



Verstehen auf der Grundlage von Erfahrung – Wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können

Understanding Based on Experiences–Interpreting and Prognosticating Typical Learning Barriers within Geoscience in Light of the Theory of Experimentalism

Dominik Conrad , **Thomas Basten**, **Dirk Felzmann**

Zitieren dieses Artikels:

Conrad, D., Basten, T., & Felzmann, D. (2014). Verstehen auf der Grundlage von Erfahrung – Wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 42(3), S. 147–177. doi 10.18452/23986

Quote this article:

Conrad, D., Basten, T., & Felzmann, D. (2014). Verstehen auf der Grundlage von Erfahrung – Wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 42(3), pp. 147–177. doi 10.18452/23986

Verstehen auf der Grundlage von Erfahrung – Wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können

Dominik Conrad, Thomas Basten und Dirk Felzmann

Zusammenfassung:

Die Kenntnis domänenspezifischer Kategorien von Lernschwierigkeiten stellt ein wertvolles Wissen zur Planung von Unterricht dar. Cheek (2010) sieht eine zentrale Lernschwierigkeit beim Verständnis geowissenschaftlicher Sachverhalte in der unangemessenen Übertragung von Alltagswissen auf geowissenschaftliche Phänomene. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bietet einen geeigneten Rahmen, um diesen unangemessenen Transfer zu erklären und zu systematisieren. In dem vorliegenden Artikel wurden Spezifika geowissenschaftlicher Sachverhalte herausgearbeitet und mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Beziehung gesetzt. Hierbei wurden deduktiv vier Hypothesen zu Kategorien von Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten entwickelt. Unter der Fragestellung, ob diese vier deduktiv entwickelten Kategorien geeignet sind Lernschwierigkeiten von Schülern zu erklären, wurden drei geographiedidaktische Forschungsarbeiten reanalysiert. Hierbei handelt es sich um Studien über Schülervorstellungen zu den Themenbereichen Plattentektonik, Passatkreisläufe sowie Gletscher und Eiszeiten. Die Kategorien von Lernschwierigkeiten können eine Grundlage bei der Erstellung didaktischer Leitlinien bilden.

Schlüsselwörter: Erfahrungsbasiertes Verstehen, Schülervorstellungen, Geowissenschaften, Conceptual Change, Lernschwierigkeiten

Summary: Understanding based on experiences – How typical learning barriers within geoscience contexts can be interpreted and prognosticated by theory of experientialism

Knowledge about domain-specific categories of learning barriers can be a useful tool for scheduling lessons. According to CHEEK (2010) a central barrier for understanding geoscience contents is an inaccurate transfer of everyday notions to geoscience phenomena. In the following paper, theory of experientialism is used to interpret these transfers. Four hypotheses about categories of causes of learning barriers within geoscience contents were developed by combining this theory with specifics of the discipline geoscience. The results of three geoscience education studies were reanalyzed to explore, whether these deductively developed categories can interpret learning barriers. The analyzed studies dealt with students' conceptions about plate tectonics, trade winds and glaciers/ice ages. The general goal is to use the categories for the further development of educational guidelines.

Keywords: theory of experientialism, student conceptions, geoscience, learning barriers, conceptual change

Autoren: Dr. Dominik Conrad, Universität Bayreuth, dominik.conrad@uni-bayreuth.de; Dr. Thomas Basten, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, t.basten@geo.uni-mainz.de; Dr. Dirk Felzmann, Leuphana Universität Lüneburg, felzmann@leuphana.de

1 Genese von Schülervorstellungen

In der deutschsprachigen Geographiedidaktik hat sich in den letzten 10 Jahren die Forschung zu Schülervorstellungen etabliert (REINFRIED & SCHULER, 2009). Dass Vorstellungen, die Lerner mit in den Unterricht hineinbringen, für Lernprozesse eine entscheidende Rolle spielen, gilt als eine zentrale Annahme fachdidaktischer Lernforschung. Diese Vorstellungen der Schüler werden oft als resistent gegenüber intendierten Veränderungen im Unterricht aufgefasst, da sie sich im Alltag bewährt hätten (GROPENGIESSER, 2006, 14). Viele geowissenschaftliche Prozesse erfolgen aber in solchen zeitlichen und räumlichen Skalen, dass Lerner gar keine Erfahrungen dazu machen können. Entsprechend sind keine Bewährungen von Vorstellungen dazu im Alltag möglich. Dennoch konstruieren Lerner zu solchen Themen Vorstellungen, die fachwissenschaftliches Verständnis häufig eher behindern als fördern.

Aus fachdidaktischer Sicht rückt damit die Frage nach der Genese von Vorstellungen stärker in den Vordergrund: Wie konstruieren Lerner Vorstellungen zu Sachverhalten, die jenseits ihrer Erfahrungswelt liegen? CHEEK (2010) kategorisiert in ihrer Zusammenfassung und Analyse von 27 Jahren Forschung zu Schülervorstellungen im Bereich Geowissenschaften wiederkehrende Lernschwierigkeiten: Viele Schülervorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten könnten als Übertragung von Alltagswissen auf geowissenschaftliche Phänomene gedeutet werden. In manchen Fällen führe dies zu fachlich angemessenen Vorstellungen, in anderen Fällen nicht (CHEEK, 2010, 128). Schwierigkeiten im Umgang mit den zeitlichen und räumlichen Skalen geowissenschaftlicher Phänomene können weitere Lernschwierigkeiten darstellen oder die Über-

tragungsprozesse erschweren.

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (GROPENGIESSER, 2007) bietet einen Interpretationsrahmen für die Struktur und Genese von Schülervorstellungen generell. Hierbei liegt der Fokus auf Übertragungsprozessen von alltagsbasiertem Wissen auf Phänomene jenseits der direkten Erfahrbarkeit. In diesem Artikel soll die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens benutzt werden, um die von Cheek als problematisch erkannten Übertragungsprozesse bei der Konstruktion von Schülervorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten zu analysieren. Dazu werden in einem ersten Schritt die Strukturen geowissenschaftlicher Sachverhalte mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Beziehung gesetzt. Auf dieser Basis werden Hypothesen zu zentralen Kategorien von Lernschwierigkeiten entwickelt, die bei der Konstruktion von Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten erwartet werden können. Diese so entwickelten Kategorien werden dann in einem empirischen Schritt an die Befunde von drei Forschungsarbeiten über Schülervorstellungen zu den Themen Plattentektonik, Eiszeiten und Gletscher und Passatzirkulation herangetragen. Auf diese Weise kann in einem explorativen Verfahren untersucht werden, ob diese Kategorien einen Teil der rekonstruierten Schülervorstellungen interpretieren können.

2 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde zu Beginn der 1980er Jahre von dem Linguisten George Lakoff und dem Philosophen Mark Johnson (LAKOFF & JOHNSON, 1980; JOHNSON, 1987; LAKOFF & JOHNSON, 1999) entwickelt. Sie bietet einen Interpretationsrahmen dafür, wie

Menschen Strukturen und Prozesse, die sich der direkten Wahrnehmung entziehen, verstehen können. Hierbei kommt nach LAKOFF und JOHNSON Metaphern eine zentrale Funktion zu. Metaphern werden von den beiden Wissenschaftlern nicht einfach als rhetorisches Stilmittel aufgefasst. Sie gehen vielmehr davon aus, „daß die menschlichen Denkprozesse weitgehend metaphorisch ablaufen“ (LAKOFF & JOHNSON, 2011, 14), und weisen Metaphern eine Schlüsselrolle in unserem Begreifen der Welt zu. Der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens zufolge „besteht das Wesen der Metapher [...] darin, daß wir durch sie eine Sache oder einen Vorgang in Begriffen einer anderen Sache bzw. eines anderen Vorgangs verstehen und erfahren können“ (LAKOFF & JOHNSON, 2011, 13). Nur bei unmittelbar erfahrbaren Bereichen handelt es sich um Bereiche, die direkt – also ohne metaphorische Übertragung – verstanden werden können. Bewegen sich unsere Gedanken in Bereichen, die nicht direkt erfahrbar sind, so können wir nicht anders, als diese durch metaphorische Übertragung zu verstehen. Hierbei greifen wir nach LAKOFF und JOHNSON auf unsere Erfahrungen aus der Interaktion mit der physischen und sozialen Umwelt sowie Erfahrungen, die sich aus der Beschaffenheit unseres Körpers ergeben, zurück. Die aus der Art und Weise dieser Erfahrungen erwachsenen Kognitionen werden als verkörpert (embodied) bezeichnet (GROPENGIESSER, 2007, 107). Zur Illustration: Werfen Sie noch einmal einen Blick auf den Beginn des vorletzten Satzes. Der abstrakte Zielbereich ‚*Denken*‘ wird über den Quellbereich ‚*Greifen nach Dingen, die hinter uns liegen*‘ verstanden. Erfahrungen werden zu Objekten, nach denen man greifen kann. Möchte man im Alltag mehr über einen konkreten Gegenstand wissen, nimmt man ihn in die Hand, man greift nach ihm, um ihn zu begreifen

bzw. zu erfassen. Unsere Kognition geht also weit über das Gesagte hinaus und kann als schöpferisch begriffen werden. GROPENGIESSER (2006, 36; 2007, 106) bezeichnet den auf diese Weise ablaufenden Prozess des Verstehens als imaginativ.

Die verwendeten Metaphern tauchen häufig nicht isoliert auf, sondern stehen in einem Zusammenhang. Wenn zum Beispiel von Kondensationskernen (STRAHLER & STRAHLER, 2009, 143), Gefrierkernen (HÄCKEL, 2012, 117), Wolkenkern(en) oder Kristallisationskeime(n), Kristallisationskerne(n) mit Geburtshelfereigenschaften gesprochen wird oder Wolken eine Blumenkohloberfläche (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 204-206) besitzen und ein Zusammenwachsen der Tröpfchen (STRAHLER & STRAHLER, 2009, 147) stattfindet, bilden die genannten Metaphern gemeinsam das metaphorische Konzept ‚*Wolken sind wachsende organische Körper*‘. Ein metaphorisches Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass mehrere Metaphern einen gemeinsamen Ziel- und Quellbereich haben, dessen unterschiedlichste Aspekte durch verschiedene Metaphern des gleichen Quellbereichs beschrieben werden. Hier nutzen Wissenschaftler den Quellbereich ‚*wachsende organische Körper*‘, um Aspekte des Zielbereiches Wolken zu erfassen. Ein Verstehen wissenschaftlicher Strukturen und Prozesse ist, wie in dem gezeigten Beispiel, in den meisten Fällen nur imaginativ möglich und so nutzen Wissenschaftler und Schüler ihre aus der Erfahrung erwachsenen Kognitionen, um wissenschaftliche Sachverhalte durch metaphorische Übertragung zu erfassen. Es scheint also geboten, einen genaueren Blick auf die Quellbereiche, die verkörperten Kognitionen, zu werfen, die zu Vorstellungskonstruktionen herangezogen werden.

Nach Lakoff und Johnson setzen sich unsere verkörperten Kognitionen aus Ba-

siskategorien und kinästhetischen Schemata zusammen. Unter Basiskategorien fallen Begriffe, die aufgrund der direkten Erfahrung verstanden werden, wie zum Beispiel Hund, Tisch oder Glas, aber auch Verben, mit denen Aktionen wie Laufen, Schwimmen oder Rutschen beschrieben werden (LAKOFF & JOHNSON, 1999, 27-28). Fachwissenschaftler nutzen beispielsweise die Basiskategorie Tauchen (GROTZINGER, JORDAN, PRESS & SIEVER, 2008; FRISCH & MESCHÉDE, 2011) als Quellbereich, um den nicht direkt wahrnehmbaren Zielbereich einer subduzierenden Lithosphärenplatte zu beschreiben. Unter kinästhetischen Schemata verstehen Lakoff und Johnson gedankliche Strukturierungen, die sich durch unmittelbare körperliche Erfahrungen bilden. Beispielsweise erfahren wir unseren Körper als Behälter, der die Struktur Inneres, Begrenzung, Äußeres aufweist. Wir können in den Behälter Dinge, beispielsweise Nahrung, aufnehmen und wieder ausscheiden. Aus dieser Erfahrung mit dem eigenen Körper bildet sich ein Behälter-Schema heraus. Die dem Schema inhärente Logik von Außen-Grenze-Innen wird auf nicht erfahrbare oder abstrakte Zielbereiche übertragen. Die Äußerung *„Die Geographiedidaktik erhält Impulse von außen“* ist verständlich, weil wir unbewusst auf das Behälter-Schema zurückgreifen. Ein anderes Beispiel für ein kinästhetisches Schema ist das Start-Weg-Ziel-Schema. Dieses setzt sich nach LAKOFF (1987) aus einem Startpunkt, einer Wegstrecke und einem Zielpunkt zusammen. Auch dieses bilden wir frühkindlich aus, beispielsweise wenn wir krabbelnd von einem Punkt aus einen Weg zu einem Ziel zurücklegen. Äußern wir uns dahingehend, dass die geographiedidaktische Forschung vorankomme, so greifen wir auf das Start-Weg-Ziel-Schema zurück. Weitere Schemata, die in diesem Artikel eine Rolle spielen, sind das Reflexivschema und

das Geber-Gabe-Nehmer-Schema.

Das Reflexivschema (LAKOFF, 1987, 430-432) strukturiert Bewegungsvorgänge, bei denen ein Gegenstand sich relativ zu sich selbst bewegt, indem er seine Grenzen nach außen oder innen verschiebt. Alltagserfahrungen hierzu sind nach LAKOFF (1987) etwa sich ausbreitender Sirup auf einem Tisch, der seine klar definierten Grenzen immer weiter ausdehnt. Eine Äußerung wie *„die Geographiedidaktik wächst über sich hinaus“* verstehen wir mit diesem Schema. Das Geber-Gabe-Nehmer-Schema (GROPENGIESSER, 2007, 108) resultiert aus der grundlegenden Erfahrung, dass wir Gegenstände von jemandem gereicht bekommen oder diese selbst an eine andere Person weitergeben. In einer Äußerung wie *„die Naturwissenschaftsdidaktiken geben der Geographiedidaktik neue Impulse“* werden die Naturwissenschaftsdidaktiken als Geber, die Geographiedidaktik als Nehmer und die neuen Impulse als Gabe strukturiert.

