilung und deren Ursachen.

#### **10.2.4 Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 4**

Dieses Material enthält im Gegensatz zu den andern untersuchten Schulbuchinhalten zwei Aufgaben. Diese Texte beziehen sich auf die grafische Darstellung. Deshalb werden die Untersuchungsergebnisse zu den die Aufgaben betreffenden Aspekten von Verständlichkeit unter dem Punkt 10.2.4.3 Text-Bild-Verschränkung dargestellt. Um Dopplungen zu vermeiden, sind einige Aspekte zur Text- und Bildverständlichkeit und zu Text-Bild-Verschränkung im Rahmen der Prüfung der Hypothesen ausgeführt.

##### **10.2.4.1 Textverständlichkeit**

Die Verständlichkeit des Textes in seinem Zusammenwirken mit der Abbildung wird unter dem Punkt Text-Bild-Verschränkung (10.2.4.3) dargestellt.

#### **Alltagsvorstellungen und vorhandene Schemata können lernhinderlich sein beim Verstehen fachlicher Vorstellungen**

Lernangebote sollten, wie im Modell der Didaktischen Rekonstruktion ausdrücklich vorgesehen, verfügbare Lernervorstellungen berücksichtigen. Dies betrifft nicht nur fachliche, sondern auch alltagsweltliche Vorstellungen. Im Text wird die Beziehung zwischen den Größen Speichergröße und Flussrate in einem (fachlich korrekten) Satz beschrieben: „Für die Flussrate ist nicht die Größe eines Kohlenstoffspeichers entscheidend, sondern die Geschwindigkeit der Umsetzung in diesem Speicher.“

Auf die Frage nach der Bedeutung des größten Kohlenstoffspeichers Sedimente sagt Leo:

Ich dachte, der Speicher wäre so etwas wie eine Vorratskammer für Kohlenstoff. Aber das kann irgendwie nicht sein, weil bei diesen kleinen Mengen, die der Speicher abgibt und diesen großen Mengen, die hier ein Speicher, der geringe Mengen enthält (Leo zeigt auf den Speicher Landlebewesen in der Abbildung), scheint mir der Speicher eher unwichtig zu sein, auch wenn er so große Mengen an Kohlenstoff gespeichert hat. (Leo, 224–229)

Die Relevanz des nicht einfach zu verstehenden Satzes im Schulbuch wird erst durch Zahlen aus der Abbildung deutlich. Dort ist zu erkennen: Der größte Speicher weist die kleinste Flussrate auf. Da das Wort Speicher das Behälterschema aufruft, kann sich hier eine Alltagsvorstellung als Lernhindernis erweisen. Wenn man Wasser aus einem großen Eimer schüttet, fließt mehr, als wenn man Wasser aus einem kleinen Becher gießt. Hier kann der Text Hilfe bieten. Er kann den scheinbaren Widerspruch bewusst machen, etwa durch die Aussage: Deshalb kann es vorkommen, dass ein großer Speicher eine kleine Flussrate aufweist oder umgekehrt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein Beispiel – möglichst mit Erklärung – zu geben, vorzugsweise eines, das in der Abbildung wiedererkannt werden kann. Beispiel: „So weist z.B. der größte Speicher Sedimente eine sehr kleine Flussrate auf, da nur wenig Kalkgestein an die Erdoberfläche gelangt und dort Kohlenstoff freisetzt.“ Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird das Lernhindernis erkennbar und verstehbar. Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion des Lernangebots kann die Berücksichtigung möglicher Lernervorstellungen zu einer Optimierung führen. Ein weiteres Problem liegt in der Eindeutigkeit in der Abbildung (siehe Bildverständlichkeit).

### **Kognitive Konflikte müssen aufgelöst werden**

Wie das oben beschriebene Beispiel zeigt, können kognitive Konflikte nicht nur durch das Lernangebot an Schüler herangetragen werden, sondern auch zwischen Lernangebot und verfügbaren Vorstellungen bestehen. Insofern stellt es auch ein Beispiel für diese Forderung dar.

### **Fachtermini aktivieren bei Lernenden nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen**

... „unbelebte Natur“. Das sagt mir gerade nichts (liest weiter). Das scheint mir ein Widerspruch zu sein. (Leo, 38–39)

Auch wenn ‚unbelebte Natur‘ kein Fachterminus im engeren Sinne ist, sondern vielleicht als Redewendung betrachtet werden kann, stellt es für den Schüler eine Bezeichnung einer Vorstellung dar. Das Wort Natur kann unterschiedliche Vorstellungen aufrufen. Der Satz „Ich gehe hinaus in die Natur“ weckt Assoziationen zu belebten Landschaften, Wiesen, Wäldern, ... Das Natürlich-Künstlich-Schema kann unterschiedlich gedacht werden (Niebert 2010, 22). Natur kann mit unbelebt im Widerspruch stehen, weil Natur als mit Leben verbunden gedacht wird, oder weil als Beispiele Kalkstein, Kohle und Erdöl genannt sind, die biogenen Ursprungs sind, jedoch nicht lebendig. Da im Text vorher Kohlenstoff als Bestandteil von Lebewesen genannt wurde, wäre hier möglicherweise folgender Text besser verständlich gewesen: „Auch außerhalb von lebenden Organismen kommt Kohlenstoff vor, z.B. als ...“

#### **10.2.4.2. Bildverständlichkeit**

##### **Fachtermini bezeichnen genau einen fachlichen Inhalt**

Eigentlich geht die Atmung ja hin zu den Landlebewesen, auch raus, wenn man davon ausgeht, dass es ausatmet. (Leo, 51-52)

Ich habe versucht, es mir anzugucken am Anfang, aber ich konnte da nicht viel daraus lesen, weil auch diese Fotosynthese und Atmung so nach außen zeigt, das hat mich verwirrt. (Leo, 147–148)

Der Schüler hat Probleme, die Richtung des Pfeils mit der Beschriftung Atmung mit seiner Vorstellung von Atmung in einen für ihn sinnvollen Zusammenhang zu bringen. Der Terminus Atmung kann sowohl die äußere Atmung als auch die biologische Oxidation bezeichnen. Die Pfeilrichtung weist darauf hin, dass hier die Abgabe von Kohlenstoff an die Atmosphäre gemeint ist, verursacht durch die Zellatmung. Beim Schüler wird die Vorstellung zur äußeren Atmung aufgerufen. Er versucht, seine Vorstellung von Ein- und Ausatmen mit der Grafik in Einklang zu bringen. Der Terminus Atmung ist nicht eindeutig. Zellatmung oder biologische Oxidation bezeichnet den hier durch einen Pfeil repräsentierten Vorgang eindeutig.

### **Zuordnungen in logischen Bildern müssen eindeutig erkennbar sein**

Diese Forderung ist eine Selbstverständlichkeit. Das Wort eindeutig kann in diesem Zusammenhang dadurch interpretationsbedürftig werden, dass man Vorstellungen der Lernenden einbezieht. Leo versucht, sich die geringe Bedeutung des großen Kohlenstoffspeichers Sedimente für den Kohlenstoffkreislauf aus der Abbildung zu erschließen. Dazu betrachtet er den vom Speicher Sedimente ausgehenden Pfeil.

Also ich kann mir das nicht erklären. Vielleicht weil die Landlebewesen, die mit dicken Pfeilen gekennzeichnet sind, erst dafür zuständig sind, dass diese 100 Millionen Gigatonnen (Speicher Sedimente) irgendwie in die Atmosphäre kommen und da sozusagen nur ein Speicher ist, der sie eben befüttert. So würde ich mir das erklären, aber aus der Abbildung wird mir das nicht klar. Also vom Speicher Sedimente aus führt ein Pfeil zu den Landlebewesen. Mit diesem Pfeil verbinde ich, dass die Landlebewesen ihren Vorrat sozusagen aus diesem Speicher nehmen und diese dann weiter verwerten und eben in die Atmosphäre weitergeben. (Leo, 207–214)

Leo geht davon aus, dass ein Pfeil vom Speicher Sedimente zum Speicher Landlebewesen weist, woraus er schließt, dass der Speicher Sedimente den Speicher Landlebewesen mit Kohlenstoff „versorgt“, der diesen Kohlenstoff dann an die Atmosphäre abgibt. Der dünne graue Pfeil soll nicht auf den Speicher Landlebewesen weisen, sondern zu dem direkt darunter schematisch dargestellten Fluss. Der Speicher Landlebewesen ist in der Grafik und auch im Text von großer Bedeutung. Diese Tatsache kann das Missverstehen möglicherweise fördern. Insofern kann es sinnvoll sein, bei der Gestaltung von Abbildungen darauf zu achten, dass insbesondere diejenigen Stellen, zu denen der Betrachter abweichende Vorstellungen hat, so gestaltet sind, das Missverstehen – in diesem Falle falsches Zuordnen – möglichst unwahrscheinlich ist.

### **10.2.4.3 Text-Bild-Verschränkung**

#### **Text und Abbildung bilden ein Ganzes**

Die Grafik in diesem Material ist zu komplex, um allein aus sich heraus verständlich zu sein. Sie enthält eine Vielzahl von logischen Zuordnungen, Codierungen und quantitativen Angaben. Auch der Text trägt eine Reihe von Vorstellungen an die Lernenden heran. Das Gesamtkonstrukt aus beiden Komponenten kann nur dann seine Vermittlungsziele erreichen, wenn beide Teile gut aufeinander abgestimmt sind.

Am Anfang wenn man die Abbildung sieht, kann man sich meiner Meinung nach darunter nicht viel vorstellen. Ich habe versucht, es mir anzugucken am Anfang, aber ich konnte da nicht viel herauslesen, weil auch diese Fotosynthese und Atmung so nach außen zeigt. Das hat mich verwirrt, aber mit dem Text zusammen ergibt das Ganze dann eigentlich Sinn. Wenn man versteht, worauf sich die ganzen Pfeile beziehen, dann kann man sich ein besseres Bild draus machen. (Leo, 146–150)

Die Metapher Sich-ein-Bild-daraus-machen drückt sehr schön aus, was nach Leos Empfinden geschieht, während er das Schulbuchmaterial bearbeitet. Komponenten aus Text und Abbildung ergeben ein für ihn logisches Gefüge, es entsteht ein Gesamtbild.

