

Universität Bayreuth
Professur Didaktik der Geographie

Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene

–

eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

– Dr. rer. nat. –

Eingereicht an der Bayreuther Graduiertenschule für Mathematik und
Naturwissenschaften im Promotionsprogramm Raum und Gesellschaft

VON

Dominik Sebastian Conrad

2014

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Februar 2011 bis Juni 2014 in Bayreuth an der Professur für Didaktik der Geographie unter Betreuung von Frau Professorin Dr. Gabriele Obermaier angefertigt.

Vollständiger Abdruck der von der Bayreuther Graduiertenschule für Mathematik und Naturwissenschaften (BayNAT) der Universität Bayreuth genehmigten Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

Dissertation eingereicht am: 27.06.2014

Zulassung durch der Leitungsgremium: 30.06.2014

Wissenschaftliches Kolloquium: 29.07.2014

Amtierender Direktor: Prof. Dr. Franz Xaver Schmid

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. Gabriele Obermaier (Erstgutachterin)

Prof. Dr. Ludwig Haag (Zweitgutachter)

Prof. Dr. Ludwig Zöllner (Vorsitz)

Prof. Dr. Anke Matuschewski

Inhaltsverzeichnis

Summary	1
Zusammenfassung	3
Einleitung	5
1 Theoretischer Rahmen	9
1.1 Schülervorstellungen – eine Begriffsklärung	9
1.2 Conceptual-Change-Forschung	10
1.3 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens	12
1.3.1 Grundsätzliche Annahmen zum menschlichen Denken	12
1.3.2 Metaphern und Gestik	15
1.3.3 Zeichnungen und metaphorisches Verstehen	16
1.3.4 Nutzen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens für die fachdidaktische Forschung	16
1.3.5 Bedeutsame kinästhetische Schemata zum Themenbereich Plattentektonik	17
2 Forschungsstand	28
2.1 Studien zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik	28
2.2 Studien zu Alltagsvorstellungen zum Erdinneren	43
2.3 Studien zu Alltagsvorstellungen über Gebirgsbildung, Vulkanismus und Erdbeben ..	46
2.3.1 Studien zu Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung	46
2.3.2 Studien zu Alltagsvorstellungen über Vulkanismus	49
2.3.3 Studien zu Alltagsvorstellungen über Erdbeben	54
3 Untersuchungsdesign und Fragestellungen der Studie	58
3.1 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion	58
3.2 Fragestellungen der Untersuchung	59
3.3 Fachliche Klärung	60
3.4 Erfassen von Lernerperspektiven	61
3.5 Didaktische Strukturierung	63
3.6 Maßnahmen zur Qualitätssicherung	63
3.7 Weiterführende Fragestellung	64
4 Erläuterungen zur Methodik	65
4.1 Der Interviewleitfaden	65
4.2 Durchführung	68
4.3 Kommunikative Validierung	68
4.4 Vorgehen bei der Aufbereitung der Interviews	71
4.4.1 Transkription der Interviews	71
4.4.2 Redigieren der Interviews	73
4.5 Vorgehensweise bei der Auswertung der Interviews	74

4.5.1	Ordnen der Aussagen.....	74
4.5.2	Verallgemeinerung und Explikation der Schülervorstellungen.....	74
4.5.2.1	Kurzexplikation der Einzelinterviews	75
4.5.2.2	Vorgehensweise bei der Verallgemeinerung der Schülervorstellungen	77
4.5.2.3	Explikation auf der Ebene der verallgemeinerten Vorstellungen.....	77
4.6	Methodisches Vorgehen bei der fachlichen Klärung	78
5	Diskussion	79
5.1	Ergebnisse der Interviewstudie	79
5.2	Das Erhebungsinstrument	83
5.3	Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens	84
5.4	Gestik als Fenster zur Kognition.....	85
6	Literaturverzeichnis der Zusammenfassung	87
7	Teilarbeiten der Dissertation.....	98
7.1	Publikationsliste.....	98
7.2	Darstellung des Eigenanteils.....	98
7.3	Teilarbeit A	99
7.4	Teilarbeit B	144
7.5	Teilarbeit C	185
8	Übersicht über weitere im Zeitrahmen der Dissertation entstandene Publikationen.....	227
	Anhang	229
	Danksagung.....	250

Summary

Many structures and processes related to geoscience cannot be perceived directly because of their spatial and temporal dimensions (FELZMANN 2013). According to the theory of experientialism (LAKOFF & JOHNSON 1980; JOHNSON 1987; LAKOFF & JOHNSON 1999; GROPENGIESSER 2006; 2007) they can only be understood on an imaginary level. Especially for topics, which can only be understood with the help of metaphors and analogies, embodied conceptions are adequate source domains in order to foster scientific correct conceptions (NIEBERT, MARSCH & TREAGUST 2012). According to this, theory of experientialism should play a key role for the development of teaching strategies for geoscience topics. Nevertheless there has been only little research in geoscience education to date using theory of experientialism systematically (BASTEN, CONRAD & FELZMANN 2013, p. 66).

In this dissertation the theoretical framework is based on theory of experientialism. The model of educational reconstruction (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER & KOMOREK 1997; KATTMANN 2007) was used to develop didactical guidelines for teaching plate tectonics in geography class. Students' conceptions of plate tectonics have been investigated by using qualitative interviews (WITZEL 2000). I analyzed these interviews with a combination of qualitative content analysis (GROPENGIESSER 2005; KRÜGER & RIEMEIER 2014), systematic metaphor analysis (SCHMITT 2003; NIEBERT 2010) and systematic analysis of gesture (MÜLLER 1998; HERRERA & RIGGS 2013). By this means I could identify students' central conceptions as well as the source domains used by students to construct these conceptions. In addition I examined the central term 'Platte' (engl. 'plate') using cognitive linguistic analysis in order to identify difficulties using the basis category 'plate' as a source domain for understanding tectonic plates. For scientific clarification three textbooks (GROTZINGER, JORDAN, PRESS & SIEVER 2008; TARBUCK & LUTGENS 2009; FRISCH & MESCHÉDE 2011) and one scientific paper (HÖINK, JELINEK & LENARDIC 2011) have been analyzed with a combination of qualitative content analysis and systematic metaphor analysis. The comparison of scientific and learners' perspectives lead to the development of educational guidelines for teaching plate tectonics with a focus on the activation of eligible embodied sources (NIEBERT et al. 2012).

A further goal of this dissertation has been to analyze the benefit of experientialism theory for analyzing and predicting typical learning barriers in the context of geoscience. According to CHEEK (2010) a central barrier for understanding geoscience contents is an inaccurate transfer of everyday notions to geoscience phenomena. Theory of experientialism is used to interpret

these transfers. Four hypotheses on categories of reasons for learning barriers within geoscience contents were developed by combining this theory with the 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 trade winds (BASTEN 2013), glaciers/ice ages (FELZMANN 2013) and plate tectonics, the latter being investigated in this dissertation. The results of the reanalysis show, that all developed categories of learning barriers can explain typical learning difficulties in geography class.

Zusammenfassung

Viele geowissenschaftliche Phänomene sind aufgrund ihrer zeitlichen und räumlichen Dimensionen nicht unmittelbar erfahrbar (vgl. FELZMANN 2013). Gemäß der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980; JOHNSON 1987; LAKOFF & JOHNSON 1999; GROPENGIESSER 2006; 2007) ist das Verstehen solcher nicht direkt verständlicher Bereiche nur durch metaphorische Übertragung sensomotorischer Erfahrungen aus direkt verständlichen Quellbereichen möglich. Insbesondere bei Unterrichtsthemen, die den Einsatz von Metaphern und Analogien erfordern, ist die Verwendung geeigneter verkörperter Begriffe als Quellbereich der metaphorischen Übertragung von großer Bedeutung für den Aufbau einer aus wissenschaftlicher Sicht angemessenen Vorstellung (vgl. NIEBERT, MARSCH & TREGUST 2012). Damit sollte der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bei der Konzeption von Lernangeboten zu geowissenschaftlichen Phänomenen eine zentrale Rolle zukommen.

Ein Ziel der vorliegenden Dissertation war es, auf Basis der geschilderten theoretischen Perspektive didaktische Leitlinien zur Vermittlung der dem Verständnis einer Vielzahl geowissenschaftlicher Phänomene zugrunde liegenden Theorie der Plattentektonik zu entwickeln. Als Forschungsrahmen diente das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER & KOMOREK 1997; KATTMANN 2007). Die Auswertung der 15 zur Erfassung der Lernerperspektive mit Schüler_innen der 9. Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums durchgeführten problemzentrierten Einzelinterviews (WITZEL 2000) erfolgte wie die Auswertung des bei der fachlichen Klärung herangezogenen Quellenmaterials (GROTZINGER, JORDAN, PRESS & SIEVER 2008; TARBUCK & LUTGENS 2009; FRISCH & MESCHEDÉ 2011; HÖINK, JELINEK & LENARDIC 2011) mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGIESSER 2005; KRÜGER & RIEMEIER 2014) und systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT 2003; NIEBERT 2010). Auf diese Weise wurden neben den Vorstellungen auf einer unterrichtsrelevanten Ebene auch die den Vorstellungskonstruktionen zugrunde liegenden Quellbereiche rekonstruiert. Beim Erfassen von Lernerperspektiven wurde zudem mittels einer in Anlehnung an die Vorgehensweise von MÜLLER (1998) sowie HERRERA und RIGGS (2013) durchgeführten Analyse der Gestik ein weiteres Fenster zu den verkörperten Kognitionen der Schüler_innen genutzt. Durch die kognitionslinguistische Analyse (GROPENGIESSER 1999, RIEMEIER 2005) des zentralen Wortes „Platte“ konnte zudem dessen lebensweltliches Verständnis und mögliche Schwierigkeiten bei der Nutzung der Basiskategorie Platte in Bezug auf Vorstellungskonstruktionen zu Lithosphärenplatten erfasst werden. Im Rahmen der didaktischen Strukturierung erfolgte ein systematischer Vergleich der Schülervorstellungen

mit der Perspektive der Wissenschaft, der die Grundlage der Erstellung didaktischer Leitlinien bildete. Hierbei wurde der Fokus auf die Aktivierung für das Verständnis geeigneter verkörperter Begriffe gelegt (vgl. NIEBERT et al. 2012).

Ein weiteres, übergreifendes Ziel der vorliegenden Dissertation bestand darin, den Nutzen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens hinsichtlich der Analyse und Prognose typischer Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten zu untersuchen. CHEEK (2010) sieht eine zentrale Lernschwierigkeit bei geowissenschaftlichen Inhalten in einer unangemessenen Übertragung von Alltagswissen auf geowissenschaftliche Phänomene. Im Rahmen dieser Dissertation wird diese unangemessene Übertragung von Alltagswissen mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens untersucht. Zu diesem Zweck wurden Spezifika geowissenschaftlicher Inhalte herausgearbeitet und mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Beziehung gesetzt. Hierbei wurden deduktiv vier Hypothesen zu Kategorien von Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten entwickelt. Die Ergebnisse von drei geographiedidaktischen Forschungsarbeiten wurden unter der Fragestellung reanalysiert, ob diese vier deduktiv entwickelten Kategorien geeignet sind, Lernschwierigkeiten der Schüler_innen zu erklären. Bei den reanalysierten Studien handelt es sich neben der im Rahmen dieser Dissertation angefertigten didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik um die didaktische Rekonstruktion des Passatkreislaufs (BASTEN 2013) sowie die didaktische Rekonstruktion von Gletschern und Eiszeiten (FELZMANN 2013). Die Befunde deuten darauf hin, dass alle vier aufgestellten Kategorien geeignet sind, die Ursachen möglicher im Geographieunterricht auftretender Lernschwierigkeiten zu erklären.

Einleitung

In den sechziger Jahren erschütterte ein revolutionärer Denkansatz die Welt der Geologie. Nahezu 200 Jahre lang hatten Geologen zahlreiche Theorien zur Tektonik (griech. Tektonos = die Baukunst betreffend) entwickelt, dem allgemeinen Begriff zur Beschreibung von Krustenbewegungen und all den anderen Prozessen, die an der Erdoberfläche geologische Strukturen entstehen lassen. Jedoch erst mit der Plattentektonik ließ sich die gesamte Bandbreite der geologischen Prozesse mit einer einzigen Theorie erklären. In der Physik gab es zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine vergleichbare Revolution, als die Relativitätstheorie die universellen Gesetze der Physik für Masse und Bewegung auf eine völlig neue Grundlage stellte. Eine ähnliche Umwälzung erlebte auch die Biologie, als mit der Entdeckung des genetischen Codes der Erbsubstanz DNA in den fünfziger Jahren erklärt werden konnte, wie bei den Organismen die Informationen über Wachstum, Entwicklung und Funktion von Generation zu Generation weitergegeben werden. (GROTZINGER, JORDAN, PRESS & SIEVER 2008, S. 24)

Das vorangestellte Zitat illustriert die herausragende Bedeutung, die der Theorie der Plattentektonik für die Geowissenschaften zukommt. Diese ergibt sich aus ihrem Potenzial, zahlreiche geowissenschaftliche Phänomene zu erklären. Davon bleibt die Lebenswelt der Schüler_innen nicht unberührt. So werden sie regelmäßig durch die Medien mit Berichterstattungen über katastrophale Ereignisse wie Erdbeben oder Tsunamis konfrontiert. Aber auch die Entstehung des unmittelbar die Schüler_innen umgebenden Naturraums ist zu Teilen auf plattentektonische Prozesse zurückzuführen. Im Geographieunterricht sollen Schüler_innen die Kompetenz erwerben, „Mensch-Umwelt-Beziehungen in Räumen unterschiedlicher Art und Größe zu analysieren“ (DGfG 2012, S. 15). Voraussetzung hierfür ist unter anderem die „Fähigkeit, Räume unterschiedlicher Art und Größe als naturgeographische Systeme zu erfassen“ (DGfG 2012, S.14). Hierbei sollen Schüler_innen in der Lage sein, „gegenwärtige naturgeographische Phänomene und Strukturen in Räumen (z. B. Vulkane, Erdbeben, Gewässernetz, Karstformen) [zu] beschreiben“ (DGfG 2012, S. 14) sowie „vergangene und zu erwartende naturgeographische Strukturen in Räumen (z. B. Lageveränderungen der geotektonischen Platten, Gletscherveränderungen) [zu] erläutern“ (DGfG 2012, S. 14). Das Verständnis der Theorie der Plattentektonik bildet somit einen zentralen Bestandteil geographischer Schulbildung.

Allerdings handelt es sich bei der Theorie der Plattentektonik keineswegs um einen trivialen Lerngegenstand. Bei einer von MARQUES und THOMPSON (1997) in Portugal durchgeführten Studie verfügt ein beachtlicher Teil der 270 befragten Schüler_innen im Alter von 15 - 16 Jahren auch nach dem Unterricht über von der Fachwissenschaft abweichende Vorstellungen zu Plattentektonik und der Kontinentaldrift. Die Autoren bilanzieren, dass die übliche Praxis der Vermittlung der Theorie der Plattentektonik in portugiesischen Schulen kaum dazu bei-

trage, die Verständnisschwierigkeiten von Schüler_innen zu überwinden, und Fehlvorstellungen in einigen Fällen sogar verstärken. Damit stellt sich zum einen die Frage, worin exakt die Verständnisschwierigkeiten der Schüler_innen liegen, und zum anderen, wie Lernangebote konzipiert werden sollten, um Schüler_innen den Aufbau einer wissenschaftsnahen Vorstellung zu ermöglichen.

Gemäß einer konstruktivistischen Sichtweise ist Lernen ein aktiver Prozess, bei dem Lerner_innen auf Basis ihrer Vorerfahrungen individuelle Vorstellungen zu einem Lerngegenstand konstruieren (GERSTENMAIER & MANDL 1995; REINFRIED 2007; RIEMEIER 2007). Häufig weichen die Vorstellungen der Schüler_innen von denen der Wissenschaft ab (vgl. HÄUSSLER, BÜNDER, DUIT, GRÄBER & MAYER 1998; OTTO & SCHULER 2012; SCHULER & FELZMANN 2013). Unterricht, der Vorstellungen von Schüler_innen explizit aufgreift und eine gründliche Auseinandersetzung mit den eigenen Vorstellungen ermöglicht, verspricht erfolgreicher zu sein (vgl. REINFRIED 2013a). Von diesem Standpunkt aus betrachtet hat die Vermittlung der Plattentektonik durch den Einbezug der Schülervorstellungen zum System Plattentektonik eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit als Unterricht, der die Vorstellungen der Schüler_innen nicht berücksichtigt. Bislang ist allerdings noch wenig über Schülervorstellungen zur Plattentektonik bekannt (vgl. Kapitel 2).

Eine Schwierigkeit bei der Konstruktion von Vorstellungen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik besteht darin, dass es sich um einen Bereich handelt, der sich aufgrund seiner ungeheuren räumlichen und zeitlichen Dimensionen unserer direkten Wahrnehmung entzieht. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980; JOHNSON 1987; LAKOFF & JOHNSON 1999; GROENING 2006; 2007) sind nicht direkt erfahrbare Bereiche nur durch metaphorische Übertragung verkörperter Begriffe zu verstehen. Bei ihren Vorstellungskonstruktionen nutzen sowohl Wissenschaftler_innen als auch Schüler_innen direkt erfahrbare Bereiche als Quellbereiche, um ein Verständnis von Strukturen und Prozessen der Plattentektonik zu erlangen. Ein prominentes Beispiel eines solchen metaphorischen Verständnisses zeigt sich schon in dem Terminus Lithosphärenplatten. Lernschwierigkeiten können dadurch entstehen, dass es zu einer aus fachlicher Sicht unangemessenen metaphorischen Übertragung kommt (vgl. Teilarbeit C).

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, didaktische Leitlinien zur Vermittlung der Theorie der Plattentektonik zu erstellen. Als Forschungsrahmen hierzu bot sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROENING & KOMOREK 1997; KATTMANN 2007) an. Dieses besteht aus den drei aufeinander bezogenen Bereichen Erfassen von Lernerperspektiven, fachliche Klärung und didaktische Strukturierung. **Teilarbeit A** stellt zentrale Ergebnisse

des Erfassens von Lernerperspektiven dar. In **Teilarbeit B** werden die Ergebnisse der fachlichen Klärung mit den Lernerperspektiven in Beziehung gesetzt und auf Basis dieses Vergleichs evidenzbasierte didaktische Leitlinien zur Vermittlung der Theorie der Plattentektonik erstellt. Da viele Prozesse und Strukturen des Systems Plattentektonik nur imaginativ verständlich sind, sollte der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bei der Analyse der wissenschaftlichen Vorstellungen und der Schülervorstellungen sowie bei der Erstellung der Leitlinien eine zentrale Stellung zukommen. Studien aus dem Bereich der Naturwissenschaftsdidaktik konnten zeigen, dass der Einbezug dieser theoretischen Perspektive einen entscheidenden Beitrag zu einem erfolgreichen Conceptual Change leisten kann (RIEMEIER 2005; NIEBERT 2010; NIEBERT, MARSCH & TREAGUST 2012; NIEBERT, RIEMEIER & GROPENGIESSER 2013).

Über diese auf den spezifischen Unterrichtsgegenstand Plattentektonik ausgerichtete Aufgabe hinaus gilt ein weiteres, themenübergreifendes Interesse dieser Arbeit der Fragestellung, welchen Nutzen die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens für die geographiedidaktische Vorstellungsforschung insbesondere bei der Erstellung domänenspezifischer Kategorien von Lernschwierigkeiten haben könnte (**Teilarbeit C**). Denn während die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Forschungsarbeiten im Bereich der Biologiedidaktik (z. B. RIEMEIER 2005; GROPENGIESSER 2006; NIEBERT 2010; NIEBERT et al. 2013), der Physikdidaktik (AMIN 2009; JEPSSON, HAGLUND, AMIN, & STRÖMDAHL 2013) und der Mathematikdidaktik (NÚÑEZ EDWARDS & MATOS 1999) schon seit längerer Zeit genutzt wird, erfuhr sie in der geographiedidaktischen Forschung erst in jüngster Zeit eine systematische Beachtung (vgl. BASTEN, CONRAD & FELZMANN 2013). Mit den Forschungsprojekten zur didaktischen Rekonstruktion von Gletschern und Eiszeiten (FELZMANN 2013), zur didaktischen Rekonstruktion des Passatkreislaufts (BASTEN 2013) und mit der vorliegenden Arbeit zur didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik liegen nun drei im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion angelegte Forschungsprojekte zu geowissenschaftlichen Themen vor, die systematisch diese theoretische Perspektive einbeziehen. Die aus einer Gegenüberstellung der Spezifika der Geowissenschaften mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens deduktiv abgeleiteten Hypothesen zu Verständnisschwierigkeiten von Schüler_innen in geowissenschaftlichen Kontexten bilden die Grundlage einer Reanalyse der empirischen Daten dieser drei Forschungsprojekte zu unterschiedlichen geowissenschaftlichen Themen.

Die Arbeit ist so aufgebaut, dass in **Kapitel 1** zunächst der theoretische Rahmen vorgestellt wird. Hierbei wird der Begriff Schülervorstellungen erläutert, bevor ein Überblick über unterschiedliche Ansätze der Conceptual-Change-Forschung gegeben wird. Die in der vorliegen-

den Arbeit als theoretischer Rahmen genutzte Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wird daraufhin ausführlich beschrieben. Hierbei wird neben der Verbindung von Sprache und Denken im Besonderen auf die Verbindung von Gestik und verkörperten Kognitionen eingegangen. Im Anschluss werden für diese Arbeit bedeutsame kinästhetische Schemata mitsamt möglichen ihnen zugrunde liegenden körperlichen Erfahrungen dargestellt. In **Kapitel 2** werden die bereits durchgeführten Studien über Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik ausführlich beschrieben und darauf aufbauend bereits gut sowie weniger gut erforschte Teilbereiche herauspräpariert. Zudem werden zentrale Ergebnisse der Vorstellungsforschung zum Bereich Aufbau des Erdinneren dargelegt, bevor die bislang durchgeführten Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung sowie zu Vulkanismus und Erdbeben im Hinblick auf mögliche in diesen Untersuchungen identifizierte Vorstellungen zu Vorgängen an Plattengrenzen analysiert werden. In **Kapitel 3** werden die Zielsetzungen dieser Arbeit, das Untersuchungsdesign sowie die Fragestellungen der vorliegenden Studie erläutert. Ausführliche Erklärungen zum Aufbau und der Erstellung des Interviewleitfadens, zur Durchführung der Interviews, zur kommunikativen Validierung, zur Aufbereitung und der Auswertung der Interviews sowie zum methodischen Vorgehen bei der fachlichen Klärung erfolgen in **Kapitel 4**. Im Anschluss werden in **Kapitel 5** sowohl zentrale Ergebnisse der Teilarbeiten als auch das methodische Vorgehen mit einem Schwerpunkt auf den Einbezug der Gestik ebenso diskutiert wie die Verwendung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens als theoretischer Rahmen innerhalb dieses Forschungsprojektes. Daraufhin erfolgt eine Übersicht über die in dieser Zusammenfassung verwendete Literatur (**Kapitel 6**). In **Kapitel 7** finden sich die Teilarbeiten dieser Dissertation sowie eine Darstellung des Eigenanteils an selbigen. In **Kapitel 8** erfolgt eine Übersicht über weitere im Zeitrahmen der Erstellung dieser Arbeit getätigte Publikationen. Im Anhang schließlich befinden sich neben dem Interviewleitfaden weitere im Rahmen der Interviews eingesetzte Materialien sowie tabellarische Übersichten zu den in den bisherigen Forschungsarbeiten zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik und zum Aufbau der Erde erfassten Alltagsvorstellungen.

1 Theoretischer Rahmen

1.1 Schülervorstellungen – eine Begriffsklärung

Als Schülervorstellungen werden nach REINFRIED (2013a, S. 250) „individuelle Denkmuster von Schülerinnen und Schülern bezeichnet.“ Eine ähnliche Definition findet sich bei GRO-PENGIESSER (1997, S. 27), der unter Vorstellungen „subjektive gedankliche Konstrukte“ versteht. Beide Definitionen betrachten Vorstellungen als individuelle Kognitionen und verweisen auf eine konstruktivistische Perspektive auf das Lernen. In der Literatur finden sich außer dem Terminus Schülervorstellungen eine ganze Reihe alternative Bezeichnungen. Neben der inzwischen nicht mehr gebräuchlichen, da als abwertend betrachteten Titulierung als Fehlvorstellung (vgl. KRÜGER 2007, S. 82) ist beispielsweise von Alltagsvorstellungen, vorunterrichtlichen Vorstellungen, Präkonzepten, lebensweltlichen Vorstellungen oder Postkonzepten die Rede. Die Begriffe sind schwer voneinander abzugrenzen und werden teilweise synonym verwendet (vgl. SCHUBERT 2012, S. 4; REINFRIED 2013a, S. 250), allerdings lassen sich im Detail feine Unterschiede zwischen den einzelnen Bezeichnungen erkennen. So geben die Begriffe Schülervorstellungen, Alltagsvorstellungen, lebensweltliche Vorstellungen oder alternative Vorstellungen keine Auskunft darüber, ob Vorstellungen vor, während oder nach dem Unterricht konstruiert werden. Die Bezeichnungen als Präkonzepte oder als vorunterrichtliche Vorstellungen implizieren, dass die Schüler_innen diese schon im Vorfeld des Unterrichts konstruiert haben, wohingegen der Begriff Postkonzept nachunterrichtliche Vorstellungen bezeichnet (vgl. SCHUBERT 2012, S. 4).

Obwohl Schüler_innen mit einigen Bereichen des Systems Plattentektonik bereits mediale Erfahrungen vor der Behandlung des Systems Plattentektonik im Schulunterricht sammeln können, handelt es sich dennoch um einen Gegenstand, der von Schüler_innen wahrscheinlich nicht als Bestandteil ihrer alltäglichen Lebenswelt wahrgenommen wird. Es ist daher zu erwarten, dass Schüler_innen zu einigen Teilbereichen erst in der Interviewsituation auf der Grundlage verkörperter Begriffe Vorstellungen konstruieren. Aus diesem Grund werden die Bezeichnungen vorunterrichtliche Vorstellungen oder Präkonzepte in dieser Arbeit nicht verwendet. Vielmehr ist in der Regel von Schülervorstellungen oder Alltagsvorstellungen die Rede.

GROPENGIESSER (1997, S. 26 f.) unterteilt Schülervorstellungen hinsichtlich des Grades ihrer Komplexität in Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien. Begriffe beziehen sich auf Dinge, Objekte oder Ereignisse, Konzepte auf Sachverhalte, Denkfiguren auf Wirklichkeits-

aspekte und Theorien auf Wirklichkeitsbereiche. Theorien bezeichnen damit die komplexeste Ebene der Schülervorstellungen und sind in einem weit gefassten Verständnis als subjektive Theorien zu verstehen (vgl. SCHULER 2011, S. 102 ff.). Subjektive Theorien sind „Kognitionen der Selbst- und Weltsicht als komplexes Aggregat mit (zumindest impliziter) Argumentationsstruktur, das die zu objektiven (wissenschaftlichen) Theorien parallelen Funktionen der Erklärung, Prognose und Technologie erfüllt“ (SCHEELE & GROEBEN 1988, S. 3). Zwar werden im Forschungsprogramm subjektive Theorien insbesondere Alltagstheorien zu psychologischen Thematiken der Alltagswelt erfasst, dennoch „[können] sich subjektive Theorien natürlich im Prinzip auf alle Gegenstände erstrecken [...] von der Mineralogie über Astronomie bis zur Soziologie etc.“ (GROEBEN, WAHL, SCHLEE & SCHEELE 1988, S. 21).

1.2 Conceptual-Change-Forschung

Mit der Frage, „wie ein [naives] Alltagsverständnis Lernender von einem bestimmten Sachverhalt oder einer bestimmten Methode der Erkenntnisgewinnung durch wissenschaftlich angemessenere Begriffe, Erklärungen und Methoden verändert werden kann“ (REINFRIED 2010, S.2), befasst sich die Conceptual-Change-Forschung (vgl. SCHNOTZ 2006; KRÜGER 2007; REINFRIED 2013b). Hierbei lassen sich unterschiedliche Ansätze unterscheiden. Der traditionelle Conceptual-Change-Ansatz (POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG 1982) betrachtet einen Konzeptwechsel als Akkommodation und nennt vier Bedingungen, die bei der unterrichtlichen Vermittlung berücksichtigt werden müssen.

1. Unzufriedenheit mit der eigenen Vorstellung
2. Verständlichkeit der neuen Vorstellung
3. Plausibilität der neuen Vorstellung
4. Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung

Der Ansatz wurde dahingehend kritisiert, dass er alleine auf kognitive Faktoren ausgerichtet sei, der Lernerfolg allerdings nicht alleine von diesen abhängt (vgl. KRÜGER 2007). PINTRICH, MARX und BOYLE (1993) betonen, dass zusätzlich motivationale und kontextbedingte Faktoren einen entscheidenden Einfluss haben. Sie führen unter anderem die Rolle von Schülerinteressen, Selbstwirksamkeitsüberzeugungen sowie die Art der Aufgabenstellungen oder die Autoritätsstrukturen im Klassenzimmer als zusätzliche emotionale Faktoren an.