3 Vier Hypothesen zu zentralen Kategorien über Ursachen von Lernschwierigkeiten

Während in der Didaktik der Biologie (RIEMEIER, 2005; GROPENGIESSER, 2006; NIEBERT, GROPENGIESSER & RIEMEIER, 2013), Physik (AMIN, 2009; JEPPSSON, HAGLUND, AMIN & STRÖMDAHL, 2013) und Mathematik (NÚÑEZ, EDWARDS & MATOS, 1999) die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens im Rahmen der Conceptual-Change-Forschung seit einigen Jahren einen zentralen Bestandteil bildet, spielt diese in der geographiedidaktischen Forschung bislang nur eine untergeordnete Rolle (BASTEN et al., 2013). Mit der didaktischen Rekonstruktion des Passatkreislaufs (BASTEN, CONRAD & FELZMANN, 2013), glazialer Prozesse und Eiszeiten (FELZMANN, 2013)

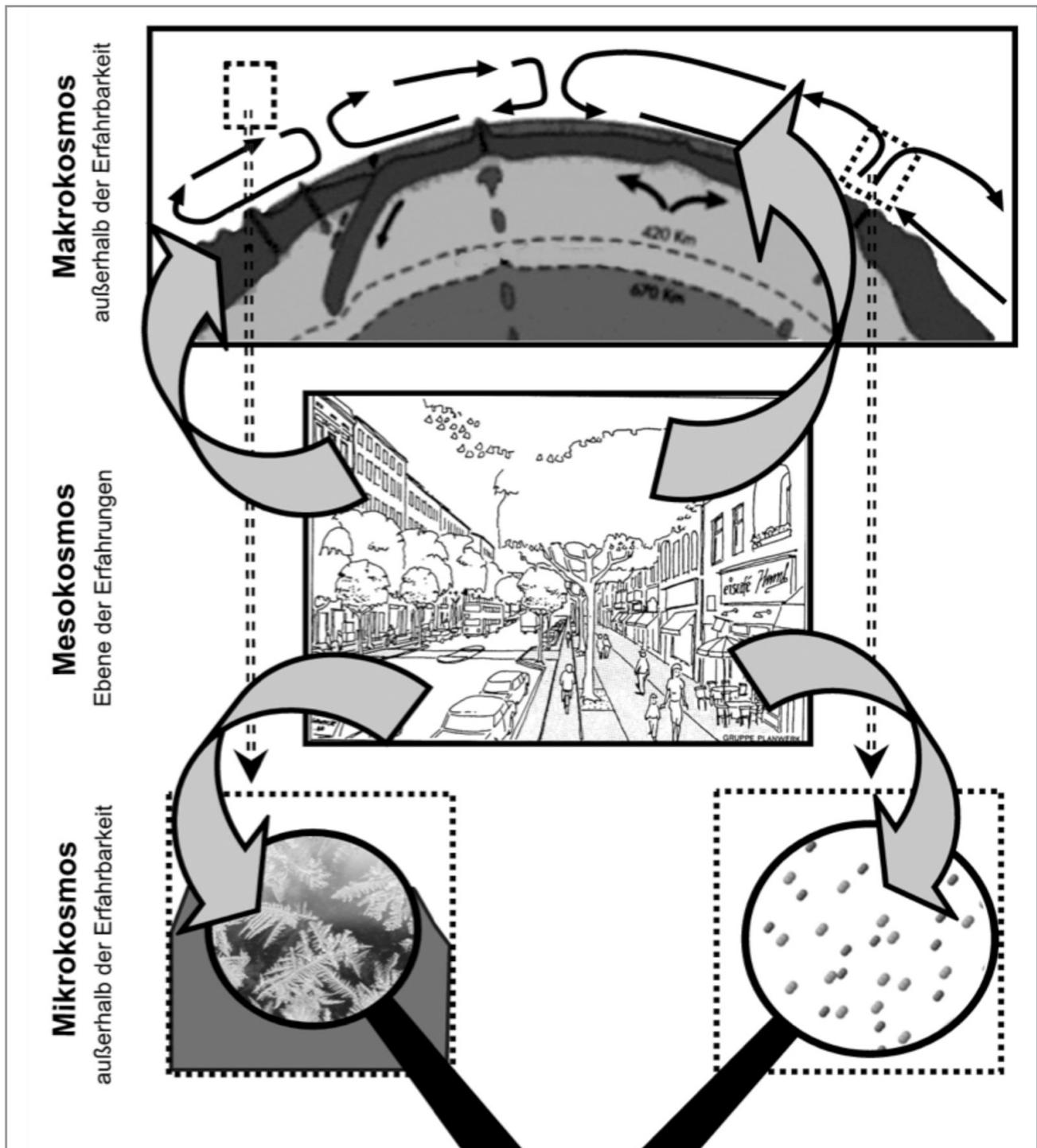


Abb. 1: Der Mesokosmos als Ebene der Erfahrungen bildet den Quellbereich für Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten (verändert nach: FELZMANN, 2013, 31)

sowie der Plattentektonik (CONRAD, 2014) liegen nun drei Forschungsarbeiten vor, bei denen neben den Vorstellungen auf der unterrichtsrelevanten Ebene auch die diesen Vorstellungen zugrunde liegenden Erfahrungsbereiche im Fokus des Erkenntnisinteresses stehen.

Um Hypothesen zu Kategorien über Ursachen von Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten zu entwickeln und an den Ergebnissen der drei Forschungsprojekte zu überprüfen, werden im Folgenden die Spezifika geowissenschaftlicher Inhalte mit der Theorie

des erfahrungsbasierten Verstehens betrachtet. Auf diese Weise werden vier Hypothesen zu zentralen Kategorien über Ursachen von Lernschwierigkeiten innerhalb geowissenschaftlicher Sachverhalte entwickelt.

Viele geowissenschaftliche Prozesse sind aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Dimensionen nicht direkt erfahrbar. So ist es uns verwehrt, Zeiträume von mehreren Millionen Jahren zu erleben und somit Ereignisse, wie beispielsweise die Gebirgsbildung, direkt zu beobachten. Und selbst wenn wir ein mehr als biblisches Alter erreichen würden: Die Gebirgsbildung und andere geowissenschaftliche Prozesse würden sich aufgrund ihrer räumlichen Ausmaße dennoch unserer sinnlichen Wahrnehmung entziehen. Unser kognitives System ist auf den Mesokosmos, die „Welt der mittleren Dimensionen“ (VOLLMER, 1986, 139), ausgerichtet. Die Grenzen des Mesokosmos sind nicht fest definierbar, doch gibt es, wie das Beispiel Gebirgsbildung zeigt, Bereiche, die eindeutig nicht dem Mesokosmos zuzuordnen sind. Handelt es sich um zeitliche und räumliche Dimensionen, die aufgrund ihrer gewaltigen Größe nicht direkt erfahrbar sind, so sprechen wir vom Makrokosmos. Sind die Dimensionen hingegen unerfahrbar klein, ist die Rede vom Mikrokosmos. Um Strukturen und Prozesse im Mikro- und Makrokosmos zu verstehen, müssen wir auf Erfahrungen im Mesokosmos zurückgreifen (s. Abb. 1). NIEBERT et al. (2013) haben diese Kategorisierung unserer Wahrnehmungswelten in Bezug zur Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens gesetzt. Demnach nutzen wir Basiskategorien und kinästhetische Schemata, die Erfahrungen im Mesokosmos entspringen, um Prozesse und Strukturen des Mikro- und des Makrokosmos erfassen zu können.

Eine erste diesem Umstand geschuldete Hypothese lautet, dass Verständnisschwie-

rigkeiten bei geowissenschaftlichen Sachverhalten dadurch entstehen können, dass Schüler und Wissenschaftler auf unterschiedliche Quellbereiche zurückgreifen, um die Prozesse im Makrokosmos zu verstehen. Nutzen Wissenschaftler und Schüler jedoch den gleichen Quellbereich, kann es dennoch dazu kommen, dass das wissenschaftliche Verständnis und das Lernerverständnis deutlich voneinander abweichen. Eine metaphorische Übertragung ist immer nur partiell, es werden nur bestimmte Aspekte eines Quellbereiches genutzt, um einen Zielbereich zu verstehen, der Quellbereich einer Metapher ist niemals exakt identisch mit ihrem Zielbereich (LAKOFF & JOHNSON, 2011, 18-20). Metaphorische Übertragung beleuchtet immer nur einen Teil eines Zielbereichs, ein anderer bleibt im Verborgenen. Das metaphorische Konzept ‚Wolken sind wachsende organische Körper‘ beleuchtet zwar den Prozess des Größerwerdens einer Wolke, verdunkelt aber, dass Wolken nicht wirklich lebendig sind. Die Metapher des Eintauchens der Lithosphärenplatten beleuchtet den Aspekt, dass es sich um eine nach unten gerichtete Bewegung handelt, verdunkelt aber, dass es sich bei der Asthenosphäre um größtenteils festes Gestein handelt. Eine zweite Hypothese lautet also, dass sich Verständnisschwierigkeiten dadurch ergeben, dass Schüler die Grenzen einer metaphorischen Übertragung nicht erkennen und daher zu anderen Interpretationen und Schlüssen gelangen als die Fachwissenschaft. Viele geowissenschaftliche Prozesse spielen sich zwar im Makrokosmos ab, ihre reduktionistische Erklärung bedarf aber eines Blicks auf den ebenfalls nicht direkt erfahrbaren Mikrokosmos. Beispielsweise ist ein wichtiger Einflussfaktor für das Ausbruchverhalten eines Vulkans im SiO_2 -Gehalt seiner Lava (TARBUCK & LUTGENS, 2009) zu finden. Phänomene wie Luftdichte oder Luftbewegungen erklären Wissenschaftler

durch Vorgänge auf der Ebene von Molekülen. Diese haben wiederum Auswirkungen auf der Ebene des Makrokosmos (z. B. tropisches Windsystem, s. S. 159). Wenn Schüler aber, wie von der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens angenommen, zum Verständnis abstrakter Bereiche auf verkörperte Kognitionen zurückgreifen, liegt es nahe – und dies ist Hypothese Nummer 3 – anzunehmen, dass Schüler in geowissenschaftlichen Kontexten dazu

neigen, lediglich den Erfahrungsraum Mesokosmos zu nutzen und dadurch von den Fachwissenschaften abweichende Vorstellungen konstruieren. Als vierte Hypothese ergibt sich, dass das für geowissenschaftliche Phänomene notwendige Verständnis des Mikrokosmos die Schüler vor ähnliche Schwierigkeiten stellt, wie in Hypothese 1 und 2 festgehalten, und sich hieraus Lernschwierigkeiten für das Verständnis des Makrokosmos ergeben können.

1. Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können durch Rückgriff auf unterschiedliche Quellbereiche von Metaphern seitens Wissenschaftler und Schüler entstehen.
2. Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können dadurch entstehen, dass die Schüler und Wissenschaftler den gleichen Quellbereich von Metaphern nutzen, aber die Schüler die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen.
3. Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können dadurch entstehen, dass für die Erklärung alltäglicher Phänomene lediglich der Erfahrungsraum Mesokosmos herangezogen wird, geowissenschaftliche Sachverhalte aber häufig eine Erklärung auf der Ebene des Mikrokosmos verlangen.
4. Sind die Erklärungen geowissenschaftlicher Phänomene im Mikrokosmos angesiedelt, können Verständnisschwierigkeiten dadurch entstehen, dass Schüler bei der Betrachtung des Mikrokosmos andere Quellbereiche von Metaphern als die Wissenschaftler nutzen, beziehungsweise bei Nutzung des gleichen Quellbereiches die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen.

Kasten 1: Vier Hypothesen zu Kategorien über Ursachen von Lernschwierigkeiten

4 Methodische Vorgehensweise

Alle drei Arbeiten nutzten das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER & KOMOREK, 1997; KATTMANN, 2007; REINFRIED, 2007) als Forschungsrahmen. Dessen Ziel ist die didaktische Strukturierung von Unterrichtsgegenständen, wozu Schülervorstellungen mit den fachwissenschaftlichen Vorstellungen verglichen werden. Eine Übersicht über die jeweilige Form der Datenerhebung der Schülervorstellungen in diesen drei Studien bietet Tab. 1.

Nähere Erläuterungen zu den Erhebungsmethoden sind in den jeweiligen Forschungsarbeiten (BASTEN, 2013; FELZMANN, 2013; CONRAD, 2014) zu finden.

Da alle drei Arbeiten als theoretischen Bezugsrahmen die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nutzten, wurden die Lerner- und Wissenschaftlervorstellungen in den jeweiligen Arbeiten mit einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGIESSER, 2008) und systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT, 2003; NIEBERT, 2010) untersucht. Während mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse die unterrichtsrelevanten Konzepte zu der jeweiligen Fragestellung herauspräpariert werden konnten, ermöglichte die systematische Metaphernanalyse einen Blick auf die Quellbereiche, die Schüler

Tab. 1: Erhebung der Schülervorstellungen: Stichproben und Erhebungsmethoden

Themengebiet	Auswahl und Größe der Stichprobe	Erhebungsmethode
Plattentektonik (Studie 1)	15 (8w, 7m) Schüler der 9. Klassenstufe aus acht verschiedenen Klassen an vier bayerischen Gymnasien aus unterschiedlichen Regionen; zur Hälfte Gymnasien mit naturwissenschaftlichem/sprachlichem Schwerpunkt	15 ca. 90-120 minütige problemzentrierte Einzelinterviews (WITZEL 2000); kommunikative Validierung mittels Strukturlegetechnik (SCHEELE et al., 1992)
Gletscher und Eiszeiten (Studie 2)	21 (10w, 11m) Schüler der 8. Klasse eines Gymnasiums in Lüneburg	7 Vermittlungsexperimente (STEFFE & THOMPSON, 2000) à 2 x 90 Minuten mit jeweils drei Schülern; Kombination aus Interviewphasen und Vermittlungsphasen
Passatkreislauf (Studie 3)	30 (12w, 18m) Schüler der 10. Klasse aus neun verschiedenen Klassen an vier rheinland-pfälzischen Gymnasien in Landau	10 leitfadengestützte Interviews (HOPF, 2012) mit Gruppen von je drei Schülern oder Schülerinnen; Dauer ca. 60-90 Minuten

und Wissenschaftler zur Konstruktion der jeweiligen Vorstellung heranziehen. Als Grundlage zur Aufspürung von Metaphern wurde die von SCHMITT (2003) auf Basis der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens entwickelte Metapherndefinition verwendet. Eine Metapher liegt demnach genau dann vor, wenn „a. ein Wort/eine Redewendung in einem strengen Sinn in dem für die Sprechäußerung relevanten Kontext mehr als nur wörtliche Bedeutung hat; und b. die wörtliche Bedeutung einem prägnanten Bedeutungsbereich (Quellbereich) entstammt, c. jedoch auf einen zweiten, oft abstrakteren Bereich (Zielbereich) übertragen wird“ (SCHMITT, 2003, 5).

In Anlehnung an NIEBERT (2010) wurde das von SCHMITT (2003) vorgeschlagene Verfahren in drei Schritten vollzogen. Der erste Schritt umfasst die Festlegung des zu untersuchenden Zielbereichs: Die Schüler verwenden unterschiedlichste Metaphern, aber nicht alle nutzen sie zur Erklärung der zugrunde liegenden Fragestellung. Somit muss zunächst der genaue Untersuchungsgegenstand festgelegt werden. In einem zweiten Schritt werden alle im Material enthaltenen und zum Ver-

ständnis des Zielbereichs genutzten Metaphern herausgearbeitet. Als Nächstes werden die gefundenen Metaphern nach Quellbereichen geordnet. Metaphern, die einen gemeinsamen Quell- und Zielbereich haben, bilden ein metaphorisches Konzept (vgl. Tab. 2).