### **Text-Bild-Bezüge müssen klar erkennbar sein**

Zum Thema Reagierender Kohlenstoffkreislauf sollen sowohl der Text als auch die Abbildung zur Erreichung des Vermittlungsziels beitragen. Die Textaussage zu zusätzlichen Kohlenstoffflüssen und die orangefarbenen Pfeile in der Abbildung sind aber nicht z.B. durch einen Abbildungsverweis im Text oder einen direkten textlichen Bezug aufeinander bezogen. Bei Leo haben sie nicht im angezielten Sinn zu fachlich angemessenen Vorstellungen geführt:

Was mir komisch erscheint, sind diese orangenen Pfeile, die für indirekte Folgen menschlichen Handelns stehen. Im Text wurde, glaube ich, auch nichts dazu erwähnt, von was für einem Handeln man da spricht. Also irgendwelche Fallbeispiele, dass der Mensch das und das macht und dadurch verändert sich was am Oberflächenwasser und am Tiefenwasser. Das menschliche Handeln habe ich hier gefunden (zeigt auf eine Textstelle). Wenn man vom Einfluss des Menschen redet, durch die Förderung von Kohle, Erdöl und Erdgas. Ja gut, wenn man das durch Bohrinseln fördert ... Wahrscheinlich ist das damit gemeint. (Leo, 150–160)

Der Text enthält keine Formulierung wie: „*Als indirekte Folge der CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch den Menschen verändern sich Flussraten zwischen den Speichern.*“ oder: „Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre kann zu zusätzlichen Flüssen in andere Speicher führen (*siehe Abbildung 1, indirekte Folgen*).“ Leo versucht die Verstehenslücke durch Vermutungen (Auswirkungen der Bohrinseln) zu füllen.

### **Bildelemente, auf die der Text nicht verweist, können ihre Wirkung verfehlen**

Zu dem Foto, das ein Stück Braunkohle zeigt, auf dem der Abdruck einer Pflanze erkennbar ist, äußert sich der Schüler nicht. Zu folgender Textpassage könnte das Bild eine Anschauung bieten: „Die heutigen Vorkommen von Kohle, Erdöl und Erdgas sind vor Jahrtausenden entstanden. Erst durch die Förderung dieses fossilen Kohlenstoffs ...“ Woraus sind die fossilen Brennstoffe entstanden? Warum werden sie *fossile* Brennstoffe genannt? Das Bild kann dazu unmittelbar Vorstellungen an die Lernenden herantragen. Ohne Verweis kann diese Wirkung jedoch unterbleiben.

### **Aufgaben können Vorstellungen der Lernenden erkennbar machen**

Das Lernangebot enthält zwei Aufgaben. Leo wurde gebeten, jeweils kurz einen Lösungsansatz zu beschreiben. In Aufgabe 1 wird dazu aufgefordert, die Nahrungskette Pflanze, Pflanzenfresser, Fleischfresser in das in Abbildung 1 dargestellte System aus Speichern und Stoffflüssen einzuordnen.

Wenn man das einordnen soll in das System aus Speichern und Stoffflüssen, dann würde ich die Pflanze am Anfang als Speicher wählen, weil die unbeweglich ist und darauf wartet, gefressen zu werden. Dann ist das Pflanzen fressende Tier, das die Pflanze aufnimmt, ein kleiner Zwischenspeicher und dann kommt das ganz oben in der Nahrungskette stehende Fleisch fressende Tier, der Endverbraucher. (Leo, 288–292)

Leos Äußerungen entsprechen nicht der erwarteten Lösung (Kohlenstofffluss innerhalb des Speichers Landlebewesen), sondern er überträgt das Prinzip Speicher und Stoffflüsse auf

die Nahrungskette (Kette von Speichern, Fressen bedeutet Stofffluss). Statt einzuordnen übernimmt er das ordnende Prinzip.

Aufgabe 2 fordert dazu auf, zwei möglichst unterschiedliche denkbare Wege eines Kohlenstoffatoms unter Verwendung von Abbildung 1 aufzuzeigen und zu vergleichen. Leo zeichnet seine Lösung in die Abbildung ein (siehe Abbildung 10.2.4.3.1).

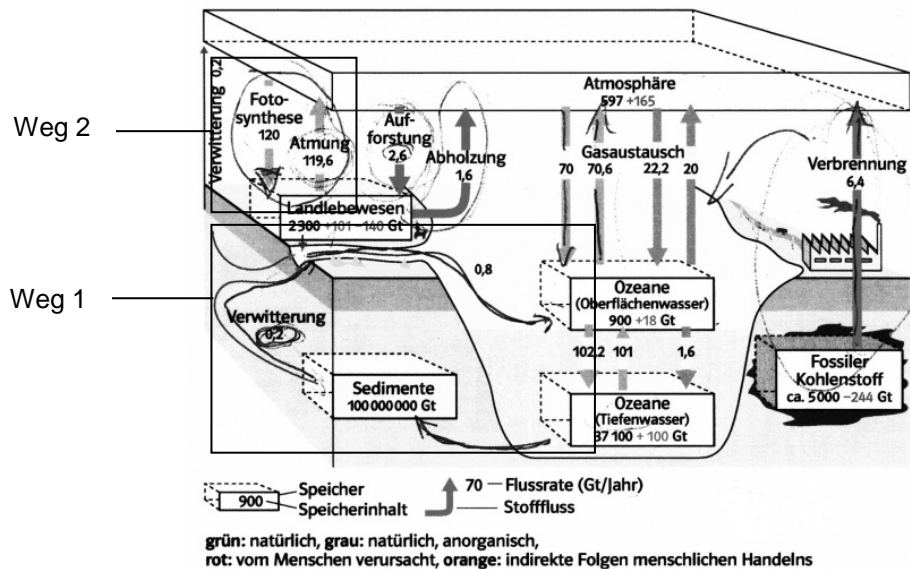


Abb. 10.2.4.3.1: Schülereintragen zu Wegen des Kohlenstoffs im Kohlenstoffkreislauf in die Buchabbildung

Wie der Kohlenstoff vom Tiefwasser in die Sedimente gelangt, kann ich mir jetzt gar nicht vorstellen. Hier steht zwar, dass das möglich ist (liest halblaut im zweiten und dritten Absatz). „Jedes Jahr fließen gigantische Mengen Kohlenstoff von einem Speicher in einen anderen.“ Also muss das ja irgendwie passieren. (Leo, 327–332)

Der Lösungsansatz zeigt, dass Leo seine Vorstellung vom System aus Speichern und Stoffflüssen zur Lösung dieser Aufgabe heranziehen kann. Er versucht, sich dabei die Übergänge von einem Speicher in einen anderen konkret vorzustellen. Obwohl er keine dazu passende Flussursache kennt, schließt er aus dem Material, dass ein Übertritt möglich sein muss.

Freds Aussagen zeigen, dass die Bearbeitung der Aufgaben und das Vorstellen seiner Lösungen einen Einblick in sein Verständnis zum Kohlenstoffkreislauf geben, das er bei der Auseinandersetzung mit den Inhalten des Lernangebots erlangt hat.

#### 10.2.4.4 Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse (Kapitel 7)

Auf der Grundlage der Analyse des Schulbuchinhalts wurden Hypothesen zu dessen Verständlichkeit aufgestellt. Die Ergebnisse der Untersuchung zu dessen Lernwirkung und Verständlichkeit werden hier zur Prüfung der Hypothesen herangezogen.



- *Aus komplexen Informationen in Grafiken, in diesem Fall einem System aus Symbolen und Zahlenwerten, können Lernende ohne textliche Hilfe nur schwer zu Vorstellungen gelangen.*

Hierzu hat die Untersuchung zu nahezu den gleichen Ergebnissen geführt, wie die Untersuchung des Materials aus Biologie heute SII (Braun et al 2011). Grafikkomponenten, zu denen der Text Einordnung oder Beispiele bietet, wurden recht gut verstanden, andere wurden wenig beachtet (Ozeane) oder nur schwer verstanden (indirekte Folgen) (Leo 158f, s.o.).

Die folgenden beiden Hypothesen beziehen sich auf die Verwendung von Termini.

- *Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, fördert das Verstehen des zentralen Inhalts.*
- *Das Verzichten auf das Verwenden von Synonymen oder ähnliche Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erleichtern.*

Der Text enthält vergleichsweise wenige Fachtermini. Termini wie Fotosynthese, Flussrate oder dynamisches Gleichgewicht werden im Kontext erläutert und – möglicherweise dadurch gestützt – von Leo verstanden. Den Terminus *unbelebte Natur* im Zusammenhang mit Kohlenstoffvorkommen auf der Erde hat Leo nicht richtig verstanden, ebenso wie *indirekte Folgen menschlichen Handelns*. Für beide Fälle wurden Möglichkeiten zur Optimierung aufgezeigt (s.o.).

- *Die Übereinstimmung von in Text und Abbildung zum Ausdruck kommenden Vorstellungen fördert das Verstehen.*

Text und Abbildung stellen den Kohlenstoffkreislauf als System aus Speichern und Stoffflüssen dar. Der Schüler hat mehrfach den Text bzw. die Abbildung herangezogen, um den jeweils anderen Materialteil zu verstehen. Dies ist ihm auch gelungen, wahrscheinlich nicht zuletzt deshalb, weil beide die gleichen Vorstellungen, als wesentliche Grundstruktur das Speicher-Fluss-Modell, stützen.

#### **10.2. 4.5 Zusammenfassung**

Das Speicher-Fluss-Schema ist leitend für die Darstellungen des Kohlenstoffkreislaufs in Text und Abbildung. Dies erleichtert dem Schüler wechselseitig die grundsätzliche Orientierung. Die logische Abfolge der Textinhalte wird erkannt und verstanden. Der Terminus ‚unbelebte Natur‘ wird als Widerspruch in sich empfunden. Nach seiner Einschätzung zur Verständlichkeit gefragt, sagt Leo:

Manchmal ist ein bisschen viel Information darein gepackt, dass man ein bisschen erdrückt wird, finde ich, von diesen Massen an Wörtern. Also da würde ich mir vielleicht ein paar Absätze mehr wünschen. (Leo, 456–460)

Die Orientierung bietende Wirkung der Grafik kann sich in denjenigen Bereichen nicht voll entfalten, in denen der Text nicht einen eindeutigen Bezug bereitstellt, wie das Beispiel rea-

gierender Kohlenstoffkreislauf, also indirekte Folgen anthropogener CO<sub>2</sub>-Freisetzung zeigt. Das Foto wurde vom Schüler nicht beachtet. Der Text hat nicht darauf verwiesen.