Zudem berücksichtige der klassische Conceptual-Change-Ansatz zu wenig, dass eine Vorstellungsänderung von weiteren kognitiven Filtern beeinflusst wird (vgl. KRÜGER 2007). Dem Rahmentheorieansatz (VOSNIADOU & BREWER 1992; VOSNIADOU & IOANNIDES 1998; VOSNIADOU, VAMVAKOUSSI & SKOPELITI 2008) zufolge verläuft die Vorstellungsentwicklung

inhaltsspezifischer Vorstellungen vor dem Hintergrund domänenspezifischer Rahmentheorien, die auf ontologischen und epistemologischen Überzeugungen basieren, die von klein auf durch alltägliche Erfahrungen herausgebildet werden. Vor dem Hintergrund ihrer Rahmentheorien werden neue Beobachtungen und kulturell vermittelte Informationen aufgenommen und Annahmen (beliefs) über einen bestimmten Wirklichkeitsausschnitt gebildet, die die Grundlage mentaler Modelle bilden. Bei einem mentalen Modell handelt es sich um „ein internes (hypothetisches) Quasi-Objekt, das in einer Struktur- oder Funktionsanalogie zum jeweiligen Gegenstand steht und den Gegenstand aufgrund dieser Analogie repräsentiert“ (SCHNOTZ 2006, S. 78). Schüler_innen in den ersten Grundschuljahren konstruieren beispielsweise auf Basis ihrer alltäglichen Erfahrungen mit der Erdoberfläche ein initiales mentales Modell von der Erde als Scheibe (vgl. VOSNIADOU et al. 2008). Kinder machen täglich die Beobachtung, dass die Erde flach ist. Haben sie gleichzeitig die epistemologische Überzeugung, dass Dinge so sind, wie wir sie sehen, so fällt es schwer, ein Modell der Erde als Kugel zu konstruieren. Haben sie zudem die ontologische Überzeugung, dass physikalische Objekte herunterfallen, wenn sie nicht gestützt werden – eine Beobachtung, die man fast täglich machen kann – dann ist es schwer vorstellbar, dass die Erde nicht gestützt werden muss und dass Menschen, die sich auf der „Unterseite“ der Erde befinden, nicht von dieser herunterstürzen. Werden Kinder nun mit der wissenschaftlichen Sicht durch Erwachsene konfrontiert, so konstruieren sie häufig Synthesemodelle, bei denen sie die wissenschaftliche Information vor dem Hintergrund ihrer ontologischen und epistemologischen Überzeugungen in ihr initiales mentales Modell integrieren. Sie konstruieren beispielsweise ein Modell einer Hohlkugel, in deren Innerem die Menschen auf einer flachen Ebene leben können, ohne dabei herunterzufallen. Eine Übernahme des wissenschaftlichen Modells ist erst möglich, wenn Schüler_innen die Vorannahmen ihrer Rahmentheorien ändern (vgl. VOSNIADOU & BREWER 1992; VOSNIADOU et al. 2008).

Einen Konzeptwechsel von einer flachen Erde bis hin zu einer sphärischen Erde könnte man auch als eine Änderung der ontologischen Kategorisierung der Erde betrachten. Aus diesem Blickwinkel steht die Kategorisierung der Erde als physikalisches und nicht als astronomisches Objekt dem Aufbau einer wissenschaftlichen Vorstellung entgegen (vgl. STARK 2002; VOSNIADOU et al. 2008). Solch fehlerhafte ontologische Kategorisierungen bilden die Grundlage des Conceptual-Change-Ansatzes von CHI (2008). Sie sieht in der fehlerhaften ontologischen Kategorisierung die zentrale Schwierigkeit beim Verständnis insbesondere naturwissenschaftlicher Phänomene. So kategorisieren Schüler_innen beispielsweise Wärme als einen Stoff, der weitergegeben werden kann, statt als Prozess. Eine Vorstellungsänderung erfordert

eine Revision der ontologischen Kategorisierung (vgl. CHI 2008). STRIKE und POSNER (1992) wiederum betonen die Rolle der konzeptuellen Ökologie, in die Vorstellungen eingebettet sind, und fordern, diese und nicht nur die Vorstellungen der Lerner zu einem bestimmten Gegenstand stärker in den Blick der Forschung zu rücken. Unter konzeptueller Ökologie verstehen sie den Lernenden zur Verfügung stehende Metaphern, Analogien, epistemologische Überzeugungen, metaphysische Überzeugungen, Wissen zu anderen Themenbereichen und das Wissen über konkurrierende Konzepte, vor deren Hintergrund Schüler_innen Vorstellungen konstruieren.

DISSA (2008) schließlich ist der Meinung, dass das Wissen fragmentiert in kleinen, wenig miteinander verbundenen Stücken vorliegt und diese von den Schüler_innen erst zu kohärenten Vorstellungen zusammengesetzt werden müssen. Dies geschehe in Abhängigkeit zum jeweiligen Kontext. NIEBERT et al. (2012) sehen Parallelen zwischen den von DISSA postulierten Wissensfragmenten und den Basiskategorien und kinästhetischen Schemata, die in der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens die Quellbereiche der Vorstellungen bilden. In der Frage nach der Kohärenz der Vorstellungen der Schüler_innen unterscheidet sich der Ansatz DISSAS maßgeblich von den anderen hier vorgestellten Ansätzen, gehen diese doch davon aus, dass die Vorstellungen der Lernenden eine kohärente Struktur aufweisen (vgl. VOSNIADOU 2008). SHERIN, KRAKOWSKI und LEE (2012) sind der Auffassung, dass die Frage nach der Kohärenz der Vorstellung nicht allgemeingültig mit Ja oder Nein beantwortet werden kann.

Die unterschiedlichen Conceptual-Change-Ansätze werden im Rahmen dieser Arbeit weniger unter einer konkurrierenden Perspektive betrachtet, sondern vielmehr als sich ergänzend, da sie jeweils unterschiedliche Aspekte des Lernens fokussieren (vgl. NIEBERT 2010).

1.3 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

1.3.1 Grundsätzliche Annahmen zum menschlichen Denken

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980; LAKOFF 1987; JOHNSON 1987; LAKOFF & JOHNSON 1999; 2011) beleuchtet das Verhältnis von Sprache, Denken und Handeln. LAKOFF und JOHNSON gehen davon aus, dass neben wenigen der direkten Erfahrung zugänglichen Bereichen viele Bereiche existieren, die nur durch metaphorische Übertragung erschlossen werden können. Der Begriff der Metapher wird hierbei von LAKOFF und JOHNSON aber keinesfalls im Sinne eines rhetorischen Mittels verstanden. Sie gehen vielmehr davon aus, „daß [sic] die menschlichen *Denkprozesse* weitgehend metaphorisch ablau-

fen“ (LAKOFF & JOHNSON 2011, S. 14). Für sie „[besteht] das Wesen der Metapher [...] darin, daß [sic] wir durch sie eine Sache oder einen Vorgang in Begriffen einer anderen Sache bzw. eines anderen Vorgangs verstehen und erfahren können“ (LAKOFF & JOHNSON 2011, S. 13). Kognition geht über das Gesagte hinaus und kann somit als schöpferisch begriffen werden. GROPENGIESSER (2006, S. 36; 2007, S. 106) bezeichnet den auf diese Weise ablaufenden Prozess des Verstehens als imaginativ. Sprachliche Ausdrücke ermöglichen es uns, einen Blick auf unsere Kognitionen zu werfen.

Quellbereiche des imaginativen Verstehens stellen Bereiche dar, die direkt erfahrbar und damit direkt verständlich sind. Unter Erfahrungen werden Interaktionen unseres Körpers mit der physischen und sozialen Umwelt verstanden. Die aus der Art und Weise dieser Erfahrungen erwachsenen Kognitionen werden als verkörpert (engl. *embodied*) bezeichnet (vgl. GROPENGIESSER 2007, S. 107). Unter verkörperte Begriffe fallen zum einen Basiskategorien, zum anderen kinästhetische Schemata. Bei Basiskategorien handelt es sich um Begriffe auf einem mittleren Abstraktionsniveau wie beispielsweise den Begriff Staubsauger, der eine Unterkategorie der abstrakteren Kategorie Reinigungsgeräte bildet. Eine Basiskategorie liegt dann vor, wenn folgende vier Bedingungen erfüllt sind (vgl. LAKOFF & JOHNSON 1999, S. 27 f.):

1. Der Begriff stellt die höchste Ebene dar, auf der wir ein mentales Bild erzeugen können, das alle Mitglieder der Kategorie einschließt. Wir können uns ein Bild von einem Staubsauger machen. Es ist aber nicht mehr möglich, ein mentales Bild eines Reinigungsgerätes zu erzeugen, das eine Repräsentation aller Reinigungsgeräte darstellt.
2. Der Begriff ist auf der höchsten Ebene angesiedelt, auf der Mitglieder einer Kategorie eine ähnlich wahrgenommene Gestalt besitzen. So ist es möglich, unterschiedliche Staubsauger über eine ähnlich wahrnehmbare Form der Kategorie Staubsauger zuzuordnen. Betrachten wir wiederum die abstraktere Kategorie Reinigungsgeräte, so ist dies nicht mehr möglich.
3. Der Begriff stellt die höchste Stufe dar, auf der Personen in der Interaktion mit dem Objekt ähnliche Handlungsabläufe durchführen. So ist der Handlungsablauf bei der Nutzung eines Staubsaugers nicht auf alle Reinigungsgeräte, etwa auf einen Besen, übertragbar.
4. Auf dem Niveau der Basisbegriffe verfügen wir über das meiste Wissen, da wir unser Wissen auf diesem Abstraktionsniveau organisieren. Wir wissen mehr über Staubsauger als über Reinigungsgeräte im Allgemeinen. Betrachtet man nun spezielle Subkategorien von Staubsaugern, zum Beispiel Multizyklonstaubsauger oder Einfachzyklonstaubsauger, so haben wir über diese in der Regel auch weniger Wissen.

An den aufgezeigten Bedingungen wird der starke Zusammenhang zwischen unserer körperlichen Erfahrung und der Bildung unseres Kategoriensystems deutlich. Auf dem Abstraktionsniveau der Basiskategorien erfolgt die Begriffsbildung im Kindesalter und unsere tagtägliche Kommunikation vollzieht sich auf der gleichen Ebene. Neben physischen Objekten können auch soziale Objekte (z. B. Familien, Vereine) oder Verben, die Aktionen beschreiben (laufen, schwimmen, greifen), Basiskategorien darstellen (vgl. LAKOFF & JOHNSON 1999, S. 28). Neben den Basiskategorien bilden kinästhetische Schemata einen Teil unserer verkörperten Kognitionen. Es handelt sich um gedankliche Strukturierungen, die sich aus unmittelbaren körperlichen Erfahrungen entwickeln. Beispielsweise erleben wir unseren Körper als Behälter, der die Elemente Inneres, Begrenzung, Äußeres aufweist. Wir können „in den Behälter“ Dinge, beispielsweise Nahrung, aufnehmen und wieder ausscheiden. Aus dieser Erfahrung mit unserem eigenen Körper bildet sich ein Behälter-Schema (LAKOFF 1987, S. 272; LAKOFF & JOHNSON 1999, S.31 f.; LAKOFF & JOHNSON 2011, S. 39) heraus, mit dessen Hilfe wir in der Lage sind, weniger klar strukturierte Bereiche zu erfassen. Wenn wir beispielsweise davon sprechen, dass jemand aus einem Verein ausgetreten ist, so erreichen wir unser Verständnis dieser Aussage über das Behälter-Schema. Ein anderes Beispiel für ein kinästhetisches Schema ist das Start-Weg-Ziel-Schema (LAKOFF 1987, S. 275; LAKOFF & JOHNSON 1999, S.32 f.). Es beinhaltet einen Startpunkt, einen Weg und einen Zielpunkt. Auch dieses bilden wir frühkindlich aus, beispielsweise wenn wir etwas greifen oder wenn wir krabbelnd von einem bestimmten Punkt aus einen Weg zu einem Ziel zurücklegen. Auch mithilfe des Start-Weg-Ziel-Schemas strukturieren wir unser Verständnis von abstrakten Bereichen, wie beispielsweise den Ablauf des Lösen einer mathematischen Gleichung.

Durch metaphorische Übertragung ist nur ein partielles Verständnis vom Zielbereich erreichbar, das heißt, ein Teil des Zielbereiches wird beleuchtet, ein anderer Aspekt bleibt im Dunkeln und damit verborgen (vgl. LAKOFF & JOHNSON 1999, S. 71; 2011, S. 18 f.). Wenn wir von eintauchenden Lithosphärenplatten in Subduktionszonen sprechen, so beleuchtet die Metapher eine abwärtsgerichtete Bewegung ozeanischer Lithosphäre, aber sie verdunkelt, dass es sich bei der Asthenosphäre um festes Gestein handelt. Nicht der gesamte Quellbereich wird auf einen Zielbereich übertragen. Zudem benötigen wir für unterschiedliche Aspekte eines Zielbereichs unterschiedliche metaphorische Konzepte, um diese zu erfassen. Für das Lernen kann dies beispielsweise bedeuten, dass Schüler_innen gegebenenfalls Aspekte des Quellbereichs in den Zielbereich hineininterpretieren, die nicht dem wissenschaftlichen Verständnis entsprechen.

1.3.2 Metaphern und Gestik

Neben der Sprache stellt auch die Gestik ein Fenster zu den verkörperten Kognitionen dar (vgl. MCNEILL 1992; MÜLLER 1998; CIENKI 2008; LAKOFF 2008; LANGACKER 2008; NÚÑEZ 2008; HERRERA & RIGGS 2013). In der vorliegenden Arbeit werden Gesten in Anlehnung an MCNEILL (1992) als Bewegung von Händen und Armen betrachtet. MCNEILL unterteilt Gesten in referentielle und diskursive Gesten. Zu den referentiellen Gesten zählt MCNEIL ikonische und metaphorische Gesten. Eine ikonische Geste stellt ein konkretes Objekt oder ein Ereignis dar, eine metaphorische Geste hingegen eine abstrakte Idee. Bei diskursiven Gesten unterscheidet er zwischen Taktstockgesten und verbindenden Gesten. Im Unterschied zu referentiellen Gesten verweisen diskursive Gesten auf die Struktur des Gesagten und unterstreichen diese. MCNEIL führt zudem noch Zeigegesten (deiktische Gesten) auf. Diese können sowohl auf konkrete Gegenstände als auch abstrakte Ideen bezogen sein. In diesem Fall sind sie den referentiellen Gesten zuzuordnen. Allerdings lassen sie sich, wenn sie auf ein Element der narrativen Struktur bezogen sind, auch als diskursive Gesten begreifen. MÜLLER (1998) unterteilt Gesten ebenfalls in referentielle und diskursive Gesten. Referentielle Gesten können sich auf abstrakte; aber auch konkrete Objekte, Ideen, Ereignisse u.a. beziehen. In Anlehnung an die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980) verweist MÜLLER darauf, dass auch eine Geste, die sich auf einen abstrakten Referenten bezieht, ein konkretes Objekt oder Ereignis darstellt, welches auf den Quellbereich des metaphorischen Verstehens verweist. So gesehen wird erst durch den Kontext ersichtlich, ob eine Geste als metaphorisch zu verstehen ist.

Betrachtet man die Strukturierung des metaphorischen Verstehens der Plattentektonik, so erscheinen weniger diskursive, sondern vielmehr jene referentiellen Gesten von Interesse, die sich auf einen abstrakten Referenten beziehen. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit als metaphorische Gesten bezeichnet. Der Einbezug der Gestik in die Auswertung der Schülervorstellungen zur Plattentektonik ergibt sich aus dem Untersuchungsgegenstand. Nach KASTENS, AGRAWAL und LIBBEN (2008) wird insbesondere das Sprechen über Sachverhalte, die eine räumliche Dimension beinhalten, von Gesten begleitet. SIBLEY (2005) berichtet darüber, dass Studierende, wenn sie Vorgänge an konvergenten Plattengrenzen beschreiben, häufig auch Gesten bei der Erklärung einsetzen und in den Pretests der vorliegenden Interviewstudie zeigte sich, dass alle Schüler_innen unaufgefordert redebegleitende Gesten verwendeten, wenn sie über Vorgänge an Plattengrenzen sprachen. CIENKI (2008, S. 16) verweist darauf, dass sich in der Gestik insbesondere die räumlichen Elemente des Quellbereichs einer Metapher zeigen: „*Gestures can depict in space elements from a source domain of a metaphor,*

something which is not possible for metaphoric expressions in spoken language.“ Ein weiteres Argument für den Einbezug der Gestik in die Auswertung der Schülerinterviews ergibt sich andererseits daraus, dass in der Gestik bisweilen eine Metaphorik ersichtlich werden kann, die sprachlich überhaupt nicht zum Ausdruck kommt (LAKOFF 2008).

1.3.3 Zeichnungen und metaphorisches Verstehen

Auch der Einbezug einer Analyse von Schülerzeichnungen kann unterstützend zur Rekonstruktion möglicher Quellbereiche der Vorstellungen der Lernenden herangezogen werden. MARSCH, ELSTER und KRÜGER (2007) binden im Rahmen der Explikation von Schülervorstellungen zum Lernen auch Schülerzeichnungen in die Analyse der metaphorischen Strukturierung mit ein. MARSCH (2012) zeigt auf, dass in Schülerzeichnungen zu ihren Vorstellungen zum Immunsystem deutlich die Kampfmetapher (LAKOFF & WEHLING 2009, S. 19 ff.) zu erkennen ist.

1.3.4 Nutzen der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens für die fachdidaktische Forschung

Viele Elemente wissenschaftlicher Sachverhalte sind nicht direkt erfahrbar und somit nur imaginativ verständlich (vgl. GROPENGIESSER 2007). Damit bietet die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens einen plausiblen Erklärungsrahmen für die Genese der Vorstellungen von Wissenschaftler_innen und Schüler_innen. GROPENGIESSER (2006; 2007) zeigt Möglichkeiten des Einbezugs der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens innerhalb aller drei Module des Modells der didaktischen Rekonstruktion auf.

So verhilft die Analyse der metaphorischen Strukturierung der wissenschaftlichen Vorstellungen im Rahmen der fachlichen Klärung, die Grenzen der verwendeten Metaphern zu erkennen. Zudem können für den Lernprozess gewinnbringende Metaphern identifiziert werden (vgl. BASTEN 2013; FELZMANN 2013).

Im Bereich des Erfassens von Lernerperspektiven zeigt GROPENGIESSER (1999) am Beispiel des Wortes *sehen* auf, dass durch eine kognitionslinguistische Analyse nahezu die gleichen Vorstellungen zutage treten können wie bei der in der fachdidaktischen Forschung üblichen Erfassung von Lernerperspektiven durch qualitative Interviews. Die Ergebnisse einer solchen kognitionslinguistischen Analyse können im Sinne einer Methodentriangulation verwendet werden (vgl. GROPENGIESSER 2007, S. 114) sowie die Interpretation der metaphorischen Strukturierung der Schüleraussagen und Wissenschaftleraussagen und die damit verbundene

Identifikation von Lernschwierigkeiten unterstützen (vgl. RIEMEIER 2005; WEITZEL 2006). Außerdem zeigen bereits einige Studien auf, wie die Konstruktionen von Schülervorstellungen in ihrer Genese auf der Basis verkörperter Erfahrungen plausibel nachvollzogen und mögliche Lernschwierigkeiten erkannt werden können (z. B. RIEMEIER 2005; HÖRSCH 2007; MARSCH et al. 2007; NIEBERT 2010; BASTEN 2013; FELZMANN 2013). Durch die Rekonstruktion möglicher der Vorstellungsrekonstruktion zugrunde liegender verkörperter Erfahrungen erübrigt sich zudem die spekulative Suche nach möglichen medialen Quellen der Vorstellungskonstruktionen (vgl. FELZMANN 2013, S. 264). Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann außerdem auch als theoretischer Rahmen einer Reanalyse bereits vorhandener Forschungsergebnisse verwendet werden (z. B. RIEMEIER 2005; GROENGIESSER 2006).

Bei der didaktischen Strukturierung können vor dem Hintergrund der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens Lernangebote geschaffen werden, die Schüler_innen den Aufbau eines wissenschaftsnäheren Verständnisses eines Phänomens erleichtern (vgl. RIEMEIER 2005; NIEBERT 2010; NIEBERT et al. 2013). NIEBERT et al. (2012) zeigen im Rahmen einer Reanalyse von 199 im Lernprozess eingesetzten Metaphern auf, dass diese insbesondere dann einen Beitrag zu einem erfolgreichen Conceptual Change leisten, wenn den Quellbereichen der metaphorischen Übertragung verkörperte Erfahrungen zugrunde liegen.

Innerhalb der Geographiedidaktik gehört die vorliegende Dissertation zusammen mit den Arbeiten von BASTEN (2013) und FELZMANN (2013) zu den ersten Studien, in denen die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens systematisch zur Analyse und Interpretation von Schülervorstellungen und fachlichen Vorstellungen und zur darauf aufbauenden didaktischen Strukturierung herangezogen wird.

1.3.5 Bedeutsame kinästhetische Schemata zum Themenbereich Plattentektonik

Im Folgenden sollen kinästhetische Schemata beschrieben werden, die im Zusammenhang mit Vorstellungskonstruktionen der Wissenschaftler oder der Schüler_innen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik genutzt werden. Die Strukturelemente der Schemata werden zunächst beschrieben und die dem Schema zugrunde liegende Logik zeichnerisch dargestellt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung möglicher der Ausbildung eines Schemas zugrunde liegender sensomotorischer Erfahrungen. In der Regel konnte auf in der Literatur beschriebene Schemata zurückgegriffen werden. In einigen wenigen Fällen erfolgte zudem die Rekonstruktion eines Schemas auf Basis der sprachlichen Äußerungen der Schüler_innen und Wissenschaftler (vgl. FELZMANN 2013, S. 21). Zudem wurden bei der Rekonstruktion des Körper-Schemas Zeichnungen der Schüler_innen mit einbezogen.

Strukturen erfassende Schemata

Das „Behälter-Schema“

Das Behälter-Schema (LAKOFF 1987, S. 272; LAKOFF & JOHNSON 1999, S. 31 f.; LAKOFF & JOHNSON 2011, S. 39) wird durch die Elemente Inneres, Begrenzung und Äußeres strukturiert. Ein Behälter kann eine Substanz oder einen Körper aufnehmen. Aus einem Behälter kann eine Substanz oder ein Körper auch wieder ausgegeben werden.

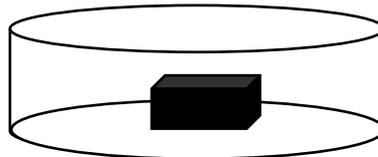


Abb. 1: Das Behälter-Schema

Dem Behälter-Schema liegen Erfahrungen mit dem eigenen Körper zugrunde. Das Innere des eigenen Körpers ist durch die Begrenzung Haut von außen abgetrennt. Wir nehmen Nahrung in den „Behälter“ Körper auf und scheiden sie in veränderter Form wieder aus. Schon als kleine Kinder machen wir noch viele andere direkte Erfahrungen mit unterschiedlichen Behältern: Trinken aus der Flasche, Spielen mit Holzklötzen, die wir passgenau in einen Behälter stecken, wir erleben uns selbst in einem Raum, der als Behälter aufgefasst werden kann ...

Das „Körper-Schema“

Das Körper-Schema ist wie das Behälter-Schema durch die Elemente Inneres, Begrenzung, Äußeres strukturiert. Allerdings unterscheidet es sich dadurch vom Behälter-Schema, dass nichts in das Innere hineingelangen kann und nichts aus dem Körper wieder abgegeben wird. Jeder Behälter ist ein Körper, aber nicht jeder Körper ist ein Behälter. Eine Strukturierung als Körper oder Behälter kann auch kontextbedingt erfolgen.



Abb. 2: Das Körper-Schema

Viele Alltagsgegenstände wie beispielsweise Platten oder Bauklötze nehmen wir als Körper wahr, in deren Inneres wir nichts hineingeben können.

Das „Teil-Ganzes-Schema“

Das Teil-Ganzes-Schema (LAKOFF 1987, S. 273) enthält als Strukturelemente ein Ganzes, Teile sowie eine bestimmte Anordnung der Teile (vgl. Abb. 3). LAKOFF charakterisiert das Schema als asymmetrisch. Ist A Teil von B, dann ist B nicht Teil von A.

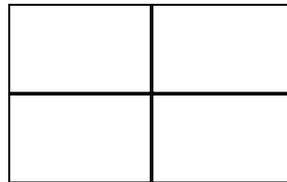


Abb. 3: Das Teil-Ganzes-Schema

Dem Teil-Ganzes-Schema liegen Erfahrungen mit dem eigenen Körper zugrunde, der aus verschiedenen Teilen (Arme, Füße, Hände, Hals ...) besteht, die ein Ganzes bilden. Zudem machen wir Erfahrungen mit unterschiedlichsten Objekten, die eine Teil-Ganzes-Strukturierung aufweisen (z. B. mit Stühlen, Tischen ...). Als Kind sammeln wir schon früh Erfahrungen mit dem Zusammenstecken von Puzzleteilen oder beim Spielen mit Legosteinen (vgl. RIEMEIER 2005, S. 27).

Das „Personen-Schema“

Das Personen-Schema (RIEMEIER 2005, S.30 f.; NIEBERT 2010, S. 22) wird genutzt, wenn bestimmte Aspekte eines Zielbereichs durch den Quellbereich Person verstanden werden. Es wird an dieser Stelle unter dem Gliederungspunkt Strukturen erfassende Schemata aufgeführt, da unter das Personen-Schema in dieser Arbeit anthropomorphe Vorstellungen fallen. Allerdings ist diese Zuordnung nicht immer zutreffend, da über ein Personen-Schema auch finalistische, intentionalistische und animistische Vorstellungen strukturiert werden.

Bewegung erfassende Schemata

Das „Start-Weg-Ziel-Schema“

Das Start-Weg-Ziel-Schema (LAKOFF 1987, S. 275) beinhaltet als strukturierende Elemente einen Ausgangspunkt (= Start), einen Weg, eine Richtung sowie einen Endpunkt (= Ziel) (vgl. Abb. 4).

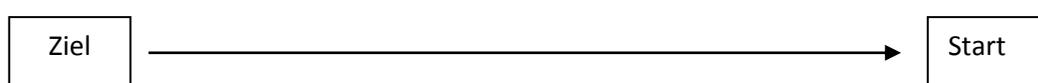


Abb. 4: Das Start-Weg-Ziel-Schema

Dem Start-Weg-Ziel-Schema zugrunde liegende körperliche Erfahrungen machen wir von Kindesbeinen an, wenn wir uns von einem Startpunkt aus in eine bestimmte Richtung zu einem Zielpunkt hin bewegen oder nach einem Gegenstand greifen.

Das „Kreislauf-Schema“

NIEBERT (2010, S. 19) beschreibt mit dem Kreislauf-Schema eine Sonderform des Start-Weg-Ziel-Schemas. Auch dieses weist als Elemente einen Startpunkt, einen Zielpunkt, eine Richtung und einen Weg auf. Allerdings ist das Besondere am Kreislauf-Schema, dass der Startpunkt gleichzeitig der Zielpunkt ist und mehrmals durchlaufen wird.

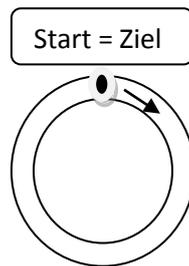


Abb. 5: Das Kreislauf-Schema (in Anlehnung an NIEBERT 2010, S. 19)

Dem Kreislauf-Schema zugrunde liegende Erfahrungen sind beispielsweise das Im-Kreis-Herumrennen oder das Fahren mit einem Karussell.

Das „Fließ-Schema“

Das Fließ-Schema (FELZMANN 2013, S. 25) beschreibt die Bewegung von Flüssigkeiten, die nicht über ein Start-Weg-Ziel-Schema beschrieben werden kann, handelt es sich doch bei Flüssigkeiten um „Körper ohne klare Form“ (FELZMANN 2013, S. 25). Die Bewegung einer Flüssigkeit erfolgt zumeist innerhalb eines Behälters, die Flüssigkeit selbst passt sich in diesem Fall der Form des Behälters an und weist eine Fließrichtung auf (vgl. Abb. 6).

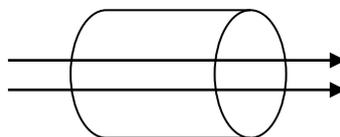


Abb. 6: Fließ-Schema (in Anlehnung an FELZMANN 2013, S. 25)

Das „Transport-Schema“

FELZMANN (2013, S. 29) beschreibt ein Transport-Schema als eine Kombination aus einem Behälter-Schema mit einem Start-Weg-Ziel-Schema und sieht dieses in Erfahrungen begründet, die wir beispielsweise bei der Fortbewegung in einem Fahrzeug machen. Das Transport-Schema wird in dieser Arbeit weiter gefasst, beim Transporteur muss es sich nicht um einen

Behälter handeln, sondern ganz allgemein um einen sich bewegenden Körper. Das transportierte Objekt kann sich in selbigem befinden, der Transport kann aber auch beispielsweise vonstatten gehen, wenn das transportierte Objekt sich auf dem sich bewegenden Körper befindet (Abb. 7). Zudem kann das Körper-Schema auch mit einem Kreislauf-Schema verbunden werden. Als Transporteur kann auch eine Flüssigkeit dienen. In diesem Fall wird die Bewegung der Flüssigkeit über ein Fließ-Schema strukturiert, der Körper befindet sich auf oder innerhalb der Flüssigkeit und bewegt sich mit der Flüssigkeit mit (Abb. 8). Der Weg des Körpers selbst wird in diesem Fall über ein Start-Weg-Ziel-Schema oder ein Kreislauf-Schema beschrieben.