Damit lag ein Korpus an Vorstellungen inklusive ihrer metaphorischen Strukturierung vor, an den die vier entwickelten Hypothesen herangetragen wurden. Durch eine Re-Analyse der rekonstruierten Quellbereiche der jeweiligen Vorstellungen konnte entschieden werden, ob eine Vorstellung einer der jeweiligen Kategorien zugeordnet werden kann. Im folgenden Kapitel werden für jede kategoriale Lernschwierigkeit jeweils zwei Beispiele aus den drei Arbeiten dargestellt, soweit entsprechende Vorstellungen in den jeweiligen Arbeiten hierzu gefunden wurden.

5 Empirische Befunde zu zentralen Lernschwierigkeiten bei geowissenschaftlichen Phänomenen

Jede Hypothese wird in einem einzelnen Unterabschnitt mit beispielhaften Befun-

den aus der Re-Analyse der drei Arbeiten überprüft und verdeutlicht. Hierbei wird jeweils ein Beispiel aus jeder Studie ausführlich erläutert. Weitere Beispiele werden tabellarisch dargestellt. Bei den Lernerassagen zu den Studien 1 und 3 handelt es sich um die aus der qualitativen Inhaltsanalyse gewonnenen geordneten Lernerassagen, die Schüleräußerungen aus Studie 2 stellen Ausschnitte aus Transkripten der Vermittlungsexperimente dar. Bei den Wissenschaftlerassagen werden aus Platzgründen jeweils nur typische Beispiele angeführt, die auf Basis einer umfassenden fachlichen Klärung ausgewählt wurden, die in dem jeweiligen Forschungsprojekt durchgeführt wurde (BASTEN, 2013; FELZMANN, 2013; CONRAD, 2014). Zur Wahrung der Anonymität wurden alle Namen der Schüler verändert. Hervorhebungen in den Aussagen der Wissenschaftler und Lerner wurden von den Verfassern zum Zwecke der Illustration vorgenommen.

5.1 Befunde zu Hypothese 1

Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können durch Rückgriff auf unterschiedliche Quellbereiche von Metaphern seitens Wissenschaftler und Schüler entstehen.

Beispiel 1: Unterschiedliche Höhenlagen von Tiefseebecken und Kontinenten (Studie 1)

Für die Gestalt der Erdoberfläche ist kennzeichnend, dass es zwei unterschiedliche Höhenstufen gibt, auf denen sich der Großteil der Erdoberfläche befindet. Die Böden der Tiefsee befinden sich im Schnitt 4,5 km unterhalb der durchschnittlichen Höhenlage der Kontinente (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 25). Fachwissenschaftler nutzen zur Erklärung dieses Sachverhaltes eine Meta-

phorik des Schwimmens und stellen sich den Mantel hierbei wie eine Flüssigkeit vor, aus der aufgrund von Dichteunterschieden und unterschiedlicher Mächtigkeit die Kontinente stärker herausragen als die Ozeanböden. Sie nutzen den Quellbereich ‚*Schwimmende Objekte*‘, um den Zielbereich ‚*Unterschiedliche Höhenlagen von Kontinenten und Ozeanböden*‘ zu verstehen:

„Weil die kontinentale Kruste zwar mächtiger ist, aber eine geringere Dichte hat als die ozeanische Kruste, ‚*ragen*‘ die Kontinente ‚*nach oben und treiben wie Flöße auf dem dichteren Erdmantel, ähnlich wie Eisberge auf den Ozeanen*‘“ (GROTZINGER et al., 2008, 11; Hervorh. d. Verf.).

„In gleicher Weise liefert das große, in den dichteren Erdmantel ‚*eintauchende*‘ Volumen der leichteren kontinentalen Kruste den ‚*nötigen Auftrieb*‘, durch den die Kontinente um etwa fünf Kilometer die ozeanische Kruste überragen“ (GROTZINGER et al., 2008, 372; Hervorh. d. Verf.).

Schüler erklären die unterschiedlichen Höhenstufen beispielsweise durch Meteoriteneinschläge, Ausschürfungen durch Wasser oder Sedimentationsprozesse. Diese von der Fachwissenschaft abweichenden Vorstellungen resultieren aus der Nutzung eines anderen Quellbereiches. So verwenden Schüler den Quellbereich ‚*Unebener Boden*‘, um den Zielbereich ‚*Unterschiedliche Höhenlagen von Kontinenten und Ozeanböden*‘ zu erfassen. Hierbei gebrauchen sie zunächst die metaphorische Übertragung ‚*Ausgangsoberfläche der Erde war ein ebener Boden*‘:

„Entweder war die Erde ‚*ursprünglich alles auf einem Level*‘ und dann sind die Ozeane rein, das Land ist weggegangen (wurde abgetragen) oder die Kontinente sind, so wie sie jetzt sind, gewachsen“ (Olaf 269-275; Hervorh. d. Verf.).

Die Genese der unterschiedlichen Höhenlagen (=Zielbereich) erklären sie sich

durch Gebrauch des Quellbereichs *„Zugabe und/oder Wegnahme von Material“*. Schüler greifen hierbei vermutlich auf Erfahrungen zurück, die sie schon als kleines Kind im Sandkasten machen konnten. Eine glatte Fläche kann durch Materialzugabe bzw. -wegnahme zu einer Fläche mit unterschiedlichen Höhenniveaus umgewandelt werden.

„Ich glaube eher, dass *„die Kontinente“* zusammen *„gewachsen“* sind. Ich weiß nicht wie, ich habe an irgendwelches *„Zeug aus dem All“* gedacht, aber das ist ein wenig *vage“* (Olaf 276-278; Hervorh. d. Verf.).

„Vielleicht sind Asteroiden eingeschlagen, obwohl das ziemlich unwahrscheinlich ist, weil das eine so große Fläche ist. *„Dann geht die Erde da“*, wo die einschlagen, *„weg“*“ (Mirja 518-521; Hervorh. d. Verf.).

„Ich glaube, die zwei Höhenniveaus kommen durch das Wasser zustande, das von der einen Fläche *„abträgt“* und auf die andere *„aufhäuft“*“ (Viola 472-473; Hervorh. d. Verf.).

Beispiel 2: Der Mechanismus des Gesteinstransportes durch Gletschereis (Studie 2)

Um den Transport von Gestein aus Skandinavien nach Norddeutschland durch eiszeitliche Gletscher zu verstehen, müssen Gletscher als in Fließgleichgewicht befindliche Körper strukturiert werden: Kontinuierlich fließt Eis vom Akkumulations- ins Ablationsgebiet und transportiert hierbei kontinuierlich Gestein am und im Eis mit sich, das dann im Akkumulationsgebiet sedimentiert wird.

Wissenschaftler greifen bei der Erklärung des Gesteinstransports auf den Quellbereich Gletscher als Fließgleichgewichte zurück: „Da das Eis *„ständig“* bergab *„fließt“*, gelangt *„immer mehr“* Sediment an den abschmelzenden Gletscherrand, wo sich das unsortierte Material in Form eines geschlossenen Walls oder auch einer bo-

genförmigen Kette von Hügeln und Kuppen aus Geschiebematerial *„ansammelt“*“ (GROTZINGER et al., 2008, 591).

Allerdings verweist der deutsche Terminus *Geschiebe* auf eine andere metaphorische Strukturierung des Gesteinstransportes, wie sie auch bei den Lernern nachgewiesen wurde, ohne dass den Lernern der Begriff *Geschiebe* vermittelt wurde. Hierbei nutzen die Lerner ein Reflexiv-Schema als Quellbereich, um die Gletscherbewegung und den damit verbundenen Gesteintransport zu erklären. Der Gletscher ist so ein Körper, der seine Außengrenzen in einem einmaligen Prozess ausdehnt oder zusammenzieht und hierbei Gestein vor oder auf dem Gletscher mitnimmt oder vorwärtsschiebt:

„Der Gletscher *„schiebt“* auch immer wieder Geröll *„vor sich her“*, weil er ja *„wächst“*“ (Dieter 381; Hervorh. d. Verf.).

Im folgenden Transkriptausschnitt hatten Ralf, Dieter und Lars gegen Ende des Vermittlungsexperimentes, das aus Instruktions- und Interviewphasen bestand, die Aufgabe zu bestimmen, wo ein Stein, der 1898 auf einen Gletscher gelegt wurde, 2005 gefunden worden wäre. Der Gletscher ist in diesem Zeitraum deutlich kleiner geworden. Die Themen Gletscherbewegung und Gesteintransport sind zuvor vermittelt und zeitweise von allen drei Lernern fachlich angemessen wiedergegeben worden. Der Verstehensprozess von Ralf kann hierbei als ein Wechsel des relevanten Quellbereichs für die Strukturierung des Gletschers interpretiert werden. Zuerst strukturiert Ralf den Gletscher als reflexiven Körper: Der Stein geht mit dem *„sich zusammenziehenden“* Gletscher bergaufwärts (1582). Dieter strukturiert den Gletscher dann als Fließgleichgewicht (1613), worauf Ralf mithilfe dieses fachlich angemessenen Quellbereichs eine adäquate Vorstellung des Gesteinstransports konstruiert: Der Stein ist durch das Gletschereis

bergabwärts („nach vorne“) transportiert worden (1614).

Ralf: „Also müsste der Stein ja praktisch den Berg hochgekommen sein“ (1582).

(...)

Dieter: „Aber wenn jetzt, wenn jetzt hier oben *‚wieder etwas Neues nachkommen‘* würde durch den *‚stetigen‘*, äh, Fall von Schnee,“ (1613)

Ralf: „würde er nach vorne wandern“ (1614).

Dieter: „Ja“ (1615)

Ralf: „Also sagen wir einfach mal, dort [weist auf Punkt zwischen den beiden Gletscherstirnen von 1898 und 2005], ein bisschen weiter nach vorne gegangen, also sagen wir zwei Finger mehr, da“ (1616) [Hervorheb. d. Verf.].

Beispiel 3: Erklärung der tropischen Klimazone (Studie 3)

Wissenschaftler: Bei den Tropen (zwischen $23,5^{\circ}\text{N}$ und $23,5^{\circ}\text{S}$) handelt es sich um die Zone größter solarer Strahlungsintensität. Der Einstrahlungswinkel beträgt im jahreszeitlichen Verlauf zwischen $66,5^{\circ}$ und 90° . Die Strahlungsintensität ist das Resultat von Strahlungsenergie pro Fläche (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 23-25).

Um solare Strahlung zu verstehen, greifen Wissenschaftler auf den Quellbereich Fließendes Wasser zurück. Es gibt eine Quelle, einen Strahlungsfluss, Teilchen und Wellen, Strahlung fließt (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 32-34), es gibt eine Strahlungsquelle oder Energiequelle (HÄCKEL, 2012, 173; STRAHLER & STRAHLER, 2009, 68-70) oder einen Strahlungsstrom (HÄCKEL, 2012, 162). In den Tropen trifft eine größere Menge dieser Strahlung pro Fläche auf.

Lerner: Die Lerner greifen auf Erfahrungen mit Wärmequellen zurück: Je näher man sich im Alltag an einem Ofen, Grill, einer Heizung oder einem Feuer befindet,

umso mehr fühlt man Wärme. In Analogie zu dieser Erfahrung wird die Klimazone der Tropen erklärt. Aufgrund der Kugelgestalt der Erde befinden sich die Tropen näher an der Sonne. Daher ist es dort wärmer (s. Abb. 2).

„Am Äquator steht die Sonne meist im Zenit, in einem ganz schrägen Winkel, und deswegen ist da einfach der *‚Abstand zur Sonne‘* geringer“ (Judith, Interview 3: 209-329; Hervorheb. d. Verf.).

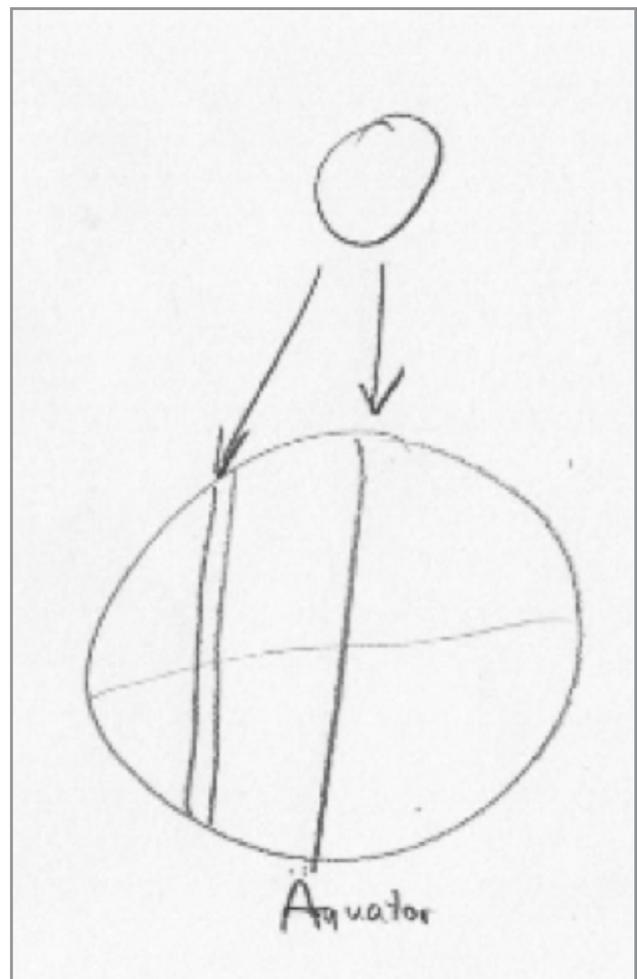


Abb. 2: Judiths Zeichnung

Tab. 2: Weitere Befunde zu Lernschwierigkeiten der Kategorie 1

Inhaltsebene/beispielhafte Aussagen	Quellbereiche
Erklärung des Schrumpfens von Gebirgen (Studie 1)	
<p>WISSENSCHAFTLER:</p> <p>Gesteine zerfallen in Teile „Der Vorgang der Verwitterung umfasst sämtliche chemischen und physikalischen Prozesse, durch die Gesteine <i>in Bruchstücke unterschiedlicher Größe zerfallen</i>‘. Die [...] <i>Gesteinsbruchstücke werden</i> nachfolgend durch die Prozesse der Erosion und Denudation <i>abtransportiert</i>“ (GROTZINGER et al., 2008, 76; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Gebirge nehmen durch Abtragung an Höhe ab „Im Laufe der Zeit <i>werden die Gebirge abgetragen</i>‘ und ihre Höhe nimmt ab“ (GROTZINGER et al., 2008, 619; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Zerkleinern und Abtransportieren Als Quellbereich wird von Wissenschaftlern ein Zerkleinern des Ganzen in einzelne Bruchstücke und ein darauf folgender Abtransport der Bruchstücke genutzt, in dessen Folge die Gebirge an Höhe verlieren.</p>
<p>LERNER:</p> <p>„Wenn hier so Platten sind, die das immer so weiter zusammendrückt, dass das dann irgendwann so nach oben geht. Dann [zeichnet linke Zeichnung] entstehen Gebirge. Ein Gebirge kann auch wieder kleiner werden. Wenn sich da irgendwie Spannungen lösen und das es sich dann so anstatt so [deutet auf Zeichnung links], dass es dann nur noch [zeichnet rechte Zeichnung] so ist.“ (Hanna 88-95, 110-123, 488-491).</p> <div data-bbox="162 1435 584 1541" style="text-align: center;"> </div> <p>Abb. 3: Hannahs Zeichnung</p>	<p>Kraft entfernen: Schiebt man von beiden Seiten Bauklötze gegeneinander, so können sie sich nach oben schieben wie in der Schülerzeichnung; löst man den Druck, gehen die Bauklötze wieder auseinander. Bei diesen Vorgängen bleiben die beteiligten Körper erhalten. Schrumpfung ist das Ergebnis einer Prozessumkehr.</p>
Glazialmorphologie Norddeutschlands (Studie 2)	
<p>WISSENSCHAFTLER:</p> <p>„Das Eis drang diesmal aus Nordosten vor und <i>brachte</i>‘ viele Kreidekalke <i>mit</i>“ (LIEDTKE & MARCINEK, 2002, 391; Hervorh. d. Verf.). „Bei Ausgang des Tertiärs wird man sich Norddeutschland als weitgehend flach vorstellen müssen. Das heutige Relief hat zwar auch tektonische Ursachen [...], aber seine Hauptreliefzüge verdankt Norddeutschland den nachweislich drei Inlandeisbedeckungen [...]“ (LIEDTKE & MARCINEK, 2002, 386).</p>	<p>Geber-Gabe-Nehmer-Schema: Die Interaktion zwischen Untergrund und pleistozäner Eisrandlage in Norddeutschland wird gemäß des Quellbereichs Geber-Gabe-Nehmer-Schema strukturiert: Der eiszeitliche Gletscher gibt die Gabe Lockergestein an den Nehmer Untergrund. Durch die eiszeitliche Gletscherbedeckung wird der Untergrund Norddeutschlands unebener und höher.</p>