### 10.3 Fazit

Die Verständlichkeit von Schulbuchtexten, Abbildungen und deren Zusammenwirken wurde untersucht, indem die Aussagen der Probanden aus dieser Perspektive analysiert wurden, und zwar einerseits durch das Beziehen der Aussagen direkt auf das vorgelegte Material und andererseits durch die Prüfung der mit fachdidaktischem Blick auf die Schulbuchinhalte aufgestellten Hypothesen (Kapitel 7).

Die vier untersuchten Schulbuchinhalte haben jeweils durch Text und eine Übersichtsgrafik Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf an die Lernenden herangetragen. Die Äußerungen der Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung haben lernförderliche und lernhemmende Eigenschaften der Materialien erkennen lassen. Die Zusammenschau zeigt, dass häufig gleiche oder ähnliche Merkmale von Text bzw. Abbildung auftreten und diese zu vergleichbaren Ergebnissen bezüglich der Verständlichkeit führen.

Im Folgenden sind die Ergebnisse zusammengefasst, geordnet nach Kriterien, die als Zwischenüberschriften angegeben sind. Hypothesen, die sich in der Untersuchung als zutreffend erwiesen haben, sind als Aussagen integriert und durch Kursiv-Stellen markiert (Abbildungen 10.3.1, 10.3.2, 10.3.3). Bei der Betrachtung der Übersichten ist zu beachten, dass die Ergebnisse bei der Verwendung von konkreten Schulbuchinhalten in einer konkreten Lernsituation gewonnen wurden. Die vorliegende Arbeit kann nicht belegen, die eine Nichtbeachtung einer der Aussagen zwangsläufig zu einem Lernhindernis führt.

Die Ergebnisse bezüglich Textverständlichkeit (Abbildung 10.3.1) und Verständlichkeit von Abbildungen (Abbildung 10.3.2) überschneiden sich in mehreren Bereichen. Um sich „ein Bild“ von einem Lerngegenstand machen zu können, benötigen Lernende ein Verständnis von allen seinen Komponenten. Dies können sie erlangen, indem sie an sie herangetragene Vorstellungen mit bereits vorhandenen zu einem widerspruchsfreien Ganzen zusammenfügen.

Die Untersuchung hat u.a. gezeigt, dass Fachtermini nicht immer angemessene Vorstellungen aktivieren. Durch unverstandene Fachwörter entstehen Lücken im Verständnis, die vermieden werden können, wenn insbesondere der Text nicht nur das Wort, sondern auch in kurzer Form die Bedeutung beschreibt. Dieses Vorgehen kann auch dazu beitragen, dass ein in anderem Zusammenhang kennengelernter Terminus sinnstiftend in einen neuen Kontext eingefügt werden kann. Insbesondere bei der Bearbeitung eines komplexen Themas wie den Kohlenstoffkreislauf ist für das Verstehen von entscheidender Bedeutung, dass das Material durch die Reihenfolge und Anordnung der einzelnen Aspekte einen Weg weist, dessen Beschreiten zu einem Verständnis des Ganzen und damit der Zusammenhänge führen kann. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion stellt dafür ein Verfahren bereit. Fachlich geklärte Vorstellungen und die bei Lernenden vorhandenen Vorstellungen müssen so aufeinander bezogen werden, dass eine didaktische Struktur entwickelt werden kann, die diesen

Bedingungen genügt. Insbesondere die gezielte Aktivierung verkörperter Vorstellungen, wie hier z.B. das Behälterschema, das Gleichgewichts- und das Kreislaufschema, kann dazu beitragen.

### **Textverständlichkeit**

#### **Der Text muss die notwendigen Inhalte aufweisen**

*Der Schulbuchtext muss die angezielten Wissensstrukturen darstellen und bezeichnen.*

*Fachtermini aktivieren bei Lernenden nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen.*

*Fachtermini bezeichnen genau einen fachlichen Inhalt.*

*Die sparsame Verwendung von Fachtermini, die nicht zum Kern des Themas gehören, ist förderlich für das Verstehen des zentralen Inhalts.*

#### **Der Text muss genau sein**

*Wiederholungen sind von ähnlichen Aussagen zu scheiden.*

*Interferierende Fachinhalte müssen klar in Beziehung gesetzt werden.*

*Denkfiguren müssen konsequent unterstützt werden.*

*Das Verwenden von Synonymen oder ähnlichen Termini für gleiche Objekte oder Vorgänge kann das Verstehen erschweren.*

#### **Der Text sollte einen rekonstruierten Denkpfad bieten**

*Der Schulbuchtext gibt einen Lernweg vor.*

*Im Schulbuchinhalt nicht erklärte Wechsel der „Vorstellungsebenen“ erschweren das Verstehen.*

*Kognitive Konflikte müssen aufgelöst werden.*

*Alltagsvorstellungen und vorhandene Schemata können eine Brücke bilden zu fachlich geklärten Vorstellungen.*

*Alltagsvorstellungen und vorhandene Schemata können lernhinderlich sein beim Verstehen fachlicher Vorstellungen.*

*Vorhandene Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen.*

Abb. 10.3.1: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Textverständlichkeit

Orientierung ist umso notwendiger, je komplexer ein Unterrichtsgegenstand ist, insbesondere wenn er durch das Schulbuch auch zum selbstständigen Verstehen an Lernende herangebracht wird. Texte und Abbildungen können einen Beitrag dazu leisten, insbesondere wenn die Stärken beider Medien kombiniert werden. So kann der Text Vorstellungen anbieten und zur Benennung Termini bereitstellen, kausale Bezüge erklären und Beispiele anführen. Eine Übersichtsgrafik kann beim Ordnen von Komponenten helfen, viele Bezüge ‚anschaulich‘ darstellen, zu einer im Text beschriebenen Grundstruktur weitere Informationen bereitstellen und damit den Text entlasten. Text und Abbildung verhalten sich zueinander wie Wegbeschreibung und Landkarte. An diesem Beispiel erkennt man schnell, dass Orientierung verloren geht, wenn sie nicht übereinstimmen, wenn Widersprüche zwischen ihnen bestehen. Die Untersuchung hat gezeigt, dass Text und Abbildung dann ihre Lernwirkung gut entfalten können, wenn sie jeweils die Stärken des Mediums nutzen und widerspruchsfrei zueinander passen und wenn die Lernenden im Material Hinweise zum Zusammenwirken enthalten.

### **Abbildungsverständlichkeit**

#### **Die Grafik muss alle notwendigen Inhalte aufweisen**

*Logische Bilder setzen Elemente zueinander in Beziehung.*

*Das Verstehen komplexer Systeme mit vielen Komponenten kann durch Übersicht gebende grafische Darstellungen erleichtert werden.*

*In einer logischen Struktur können zusätzliche Informationen verankert werden.*

*Vorstellungen sind nicht beliebig kombinierbar.*

*Eine Abbildung kann bei Lernenden vorhandene Vorstellungen und Schemata aktivieren.*

*Grafische Elemente können verkörperte Vorstellungen aufrufen (Ersatzfunktion).*

*Einheitlichkeit fördert die Lernwirkung von Abbildungen.*

#### **Die Grafik muss präzise sein**

*Die Einheitlichkeit fördert die Lernwirkung von Abbildungen.*

*Fachtermini bezeichnen genau einen fachlichen Inhalt.*

*Fachtermini aktivieren bei Lernenden nicht immer die mit ihnen bezeichneten Vorstellungen.*

*Die uneinheitliche Darstellung von vergleichbaren Komponenten erschwert das Verstehen.*

#### **Die Grafik sollte einen rekonstruierten Denkfad bieten**

*Zuordnungen in logischen Bildern müssen eindeutig erkennbar sein.*

*Abbildungen können Größenordnungen anschaulich machen.*

*Interferierende Inhalte sollten klar getrennt werden.*

*Vorhandene Vorstellungen werden mit früheren Kontexten aufgerufen.*

*Piktogramme können durch das Aktivieren von Alltagsvorstellungen (oder auch fachliche Vorstellungen) das Verstehen von abstrakten logischen Bildern oder Text-Abbildungs-Arrangements erleichtern, sofern sie die Abbildung nicht überfrachten.*

Abb. 10.3.2: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Abbildungsverständlichkeit

### **Text-Bild-Verschränkung**

#### **Text und Grafik müssen genau aufeinander bezogen sein**

*Text und Abbildung bilden ein Ganzes.*

*Die Übersichtsgrafik bietet Orientierung zu den im Text dargestellten Aspekten.*

*Die Übereinstimmung von in Text und Abbildung zum Ausdruck kommenden Vorstellungen ist förderlich für das Verstehen.*

*Übereinstimmung zwischen Text und Abbildung kann auch bedeuten, dass sie die gleichen Schwächen aufweisen.*

*Text-Bild-Bezüge müssen klar erkennbar sein.*

*Bildelemente, auf die der Text nicht verweist, können ihre Wirkung verfehlen.*

#### **Text und Grafik sollten gemeinsam einen rekonstruierten Denkfad bieten**

*Text und Abbildung sollten einander verstehen helfen.*

*Text und Abbildung sollten in ihren Aussagen zueinander passen.*

*Die Übersichtsgrafik bietet Orientierung zu den im Text dargestellten Aspekten.*

*Die Abbildung kann auch Fehlvorstellungen stützen.*

*Die Bereitstellung von Termini durch den Text für Komponenten in der Abbildung erleichtert das Verstehen.*

*In der logischen Struktur einer Abbildung können zusätzliche Informationen verankert werden.*

Abb. 10.3.1: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Verständlichkeit von Text-Abbildungs-Kombinationen

## 11. Diskussion der Ergebnisse

Im Rückblick sollen der theoretische Rahmen, das methodische Vorgehen und nicht zuletzt die Untersuchungsergebnisse kritisch beleuchtet werden. Außerdem soll der Versuch unternommen werden, die Arbeit in die fachdidaktische Forschungslandschaft einzuordnen. Abschließend werden die Ergebnisse herangezogen, um daraus begründet Empfehlungen für die Schulbuchgestaltung im Hinblick auf ihre lernförderliche Wirkung abzuleiten.

### 11.1 Reflexion des theoretischen Rahmens

Der theoretische Rahmen für die vorliegende Untersuchung wird aufgespannt durch eine konstruktivistische Sichtweise auf das Lernen, die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und den Conceptual-Change-Ansatz.