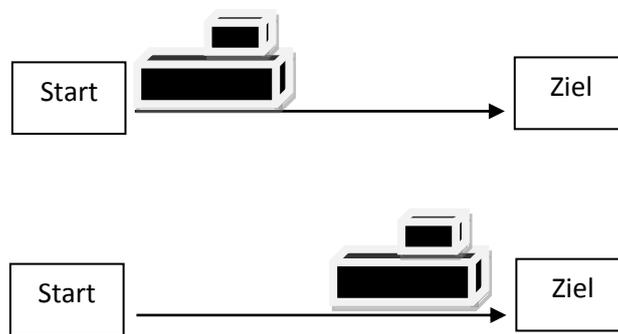


Abb. 7: Das Transport-Schema, Variante „Körper transportiert Körper“ (in Anlehnung an FELZMANN 2013, S. 29)

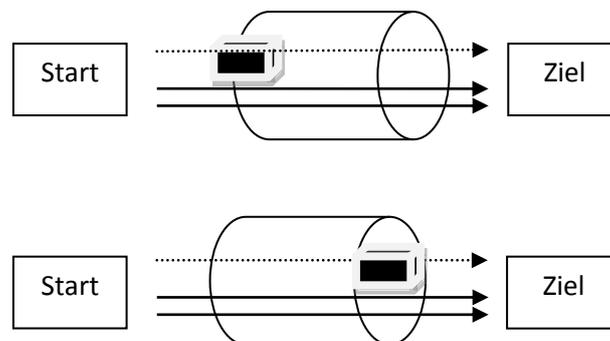


Abb. 8: Das Transport-Schema, Variante „Flüssigkeit transportiert Körper“

Erfahrungen mit dem Transport-Schema können wir machen, wenn wir von jemandem getragen werden. Wenn wir in einem Boot sitzen, so werden wir von einem Boot und das Boot von einem strömenden Gewässer transportiert.

Das „Geber-Gabe-Nehmer-Schema“

GROPENGIESSER (2007, S. 108) beschreibt ein Geber-Gabe-Nehmer-Schema. Dieses setzt sich aus den Strukturelementen Geber, Gabe und Nehmer zusammen. Die Gabe wird vom Geber zum Nehmer weitergegeben.



Abb. 9: Das Geber-Gabe-Nehmer-Schema

Erfahrungen, die dem Geber-Gabe-Nehmer-Schema zugrunde liegen, können wir zum Beispiel als Geber machen, wenn wir jemandem etwas schenken, aber auch, wenn wir von jemandem etwas geschenkt bekommen.

Das „Reflexiv-Schema“

Das Reflexiv-Schema (LAKOFF 1987, S. 430 f.) beschreibt eine Bewegung, bei der eine Entität, beispielsweise Sirup auf einem Tisch, zunächst über eine feste Grenze verfügt, die sich aber dann verschiebt, im Falle des Sirups nach außen (vgl. Abb. 10). Eine Verschiebung der Grenze kann aber auch nach innen erfolgen.

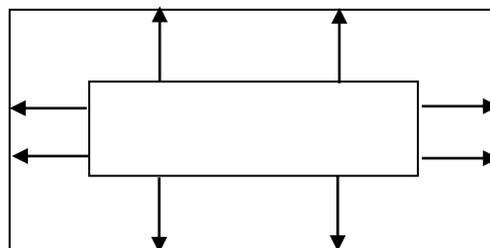


Abb. 10: Das Reflexiv-Schema

Erfahrungen, die dem Reflexiv-Schema zugrunde liegen, machen wir beispielsweise beim Aufblasen der Backen oder wenn wir den Bauch vor- und zurückschieben (vgl. FELZMANN 2013, S. 26).

Zustand erfassende Schemata

Das „Gleichgewichts-Schema“

JOHNSON (1987, S. 85 ff.) beschreibt unterschiedliche Varianten eines Gleichgewichtsschemas. Diese beinhalten als Strukturelemente Kraftvektoren, die symmetrisch zu Linien, Punk-

ten oder Flächen verteilt sind. Zum Beispiel können hierbei gleich große Kräfte ähnlich dem Prinzip einer Balkenwaage symmetrisch zu einem Hebelpunkt auf eine Achse wirken. Die Kräfte können aber auch unterschiedliche Stärken haben, sich aber in unterschiedlicher Entfernung zu dem Hebelpunkt befinden und sich daher ausgleichen.

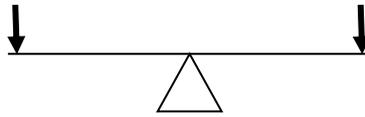


Abb. 11: Das Gleichgewichts-Schema (in Anlehnung an JOHNSON 1987, S. 86)

Dem Gleichgewichts-Schema zugrunde liegende Erfahrungen sammeln wir beispielsweise bei unseren ersten Gehversuchen oder wenn wir versuchen, auf einem Holzbalken die Balance zu halten.

Das „Fließgleichgewichts-Schema“

Das Fließgleichgewichts-Schema (FELZMANN 2013, S. 28) beschreibt ein Gleichgewicht eines Mehrwerdens auf der einen Seite und eines Wenigerwerdens auf der anderen Seite. Befinden sich Mehrwerden und Wenigerwerden im Gleichgewicht, so bleibt die Größe eines Objekts unverändert. Überwiegt das Mehrwerden, so setzt ein Größerwerden ein und umgekehrt.

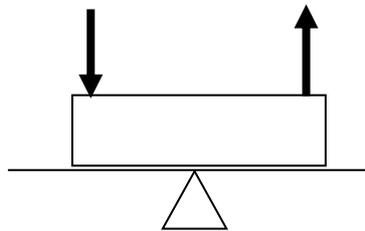


Abb. 12: Das Fließgleichgewichts-Schema (in Anlehnung an FELZMANN 2013, S. 28)

Erfahrungen mit dem Fließgleichgewichtsschema kann man bei der Nahrungsaufnahme und Nahrungsabgabe machen. Dabei behalten wir über Wochen in etwa das gleiche Körpergewicht (vgl. FELZMANN 2013, S. 28).

Veränderung erfassende Schemata

Das „Transformations-Schema“

FELZMANN (2013, S. 24) beschreibt in Bezugnahme auf LAKOFF und JOHNSON (1999, S. 183 f.) sowie JOHNSON (1987, S. 28) ein durch ein Start-Weg-Ziel-Schema strukturiertes Transformations-Schema. Zum Zeitpunkt t_1 liegt eine Entität A vor. Diese erfährt einen Umwandlungsprozess und liegt zum Zeitpunkt t_2 als Entität B vor (vgl. Abb. 13).

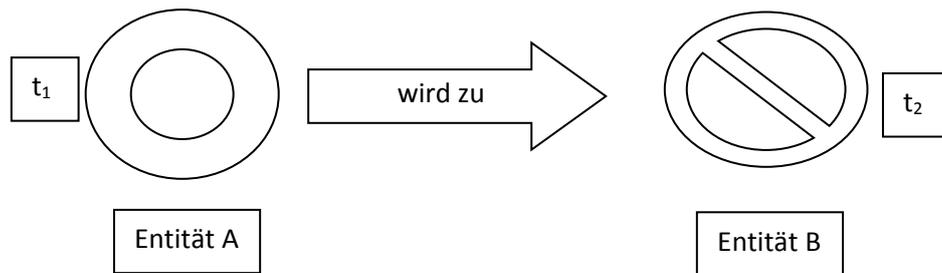


Abb. 13: Das Transformations-Schema

Erfahrungen mit dem Transformations-Schema kann man beispielsweise beim Beobachten des Gefrierens von Wasser zu Eis sammeln (vgl. JOHNSON 1987, S. 28).

Das „Größerwerden-Schema“

Beim Größerwerden-Schema (RIEMEIER 2005, S. 44 f.) wird ein Objekt zu verschiedenen Zeitpunkten betrachtet. Das Objekt erfährt aber keine Transformation, sondern ein Wachstum und liegt zu einem späteren Zeitpunkt vergrößert vor (vgl. Abb. 14). Das Größerwerden-Schema beschreibt nicht die Ursache dieses Wachstums, sondern lediglich das Resultat.



Abb. 14: Das Größerwerden-Schema

Erfahrungen, die dem Größerwerden-Schema zugrunde liegen, machen wir beispielsweise, wenn wir selbst im Wachstum sind (RIEMEIER 2005, S. 45) oder wenn wir beobachten, dass unser Haustier wächst, aber auch, wenn ein Turm aus Legosteinen oder ein Stapel von Unterlagen auf einem Schreibtisch anwächst. Bei den letzten beiden Beispielen ist auch die Ursache des Wachstums beobachtbar und kann über ein Mehrwerden-Schema (RIEMEIER 2005, S. 46) beschrieben werden.

Das „Mehrwerden-Schema“

Das Mehrwerden-Schema (RIEMEIER 2005, S.46) beschreibt ein Mehrwerden auf der Ebene der Teile eines Objekts. Es kann, wie bereits beschrieben, mit einem Größerwerden-Schema verknüpft werden und die Ursache eines Größerwerdens erklären (vgl. Abb. 15). Das Mehrwerden-Schema ist häufig mit einem Geber-Gabe-Nehmer-Schema verknüpft, kann aber auch mit einem Transformations-Schema in Verbindung stehen. Transformation führt dann zu einem Mehrwerden der Teile eines Objekts und damit zu einem Größerwerden des gesamten Objektes.



Abb. 15: Das Mehrwerden-Schema

Erfahrungen, die dem Mehrwerden-Schema zugrunde liegen, können wir beispielsweise wie beschrieben sammeln, wenn ein Stapel an Unterlagen auf unserem Schreibtisch anwächst oder wenn wir als Kind einen Turm aus Legosteinen bauen oder noch mehr Suppe auf unseren Teller geben. In den Beispielen ist die Folge immer ein Größerwerden des gesamten Objekts.

Das „Kleinerwerden-Schema“ und das „Wenigerwerden-Schema“

Analog, aber mit umgekehrt ablaufenden Prozessen kann ein Kleinerwerden-Schema und ein Wenigerwerden-Schema beschrieben werden.

Kräfte erfassende Schemata

JOHNSON (1987) beschreibt eine Vielzahl unterschiedlicher Kraft-Schemata, die alle eine ihnen gemeinsame zugrunde liegende Gestalt aufweisen:

- Kräfte werden in der Regel erst durch Interaktion mit ihnen wahrnehmbar. Interaktion und/oder potenzielle Interaktion sind Elemente aller Kraftschemata.
- Kräfte haben eine Richtwirkung.
- Kräfte lösen eine potenzielle Bewegung im Raum entlang eines Pfades in Wirkrichtung aus.
- Kräfte werden verursacht, sie haben eine Quelle.
- Kräfte können hinsichtlich des Grades ihrer Stärke differenziert werden.
- Es gibt immer eine bestimmte Abfolge der Kausalitäten (vgl. JOHNSON 1987, S. 42 ff.).

Diese Gestalt findet sich in einer Reihe von Kraft-Schemata wieder, ist aber selbst zu abstrakt, um als Quellbereich für das Verständnis eines Zielbereiches zu dienen. JOHNSON (1987, S. 44 ff.) beschreibt sieben Kraft-Schemata und merkt an, dass dies nur eine Auswahl darstelle und die Liste möglicher Kraft-Schemata keineswegs vollständig sei (JOHNSON 1987, S. 48). Bei den Kraft-Schemata selbst kann zudem unterschieden werden zwischen kontinuierlichen sowie periodisch und einmalig wirkenden Kräften (JOHNSON 1987, S. 48). Die in dieser Arbeit vorkommenden Kraft-Schemata werden im Folgenden beschrieben.

Das „Drücken-Schema“

Dem Drücken-Schema (JOHNSON 1987, S. 45) liegen die oben beschriebenen Strukturelemente zugrunde. Bei der Interaktion handelt es sich um eine drückende Kraft, die auf einen Körper wirkt und eine Bewegung des Körpers in Druckrichtung auslöst (vgl. Abb. 15).

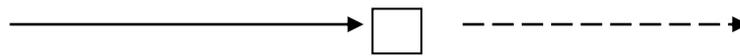


Abb. 16: Das Drücken-Schema (in Anlehnung an JOHNSON 1987, S. 45)

Der schwarze Pfeil steht für eine aktuelle Kraft, die auf den hier mit einem Rechteck gekennzeichneten Körper wirkt, und die gestrichelte Linie für die Bewegungsbahn des Körpers. Erfahrungen mit drückenden Kräften machen wir, wenn wir von anderen Personen in eine Richtung geschoben werden. Wir selbst können aber auch diejenigen sein, die eine Kraft auf einen Gegenstand ausüben und diesen dadurch in eine Richtung bewegen.

Das „Ziehen-Schema“

Beim Ziehen-Schema wirkt auf einen Körper eine ziehende Kraft in eine Richtung. In der Folge kann es zu einer Bewegung des Körpers in Zugrichtung kommen (vgl. Abb. 16).

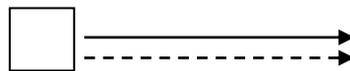


Abb. 16: Das Ziehen-Schema

Dem Ziehen-Schema zugrunde liegende Erfahrungen machen wir beispielsweise, wenn wir von jemanden in eine Richtung gezerrt werden oder uns unsere Eltern als Kind auf einem Schlitten hinter sich herziehen.

Das „Blockierungs-Schema“

Beim Blockierungs-Schema (JOHNSON 1987, S. 45 f.) stößt eine Kraft auf ein Hindernis. Dadurch wird ein Objekt gezwungen, seine Bewegungsrichtung zu ändern (vgl. Abb. 17).

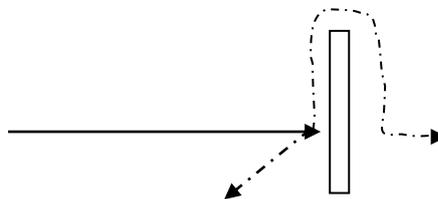


Abb. 17: Blockierungs-Schema (nach JOHNSON 1987, S. 46)

Dem Blockierungs-Schema zugrunde liegende Erfahrungen machen wir, wenn sich Objekte in unserem Weg befinden und wir daher unsere Bewegungsrichtung ändern müssen.

Das „Gegenkraft-Schema“

Beim Gegenkraft-Schema (JOHNSON 1987, S. 46) sind zwei gleich große Kräfte gegeneinandergerichtet. Das Resultat ist, dass eine weitere Bewegung unterbunden wird. Abb. 18 zeigt gegeneinandergerichtete drückende Kräfte. Eine andere Variante des Gegenkraft-Schemas stellt die Situation dar, dass auf einen Körper zwei Kräfte (eine drückend, die andere ziehend) in unterschiedliche Richtungen wirken und daher keine weitere Bewegung erfolgt.



Abb. 18: Das Gegenkraft-Schema (in Anlehnung an JOHNSON 1987, S. 46)

Wir erleben als Kinder, wenn wir gegeneinander kämpfen, eine Gegenkraft. Beim Armdrücken können gegeneinandergerichtete Kräfte gleich groß sein, sodass keine weitere Bewegung erfolgt. Man kann gleichzeitig in Richtung gedrückt und in die entgegengesetzte gezogen werden.

Das „Ablenkungs-Schema“

Beim Ablenkungs-Schema (JOHNSON 1987, S. 46) handelt es sich um eine Variation des Gegenkraft-Schemas. Wieder sind zwei Kräfte gegeneinandergerichtet, nur dass es diesmal zu einer Richtungsänderung der Kräfte kommt, in Abbildung 19 als gestrichelte Pfeile dargestellt.

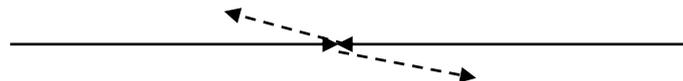


Abb. 19: Das Ablenkungs-Schema (in Anlehnung an JOHNSON 1987, S. 46)

Erfahrungen mit dem Ablenkungs-Schema machen wir beispielsweise, wenn unsere Schwimmrichtung durch eine Wasserströmung oder eine Welle abgelenkt wird.

2 Forschungsstand

In diesem Kapitel werden zunächst die bereits zum Themenkomplex Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik durchgeführten Untersuchungen und deren zentrale Ergebnisse präsentiert (Kapitel 2.1). Im Anschluss werden Forschungsergebnisse zu Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Erdinneren in einer kurzen Übersicht zusammengefasst (Kapitel 2.2), da eine aus wissenschaftlicher Sicht korrekte Vorstellung des Erdinneren eine wichtige Voraussetzung zum Verständnis des Systems Plattentektonik bildet (vgl. GOBERT 2000). Daraufhin werden Ergebnisse zu Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung, zu Vulkanismus und zu Erdbeben präsentiert (Kapitel 2.3). Dies erfolgt unter der besonderen Berücksichtigung der Fragestellung, welche Vorstellungen in diesen Kontexten zu tektonischen Platten geäußert werden. Die aufgeführten Untersuchungen wurden mithilfe der Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie (REINFRIED & SCHULER 2011) zusammengestellt. Ergänzend wurden auf Basis weiterer Recherche des Autors dieser Arbeit in der Bibliographie noch nicht erfasste Untersuchungen herangezogen.

2.1 Studien zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik

Einen Überblick über die bislang durchgeführten Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik bietet Tabelle 1. Die Reihenfolge der Untersuchungen richtet sich wie in den Tabellen 2, 3, 6 und 8 nach dem Alter der jüngsten der in einer Studie befragten Personengruppen und bei gleichem Alter nach dem Zeitpunkt der Untersuchung. Im Anschluss an die tabellarische Auflistung werden die Studien zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik im Detail beschrieben. Es folgt eine abschließende Beurteilung des Forschungsstandes. Eine Übersicht zu allen in den vorgestellten Forschungsarbeiten identifizierten Alltagsvorstellungen findet sich im Anhang (Tab.12).

Tab. 1: Überblick über Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik

Autoren	Fragestellungen	Methode	Probanden
GOBERT & CLEMENT (1999)	Inwieweit trägt das Anfertigen eigener Abbildungen zur Plattentektonik nach der Lektüre eines Textes im Vergleich zum Zusammenfassen eines Textes nach dessen Lektüre zu einem tieferen Verständnis der Thematik bei?	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung der Texte und Zeichnungen der Schüler_innen • Posttest zum Schülerverständnis mittels Fragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 58)
GOBERT (2000)	1. Welche Vorstellungen haben Schüler_innen vom Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptuntersuchung: Lektüre des gleichen Textes wie bei GOBERT & CLEMENT 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptuntersuchung: Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n =

	<p>2. Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von dynamischen Vorgängen im Erdinneren und ihren Ursachen?</p> <p>3. Inwieweit helfen oder behindern modellhafte Schülerzeichnungen bei der Weiterentwicklung von Schülervorstellungen?</p>	<p>(1999), Aufgabe für alle Probanden: Anfertigung einer Zeichnung nach Lektüre</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Auswertung der Zeichnungen 2. Auswertung eines Posttests zum Schülerverständnis mittels Fragebogen <ul style="list-style-type: none"> • Vertiefende Untersuchung: qualitative Interviews 	<p>47)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiefende Untersuchung: Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 7)
GOBERT (2005)	<p>Inwieweit unterscheidet sich die Lernleistung von Schüler_innen, die nach der Lektüre eines Textes Abbildungen zeichnen, von der Lernleistung von Schüler_innen, die eine Erklärung des Textes anfertigen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau der Untersuchung analog zu GOBERT & CLEMENT (1999) 	<ul style="list-style-type: none"> • Jahrgangsstufe 5 (2 Schulklassen)
MARQUES & THOMPSON (1997)	<p>Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von der Plattentektonik, von der Kontinentaldrift sowie vom Magnetfeld der Erde?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotstudie: Interviews zur Erfassung der Präkonzepte der Schüler_innen • Hauptstudie: Fragebogen auf Basis der Ergebnisse der Pilotstudie zur Erfassung von nachunterrichtlichen Vorstellungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotstudie: Schüler_innen (16-17 Jahre) (n = 10) • Hauptstudie: Schüler_innen (16 -17 Jahre) (n = 270)
BARROW & HASKINS (1993)	<p>Welches Verständnis von geowissenschaftlichen Themengebieten haben Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 186)
DELAUGHTER, STEIN, STEIN & BAIN (1998)	<p>Mit welchen Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Themen kommen Studierende an die Universität?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 149)
SIBLEY (2005)	<p>Welche Möglichkeiten bietet die Erhebung von Fehlvorstellungen zur Plattentektonik mittels Zeichnungen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogenuntersuchung: Zeichnung eines Querschnitts einer konvergierenden Plattengrenze unter Beteiligung kontinentaler Lithosphäre nach vorhergehender Lektüre eines Textes inkl. Aufgaben über Plattentektonik, Isostasie und Orogenese • Untersuchung 2: Fragebogenuntersuchung: Beurteilung eines fehlerhaf- 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Bachelorstudierende (n = 602) • Untersuchung 2: Bachelorstudierende (n = 232)

		<p>ten Querschnitts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertiefende Untersuchung 1: Interviewstudie: Besprechung der eigenen Zeichnung • Vertiefende Untersuchung 2: Interviewstudie: Zeichnung eines Querschnitts und Beurteilung eines fehlerhaften Querschnitts 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertiefende Untersuchung 1: Bachelorstudierende (n = 12) • Vertiefende Untersuchung 2: Masterstudierende (n = 21)
LIBARKIN, ANDERSON, DAHL, BEILFUSS & BOONE (2005)	Welche Vorstellungen haben Studierende am Anfang ihres Studiums zu geowissenschaftlichen Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen (offene Fragen) vor dem Einführungskurs in die Geologie • Untersuchung 2: Interviews (von der Mitte bis zum Ende des Semesters durchgeführt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 265) • Untersuchung 2: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 105)
CLARK, LIBARKIN, KORTZ & JORDAN (2011)	Über welche Vorstellungen zur Plattentektonik verfügen Bachelorstudierende nach Besuch eines Einführungskurses in die Geowissenschaften, der explizit die Theorie der Plattentektonik behandelt hat?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bachelorstudierende zweier US-amerikanischer Universitäten (n = 60)
DAHL, ANDERSON & LIBARKIN (2005)	Über welches Interesse und welche Kompetenzen verfügen Lehrer_innen hinsichtlich geowissenschaftlicher Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen zu Interesse und Häufigkeit der Behandlung von geowissenschaftlichen Themen im Unterricht • Untersuchung 2: Fragebogen zum Verständnis geowissenschaftlicher Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Lehrer_innen (n = 38) • Untersuchung 2: Lehrer_innen (n = 48)
KING (2000)	Welche Vorstellungen haben Lehrer_innen vom Erdinneren und der Plattentektonik?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lehrer_innen, die an einer Fortbildung teilnehmen (n = 61)

In den Untersuchungen von GOBERT und CLEMENT (1999) sowie GOBERT (2005) werden keine Vorstellungen der Schüler_innen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik dargestellt. Vielmehr konzentrieren sich diese Studien allein auf die Effektivität unterschiedlicher Formen der Verarbeitung von Texten. Bei GOBERT (2000) werden Vorstellungen von Schüler_innen der 5. Jahrgangsstufe zum System Plattentektonik ausführlich beschrieben. Die Schüler_innen (n = 47) dieser Untersuchung hatten die Aufgabe, auf Basis der Lektüre eines kurzen Sachtextes jeweils eine Zeichnung aus dem Gedächtnis anzufertigen.

Zeichnung 1: Zeichnung des Schalenbaus der Erde

Zeichnung 2: Zeichnung zum Plattenantrieb durch Konvektionsströme

Zeichnung 3: Zeichnung zur Gebirgsbildung

Zeichnung 4: Zeichnung zu Vulkanismus an einer divergenten Plattengrenze

Zusätzlich werden mit sieben Schüler_innen qualitative Interviews geführt. Den interviewten Schüler_innen werden Lernangebote zur Vorstellungsänderung unterbreitet. Zwei Fallanalysen werden vorgestellt.

Bei der Untersuchung handelt es sich nicht um eine Erhebung von Präkonzepten, sondern vielmehr um die Untersuchung des Verständnisses der Schüler_innen nach einer Instruktion. Auch dies sollte wichtige Hinweise zu möglichen Schwierigkeiten der Lernenden geben. Allerdings erscheint die Verwertbarkeit vieler Ergebnisse dieser Untersuchung problematisch, da die Texte, welche die Lernenden erhalten, fehlerhaft sind (vgl. SIBLEY 2005). Zudem stellt GOBERT nur Vorstellungen der Schüler_innen zum Erdinneren und zum Vulkanismus an divergenten Plattengrenzen dar, über Vorstellungen zur Gebirgsbildung und zu Konvektionsströmen erfährt man nur im Rahmen der beiden Einzelfallanalysen Näheres. Die Zeichnungen zu Vulkanismus an divergierenden Plattengrenzen werden vier verschiedenen Typen zugeordnet. Die Typisierung erfolgt nach dem Erklärungsmuster für die Ursachen des Vulkanismus. Typ 1a und 1b werden als lokale Modelle bezeichnet, weil bei ihnen Vulkane als isolierte Erscheinungen betrachtet werden. Bei Typ 1a wird allein Hitze aus dem Erdinneren als Ursache für einen Vulkanausbruch angesehen (Anteil an Schülerzeichnungen: 4,25 %). Allerdings wissen die Schüler_innen nicht, welche Rolle die Hitze spielt. Bei Typ 1b (61,7 %) werden nur Bewegungen (Bewegungen im Mantel, Magmabewegungen, Plattenbewegungen, Krustenbewegungen) als Ursache für einen Vulkanausbruch herangezogen. Die meisten Zuordnungen von Schülerzeichnungen zu Typ 1b erfolgen, da eine Bewegung von Magma deutlich wird. Bei Zeichnungen vom Typ 2 (29,8 %), von GOBERT (2000, S. 10) als „*Mixed Models*“ bezeichnet, werden sowohl hitze- als auch bewegungsbezogene Mechanismen zugrunde gelegt, allerdings sind die Ausführungen und Erklärungen der Schüler_innen stark vereinfacht und es zeigt sich kein Verständnis dafür, wie Konvektionsströme und Plattenbewegungen zusammenhängen. Komplexer eingestufte Zeichnungen des Typs 3, die dadurch charakterisiert sind, dass die Hitze im Erdinneren Konvektionsströme verursacht, werden von zwei Schüler_innen (4,25 Prozent) angefertigt. Beide Schüler_innen bauen diese Vorstellung allerdings nur durch die in den Interviews erfolgenden Lernangebote auf.

Konvektionsströme im Erdinneren werden von einem der Schüler in einer der Fallanalysen durch Druck des Erdkerns erklärt: „*I think it`s when the core gets too much pressure and if it*

didn't have earthquakes and volcanoes, it might explode“ (zitiert nach GOBERT 2000, S. 954). Durch die folgende Intervention (Hinweise auf Temperatur des Erdkerns) erkennt der Schüler, dass es die Hitze des Erdkerns ist, welche die Konvektionsströme im Mantel verursacht. Als erfolgreich für den Aufbau einer wissenschaftsnahen Vorstellung erweist sich die Analogie zu einer Herdplatte (= Erdkern), auf der ein Topf mit kochendem Wasser (= Mantel) steht. Diese verhilft zum einen dabei, zu erkennen, dass ein Antriebsmechanismus der Konvektionsströme Hitze ist, zum anderen wird deutlich, dass das Magma nicht aus dem Erdkern stammt. Schwierig bleibt es für den Schüler, sich vorzustellen, wie die Konvektionsströme so viel Kraft auf die Platten „übertragen“ können, dass Gebirge entstehen.

GOBERT und CLEMENT (1999) untersuchen bei Schüler_innen der 5. Jahrgangsstufe (n = 58), inwiefern das Zeichnen von eigenen Abbildungen nach dem Lesen von Texten zu einem tieferen Verständnis der Plattentektonik beiträgt. Hierzu werden drei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe zeichnet nach Lesen von Textabschnitten zum Aufbau der Erde, zu Konvektionsströmen, zur Gebirgsbildung sowie zu Vulkanismus an divergierenden Plattengrenzen jeweils eigene modellhafte Abbildungen aus dem Gedächtnis. Es handelt sich um die gleichen Texte und die gleiche Aufgabenstellung wie bei GOBERT (2000). Die zweite Gruppe liest die identischen Texte und hat die Aufgabe, diese zusammenzufassen. Die dritte Gruppe liest lediglich die Texte (= Kontrollgruppe). Anschließend erfolgt eine Untersuchung des Schülerverständnisses mittels Fragebogen. Die Auswertung erfolgt in zwei Schritten:

1. Auswertung der von den Schüler_innen angefertigten Texte und Abbildungen
2. Auswertung des Posttests

Der Aufbau der Untersuchung von GOBERT (2005) erfolgt analog der Untersuchung von GOBERT und CLEMENT (1999). Der einzige Unterschied besteht darin, dass die zweite Gruppe keine Zusammenfassung der Texte schreibt, sondern die Aufgabe erhält, nach Lesen des Textes eine Erklärung des beschriebenen Phänomens anzufertigen. An der Untersuchung nehmen Schüler_innen aus zwei unterschiedlichen Klassen der 5. Jahrgangsstufe teil.