<p>LERNER:</p> <p>„Ja oder der ‚<i>Druck vom Gletscher war vielleicht zu schwer</i>‘. Dadurch [hat sich der Untergrund] angepasst. Aber angenommen, es war ja nicht so wie Friesland, so ganz gerade, es war ja mit Huckel, mit Bergen. Und dann, dass der Gletscher zu schwer ist, dass diese Eisschicht zu schwer ist und das ‚<i>herunterdrückt</i>‘, dann wird das alles ja eigentlich gerade. Das meine ich, genau das meine ich, dass der (Gletscher) zu schwer ist und alles ‚<i>geradedrückt</i>“ (Ulrich 666; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Kraft-Schema:</p> <p>Viele Lerner konstruieren in den Vermittlungsexperimenten Vorstellungen, wonach das Relief Norddeutschlands niedergepresst oder abgeschoben worden sei. Sie strukturieren das Verhältnis Gletscher-Untergrund mit dem Quellbereich Kraft-Schema: Der Körper Gletscher übt entweder eine vertikale oder eine horizontale Kraft auf den Untergrund aus. Diese Strukturierung entspricht grundlegenden körperlichen Erfahrungen etwa im Sandkasten, wenn man sich auf den Untergrund legt und aufgrund seiner Gewichtskraft den Sand dadurch niederpresst und einebnet.</p>
<p>Erklärung des tropischen Windsystems (Studie 3)</p>	
<p>WISSENSCHAFTLER:</p> <p>„Auf beiden Hemisphären besteht zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und dem Äquator ein ‚<i>Druckgefälle</i>‘. Beide haben einen geostrophischen Ostwind zur Folge. [...] Zusammen mit der tropischen ‚<i>Ostströmung</i>‘ entsteht so ein ‚<i>Strömungsschema</i>‘, das man sich ‚<i>wie zwei gegenläufig drehende Schrauben</i>‘ mit sehr lang gestreckten Windungen vorstellen kann. Die bodennahen, auf der Nordhalbkugel von Nordosten nach Südwesten und auf der Südhalbkugel von Südosten nach Nordwesten gerichteten ‚<i>Strömungsäste</i>‘ sind nichts anderes als die bekannten Nordost- bzw. Südostpassate“ (HÄCKEL, 2012, 301; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Fließendes Wasser:</p> <p>Um die Bewegung von Luft zu veranschaulichen, wird auf das metaphorische Konzept ‚Wind ist fließendes Wasser‘ zurückgegriffen.</p> <p>Schraube:</p> <p>Um die Luftbewegung im Makrokosmos zu veranschaulichen, vergleicht HÄCKEL (2012) diese mit der äußeren Form zweier gegenläufiger Schrauben.</p>
<p>LERNER:</p> <p>Judith (Interview 3: 404, 569-645; Hervorh. d. Verf.): „‚<i>Der Passatwind</i>‘ weht beständig. Er ist ein ‚<i>Rückfluss</i>‘ im Rahmen eines ‚<i>Kreislaufes</i>‘. Wenn die Passatwinde der beiden Halbkugeln ‚<i>aufeinandertreffen</i>‘, entweichen sie nach oben, weil ‚<i>unten kein Platz</i>‘ ist. Dass diese Aufwinde Auswirkungen auf den Passatwind haben, kann ich mir nicht vorstellen. Sie bilden lediglich die ‚<i>Rücklage</i>‘ für den ‚<i>nächsten Passatwind</i>‘.“</p>	<p>Objekte, Entitäten, die sich anstoßen:</p> <p>Für Schüler stellt der Passatwind eine Entität, eine Art Objekt dar, das sich entlang einer Kreisbahn bewegt. Passatwinde müssen einander Platz machen. Sie bewegen sich hintereinander und können auch gegeneinanderstoßen. Prozesse finden zeitlich nacheinander statt.</p>

5.2 Befunde zu Hypothese 2

Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können dadurch entstehen, dass für die Erklärung alltäglicher Phänomene lediglich der Erfahrungsraum Mesokosmos herangezogen wird, geowissenschaftliche Sachverhalte aber häufig eine Erklärung auf der Ebene des Mikrokosmos verlangen.

Beispiel 1: Nutzung der Metapher ‚Die Erde ist ein Behälter‘ im Kontext mit Vulkanausbrüchen (Studie 1)

Wie die folgenden Beispiele zeigen, nutzen Wissenschaftler den Quellbereich ‚mit einer Flüssigkeit gefüllter Behälter‘, um im Kontext von Vulkanausbrüchen das Erdinnere (Zielbereich) zu beschreiben. Ein Behälter zeichnet sich durch ein Inneres, eine Begrenzung nach außen und ein Äußeres aus:

„Bei ‚Vulkanausbrüchen‘ gelangen Magmen aus dem ‚Erdinneren‘ an die ‚Oberfläche‘“ (GROTZINGER et al., 2008, 302; Hervorheb. d. Verf.).

Aus dem Behälter Erde gelangen Magmen an die Erdoberfläche, sie fließen aus: „Das [die unterschiedliche Viskosität] erklärt den Gegensatz zwischen ‚sanftem Ausfließen‘ von flüssiger, basaltischer Lava auf Hawaii und den explosiven und manchmal katastrophalen ‚Ausbrüchen‘ zähflüssiger Lava von Vulkanen wie Mount St. Helens (1980) [...]“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 158; Hervorheb. d. Verf.).

„Deshalb sind Basaltvulkane durch ‚ruhig ausfließende‘ Lava gekennzeichnet [...]“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 125; Hervorheb. d. Verf.).

Die Behältermetapher beleuchtet, dass die Erde ein Inneres aufweist, das durch die Erdoberfläche von einem Außen getrennt wird, und dass aus diesem Inneren die Substanz Lava nach außen gelangt. Sie verdun-

kelt aber, dass der Behälter Erde überwiegend aus festem Gestein besteht und sich Magmen dort erst bilden müssen. Schüler nutzen ebenfalls den Quellbereich ‚mit einer Flüssigkeit gefüllter Behälter‘, um den Zielbereich ‚Inneres der Erde‘ im Kontext mit Vulkanausbrüchen zu beschreiben. Sie gehen aber davon aus, dass sich das Magma dauerhaft in der Erde befindet. So beschreiben Schüler, z.B. Christoph, die Erde als einen Behälter, der Magma oder Lava enthält, welches oder welche bei Vulkanausbrüchen über Kanäle nach außen gelangt.

„Unten ‚in der Erde ist‘ ein flüssiger, ganz heißer Kern drin. Der Kern besteht aus geschmolzenem Gestein. Das außen herum ist zähflüssig, so wie Lava halt ist. Der ganze äußere Teil ist die Kruste, da wo wir drauf leben. Die ‚Lava‘ der Vulkane ‚kommt aus dem Erdinneren‘. Es sind diese ‚Kanäle, die bis runter führen, durch die Platte, bis es in diese Magma oder Lava, was da ist‘, kommt“ (Christoph 22-34, 137-146, 165-173, 209-220, 259-276; Hervorheb. d. Verf.).

Wenn etwas ausfließt, also aus einem Behälter herauskommt, muss dies aus lebensweltlicher Perspektive schon vorher in diesem enthalten sein. Schüler übertragen diesen Aspekt aus dem Quellbereich auf die Struktur des Erdinneren, sie erkennen die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht. So antworten beispielsweise Bernd und Guido auf die Frage, woher Wissenschaftler etwas über den Aufbau des Erdinneren wissen:

„Sie beobachten, dass bei einem Vulkanausbruch geschmolzenes Gestein austritt und ‚es muss irgendwo herkommen‘. Und so ergründen die sich, dass darunter flüssiges Gestein sein muss“ (Bernd 248-251; Hervorheb. d. Verf.).

„Man könnte auch sagen, dass im Erdkern Wasser ist. Aber aufgrund der Vulkane kann man sagen, dass es kein Wasser ist. Dass es Magma ist. ‚Wo soll sonst das Magma herkommen?‘“ (Guido 1144-1151; Hervorheb. d. Verf.).

Beispiel 2: Gleichgewichtsstrukturierung von Gletschern (Studie 2)

Sowohl Wissenschaftler als auch die untersuchten Schüler strukturieren den Zielbereich Systemische Strukturierung von Gletschern mithilfe des Quellbereichs Gleichgewichtsschema. So nutzt WINKLER (2009, 44) ein solches Schema bei der Erläuterung der Massenbilanz von Gletschern:

„Liegen beide Teilbilanzen in einer vergleichbaren Größenordnung, das heißt, *halten sich*‘ Akkumulation und Ablation auf das Haushaltsjahr hochgerechnet *die Waage*‘, resultiert daraus eine neutrale beziehungsweise ausgeglichene Nettobilanz“ (Hervorh. d. Verf.).

Der Gletscher ist demnach ein Körper, der auf einer Waage über Jahre hinweg die gleichen Werte für sein Gewicht anzeigt. Für eine dynamische Modellierung des Massenflusses in einem Gletscher wird ein Fließgleichgewicht genutzt und der Gletscher in zwei Container unterteilt: ein Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) und ein Ablationsgebiet (Zehrgebiet). Über Jahre hinweg ist der Durchfluss von Masse aus dem Akkumulations- ins Ablationsgebiet im Gleichgewicht. Die Grenzlinie zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet auf der Gletscheroberfläche heißt entsprechend Gleichgewichtslinie (BENNETT & GLASSER, 2009, 44; WINKLER, 2009, 40).

In fachwissenschaftlicher Perspektive beleuchtet das Gleichgewichtsschema im Zielbereich System Gletscher die Massenbilanz des gesamten Gletschers und die Durchflussmenge von Gletschereis. Lerner im Vermittlungsexperiment übertragen dieses Schema darüber hinaus auch auf die räumlichen Größenverhältnisse von Akkumulations- und Ablationsgebiet:

„Ich denke: Das Zehrgebiet darf *nicht größer*‘ als das Nährgebiet sein ... und das Nährgebiet *darf nicht größer*‘ sein als das Zehrgebiet“ (Ralf 1042; Hervorh. d. Verf.).

„Also ich habe mir jetzt sozusagen ein Gebiet gedacht [zeigt es durch Hände] und dann sind da *‘fünfzig Prozent*‘ Nährgebiet, *‘fünfzig Prozent*‘ Zehrgebiet“ (Uli 1975; Hervorheb. d. Verf.).

Die Lerner greifen damit auf die ganz grundlegende Erfahrbarkeit von Gleichgewichten gemäß einer Spiegelsymmetrie zurück: Viele Alltagsgegenstände haben dann das gleiche Gewicht links und rechts einer Linie, wenn die Flächen oder Volumina dieses Gegenstandes links und rechts gleich groß sind.

Beispiel 3: Erklärung von Luftbewegungen (Studie 3)

Wissenschaftler: Luft strömt entlang eines Gefälles vom Hoch zum Tief (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 134, 138-139, 247). Sie kann gestaut werden oder in eine Tiefdruckrinne fließen (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 246, 251, 256, 263).

Schüler: „Die Luft *‘strömt*‘ vom Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet, wobei diese *‘nicht auf gleicher Höhe*‘ sein müssen. Das *‘Hochdruckgebiet*‘ kann ja auch so *‘schräg oben*‘ und das *‘Tiefdruckgebiet schräg unten sein*‘. Die *‘Luft strömt oder fließt*‘ dann auch *‘so schräg*‘“ (Julian, Interview 2, 202-213; Hervorheb. d. Verf.).

Lerner und Wissenschaftler greifen beide auf den Quellbereich Fließendes Wasser zurück, um Luftbewegungen zu verstehen. Jedoch kommt es zu einer unterschiedlichen Interpretation. Während Wissenschaftler die Metapher heranziehen, um die Art der Luftbewegung zu erfassen, greifen Lerner hierauf zurück, um die Ursache der Luftbewegung zu verstehen. Sie verstehen die Metapher des Druckgefälles wörtlich und nehmen einen Höhenunterschied zwischen Hoch und Tief (auch hier wörtlich) an. Ähnlich wie fließendes Wasser ein Gefälle benötigt, setzt sich Luft in der Lernervorstellung unter dieser Bedingung in Bewegung.