Die Betrachtung von Lernen aus der Perspektive des Konstruktivismus hat sich in der biologie-didaktischen Forschung vielfach bewährt. Lernen wird aufgefasst als die individuelle Bildung von Vorstellungen, die im Wesentlichen beeinflusst wird vom Lernangebot und von verfügbaren Vorstellungen. Das Lernangebot Schulbuch ist seinerseits aufzufassen als das Ergebnis der Vorstellungsbildung bei Autoren, die ihr Verständnis von Vorstellungen von Fachwissenschaftlern zu einem naturwissenschaftlichen Gegenstand didaktisch so aufzubereiten und darzustellen bemüht sind, dass Lernende ihre Vorstellungen mithilfe des Schulbuchs den fachwissenschaftlich anerkannten annähern können. Im Gegensatz zur Unterrichtssituation, in der Unterrichtende individuelle Lernhilfen geben können, sollte das Schulbuch im Idealfall auch als Selbstbildungsmittel ohne Hilfe verständlich sein. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Prozess der Auseinandersetzung von Lernenden mit dem Schulbuchinhalt in den Blick zu nehmen. Es wurde untersucht, wie Lernende in der Interaktion mit dem Schulbuchinhalt Vorstellungen konstruieren auf der Basis vorhandener Kognitionen und Schemata. Neben dieser Ebene des Verstehens sollen die Ergebnisse herangezogen werden, um Aussagen über die Verständlichkeit des Inhalts des Lerngegenstands Schulbuch zu gewinnen. Im Gegensatz zu im Unterricht verwendeten Lerngegenständen soll das Schulbuch auch ohne dialogische Kommunikation mit Lehrkräften seine Lernwirkung entfalten.

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens gibt die Möglichkeit, Sprache theoretisch fundiert als Zugang zu Vorstellungen zu nutzen. So konnten bei Wissenschaftlern, in Schulbuchinhalten und bei Lernenden vorkommende verkörperte Vorstellungen identifiziert werden, wie sie z.B. dem Behälterschema als Grundlage für das Verständnis von Kohlenstoffspeichern oder dem Kreislaufschema zugrunde liegen. Durch die Auswertung von Äußerungen zu den Abbildungen konnten auch sie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in den Blick genommen und mit den Lernwirkungen des Textes verglichen werden.

Der Conceptual-Change-Ansatz stellt eine Beziehung her zwischen den bei den Lernenden vorhandenen Vorstellungen und solchen, die – im Falle dieser Untersuchung durch das Schulbuch – an sie herangetragen werden. Der Ansatz hat sich sowohl beim Verstehen von eingetretenen bzw. nicht eingetretenen Vorstellungsänderungen als auch bei der Entwicklung von Vorschlägen zur Verbesserung der Verständlichkeit und Lernwirksamkeit von

Schulbuchinhalten bewährt. Insbesondere hat sich gezeigt, dass in vorangegangenem Unterricht gebildete Vorstellungen in neuen Kontexten ohne Stützung nicht immer fruchtbar zum Verständnis beitragen können.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass sich dieser theoretische Rahmen nicht nur bei der didaktischen Strukturierung von Lerninhalten als fruchtbar erweist, sondern auch bei der Analyse vorhandener Lernangebote. Groß (2007, 203) kritisiert, dass alle drei Komponenten dieses theoretischen Rahmens überwiegend kognitive Prozesse klären, jedoch zu affektiv-emotionalen Komponenten und deren Bedeutung für den Vermittlungsprozess kein theoretisches Konzept bieten. Es kann vermutet werden, dass diese Komponenten gerade bei den von ihm untersuchten außerschulischen Lernorten, die teilweise Begegnungsmöglichkeiten mit lebenden Tieren bieten, bedeutsamer sind als bei der Auseinandersetzung mit Schulbuchinhalten zum Kohlenstoffkreislauf. Andererseits hat sich in der vorliegenden Untersuchung gezeigt, dass auch der entsprechende Schulbuchinhalt durch seine Bezüge zu Klimaveränderung und Aussterben von Arten emotional berühren kann. Insofern kann hier der Anregung von Groß nur zugestimmt werden, zukünftige Forschungsarbeiten zur Lehr-/Lernforschung könnten hier zur Klärung beitragen.

## **11.2 Reflexion des methodischen Vorgehens**

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion ist ein Forschungsprogramm, in dessen Rahmen eine Vielzahl von wissenschaftlichen Beiträgen zur fachdidaktischen Lehr- und Lernforschung entstanden sind. Das zugrundeliegende Forschungsdesign hat sich sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Evaluation von Lernangeboten bewährt. Allen Untersuchungen auf dieser Basis ist gemein, dass die Lernangebote auf die Ergebnisse einer Fachlichen Klärung aus Vermittlungsperspektive und auf die bei Lernenden vorhandenen Vorstellungen bezogen sind. In seiner ursprünglichen Umsetzung wurde und wird es genutzt, um methodisch kontrolliert im Rahmen einer Didaktischen Strukturierung ein Lernangebot zu entwickeln bzw. zu verbessern, indem die Didaktische Strukturierung, die Fachliche Klärung und die Ermittlung von Lernervorstellungen in einem rekursiven Vorgehen aufeinander bezogen werden. Im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion können aber auch bestehende Lernangebote auf ihre Lernwirkung und Lernwirksamkeit untersucht werden (Groß 2007). In der vorliegenden Arbeit wurde in diesem Forschungsrahmen die Lernwirkung von Schulbuchinhalten zum Kohlenstoffkreislauf in Beziehung gesetzt zu einer Fachlichen Klärung und den Ergebnissen zur Ermittlung von Lernervorstellungen mit dem Ziel, Lernwirkungen der Schulbuchinhalte zu erkennen und auf das Verstehen fördernde bzw. hemmende Eigenschaften des Lernangebots zu schließen, um so einen Beitrag zur Schulbuchforschung zu leisten

Die Anwendung von Methoden der qualitativen Inhaltsanalyse auf wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Kohlenstoffkreislauf bzw. vorhandenen Synopsen dazu, auf die entsprechenden Schulbuchinhalte und auf Äußerungen der Lernenden in den Interviews haben einerseits dazu geführt, dass die Ergebnisse aller Untersuchungsschritte aufeinander bezogen werden konnten, und andererseits Hinweise erbracht auf die Ursachen von Schwierigkeiten beim Verstehen der Schulbuchinhalte. Die relativ geringe Anzahl von Interviews erscheint einerseits dadurch gerechtfertigt, dass die Inhalte zum Thema Kohlenstoffkreislauf in zurzeit in deutscher Sprache vorliegenden Biologieschulbüchern für die gymnasiale Oberstufe er-

hebliche Ähnlichkeiten aufweisen (vgl. Kapitel 7.2) und ist andererseits darin begründet, dass die durchgeführten Vermittlungsexperimente gezeigt haben, dass die Lernenden immer wieder Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf auf der Basis gleicher Schemata und Denkfiguren entwickeln, die auch in anders gearteten Vermittlungsexperimenten (Niebert 2010) erkannt wurden. Gleichermaßen zeigten sich teilweise Übereinstimmungen bezüglich verstehenshemmender Eigenschaften der untersuchten Schulbuchinhalte.

### **11.3 Reflexion der Untersuchungsergebnisse**

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf durch Reanalyse wissenschaftlicher Arbeiten zu diesem Thema erhoben (Fachliche Klärung). Diese wurden in Beziehung gesetzt zu den aus Schulbuchinhalten rekonstruierten Vorstellungen und jenen, die in Schüleräußerungen erkennbar waren, während die Schüler sich mit den Schulbuchinhalten auseinandersetzten. Dabei wurde erkennbar, dass Wissenschaftler, Schulbuchautoren und Lerner überwiegend auf die gleichen erfahrungsbasierten Quellbereiche zurückgreifen. Der Vergleich mit den Ergebnissen von Niebert (2010) zeigt, dass die Befunde bezüglich Wissenschaftler- und Lernervorstellungen einander im Wesentlichen bestätigen. Abweichend zu den Ergebnissen von Niebert wurden keine Hinweise auf die Denkfigur ‚Natürliches CO<sub>2</sub>/künstliches CO<sub>2</sub>‘ im Sinne eines chemischen Unterschieds gefunden. Das Konzept *Künstliches CO<sub>2</sub>* konnte aus Lerneraussagen rekonstruiert werden, die sich auf die Abgrenzung von natürlicher CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Dissimilation und anthropogener Freisetzung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe bezogen. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde erkennbar, dass das Behälterschema, das Speicher-Fluss-Schema, das Kreislaufschema und das Gleichgewichtsschema entscheidend sind beim Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs. Als wesentlich für das Verstehen der Zusammenhänge durch die Lernenden erwies sich das Erkennen, welche biologischen Vorgänge (Zielbereich) welchen verkörperten Vorstellungen (Quellbereich) zuzuordnen sind. Hier zeigten sich teilweise erhebliche Schwierigkeiten der Lernenden beim Verstehen der Schulbuchinhalte. Es hat sich herausgestellt, dass dem Verständnis zugrundeliegende Schemata auch fehlerhaft sein können, wie sich bei der Verknüpfung des Behälterschemas mit globalen Kohlenstoffspeichern zeigte (‚bis die Speicher voll sind‘).

Durch die Analyse der Lerneraussagen in den Interviews konnten Ursachen für die Probleme beim Verstehen der Schulbuchinhalte erkannt werden. Der Zusammenhang ließ sich dadurch absichern, dass vergleichbare Hemmnisse für die Vorstellungsbildung mehrfach festgestellt wurden. Zu möglichen Lernhindernissen wurden Hypothesen formuliert und geprüft. Im folgenden Kapitel werden aus den Ergebnissen dieses Untersuchungsteils Empfehlungen für die Entwicklung von Schulbuchinhalten abgeleitet.

### **11.4 Empfehlungen für die Schulbuchentwicklung**

Vorstellungen von Lernenden zu einem Sachgegenstand und deren Veränderung durch die Auseinandersetzung mit einem Lerngegenstand können methodisch kontrolliert erhoben werden. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion zeigt einen Weg auf, wie unter Berück-

sichtigung dieser Lernervorstellungen und den Ergebnissen einer fachlichen Klärung ein Lernangebot, also auch ein Schulbuchinhalt, didaktisch rekonstruiert werden kann.

Im Rahmen der *Elementarisierung* kann der Kerngedanke des Themas bzw. können die Kernelemente des Themas und deren Beziehungen zueinander herausgearbeitet werden. Zum Thema Kohlenstoffkreislauf gehören dazu die globale Verteilung des Kohlenstoffs, deren Veränderung und gegebenenfalls gesondert die anthropogen verursachten Kohlenstoffflüsse. Als fruchtbar erweist sich die Beachtung der den Vorstellungen zum Thema zugrundeliegenden Schemata, wie das Speicher-Fluss-Schema, mit dem das Behälterschema verbunden ist, und das Kreislaufschema. Entsprechende Festlegungen können die Basis sein für eine aufeinander abgestimmte Ausarbeitung von Text und Abbildungen, die dann einander stützen beim Anbieten der gleichen Vorstellungen.