Obwohl man in den Studien von GOBERT und CLEMENT (1999) sowie GOBERT (2000; 2005) wenig über konkrete Vorstellungen von Schüler_innen zur Plattentektonik erfährt, ergeben sich dennoch wichtige Hinweise zur unterrichtlichen Vermittlung. So schneiden die Schüler_innen, die bei GOBERT und CLEMENT (1999) Zeichnungen zu den Texten angefertigt haben, im Posttest, bei dem das konzeptuelle Verständnis der Schüler_innen mittels eines Fragebogens abgefragt wird, deutlich besser ab als Schüler_innen, die lediglich eine Zusammenfassung nach Lesen der Texte erstellt haben. GOBERT und CLEMENT begründen dies damit, dass Schüler_innen in der „Zeichengruppe“ im Gegensatz zu Schüler_innen, die eine Zusammenfassung

menfassung der Texte geschrieben haben, gefordert waren, ein eigenes mentales Modell der Plattentektonik zu bilden. Sie folgern, dass gerade in Bereichen, die wie das Erdinnere nicht unmittelbar erfahrbar sind, das eigenständige Erstellen von Abbildungen den Aufbau mentaler Modelle unterstütze. Die Fallanalysen bei GOBERT (2000) verdeutlichen die Bedeutung eines wissenschaftlich akzeptablen mentalen Modells der chemischen Zonierung der Erde für ein tieferes Verständnis plattentektonischer Vorgänge. GOBERT (2000) vertritt daher die Auffassung, dass es im Unterricht sinnvoll sein kann, Schüler_innen eigene Modelle zu Lehrbuchtexten selbst zeichnen zu lassen, da das Verständnis der Materie erst durch die komplexe Aufgabe des Zeichnens wirklich gefordert wird und in Bewegung gerät. Hierbei empfiehlt sie, zunächst statische und darauf aufbauend dynamische Modelle zeichnen zu lassen. Die Schülerzeichnungen seien zudem ein nützliches Diagnoseinstrument bei der Identifikation von Lernschwierigkeiten. Die Studie von GOBERT (2005) weist in den Posttests keine signifikanten Unterschiede auf zwischen der Gruppe, deren Mitglieder Abbildungen zeichnen, und der Gruppe, die Erklärungen zu den Texten verfassen. Sie erklärt dies damit, dass auch die Gruppe, die den Hinweis erhält, Erklärungen anzufertigen, während des Lesens der Texte mentale Modelle konstruiert. Es scheint also in erster Linie darauf anzukommen, Schüler_innen zur Konstruktion eigener mentaler Modelle anzuregen, um ein tieferes Verständnis plattentektonischer Prozesse zu erreichen.

MARQUES und THOMPSON (1997) untersuchen die Vorstellungen von portugiesischen Schüler_innen im Alter von 16 bis 17 Jahren zu den Themen Plattentektonik und Erdmagnetfeld. Auf die Vorstellungen zum Erdmagnetfeld wird an dieser Stelle nur am Rande eingegangen. Die Erhebung der Vorstellungen erfolgt in zwei Phasen.

Phase 1: In einer Pilotstudie werden zehn Schüler_innen interviewt, die das Thema Plattentektonik noch nicht in der Schule behandelt haben. Es werden Vorstellungen der Schüler_innen zu Kontinenten, zur Permanenz von Ozeanbecken, zur Kontinentaldrift, zum Magnetfeld der Erde in geologischen Zeiträumen, zur Beschaffenheit tektonischer Platten, zur Plattenbewegung, zu den Antriebsmechanismen von Lithosphärenplatten sowie zu Interaktionen von Platten erhoben. Hierbei werden die Schüler_innen mit scheinbar wahren Aussagen konfrontiert, unter denen sich viele historische Vorstellungen wie die Permanenz der Ozeanbecken oder eine schrumpfende Erde befinden.

Phase 2: Auf Basis der Interviewergebnisse wird ein Fragebogen entworfen, der 270 Schüler_innen vorgelegt wird, die das Thema bereits im Unterricht durchgenommen haben. Auf diese Weise soll festgestellt werden, ob die vorunterrichtlichen Vorstellungen den Unterricht überlebt haben und wie sich die quantitative Verteilung der Alltagsvorstellungen darstellt.

Der nächste Schritt besteht in der Entwicklung eines Lehr-Lern-Modells, auf dessen Grundlage Unterricht konzipiert wird, der dann in einer Kleingruppe mit fünf freiwillig teilnehmenden Schüler_innen durchschnittlichen Leistungsniveaus durchgeführt und evaluiert wird.

MARQUES und THOMPSON (1997) konzentrieren sich auf die Darstellung der Ergebnisse der 2. Phase der Untersuchung. Sie gehen weder auf die Ergebnisse der Pilotstudie vertieft ein, noch stellen sie die in der Lerngruppe angewandten Vermittlungsstrategien detailliert dar. Daher können an dieser Stelle nur die Ergebnisse der Phase zwei samt ihrer Interpretation (falls vorhanden) vorgestellt werden. Der besseren Übersicht halber erhalten die jeweiligen Vorstellungen eine kurze, aus zwei Buchstaben bestehende Bezeichnung.

Vorstellungen zu Ozeanböden und Kontinenten (OK)

Vorstellung _{OK1} :	Die Erdoberfläche sinkt kontinuierlich von der Mitte der Kontinente bis zur Mitte der Ozeanböden ab (45 %).
Vorstellung _{OK2} :	Vertikale Kräfte führten zur Entstehung der Kontinente und Ozeanbecken (36 %).
Vorstellung _{OK3} :	Ozeanböden und Kontinente bestehen aus dem gleichen Gestein. Die Gesteine der Ozeanböden sind allerdings wasserhaltiger (26 %).

Die Genese der Vorstellung _{OK1} wird von MARQUES und THOMPSON dadurch begründet, dass es sich um einen plausiblen Gedankengang auf Basis lebensweltlicher Beobachtungen handelt: 1. Flüsse fließen von Bergen ins Meer. So ist es plausibel anzunehmen, dass sich das Gefälle unter Wasser fortsetzt. 2. Schiffe in Küstennähe laufen Gefahr aufzulaufen im Gegensatz zu Schiffen, die sich fernab der Küste befinden. Nach MARQUES und THOMPSON könnte diese Vorstellung dadurch verstärkt werden, dass in portugiesischen Schulbüchern hypsometrische Kurven der Erdoberfläche zu finden sind, deren unzureichend reflektierte Betrachtung die genannte Vorstellung untermauern könnte. Auch Vorstellung _{OK3} ist nach Meinung der Autoren naheliegend. Sie berichten, dass Schüler_innen davon ausgehen, dass die Gesteine der Kontinente und Ozeane ursprünglich gleich waren und dass die Gesteine der Ozeanböden sich durch Umwelteinflüsse (Wasser der Ozeane) verändert haben. In Vorstellung _{OK2} sehen die Autoren eine Parallele zu historischen fixistischen Vorstellungen.

Vorstellungen zur Abkühlung der Erde (AE)

Vorstellung _{AE1} :	Die Erde kühlt immer stärker ab (67 %).
Vorstellung _{AE2} :	Die Abkühlung der Erde macht sich in der Topographie der Erdoberfläche bemerkbar (40 %).

Auch in den Vorstellungen zur Abkühlung der Erde sehen die Autoren Gemeinsamkeiten mit historischen Vorstellungen. So findet sich nach Meinung der Autoren in Vorstellung _{AE2} die bis zur Anerkennung der Theorie der Plattentektonik in den 1960er-Jahren in den Geowissenschaften favorisierte Kontraktionstheorie wieder, nach der Oberflächenformen der Erde wie beispielsweise Gebirge durch ein ständiges Abkühlen der äußersten Schale der Erde und einer dadurch ausgelösten Volumenverkleinerung ausgebildet würden (vgl. OLDROYD 1998). Kritisch ist anzumerken, dass Schüler_innen in der Untersuchung mit historischen wissenschaftlichen Vorstellungen konfrontiert werden und diese gegebenenfalls für plausibel halten. Hieraus darf allerdings nicht der Schluss gezogen werden, dass Schüler_innen von alleine eine derartige Vorstellung vor dem oder im Geographieunterricht konstruieren.

Vorstellungen zur Kontinentaldrift (KD)

Vorstellung _{KD1} :	Die Kontinentaldrift ist eine Folge der Erdrotation (34 %).
Vorstellung _{KD2} :	Meeresströme lösen die Kontinentaldrift aus (keine Prozentangabe vorhanden).

Vorstellung _{KD2} wird von den Autoren dahin gehend gedeutet, dass die Schüler_innen Alfred Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung in dieser Weise verstanden und somit eine gegebene Information falsch interpretiert hätten. Auf Vorstellung _{KD1} wird nicht näher eingegangen.

Vorstellungen zu Lithosphärenplatten (LP)

Vorstellung _{LP1} :	Plattengrenzen sind äußerlich erkennbar (21 %).
Vorstellung _{LP2} :	Tektonische Platten liegen geschichtet aufeinander (64 %).

Viele Schüler_innen mit Vorstellung _{LP1} gehen davon aus, dass die Küstenlinien die Plattengrenzen darstellen. Kontinentgrenzen und Plattengrenzen werden als identisch betrachtet. Schüler_innen trennen die Konzepte Kontinent und Platte nicht sauber voneinander ab. Im Vergleich zur Platte ist das Konzept Kontinent ein den Schüler_innen sehr vertrautes Konzept, das Schüler_innen nach Auffassung von MARQUES und THOMPSON nutzen, um das unvertraute Konzept Platte zu verstehen. MARQUES und THOMPSON sind der Meinung, dass die Verwendung der Terminologie ozeanische Platte und kontinentale Platte im Unterricht diese Problematik verstärkt. Auch diese Vorstellung betrachten die Autoren unter dem Gesichtspunkt, dass erhaltene Informationen von Schüler_innen in unangemessener Art und Weise interpretiert werden.

Bei Vorstellung LP2 gehen Schüler_innen davon aus, dass die ältesten Platten unten und die jüngsten oben liegen. Die Entstehung dieser Vorstellung sehen MARQUES und THOMPSON im Alltag begründet. In einem Küchenschrank befindet sich ein vor längerer Zeit abgewaschener Teller unten und der zuletzt abgewaschene Teller oben.

Vorstellungen zur Plattenbewegung (PB)

Vorstellung PB1:	Eine Platte rotiert um einen zentralen Punkt (35 %).
Vorstellung PB2:	Plattenbewegungen werden durch das Wandern der magnetischen Pole ausgelöst (34 %).

Vorstellung PB2 wird Autoren zufolge wahrscheinlich durch Zeichnungen in Schulbüchern begünstigt, auf denen die Wanderung magnetischer Pole mit Pfeilen dargestellt wird. Auf diesen Abbildungen werde auch immer die Wanderung der Kontinente abgebildet. Schüler_innen könnten diese Abbildungen in der Weise interpretiert haben, dass die Plattenbewegungen durch das Wandern der magnetischen Pole ausgelöst werden. Es handelt sich also um eine Vorstellung, die durch eine unangemessene Verknüpfung wissenschaftlicher Konzepte zustande gekommen sein könnte. Vorstellung PB1 wird nicht ausführlich erläutert.

Vorstellungen zu Interaktionen von Platten (IP)

Vorstellung IP1:	Die gleichen Mechanismen sind für die Gebirgsbildung auf den Ozeanböden und auf den Kontinenten verantwortlich (40 %).
------------------	--

Diese Vorstellung wird von den Autoren nicht weiter interpretiert.

Die Autoren ziehen auf Basis der Befragung der Hauptuntersuchung die Schlussfolgerung, dass herkömmlicher Unterricht nicht geeignet zu sein scheint, um Fehlvorstellungen zu verändern. Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung zur Plattentektonik auf Basis einer konstruktivistischen Sichtweise des Lernens. Eine Evaluation zeigt, dass die fünf teilnehmenden Schüler_innen deutliche Fortschritte durch einen an den Vorstellungen der Lernenden anknüpfenden problemorientierten Unterricht erzielen. Allerdings erfährt man keine Details über die eingesetzten Strategien.

BARROW und HASKINS (1993) untersuchen mittels Fragebogen die Vorstellungen von Studierenden (n = 186) zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie über Erdbeben und kommen zu dem Ergebnis, dass viele Studierende über kein tiefgehendes Verständnis der Plattentektonik verfügen.

DELAUGHTER et al. (1998) befragen Studierende (n = 149) zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie über ihre Vorstellungen zu einer ganzen Bandbreite geowissenschaftlicher Themen. Studierende äußern, dass sich die Mittelozeanischen Rücken durch Plattenkollision gebildet haben. Eine andere Vorstellung zur Entstehung der Mittelozeanischen Rücken ist, dass der Meeresspiegel gestiegen ist und sich die Ozeanrücken nun unterhalb der Meeresoberfläche befinden.

SIBLEY (2005) untersucht die Möglichkeiten des Einsatzes von Zeichnungen bei der Erhebung von Fehlvorstellungen zur Plattentektonik. Kurz vor dem Abschluss stehende Bachelorstudierende (n = 602) sollen einen Querschnitt einer konvergierenden Plattengrenze unter alleiniger Beteiligung kontinentaler Lithosphäre zeichnen. Vorher erhalten alle Studierenden eine ausführliche Instruktion zum Thema Plattentektonik, Isostasie und Gebirgsbildung.

Bei den Zeichnungen tauchen neben wissenschaftsnahen Vorstellungen auch viele aus fachlicher Sicht inkorrekte Vorstellungen auf, die sich 2 Vorstellungstypen zuordnen lassen. Fehlvorstellung 1 zeigt Berge, die auf starren Platten sitzen. Diese Gebirge weisen keine Gebirgswurzel und keine Krustenverdickung auf. Fehlvorstellung 2 zeigt Berge als Resultat von gegeneinanderstoßenden, „plastischen“ Platten, die sich nach oben wölben. Das Gebirge besitzt keine Wurzel und es wird keine Verdickung der Lithosphäre sichtbar. Bei beiden Fehlvorstellungen kann eine weitere Fehlvorstellung auftauchen. Magma steigt an den Grenzen der konvergierenden Platten nach oben. Allerdings scheint diese Fehlvorstellung nicht so resistent zu sein wie die beiden anderen. Wie Fehlvorstellung eins zustande kommt, bleibt in den Zeichnungen im Dunkeln. Ob es sich überhaupt um eine Abbildung dynamischer Prozesse oder um eine statische Abbildung handelt, ist oft ebenso wenig zu klären wie die Frage, ob es sich bei den Bergen um Vulkane handelt, die sich durch nach oben steigendes Magma gebildet haben. Um ein tieferes Verständnis der Zeichnungen zu erlangen, werden zwölf der Studierenden zusätzlich interviewt. Sie erklären ihre Fehlvorstellung (Vorstellung 2), indem sie die Finger ihrer Hände gegeneinanderdrücken. Der Autor hält es für möglich, dass eine derartige Form der Veranschaulichung in der Schule gelernt wird. Als Beispiel zieht er einen Text aus der Untersuchung von GOBERT (2000, S. 973) heran: *„When two plates are forced together, mountains can form. As plates are forced together, the edges may be arched like a deck of cards squeezed from both sides.“* SIBLEY verweist darauf, dass derartige Analogien einprägsam, aber falsch sind. Ein Teil der Studierenden (n = 232) wird nach der ersten Untersuchung noch mit einer Abbildung konfrontiert, auf der Fehlvorstellung zwei zu finden ist. Fast die Hälfte der Studierenden erkennt den Fehler in der Abbildung nicht. Von den befragten Studierenden hatte nur die Hälfte selbst eine Zeichnung angefertigt, in der Fehlvorstellung zwei er-

kennbar gewesen ist. 21 in ihrem Studium fortgeschrittenen Studierenden der Geologie wird ebenfalls die Aufgabe gestellt, eine konvergierende Plattengrenze zweier kontinentaler Platten zu zeichnen. Von diesen zeichnen nur 11 die Plattengrenze korrekt ein. Die beiden Typen von Fehlvorstellungen sind auch bei weiter fortgeschrittenen Geologiestudierenden zu finden. SIBLEY sieht hierin einen Hinweis dafür, dass es sich um überdauernde, nicht einfach zu verändernde Vorstellungen handelt. Vierzehn fortgeschrittenen Studierenden wird ebenfalls die Zeichnung mit Fehlvorstellung zwei vorgelegt. Fünf von diesen vierzehn gelingt es nicht, den Fehler in der Zeichnung zu erkennen.

LIBARKIN et al. (2005) untersuchen die Vorstellungen von Studierenden zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie zur geologischen Zeit, zum Aufbau der Erde, zur Plattentektonik sowie zu Erdbeben mittels einer Fragebogenuntersuchung ($n = 265$) sowie einer Interviewstudie ($n = 105$). Ein interessantes Ergebnis bezüglich der Plattentektonik ist, dass die meisten Studierenden zwar eine Vorstellung von Pangäa besitzen und wissen, dass Kontinente in der Vergangenheit in Bewegung gewesen sind. Allerdings gehen die gleichen Studierenden auch davon aus, dass in Zukunft die Lage der Kontinente so bleiben wird, wie sie sich heute darstellt. Zudem glauben einige Studierende, dass Pangäa bereits zu Beginn der Erdgeschichte existiert hat. Bezüglich der Lage tektonischer Platten in Bezug auf das Erdinnere zeigen sich in den Interviews häufig von der wissenschaftlichen Sicht abweichende Vorstellungen. Die meisten Studierenden gehen davon aus, dass die Platten sich unterhalb der Erdoberfläche befinden. Bei einer Variante dieser Vorstellung werden die Platten als ebene, horizontale Platten unter sphärischer Oberfläche eingezeichnet. Wieder andere Studierende platzieren die tektonischen Platten in der Nähe des Erdkerns, in einigen Zeichnungen schweben die Platten über der Erde in der Atmosphäre. All diesen Vorstellungen ist eines gemein: Durch ihre Lage wird die Bewegung der Erdplatten von der Bewegung der Erdoberfläche entkoppelt. Die Autoren sind der Auffassung, dass die Studierenden nicht in der Lage sind, ihren eigenen Lebensraum mit dem unvorstellbar großen Raum Erde in Verbindung zu bringen. Eine weitere Erkenntnis dieser Studie ist, dass viele Studierende zwar Erdbeben mit Lithosphärenplatten in Verbindung bringen, aber nur wenige vulkanische Erscheinungen.

CLARK et al. (2011) untersuchen die Vorstellungen Studierender ($n = 180$) aus sechs unterschiedlichen Einführungskursen in die Geowissenschaften an zwei Universitäten. Von den 180 Fragebogen der Studie werden per Zufallsverfahren 60 zur Auswertung herangezogen. Es wird der Fragestellung nachgegangen, über welche Vorstellungen hinsichtlich der Plattentektonik die Studierenden nach Besuch eines Einführungskurses in die Geowissenschaften verfügen. Hierzu wird ihnen ein häufig zur Vermittlung der Plattentektonik eingesetztes Blockbild

vorgelegt. Beschriftungen sowie Pfeile, welche die Richtung der Plattenbewegung andeuten, werden zuvor entfernt. Die den Studierenden gestellten Aufgaben werden im Folgenden inklusive zentraler Ergebnisse präsentiert.

Aufgabe 1: Die Studierenden sollen im Querschnitt Merkmale benennen, die im Zusammenhang mit der Plattentektonik stehen.

Den Studierenden bereitet es Schwierigkeiten, die tektonischen Platten in der vorliegenden Abbildung korrekt zu identifizieren. Der Begriff Platte wird auch genutzt, um die Asthenosphäre oder nur den lithosphärischen Mantel zu benennen. Bezeichnungen, die sich auf den rheologischen Zustand des Erdinneren beziehen wie Asthenosphäre ($n = 4$) und Lithosphäre ($n = 5$), werden weit seltener verwendet als Bezeichnungen, welche die chemische Einteilung der Erde betreffen: Kruste ($n = 15$), Mantel ($n = 8$). Die Lithosphäre wird selten korrekt benannt. Die Beschriftung Kruste ist nur in 47 Prozent der Fälle korrekt, und bei der Beschriftung des Mantels klammern sieben der acht Studierenden den lithosphärischen Mantel aus. Insgesamt sind die von den Studierenden in das Blockbild eingetragenen Merkmale zu 65 Prozent korrekt, 13 Prozent sind teilweise korrekt und 22 Prozent sind falsch. Am häufigsten beschriften Studierende mit der Subduktion einen Prozess. Ein Viertel der Studierenden beschriftet Vulkane, die Kruste sowie den Mittelozeanischen Rücken. Bei der Beschriftung der Vulkane werden keine Fehler gemacht. 86 Prozent der Beschriftungen zum Mittelozeanischen Rücken sind korrekt.

Aufgabe 2: Die Studierenden sollen im Querschnitt mit Pfeilen die Bewegungen der Platten einzeichnen.

1. Pfeile werden an allen drei zu sehenden Plattengrenzen eingezeichnet (46,7 %).
2. Pfeile werden nur an zwei Grenzen eingezeichnet (30 %), davon 80 % nur an den konvergierenden Grenzen.
3. Pfeile werden nur an einer Plattengrenze eingezeichnet (11,7 %), davon 85 % nur an der divergierenden Grenze.
4. Kein Pfeil wird eingezeichnet (11,7 %).

Nur ein Studierender hat die Transformergrenze am Mittelozeanischen Rücken mit Pfeilen versehen. Vier der Studierenden zeichnen Pfeile immer so ein, dass ausschließlich konvergierende Plattengrenzen abgebildet sind.

Pfeile an der divergierenden Grenze deuten in 82 % der Fälle an, dass sich beide Platten bewegen. 25 % davon zeigen allerdings eine konvergierende Plattenbewegung an. In 10 Prozent der Fälle wird nur ein Pfeil an der divergierenden Grenze eingezeichnet. 8 % der Pfeile wer-

den von den Autoren als Pfeile betrachtet, die aus wissenschaftlicher Sicht merkwürdig erscheinende Bewegungen andeuten.

Bei den Pfeilen, die an konvergierenden Grenzen eingezeichnet werden, zeigen über 50 % an, dass beide Platten sich bewegen. Allerdings wird auch in 39 % der Fälle nur ein Pfeil eingetragen. Dieser deutet in der Regel die Bewegung der subduzierenden Platte an. Vier Studierende zeichnen an der Grenze kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre eine Wegbewegung der kontinentalen Platte ein.

Aufgabe 3 und Aufgabe 4: Die Studierenden sollen Gebiete unterhalb der Erdoberfläche einkreisen, in denen Schmelzvorgänge stattfinden, und erklären, wieso es jeweils zu Schmelzvorgängen kommt. Mit folgenden Angaben benennen Studierende Orte, an denen sie Schmelzvorgänge vermuten:

1. Dort, wo sich die subduzierende Platte aufzulösen scheint (19 %)
2. Stelle, an der die subduzierende Platte in die Asthenosphäre einsinkt (16 %)
3. Innerhalb der Vulkane (14 %)
4. Mittelozeanischer Rücken (10 %)
5. Mantelkeil oberhalb der subduzierenden Platte (8 %)
6. Gesamte subduzierende Platte (8 %)
7. Direkt unterhalb der Vulkane (8 %)
8. Scheinbar zufällig gewählte Regionen der Asthenosphäre (13 %)

Folgende Einflussfaktoren werden für die Entstehung von Gesteinsschmelzen genannt:

1. Hitze (34 %)
2. Gesteine der Platten stoßen gegeneinander (14 %)
3. Druck (13 %)
4. Reibung (10 %)
5. Aufschmelzen der Platte durch Magma (6 %)
6. Wasser (4 %)
7. Vulkane (4 %)
8. Aufsteigende Hitze vom Erdkern (3 %)
9. Klima (1 %)
10. Weiß nicht (11 %)

Nur einer der Studierenden, die Druck als Einflussfaktor betrachten, geht von einem Dekompressionsschmelzvorgang aus.

Aufgabe 5: Die Studierenden sollen angeben, wie viel Prozent des Mantels in geschmolzenem Zustand vorliegen.

Das arithmetische Mittel liegt bei 57 %, der Modalwert bei 80 %. Insgesamt bewegen sich die Prozentangaben der Studierenden zwischen 5 und 90 %.

Aufgabe 6: Die Studierenden sollen erklären, was die Farben im Querschnitt bedeuten.

Die Auswertung beschränkt sich auf die orange eingezeichnete Schicht in der Abbildung, die von den Studierenden folgenderweise interpretiert wird:

1. Magma (38 %)
2. Mantel (28 %)
3. Lithosphäre (14 %)
4. Asthenosphäre (7 %)
5. Sonstiges (13 %)

Die Autoren bilanzieren, dass viele alternative Vorstellungen der Studierenden den Einführungskurs in die Geowissenschaften überlebt haben oder durch diesen begünstigt wurden. Als Hauptschwierigkeiten betrachten sie, dass Studierende keine korrekte Vorstellung von der Festigkeit des Mantels haben und auch keine wissenschaftlich angemessene Vorstellung davon, wo und warum Schmelzprozesse auftreten. Studierenden seien nach dem Besuch des Einführungskurses zwar einige Begrifflichkeiten bekannt, allerdings hätten sie keine kohärente Vorstellung vom System Plattentektonik aufbauen können. Zudem könnten die Studierenden physikalische und chemische Zonierung des Erdinneren in der Regel nicht voneinander unterscheiden. Die chemische Zonierung ist Studierenden geläufiger. Dass der Mantel als flüssig betrachtet wird, liegt in den Augen der Autoren neben der Farbgebung auch an den Darstellungen in Hochschulbüchern in Bezug auf die Asthenosphäre, die häufig als partiell geschmolzen beschrieben werde, ohne dies zu präzisieren. Die Darstellung in oranger Farbe verstärke die Vorstellung, es könne sich um Magma handeln. Zudem werde in Hochschullehrbüchern häufig beschrieben, dass die subduzierende Platte im Mantel geschmolzen werde. Als ein Problem identifizieren die Autoren die Meinung von Fachwissenschaftler_innen, die Plattentektonik sei ein einfach zu verstehender Lerngegenstand. Dies verleite dazu, möglichen Schwierigkeiten nicht die notwendige Aufmerksamkeit entgegenzubringen. Die Autoren schlagen vor, verstärkt konstruktivistische Lernmethoden wie beispielsweise das *inquiry-based-learning* bei der Vermittlung der Plattentektonik einzusetzen. Zudem sollte ein vorsichtiger Umgang mit Abbildungen praktiziert werden, da ein orange eingezeichneter Mantel oder eine Platte, die sich durch Subduktion in einer Abbildung scheinbar auflöst, vorhandene Alltagsvorstellungen verstärken können. Zudem sollten Lehrer_innen an Universitäten Fortbildungskurse erhalten, um das Vorwissen der Studierenden in Bezug auf das System Plattentektonik durch qualifizierten Schulunterricht zu verbessern.

DAHL et al. (2005) untersuchen das Verständnis und das Interesse von Lehrer_innen an geowissenschaftlichen Themen. Mittels Fragebogen werden 38 Lehrer_innen bezüglich ihres Interesses an 12 geowissenschaftlichen Themen und der Häufigkeit der Behandlung dieser Themen im Unterricht befragt. Nur ein Teil der Ergebnisse bezieht sich auf den hier untersuchten Forschungsgegenstand. Ein zentrales Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass Lehrer_innen ein großes Interesse an den Themen Vulkanismus und Erdbeben haben und diese häufig im Unterricht behandeln. Das geringere Interesse an Plattentektonik spiegelt sich in der weniger häufigen Behandlung im Unterricht wider. Die Autoren vermuten, dass sich die befragten Lehrer_innen nicht gut auf die Vermittlung der Plattentektonik vorbereitet fühlen. Ein weiterer Fragebogen zum Verständnis geowissenschaftlicher Themen wird von 48 Lehrer_innen ausgefüllt. Nur 30 Prozent der Lehrer_innen ist in der Lage, wissenschaftlich korrekt zu erklären, was eine tektonische Platte ist, und aufzuzeigen, wo sich eine Lithosphärenplatte in Relation zur Erdoberfläche befindet.

KING (2000) untersucht mittels Fragebogen Vorstellungen von Lehrer_innen (n = 61) zum Erdinneren und zur Plattentektonik. Über die Hälfte der Untersuchungsteilnehmer_innen ist nicht imstande darzulegen, inwiefern die Verteilung von Tiefenbeben durch die Theorie der Plattentektonik erklärt werden kann.

Fazit

Bei einem großen Teil der Arbeiten zu Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik wurden keine Schüler_innen befragt. Drei der vier Studien zu Schülervorstellungen zur Plattentektonik fokussieren die Effektivität unterschiedlicher Lernwege (GOBERT & CLEMENT 1999; GOBERT 2000; 2005), konkrete Vorstellungen der Lernenden werden nicht detailliert beschrieben. Mit der in Portugal durchgeführten Studie von MARQUES und THOMPSON (1997) liegt bislang nur eine einzige Studie vor, bei der Schülervorstellungen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik im Zentrum des Erkenntnisinteresses stehen. Da es sich bei der Hauptuntersuchung um eine quantitative Untersuchung handelt, erfährt man sehr wenig über die innere Struktur der Schülervorstellungen, die im Hinblick auf die Unterrichtsvorbereitung aber von entscheidender Bedeutung ist (vgl. GROPENGIESSER 1997; NIEBERT 2010). Im deutschsprachigen Raum liegt zudem bisher keine dem Verfasser dieser Arbeit bekannte Forschungsarbeit vor. Der Bereich Schülervorstellungen zur Plattentektonik ist somit bislang kaum erforscht. Die Ergebnisse der Untersuchungen bei Studierenden weisen darauf hin, dass die Thematik auch für Studierende größere Schwierigkeiten aufwirft. Hierbei werden zwar teilweise Details berichtet, die in schulischen Kontexten wenig Bedeutung haben, aber es zeigen sich beispielsweise grundsätzliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Unterscheidung der che-

mischen Zonierung und der physikalischen Zonierung des Erdinneren, der Erklärung, was eine tektonische Platte ist, sowie bei den Beschreibungen von Prozessen an Plattengrenzen. Insbesondere mit der Plattentektonik in Verbindung stehende Schmelzprozesse können Studierende oft nicht nachvollziehen. Zu Vorstellungen über Antriebsmechanismen der Plattentektonik liegen keine Ergebnisse bei den Untersuchungen Studierender und Lehrer_innen vor. Einen Überblick über zentrale in den erwähnten Studien identifizierte Vorstellungen bietet Tabelle 12 im Anhang.