Tab. 3: Weitere Befunde zu Lernschwierigkeiten der Kategorie 2

Wissenschaftler- und Lerneraussagen	Erläuterung der Lernschwierigkeit
Driftende Platten (Studie 1)	
<p>WISSENSCHAFTLER:</p> <p>„Von der mittleren Kreide bis ins frühe Tertiär wurde ozeanische Kruste der rasch nordwärts ‚driftenden‘ Indischen Platte unter den Tibetblock subduziert“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 111; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Wissenschaftler verwenden die Metapher ‚Platten driften‘ zur Beschreibung der horizontalen Bewegung der Lithosphärenplatten. Schüler verstehen die Plattenbewegung durch die gleiche Metaphorik und nutzen hierzu die Verben treiben, driften und schwimmen. Allerdings übertragen sie in aus fachlicher Sicht unangemessener Weise Aspekte des Quellbereichs Driften auf den Zielbereich Plattenbewegung. So gehen viele Schüler davon aus, dass sich unterhalb der Platten ein flüssiges Medium befinden müsse, etwa Lava oder Wasser. Einige Schüler erklären, dass die Platten durch strömendes Magma unterhalb der Platten angetrieben werden. Im Gegensatz zur Fachwissenschaft nutzen diese Schüler den Quellbereich nicht nur zur Beschreibung der horizontalen Bewegung der Platten, sondern auch zur Erklärung des Plattenantriebs.</p>
<p>LERNER:</p> <p>„Und da sind jetzt die Platten, die ‚schwimmen‘ dann so, die ‚driften‘. Das hat unser Erdkundelehrer gesagt. Die ‚driften‘ auf ‚die-se-m‘ [deutet auf Kreis um innersten Kreis] – das ist ja so ‚halbflüssig‘“ (Christoph 147-162; Hervorh. d. Verf.).</p>	
Der Begriff Eiszeit (Studie 2)	
<p>WISSENSCHAFTLER:</p> <p>„Glaziale oder Eiszeiten sind Kaltzeiten mit weiträumiger Ausdehnung von Inlandeisgletschern in Gebieten, die heute gletscherfrei sind“ (AHNERT, 2009, 320).</p>	<p>Der Begriff Eiszeit wurde als Metapher für eine Epoche der Erdgeschichte von Agassiz und Schimper 1837 geprägt. Der Begriff selbst hat seit damals durch neue Ergebnisse der Eiszeitforschung mehrere Bedeutungsver-schiebungen erhalten (FELZMANN 2013). Heute beleuchtet er die Tatsache, dass zu bestimmten Zeiten der Erdgeschichte größere Gebiete der Erde mit Gletschereis bedeckt waren.</p> <p>Innerhalb der Vermittlungsexperimente benutzten die Schüler die Metapher ‚eine Zeit mit Eis‘ in einem umfassenderen Sinn. Für sie war es nicht nur eine Zeit, in der es vermehrt Gletschereis auf der Erde gab, sondern in der die ganze Erde mit Eis aus unmittelbar zuvor flüssigem Wasser bedeckt war oder in der alles (Pflanzen, Tiere, Boden) eingefroren war. Die Schüler übertragen also Wissen aus grundlegenden Erfahrungen mit Eis im Alltag, etwa aus den Kontexten Gefrierfach und Winter auf die damalige Zeit. So erhalten die Phänomene Eis und Gefrieren eine viel größere Bedeutung für diese Epoche, als sie tatsächlich hatten. Sie haben also Schwierigkeiten, die Grenzen der Metapher zu erkennen.</p>
<p>LERNER:</p> <p>„Und dann ist das ‚alles eingefroren‘, die Dinos sind ausgestorben“ (Natscha 38).</p> <p>„Ich stelle mir das so vor, dass in der Eiszeit, wie auch schon gesagt Eiszeit, ‚möglichst alles vereist war, voller Eis, Schnee‘“ (Dieter 15).</p>	

Atmosphäre besteht aus Schichten (Studie 3)

WISSENSCHAFTLER:

„Wegen des unterschiedlichen meteorologischen Verhaltens der einzelnen ‚Stockwerke‘ der Atmosphäre hat man ihnen verschiedene Namen gegeben. So nennt man die untere Schicht ‚Wetterschicht‘ oder ‚Troposphäre‘“ (HÄCKEL, 2012, 58-59; Hervorh. d. Verf.).

„Das Luftpaket wird ‚keine größere Höhe als etwa 10km‘ erreichen, denn die ‚dort einsetzende mächtige, Ozon bedingte Inversion‘ wird jede weitere Vertikalbewegung unterdrücken“ (HÄCKEL, 2012, 52; Hervorh. d. Verf.).

LERNER:

„Wie weit steigt Luft auf? Ich würde sagen, bis zu einer ‚Schicht‘, die wie ein ‚Schutzmantel‘ ist. Diese ‚Schutzschicht‘, die besteht komplett nur aus Druck“ (Katja, Interview 3, 22-68; Hervorh. d. Verf.).

Wissenschaftler verstehen den vertikalen Aufbau der Atmosphäre metaphorisch mithilfe des Quellbereiches ‚aufeinander liegende Schichten, Stockwerke‘. Die Atmosphäre erscheint also als eine Art Gebäude mit Stockwerken. Veranschaulicht werden hierdurch die unterschiedlichen Eigenschaften der Sphären. So spielt sich unser Wettergeschehen etwa innerhalb der Troposphäre ab. Diese bildet zusammen mit der Stratosphäre den unteren Teil der Atmosphäre, die wiederum vom oberen Teil (Heterosphäre) dadurch abgegrenzt wird, dass es sich um eine Homosphäre handelt (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 41-43). Lerner greifen ebenfalls auf diesen Quellbereich zurück, verstehen die Metapher der Schichtung jedoch umfassender. Grenzen erscheinen als etwas Festes, wie eine Art Wand. Sie werden teleologisch gedeutet und bekommen eine Schutzfunktion zugesprochen.

5.3 Befunde zu Hypothese 3

Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können dadurch entstehen, dass für die Erklärung alltäglicher Phänomene lediglich der Erfahrungsraum Mesokosmos herangezogen wird, geowissenschaftliche Sachverhalte aber häufig eine Erklärung auf der Ebene des Mikrokosmos verlangen.

Beispiel 1: Plattenbewegungen (Studie 1)

Bewegungen im System Plattentektonik sind häufig erst durch einen Blick auf den Mikrokosmos erklärbar. Dies soll am Beispiel der zwei wichtigen Antriebskräfte Rückendruck und Plattenzug veranschaulicht werden. Bei der Erklärung des Plattenzugs greifen Fachwissenschaftler auf den Quellbereich Bewegung durch Ziehen zurück. „Wenn diese Plattenstücke in die Asthe-

nosphäre absinken, ‚ziehen‘ sie die dahinter anhängende Platte mit“ (TARBUCK & LUTGENS 2009, 77; Hervorheb. d. Verf.).

Verständlich wird der Plattenzug aber erst durch einen Blick auf den Mikrokosmos: „Der Plattenzug wird durch die ‚größere Dichte‘ der erkalteten ozeanischen Lithosphäre gegenüber dem darunter liegenden Mantel hervorgerufen“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 20; Hervorheb. d. Verf.).

Der Rückendruck oder auch Rückenschub wird in Lehrbüchern mal wie ein Rutschen auf einer geneigten Fläche, mal durch ein Auseinanderdrücken der Platten aufgrund des aufsteigenden Asthenosphärenstroms beschrieben: „Der Rückenschub entsteht durch die Aufwärtsbewegung der heißen und daher spezifisch relativ leichten Gesteinsschmelzen an den Mittelozeanischen Rücken, wobei im Bereich der neu entstehenden Lithosphäre die vertikale in horizontale Bewegung umgelenkt wird und

die Platten ‚*auseinander gedrückt*‘ werden“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 20; Hervorh. d. Verf.). „Dieser Mechanismus beruht auf der Gravitationskraft und resultiert aus der erhöhten Position des Ozeanischen Rückens, weswegen Plattenstücke der Lithosphäre an den Flanken des Ozeanrückens ‚*herunterrutschen*‘“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 77; Hervorheb. d. Verf.).

Auch hier muss zum Verständnis ein Blick auf den Mikrokosmos gerichtet werden: Die exponierte Lage der Mittelozeanischen Rücken ist Resultat einer vergleichsweise geringen Dichte aufgrund der hohen Temperaturen: „Der Hauptgrund für die erhöhte Position des Ozeanrückens ist die hohe Temperatur der neu gebildeten Kruste, die dadurch weniger ‚*dicht*‘ ist als kältere Gesteine und mehr Volumen einnimmt“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 63; Hervorheb. d. Verf.).

Schüler greifen teilweise auf die gleichen Quellbereiche zurück wie die Fachwissenschaftler. Viele Vorstellungen können den Quellbereichen Bewegung durch Ziehen, Bewegung durch Drücken und Bewegung als Abwärtsbewegungen auf einer geneigten Fläche zugeordnet werden.

Bewegung durch Ziehen

„Es wirkt vielleicht auch zum Beispiel die ‚*Anziehungskraft*‘. Ich weiß es nicht genau. Ich kann es mir nicht so mit der Anziehungskraft vorstellen. Weil die ‚*Anziehungskraft*‘ normalerweise nur Richtung Erdkern ‚*zieht*‘ und nicht irgendwie in verschiedene Richtungen. Also dürfte das eigentlich nicht so richtig sein“ (Daniel 174-181; Hervorheb. d. Verf.).

Bewegung durch Drücken

„Wenn man die durch irgendetwas, durch eine riesige Kraft, einmal in Bewegung setzt, muss man die erst einmal wieder stoppen, weil da unvorstellbar große Gewichte dahinter sind. Ich kann mir vorstellen, dass

die Platten mit dem Urknall oder so als Kraft in Bewegung gesetzt wurden. Es gab diesen Urknall. Da war diese große Explosion. Es war diese Grundenergie vorhanden und durch die ‚*Druckwelle*‘ und alles Mögliche, also Explosionsenergie, die Kraft, die in einer Explosion steckt, die ‚*bewegt durch die Druckwelle*‘ alles Mögliche. Also mit ihrer Kraft wurden diese Platten ‚*vielleicht angeschubst*‘, dass die sich so ganz langsam auf diesem flüssigen Kern bewegen“ (Christoph 373-380, 381-394, 469-470, 1139-1150; Hervorheb. d. Verf.).

Bewegung durch eine Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche

„Wenn jetzt ein Tisch schief ist, rutscht das Glas ja auch runter. Und wenn das die Erde ist [zeichnet] und die ist da ein bisschen schief, dann ‚*rutscht die Platte*‘ ja auch so ein bisschen nach ‚*da runter*‘“ (Elisabeth 142-153; Hervorheb. d. Verf.).



Abb. 4: Elisabeths Zeichnung: Platte rutscht seitlich nach unten

Bei den Betrachtungen der Lerner erfolgt jedoch nicht der für das Verständnis der Phänomene notwendige Blick auf den Mikrokosmos, denn dieser ist lebensweltlich zur Erklärung von Bewegungen, die durch drückende oder ziehende Kräfte ausgelöst werden, nicht erforderlich. Auch Hebungen, die zu einer Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche führen, beispielsweise die Hebung eines Tisches an einer Seite

(vgl. Elisabeth), erfolgen in der Regel durch Vorgänge im Mesokosmos.

Beispiel 2: Gletschereisentstehung (Studie 2)

Gletschereis entsteht überwiegend aus einzelnen Schneeflocken. Die Eiskristalle der Schneeflocken verändern dabei ihre Form, sodass eine kompaktere Lagerung der Eiskristalle möglich wird. Die hierfür verantwortlichen Prozesse finden insbesondere auf einer mikroskopischen Ebene statt. Sie umfassen Schmelz- und Wiedergefrierprozesse von Eiskristallteilen, thermodynamisch bedingte Reduktionen der Oberflächengröße der Eiskristalle und mechanische Veränderungen der Eiskristallstruktur. In den Lehrbüchern werden insbesondere die thermodynamisch bedingten Veränderungen von Eiskristallen metaphorisch mit einem Personen-Schema gefasst: Eiskristalle altern: „Für einen Geologen ist ein Stück Eis im weitesten Sinn ebenfalls ein ‚Gestein‘, eine Masse aus Kristallen des ‚Minerals‘ Eis. [...] Locker gepackte Schneeflocken – *jede einzelne ein Kristall*‘ des ‚Minerals‘ Eis – ‚altern‘ und ‚rekristallisieren‘ zu dem festen ‚Gestein‘ Eis“ (GROTZINGER et al., 2008, 576; *Hervorheb. d. Verf.*).

In den Vermittlungsexperimenten griffen die Lerner zu Beginn häufig auf Erklärungen für die Entstehung von Gletschern und Gletschereis zurück, wie sie im Alltag innerhalb des Mesokosmos bei der Entstehung von Eis erfahrbar sind: Große Massen flüssigen Wassers gefrieren in einem einmaligen Prozess. Sie griffen damit auf den Quellbereich Eisentstehung in Gewässern zurück, um den Zielbereich Gletschereisentstehung zu erklären, und mussten folglich keine mikroskopische Ebene berücksichtigen: „Nein, das stimmt schon, trotzdem, so eine Eisschicht. ‚Eis entsteht ja aus Wasser‘, wir haben ziemlich viel Wasser, 72 oder 71 Prozent ist Wasser. Aber das Wasser muss ja irgendwie auf das Land

kommen, weil das kann ja nicht sein, dass einfach die Seen in diesen Steppen und auf dem Land ‚einfrieren‘ und dadurch kommen jetzt Gletscher oder so. Das muss ja irgendwo herkommen“ (Ralf 467; *Hervorheb. d. Verf.*).

Alternativ konstruierten die Lerner eine Vorstellung von gefrierendem Schnee. Auch dieser Prozess ist auf der Ebene des Mesokosmos (Schnee, Eis) und nicht auf der Ebene der Eiskristalle angesiedelt. „Wenn es dann hier gefroren ist. Ich glaube nämlich, Gletscher sind meistens irgendwelche erhöhten ‚Massen aus Schnee, die dann gefroren sind‘. Gletscher ist gefrorener Schnee, meiner Meinung nach“ (Uli 396-406; *Hervorheb. d. Verf.*).

Der folgende Textausschnitt stammt aus einer Phase des Vermittlungsexperimentes, nachdem die Entstehung von Gletschereis thematisiert worden war. Er verdeutlicht an den Äußerungen von Markus sowohl die Schwierigkeit für die Lerner, überhaupt erst einmal auf die Ebene von Eiskristallen/Schneeflocken zu gehen, als auch die Attraktivität von Vorstellungen eines einmaligen großvolumigen Gefrierens flüssigen Wassers:

Markus: „Wie ist das Eis eigentlich noch einmal entstanden?“ (2554)

Ulrich: „Durch den hohen Druck mit dem Schnee!“ (2555)

Nico: „Ja“ (2556).

Markus: „Ja, wie das Eis entstanden ist?“ (2557)

Nico: „Ja, durch das Gefrieren eben: Schneeflocken sind herunter und dann kommen noch mehr Schneeflocken und dann noch mehr“ (2558).

Markus: „Aber so viel, dass das so viel geworden ist [zeigt auf Abbildung eines Gletschers], oder war da irgendetwas mit Wellen?“ (2559)

Ulrich: „Nein, es kamen keine Wellen!“ (2560)

Markus: „Nicht?“ (2561) [...]

Lehrer: „Wie ist das Gletschereis noch einmal entstanden?“ (2563)

Nico: „Durch die Schneeflocken, die dann immer mehr wurden“ (2564).

Ulrich: „Durch hohen Druck gepresst, also, das war dann zu viel“ (2565).