Im Zuge der *Fachlichen Rahmung* werden die fachlichen Voraussetzungen, wie Verständnis zu Fotosynthese und biologischer Oxidation, zur Chemie des Kohlenstoffs, ermittelt und berücksichtigt. Dadurch wird erreicht, dass fehlende oder unzureichende Voraussetzungen in dem zu konzipierenden Schulbuchinhalt, also hier in den Ausführungen zum Kohlenstoffkreislauf, bereitgestellt werden. Dazu gehört hier, das Element Kohlenstoff und seine Verbindungen und deren Eigenschaften (z.B. Löslichkeit von  $\text{CO}_2$ ) in Beziehung zu setzen. Zur Fachlichen Rahmung gehört gegebenenfalls auch, Bezüge zu Inhalten anderer Schulfächer zu beachten. So steht Kalkgestein (Sedimentgestein) im Kalkkreislauf im Zentrum chemischer Umwandlungen, ist aber im Kohlenstoffkreislauf trotz riesiger Vorkommen (größter Speicher) aufgrund der geringen Flussrate von untergeordneter Bedeutung bei der Betrachtung dynamischer Veränderungen.

Im Rahmen der *Kritischen Analyse* können solche möglicherweise fehlleitenden Bezüge identifiziert werden, um Hilfen für Verstehen zu planen, wie hier der Hinweis, dass eine große Masse Kohlenstoff in einem Speicher nicht zwangsläufig zu einer großen Flussrate in andere Speicher führt und warum dies so ist.

In Schulbüchern kann man erkennen, dass kumulatives Lernen vorausgesetzt wird. Begriffe werden innerhalb der Bücher in späteren Kapiteln zunehmend durch Fachtermini repräsentiert. Diese führen nicht immer dazu, dass Lernende die angezielten Vorstellungen verfügbar haben, wie das Beispiel Biomasse gezeigt hat (vgl. Kapitel 10.2.2.1). Im Rahmen der Kritischen Analyse sollten möglicherweise fehlleitende Termini und solche, zu denen Verständnis fehlen könnte oder gar solche, die für das Verständnis in der Lernsituation überflüssig ist, identifiziert werden, um Hilfen zu konstruieren bzw. sie zu vermeiden. Durch eine kurze Umschreibung kann z. B. die Übertragung erlangter Vorstellungen von einem in einen anderen Kontext erleichtert werden. Beispiel Biomasse: Die gesamte Masse aller Landlebewesen (ihre Biomasse) kann als ein Kohlenstoffspeicher im Gefüge des Kohlenstoffkreislaufs betrachtet werden.

In manchen Fällen werden ähnliche Fachtermini synonym gebraucht, obwohl sie entweder nicht vollständig bedeutungsgleich sind oder in anderen Kontexten gebräuchlich sind. Dies kann lernhinderlich sein (siehe Kapitel 10.2.2.4). Zum einen muss der Lernende die durch die Termini repräsentierten Vorstellungen verfügbar haben und zum anderen muss er ab-



schätzen, ob der Bedeutungsunterschied im Kontext relevant ist. Außerdem wird die Begleitung des Kontextwechsels (s.o.) erschwert, da er kaum für alle alternativen Termini erfolgen kann, ohne Text und Abbildung unnötig zu befrachten. Beispiel: Fotosynthese – Assimilation – Autotrophie. In den Schulbuchinhalten zum Kohlenstoffkreislauf werden diese Termini teilweise ohne weitere Erläuterung abwechselnd gebraucht, obwohl sie nicht synonym sind (siehe Abbildung 11.4.1). Es sollte eine begründete Entscheidung für einen Terminus getroffen werden und ein weiterer nur dann zusätzlich verwendet werden, wenn dies die Vorstellungsbildung erleichtert. Im Rahmen des Themas Kohlenstoffkreislauf erscheint die Wahl des Terminus Fotosynthese sinnvoll, da er die Bindung anorganischen Kohlenstoffs im Kern trifft. Das Außerachtlassen der Chemosynthese ist fachdidaktisch begründbar.

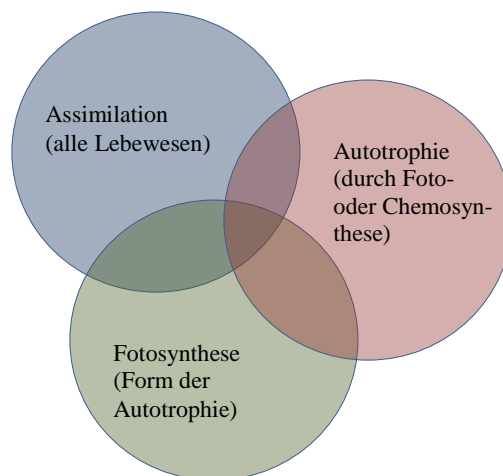


Abb. 11.4.1: Überlappende Begriffe

Die *Lebensweltliche Einbettung* sollte auf mehreren Ebenen erfolgen. Zum einen kann der Lernende sich selbst als Teil des Kohlenstoffkreislaufs erfahren. Er nimmt Kohlenstoff mit der Nahrung auf, speichert ihn und gibt Kohlenstoff als Produkt der biologischen Oxidation mit der Atmung ab. Zum anderen verändert der Mensch die Verteilung von Kohlenstoff auf der Erde in globalem Maßstab durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Rodung von Wäldern

Aus der Perspektive der *Verständlichkeit* bilden die oben genannten Aspekte wichtige Voraussetzungen für das lernförderliche Anbieten von Vorstellungen. Wie die untersuchten Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf zeigen, werden in Schulbücher teilweise komplexe Zusammenhänge auf wenig Platz dargestellt. Elementarisierung und Kritische Analyse sind wesentliche Mittel, um die Inhalte und die Anzahl der Fachtermini auf ein notwendiges Maß zu beschränken. Daneben tragen sprachliche Klarheit, Übersichtlichkeit der Abbildungsgestaltung und die Abstimmung zwischen Text und Bildelementen zur Verständlichkeit bei, indem sie z.B. durch vermeidbare Wiederholungen Platz für eine angemessene Informationsdichte bieten und konsequent einen Denkpfad stützen.

## **11.5 Relevanz für die (biologiedidaktische) Lehr-Lern-Forschung**

Das in den Kapiteln 11.1 und 11.2 auf die vorliegende Untersuchung bezogen reflektierte Set aus Theoretischem Rahmen und Untersuchungsdesign wurde ursprünglich entwickelt mit dem Ziel, theoretisch fundiert und methodisch begründet im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion Lernangebote herzustellen bzw. zu verbessern (u.a. Gropengießer 2001, Riemeier 2005, Schneeweiß 2010, Niebert 2010). Groß (2007) hat dieses Vorgehen an die Evaluation außerschulischer Lernorte angepasst. In der vorliegenden Arbeit ist die Anpassung des Untersuchungsdesigns an die Untersuchung der Lernwirkung und der Verständlichkeit von Schulbuchinhalten dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass aus der Untersuchung begründete Vorschläge zur Optimierung der Lernwirkung und Verbesserung der Verständlichkeit von Schulbüchern abgeleitet werden können. Damit erweitert sich der mögliche Forschungsbereich um einen weiteren Teilbereich. Es kann erwartet werden, dass mit vergleichbarem Vorgehen die Lernwirkung weiterer für den Unterricht relevanter Medien untersucht werden kann. Dabei kann es sich beispielsweise um Arbeitsblätter, Unterrichtsfilme oder multimediale Angebote handeln.

## 12 Literatur

- American Association for the Advancement of Science (AAAS) Project 2061 (1993). Benchmarks for science literacy. New York, Oxford: University Press
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) Project 2061 Textbook Evaluations: High School Biology Textbooks: A Benchmarks-Based Evaluation. Project 2061 Analysis Procedure, Criteria Used in Evaluating the Textbooks' Quality of Instructional Support. <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/report/crit-used.htm> [12.09.2010]
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). High School Biology Textbooks: A Benchmarks-Based Evaluation. <http://www.project2061.org/publications/textbook/hsbio/report/default.htm> [12.09.2010]
- Andersen, S. (1985). Sprachliche Verständlichkeit und Wahrscheinlichkeit. Bochum: Studienverlag Brockmeyer
- Amstad, T. (1978). Wie verständlich sind unsere Zeitungen? Dissertation Universität Zürich
- Anderson, J. R. (2000) Learning and Memory (2. Aufl.) New York: Wiley
- Apolin, M. (2002) die Sprache in Physikbüchern unter besonderer Berücksichtigung von Texten zur speziellen Relativitätstheorie. Dissertation Wien 2002
- Aufschnaiter, C. v. (2003). Prozessbasierte Detailanalysen der Bildungsqualität von Physik-Unterricht: Eine explorative Studie. . *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 9, 105–124
- Baalmann, W. & Kattmann, U.(2000). Birkenspanner: Genetik im Kontext von Evolution. *Unterricht Biologie* 260, 32–35.
- Baalmann, W. Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004) Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10, 7–28
- Ballstaedt, S.-P. (1996). Bildverstehen, Bildverständlichkeit: Ein Forschungsüberblick unter Anwenderperspektive. In: Krings, H.-P. (Hrsg.). Wissenschaftliche Grundlagen der Technischen Kommunikation. (S.191–233). Tübingen: Gunter Narr Verlag
- Ballstaedt, S.-P. (1997). Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Psychologie-Verlagsunion,
- Ballstaedt, S.-P., Mandl, H., Schnotz, W. & Tergan, S.-O. (1981). Texte verstehen, Texte gestalten. München: Urban und Schwarzenberg
- Ballstaedt, S.-P. (2004). Kognition und Wahrnehmung in der Informations- und Wissensgesellschaft. Konsequenzen gesellschaftlicher Veränderungen für die Psyche. In Kübler, H.-D. & Elling, Elmar (Hrsg.), Die Wissensgesellschaft. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung.
- Ballstaedt, S.-P. (2005) Text-Bild-Kompositionen im Unterrichtsmaterial. In *Der Deutschunterricht* (4) 61–70
- Bamberger, R. (1995) Methoden und Ergebnisse der internationalen Schulbuchforschung im Überblick. In: Olechowski, R. (Hrsg.) Schulbuchforschung. (S. 46–94) Frankfurt: Peter Lang
- Bayrhuber, H., Hauber, W. & Kull, U. (Hrsg.) (2010). Linder Biologie. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- Becker, A., Bokelmann, I., Krull, H.-P. & Schäfer, M. (2012) Natura Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag
- Berlyne, D.E. (1974). Konflikt, Erregung, Neugier. Zur Psychologie der kognitiven Motivation. Stuttgart: Klett
- Bernardini, S. (2001). Think-aloud protocols in translation research: achievements, limits, future prospects. *Target* 13 (2), 241–263
- Bertin, J. (1982). Grafische Darstellungen und die grafische Weiterverarbeitung der Information. Berlin: De Gruyter, (zuerst 1977 erschienen in französischer Sprache bei Flammarion, Paris)
- Beyer, I. et al: (2005) Natura Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag

- Braun, J., Paul, A. & Westendorf-Bröring, E. (2011) Biologie heute SII. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- Brennecke, A., Groß, J., Küster, H., Leibold, R., Leienbach, K., Linnert, A., Post, M. & Schuck, A. (2012). Biosphäre Sekundarstufe II, Ökologie. Berlin: Cornelsen Verlag
- Burger, J (2001) Schülervorstellungen zu "Energie im Biologischen Kontext" – Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen. Dissertation Universität Bielefeld <http://pub.uni-bielefeld.de/publication/2305865> [02.01.2012]
- Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Cambridge, MA: MIT Press.
- Choppin, A. (1992) Aspekte der Illustration und Konzeption von Schulbüchern. In: Fritzsche, K. P. (Hrsg.), Schulbücher auf dem Prüfstand. Perspektiven der Schulbuchforschung und Schulbuchbeurteilung in Europa. (S. 137–150) Frankfurt: Diesterweg.
- Christmann, U. (1989) Modelle der Textverarbeitung: Textbeschreibung als Textverstehen. Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Psychologie 21, Münster: Aschendorff
- Dieter, J. (2007) Webliteralität – Lesen und Schreiben im World Wide Web. Norderstedt: Books on demand GmbH, [Dissertation]
- Driver, R., Squires, A, Rushword, P. & Wood-Robinson, V. (1994) Making Sense of secondary Science – research into children's Ideas. London: RoutledgeFalmer
- Duit, R. (1996) Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In Duit, R. & von Rhöneck, C. (Hrsg.) Lernen in den Naturwissenschaften. (S. 145–162) Kiel: IPN.
- Duit, R. (2000) Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften, In: Duit, R. & von Rhöneck, C.: Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr- Lern-Forschung. (S. 77-105) Kiel: IPN
- Duit, R., Roth, W.-M. & Komorek, J. (2001) Fostering conceptual change by analogies – between Scylla and Charydis. *Learning Instruction 11 (2001)* 283-303
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012) The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. In: Jorde, D., Dillon, J.: Science Education Research and Practice in Europe. Sense Publishers Rotterdam 13 – 37
- Eckebrecht, D & Schneeweiß, H. (2003) Naturwissenschaftliche Bildung – Gedanken und Beispiele zur Umsetzung von Scientific Literacy. Stuttgart: Ernst Klett Verlag
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). Protocol analysis; Verbal reports as data (überarbeitete Auflage)., Cambridge: Bradford books/MIT Press
- Eysenck, M. & Keane, M. T. (2000). Cognitive psychology. A student's handbook. Hove: Psychology Press.
- Fleming, M. (1984) Visual attention to picture and word materials as influenced by characteristics of the learners and design of the materials. Dallas: Education Resources Information Center
- Flesch, R. (1948) A New Readability Yardstick. In: *Journal of Applied Psychology 32(3)*, 1948, 221–233
- Flick, U. (1995) Qualitative Forschung. Reinbeck: Rowohlt
- Foerster, H. v. & Pörksen, B. (2004) Wahrheit ist die Erfindung eines Lügner. Gespräche für Skeptiker. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag
- Freitag, S. (2001). Technische Dokumentation I und II. Vorlesungsskript Studiengang: Technischer Redakteur. Fachbereich: Feinwerktechnik. FH-Aalen.
- Frerichs, V. (1999). Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen zu den Strukturen und Prozessen der Vererbung - ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Groeben, N. (1972). Die Verständlichkeit von Unterrichtstexten: Dimensionen und Kriterien rezeptiver Lernstadien. Aschendorff Münster
- Groeben, N. (1978) Die Verständlichkeit von Unterrichtstexten. Dimensionen und Kriterien rezeptiver Lernstadien. Aschendorff Verlag, Münster. 2. überarbeitete Auflage
- Groeben, N. (1982). Leserpsychologie: Textverständnis – Textverständlichkeit. Münster: Aschendorff.

- Groeben, N. & Christmann, U. (1989). Textoptimierung unter Verständlichkeitsperspektive. In: Antos, G. & Krings (Hrsg.). Textproduktion: Ein interdisziplinärer Forschungsüberblick. (S.165–196) Tübingen: Narr
- Groeben, N. & Christmann, U. (1996) Textverstehen und Textverständlichkeit aus sprach-/denkpsychologischer Sicht. In: Börner, W. Vogel, K. (Hrsg.), Texte im Fremdsprachenerwerb. Verstehen und Produzieren (S. 67–89). Tübingen: Narr.
- Gropengießer, H. (1997). Didaktische Rekonstruktion des sehens. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Gropengießer, H. (2001) Didaktische Rekonstruktion des Sehens – wissenschaftliche Theorien und die sich der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion Band 1 Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In Mayring, P., Glaeser-Zikuda, M. (Hrsg.), Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. (S. 172–189). Weinheim und Basel: Beltz
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (Hrsg.) (2006). Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik begründet von Dieter Eschenhagen, Ulrich Kattmann und Dieter Rodi. Köln: Aulis Verlag Deubner, (7. Auflage)
- Gropengießer H. (2006) Lebenswelten /Denkwelten /Sprechwelten – Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion 2. aktualisierte Auflage. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In Krüger, D.& Vogt, H. (Hrg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung (S. 105–116). Berlin: Springer.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2009). Didaktische Rekonstruktion – Schritte auf dem Weg zu gutem Unterricht. In: Moschner, B., Hinz, R. & Wendt, V. Unterrichten professionalisieren – Schulentwicklung in der Praxis. (S. 159–164). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Groß, J. & Gropengießer, H. (2003). Erfassung von Lernprozessen mittels retrospektiver Befragung in Natur- und Erlebniswelten. In: Vogt, H., Krüger, D. & Unterbruner, U. (Hrsg.): Erkenntnisweg Biologiedidaktik.(S. 91-102) Hannover: Campus Druck
- Groß, J. (2007). Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Hafner, L. & Philipp, E. (Hrsg.) (1986). Materialien für den Sekundarbereich II Biologie – Ökologie. Hannover: Schroedel Verlag
- Hausfeld, R. & Schulenberg, W. (Hrsg.) (2010). Bioskop Sekundarstufe II. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-96.
- Hildebrandt, K. (2006). Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Dissertation Kiel
- Hilge, C. (1999). Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion. Oldenburg: Universität
- Hofer, M. (1976). Textverständlichkeit: Zwischen Theorie und Praxeologie. *Unterrichtswissenschaften* 2, 143–150.
- Höhne, T. Schulbuchwissen – Umriss einer Wissens- und Medientheorie des Schulbuchs. Frankfurt am Main 2003: Johann W. Goethe Universität - Dekanat
- Holliday, W.G. (2003). Comments and criticism. Comment : Methodological Concerns About AAAS's Project 2061 Study of Science Textbooks. In: *Journal of research in science teaching* Vol. 40 Nr. 5 S. 529–534
- Homepage des Georg-Eckert-Instituts (GEI) [www.gei-de/das-institut.html](http://www.gei-de/das-institut.html) [29.10.2010]
- Houghton, J. T. (1986). *The Physics of the Atmospheres*, 2. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton, J. (2002). *The physics of the atmosphere*. 3. Auflage Cambridge: Cambridge University Press

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Genf: Cambridge University Press
- Jelemenská, P. (2006). *Biologie verstehen: ökologische Einheiten*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Kappas, M. (2009). *Klimatologie, Klimaforschung im 21. Jahrhundert – Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Kattmann, U. (1995) *Evolution*. Sammelband Unterricht Biologie. Seelze: Verlag Velber Friedrich
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165–174
- Kattmann, U. (2007) Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: D. Krüger, H. Vogt (Hrg.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93–104) Berlin: Springer
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18
- Kattmann, U., Gropengießer, H. (1996). Modellierung der didaktischen Rekonstruktion. In Duit, R. & von Rhöneck, C. (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften*. (180–204) Kiel: IPN
- Kelterborn, K. (1994). Analyse ausgewählter Schulbuchtexte der Humanbiologie zur Entwicklung didaktisch-logischer Grundstrukturen. Alsbach: Leuchtturm
- Kesidou, S. & Roseman, J. E. (2002). How well do middle school science programs measure up? Findings from Project 2061's curriculum review. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 522–549.
- Killermann, W., Hierung, P., Starosa, B. (2005) *Biologieunterricht heute – Eine moderne Fachdidaktik* Auer Donauwörth 11. Auflage
- Ko Hoang, Youn-Ju (2000) *Vermittlung von „Visual Literacy“ durch Computeranimation im Kunstunterricht*, Dissertation FU Berlin, <http://www.diss.fu-berlin.de/2000/137> [abgerufen 12.09.2012]
- Konrad, K. (2010) *Lautes Denken*. In: Mey, G. & Mruck, M.K. (Hrsg.). *Handbuch der qualitativen Forschung in der Psychologie*. (S. 476–490). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/Springer Fachmedien
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger, H. Vogt (Hrg.), *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Berlin: Springer
- Kuhn, T.S. (1976) *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt: Suhrkamp Taschenbuch Verlag
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago: The University of Chicago Press
- Lakoff, G. (1990). The Invariance Hypothesis: is abstract reason based on image-schemas? *Cognitive Linguistics* 1(1). 39–74
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980) *Metaphors We Live By*. Chicago: The university of Chicago press.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1998) *Leben in Metaphern*. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Langer, I. (1983) *Verständlich informieren – Ein Beispiel für empirische Forschung*. In: Fittkau, B. (Hrsg.). *Pädagogisch-psychologische Hilfen für Erziehung, Unterricht und Beratung*. Bd. 2 (S. 378–401) Paderborn: Pedersen
- Langer, I., Schulz von Thun, F., Meffert, J. & Tausch R. (1973). Merkmale der Verständlichkeit schriftlicher Informations- und Lehrtexte. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 20, 156–162.
- Langer, I., Schulz von Thun, F., Tausch, R. (1974). *Verständlichkeit in Schule, Verwaltung, Politik, Wissenschaft*. München: Reinhardt
- Laucken, U. (1994). *Wohin mit den Gefühlen?: Eine mögliche Antwort aus handlungstheoretischer Sicht*. Überarbeitete Fassung eines Beitrages zum Symposium "Subjektive Theorien von Lehrern" (28.2.93 – 2.3.83 in Oldenburg). Oldenburg: Universität Oldenburg.