2.2 Studien zu Alltagsvorstellungen zum Erdinneren

Tabelle 2 gibt einen Überblick über bislang zu Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Erdinneren durchgeführte Untersuchungen.

Tab. 2: Überblick über Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen vom Erdinneren

Autoren	Fragestellung	Methode	Probanden
GAPP & SCHLEICHER (2010)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen vom Aufbau des Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> Hauptuntersuchung: Fragebogenuntersuchung: Zeichnung des Erdinneren und Erklärung der Zeichnung Vertiefende Untersuchung: Interviews zu Zeichnung und Bestandteilen des Erdinneren 	<ul style="list-style-type: none"> Schülerinnen Jahrgangsstufe 3 (n = 23)
GOBERT (2000)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen vom Aufbau des Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> Hauptuntersuchung: Lektüre des gleichen Textes wie bei GOBERT & CLEMENT (1999), Aufgabe für alle Probanden: Anfertigung einer Zeichnung nach Lektüre <ol style="list-style-type: none"> Auswertung der Zeichnungen Auswertung eines Posttests zum Schülerverständnis mittels Fragebogen Vertiefende Untersuchung: qualitative Interviews 	<ul style="list-style-type: none"> Hauptuntersuchung: Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 47) Vertiefende Untersuchung: Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 7)
SHARP, MACKINTOSH & SEEDHOUSE (1995)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen vom Aufbau des Erdinneren? Welche Vorstellungen haben sie zur Temperaturverteilung im Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 13)
LILLO (1994)	Welche Fehlvorstellungen haben Schüler_innen der 5. - 8.	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung: Zeichnung des Aufbaus des Erdinneren 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufen 5 - 8 (n = 150)

	Klasse vom Aufbau des Erdinneren?		
DELAUGHTER, STEIN, STEIN & BAIN (1998)	Mit welchen Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Themen kommen Studierende an die Universität?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 149)
STEER, KNIGHT, OWENS & MCCONNELL (2005)	Inwiefern eignet sich das Anfertigen eines konkreten Modells des Erdinneren im Rahmen einer konstruktivistisch angelegten Lernumgebung zum Aufbau einer wissenschaftsnäheren Vorstellung des Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung im Rahmen eines Einführungskurses in die Geowissenschaft: <ul style="list-style-type: none"> - Anfertigung einer Zeichnung des Erdinneren nach Lektüre eines Textes - Diskussion der Zeichnungen in einer 4er-Gruppe - Erklärung des Aufbaus des Erdinneren durch den Kursleiter - Bau eines konkreten Modells des Erdinneren in 4er-Gruppen - Vergleich mit dem Initialmodell - Vergleich mit einem Expertenmodell - Erneute Anfertigung einer Abbildung des Erdinneren - Auswertung über den Vergleich der Anfangs- und der Endzeichnung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende eines Einführungskurses in die Geowissenschaften (n = 97)
LIBARKIN, ANDERSON, DAHL, BEILFUSS & BOONE (2005)	Welche Vorstellungen haben Studierende am Anfang ihres Studiums zu geowissenschaftlichen Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen (offene Fragen) vor dem Einführungskurs in die Geologie • Untersuchung 2: Interviews (Durchführung von der Mitte bis zum Ende des Semesters) 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 265) • Untersuchung 2: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 105)
CLARK, LIBARKIN, KORTZ & JORDAN (2011)	Über welche Vorstellungen zur Plattentektonik verfügen Bachelorstudierende nach Besuch eines Einführungskurses in die Geowissenschaften, der explizit die Theorie der Plattentektonik behandelt hat?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bachelorstudierende zweier US-amerikanischer Universitäten (n = 60)

KING (2000)	Welche Vorstellungen haben Lehrer_innen vom Erdinneren und der Plattentektonik?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Lehrer_innen, die an einer Fortbildung teilnehmen (n = 61)
DAHL, ANDERSON & LIBARKIN (2005)	Über welches Interesse und welche Kompetenzen verfügen Lehrer_innen hinsichtlich geowissenschaftlicher Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen zu Interesse und Häufigkeit der Behandlung von geowissenschaftlichen Themen im Unterricht • Untersuchung 2: Fragebogen zum Verständnis geowissenschaftlicher Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Lehrer_innen (n = 38) • Untersuchung 2: Lehrer_innen (n = 48)

Häufig werden die Probanden gebeten, eine Zeichnung des Erdinneren anzufertigen. Vorrangig werden jüngere Schüler_innen (Jahrgangsstufen 1 - 6) oder Studierende bzw. Lehrer_innen befragt. Einzig LILLO (1994) befasst sich neben Vorstellungen von Schüler_innen der Unterstufe auch mit Vorstellungen von Schüler_innen der Mittelstufe. Von diesen zeichnen die allermeisten das Erdinnere als konzentrische Schichten, allerdings häufig mit falschen Bezeichnungen oder ohne diese zu benennen. Betrachtet man die Zeichnungen jüngerer Schüler_innen, so zeigt sich, dass diese die Erde häufig als homogene Festkörper darstellen (LILLO 1994; SHARP et al. 1995). Einige jüngere Schüler_innen gehen auch schon von konzentrischen Schichten aus, bezeichnen diese aber oft inkorrekt zum Beispiel als Schlamm, Boden oder Wasser (GAPP & SCHLEICHER 2010; LILLO 1994). In geringer Häufigkeit werden in allen Altersklassen parallele Schichten dargestellt (GAPP & SCHLEICHER 2010; GOBERT 2000; LILLO 1994; STEER et al. 2005; LIBARKIN et al. 2005).

Die Vorstellung, der Erdkern ist heiß und voll flüssiger Magma, findet sich bei Schüler_innen in allen befragten Jahrgangsstufen (LILLO 1994; GOBERT 2000; GAPP & SCHLEICHER 2010) sowie bei Lehrer_innen (DAHL et al. 2005). Häufig wird davon ausgegangen, dass das Magma des Erdkerns durch Vulkane an die Erdoberfläche treten kann (LILLO 1994; GOBERT 2000; DAHL et al. 2005). Bei jüngeren Schüler_innen finden sich zudem noch aus wissenschaftlicher Sicht merkwürdige Vorstellungen wie jene, dass der Teufel im Zentrum der Erde lebt (LILLO 1994; GAPP & SCHLEICHER 2010) oder dass im Erdkern ein Feuer brennt (LILLO 1994).

Vorstellungen über die Beschaffenheit des Mantels finden sich nur bei Studien mit Lehrer_innen oder Studierenden. So wird dieser von einigen Studierenden und Lehrer_innen ebenso wie die Asthenosphäre als größtenteils flüssig (KING 2000; CLARK et al. 2011) oder flüssig (KING 2000) charakterisiert. In vielen Studien wird bemängelt, dass die Kruste im Verhältnis viel zu dick eingezeichnet wird (LILLO 1994; GOBERT 2000; STEER et al. 2005; GAPP & SCHLEICHER 2010). LIBARKIN et al. (2005) stellen fest, dass Studierende zwar Be-

zeichnungen der physikalischen und der chemischen Zonierung nennen, aber nicht erklären können, nach welchen Gesichtspunkten eine Zonierung des Erdinneren vorgenommen wird. In der Regel beschränken sich die Untersuchungen auf Vorstellungen zum Aufbau des Erdinneren. Als einzige der Studien thematisieren SHARP et al. (1995) auch die Temperaturverhältnisse im Inneren der Erde. In keiner der Studien werden Vorstellungen zur Entstehung des Aufbaus des Erdinneren erhoben. Eine zusammenfassende Übersicht zu zentralen in diesen Studien identifizierten Vorstellungen findet sich im Anhang (Tab. 13 und 14).

2.3 Studien zu Alltagsvorstellungen über Gebirgsbildung, Vulkanismus und Erdbeben

Studien über Alltagsvorstellungen zu Gebirgsbildung, Vulkanismus oder Erdbeben können Vorstellungen über Interaktionen von Lithosphärenplatten beinhalten. Unter dieser Perspektive hat der Autor dieser Arbeit Studien zu den genannten Thematiken analysiert. Für die vorliegende Arbeit relevante Ergebnisse werden im Folgenden dem jeweiligen Thema der Studien untergeordnet dargestellt.

2.3.1 Studien zu Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung

Bislang wurden nur wenige Studien durchgeführt, die schwerpunktmäßig Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung thematisieren. Tabelle 3 gibt einen kurzen Überblick über Studien, die Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung explizit thematisieren.

Tab. 3: Überblick über Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen zur Gebirgsbildung

Autoren	Fragestellung	Methode	Probanden
PIAGET (1980)	Wie erklären Kinder die Entstehung von Gebirgen?	<ul style="list-style-type: none"> Klinische Interviews 	<ul style="list-style-type: none"> Kinder im Alter von 5 - 10 Jahren
HAPPS (1982)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen zu Gebirgen und Vulkanismus?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen im Alter von 11 - 17 Jahren (n = 37)
HARWOOD & JACKSON (1993)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von geowissenschaftlichen Phänomenen?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen im Alter von 9 - 11 Jahren (n = 9)
TREND, EVERETT, & DOVE (2000)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Gebirgen? Welche Unterschiede gibt es zwischen den Vorstellungen jüngerer Schüler_innen (7 - 9 Jahre) und älterer Schüler_innen (10 - 11 Jahre)?	<ul style="list-style-type: none"> Hauptuntersuchung: Fragebogen Vertiefende Untersuchung: Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Hauptuntersuchung: Schüler_innen im Alter von 7 - 11 Jahren aus städtischen Schulen (n = 444) Vertiefende Untersuchung: Schüler_innen im Alter von 7 - 11 Jahren aus städtischen Schulen (n = 52)

Die meisten dieser Studien wurden bei Schüler_innen im Alter unter 12 Jahren durchgeführt. Mit der Studie von HAPPS (1982) gibt es nur eine einzige Studie, bei der ältere Schüler_innen befragt wurden. Zusätzlich finden sich auch in der Studie von MARQUES und THOMPSON (1997) bzw. der Untersuchung von SIBLEY (2005) Vorstellungen von Oberstufenschüler_innen bzw. Studierenden zur Gebirgsbildung, die unter dem Kapitel Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik bereits näher beschrieben wurden.

Die Studien, bei denen Schüler_innen im Alter von 7 - 11 Jahren befragt wurden, deuten darauf hin, dass Schüler_innen in diesem Alter die Gebirgsbildung in der Regel nicht mit plattentektonischen Prozessen in Verbindung bringen. PIAGET (1980) konnte etwa zeigen, dass Kinder im Alter von 7 - 8 Jahren der Auffassung sind, dass Berge von Gott oder den Menschen geschaffen werden. Im Alter von 9 - 10 Jahren bevorzugen Kinder dann Erklärungen, die auf natürlichen Kräften basieren. Die Untersuchung fand zeitlich vor der Etablierung der Theorie der Plattentektonik in den Geowissenschaften statt, sodass Schüler_innen in dieser Studie verständlicherweise nicht mit plattentektonischen Prozessen argumentieren. Aber auch in einer aktuelleren Studie (HARWOOD & JACKSON 1993) wird Gebirgsbildung nicht mit der Plattentektonik in Verbindung gebracht. Vielmehr nennen Schüler_innen als natürliche Ursachen der Gebirgsbildung beispielsweise Samen, aus denen Berge wachsen können, Steine, die vom Himmel regnen und Berge formen oder das Eis aus der letzten Eiszeit, das hart wurde und nun Felsen bildet. Aber auch die Vorstellung, dass Menschen die Gebirge erschaffen haben, findet sich in dieser Studie wieder. Einzig in der Untersuchung von TREND et al. (2000) finden sich einige Schüler_innen in der Altersgruppe von 7 - 11 Jahren, die Gebirgsbildung mithilfe der Plattentektonik erklären. In der gleichen Studie geben rund 60 Prozent der befragten Schüler_innen an, dass sie nicht wüssten, wie Gebirge entstünden, und 25 Prozent der Schüler_innen der 3. und 4. Jahrgangsstufe gehen davon aus, dass Gott die Berge erschaffen habe. Bei den Schüler_innen aus der 5. und 6. Jahrgangsstufe sind noch 8 Prozent dieser Meinung. Eine kleine Schülergruppe äußert, die Menschen selbst hätten die Berge erschaffen. 21 Prozent der Schüler_innen der 5. und 6. Jahrgangsstufe bevorzugen Erklärungen, die auf exogene Kräfte verweisen. So habe Wasser die weniger harten Gesteine abgetragen und das härtere Gestein bilde die heutigen Berge. 25 Prozent der jüngeren Schüler_innen und 8,3 Prozent der Schüler_innen der 5. und 6. Klasse schließlich bringen die Gebirgsbildung mit tektonischen Prozessen in Verbindung. Ein Teil dieser Schüler_innen stellt sich vor, Gebirge seien durch ein schweres Erdbeben direkt nach der Entstehung der Erde entstanden. Andere Schüler_innen gehen davon aus, dass Berge erloschene Vulkane sind. Somit finden sich in den

Vorstellungen von Schüler_innen dieser Altersgruppe keine konkreten Hinweise zu Interaktionen von Lithosphärenplatten.

Auch in der Studie von HAPPS (1982) werden Schüler_innen zu ihren Vorstellungen über die Gebirgsbildung befragt. Die interviewten Schüler_innen sind mit einem Alter von 11 - 17 Jahren zu großen Teilen älter als die Schüler_innen der bislang betrachteten Studien. HAPPS resümiert: *„Approximately 80 percent of students interviewed were unable to relate, in any way, to a theory of mountain building which involve plate tectonics. [...] A theory of plate tectonics which integrates volcanicity, earthquakes and mountain building should be an essential component in scientific education of New Zealanders. This investigation has revealed that such an appreciation [sic] has not been attained by the majority of students, even at an elementary level of understanding“* (HAPPS 1982, S. 27).

Tabelle 4 gibt einen Überblick über zentrale in dieser Studie geäußerte Vorstellungen zur Gebirgsbildung, die nicht mit tektonischen Prozessen in Verbindung stehen.

Tab. 4: Schülervorstellungen zur Gebirgsbildung ohne Bezug zur Plattentektonik

Vorstellung	Jahrgangsstufe
Gott schafft Gebirge.	Jahrgangsstufe 5
Die Gebirge gab es schon immer.	Jahrgangsstufen 7 - 11
Wasser präpariert Gebirge heraus.	Jahrgangsstufe 10
Äolischer Transport von Gesteinsmaterial und Akkumulation der Gesteine an einem Ort lassen Gebirge entstehen.	Jahrgangsstufe 9
Druck im Erdinneren durch heiße Lava oder den explodierenden Erdkern verursacht Gebirgsbildung.	Jahrgangsstufen 6, 9 und 11
Druck im Erdinneren sorgt dafür, dass Magma nach oben drückt und an Schwächezonen ein Vulkan entsteht. Berge sind erloschene Vulkane.	Jahrgangsstufen 10 und 11

Insbesondere die Erklärungen der Schüler_innen der 10. und 11. Jahrgangsstufe enthalten Hinweise auf die Theorie der Plattentektonik, vereinzelt aber auch die Vorstellungen jüngerer Schüler_innen. Allerdings, so konstatiert HAPPS, werden häufig zwar Begrifflichkeiten aufgegriffen, aber ein Verständnis der dahinterstehenden Prozesse sei nicht ersichtlich. So verbinden einige Schüler_innen der 11. Klasse Gebirge mit Faltungen und einige Schüler_innen der

10. Klasse mit Verwerfungen, ohne dies näher zu erläutern. Weitere Vorstellungen finden sich in Tabelle 5.

Tab. 5: Vorstellungen zur Gebirgsbildung mit Erklärungen, die mit der Plattentektonik in Verbindung stehen (nach HAPPS 1982)

Vorstellung	Jahrgangsstufe
Manchmal drücken Erdplatten nach oben und lassen einen Berg wachsen.	Jahrgangsstufe 5
Erdbeben können Landmassen nach oben schieben.	Jahrgangsstufe 7
Gebirge entstehen durch die Kollision von Platten.	Jahrgangsstufen 6, 10 und 11
Wenn die Kontinente zusammenstoßen, dann mahlen sie aneinander und dadurch kann der Kern geschmolzene Lava nach oben drücken.	Jahrgangsstufe 10
Gebirge entstehen, wenn sich eine Platte unter die andere schiebt.	Jahrgangsstufen 10 und 11
Wenn Platten zusammenstoßen, türmen sie sich zu Gebirgen auf.	Jahrgangsstufe 10

2.3.2 Studien zu Alltagsvorstellungen über Vulkanismus

Betrachtet man den Forschungsstand zu Studien zu Alltagsvorstellungen über Vulkanismus, so fällt auf, dass diese insbesondere mit Schüler_innen der Grund- und Unterstufe durchgeführt wurden. Lediglich zwei Studien (HAPPS 1982; DAL 2006) thematisieren explizit die Vorstellungen älterer Schüler_innen, eine Untersuchung (LILLO 1994) beschäftigt sich am Rande mit Vorstellungen von Mittelstufenschüler_innen zu Vulkanismus. Die Vorstellungen Studierender oder Lehrer_innen zum Themenbereich Vulkanismus wurden in der Regel im Rahmen thematisch breiter angelegter Studien zu geowissenschaftlichen Alltagsvorstellungen erhoben. Eine Übersicht über Studien, die den Themenbereich Alltagsvorstellungen zu Vulkanismus beinhalten, findet sich in Tab. 6.

Tab. 6: Überblick über Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen über Vulkanismus

Autoren	Fragestellung	Methode	Probanden
SHARP, MACKINTOSH & SEEDHOUSE (1995)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Vulkanismus?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 13)

ROSS & SHUELL (1993)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> • Studie 1: Interviewstudie • Studie 2: Interviewstudie • Studie 3: Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> • Studie 1: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer gering bis moderat seismisch aktiven Region (n = 35) • Studie 2: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer moderat seismisch aktiven Region (n = 33) • Studie 3: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer seismisch moderat bis hoch aktiven Region (n = 23)
TREND, EVERETT & DOVE (2000)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Gebirgen? Welche Unterschiede gibt es zwischen den Vorstellungen jüngerer Schüler_innen (7 - 9 Jahre) und älterer Schüler_innen (10 - 11 Jahre)?	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptuntersuchung: Fragebogen • Vertiefende Untersuchung: Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptuntersuchung: Schüler_innen im Alter von 7 - 11 Jahren aus städtischen Schulen (n = 444) • Vertiefende Untersuchung: Schüler_innen im Alter von 7 - 11 Jahren Schulen aus städtischen Schulen (n = 52)
BLAKE (2005)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Strukturen, welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Prozessen in geowissenschaftlichen Kontexten?	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptstudie: Fragebogen • Vertiefende Studie: Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptstudie: Schüler_innen (7 - 11 Jahre) (n = 115) • Vertiefende Studie: Schüler_innen (7 - 11 Jahre) (n = 20)
GOBERT (2000)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Vulkanismus an divergierenden Plattengrenzen?	<ul style="list-style-type: none"> • Lektüre des gleichen Textes wie bei GOBERT & CLEMENT (1999), Aufgabe für alle Probanden: Anfertigung einer Zeichnung nach Lektüre 1. Auswertung der Zeichnungen 2. Auswertung eines Posttests zum Schülerverständnis mittels Fragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 47)
CHARTRAIN & CAILLOT (2001)	Inwieweit hängt ein erfolgreicher Conceptual Change am Beispiel Vulkanismus von sozialen Variablen, inwieweit von der Einstellung zum Lernen ab?	<ul style="list-style-type: none"> • Zweigeteilte Untersuchung: <ol style="list-style-type: none"> 1. Vermittlungsphase <ol style="list-style-type: none"> a) Erfassen von Schülervorstellungen b) Vermittlung wissenschaftlicher Konzepte c) Erfassen von Schülervorstellung 2. Erfassung der Einstellung zum Lernen mittels zweier Fragebogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 28)

LILLO (1994)	Welche Fehlvorstellungen haben Schüler_innen der 5. - 8. Klasse vom Aufbau des Erdinneren?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen Jahrgangsstufen 5 - 8 (n = 150)
HAPPS (1982)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen zu Gebirgen und Vulkanismus?	<ul style="list-style-type: none"> • Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen im Alter von 11 - 17 Jahren (n = 37)
DAL (2006)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen der 6. und 9. Jahrgangsstufe sowie Lehramtsstudierende in unterschiedlichen Ausbildungsabschnitten von Vulkanismus?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen Jahrgangsstufe 6 und 9 sowie Lehramtsstudierende (n [gesamt] = 130)
LEATHER (1987)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen unterschiedlichen Alters von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen im Alter von 11 - 17 Jahren (n = 200)
BARROW & HASKINS (1993)	Welches Verständnis von geowissenschaftlichen Themengebieten haben Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 186)
DELAUGHTER, STEIN, STEIN & BAIN (1998)	Mit welchen Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Themen kommen Studierende an die Universität?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 149)
HEMMERICH & WILEY (2002)	Welche Vorstellungen haben Studierende über die Ursachen von Vulkanausbrüchen?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende (n = 28)
LIBARKIN, ANDERSON, DAHL, BEILFUSS & BOONE (2005)	Welche Vorstellungen haben Studierende am Anfang ihres Studiums zu geowissenschaftlichen Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen (offene Fragen) vor dem Einführungskurs in die Geologie • Untersuchung 2: Interviews (von der Mitte bis zum Ende des Semesters durchgeführt) 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 265) • Untersuchung 2: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 105)
CLARK, LIBARKIN, KORTZ & JORDAN (2011)	Über welche Vorstellungen zur Plattentektonik verfügen Bachelorstudierende nach Besuch eines Einführungskurses in die Geowissenschaften, der explizit die Theorie der Plattentektonik behandelt hat?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bachelorstudierende zweier US-amerikanischer Universitäten (n = 60)

DAHL, ANDERSON, LIBARKIN (2005)	Über welches Interesse und welche Kompetenzen verfügen Lehrer_innen hinsichtlich geowissenschaftlicher Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen zu Interesse und Häufigkeit der Behandlung von geowissenschaftlichen Themen im Unterricht • Untersuchung 2: Fragebogen zum Verständnis geowissenschaftlicher Themen 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Lehrer_innen (n = 38) • Untersuchung 2: Lehrer_innen (n = 48)
---------------------------------	--	---	--

Niemand der befragten Schüler_innen im Alter von 7 - 12 Jahren bringt Vulkanismus mit der Plattentektonik in Verbindung. In älteren Jahrgängen finden sich einige Schüler_innen, die Vulkanismus durch plattentektonische Prozesse erklären, allerdings weichen die Vorstellungen von den wissenschaftlichen Erklärungen deutlich ab. Auch bei Studierenden zeigt sich, dass viele Vulkanismus nicht mit der Plattentektonik in Verbindung bringen. So bilanzieren LIBARKIN et al. (2005, S. 24): *„Although many students were able to identify correlation between large earthquake occurrence and tectonic plate boundaries few connected volcanism with plate tectonics.“* Dies zeigt sich auch darin, dass einige Studierende Vulkane nur in Äquatornähe (LIBARKIN et al. 2005), nur in heißen Klimaten (DELAUGHTER et al. 1998; LIBARKIN et al. 2005) oder nur in Ozeannähe (DELAUGHTER et al. 1998) verorten. BARROW und HASKINS (1993) beschreiben, dass 30 % der von ihnen befragten Studierenden als einzigen Grund dafür, dass Vulkane und Erdbeben in den gleichen Regionen auftreten, Druck im Inneren der Erde anführen. Einen Bezug zur Theorie der Plattentektonik stellt nur ein wesentlich geringerer Anteil der Befragten her. HEMMERICH und WILEY (2002, S. 457) vermerken in Bezug auf die Vorstellungen Studierender zu Vulkanismus: *„Many of their models did not show any understanding of the importance of the Theory of Plate Tectonics.“* Die Vorstellungen der Schüler_innen und Studierenden, die Vulkanismus mit Plattentektonik in Beziehung setzen, finden sich in Tabelle 7.

Tab. 7: Vorstellungen, die Erklärungen von Vulkanismus auf Basis der Theorie der Plattentektonik beinhalten

Vorstellung	Untersuchung
Lava fließt an Plattengrenzen durch die Erdkruste nach außen.	DAL 2006 (9. Jahrgangsstufe und Studierende)
Wenn Platten gegeneinanderstoßen, kommt es zur Vulkanbildung und Magma steigt aus dem Zentrum der Erde nach oben.	HAPPS 1982 (10. Jahrgangsstufe); DAL 2006 (9. Jahrgangsstufe); DAL 2006 (Studierende)
Vulkanismus entsteht dort, wo viele Platten aufeinandertreffen.	HAPPS 1982 (11. Jahrgangsstufe)
Vulkanismus entsteht, wenn Platten sich verschieben.	HEMMERICH & WILEY 2002 (Studierende)
Schieben sich zwei Platten übereinander, so bildet sich durch die Reibung Magma, das über Vulkane austritt.	HEMMERICH & WILEY 2002 (Studierende)
Vulkanismus entsteht, wenn Platten gegeneinanderstoßen.	BARROW & HASKINS 1993 (Studierende); HEMMERICH & WILEY 2002 (Studierende)

Die Vorstellungen zeigen eine Präferenz für Erklärungen, die Vulkanismus an konvergenten Plattengrenzen beschreiben. Keine der Vorstellungen kann Magmenbildung und Plattentektonik in einen ursächlichen Zusammenhang bringen. Eine Erklärung hierfür mag sein, dass viele Schüler_innen und Studierende Magma als dauerhaft im Erdinneren befindlich lokalisieren. So gehen Befragte in allen Altersstufen davon aus, dass Lava aus dem Zentrum der Erde stamme (zum Beispiel: SHARP et al. 1995; CHARTRAIN & CAILLOT 2001; HAPPS 1982; DAHL et al. 2005) oder aus einer Lavaschicht im Erdinneren (CHARTRAIN & CHAILLOT 2001; DAL 2006). Bei jüngeren Schüler_innen finden sich Modelle, bei denen die Lavaquelle direkt im Vulkan angesiedelt ist (TREND et al. 2000; CHARTRAIN & CAILLOT 2001; DAL 2006). In der Untersuchung von CLARK et al. (2011) werden Studierende nach Besuch eines Einführungskurses in die Geowissenschaften explizit nach Ursachen der Schmelzbildung bei Vulkanismus an Plattengrenzen befragt. Nur ein geringer Prozentsatz der Studierenden nennt Druckentlastung oder das Vorhandensein von Fluiden als entscheidende Faktoren. Schwierigkeiten, sich vorzustellen, dass Lava zu Stein wird, haben sowohl einige Schüler_innen bis einschließlich

der neunten Klasse (DAL 2006) als auch einige Studierende (BLAKE 2005; DAL 2006). TREND et al. (2000) stellen bei einigen Grund- und Unterstufenschüler_innen fest, dass diese nicht wissen, dass es sich bei Magma um flüssiges Gestein handelt.

2.3.3 Studien zu Alltagsvorstellungen über Erdbeben

Zum Themengebiet Erdbeben gibt es Studien zu Schülervorstellungen aller Altersstufen. Auch wenn, ähnlich wie bei den vorhergehenden Themengebieten, wieder sehr viele Studien zu den Vorstellungen jüngerer Schüler_innen vorliegen, so wurden mit den Studien von LEATHER (1987), SCHOON (1989), OGUZ (2005), AYDIN und COŞKUN (2010) sowie RAKKAPAO, ARAYATHANITKUL, PANANONT und CHITAREE (2012) bereits fünf Studien durchgeführt, die die Vorstellungen älterer Schüler_innen, bevorzugt Schüler_innen der Mittelstufe, erfassen. Auch Lehrer_innen wurden vergleichsweise häufig befragt. Tabelle 8 gibt einen Überblick zu bislang durchgeführten Studien zu Alltagsvorstellungen zum Themengebiet Erdbeben.