Beispiel 3: Erklärung von Luftbewegungen (Studie 3)

Wissenschaft: „Sinnfällig wird der Druck mithilfe der Vorstellungen zur kinetischen Gastheorie. Danach kann man sich die Moleküle eines Gases in ständiger, unregelmäßiger Bewegung vorstellen. [...] Da in einem cm^3 bei 0° und 1013 hPa Luftdruck $2,6868 \cdot 10^{19}$ Moleküle [...] vorhanden sind, muss die Bewegung zu ständigen Zusammenstößen untereinander und mit den das Gas ‚begrenzenden Wänden‘ [...] führen. Die Druckkraft, die ein Gas auf einen cm^2 einer ‚begrenzenden Wand‘ ausübt, ist eine Folge der ‚Stöße der Gasmoleküle gegen sie‘. Da die Molekularbewegung bei der riesigen Zahl von fast 27 Trillionen Teilchen in einem cm^3 statistisch in allen Richtungen gleich verteilt ist, resultiert ein allseitig gleicher Druck“ (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 121; Hervorheb. d. Verf.).

Lerner: „Der Luftdruck könnte irgendwie so ‚anschwellen‘, immer höher werden, dass es zu einer Art ‚Explosion‘ kommt“ (Jana, Interview 7, 223-298; Hervorheb. d. Verf.).

Die basale Logik des Behälterschemas (Inneres, Grenze, Äußeres), auf die die Wissenschaftler zurückgreifen, entstammt dem Mesokosmos und ist direkt erfahrbar. Sie wird hier metaphorisch auf den Zielbereich Windentstehung übertragen. Das Innere wird sprachlich durch die Präposition (in) signalisiert und inhaltlich in seiner Ausdehnung durch die Volumenangabe (cm^3) und die genaue Angabe der Anzahl der Moleküle präzisiert. Letzteres ist außerdem notwendig, um das Phänomen Luftdichte zu verstehen. Diese ist einerseits von

der Anzahl der Teilchen, andererseits von ihrem spezifischen Gewicht abhängig. So ist Wasserdampf beispielsweise spezifisch leichter als die übrigen Gase (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 166-167), entsprechend ist die Dichte eines wasserdampfhaltigen Luftvolumens geringer. Die Grenze erscheint als eine Art imaginäre Wand, was sich sprachlich durch die Präposition (gegen) äußert und inhaltlich durch die Funktion der Wand bzw. die ablaufenden Prozesse deutlich wird: Sie ist begrenzend; Moleküle stoßen gegen sie (vgl. Abb. 5). Die Ursachen horizontaler Luftbewegungen erfassen Wissenschaftler über einen Doppelbehälter, in dem unterschiedlicher Luftdruck herrscht. Wind wird dabei als Verschieben einer imaginären Wand in Richtung des Behälters mit dem niedrigeren Druck verstanden (Abb. 6). Auf der sprachlichen Ebene lassen sich bei WEISCHET und ENDLICHER (2008) im gesamten Lehrbuch Hinweise auf das metaphorische Konzept Luft ist ein Behälter finden. Neben den genannten Indizien finden sich prägnante Metaphern wie Luftquantum (141), eine Luftmasse (134), Luftsäule (135), riesige Luftblase (181), Schlauch (181, 184) oder Walze (151). Wissenschaftler verstehen also sich bewegende Luft und damit Phänomene im Makrokosmos (z. B. Pas-

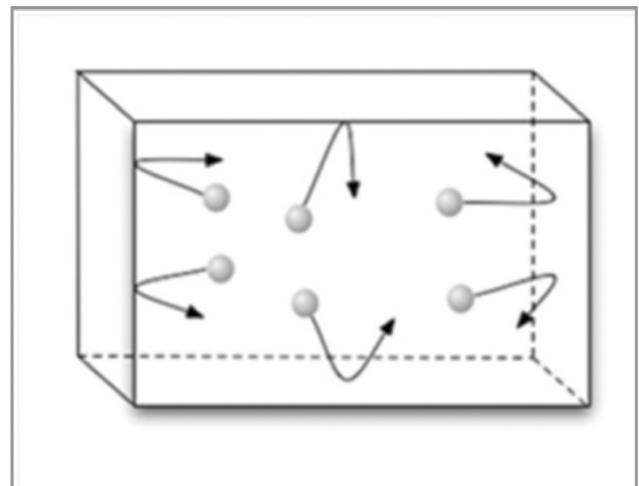


Abb. 5: Wissenschaftliche Vorstellung zum Luftdruck (Darstellung nach BASTEN, 2013, 60)

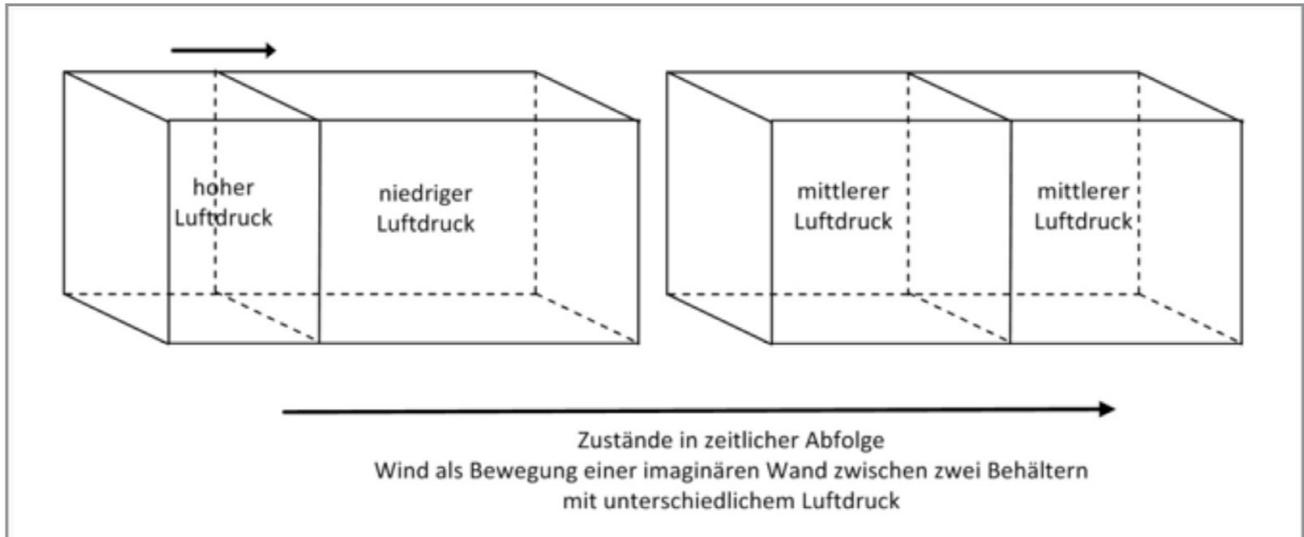


Abb. 6: Wissenschaftliche Vorstellung zur Ursache horizontaler Luftbewegungen (Darstellung nach BASTEN, 2013, 69)

satwinde, lokale oder regionale Windsysteme), indem sie den Mikrokosmos über Metaphern modellhaft begreifen.

Lerner greifen auf andere Quellbereiche zurück, um die Ursache von Luftbewegungen zu erklären. Die Metapher des Anschwellens und der Vergleich mit einer

Explosion zeigen deutlich, dass Jana Erfahrungen aus dem Mesokosmos heranzieht (Brandkatastrophen), um das Phänomen Windentstehung zu erklären. Luftdruck ist nicht permanent vorhanden, sondern bildet sich ihrer Vorstellung nach erst unmittelbar vor der Luftbewegung.

Tab. 4: Weitere Befunde zu Lernschwierigkeiten der Kategorie 3

Wissenschaftler-und Lernaussagen	Erläuterung der Lernschwierigkeit
Bewegungen im Erdinneren (Studie 1)	
<p>Wissenschaftler:</p> <p>„Hierbei wärmt die Flamme das Wasser am Boden des Glasbehälters. Das erhitzte Wasser dehnt sich aus, ‚wird weniger dicht‘ (bekommt mehr Auftrieb) und steigt auf. Gleichzeitig sinkt das kältere, ‚dichtere‘ Wasser nahe der Oberfläche nach unten“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 401; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Konvektionsbewegungen werden fachwissenschaftlich mit Veränderungen in der Dichte, also auf der Ebene des Mikrokosmos begründet. Schüler nutzen Erfahrungen mit Bewegungen im Mesokosmos als Quellbereich zur Erklärung von Bewegungen im Erdinneren. So erklären Schüler die Bewegungen des von ihnen im Erdinneren angenommenen Magmas durch Druck aus dem Erdkern, durch den das Magma nach oben gepumpt wird (z. B. Guido) (Quellbereiche Drücken, Pumpen) oder sie gehen davon aus, dass eine rotierende Bewegung eines Behälters auch eine in einem Behälter befindliche Flüssigkeit in Schwingung versetzt (z. B. Elisabeth) (Quellbereich Sich mitbewegen).</p>
<p>Lerner:</p> <p>„Ich glaube, der Antrieb für das Zirkulieren kommt wahrscheinlich durch den ‚Druck vom Erdkern‘. Weil durch den Druck vom Erdkern diese Flüsschen entstehen, die dann immer weiter das Magma ‚hochpumpen‘“ (Guido 372-386, 387-395; Hervorh. d. Verf.). „Weil flüssiges Zeug ‚bewegt sich ja irgendwie immer mit jeder Bewegung‘, und wenn die Erde sich dreht, bewegt sich das flüssige Zeug auch“ (Elisabeth 245-259; Hervorh. d. Verf.).</p>	

Wissenschaftler-und Lernaussagen	Erläuterung der Lernschwierigkeit
Gletscherbewegung (Studie 2)	
<p>Wissenschaftler:</p> <p>„Der Gesamtbetrag dieser winzigen Bewegungen innerhalb der enormen Anzahl von Eiskristallen summiert sich‘ zu einer erheblichen Bewegung der geschlossenen Eismasse in einem Vorgang, der als plastisches Fließen bezeichnet wird“ (GROTZINGER et al., 2008, 582; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Der Mechanismus des plastischen Fließens von Gletschereis wird in Lehrbüchern durch Vorgänge auf der molekularen Ebene erklärt: Kristallgitter innerhalb eines Eiskristalls verschieben sich relativ zueinander.</p> <p>Innerhalb der Vermittlungsexperimente wurde das plastische Fließen als ein Verschieben von einzelnen Eisteilchen gegeneinander vermittelt und diese Bewegung mit einer druckbedingten Verschiebung einzelner Karten in einem Kartenstapel analogisiert. In einer Anschlussaufgabe wurden die Lerner explizit aufgefordert, den Weg von zwei Eisteilchen vom Moment der Schneeflockensedimentation im Akkumulationsgebiet eines Gletschers bis zum Moment des Schmelzens und Wegfließens im Ablationsgebiet einzuzeichnen und zu erläutern. Vielen Lernern gelang nicht eine Perspektive auf den Mikrokosmos, innerhalb dessen die beiden Eisteilchen als umgeben von anderen Eisteilchen strukturiert werden müssten. Oft wurden die beiden Teilchen so dargestellt, als würden sie sich auf dem Gletscher und unabhängig von diesem voran bewegen (s. nebenstehendes Zitat).</p>
<p>Lerner:</p> <p>„Ich hätte jetzt gedacht, dass das hier [auf dem Gletscher] so abfällt, senkrecht, dass nur hier oben die Strecke [der Eisteilchen] ist. Und dann hätte ich jetzt gedacht, dass sich die beiden [Eisteilchen] immer im gleichen Abstand dann allmählich auf das Zehrgebiet zubewegen und dort dann zu Wasser werden und so [den Gletscher] herunterrutschen“ (Uli 2050-2052).</p>	
Eigenschaften von Wasserdampf (Studie 3)	
<p>Wissenschaftler:</p> <p>„Die innertropische Konvergenz ist eine Zone verstärkter Konvektion. ‚Besitzen‘ die darin einbezogenen Luftmassen ‚genügend Wasserdampfgehalt‘, können in ihrem Wirkungsbereich ‚hochreichende Cumulonimben mit Gewittern [...] auftreten“ (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 259; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Wissenschaftler erfassen das Phänomen wasserdampfhaltige Luft mithilfe des Teil-Ganzes-Schemas. Der Mikrokosmos wird dadurch charakterisiert, dass Wasserdampfmoleküle ein geringeres spezifisches Eigengewicht als die übrigen Moleküle der Luft besitzen. Luft besteht aus Teilchen. Entsprechend wird ein Luftvolumen mit zunehmendem Wasserdampfanteil leichter (WEISCHET & ENDLICHER, 2008, 166). Dies führt im Bereich der innertropischen Konvergenzzone in Verbindung mit feuchtadiabatischen Prozessen zu weitreichender Konvektion. Die Lernerin zieht Erfahrungen aus dem Mesokosmos heran: So wird beispielsweise das Glas, in das Wasser eingeschenkt wird, schwerer. Entsprechend zieht sie die gegensätzliche Schlussfolgerung: Wasserdampfhaltige Luft steigt langsamer auf, weil sie schwerer ist.</p>
<p>Lerner:</p> <p>„Wasserdampfhaltige Luft ist ‚schwerer‘ als nicht wasserdampfhaltige, weil doch ‚mehr Wasser dabei‘ ist. Sie steigt ‚langsamer‘ auf“ (Judith, Interview 3, 209-329; Hervorh. d. Verf.).</p>	

5.4 Befunde zu Hypothese 4

Sind die Erklärungen geowissenschaftlicher Phänomene im Mikrokosmos angesiedelt, können Verständnisschwierigkeiten dadurch entstehen, dass Schüler bei der Betrachtung des Mikrokosmos andere Quellbereiche von Metaphern als Wissenschaftler nutzen beziehungsweise bei Nutzung des gleichen Quellbereiches die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen.

In den empirischen Befunden sind keine direkten Belege dafür aufgetreten, dass Schüler Phänomene des Makrokosmos aufgrund ihrer Interpretation des Mikrokosmos in einer aus wissenschaftlicher Sicht unangemessenen Weise erklären. Dies wiederum ist mit Hinblick auf Kategorie 3 nicht überraschend, denn diese geht davon aus, dass Lerner dazu neigen, bei der Erklärung geowissenschaftlicher Sachverhalte lediglich den Erfahrungsraum Mesokosmos zu nutzen, ohne den Blick auf den Mikrokosmos zu richten. Allerdings wurden am Ende der Interviews in der Studie zu Lernervorstellungen zur Plattentektonik (Studie 1) auch Modellversuche zum Schwimmen und Sinken durchgeführt und die Schüler wurden aufgefordert, die Bewegungen in einer Lavalampe zu erklären. In diesen Kontexten richteten Schüler von alleine den Blick auf den Mikrokosmos oder sie wurden dazu seitens des Interviewers aufgefordert. An den Schüleraussagen wurde deutlich, dass Schüler beim Verstehen des Mikrokosmos teilweise von der Fachwissenschaft abweichende Quellbereiche nutzen oder die Grenzen einer metaphorischen Übertragung nicht erkennen. Zieht man im Unterricht explizit den Mikrokosmos als Erklärungsraum für Phänomene des Makrokosmos heran, ist daher zu erwarten, dass die in Kategorie 4 angenommenen Lernschwierigkeiten auftreten.