- Leitner, J. (2008) Verständlichkeit von Schulbuchtexten – Ergebnisse einer empirischen Analyse. *Erziehung & Unterricht Österreichische Pädagogische Zeitschrift* 10 (9) 708–713
- Lewis, J. & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*. 26 (2). 195–206
- Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A. (1995). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Issing, L.J., Klimsa, P. (1995). Information und Lernen mit Multimedia (S.167–179) Weinheim: Psychologie Verlags-Union
- Mayer, R. E, Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dualcoding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology* 86, 389–401
- Mayer, R. E. (2001). Multimedia Learning. New York: Cambridge University Press
- Mayer, R. E. (2005) Cognitive Theorie of Multimedia Learning. In: Mayer, R.E.: The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge University Press, New York S. 31–48
- Mayring, P. (2003) Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim: Beltz Verlag
- Mikelskis, H. F. (2008) Physics schoolbooks – their history and future. In Mikelskis-Seifert, S., Ringelband, U., Brückmann, M. (Hrsg.). Four Decades of Research in Scientific Education – from Curriculum Development to Quality Improvement. Münster: Waxmann
- Niebert, K. (2010) Den Klimawandel verstehen – Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Band 31, Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Oehmig, B. (1988) Begriffsbildung im Biologieunterricht der Sekundarstufe II. – Die Entwicklung biologischer Begriffe in Schulbüchern und das Textverständnis der Schüler. Universität Berlin.
- Özdemir, G. & Clark, D. B. (2007) An Overview of Conceptual Change Theories *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351–361
- Paivio, A. (1971). Imagery and Verbal Processes. New York: Holt, Rinehart, Winston.
- Paivio, A. (1986). Mental Representations. New York: Oxford University Press.
- Pettersson, R. (1990) Teachers, Students and Visuals. *Journal of Visual Literacy*, 10 (1), 45–62
- Philip, E., Starke, A. & Verbeeck, B. (2013) Materialien für den Sekundarbereich II Biologie – Ökologie. (Teildruck) Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage
- Piaget, J. (1988) Weltbild des Kindes. München: dtv
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211–227
- Rehbein, B. (1997) Was heißt es, einen anderen Menschen zu verstehen? Stuttgart: M und P Verlag für Wissenschaft und Forschung
- Reich, K. (2004) Wahrheits- und Begründungsprobleme konstruktivistischer Didaktik. *Seminar* 10 (1), 35-50
- Reich, K. (2005) Systemisch konstruktivistische Pädagogik: Einführung einer interaktionistisch-konstruktivistischen Pädagogik 5. überarbeitete Auflage Weinheim: Beltz Verlag
- Riedel, E. (2008) Allgemeine und Anorganische Chemie. 9. Auflage Berlin: De Gruyter
- Riemeier, T. (2005) Biologie verstehen: Die Zelltheorie. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger, H. Vogt (Hrg.), Handbuch der Theorien in der biomedizinischen Forschung (S. 81–92). Berlin: Springer
- Riemeier, T. Jankowski, M., Kersten, B., Pach, S., Rabe, I. Sundermeier, S. & Gropengießer, H. (2010) Wo das Blut fließt. Schülervorstellungen zu Blut, Herz und Kreislauf beim Menschen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 16, 77–93
- Robertson, P. K. (1990) A methodology for scientific data visualization: choosing representations based on a natural scene paradigm, IEEE Conference on Visualization
- Rögner, A (2005) Untersuchungen zur Funktion von Benutzerinformationen für die Beeinflussung der Menschlichen Zuverlässigkeit (MZ) in sozio-technischen Systemen Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus

- Roelcke, T. (1994). Dramatische Kommunikation: Modell und Reflexion bei Dürrenmatt, Handke, Weiss.. (*Quellen und Forschungen zur Sprach- und Kulturgeschichte der germanischen Völker.*) Berlin: de Gruyter, Bd. N.F., 107 – 231
- Roth, G. (1994) Das Gehirn und seine Wirklichkeit Frankfurt: Suhrkamp
- Rothkopf, E.Z. & Billington, M J. (1979). Goal Guided Learning from Text: Inferring a Descriptive Processing Model from Inspection Times and Eye Movements. *Journal of Educational Psychology* 71, 310–327.
- Sander, E., Jelemenská, P. & Kattmann, U. (2004). Woher kommt der Sauerstoff? Überlegungen zum erdgeschichtlich-biologischen Ungleichgewicht. *Unterricht Biologie*, 28 (299), 20 –24
- Scheller, P. (2010) Verständlichkeit im Physikbuch: Kriterien und Ergebnisse einer interdisziplinären Analyse. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt
- Schlesinger, W.H., (1997). Biogeochemistry – an analysis of global change. Orlando: Academic Press
- Schmidt, S. (2011) Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts ‚Stoff-Teilchen‘ für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext. Oldenburg: IBIT - Universitätsbibliothek
- Schmitt, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. Forum Qualitative Sozialforschung [Online Journal], 4(2), <http://www.qualitative-research.net/fqstexte/2-03/2-03schmitt-d.htm> [30.01.2012].
- Schneeweiß, H. (2010) Biologie verstehen: Bakterien. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Schneider, K. & Walter, U. (1992): Lernfördernde Gestaltung von Bild- und Textmaterialien für den Gesundheitsbereich. Frankfurt a. M.: Lang
- Schnotz, W. (1994a). Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. (Fortschritte der psychologischen Forschung; 20.) Beltz, Weinheim
- Schnotz, W. (1994b). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In Weidenmann, B. (Hrsg.). Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. (S. 95–14), Bern: Verlag Hans Huber.,
- Schnotz, W. (1998). Sprach- und Bildkommunikation beim Lernen in den Naturwissenschaften. Tagungsband zur GDCP-Tagung in Essen. Alsbach: Leuchtturm Verlag
- Schreiner, M. (2006) Qualitative Verfahren der Datenerhebung. In: Groeben, N. Hurrelmann, B.: Empirische Unterrichtsforschung in der Literatur- und Lesedidaktik – Ein Weiterbildungsprogramm. (S. 399 – 420), Weinheim: Juventa Verlag
- Schumann, H. & Müller, W. (Hrsg.) (2000) Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin: Springer
- Seifert, S., Fischler, H. & Peuckert, J. (1999). Werden durch Schulbuchdarstellungen der Mikrowelt Fehlvorstellungen induziert? In Brechel, R. (Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie. (S. 310-312), Alsbach: Leuchtturm Verlag
- Smith, T.M. & Smith, R.L. (2006). Elements of Ecology. 6. Auflage San Francisco: Pearson Benjamin Cummings
- Staeck, L. (1995) Zeitgemäßer Biologieunterricht. Stuttgart: Metzler (5. Auflage)
- Stamp, C.-O. (1991). Prüfung von Lehrbuchtexten im Hinblick auf Ihre Verständlichkeit: Theoretische Grundlagen, empirische Untersuchungen und Anwendungen zur Beziehung von Textdimensionen und subjektivem Informationsgehalt. Dissertation Universität Paderborn.
- Stein, G. & Schallenberger, E. H. (Hrsg.) (1976). Schulbuchanalyse und Schulbuchkritik: Im Brennpunkt – Juden, Judentum und Staat Israel. Sozialwissenschaftliche Schriften 10. Duisburg
- Strike, K. & Posner, G. (1992) A Revisionist Theorie of Conceptual Change. In: Duschl, R., Hamilton, R.: Philosophy of science, cognitive psychology, and aducational Theory and practice. (S. 147–176) New York: State university of New York press
- Strömdahl, R. (2012) On Discerning Critical Elements, Relationships and Shifts in Attaining Scientific Terms: The Challenge of Polysemy/Homonymy and Reference. *Science & Education* 21, 55–85



- Sumfleth, E., Schüttler, S. (1995). Linguistische Textverständlichkeitskriterien – Helfen sie bei der Darstellung chemischer Inhalte? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 1, 55–72
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In Mayer, R. E. (Hrsg.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. (S. 19–30) New York: Cambridge University Press
- Tergan, S.-O. (1981) "Ist Textverständlichkeit gleich Textverständlichkeit? Überprüfung der Vergleichbarkeit zweier Verständlichkeitskonzepte." In: Mandl, H. (Hrsg.). *Zur Psychologie der Textverarbeitung: Ansätze, Befunde, Probleme*. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore S. 334–366
- Tergan, S.-O. (2000). Vergleichende Bewertung von Methoden zur Beurteilung der Qualität von Lern- und Informationssystemen: Fazit eines Methodenvergleichs. In: Schenkel, P., Tergan, S.-O., Lottmann, A. (Hrsg.). *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme: Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand*. BW Bildung und Wissen, Nürnberg S.329–347
- Thonhauser, J. & Sams, J. (1998). Schulbuchforschung – ein Beitrag zur Schulentwicklung? *Salzburger Beiträge zur Erziehungswissenschaft*, 2.(1), 5–22.
- Weber, H. E. (1976). Das Problem der didaktischen Reduktion im Biologieunterricht. *Biologieunterricht* 12 (3), 4–26
- Weber, U. (Hrsg.) (2009). *Biologie Oberstufe Gesamtband*. Berlin: Cornelsen Verlag
- Weber, W. (1992). Das Biologie-Schulbuch in der Unterrichtspraxis – Ergebnisse einer Lehrerbefragung. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie* 41 (4), 44–46
- Weidenmann, B. (1994a). Lernen mit Bildmedien. Mit den Augen lernen. Weinheim: Beltz
- Weidenmann, B. (1994b). Informierende Bilder. In Weidenmann, B. (Hrsg.). *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. (S. 9–58). Bern: Verlag Hans Huber
- Weinbrenner, P. (1995). Grundlagen und Methodenprobleme sozialwissenschaftlicher Schulbuchforschung. In: Olechowski, R. (Hrsg.). *Schulbuchforschung*. Frankfurt am Main: Peter Lang
- Weitzel, H. (2006). *Biologie Verstehen: Vorstellungen zur Anpassung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum
- Weiss I. R. (2001) Report of the 2000 National Survey of Science and Mathematics Education. Chapel Hill (NC). Horizon Research, Inc.
- Wesselkamp, M. (1994). Messung und Modellierung der Verständlichkeit von Sprache. Dissertation, Universität Göttingen
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 233–255
- Wiater, W. (2003) Das Schulbuch als Gegenstand pädagogischer Forschung. In. Wiater, W. (Hrsg.) *Schulbuchforschung in Europa – Bestandsaufnahme und Schulbuchforschung*. (S. 11–22). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt
- Zerubavel, E. (1985). *The seven day circle: the history and meaning of the week*. New York: Free Press.