Tab. 8: Überblick über Untersuchungen zu Alltagsvorstellungen über Erdbeben

Autoren	Fragestellung	Methode	Probanden
LAÇIN-ŞİMŞEK (2007)	Welche Vorstellungen haben Kindergartenkinder sowie Schüler_innen der ersten, zweiten, sechsten und achten Klasse von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie (Fragestellungen übernommen von ROSS & SHUELL 1993) 	<ul style="list-style-type: none"> Kindergartenkinder, Schüler_innen Jahrgangsstufen 1, 2, 6 und 8 (n [gesamt] = 40)
ROSS & SHUELL (1993)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Studie 1: Interviewstudie Studie 2: Interviewstudie Studie 3: Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Studie 1: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer gering bis moderat seismisch aktiven Region (n = 35) Studie 2: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer moderat seismisch aktiven Region (n = 33) Studie 3: Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 - 6 aus einer seismisch moderat bis hoch aktiven Region (n = 23)
SHARP, MACKINTOCH & SEEDHOUSE (1995)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 13)

TSAI (2001)	Inwieweit greifen Schüler_innen in Taiwan zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Erleben eines schweren Erdbebens auf wissenschaftliche, inwieweit auf mythische Erklärungen zurück?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie, jeweils 2 Wochen, 2 Monate, 5 Monate und 8 Monate nach einem schweren Erdbeben in Taiwan 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 und 6 (n = 60)
SAVASCI & ULUDÜZ (2013)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Interviewstudie 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 22)
SCHOON (1989)	Wie verbreitet sind bestimmte Fehlvorstellungen in geowissenschaftlichen Kontexten? Von welchen Faktoren hängt die Verbreitung von Fehlvorstellungen ab?	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 (n = 307), 8 (n = 237) und 11 (n = 340) sowie Erwachsene, darunter Studierende (n = 226) und Berufsschüler_innen (n = 92)
OGUZ (2005)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben? Wie unterscheiden sich die Vorstellungen von Schüler_innen, die selbst Erdbeben erlebt haben, von denen der Schüler_innen, die noch keine erlebt haben? Wie unterscheiden sich Vorstellungen von Schüler_innen, die in der Schule über Erdbeben unterrichtet wurden, von denen der Schüler_innen, die noch keinen Unterricht in der Schule bezüglich Erdbeben erfahren haben? Inwieweit hängen die Vorstellungen von Erdbeben vom Alter und vom Geschlecht ab?	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 5 - 8 (n = 823); die Hälfte aus einer hochgradig erdbebengefährdeten Region (Aydin [Türkei]); die andere Hälfte aus einer Region, die nicht von Erdbeben gefährdet ist (Columbus [USA])
BULUŞ-KIRIKKAYA, ÇAKIN, İMALI, & BOZKURT (2011)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 4 und 5 (n = 96)
LEATHER (1987)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen unterschiedlichen Alters von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen im Alter von 11 - 17 Jahren (n = 200)
AYDIN & COŞKUN (2010)	Welche Vorstellungen haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> Schüler_innen Jahrgangsstufe 7 (n = 553)

RAKKAPAO, ARAYATHANITKUL, PANANONT, CHITAREE (2012)	Welches Verständnis haben Schüler_innen von Erdbeben?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler_innen (High School) (n = 171)
BARROW & HASKINS (1993)	Welches Verständnis von geowissenschaftlichen Themengebieten haben Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 186)
DELAUGHTER, STEIN, STEIN & BAIN (1998)	Mit welchen Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Themen kommen Studierende an die Universität?	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogenuntersuchung 	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende zu Beginn eines Einführungskurses in die Geologie (n = 149)
LIBARKIN, ANDERSON, SCIENCE, BEILFUSS & BOONE (2005)	Welche Vorstellungen haben Studierende am Anfang ihres Studiums zu geowissenschaftlichen Themen?	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Fragebogen (offene Fragen) vor dem Einführungskurs in die Geologie • Untersuchung 2: Interviews (von der Mitte bis zum Ende des Semesters durchgeführt). 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung 1: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 265) • Untersuchung 2: Studierende von vier verschiedenen Universitäten (n = 105)

Jüngere Schüler_innen erklären Erdbeben häufig durch klimatische Einflüsse (LEATHER 1987; ROSS & SHUELL 1993; SHARP et al. 1995; OGUZ 2005; LAÇIN-ŞİMŞEK 2007; BULUŞ-KIRIKKAYA et al. 2011; SAVASCI & ULUDÜZ 2013), durch vulkanische Aktivitäten (LEATHER 1987; ROSS & SHUELL 1993; SHARP et al. 1995; OGUZ 2005; SAVASCI & ULUDÜZ 2013) oder als Folge, wenn der Erdkern zu heiß wird und gegen die Kruste stößt (ROSS & SHUELL 1993). Zudem betrachten einige Schüler_innen den Menschen als Verursacher von Erdbeben (zum Beispiel durch Umweltverschmutzung OGUZ 2005; LAÇIN-ŞİMŞEK 2007; SAVASCI & ULUDÜZ 2013), aber einige sehen auch in Gott den Auslöser (SHARP et al. 1995; OGUZ 2005; LAÇIN-ŞİMŞEK 2007; SAVASCI & ULUDÜZ 2013). Im Gegensatz zum Themengebiet Vulkanismus bringen jedoch schon einige Schüler_innen der Primar- und Unterstufe Erdbeben mit Plattentektonik in Verbindung (LEATHER 1987; ROSS & SHUELL 1993; BULUŞ-KIRIKKAYA et al. 2011). LEATHER (1987), OGUZ (2005) und LAÇIN-ŞİMŞEK (2007) zeigen auf, dass ältere Schüler_innen zunehmend plattentektonische Prozesse in ihre Erklärung der Entstehung von Erdbeben integrieren, wenn die Thematik im Unterricht behandelt wird. Allerdings entsprechen die Sichtweisen der Schüler_innen keinesfalls der wissenschaftlichen. So äußert LAÇIN-ŞİMŞEK (2007, S. 17): „*No student has made a completely scientific explanation.*“ Viele Schüler_innen erklären die Entstehung von Erdbeben durch zwei Platten, die gegeneinanderstoßen, und aufgrund der Erschütterung beim Aufprall komme es zu Erdbeben (ROSS & SHUELL

1993). Zudem nutzen einige Schüler_innen, die Erdbeben wissenschaftsnah erklären, parallel auch Deutungen, bei denen die Entstehung von Erdbeben auf übernatürliche Kräfte zurückgeführt wird (vgl. TSAI 2001; LAÇIN-ŞİMŞEK 2007).

In den Studien, die mit Studierenden durchgeführt wurden, bringt ein großer Teil der Befragten Erdbeben mit der Plattentektonik in Verbindung. Bei LIBARKIN et al. (2005) sind dies 97 Prozent der befragten Personen. Allerdings bemängeln die Autoren, dass die Studierenden zwar in der Lage sind, Begrifflichkeiten zu nennen, aber kein tiefgehendes Verständnis erreicht hätten. So können nur wenige der befragten Studierenden erklären, was eine tektonische Platte ist. Auch BARROW und HASKINS (1993) monieren ein geringes Verständnis der Studierenden. Dieses zeigt sich in der Studie von DELAUGHTER et al. (1987) unter anderem darin, dass einige Studierende Erdbeben nur in heißen Klimaten vermuten.

Die Studien mit Lehrer_innen zeigen, dass ein Großteil von ihnen Erdbeben mit der Theorie der Plattentektonik erklärt. So halten ca. 80 Prozent der von ROSS und DARGUSH (1992) befragten Lehrer_innen die Aussagen für wahr, dass die Plattenbewegung oder der Abbau von im Gestein aufgebauten Spannungen für die Entstehung von Erdbeben verantwortlich sind. Allerdings halten auch 51 % die Aussage für richtig, dass Erdbeben entstehen, wenn die Schalen der Erde miteinander kämpfen, und einige Lehrer_innen sind der Meinung, Erdbeben entstünden, wenn der Erdkern gegen die Erdoberfläche stößt. KING (2000) bemängelt, dass über die Hälfte der befragten Lehrer_innen nicht in der Lage ist, die Verteilung von Tiefenbeben mit der Theorie der Plattentektonik zu erklären.

Da viele der Studien zu Alltagsvorstellungen zu Erdbeben quantitativ angelegt sind, erhält man wenig Einblicke zu Vorstellungen über Vorgänge an Plattengrenzen. Man kann sich daher der folgenden Einschätzung von HEMMER, RAHNER und SCHULER (2011, S. 7) zum Forschungsstand zu Alltagsvorstellungen zu Erdbeben anschließen: „Wie bei den meisten Naturrisiken fehlen auch beim Thema Erdbeben noch Studien, die eine umfassende und differenzierte Analyse von mentalen Modellen und subjektiven Theorien zum Ziel haben.“

3 Untersuchungsdesign und Fragestellungen der Studie

Im Folgenden wird mit dem Modell der didaktischen Rekonstruktion der Forschungsrahmen, der für diese Arbeit aufgrund ihrer Zielsetzung adaptiert wurde, vorgestellt (Kapitel 3.1). Darauf werden die Untersuchungsfragen für die drei Teilbereiche des Modells der didaktischen Rekonstruktion für die vorliegende Studie präsentiert (Kapitel 3.2) und das Vorgehen bei der fachlichen Klärung (Kapitel 3.3), dem Erfassen der Lernerperspektiven (Kapitel 3.4) sowie der didaktischen Strukturierung (Kapitel 3.5) erklärt. Weiterführende detaillierte Erläuterungen hinsichtlich des methodischen Vorgehens finden sich in Kapitel 4. Auf die in dieser Arbeit zur Qualitätssicherung eingehaltenen allgemeinen Gütekriterien qualitativer Sozialforschung (MAYRING 2002) wird in Kapitel 3.6 eingegangen. In Kapitel 3.7 wird schließlich die mehrere Forschungsprojekte übergreifende Fragestellung der Teilarbeit C näher ausgeführt sowie das Vorgehen bei der Beantwortung dieser Fragestellung erläutert.

3.1 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion

Übergreifendes Ziel dieser Arbeit ist es, didaktische Leitlinien zu entwickeln, um Strukturen und Prozesse des Systems Plattentektonik für Schüler_innen verständlich werden zu lassen. Als Forschungsrahmen erscheint damit das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN et al. 1997; KATTMANN 2007) geeignet. Es beruht auf der Annahme, dass Unterrichtsgegenstände nicht von der Fachwissenschaft vorgegeben werden, sondern für die pädagogische Vermittlung erst rekonstruiert werden. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion basiert auf einer konstruktivistischen Sicht auf Lernprozesse (GERSTENMAIER & MANDL 1995; RIEMEIER 2007) und erweist sich insofern als nützlicher Rahmen für die fachdidaktische Forschung, als die Theorien der Conceptual-Change-Forschung mit konkreten fachspezifischen Inhalten zusammengeführt werden. In der naturwissenschaftsdidaktischen Schülervorstellungsforschung hat sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion seit Ende der 1990er-Jahre etabliert. Mittlerweile existieren mit den Arbeiten von MÜLLER (2009), SCHULER (2011), BASTEN (2013), FELZMANN (2013), DRIELING (in Vorb.) sowie der vorliegenden Dissertation erste Arbeiten im Bereich der Geographiedidaktik, die sich diesen Forschungsrahmen zunutze machen.

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion besteht aus den drei aufeinander bezogenen Modulen fachliche Klärung, Erfassen von Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung.

Fachliche Klärung bedeutet neben der Rekonstruktion der fachlichen Vorstellungen zu einem Unterrichtsgegenstand auch die Erschließung der Genese der fachlichen Vorstellungen sowie des theoretischen Rahmens, in dem die Vorstellungen stehen. Zudem werden verwendete Metaphern und Analogien sowie Fachtermini hinsichtlich möglicher Potenziale, aber auch hinsichtlich Schwierigkeiten im Hinblick auf die Vermittlungsabsicht untersucht. Als Quellen der fachlichen Klärung werden neben Lehrbuchtexten auch Originalarbeiten, wissenschaftshistorische Arbeiten sowie kritische Stellungnahmen von Wissenschaftlern zu einem Gebiet vorgeschlagen (vgl. KATTMANN et al. 1997; KATTMANN 2007).

Beim Erfassen von Lernerperspektiven geht es darum, die innere Struktur der Vorstellungen der Schüler_innen zu einem wissenschaftlichen Themengebiet zu erfassen. Typische Vorstellungstypen sollen identifiziert werden. Dabei werden auch Grenzen der Vorstellungen, sprachliche Besonderheiten, verwendete Metaphern, Erfahrungsbereiche sowie Vorstellungen der Schüler_innen über die Wissenschaft in die Analyse einbezogen.

Bei der didaktischen Strukturierung werden die Module Erfassen von Lernerperspektiven und fachliche Klärung systematisch aufeinander bezogen. Hierbei kommt es zu einem Vergleich der Schülerperspektive mit der wissenschaftlichen Perspektive unter der Fragestellung, welche Gemeinsamkeiten es zwischen beiden Perspektiven gibt, aber auch, welche Unterschiede und Eigenheiten in den Vorstellungen jeweils zu finden sind. Mögliche Lernschwierigkeiten werden identifiziert. Darauf aufbauend kann die didaktische Strukturierung in die Entwicklung didaktischer Leitlinien, Erstellung von Unterrichtsmaterialien oder Vermittlungsexperimenten und deren Evaluation münden.

3.2 Fragestellungen der Untersuchung

In Bezug auf die didaktische Rekonstruktion der Plattentektonik ergeben sich für die drei Module fachliche Klärung, Erfassen von Lernervorstellungen und didaktische Strukturierung folgende Untersuchungsfragen:

Fachliche Klärung:

1. Welche Vorstellungen konstruieren Wissenschaftler_innen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik?
2. Auf welche Quellbereiche greifen Wissenschaftler_innen bei ihren Vorstellungskonstruktionen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik zurück?
3. Welche Bereiche bleiben durch die metaphorische Strukturierung der wissenschaftlichen Sichtweise im Verborgenen, welche Bereiche werden beleuchtet?

Erfassen von Lernerperspektiven:

1. Welche Vorstellungen konstruieren Schüler_innen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik vor der unterrichtlichen Behandlung des Themas?
2. Auf welche Quellbereiche greifen Schüler_innen bei ihren Vorstellungskonstruktionen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik zurück?

Didaktische Strukturierung:

1. Welche Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Eigenheiten lassen sich bei einem Vergleich von Wissenschaftlerperspektive mit der Schülerperspektive erkennen?
2. Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus dem Vergleich beider Perspektiven für die unterrichtliche Vermittlung von Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik ziehen?

3.3 Fachliche Klärung

Als Quellen der fachlichen Klärung werden in der vorliegenden Studie drei aktuelle Hochschullehrbücher ausgewählt. Die Entscheidung fällt aufgrund seiner Verbreitung in der Hochschullehre auf „Press/Siever. Allgemeine Geologie“ (GROTZINGER et al. 2008). Als weiteres Hochschullehrbuch wird das Werk „Allgemeine Geologie“ (TARBUCK & LUTGENS 2009) untersucht, da die Autoren sich häufig bemühen, geowissenschaftliche Phänomene mittels Analogien und Vergleichen zu erklären. In beiden Lehrbüchern wird zudem das System Plattentektonik in einer umfassenden Perspektive betrachtet. Weniger umfassend, dafür in einigen Teilbereichen detaillierter und zudem nicht aus dem angloamerikanischen Raum stammend, erscheint das Lehrbuch „Plattentektonik“ (FRISCH & MESCHEDE 2011) eine gute Ergänzung zu den beiden anderen Lehrwerken. Aufgrund eines Expertengesprächs mit Prof. Dr. Hans Keppler (Bayerisches Geoinstitut Universität Bayreuth) wird zusätzlich zur fachlichen Klärung des Plattenantriebs eine aktuelle Studie (HÖINK et al. 2011) herangezogen. Die Auswertung der Lehrwerke erfolgt gemäß den Forschungsfragen durch eine Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGISSER 2005; KRÜGER & RIEMEIER 2014) und systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT 2003; NIEBERT 2010; vgl. Kapitel 4.6). Auf diese Weise können sowohl die Vorstellungen als auch ihre Quellbereiche identifiziert werden.

3.4 Erfassen von Lernerperspektiven

Entscheidung für ein qualitatives Design

Beim Erfassen von Lernerperspektiven sind qualitative Verfahren gemäß des Erkenntnisinteresses geeigneter als quantitative Verfahren, da ein tiefes Verständnis der Denkstrukturen der Schüler_innen eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Vermittlung im Unterricht darstellt (vgl. GROPENGIESSER 1997; KATTMANN 2007; NIEBERT 2010). Zudem sind aufgrund der Unerfahrbarkeit vieler Aspekte des Systems Plattentektonik Vorstellungskonstruktionen durch metaphorische Übertragung verkörperter Begriffe zu erwarten, sodass mögliche Lernschwierigkeiten möglicherweise erst durch die Betrachtung der metaphorischen Strukturierung der Vorstellungen sichtbar werden. Eine Betrachtung der statistischen Verteilung bestimmter Vorstellungen ist hinsichtlich der Erstellung von Unterrichtsmaterialien beispielsweise für Schulbuchverlage durchaus sinnvoll (vgl. SCHUBERT 2012, S. 20 f.), erscheint jedoch ohne exakte Kenntnis der Denkstrukturen der Schüler_innen wenig Hinweise für die didaktische Strukturierung zu liefern. Aus dieser Perspektive könnte ein weiterer, sich dieser Arbeit anschließender Forschungsschritt in einer quantitativen Studie zur Verteilung der identifizierten und bereits in ihrer Tiefe verstandenen Vorstellungen bestehen. Zwar liegen zu einigen Teilbereichen des Untersuchungsgegenstandes bereits Ergebnisse vor, sodass in diesen Bereichen prinzipiell eine quantitative Untersuchung hinsichtlich der Verbreitung bestimmter Vorstellungen bei deutschen Schulen besuchenden Schüler_innen von Interesse wäre, allerdings sind die Vorstellungen meist wenig differenziert hinsichtlich ihrer Struktur erfasst und es fehlt ein Blick auf die erfahrungsbasierte Grundlage der jeweiligen Vorstellung, welche entscheidende Hinweise auf die Strukturierung von Unterricht gibt.

Zur Erfassung individueller Vorstellungen eignen sich insbesondere problemzentrierte Einzelinterviews (WITZEL 2000), da sie einen gewissen Grad an Offenheit aufweisen, um in der Planung nicht berücksichtigte Entwicklungen des Interviews zu ermöglichen, und dem/der Interviewten die Möglichkeit geben, das Gespräch gemäß dem eigenen Zugang zur Thematik zu strukturieren (vgl. NIEBERT & GROPENGIESSER 2014, S. 124 f.). Auf diese Weise entsteht bei dem/der Befragten weniger der Eindruck einer Prüfungssituation, in der Wissen Punkt für Punkt abgefragt wird. Dennoch bildet der Leitfaden eines problemzentrierten Interviews die Grundlage dafür, dass möglichst alle im Vorfeld des Interviews für wichtig erachteten Punkte angesprochen werden. So wird die Grundlage zur Vergleichbarkeit der Interviews untereinander sowie mit den Ergebnissen der fachlichen Klärung gewährleistet (vgl. DRIELING in Vorb.).

Sampling

Die Auswahl der Probanden fällt auf Schüler_innen am Ende der neunten Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums, da im Lehrplan des bayerischen Gymnasiums die Vermittlung von Grundlagen der Theorie der Plattentektonik in Jahrgangsstufe 10 vorgesehen ist (vgl. BST-MUK, ISB 2004). Zur Erfassung einer möglichst großen Bandbreite an Schülervorstellungen wird bei der Auswahl der Interviewpartner_innen die Strategie der Maximierung von Unterschieden (LAMNEK 2010) eingesetzt. So werden die Interviews an vier bayerischen Gymnasien mit divergierenden Ausbildungsrichtungen (naturwissenschaftlich, sprachlich) geführt, die sich in unterschiedlichen Regionen Bayerns befinden (Alpennähe, unmittelbare Nachbarschaft zum Egergraben, Bayreuth). Auf diese Weise sollen möglichst unterschiedliche Erfahrungen bezüglich plattentektonischer Erscheinungen sowie eine ungleiche naturwissenschaftliche Vorbildung der Schüler_innen berücksichtigt werden. Zudem wird darauf geachtet, dass an den Schulen unterschiedliche in Bayern zugelassene Schulbücher zum Einsatz kommen, weil bereits in Jahrgangsstufe 5 der Schalenbau der Erde sowie die Entstehung der Alpen und in Jahrgangsstufe 7 Vulkanismus und Erdbeben behandelt werden (vgl. BSTMUK, ISB 2004). Daneben wird angestrebt, einen möglichst ausgeglichenen Anteil weiblicher und männlicher Probanden zu befragen. Zusätzlich wird beachtet, dass maximal zwei Schüler_innen aus der gleichen Klasse interviewt werden und dass die Schüler_innen der gleichen Schule, wenn sie aus verschiedenen Klassen stammen, zuletzt auch von unterschiedlichen Lehrkräften im Fach Geographie unterrichtet wurden. Die Schüler_innen selbst werden von den Lehrer_innen über das Merkmal mittleres Leistungsniveau (Geographienote [Klasse 8] zwischen 2 und 4) kombiniert mit guten kommunikativen Fähigkeiten ausgewählt. Auf diese Weise soll aufgrund des hohen Auswertungsaufwandes und der Begrenztheit der Ressourcen die Auswahl von Extremfällen vermieden, aber auch sichergestellt werden, dass die Interviewten ihre Ideen auch verbalisieren können (vgl. GROPENGIESSER 1997). Die Anzahl der Probanden wird mit Blick auf vergleichbare Studien im Vorfeld auf zunächst 15 festgelegt, allerdings soll das Prinzip der theoretischen Sättigung (GLASER & STRAUSS 2010) eingehalten und das Führen der Interviews erst beendet werden, wenn die Aussagen der Schüler_innen redundant werden und keine neuen Erkenntnisse aus weiteren Interviews zu erwarten sind. Die im Vorfeld antizipierte Anzahl an Interviews erwies sich allerdings als ausreichend.

Auswertung

Die Auswertung der Interviews erfolgt entsprechend der Zielsetzung der Studie mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse und systematischer Metaphernanalyse. Um ein tieferes Verständnis der metaphorischen Strukturierung der Vorstellungen zu erlangen, wer-

den neben der Sprache auch die Gestik (vgl. Müller 1998; Herrera & Riggs 2013) sowie die Zeichnungen der Schüler_innen (vgl. MARSCH et al. 2007; MARSCH 2012) in deren Analyse einbezogen. Zudem wird mittels kognitionslinguistischer Analyse (GROPENGIESSER 1999; RIEMEIER 2005) des Wortes „Platte“ das lebensweltliche Verständnis des für das Erfassen von Lithosphärenplatten vermutlich zentralen Begriffs Platte untersucht. Dies soll zum einen dazu verhelfen, die Vorstellungskonstruktionen der Schüler_innen tiefer in ihrer Struktur zu durchdringen, zum anderen sollen auf diese Weise mögliche bei der metaphorischen Übertragung von Elementen der Basiskategorie Platte auf den Zielbereich Lithosphärenplatten entstehende Lernschwierigkeiten antizipiert werden.

3.5 Didaktische Strukturierung

Im Rahmen der didaktischen Strukturierung werden die Vorstellungen der Schüler_innen mit denen der Wissenschaftler_innen in Beziehung gesetzt und aus dem wechselseitigen Vergleich dieser Perspektiven didaktische Leitlinien entwickelt. Aufgrund der Abstraktheit des geowissenschaftlichen Phänomens Plattentektonik sollen hierbei insbesondere die Aktivierung geeigneter kinästhetischer Schemata und Basiskategorien durch einen sorgfältigen Einsatz von Sprache, Gestik und Abbildungen ein Verständnis der fachwissenschaftlichen Sichtweise ermöglichen.

3.6 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Wesentliche Gütekriterien qualitativer Sozialforschung (MAYRING 2002) werden im Rahmen dieser Arbeit als Maßnahme zur Qualitätssicherung beachtet. Verfahrensdokumentation (MAYRING 2002) wird durch die Dokumentation des Forschungsprozesses erreicht. Durch eine theoriegeleitete Explikation der Schüleraussagen wird eine argumentative Interpretationsabsicherung (MAYRING 2002) hergestellt. Der Einsatz vereinheitlichter Analyseinstrumente (qualitative Inhaltsanalyse, systematische Metaphernanalyse, Analyse der Gestik) ermöglicht eine regelgeleitete Datenanalyse (MAYRING 2002). Die Nähe zum Gegenstand (MAYRING 2002) wird hergestellt, indem die Schüler_innen darüber informiert werden, dass die Ergebnisse der Untersuchung einer Verbesserung des Geographieunterrichts dienen und sie somit dazu beitragen können, dass Schüler_innen geographische Themen besser verstehen. Zudem wird großer Wert darauf gelegt, eine angstfreie Atmosphäre zu schaffen. Mittels einer Struktur-Lege-Technik (SCHEELE et al. 1992) wird eine kommunikative Validierung (MAYRING 2002) durchgeführt. Eine Triangulation erfolgt sowohl durch den Einsatz unterschiedlicher Analysemethoden als auch durch die Interpretation der Daten in

Gruppen (Arbeitskreis Schülervorstellungsforschung im HGD Nachwuchs; vgl. STEINKE 2008).

3.7 Weiterführende Fragestellung

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde erst in jüngster Zeit in der geographie-
didaktischen Forschung in Untersuchungen zu Schülervorstellungen systematisch einbezogen.
Inklusive der vorliegenden Studie sind jetzt mit den Studien von BASTEN (2013) und FELZ-
MANN (2013) drei Arbeiten vorhanden, die im Rahmen des Modells der didaktischen Rekon-
struktion Schülervorstellungen und Wissenschaftlervorstellungen unter dieser theoretischen
Perspektive analysieren.

In einer untersuchungsübergreifenden Reanalyse wird der Frage nachgegangen, inwiefern es
möglich ist, mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens Aussagen über domä-
nenspezifische Kategorien von Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten zu
treffen. Ausgangspunkt der Analyse bildet die von CHEEK (2010) in ihrem Review-Artikel zu
Alltagsvorstellungen getätigte Feststellung, dass viele Verständnisschwierigkeiten in geowis-
senshaftlichen Kontexten durch eine unsachgemäße Übertragung von Alltagswissen entste-
hen können (CHEEK 2010). Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann einen guten
Erklärungsrahmen für Ursache und Formen solch unangemessener Übertragungen darstellen.
Aus einer Gegenüberstellung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und den Spezi-
fika geowissenschaftlicher Sachverhalte werden deduktiv vier Hypothesen zu Kategorien von
Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten entwickelt. Die Ergebnisse der drei
genannten geographiedidaktischen Studien werden unter der Fragestellung reanalysiert, ob
diese vier deduktiv entwickelten Kategorien geeignet sind, Lernschwierigkeiten der Schü-
ler_innen zu erklären.

4 Erläuterungen zur Methodik

Das methodische Vorgehen beim Erfassen der Lernerperspektive wurde bereits in Teilarbeit 1 beschrieben. An dieser Stelle werden einige Bereiche des methodischen Vorgehens näher erläutert, die aus Platzgründen in Teilarbeit 1 nicht detaillierter dargestellt werden konnten. Die Ergänzungen erfolgen zu den Bereichen Interviewleitfaden, kommunikative Validierung, Aufbereitung und Auswertung der Interviews. Zudem wird das Vorgehen der fachlichen Klärung näher beschrieben.

4.1 Der Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden besteht aus dreizehn Teilbereichen, die in Kasten 1 aufgelistet sind. Der komplette Leitfaden findet sich im Anhang dieser Arbeit.

Kasten 1: Die dreizehn Teilbereiche des Interviewleitfadens

1. Erdbeben
2. Platten
3. Aufbau der Erde
4. Gebirge
5. Tsunamis
6. Vulkanismus
7. Plattengrenzen
8. Kontinente und Ozeane
9. Erkenntniswege der Geowissenschaften
10. Verortung geowissenschaftlicher Phänomene
11. Magmatische Gesteine
12. Schwimmen und Sinken
13. Konvektion

Die Themenbereiche sowie die sich ergebenden Interviewfragen wurden auf Basis einer ersten Durchsicht der in der fachlichen Klärung genutzten Hochschullehrbücher (GROTZINGER et al. 2008; TARBUCK & LUTGENS 2009; FRISCH & MESCHÉDE 2011) sowie der bereits vorhandenen Ergebnisse der Vorstellungsforschung ausgewählt. Durch Letzteres sollte gezielt ein besseres Verständnis bereits in anderen Untersuchungen identifizierter Vorstellungen durch vertiefende Fragestellungen erreicht, aber auch Vorstellungen zu bislang nicht erforschten The-

menbereichen erfasst werden (vgl. NIEBERT & GROPENGIESSER 2014). Die Frage nach der Lage der Platten in Bezug auf den Aufbau der Erde ist entnommen aus LIBARKIN et al. (2005). Die Aufforderung, das Relief einer Wanderung durch den Ozean zu zeichnen, entstammt KORTZ und SMAY (2010, S. 14). Durch die breite Anlage der Untersuchung sollte vielfältiges Material zur Vorstellungswelt der Schüler_innen im Bereich der Geowissenschaften gesammelt werden mit dem Ziel, zumindest einen Teil der konzeptuellen Ökologie der Schüler_innen zu erfassen (vgl. STRIKE & POSNER 1992).

Der Leitfaden wurde in einer mehrstufigen Pilotphase (vgl. MAYRING 2002; FRIEBERTSHÄUSER & LANGER 2010) weiterentwickelt und mit Experten aus Fachdidaktik und Fachwissenschaft mehrfach diskutiert.