Beispiel 1: Energie (Studie 1)

Nach der Vorstellung einer Schülerin müsste das Gewicht eines Körpers erhöht werden, wenn ihm Energie zugeführt wird. „Ja, ich überlege gerade, wenn ich einen Luftballon erwärme, also so die Luft darin, dann wird er ja *schwerer, weil Energie zugeführt wird*‘. Und *wenn es kalt ist, hat man ja die Energie nicht, also ist es ja leichter*‘. Wieso der dann sinkt? Eigentlich ist ja noch Luft drin. Dann müsste er ja eigentlich, wenn es kalt wird, oben sein. Keine Ahnung“ (Tina 812-821; Hervorheb. d. Verf.).

Die Schülerin fasst die Zufuhr von Energie metaphorisch als die Zugabe des Stoffes auf. Führt man einen zusätzlichen Stoff in einen Ballon, so müsste dieser schwerer werden und sinken. Würde die Schülerin diese Vorstellungen auf Konvektionsbewegungen im Mantel übertragen, würden beträchtliche Verständnisschwierigkeiten entstehen.

Beispiel 2: Dichte (Studie 1)

Manche Schüler erklären Schwimmen ebenso wie Fachwissenschaftler über die physikalische Größe der Dichte. Hierbei definieren einige Dichte darüber, wie nahe die Teilchen aneinander sind: „Ich stelle mir unter Dichte vor, *wie dicht die Teilchen aneinander*‘ sind“ (Silke 437-444; Hervorheb. d. Verf.). „Das Material ist aus Molekülen aufgebaut und manche Moleküle, die sind nicht so fest verbunden. Mit einer lockereren Verbindung. *Und sind vielleicht doch weiter auseinander*‘. Je stärker und fester die verbunden sind, desto größer ist die Dichte. *Je lockerer, je weiter auseinander die Moleküle und die ganzen Teilchen sind*‘, desto lockerer ist dann auch die Verbindung. Desto weniger ist die Dichte“ (Daniel 784-799; Hervorheb. d. Verf.).

Eine ähnliche Vorstellung besitzt Mirja, die Dichte als Anzahl der Teilchen pro Fläche definiert. „Ich stelle mir unter Dichte vor, je höher die Dichte ist, *desto mehr Mo-*

leküle' oder Atome oder so etwas ‚sind auf einer bestimmten Fläche‘“ (Mirja 820-829; Hervorheb. d. Verf.).

Die Schüler interpretieren Dichte lebensweltlich im Sinne von dicht gedrängt oder dicht zusammenstehend. Stehen Personen dicht an dicht, so finden sich viele Menschen auf engstem Raum. Die Schüler greifen in ihren Begründungen dafür, dass ein Gegenstand schwimmt, wenn er eine geringere Dichte als Wasser hat, auf genau dieses Konzept zurück. Hier könnte die Erfahrung zugrunde liegen, dass es schwierig ist, eine dichte Menschenmenge zu durchdringen. Beim Stagediving kann man nur getragen werden, wenn man in eine dichte Menschenmenge springt. Stehen Menschen zu weit auseinander, fällt man zu Boden: „Wenn man den Stoff mit einer geringeren Dichte hat, dann ‚lässt er das Material‘ mit der dickeren, mit der größeren Dichte ‚leichter durch‘“ (Daniel 838-843; Hervorh. d. Verf.). „Deswegen sind die Teilchen da am dichtesten und ‚deswegen kann es das tragen‘. Ich glaube, dicht kann es das tragen, es ‚lässt es quasi nicht durch‘“ (Silke 451- 462; Hervorheb. d. Verf.).

„Also, da ist Salz aufgelöst, in dem einen Wasser. Ich glaube, das erhöht die Dichte vom Wasser und deswegen schwimmt das Ei oben. Wenn da mehr drinnen ist, dann ist das Ei oben drauf. Also ich habe hier ein Glas mit Wasser [zeichnet Abb. 7], dann habe ich hier mein Wasser. Dann sind das hier die Wassermoleküle. Wenn ich dann Salz rein tue, dann hab ich überall noch mehr, dann habe ich da ganz viele drin. Und ‚dann trägt das Zeug das Ei‘. Ohne das Salz [zeichnet rechts daneben weiter] habe ich nur so [zeichnet kleine Kreise]. Weil da kein Salz drinnen ist. Die Dichte niedriger ist. Dadurch schwimmt das Ei unten. Da Salz drinnen ist. ‚Die Moleküle tragen das Ei‘. Da schon. [linke Zeichnung] Aber da nicht. [rechte Zeichnung]“ (Mirja 854-867, 868- 893; Hervorheb. d. Verf.).

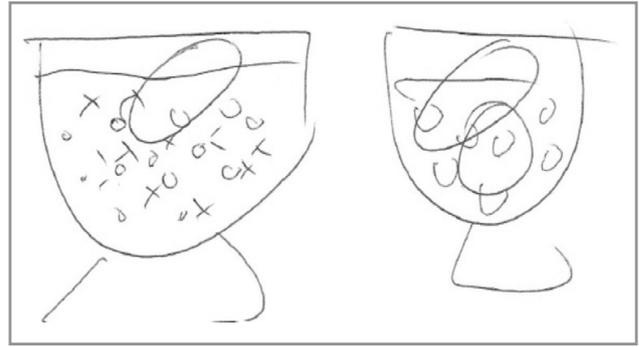


Abb. 7: Mirjas Zeichnung: Liegen Teilchen dicht beieinander, lassen sie nichts durch

Oft verfügen Schüler auch parallel über das Konzept, dass Schwimmen etwas mit dem Gewicht eines Körpers zu tun hat oder mit der Verdrängung von Wasser. Diese Vorstellungen existieren dann häufig als Parallelkonzepte, die Schüler nicht mit der Dichte in Verbindung bringen, da sie auf der Ebene der Dichte lediglich mit dem Abstand von Teilchen argumentieren, zum Beispiel Mirja: „Nein, das schwimmt nicht. Weil es ‚zu schwer‘ ist“ (Mirja 798-813). „Ich weiß nur, dass ein Schiff wegen seiner Form mehr Wasser ‚verdrängt‘, als es einnimmt oder so etwas. Deswegen schwimmt ein Schiff. Ich glaube, die Konsequenz davon wäre, ‚wenn mehr Wasser verdrängt wird, als es einnimmt, dass es oben schwimmt‘. Ich habe keine Ahnung, was das mit dem verdrängten Wasser zu tun hat“ (Mirja 838-853; Hervorheb. d. Verf.).

Fachwissenschaftler greifen auf den gleichen Quellbereich zurück, um Dichte zu verstehen. Allerdings betrachten Fachwissenschaftler bei der Frage, ob ein Gegenstand schwimmt, die Massendichte. Neben der Anzahl der Teilchen im Raum ist auch entscheidend, wie groß die Masse der einzelnen Teilchen ist. Die alleinige Betrachtung der Teilchendichte hingegen lässt die Vorstellung eines Nicht-durchdringen-Könnens aufgrund vieler Teilchen, die im Wege sind, plausibel erscheinen. Isostatische Ausgleichsbewegungen

sind so allerdings schwer begründbar, ebenso ein immer weiteres Absinken alternder ozeanischer Lithosphäre oder die Entstehung des Schalenbaus der Erde.

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Re-Analyse

CHEEK (2010, 131) konstatiert in ihrem Übersichtsartikel zu Schülervorstellungen über geowissenschaftliche Sachverhalte: „*Many inaccurate conceptions appear to be based upon everyday perceptual experiences.*“ Mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens war es auf einer theoretischen Ebene möglich, den Zusammenhang zwischen „*inaccurate conceptions*“ und „*everyday perceptual experiences*“ konkreter zu fassen und darauf aufbauend Hypothesen über verschiedene Kategorien zu Ursachen von Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Zusammenhängen zu entwickeln. Für die Kategorien 1 bis 3 fanden sich in den drei analysierten Arbeiten zahlreiche Belege. Hinsichtlich der Kategorie 4 wurden zwar keine direkten Belege ermittelt, es zeigte sich jedoch, dass Schüler häufig Schwierigkeiten haben, Vorstellungen auf der Ebene des Mikrokosmos in fachlich angemessener Weise zu konstruieren. Dieser Befund ist aus der chemiedidaktischen Forschung umfassend belegt (BARKE, 2006, 65-67). Hieraus lässt sich ableiten, dass Lerner, wollen sie geowissenschaftliche Phänomene wirklich verstehen und nicht auf einer deskriptiven Ebene stehen bleiben, mit großer Sicherheit die durch Kategorie 4 prognostizierten Verständnisschwierigkeiten aufweisen.

Die empirische Überprüfung offenbarte, dass nicht alle Beispiele eindeutig einer Kategorie von Lernschwierigkeiten zuzuordnen sind. So konnte festgestellt

werden, dass Lerner häufiger dann ein geowissenschaftliches Phänomen auf der Ebene des Makrokosmos mit einem anderen Quellbereich konstruierten, als es die Fachwissenschaftler taten, wenn die Erklärung dieses Phänomens in einem nächsten Schritt einen Wechsel auf die Ebene des Mikrokosmos verlangt hätte. Auf diese Weise vermieden die Lerner die Notwendigkeit, eine Erklärung auf der Ebene des Mikrokosmos konstruieren zu müssen.

Die entwickelten und überprüften Hypothesen fokussierten auf das Verständnis geowissenschaftlicher Prozesse durch Übertragungen alltagsweltlich erfahrebarer Prozesse. Sie analysierten nicht den Umgang der Lerner mit weiteren Spezifika geowissenschaftlicher Sachverhalte, die innerhalb der Geowissenschaftsdidaktik als zentrale Lernschwierigkeiten diskutiert werden: die enormen zeitlichen Dimensionen (CHEEK, 2013; DODICK & ORION, 2003; TREND, 1998), die enormen räumlichen Dimensionen (CHEEK, 2010; TRETTER et al., 2006) und die Komplexität vieler geowissenschaftlicher Phänomene (RAIA, 2005). Der fachlich adäquate Umgang mit diesen Aspekten dürfte ebenfalls sehr stark durch die Erfahrungen mit zeitlichen und räumlichen Dimensionen sowie mit komplexen Phänomenen innerhalb des Mesokosmos beeinflusst sein. Insofern dürfte die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens hilfreich dabei sein, Lernschwierigkeiten im Umgang mit diesen Aspekten besser zu verstehen. Für den Bereich räumliche Dimensionen haben TRETTER et al. (2006) diesen Ansatz genutzt, um den Umgang mit verschiedenen Maßstabebenen durch Laien und Experten zu untersuchen. Für die Nutzung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens im Bereich zeitliche Dimensionen liegt ein Ansatz bei FELZMANN (2013, 35-37) vor, der auf wissenschaftshistorischen Analysen GOULDS (1990) aufbaut.

6.2 Unterrichtsplanung

Aus jeder Kategorie von Lernschwierigkeiten lässt sich auf einer allgemeinen Ebene ableiten, welche Leistung ein Lernender vollziehen muss, um ein aus fachwissenschaftlicher Sicht angemessenes Verständnis entwickeln zu können (vgl. Tab. 5).

Aus dieser Erkenntnis lassen sich für jede Kategorie bestimmte Konsequenzen für die Vermittlung geowissenschaftlicher Inhalte aufzeigen. Für die Kategorien 1 bis 3 erfolgt zudem eine Illustration anhand eines Beispiels. Die aufgezeigten Konsequenzen für den Unterricht dienen jeweils der Überwindung einer Lernschwierigkeit. In vielen Fällen haben geowissenschaftliche Inhalte eine derart komplexe Struktur, dass nur eine Kombination unterschiedlicher Strategien dem Aufbau fachwissenschaftlich angemessener Vorstellungen dienen kann. Zudem müssen neben den hier dargelegten Empfehlungen auf der kognitiven und der metakognitiven Ebene auch affektive Faktoren berücksichtigt werden (PINTRICH et al., 1993).

Kategorie 1: Die Ursache für das abweichende Lernverständnis kann in der Nutzung eines in dem jeweiligen Kontext nicht passenden Quellbereiches liegen. Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht verlangt also einen Wechsel des Quellbereiches. Eine Möglichkeit hierbei besteht in der Explikation der Quellbereiche der Ler-

ner und Wissenschaftler, die vergleichend gegenübergestellt werden (NIEBERT et al., 2013). Hinsichtlich der Erfassung des wissenschaftlichen Quellbereichs erscheint es sinnvoll, erfahrungsstiftende Lernangebote beispielsweise durch die Arbeit mit Modellen, Computersimulationen oder Handlungssimulationen zu konzipieren, sodass Schüler auf diese einprägsamen Erfahrungen bei der Konstruktion der wissenschaftlichen Vorstellung zurückgreifen. Als weitere Strategie bietet es sich an, Aktivitäten und Aufgaben im Unterricht darauf anzulegen, dass bestimmte Schemata in den jeweiligen Kontexten aktiviert werden. Als zentral hierbei erweist es sich, die eingesetzte Sprache zu reflektieren sowie passende Analogien zu nutzen. Dies soll am Beispiel des Gesteinstransports durch Gletscher demonstriert werden. Wie in Kap. 5.1 dargestellt, ist für ein fachlich angemessenes Verständnis des Gesteinstransportes durch Gletscher entscheidend, dass das richtige Schema aktiviert wird. Es geht also darum, Strukturierungen etwa gemäß eines Reflexiv-Schemas (ausdehnende Gletscher) zu vermeiden und stattdessen Strukturierungen gemäß eines Fließgleichgewichtes zu ermöglichen. Ein wichtiger Schlüssel hierfür ist ein sorgsamer Sprachgebrauch. So ist etwa das Wort Geschiebe für glaziale Sedimente zu vermeiden, weil es die Strukturierung des Gletschers gemäß eines Reflexiv-Sche-

Tab. 5: Erfordernisse für erfolgreiche Lernprozesse

Lernschwierigkeit	Erfordernis
Kategorie 1	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert einen Wechsel des Quellbereiches.
Kategorie 2	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert es, die Grenzen einer metaphorischen Übertragung zu erkennen.
Kategorie 3	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert einen Ebenenwechsel auf die Ebene der Teilchen.
Kategorie 4	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert, dass Schüler über ein angemessenes Verständnis der im geowissenschaftlichen Kontext herangezogenen naturwissenschaftlichen Konzepte verfügen.

mas nahelegt. Auch Wendungen wie ‚*Die Gletscher kamen nach Norddeutschland*‘ oder ‚*Die Gletscher dehnten sich bis Norddeutschland aus*‘ fördern fachlich nicht adäquate Konstruktionsprozesse. Fließgleichgewichts-Strukturierungen sind besonders durch Wörter wie immer wieder, kontinuierlich, ‚*nachkommen (von Eis)*‘, ‚*mitgenommen werden (von Gestein im Eis)*‘ aktivierbar. Förderlich hierfür sind auch Analogien zu Fließgleichgewichtserfahrungen im Alltag und die Möglichkeit, hierbei Material von einem Punkt zu einem anderen zu transportieren. So macht man etwa in einer Schlange an einer Supermarktkasse die Erfahrung, dass kontinuierlich Menschen am Ende der Schlange dazukommen, sich langsam fortbewegen, hierbei Gegenstände transportieren können und am Anfang der Schlange diese verlassen (nicht mehr dazugehören) und hierbei die transportierten Gegenstände (z.B. Geld) ‚*liegen lassen*‘ könnten. Auf diese Weise bleibt die Schlange über einen längeren Zeitraum etwa gleich groß, während sich die Menge an Gegenständen, wie etwa das Geld an der Kasse, kontinuierlich vergrößert.