# Ausführliches Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Fragestellung der Untersuchung .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung.....</b>	<b>11</b>
3.1	Schulbuchforschung.....	11
3.1.1	Kategorisierung der Untersuchungen zur Schulbuchforschung .....	11
3.1.2	Schulbuchbeurteilung.....	15
3.2	Verstehens- und Verständlichkeitsforschung.....	16
3.2.1	Forschung zur Textverständlichkeit .....	16
3.2.2	Forschung zur Bildverständlichkeit .....	17
3.2.3	Forschung zur Text-Bild-Verschränkung .....	18
3.2.4	Verständlichkeitsforschung im theoretischen Rahmen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion .....	18
3.3	Fazit .....	19
<b>4</b>	<b>Theoretischer Rahmen .....</b>	<b>21</b>
4.1	Konstruktivistische Grundlagen des Lernens.....	21
4.2	Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens.....	22
4.3	Der Conceptual Change-Ansatz.....	24
4.4	Verständlichkeit von Texten und Abbildungen .....	25
4.4.1	Grundbegriffe zum Thema Verstehen und Verständlichkeit.....	25
4.4.2	Textverständlichkeit.....	27
4.4.3	Verständlichkeit von Abbildungen.....	30
4.4.4	Text-Bild-Verschränkung .....	33
4.5	Zusammenfassung.....	36
<b>5</b>	<b>Das Untersuchungsdesign .....</b>	<b>39</b>
5.1	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsprogramm .....	39
5.1.1	Fachliche Klärung .....	40
5.1.2	Erfassen der Lernervorstellungen.....	40
5.1.3	Didaktische Strukturierung .....	40
5.2	Die Qualitative Inhaltsanalyse als methodisches Werkzeug .....	42
5.2.1	Aspekte der Qualitativen Inhaltsanalyse.....	42
5.2.2	Angemessenheit der Methoden zur Datenerhebung.....	43
5.3	Ermittlung der Verständlichkeit der Schulbuchinhalte .....	43
5.4	Zusammenfassung.....	43
<b>6</b>	<b>Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf – Fachliche Klärung.....</b>	<b>45</b>
6.1	Vorgehensweise und Quellen.....	45
6.2	Fachlich geklärte Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf .....	46
6.2.1	Vorstellungen zu den Kohlenstoffspeichern.....	47
6.2.2	Vorstellungen zu den Kohlenstoffflüssen.....	49
6.2.3	Gleichgewicht bei Zu- und Abflüssen eines Speichers .....	52
6.2.4	Von Kohlenstoffflüssen zum Kohlenstoffkreislauf .....	52
6.2.5	Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf .....	55
6.2.6	Folgen erhöhter CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Atmosphäre.....	56
6.3	Zusammenfassung.....	57

<b>7</b>	<b>Schulbuchinhalte zum Kohlenstoffkreislauf .....</b>	<b>61</b>
7.1	Schulbuchinhalte als didaktische Struktur .....	61
7.1.1	Lehrbuchinhalte als Grundlage für die Entstehung von Schulbuchinhalten.....	61
7.1.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Biologiebüchern für die gymnasiale Oberstufe .....	64
7.2	Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele .....	64
7.2.1	Fragestellungen .....	64
7.2.2	Methodisches Vorgehen.....	65
7.2.3	Untersuchung ausgewählter Schulbuchbeispiele .....	73
7.2.3.1	Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 1 .....	73
7.2.3.1.1	In Werk 1 erkennbare Vorstellungen	73
7.2.3.1.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 1 aus fachdidaktischer Sicht	77
7.2.3.1.3	Hypothesen zur Verständlichkeit	78
7.2.3.2	Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 2 .....	78
7.2.3.2.1	Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen	78
7.2.3.2.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 2 aus fachdidaktischer Sicht	83
7.2.3.2.3	Hypothesen zur Verständlichkeit	83
7.2.3.3	Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 3 .....	85
7.2.3.3.1	Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen	85
7.2.3.3.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 3 aus fachdidaktischer Sicht	89
7.2.3.3.3	Hypothesen zur Verständlichkeit	90
7.2.3.4	Analyse der Inhalte zum Kohlenstoffkreislauf in Werk 4 .....	90
7.2.3.4.1	Im Schulbuchinhalt erkennbare Vorstellungen	91
7.2.3.4.2	Der Kohlenstoffkreislauf in Werk 4 aus fachdidaktischer Sicht	95
7.2.3.4.3	Hypothesen zur Verständlichkeit	96
7.3.	Zusammenfassung.....	97
7.3.1	Untersuchung der dargestellten Inhalte.....	97
7.3.2	Aus dem Material abgeleitete Hypothesen zur Verständlichkeit .....	100
<b>8</b>	<b>Methoden zur Evaluation der Lernwirkung .....</b>	<b>103</b>
8.1	Erfassen von Vorstellungen, die Lernende bei der Bearbeitung von Schulbuchinhalten entwickeln .....	103
8.1.1	Fragestellungen .....	103
8.1.2	Methodisches Vorgehen.....	103
8.1.2.1	Auswahl des Schulbuchinhalts .....	104
8.1.2.2	Auswahl der Probanden .....	104
8.1.2.3	Erhebung von Daten zu Lernervorstellungen .....	105
8.1.2.3.1	Datenerhebung durch Lautes Denken	105
8.1.2.3.2	Datenerhebung durch unmittelbare Retrospektion	106
8.1.2.4	Datenauswertung: Lernervorstellungen und Schulbuchinhalte .....	107
8.2	Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....	109
<b>9</b>	<b>Lernervorstellungen im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Schulbuchinhalten.....</b>	<b>111</b>
9.1	Vorstellungen der einzelnen Lerner und deren Veränderung.....	111
9.1.1	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 1 .....	111
9.1.1.1	Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt .....	111

9.1.1.2	Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews.....	114
9.1.1.3	Zusammenfassung.....	116
9.1.2	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 2 .....	118
9.1.2.1	Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt .....	118
9.1.2.2	Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews.....	122
9.1.2.3	Zusammenfassung.....	123
9.1.3	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 3 .....	124
9.1.3.1	Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt .....	124
9.1.3.2	Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews.....	129
9.1.3.3	Zusammenfassung.....	130
9.1.4	Die Wirkungen des Lernangebots in Werk 4 .....	131
9.1.4.1	Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt .....	131
9.1.4.2	Veränderung der Vorstellungen durch die Auseinandersetzung mit dem Schulbuchinhalt – Auswertung des retrospektiven Interviews.....	137
9.1.3.3	Zusammenfassung.....	138
9.2	Fazit .....	139
<b>10</b>	<b>Verständlichkeit der Schulbuchinhalte aus fachdidaktischer Perspektive.....</b>	<b>143</b>
10.1	Erfassen von lernfördernden und -hemmenden Eigenschaften von Schulbuchinhalten.....	143
10.1.1	Fragestellungen dieses Untersuchungsteils .....	143
10.1.2	Methodisches Vorgehen.....	143
10.1.3	Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....	145
10.2	Verständlichkeit der einzelnen Schulbuchauszüge.....	145
10.2.1	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 1 .....	145
10.2.1.1	Textverständlichkeit.....	145
10.2.1.2	Bildverständlichkeit .....	155
10.2.1.3	Text-Bild-Verschränkung.....	159
10.2.1.4.	Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse .....	161
10.2.1.5.	Zusammenfassung.....	162
10.2.2	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 2.....	164
10.2.2.1	Textverständlichkeit.....	164
10.2.2.2	Bildverständlichkeit .....	166
10.2.2.3	Text-Bild-Verschränkung.....	167
10.2.2.4.	Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse .....	168
10.2.2.5.	Zusammenfassung.....	170
10.2.3	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 3.....	171
10.2.3.1	Textverständlichkeit.....	171
10.2.3.2	Bildverständlichkeit .....	172
10.2.3.3	Text-Bild-Verschränkung.....	175
10.2.3.4	Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse .....	176
10.2.3.5	Zusammenfassung.....	177
10.2.4	Verständlichkeit des Auszugs aus Werk 4.....	178

10.2.4.1	Textverständlichkeit.....	178
10.2.4.2	Bildverständlichkeit .....	179
10.2.4.3	Text-Bild-Verschränkung.....	180
10.2.4.4	Prüfung der Hypothesen aus der Schulbuchanalyse .....	182
10.2.4.5	Zusammenfassung.....	183
10.3	Fazit .....	184
<b>11.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>187</b>
11.1	Reflexion des theoretischen Rahmens .....	187
11.2	Reflexion des methodischen Vorgehens .....	188
11.3	Reflexion der Untersuchungsergebnisse .....	189
11.4	Empfehlungen für die Schulbuchentwicklung .....	189
11.5	Relevanz für die (biologiedidaktische) Lehr-Lern-Forschung .....	192
<b>12</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>193</b>
	<b>Ausführliches Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>200</b>
	<b>Danksagungen.....</b>	<b>205</b>



## Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gropengießer, der mich nicht nur ermunterte, mich in der späten Phase meiner Biographie neben der Berufstätigkeit an eine Dissertation zu wagen, sondern mich auch mit Rat und Tat immer wieder unterstützt hat. Ohne ihn wäre es mir nicht gelungen, meine berufliche Sichtweise als Verlagsredakteur auf Schulbuchinhalte von der wissenschaftlichen Perspektive zu unterscheiden. Herrn Prof. Dr. Kattmann danke ich für seine Bereitschaft, das Koreferat zu übernehmen.

Ein herzliche Dank gilt Herrn Dr. Dr. Schneeweiß, dem ich aus vielen Gesprächen sowohl Anregungen als auch Ermahnungen zur konsequenten Einhaltung der konstruktivistischen Sichtweise verdanke.

Ich danke den namentlich nicht genannten Schülerinnen und Schülern, die bereit waren, in ihrer Freizeit die Interviews durchzuführen.

Nicht zuletzt gilt der Dank meiner Frau, die in den letzten Jahren geduldig ertragen hat, dass es neben Familie und Beruf eine dritte Leidenschaft gab, der ich viel Zeit und Aufmerksamkeit gewidmet habe.