Der erste Themenbereich des Leitfadens, der im Interview angesprochen wird, ist Themenbereich „Erdbeben“. Erdbeben sind vielen Schüler_innen aus den Medien vertraut. Somit steht am Anfang des Interviews ein Bereich, bei dem die Schüler_innen gut in das Reden über ihre eigenen Vorstellungen hineinkommen. Zudem verbanden alle Schüler_innen der Pilotphase Erdbeben mit tektonischen Platten, sodass ein solcher Einstieg in das Interview die Möglichkeit eröffnete, die Schüler_innen in ihren Vorstellungen zu Lithosphärenplatten zunächst einmal da abzuholen, wo sie stehen, bevor ihnen weitere vertiefende und sie anfangs vielleicht verunsichernde Fragen gestellt werden. Der zumeist im Anschluss erfolgende Übergang zu Themenbereich 2 „Platten“ ist sehr offen gestaltet. Die Schüler_innen werden aufgefordert, frei ihre Vorstellungen zu Lithosphärenplatten zu äußern und weitere Bereiche zu nennen, welche sie mit Lithosphärenplatten in Verbindung bringen. Hieraus können Anschlusspunkte für den weiteren Verlauf des Interviews erfolgen, zum Beispiel Themenbereich 4 „Gebirgsbildung“ oder Themenbereich 7 „Kontinente und Ozeane“. Somit ist insbesondere beim Themenbereich zwei ein Springen zu anderen Themenbereichen immer möglich. Die Reihenfolge der weiteren Themenbereiche ergibt sich aus dem Gespräch. Lediglich die Themenbereiche „Konvektion“ und „Schwimmen und Sinken“ werden immer am Ende des Interviews behandelt, damit diese die Vorstellungskonstruktionen der Schüler_innen zu den anderen Bereichen nicht beeinflussen. Zudem werden, wenn der/die Interviewte das Gespräch nicht von alleine auf für diese Untersuchung relevante Themenbereiche hinführt, Überleitungen vonseiten des Interviewers immer in der Art vorgenommen, dass deutlich wird, es wird im Folgenden ein neuer Bereich zum Thema Vorstellungen im Bereich Geographie gewählt, der aber nicht zwangsläufig etwas mit dem vorherigen zu tun hat.

Die einzelnen Themenbereiche werden immer durch eine offene Einstiegsfrage (WITZEL 2000; NIEBERT & GROPENGIESSER 2014, S. 122) eröffnet, welche der interviewten Person zu-

nächst Raum gibt, frei ihre Assoziationen äußern zu können. Beispielsweise beginnt der Themenbereich Vulkanismus mit der Fragestellung: „Du hast ja bestimmt schon einmal etwas von Vulkanen gehört. Was ist denn eigentlich ein Vulkan?“ Es folgen vertiefende Fragestellungen, die zum einen den/die Interviewte veranlassen sollen, das Vorgestellte zu erläutern, und zum anderen gewährleisten, dass alle für die Zielsetzung der Untersuchung relevanten Fragestellungen behandelt und die Ergebnisse der Interviews mit denen der fachlichen Klärung vergleichbar werden (vgl. GROPENGIESSER 1997). Dies können Aufgabenstellungen mit oder ohne Material sein, wie beispielsweise die Aufgabe: „Zeichne bitte auf, wie deiner Meinung nach ein Vulkan aussieht.“ Es sind zudem vertiefende Interventionen möglich wie beispielsweise: „Du hast erwähnt, dass Erdbeben durch die Kollision von Erdplatten entstehen. Was stellst du dir denn unter einer Erdplatte vor?“, aber auch Validierungsinterventionen. Letztere sind darauf ausgerichtet, mehrere Schüleräußerungen zu einem Themenbereich zu erfassen, um auf diese Weise eine interne Validierung zu erreichen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass Schüler_innen zunächst erklären sollen, wieso es Gebirge gibt. In einem weiteren Schritt zeichnen Schüler_innen ihre Vorstellungen zur Gebirgsbildung. Schließlich wird der/die Interviewte aufgefordert, seine/ihre Zeichnung zu erklären und dabei seine/ihre Vorstellung zur Gebirgsbildung zusammenzufassen. Der Leitfaden ist nicht als starres Gerüst zu betrachten, auch Ad-hoc-Fragen sind zulässig, da sie einen Blick auf Bereiche ermöglichen können, die in der vorangegangenen Planung nicht bedacht wurden und sich dennoch als relevant erweisen können (vgl. NIEBERT & GROPENGIESSER 2014, S. 125).

Auch die Konstruktion des Interviewleitfadens erlaubt einen direkten Blick in das metaphorische Verständnis der Schüler_innen. An einigen Stellen des Leitfadens werden Schüler_innen aufgefordert, eigene Vergleiche oder Analogien zu entwickeln (vgl. GROPENGIESSER 2007, S. 113). So sollen Schüler_innen beispielsweise die Bewegung der Lithosphärenplatten mit etwas vergleichen, das ihnen aus der Alltagswelt bekannt ist. Hierbei sollen sie jeweils selbst Potenziale, aber auch Grenzen der metaphorischen Übertragung beleuchten.

Zeichnungen als Erhebungsverfahren von Schülervorstellungen werden eingesetzt, da Vorstellungen nicht nur symbolisch abstrakt, sondern auch analog in Form mentaler Modelle codiert sind (vgl. SCHNOTZ 2006). Die Erhebung von Vorstellungen mittels Zeichnungen ist daher ein in der Erforschung von Alltagsvorstellungen häufig verwendetes Verfahren (z. B. REINFRIED 2005; REMPFLER 2010; SCHUBERT 2012; BASTEN 2013; REINFRIED & TEMPELMANN 2014). In den meisten Untersuchungen hinsichtlich Alltagsvorstellungen zum Aufbau der Erde werden die Befragten aufgefordert, ihre Vorstellung in einer Zeichnung festzuhalten (vgl. Kapitel 2.2), SIBLEY (2005) erfasst die Vorstellungen Studierender zu den Vorgängen an einer

konvergenten Plattengrenze mittels Zeichnungen und auch einige Untersuchungen im Themenbereich Alltagsvorstellungen zu Vulkanismus bedienen sich dieses Verfahrens (z. B. HEMMERICH & WILEY 2002). Die Zeichnungen sollen es Schüler_innen erleichtern, ihre Vorstellungen zu verdeutlichen, und tragen insbesondere bei räumlichen Bezügen dazu bei, das Vorgestellte zu präzisieren. In den Interviews wird Wert darauf gelegt, dass die Schüler_innen ihre Zeichnung auch erklären, da eine alleinige Interpretation von Zeichnungen anfällig für mögliche Fehlinterpretationen ist (vgl. GROSS 2007, S. 49).

4.2 Durchführung

Die Schüler_innen erfahren im Vorfeld und zu Beginn des Interviews lediglich, dass es um ihre Vorstellungen zu Teilbereichen der Geographie geht, und nicht, dass es sich um Vorstellungen um die Plattentektonik handelt. Auf diese Weise bleibt es möglich, dass Schüler_innen beispielsweise Vulkanismus überhaupt nicht mit Plattentektonik in Verbindung bringen. Bei der Durchführung wird Wert darauf gelegt, dass eine vertraute und entspannte Gesprächssituation entsteht (vgl. MAYRING 2002, S. 69; NIEBERT & GROPENGIESSER 2014, S. 122). Apfelsaftschorle, Schokolade und Kekse sorgen für gewisse Annehmlichkeiten während des Gesprächs. Der/die Interviewte wird darüber aufgeklärt, dass es sich um eine Untersuchung handelt, die darauf abzielt, den Geographieunterricht für Schüler_innen verständlicher zu machen. Dazu sei es wichtig herauszufinden, wie Schüler_innen über geowissenschaftliche Themen denken. Auf diese Weise wird dem/der Befragten der Zweck der Studie verständlich und er/sie wird zugleich motiviert mitzuarbeiten. Die Schüler_innen werden aufgefordert, über ihre eigenen Vorstellungen zu dem jeweiligen Gegenstandsbereich zu sprechen. Sie werden darauf hingewiesen, dass in diesem Sinne nichts falsch sein kann, was sie sagen (vgl. TREND et al. 2000; NIEBERT & GROPENGIESSER 2014, S. 124).

4.3 Kommunikative Validierung

Aufgrund der Annahme, dass Schüler_innen zu Erdbeben, Vulkanismus und Gebirgsbildung tiefer verankerte Vorstellungen haben als zu vielen anderen Teilbereichen, werden diese Bereiche Gegenstand der kommunikativen Validierung. Fest verankerte Vorstellungen gelten als besonders resistent hinsichtlich der Vermittlung der wissenschaftlichen Sichtweise (vgl. HÄUSSLER et al. 1988). Die kommunikative Validierung wird im Rahmen eines zweiten Termins bis zu sieben Tagen nach dem eigentlichen Interview mittels einer dem Niveau der Altersgruppe angepassten Form der Struktur-lege-Technik (SCHEELE, GROEBEN & CHRISTMANN 1992) durchgeführt. Bei dieser Form der Struktur-lege-Technik werden die eingesetz-

ten Relationen in eine für Schüler_innen verständliche Alltagssprachliche Umschreibung übersetzt und die Anzahl der verwendeten Relationen beschränkt (vgl. SCHEELE et al. 1992, S. 154). Bei der vorliegenden Arbeit erfolgt der Einsatz von 10 Kernrelationen und 9 Ergänzungsrelationen (vgl. Tabelle 9). Mit Ausnahme der Relationen „führt möglicherweise zu“ sowie der bei räumlichen Sachverhalten relevanten Relation „zum Beispiel in“ werden alle Relationen aus SCHEELE et al. (1992, S. 172 ff.) übernommen. Der für die vorliegende Untersuchung ausgewählte Pool an Relationen ergibt sich sowohl aus der fachlichen Struktur des Themas als auch aus den Schülervorstellungen der Pilotphase. In dieser wurde zudem deutlich, mit welchen Relationen Schüler_innen Schwierigkeiten haben bzw. welche Relationen noch ergänzt werden mussten.

Tab. 9: Eingesetzte Kern- und Ergänzungsrelationen

Kernrelation	Steht für
das ist/das sind/ das heißt	eine Erklärung, was ein bestimmtes Wort (ein bestimmter Begriff) bedeutet
Und	die verbindende Aneinanderreihung von Worten (Begriffen) und Sätzen
Oder	verschiedene Möglichkeiten, was ein Wort (Begriff) bedeuten kann. Die Möglichkeiten können sich gegenseitig ausschließen (im Sinne von `entweder-oder´), müssen es aber nicht (im Sinne von `oder-auch´)
zum Beispiel	Dinge oder Ereignisse, die als Beispiel für den gemeinten Begriff in der Realität gesehen werden können
zum Beispiel in	Orte, an denen die gemeinten Begriffe in der Realität auftreten oder auftreten sollten
führt zu	für die Verbindung von Ursache und Wirkung.
führt möglicherweise zu	für die Verbindung von Ursache und einer möglichen Wirkung
nur, wenn auch	eine Bedingung, die von der Ursache einer `führt zu´-Verbindung unabhängig ist, aber vorhanden sein muss, damit diese `führt zu´-Verbindung auch wirklich eintritt (gilt)

und dann	für einen Ablauf oder einen Schritt, der sich an ein anderes schon beschriebenes Ereignis/Handlung anschließt, ohne dass der vorhergehende Schritt die Ursache des nächsten ist
indem	einen Teilschritt innerhalb von Handlungen/Abfolgen, wenn die jeweilige Gesamthandlung/Abfolge aus mehreren Teilhandlungen/Schritten zusammengesetzt ist
Ergänzungsrelation	Steht für
erkennbar an	Zeichen oder Signal für etwas, was mit einem bestimmten Wort in der Realität gemeint ist
Unterkategorie/Oberbegriff	Unterkategorien zu einem Begriff, der in Bezug auf diese Kategorien einen Oberbegriff darstellt
nur, wenn nicht	zusätzliche Bedingung (wie im Falle des `nur, wenn auch´, die aber nicht vorliegen darf, damit eine `führt zu´-Verbindung eintritt (gilt)
damit, um zu	das Ziel, das wir mit einer Handlung erreichen wollen. Dabei kommt es nicht darauf an, ob das Ziel auch in Wirklichkeit erreicht wird
je mehr, desto mehr je weniger, desto weniger	Ursache und Wirkung (ähnlich der `führt zu´-Beziehung), allerdings werden diese bei diesen Relationen noch näher definiert. Kärtchen ist nur in eine Richtung lesbar
je weniger, desto mehr. je mehr, desto weniger	Ursache und Wirkung (ähnlich der `führt zu´-Beziehung), allerdings werden diese bei diesen Relationen noch näher definiert. Kärtchen ist nur in eine Richtung lesbar
vergleichbar mit	etwas, was man mit dem Begriff/Wort/Ereignis vergleichen kann

Im Anschluss an die Interviews erhalten die Schüler_innen eine Erklärung des Vorgehens bei der kommunikativen Validierung (vgl. SCHEELE & GROEBEN 1988, S. 63). Diese erfolgt am Beispiel Zähneputzen. Hierbei werden alle in der kommunikativen Validierung eingesetzten Relationen anschaulich erklärt. Die Erklärungen stammen aus SCHEELE et al. (1992, S. 172

ff.) und wurden leicht verändert und ergänzt. Die Schüler_innen haben die Aufgabe, sich zu Hause mit der Struktur-lege-Technik vertraut zu machen. Bei der Durchführung der Struktur-lege-Technik werden zunächst offene Fragen anhand des Beispiels Zähneputzen geklärt. Hierbei wird die Bedeutung aller Relationen mit den Schüler_innen besprochen und die Durchführung des Legens von Strukturen am Beispiel Zähneputzen eingeübt.

Die Vorbereitung der kommunikativen Validierung seitens des Interviewers erfolgt auf Basis des wiederholten Anhörens großer Teile des Interviews. Für die Erklärung der validierten Bereiche werden zentrale Begriffe auf kleine Kärtchen geschrieben und mithilfe der ebenfalls auf kleinen Kärtchen stehenden Relationen wird die Struktur der Vorstellung zunächst durch den Interviewer selbst gelegt (vgl. DRIELING in Vorb.).

Bei der Durchführung erhalten die Schüler_innen insofern eine Hilfestellung, als ihnen vorgeschlagen wird, die Kärtchen zunächst nach Ursachen des zentralen Ereignisses (links), Beschreibung des zentralen Ereignisses (Mitte) sowie den Folgen des zentralen Ereignisses (rechts) zu ordnen. Zudem ist es ihnen möglich, Ergänzungen durch die Beschriftung bereitgestellter leerer Kärtchen vorzunehmen (vgl. DRIELING in Vorb.). Neben dem Legen einer Struktur bekommen die Schüler_innen zusätzlich die Aufgabe, eine Bewertung ihrer Vorstellung hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit vorzunehmen. So sollen sie Strukturen, bei denen sie sich hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit sehr unsicher sind, mit einem roten Punkt markieren und Strukturen, bei denen sie sich hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit sehr sicher sind, mit einem grünen Punkt markieren. Trifft keines der beiden Extreme zu, so soll keinerlei Markierung vorgenommen werden. Das Ergebnis wird im Anschluss jeweils mittels Fotografie gesichert.

4.4 Vorgehen bei der Aufbereitung der Interviews

4.4.1 Transkription der Interviews

Die Transkription erfolgt in Anlehnung an das von GROPENGIESSER (2005, S. 176 ff.) für die Aufbereitung von Schülerinterviews vorgeschlagene Verfahren. Die Transkription der Interviews ist auf inhaltstragende Passagen beschränkt. So werden beispielsweise die Einleitung des Interviews oder gegebenenfalls auftretende Störungen nicht transkribiert. Es erfolgt eine „Übertragung in normales Schriftdeutsch“ (MAYRING 2002, S. 91), da das Erkenntnisinteresse allein auf die inhaltlichen Äußerungen der Schüler_innen ausgerichtet ist. Dies bedeutet, dass die Interviews von Dialekt bereinigt werden. Der Stil der Interviews sowie mögliche Fehler im Satzbau bleiben aber erhalten. Auch Pausen und Rezeptionssignale werden notiert, da sie

ein Licht auf die Vertrautheit des/der Interviewten mit dem Gesprächsgegenstand werfen können. In einem letzten Schritt werden weitere Kommentierungen der Transkription beigefügt, sofern sie dem inhaltlichen Verständnis dienen. Beispielsweise werden Äußerungen, bei denen Schüler_innen leiser sprechen, gepunktet unterstrichen, da ein Leiserwerden der Stimme auf eine gewisse Unsicherheit schließen lässt. Zudem werden auch nicht sprachliche Äußerungen oder Vorgänge/Handlungen [in eckigen Klammern] notiert, wenn diese zum inhaltlichen Gesamtverständnis beitragen. Hierunter fallen beispielsweise deiktische Gesten (MCNEILL 1992, S.18), die auf einen konkreten Referenten verweisen, beispielsweise wenn ein/eine Befragte auf einen bestimmten Bereich seiner/ihrer Zeichnung zeigt, aber auch referentielle Gesten (MÜLLER 1998, S. 110 ff.), bei denen durch die bildliche Darstellung eines konkreten Quellbereichs das metaphorische Verständnis eines abstrakten Zielbereichs deutlich wird und die in dieser Arbeit daher als metaphorische Gesten bezeichnet werden (vgl. Kap. 3.2.3). Die metaphorischen Gesten werden zudem mittels Screenshot festgehalten. Erfolgt ein Screenshot, so wird dieser in einer Fußnote, wie unten beispielhaft angeführt, mit einer Nummer vermerkt.¹ Die Screenshots werden in einer eigenen Datei gespeichert. Zur Wahrung der Anonymität der Interviewpartner_innen werden bei der Transkription alle Namen verändert (vgl. KRÜGER & RIEMEIER 2014, S. 135). Durch die Überführung der Daten in die Auswertungssoftware MAXQDA werden automatisiert nummerierte Abschnitte gebildet, sodass man bei der weiteren Verwendung der Daten sehr einfach die jeweilige Schüleraussage wiederfinden kann. Tabelle 10 bietet eine Übersicht über die verwendeten Transkriptionsregeln.

Tab. 10: Transkriptionsregeln

Zeichen	Bedeutung
S	Schüler_in
I	Interviewer
- - -	Jeder Strich steht für eine Pause von einer Sekunde
Mh	Zweigipfliges Rezeptionssignal, neutral bis zustimmend
[zeichnet]	Nicht sprachliche Vorgänge (Gesten, Störungen, Handlungen)
<u>Stein</u>	Schüler_in spricht leise

¹ Screenshot 1

²	An dieser Stelle erfolgte ein Screenshot (vgl. Fußnote)
(unverständlich)	Aussage nicht verständlich
! , ?	Zur Verbesserung der Lesbarkeit (sparsam) eingesetzte Satzzeichen

4.4.2 Redigieren der Interviews

Die Transkripte werden in Anlehnung an GROPENGIESSER (1997, S. 106 f.; 2005, S. 178 ff.) und KRÜGER & RIEMEIER (2014, S. 138) in vier Schritten redigiert, damit die Schüleraussagen lesbarer und pointierter werden (vgl. GROPENGIESSER 1997, S. 107; KRÜGER & RIEMEIER 2014, S. 138). Als Erstes werden die Aussagen selektiert, die Bedeutung hinsichtlich der Forschungsfrage haben. Diese finden sich manchmal inmitten von Aussagen, die das Forschungsthema nicht berühren. Erhalten bleiben auch die in eckigen Klammern befindlichen Hinweise auf nonverbale Äußerungen der Schüler_innen. Die Aussagen werden in Sinnabschnitte gegliedert. Es wird jeweils angegeben, auf welche Abschnitte des Interviews sich die Schüleraussagen beziehen, sodass die Herkunft der Schüleraussagen transparent bleibt. In einem zweiten Schritt kommt es zu einem Auslassen von Redundanzen und Füllseln. So werden beispielsweise direkte Wiederholungen oder mehrfache Anläufe, einen Satz zu formulieren, aus dem Text gestrichen. Wird ein Phänomen von einer interviewten Person mit unterschiedlichen Ausdrücken (Begriffen) beschrieben, so werden diese wie hier beim Beispiel Ausdrücke (Begriffe) in Klammern gesetzt. Der dritte Schritt beinhaltet eine Überführung des Textes in unabhängige Aussagen des/der Interviewten. Dies bedeutet, dass die Frage-und-Antwort-Struktur des Textes in eigenständig zu verstehende Aussagen des/der Befragten umgewandelt wird, ohne dass dabei der Kontext verloren geht. Der vierte und letzte Schritt beinhaltet das Paraphrasieren der Lernaussagen. Hierbei kommt es zu einer grammatikalischen Glättung der Schüleraussagen, ohne die Sprache der interviewten Person zu verändern, da diese ein wichtiges Fenster auf das metaphorische Verständnis der Schüler_innen darstellt.

² Screenshot 2

4.5 Vorgehensweise bei der Auswertung der Interviews

4.5.1 Ordnen der Aussagen

Das Ordnen der Aussagen erfolgt in Anlehnung an GROPENGIESSER (1997; 2005) sowie KRÜGER und RIEMEIER (2014). Als Erstes werden die Aussagen einer befragten Person nach Themenbereichen geordnet. Hierbei erfolgt zunächst eine Zuordnung zu den Teilfragestellungen der Untersuchung mittels der Auswertungssoftware MAXQDA. Eine Aussage kann auch mehreren Teilfragestellungen zugeordnet werden. Im nächsten Schritt werden alle Aussagen zu einer Fragestellung betrachtet und kohärente Aussagen unter einer Überschrift, die eine vorläufig formulierte Vorstellung benennt, gesammelt. Hierbei werden auch die Argumentationen und mögliche widersprüchliche Aussagen berücksichtigt. Die Herkunft der Schüleraussagen wird durch Festhalten der Abschnittsnummern der Transkripte vermerkt. Als Nächstes erfolgt das Bündeln bedeutungsgleicher Aussagen. So werden an unterschiedlichen Stellen des Interviews getätigte wiederholte Aussagen gestrichen, unterschiedliche, im gleichen Kontext getätigte Wortwahl wird (in Klammern) jeweils vermerkt. Die Eigenheiten der Sprache des/der Interviewten bleiben erhalten. Der letzte Schritt beinhaltet die Sequenzierung der Lernaussagen. Diese werden in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht, ohne dass die Argumentationsketten der Schüler_innen zerstört werden. In einem letzten Schritt werden die Schülerzeichnungen der jeweiligen vorläufig beschriebenen Vorstellung zugeordnet.

4.5.2 Verallgemeinerung und Explikation der Schülervorstellungen

Zunächst erfolgt eine der Kategorienbildung vorangestellte Kurzexplikation der vorläufig formulierten Vorstellungen in tabellarischer Form. Diese dient der Offenlegung des individuellen Verständnisses und der Formulierung individueller Vorstellungen. Die Erschließung der individuellen Denkstrukturen sowie der mit dieser einhergehenden Analyse der Kontexte, in denen eine Vorstellung geäußert wird, stellt eine wichtige Grundlage zur Kategorisierung von Schülervorstellungen dar, da die in den einzelnen Kategorien ersichtlichen Denkmuster einschließlich typischer Kontexte auf diese Weise besser erkannt und tiefer verstanden werden können. Auf der Ebene der verallgemeinerten Vorstellungen erfolgt schließlich eine weitere, ausführliche Explikation, da ein Verständnis der verallgemeinerten Vorstellungen die Basis des Vergleichs der Lernerperspektive und der darauf aufbauenden didaktischen Strukturierung bildet (vgl. FELZMANN 2013, S. 129).

4.5.2.1 Kurzexplikation der Einzelinterviews

Die aus den Einzelinterviews unter vorläufig formulierten Vorstellungen zusammengefassten Schüleraussagen werden in tabellarischer Form einer Kurzexplikation unterzogen, die der Vorbereitung der Kategorienbildung dient. Ein Beispiel hierzu findet sich in Tabelle 11.

Tab. 11: Beispiel für eine tabellarisch erfolgte Einzelexplikation

Fragestellung: Was befindet sich unterhalb der Platten?		
<p>Christoph: Unterhalb der Platten befindet sich zähflüssige Lava.</p> <p>147-162,165-173,174-180,181-190,199-202,203-208,209-220,221-224,225-232,277-278,289-294,333-342,373-380,381-394,469-470,597-600,601-621,734-749,1167-1170,1301-1309</p> <p>Da sind die Platten, die schwimmen, die driften. Das hat unser Erdkundelehrer gesagt. Die driften auf diesem flüssigen Etwas (flüssigen Kern, dieser flüssigen Hülle). [deutet auf Kreis um innersten Kreis] Das ist halb flüssig (flüssig, zähflüssig). Ich würde das Erdinnere mit der Rohmasse bei der Glasherstellung (Glasrohmasse) vergleichen. So wie Lava ist. Da schwimmen noch Gesteinsbrocken drin. Die Lava unter den Platten ist geschmolzener Stein, vielleicht Kalkstein (Kalk). Da sind noch Erze und alles Mögliche, was das Erdreich bietet. Die Platten sind das Ganze in fest. Ich stelle es mir so vor, dass es hier die Platten gibt, da die Hitze da nicht gegeben ist, die innen herrscht. Weil das Gestein nicht der Hitze ausgesetzt ist, kann es nicht flüssig sein und ist dadurch noch fest. Ab einer gewissen Hitze fängt jeder Körper das Flüssigwerden und das Sieden an. Bei Vulkanausbrüchen kommt das Magma oder die Lava durch die Kanäle durch die Platte nach oben.</p>		
Inhaltliches Verständnis	Unterhalb der Platten befindet sich im Erdinneren Lava, auf der die Platten schwimmen. Lava wird als halbflüssig bzw. zähflüssig charakterisiert. Lava ist geschmolzenes Gestein. In der Lava im Erdinneren schwimmen noch Gesteinsbrocken herum.	
Kontext	Aufbau Erdinneres, Woher stammt das Magma bei Vulkanausbrüchen?, Aufstieg Magma, Vergleich Erdinneres, Ursachen Plattenbewegung, Beschreibung Plattenbewegung, Isostasie, Zeichnung Vulkan	
Schwierigkeit/bestehende Probleme/Brüche	Einmal spricht der Schüler von flüssig, ein anderes Mal von halb- oder zähflüssig in Bezug auf Lava. Die Charakterisierung als flüssig passt weniger zu sonstigen Vorstellungen des Schülers (z. B. zum Vergleich mit Glasrohmasse), sodass davon auszugehen ist, dass es sich wohl eher um eine sprachliche Ungenauigkeit handelt.	
Kommunikative Validierung		
	<p>Stabilisierende Faktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Platten schwimmen (driften)(Auskunft Erdkundelehrer). - Vulkanismus deutet darauf hin, dass unterhalb der Platten Magma ist. 	<p>Destabilisierende Faktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> -
Sprachliche Besonderheiten	Der Bereich unterhalb der Platten wird als „Hülle“ bezeichnet. Manchmal wird auch das gesamte Erdinnere als Kern bezeichnet. Schüler spricht von „Kanälen“, durch die Lava durch die Platten nach oben gelangt. Lava und Magma werden nicht weiter unterschieden. Der Schüler verwendet den Begriff Erdreich für Bereiche unterhalb der Platten.	
Explizit verwendete Analogien/Vergleiche	Vergleich der Konsistenz des Erdinneren unterhalb der Platten mit Glasrohmasse	
Medial vermittelte Erfahrung		
Bezug auf im Unterricht vermittelte wissenschaftliche „Fakten“	Platten driften (Auskunft durch Erdkundelehrer).	
→	Vulkanismus, Plattenbewegung, Aufbau des Erdinneren	

Die Schritte der Kurzexplikation sind angelehnt an GROPENGISSER (2005). Zunächst wird das inhaltliche Verständnis der Schüleraussagen auf einer unterrichtsrelevanten Ebene beschrieben. Charakteristika der Vorstellung werden herausgearbeitet. Als Nächstes werden die Kontexte, in denen die interviewte Person seine/ihre jeweilige Vorstellung äußert, gesammelt, da eine Vorstellungskonstruktion auch kontextbedingt erfolgen kann. Bei kommunikativer Validierung des Bereichs erfolgt eine Wiedergabe der Struktur der validierten Aussagen sowie der von dem/der Interviewten getätigten Einschätzung hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der von ihm/ihr getätigten Aussagen. Hieraus können Schlüsse hinsichtlich der Tiefe der Verankerung einer Vorstellung gezogen werden. Im nächsten Schritt werden Schwierigkeiten, bestehende Probleme und Brüche in den Schüleraussagen herausgearbeitet. Hierbei werden auch alternative Konzepte, die Schüler_innen zur gleichen Frage in anderen Kontexten konstruieren, samt der Nennung der Kontexte dargestellt. Es folgt das Herausarbeiten von die Vorstellung stabilisierenden und destabilisierenden Faktoren aus den Schüleraussagen, da diese wichtige Hinweise für die didaktische Strukturierung liefern (vgl. FELZMANN 2013), sowie Hinweise auf Themenbereiche, bei denen die Vorstellungen ebenfalls aufgegriffen und besprochen werden (letzte Zeile in der Tabelle, s. Tab. 11).