Kategorie 2: Hier entstehen Lernschwierigkeiten dadurch, dass Schüler und Wissenschaftler zwar den gleichen Quellbereich nutzen, Schüler aber in einer aus fachwissenschaftlicher Sicht unangemessenen Weise Aspekte des Quellbereiches auf den Zielbereich übertragen. Verstehen bedeutet in diesem Kontext, die Grenzen einer metaphorischen Übertragung zu erkennen. Hierzu bieten sich metakognitive Überlegungen als geeignetes Mittel an. Die genutzten Quellbereiche sollten bewusst gemacht und Chancen und Grenzen der Übertragbarkeit auf den geowissenschaftlichen Sachverhalt offengelegt werden. Betrachtet man beispielsweise den Ausbruch eines Vulkans, so kann im Unterricht die Vorstellung der

Lerner (Erde als mit Lava gefüllter Behälter) thematisiert und mit der Vorstellung der Fachwissenschaft verglichen werden. Hierbei müsste deutlich werden, dass die Lava zwar an die Erdoberfläche gelangt, sich aber nicht dauerhaft in dem Behälter Erde befindet. Es muss deutlich werden, dass die Metaphorik der Erde als mit Flüssigkeit gefüllter Behälter lediglich den Vorgang des Ausfließens von Magma verständlich werden lässt, nicht jedoch den Schluss zulässt, dass es sich bei der Erde um einen mit Magma gefüllten Behälter handelt. Denn die Lava muss innerhalb des Behälters Erde zunächst gebildet werden. Die Erde könnte somit im Unterricht mit einem mit festem Wachs gefüllten Behälter verglichen werden: Erst unter bestimmten Bedingungen kommt es zu einer Transformation des festen Wachses zu flüssigem Wachs, das dann austreten kann. Tritt der Fall ein, dass Schüler und Wissenschaftler die gleichen Wörter nutzen, um einen Sachverhalt zu beschreiben, wie es beispielsweise bei den driftenden Platten der Fall ist, so sollte das lebensweltliche Verständnis eines Wortes erarbeitet und dem wissenschaftlichen Verständnis gegenübergestellt werden. Die Grenzen der Übertragbarkeit müssen thematisiert werden. Es wäre auch möglich, das Verb *driften* im Unterricht vollständig zu meiden und nur von sich verschiebenden Platten zu sprechen. Bei diesem Vorgehen sollte allerdings die Problematik der metaphorischen Übertragung des Ausdrucks *Driften* besprochen werden, da Schüler in den Medien sehr häufig auf diesen Begriff treffen.

Kategorie 3: Sie erfordert vom Schüler einen Wechsel auf die Ebene der Teilchen. Diesen Ebenenwechsel vollziehen Schüler äußerst selten ohne Anleitung. Somit muss ein Ebenenwechsel im Unterricht durch die Lehrkraft initiiert werden, sodass die Schüler bei ihrer Vorstellungs-

konstruktion die Möglichkeit haben, auch den Mikrokosmos in die eigenen Überlegungen mit einzubeziehen. Dies kann auf unterschiedliche Weise geschehen: Ist es möglich, kann und sollte ein Ebenenwechsel mittels technischer Hilfsmittel (bspw. Betrachtung einer Schneeflocke mit der Lupe) im Unterricht vollzogen werden. Oft ist eine Anschauung des Mikrokosmos mit technischen Hilfsmitteln, beispielsweise bei der Betrachtung von Dichteunterschieden oder der Bewegung von Luftmolekülen, jedoch nicht möglich. Hier empfiehlt es sich, ein Phänomen zunächst im Modellversuch zu veranschaulichen. Für die im Mesokosmos gemachte Beobachtung muss eine Erklärung auf einer anderen Ebene gefunden werden. Diese sollte in einem nächsten Schritt auf einer ikonischen Ebene veranschaulicht werden. Erst in einem weiteren Schritt sollte der Wechsel auf die symbolische Ebene erfolgen (ZECH, 1998; BRUNER, 1974). Ein Ebenenwechsel sollte, wann immer dieser im Geographieunterricht erforderlich ist, explizit gemacht und in der Klasse reflektiert werden. Er sollte von den Schülern als Strategie in der Schrittfolge Kennenlernen-Üben-Anwenden erlernt werden (LASKE, 2012), sodass sie schließlich eigenständig in unbekanntem Situationen diese Möglichkeit in Betracht ziehen (CONRAD et al., 2012). Häufig ist es Voraussetzung für adäquates Verständnis, dass die meist naturwissenschaftlichen Konzepte bereits im Naturwissenschaftsunterricht erarbeitet wurden.

Um ein Beispiel aufzuzeigen: Im Rahmen des Modellversuches mit einem Teelichtkreis (FRAEDRICH, 1997, 39) kann die Alltagsvorstellung der Luftbewegung aufgrund einer Explosion (siehe Kap. 5.3) hinterfragt werden. Hierzu werden acht bis zehn Teelichter in einem Raum (ohne Luftzirkulation) kreisförmig aufgestellt und angezündet. Nach wenigen Minuten lässt sich beobachten, dass sich die Flammen zur

Kreismitte hin neigen. Ursächlich hierfür ist ein Tiefdruckgebiet, das sich in der Mitte des Kreises ausbildet. Würde die Luftbewegung durch eine Explosion initiiert, würden sich nicht alle Flammen kontinuierlich zur Kreismitte neigen. Die Beobachtung lässt sich mithilfe der wissenschaftlichen Vorstellungen zur Gradientkraft (s. Abb. 6 oben) erklären. Die Flammen neigen sich permanent zur Kreismitte, da sich Luftmoleküle zwischen zwei imaginären Doppelbehältern ebenso bewegen. Schülerinnen und Schüler könnten durch diese Beobachtung neugierig auf die Ursache gemacht werden. Ihr Blick wird also auf den Mikrokosmos gerichtet. Die Lehrkraft könnte die Lernenden bitten, zunächst zeichnerisch mögliche Ursachen auf der Ebene des Mikrokosmos darzustellen und zu erläutern. Im nächsten Schritt könnten die schematischen Darstellungen wissenschaftlicher Vorstellungen (Abb. 6) gegenübergestellt und verglichen werden. Gemeinsamkeiten und Unterschiede können nun sprachlich, also symbolisch abstrakt, erfasst und reflektiert werden. In einem letzten Schritt kann die Erklärung herangezogen werden, um Phänomene im Makrokosmos (z.B. Land-See-Windsystem) zu verstehen.

Kategorie 4: Hieraus folgt, dass Verstehen nur dann gelingen kann, wenn Schüler über ein fachlich angemessenes Verständnis der genutzten naturwissenschaftlichen Konzepte verfügen. Dies erfordert neben einer sinnvollen curricularen Vorgabe auch eine sehr gute Absprache mit den Lehrern der naturwissenschaftlichen Fächer. Es bietet sich an, wichtige Prinzipien, die in unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Kontexten eine große Rolle spielen (zum Beispiel Schwimmen oder Konvektion), im Geographieunterricht explizit aufzugreifen und Schüler diese Prinzipien in unterschiedlichen Kontexten wieder entdecken zu lassen, sodass Lerner über ein transferfähiges Wissen verfügen.

Literatur:

- AHNERT, F. (2009). *Einführung in die Geomorphologie*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- AMIN, T.G. (2009). Conceptual Metaphor Meets Conceptual Change. *Human Development* 52(3), 165-197. DOI: 10.1159/000213891
- BARKE, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- BASTEN, T. (2013). *Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion des Pasaatkreislaufs*. Hannover: Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek (TIB). URL: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh13/74933620X.pdf>
- BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In D. BÖHN & G. OBERMAIER (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik* (S. 66-67). Braunschweig: Westermann.
- BENNETT, M.R. & GLASSER, N.F. (2009). *Glacial Geology. Ice Sheets and Landforms*. Chichester (GB): Jon Wiley & Sons Ltd.
- BRUNER, J.S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin: Paedagogischer Verlag Schwann.
- CHEEK, K.A. (2010). A Summary and Analysis of Twenty-seven Years of Geoscience Conceptions Research. *Journal of Geoscience Education*, 58(3), 122-134. DOI: <http://dx.doi.org/10.5408/1.3544294>
- CHEEK, K.A. (2013). Exploring the Relationship Between Students' Understanding of Conventional Time and Deep (Geologic) Time. *International Journal of Science Education*, 35(11), 1925-1945. DOI: 10.1080/09500693.2011.587032.
- CONRAD, D., KOCH, C. & LASKE, J. (2012). Problemlösen im Geographieunterricht. Anwendung komplexer Strategien auf unbekanntem Terrain. *Praxis Geographie*, 42(12), 28-31.
- CONRAD, D. (2014): Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik. Bayreuth: Universitätsbibliothek: URL: <https://epub.uni-bayreuth.de/id/eprint/1716>
- DODICK, J. & ORION, N. (2003). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87, 708-731. DOI: 10.1002/sce.1057
- DOVE, J.E. (1998). Students' Alternative Conceptions in Earth Science: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Research Papers in Education*, 13(2), 183-201. DOI: 10.1080/0267152980130205
- FELZMANN, D. (2013). *Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht*. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion 41. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- FRAEDRICH, W. (1997). Wetter und Klima. *geographie heute*, 18(147), 4-39.
- FRISCH, W. & MESCHEDÉ, M. (2011). *Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung*. Darmstadt: Primus.
- GOULD, S.J. (1990). *Die Entdeckung der Tiefenzeit: Zeitpfeil und Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde*. München: Carl Hanser.
- GROPENGIESSER, H. (2006). *Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann*. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion 4. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D.

- KRÜGER & H. VOGT (Hg.), Theorien in der biomedizinischen Forschung (S. 105-116). Heidelberg: Springer.
- GROPENGIESSER, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. MAYRING & M. GLAESER-ZIKUDA (Hg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172-189). Weinheim, Basel: Beltz.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2008). *Allgemeine Geologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- HÄCKEL, H. (2012). *Meteorologie*. Stuttgart: UTB.
- HOPF, C. (2012). Qualitative Interviews. In U. FLICK, E. v. KARDORFF & I. STEINKE (Hg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (S. 349-359). Reinbeck: Rowohlt Taschenbuch.
- JEPPSSON, F., HAGLUND, J., AMIN, T. & STRÖMDAHL, H. (2013). Exploring the Use of Conceptual Metaphors in Solving Problems on Entropy. *The Journal of the Learning Sciences*, 22(1), 70-120. DOI: 10.1080/10508406.2012.691926
- JOHNSON, M. (1987). *The Body in the Mind*. Chicago: The University of Chicago Press.
- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93-104). Berlin: Springer.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H. & KOMOREK, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- LAKOFF, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind*. Chicago: The University of Chicago Press.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago: The University of Chicago Press.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York: Basic Books.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (2011). *Leben in Metaphern*. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme.
- LASKE, J. (2012). Neue (?) Aufgabenkultur im Fach Geographie. *Praxis Geographie*, 42(12), 4-8.
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J. (2002). Das Norddeutsche Tiefland. In H. LIEDTKE & J. MARCINEK (Hg.), *Physische Geographie Deutschlands* (S. 385-461). Gotha: Klett-Perthes.
- NIEBERT, K. (2010). *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- NIEBERT, K., GROPENGIESSER, H. & RIEMEIER, T. (2013). The Hidden Hand that Shapes Conceptual Understanding. In C.-Y. TSUI & D. TREGUST (Hg.), *Multiple Representations in Biological Education* (S. 293-310). New York: Springer.
- NÚÑEZ, R.E., EDWARDS, L.D. & MATOS, J.F. (1999). Embodied Cognition as Grounding for Situatedness and Context in Mathematics Education. *Educational Studies in Mathematics*, 39(1-3), 45-65. DOI: 10.1023/A:1003759711966
- REINFRIED, S. (2007). Educational Reconstruction – A key to Progress in Geoscience Teaching and Learning. *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*, 35(4), 232-243.
- PINTRICH, P.R., MARX, R.W. & BOYLE, R.A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199. DOI: 10.3102/00346543063002167
- RAIA, F. (2005). Students' Understanding of Complex Dynamic Systems. *Journal of*

- Geoscience Education*, 53(3), 297-308. URL: <http://www.nagt.org/nagt/jge/abstracts/may05.html#v53p297>
- RIEMEIER, T. (2005). *Biologie verstehen: Die Zelltheorie*. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion 7. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- SCHEELE, B., GROEBEN, N. & CHRISTMANN, U. (1992). Ein alltags-sprachliches Struktur-Legespiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In B. SCHEELE (Hg.), *Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik* (S. 152-197). Heidelberg: Aschendorff.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 4(2). <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> (aufgerufen am 26.09.2014).
- REINFRIED, S. & SCHULER, S. (2009). Die Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Alltagsvorstellungsforschung in den Geowissenschaften – ein Projekt zur Erfassung der internationalen Forschungsliteratur. *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*, 37(3), 120-135.
- STEFFE, L.P. & THOMPSON, P.W. (2000). Teaching Experiment Methodology. Underlying Principles and Essential Elements. In A.E. KELLY & R.A. LESH (Hg.), *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education* (S. 267-306). Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum Associates.
- STRAHLER, A.H. & STRAHLER, A.N. (2009). *Physische Geographie*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- TARBUCK, E. & LUTGENS, F. (2009). *Allgemeine Geologie*. München: Addison-Wesley.
- TREND, R. (1998). An Investigation Into Understanding of Geological Time Among 10- and 11-year-old Children. *International Journal of Science Education*, 20(8), 973-988. DOI: 10.1080/0950069980200805
- TRETTER, T.R., JONES, M.G., ANDRE, T., NEGISHI, A.J. & MINOGUE, J. (2006). Conceptual Boundaries and Distances: Students' and Experts' Concepts of the Scale of Scientific Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 282-319. DOI: 10.1002/tea.20123
- VOLLMER, G. (1986). *Was können wir wissen? Die Erkenntnis der Natur* (Band 2). Stuttgart: S. Hirzel.
- WEISCHET, W. & ENDLICHER, W. (2008). *Einführung in die Allgemeine Klimatologie*. Stuttgart: Borntraeger.
- WINKLER, S. (2009). *Gletscher und ihre Landschaften. Eine illustrierte Einführung*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- WITZEL, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(2). <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2519> (aufgerufen am 26.09.2014)
- ZECH, F. (1998). *Grundkurs Mathematikdidaktik*. Weinheim: Beltz.