In einem nächsten Schritt werden insbesondere vor dem Hintergrund des theoretischen Rahmens dieser Arbeit, der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, mögliche Quellen und Besonderheiten des Schülerverständnisses auf Basis einer Untersuchung der Sprache herausgearbeitet. Hierzu erfolgt zunächst die Erfassung sprachlicher Besonderheiten, etwa wenn eine befragte Person eigene Bezeichnungen kreiert wie beispielsweise „Wasserplatten“ für Platten, welche ausschließlich die Ozeanböden bilden. Daraufhin werden explizit genutzte Vergleiche und Analogien herausgearbeitet. Als weitere Quellen der Vorstellungen werden vom/von der Interviewten genannte mediale Erfahrungen sowie noch einmal gesondert schulische Erfahrungen gesammelt. Den Abschluss der Einzelexplikation bilden eine Bewertung und gegebenenfalls eine Neuformulierung der beim Ordnen der Aussagen getätigten Benennung der individuellen Vorstellung. Bei der Bewertung wird in Anlehnung an GROPENGISSER (1997, S. 108) kenntlich gemacht, welche Haltung der/die Interviewte zu der von ihm/ihr benannten Vorstellung einnimmt. Eine Vorstellung, die vom/von der Interviewten zustimmend vertreten wird, wird einfach nur als solche benannt. Eine Vorstellung, die vom/von der Interviewten fragend diskutiert wird, wird mit einem (?) versehen. Eine Vorstellung, welche der/die Interviewte diskutiert, aber wieder verwirft, wird mittels ~~Durchstreichen der Vorstellungsbennennung~~ gekennzeichnet.

4.5.2.2 Vorgehensweise bei der Verallgemeinerung der Schülervorstellungen

Die in den Einzelinterviews gewonnenen Schülervorstellungen bilden die Grundlage für eine Verallgemeinerung der Vorstellungen mittels einer induktiven Kategorienbildung. Diese erfolgt innerhalb dieser Studie durch einen internen Vergleich der Aussagen der Interviewteilnehmer_innen (vgl. JANSSEN-BARTELS & SANDER 2004, S. 114). Hierbei werden die Schüleraussagen zu einer Fragestellung vergleichend betrachtet und auf Basis grundlegender Gemeinsamkeiten Kategorien von Vorstellungen gebildet. Diese werden jeweils mit einem aussagekräftigen Titel benannt. Die unter diese Kategorien subsumierten Vorstellungen können sich zwar im Detail unterscheiden, gemein aber sind ihnen grundlegende Denkmuster. Hinsichtlich der unterrichtlichen Vermittlung sind gerade diese grundlegenden Denkmuster von Bedeutung (vgl. FELZMANN 2013). Die verallgemeinerten Vorstellungen bilden daher die Grundlage des innerhalb der didaktischen Strukturierung erfolgenden Vergleichs der Lernerperspektive mit der fachlichen Perspektive und der darauf aufbauenden didaktischen Leitlinien zur Plattentektonik (vgl. GROPENGIESSER 2005, S. 183). Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit einer weiteren ausführlichen Explikation der verallgemeinerten Vorstellungen (vgl. FELZMANN 2013, S. 129).

4.5.2.3 Explikation auf der Ebene der verallgemeinerten Vorstellungen

Die verallgemeinerten Vorstellungen werden zunächst durch eine beispielhafte Lernaussage und, falls vorhanden, in Verbindung mit einer beispielhaften Zeichnung belegt. Es folgt eine Beschreibung der Vorstellung auf einer unterrichtsrelevanten Ebene, bevor die metaphorische Strukturierung der Vorstellung analysiert und dargestellt wird. Die Analyse der metaphorischen Strukturierung der Vorstellung wird auf mehreren Ebenen durchgeführt. So erfolgt eine Untersuchung der Sprache zum einen durch einen Rückgriff auf die Ergebnisse der Kurzexplikationen (sprachliche Besonderheiten, explizit verwendete Analogien und Vergleiche). Zudem werden die individuellen Lernaussagen einer systematischen Metaphernanalyse unterzogen und auf diese Weise metaphorische Konzepte und kinästhetische Schemata, die als Quellbereiche der Vorstellungskonstruktion dienen, herausgearbeitet. Auch die im Zusammenhang mit einer Vorstellung erstellten Schülerzeichnungen werden in die Analyse der Quellbereiche einbezogen (vgl. MARSCH, ELSTER & KRÜGER 2007). Eine Analyse der referentiellen Gesten der Schüler_innen erfolgt nach dem in Teilarbeit A beschriebenen Verfahren. In einem weiteren Schritt werden zudem die Kontexte, in denen Schüler_innen die jeweilige Vorstellung konstruieren, verglichen und, falls erkennbar, typische Muster herausgearbeitet.

4.6 Methodisches Vorgehen bei der fachlichen Klärung

Die Analyse der im Rahmen der fachlichen Klärung genutzten Lehrwerke erfolgt analog des Erfassens der Lernerperspektive mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse und systematischer Metaphernanalyse. Letztere wird im Rahmen der Explikation der Aussagen der Wissenschaftler durchgeführt. Das Vorgehen der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgt in Anlehnung an GROPENGIESSER (2005) und NIEBERT (2010). Zunächst werden im Hinblick auf die Forschungsfrage inhaltstragende Aussagen in den untersuchten Quellen selektiert. Es folgt eine paraphrasierende Zusammenfassung, wobei zentrale Textstellen zitiert werden. Die Herkunft der inhaltstragenden Aussagen erfolgt durch die Angabe der Seitenzahlen in den Lehrwerken. Im Rahmen der Explikation werden die selektierten Textpassagen mittels einer systematischen Metaphernanalyse hinsichtlich der Quellbereiche der Vorstellungskonstruktionen untersucht. Zudem werden explizit verwendete Analogien und Vergleiche daraufhin analysiert, welche Möglichkeiten, aber auch welche Probleme sich im Hinblick auf die unterrichtliche Vermittlung ergeben (vgl. FELZMANN 2013, S. 58) Die Perspektiven der unterschiedlichen untersuchten Quellen werden miteinander verglichen. Im Anschluss an die Explikation werden in den wissenschaftlichen Lehrwerken identifizierte Vorstellungen formuliert sowie genutzte metaphorische Strukturierungen beschrieben.

5 Diskussion

5.1 Ergebnisse der Interviewstudie

Erstmals wurden im Rahmen einer breit angelegten Studie Schülervorstellungen von Schüler_innen gegen Ende der Mittelstufe zu Strukturen und Prozessen der Plattentektonik erhoben. Einige bislang noch unerforschte Bereiche konnten auf diese Weise erschlossen, zahlreiche bislang noch nicht identifizierte Vorstellungen herausgearbeitet sowie bereits bekannte Vorstellungen durch die qualitative Anlage der Untersuchung tiefergehend analysiert werden. Hierbei stellte sich insbesondere der Einbezug der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens als gewinnbringend hinsichtlich des Verständnisses der inneren Struktur der Vorstellungen heraus (vgl. Kapitel 5.3). Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse der Interviewstudie zusammenfassend dargestellt und mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen verglichen.

Vorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik

Bei den Vorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik zeigte sich mit der Gleichsetzung von Kontinenten und Platten bei einigen Schüler_innen eine ähnliche Problematik wie bei MARQUES und THOMPSON (1997). Durch die Befragung mittels eines teilstrukturierten Interviews war es möglich, diese Vorstellung in ihrer Tiefe besser zu verstehen und unterschiedliche Varianten zu unterscheiden (festsitzende Kontinente und schwimmende Kontinente). Darüber hinaus konnten drei weitere Vorstellungen zu den horizontalen Abgrenzungen der Lithosphärenplatten erfasst werden. Wie bei MARQUES und THOMPSON (1997) differenzieren Schüler_innen in der vorliegenden Studie nicht zwischen ozeanischer und kontinentaler Lithosphäre.

Betreffend die Integration der Lithosphärenplatten in den Aufbau der Erde zeigte sich, dass ein Teil der Schüler_innen die Lithosphärenplatten als äußerste Schicht in den Aufbau des Erdinneren einzeichnet, während ein anderer Teil sie unterhalb der Erdoberfläche verortet. Es kristallisierte sich im Verlauf der Interviews heraus, dass die meisten Schüler_innen dazu tendieren, Platten in Kontexten, die ihre Lebenswelt berühren, unterhalb der Erdoberfläche zu lokalisieren. Auch bei LIBARKIN et al. (2005) haben Studierende die Aufgabe, die Lithosphärenplatten in das Erdinnere einzuzeichnen, und verorten hierbei die Platten unterhalb der Erdoberfläche.

Hinsichtlich der Vorstellungen zum Aufbau der Erde stellte sich heraus, dass alle befragten Schüler_innen von einem gegliederten Erdaufbau ausgehen. Vorstellungen eines homogenen

Erdkörpers, wie vor allem von jüngeren Schüler_innen in anderen Untersuchungen geäußert (LILLO 1994; SHARP et al. 1995), finden sich in der vorliegenden Studie nicht. Zwei Modelle zu einem gegliederten Erdaufbau konnten identifiziert werden. Das Gesteinsschichtenmodell beschreibt unterschiedliche Gesteinsschichten, die in konzentrischen Schichten angeordnet sind. Beim Magmahüllenmodell wird davon ausgegangen, dass sich im Zentrum der Erde Magma befindet, und je weiter man sich von diesem entfernt, desto kühler und damit zähflüssiger wird das Magma, bis es außen schließlich fest in Form der Platten oder der Kruste vorliegt. Schüler_innen nehmen beim Magmahüllenmodell also eine thermische Zonierung vor. Eine chemische Zonierung beschreiben Schüler_innen in aller Regel nicht. Damit konnte in dieser Studie zum ersten Mal gezeigt werden, nach welchem Kriterium Schüler_innen eine Differenzierung des Erdinneren vornehmen. Betrachtet man das Vokabular, mit welchem Schüler_innen den Aufbau des Erdinneren beschreiben, so zeigt sich, dass ausschließlich Fachbegriffe verwendet werden, die sich auf die chemische Zonierung des Erdinneren beziehen. Wie in der Studie von GAPP und SCHLEICHER (2010) gebrauchen alle Schüler_innen den Terminus Erdkern. Zudem bezeichnen einige Schüler_innen den äußersten Bereich der Erde als Kruste, der Begriff Mantel wird hingegen fast gar nicht verwendet. Manchmal wird der Bereich zwischen Kern und Kruste als Hülle bezeichnet. Die Kruste selbst wird teilweise mit den Platten gleichgesetzt. Alle Schüler_innen gehen wie die Befragten in zahlreichen anderen Untersuchungen (z. B. GAPP & SCHLEICHER 2010; LILLO 1994; GOBERT 2000; DAHL et al. 2005) davon aus, dass sich große Mengen an Magma dauerhaft im Erdinneren befinden, entweder nur im Erdkern (Gesteinsschichtenmodell) oder im Erdkern als flüssiges Magma und im Mantel als zähflüssiges Magma (Magmahüllenmodell).

Bei den Vorstellungen zu Lithosphärenplatten konnte gezeigt werden, dass einige Verständnisschwierigkeiten dadurch entstehen, dass Schüler_innen mehr Aspekte der Basiskategorie Platte auf Lithosphärenplatten übertragen als Fachwissenschaftler. So strukturieren Schüler_innen Lithosphärenplatten als Einfachkörper und nicht wie Fachwissenschaftler als Doppelkörper. Die Lithosphärenplatten der Schülerzeichnungen weisen zudem parallel zueinander liegende ebene Flächen an der Unter- und Oberseite auf. Fachwissenschaftler gehen von unregelmäßigeren Formen aus. Zudem sprechen Schüler_innen Platten häufig eine tragende Funktion zu. Dies äußert sich beispielsweise in der Vorstellung, dass die Platten die Kontinente tragen. Einige Schüler_innen betrachten Lithosphärenplatten auch als Schutzplatten vor dem heißen Magma im Inneren der Erde.

Vorstellungen zu Prozessen des Systems Plattentektonik

Zu Vorstellungen über die Art und Weise der Plattenbewegungen liegen aus den bisherigen Studien nur wenige Erkenntnisse vor. Bei MARQUES und THOMPSON (1997) gehen einige Schüler_innen davon aus, dass sich die Platten um eine Achse bzw. um ihr Zentrum herum bewegen. Diese Vorstellung findet sich in der vorliegenden Studie nicht, wohl aber die Vorstellung, dass die Kontinente in den Ozeanen schwimmen (vgl. MARQUES & THOMPSON 1997). Darüber hinaus konnte ein umfangreiches Verständnis der Vorstellungen von Schüler_innen über die Art und Weise der Plattenbewegungen gewonnen werden.

Als ein Schlüssel hierzu erwies sich die Untersuchung der von den Schüler_innen genutzten, die Plattenbewegung beschreibenden Verben. Sieht man von der neutralen Bezeichnung „Sichbewegen“ ab, so beschreiben alle von den Schüler_innen verwendeten Verben mit Ausnahme des Verbes „rutschen“ eine Bewegung, die eine rein horizontale Komponente aufweist. Dies äußert sich auch in den lebensweltlichen Phänomenen, mit denen Schüler_innen die Plattenbewegungen vergleichen (bspw. mit einem Schiebepuzzle oder mit Pflastersteinen eines Weges, die man verschiebt).

Ein weiterer zentraler Schlüssel zum Verständnis der Schülervorstellungen zu Plattenbewegungen lag in der Analyse der Vorstellungen zu Vorgängen an Plattengrenzen. Schüler_innen ist vor allem die Konvergenz von Lithosphärenplatten präsent. Dies zeigt sich auch in den Untersuchungen von HAPPS (1982) und DAL (2006), aber ebenso bei Studierenden (BARROW & HASKINS 1993). In der in dieser Arbeit durchgeführten Interviewstudie konnten die Vorstellungen zu konvergierenden Plattengrenzen tiefer verstanden werden. Als zentrale Erkenntnis stellte sich heraus, dass Schüler_innen nicht davon ausgehen, dass Lithosphäre an konvergenten Plattengrenzen wieder in den Mantel aufgenommen wird. Ein von den Schüler_innen beschriebenes Sich-unter-eine-andere-Platte-Schieben bedeutet nicht, dass die untere Platte in den Mantel absinkt. Bei den Vorstellungskonstruktionen zu Vorgängen an konvergenten Plattengrenzen greifen Schüler_innen auf Erfahrungen mit sich auf einer ebenen Fläche gegeneinander bewegenden Körpern zurück, sodass bei der Betrachtung der Frage, welche Platte sich unter eine andere schiebt, von keiner befragten Person der Blick auf die Dichte der Platten gerichtet wird. Sprechen Schüler_innen von schwimmenden Platten, verwenden sie den Ausdruck „Schwimmen“ zur Charakterisierung der Fortbewegungsart der Platten, wohingegen Wissenschaftler mit dem Ausdruck „Schwimmen“ einen physikalischen Zustand beschreiben. Vorstellungen zu einer möglichen Divergenz von Platten werden teilweise nur auf Nachfrage geäußert und von einigen Schüler_innen wird angenommen, dass eine Divergenz von Lithosphärenplatten nicht möglich sei, da sich kein zu großes „Loch“ zwischen den Platten bilden

dürfe. Äußern Schüler_innen von sich aus Vorstellungen zu divergierenden Platten, so geschieht dies meist im Zusammenhang mit der Erklärung der Entstehung von Tiefseegräben. Ein Schüler beschreibt, dass sich bei Divergenz von Lithosphärenplatten eine neue Platte zwischen den sich entfernenden Platten durch erstarrendes Magma bildet. Ein seitliches Wachstum der Platten wird von den Schüler_innen nicht in Erwägung gezogen.

Schüler_innen gehen zudem in der Regel nicht von Plattengrenzen aus, die durch eine bestimmte Bewegungsrichtung der Platten charakterisiert sind, sondern sie nehmen an, dass sich Platten an Plattengrenzen einmal in die eine, dann wieder in die andere Richtung bewegen. An der gleichen Plattengrenze werden von einigen Schüler_innen zunächst konvergente und sodann darauf folgende divergente Bewegungen beschrieben, beispielsweise bei der Vorstellung, dass Gebirge schrumpfen, wenn sich zwei durch Konvergenz aufeinander liegende Platten wieder auseinanderbewegen

Bei den Vorstellungen zu Plattenbewegungen ist zu unterscheiden zwischen Vorstellungen von Platten, die weit auseinander liegen (z. B. schwimmende Kontinente), und Vorstellungen von Platten, die dicht aneinander liegen und sich aufgrund kleinerer Lücken zwischen den Platten ein bisschen bewegen können und dabei ab und an gegeneinanderstoßen. Allerdings zeigt sich, dass Schüler_innen die Vorstellung dicht aneinander liegender Platten nicht kohärent verwenden. Beispielsweise werden Erdbeben auch von Schüler_innen, die von dicht aneinander liegenden Platten ausgehen, durch den Aufprall zweier sich aufeinander zu bewegendender Platten erklärt. In diesem Kontext sind lebensweltliche Erfahrungen mit großen Erschütterungen bei der Vorstellungskonstruktion sehr wahrscheinlich der entscheidende Faktor.

Betreffend Alltagsvorstellungen zu Antriebsmechanismen liegen bislang nur Ergebnisse aus einer Studie (MARQUES und THOMPSON 1997) vor. Die Autoren verweisen darauf, dass ein Teil der Schüler_innen davon ausgeht, dass das Wasser der Ozeane die Kontinente antreibt. Zudem finden sich in der gleichen Studie die Vorstellungen, dass die Erdrotation oder die Wanderung des Erdmagnetfelds für die Plattenbewegungen verantwortlich sind. Während die ersten beiden Vorstellungen auch von bayerischen Schüler_innen geäußert werden, geht keine/keine der bayerischen Schüler_innen davon aus, dass Wanderungen des Erdmagnetfeldes die Plattenbewegungen auslösen. Dies könnte darin begründet sein, dass die Untersuchung von MARQUES und THOMPSON neben Vorstellungen zur Kontinentaldrift und zur Plattentektonik auch Vorstellungen zum Erdmagnetfeld thematisiert und die portugiesischen Schüler_innen vor der Befragung bereits das Erdmagnetfeld im Geographieunterricht durchgenommen haben. Schüler_innen verweisen in der Regel auf Kräfte, die sie mit der Erde ver-

binden, wenn sie nach Auslösern für eine Plattenbewegung suchen. Als weitere die Platten antreibende Kräfte werden in der vorliegenden Interviewstudie Magmaströme im Erdinneren, die Erdanziehungskraft, der Erdkern, der Urknall und Erdbeben genannt. Alle in der Untersuchung identifizierten Vorstellungen zu den Antriebsmechanismen lassen sich auf lebensweltliche Erfahrung mit Bewegungen zurückführen: Bewegung durch Drücken, Bewegung durch Ziehen, Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche sowie Bewegung durch Transport. Während in der fachwissenschaftlichen Sicht ein Zusammenspiel mehrerer Kräfte angenommen wird und hierbei ziehende Kräfte (Plattenzug, Asthenosphärenantrieb) die entscheidende Rolle spielen, gehen Schüler_innen in der Regel nur von einer auf die Platten wirkenden Kraft aus und zeigen eine klare Präferenz für drückende Kräfte.

5.2 Das Erhebungsinstrument

Die Entscheidung, die Erhebung mittels problemzentrierter Einzelinterviews durchzuführen, stellte sich als insofern als sinnvoll heraus, da diese Gesprächssituation gezieltes Nachfragen seitens des Interviewers ermöglichte und auf diese Weise in vielen Bereichen ein tieferes Verständnis der individuellen Sichtweisen erreicht werden konnte. Auch können in Einzelinterviews die Schüler_innen ihre Zeichnungen sehr ausführlich erläutern. Gerade die Schülerzeichnungen erwiesen sich, ähnlich wie die Gestik der Schüler_innen, insbesondere bei räumlichen Sachverhalten als wichtige zusätzliche Informationsquelle. Allein durch die Zeichnungen konnte eindeutig ersichtlich werden, dass Schüler_innen Platten nicht wie Fachwissenschaftler_innen als Doppel-, sondern als Einfachkörper strukturieren. Als sehr hilfreich erwiesen sich auch die Aufgabenstellungen, bei denen Schüler_innen selbst aufgefordert gewesen waren, eigene Vergleiche aufzustellen und diese hinsichtlich ihrer Eignung beim Erfassen eines abstrakten Sachverhaltes zu hinterfragen, denn auf diese Weise öffneten die Schüler_innen Fenster zu ihren lebensweltlichen Erfahrungen und das Verständnis der abstrakten geowissenschaftlichen Inhalte wurde nachvollziehbarer. Kritisch ist die Länge der Interviews zu betrachten. Zwar waren die meisten Schüler_innen bis zum Schluss nach dem Eindruck des Interviewers aufmerksam und aktiv teilnehmend, jedoch zeigte sich, dass der Interviewer selbst manchmal in der Interviewsituation bemüht war, die Schüler_innen nicht zu überfordern, und dadurch in einigen Fällen zu wenig detaillierte Nachfragen stellte. Allerdings ist es durch den Umfang der Untersuchung auch gelungen, ein umfassendes Bild von Schülervorstellungen zu Strukturen und Prozessen der Plattentektonik zu sammeln, das neben einem Zuwachs über Wissen hinsichtlich konkreter Vorstellungen auch ein Bild darüber abgibt, in welchen Bereichen Schüler_innen über kohärente Vorstellungen verfügen und inwieweit in

einigen Bereichen Vorstellungen kontextbedingt konstruiert werden. Zudem liefert das umfangreiche Datenmaterial auch Hinweise für Strategien zur Erzeugung möglicher kognitiver Konflikte im Unterricht.

5.3 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens wurde bei der didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik in allen drei Modulen des fachdidaktischen Triplets verwendet. Bei der fachlichen Klärung konnten insbesondere durch die kritische Betrachtung der verwendeten Metaphorik mögliche Verständnisschwierigkeiten herausgearbeitet werden. Hierbei erschien es hilfreich zu fokussieren, welche Aspekte eines Zielbereichs durch eine Metapher beleuchtet werden und welche im Verborgenen bleiben. Die Betrachtung der Quellbereiche der explizit verwendeten Analogien und Metaphern erfolgte zudem mit Hinblick auf die Fragestellung, inwieweit diese direkt erfahrbar und damit für Schüler_innen ohne große Schwierigkeiten nachvollziehbar sind. Die Ergebnisse der fachlichen Klärung wurden in dieser Arbeit aufgrund der Platzvorgaben der Zeitschrift für Geographiedidaktik nur in sehr komprimierter Form dargestellt, sind aber bei der Formulierung didaktischer Leitlinien, dem übergeordneten Ziel dieser Arbeit, in entscheidender Weise mit eingeflossen (vgl. Teilarbeit C). Bei der Interpretation der Schüleraussagen verhalf die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, die Genese der Vorstellungen sichtbar werden zu lassen. Bei der Erstellung didaktischer Leitlinien wurde ein Fokus darauf gelegt, passende kinästhetische Schemata durch gezielten Einsatz von Sprache, bildlichen Darstellungen oder geeigneter Gestik zu aktivieren. Allerdings steht der empirische Nachweis der Wirksamkeit der entwickelten Leitlinien noch aus. Eine Möglichkeit hierzu bilden Vermittlungsexperimente (STEFFE & THOMPSON 2000; RIEMEIER 2005; NIEBERT 2010).

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ermöglichte zudem, die von CHEEK (2010) konstatierten Schwierigkeiten beim Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene aufgrund einer unangemessenen Übertragung von Alltagserfahrungen konkreter zu fassen und theoriebasiert erklären zu können. Vier Kategorien von Lernschwierigkeiten wurden deduktiv entwickelt, für drei dieser Kategorien fanden sich in den Schüleraussagen der Untersuchung zahlreiche Belege. Einzig Kategorie vier war in den untersuchten Studien nicht direkt nachzuweisen. Die Ursache hierfür ist darin zu sehen, dass viele Schüler_innen, wie Kategorie drei besagt, bei der Erklärung geowissenschaftlicher Sachverhalte ihren Blick überhaupt nicht auf den Mikrokosmos richten. Zahlreiche Befunde aus der chemiedidaktischen Forschung belegen jedoch, dass Schüler_innen häufig Probleme haben, fachlich angemessene Vorstellungen

auf der Ebene des Mikrokosmos zu konstruieren (vgl. BARKE 2006, S. 65 ff.). Ergebnisse der Interviewstudie zu Schülervorstellungen zur Plattentektonik bei den Themenbereichen „Konvektion“ und „Schwimmen und Sinken“ zeigen, dass Schüler_innen ähnliche Schwierigkeiten beim Verständnis für den Geographieunterricht relevanter Phänomene des Mikrokosmos haben (vgl. Teilarbeit C). Es ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die in Kategorie vier beschriebenen Lernschwierigkeiten im Geographieunterricht auftreten, sobald der Blick der Schüler_innen durch Steuerung seitens der Lehrkraft auf die Ebene des Mikrokosmos gelenkt wird,

Für jede der aufgestellten Kategorien konnte des Weiteren dargestellt werden, welche Erfordernisse bei Eintritt einer Lernschwierigkeit an den Aufbau einer fachlich angemessenen Vorstellung geknüpft sind. Kategorienspezifisch wurden Konsequenzen für den Geographieunterricht aufgestellt und an Beispielen aufgezeigt, wie diese konkret umgesetzt werden können.

Die aufgestellten Kategorien von Lernschwierigkeiten beleuchten mit der Erklärung unangemessener Übertragung von Alltagserfahrungen auf geowissenschaftliche Sachverhalte lediglich einen Teil der in der Literatur diskutierten zentralen Verständnisschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten. Als problematisch für das Verständnis werden häufig auch die enormen räumlichen Dimensionen (TRETTER, JONES, ANDRE, NEGISHI & MINOGUE 2006; CHEEK 2010), die enormen zeitlichen Dimensionen (TREND 1998; DODICK & ORION 2003; CHEEK 2013) sowie die Komplexität vieler geowissenschaftlicher Phänomene (RAIA 2005) genannt. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens könnte auch hier geeignet sein, um derartige Lernschwierigkeiten in Zukunft besser zu verstehen. Im Hinblick auf die Schwierigkeiten beim Verständnis der zeitlichen Dimensionen geowissenschaftlicher Phänomene liegt bereits ein diesbezüglicher Ansatz vor (FELZMANN 2013). FELZMANN stellt die Vermutung auf, dass Schüler_innen dazu tendieren, geowissenschaftliche Zeiträume mithilfe einer Zeitpfeilstrukturierung anstelle der fachlich angemesseneren Zeitkreisstrukturierung zu erfassen, da Zeitpfeilstrukturierungen in westlichen Kulturkreisen vorherrschend sind (vgl. GOULD 1990), und findet für diese Vermutung in seiner Studie zu Schülervorstellungen von Gletschern und Eiszeiten zahlreiche Belege.

5.4 Gestik als Fenster zur Kognition

In dieser Arbeit wurde neben der Sprache auch die Gestik in die Analyse der Schülervorstellungen einbezogen. Dies erwies sich in mehrerer Hinsicht als gewinnbringend. So konnten die Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse validiert werden, da sich in der Gestik sehr häufig die gleichen Quellbereiche zeigten wie in der Sprache. Hinzu kommt, dass gerade die

Quellbereiche des Verstehens räumlicher Prozesse eine Präzision erfuhren, die allein durch die Analyse der verbalen Äußerungen der Schüler_innen nicht erreicht werden konnte. So wurde beispielsweise in der Gestik deutlich erkennbar, dass die verbale Beschreibung, dass sich eine Platte unter eine andere schiebt, kein Absinken der Lithosphärenplatte in den Erdmantel impliziert. In Einzelfällen zeigten sich in der Gestik auch Schemata, die in der Sprache nicht enthalten waren. So deuten beispielsweise einige Schüler_innen die Bewegung des Magmas als Kreislaufbewegung im Erdinneren nur mittels der Gestik an.

Die Gestik wurde in dieser Studie nicht allein in die Analyse der Schüleraussagen, sondern auch in die Erstellung didaktischer Leitlinien einbezogen. Es ist anzunehmen, dass viele Lehrer_innen im Unterricht – häufig auch unbewusst – bei der Vermittlung der Plattentektonik redegleitende Gesten einsetzen. Einige dieser Gesten können unter Umständen hinderlich beim Aufbau einer wissenschaftsnahen Vorstellung sein, andere wiederum dürften sich als lernförderlich erweisen (vgl. SIBLEY 2005). Es bedarf weiterer Forschung hinsichtlich der Fragestellung, inwieweit der reflektierte und gezielte Einsatz der Gestik bei der Vermittlung der Plattentektonik zum Aufbau einer wissenschaftsnahen Vorstellung beitragen kann.

6 Literaturverzeichnis der Zusammenfassung

- AMIN, T.G. (2009). Conceptual metaphor meets conceptual change. In: *Human Development*, 52 (3), S. 165 - 197.
- AYDIN, F. & COŞKUN, M. (2010). Observation of the students' "earthquake" perceptions by means of phenomenographic analysis (primary education 7th grade – Turkey). In: *International Journal of Physical Sciences*, 5 (8), S. 1324 - 1330.
- BARKE, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg.
- BARROW, L. & HASKINS, S. (1993). Earthquakes Haven't Shaken College Students' Cognitive Structure. Paper presented at the Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, NY, S. 1 - 13.
- BASTEN, T. (2013). Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der Passatzirkulation. Hannover. Internet: edok01.tib.uni-hannover/edoks/e01dh13/74933620X.pdf (aufgerufen am 12.03.2014)
- BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik*. Braunschweig, S. 66 - 67.
- BLAKE, A. (2005). Do young children's ideas about the Earth's structure and processes reveal underlying patterns of descriptive and causal understanding in earth science? In: *Research in Science & Technological Education*, 23 (1), S. 59 - 74.
- BSTMUK, ISB (2004). Lehrplan des achtjährigen Gymnasiums. Internet: <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=1> (aufgerufen am 01.06.2014)
- BULUŞ-KIRIKKAYA, E., ÇAKIN, O., İMALI, B., & BOZKURT, E. (2011). Earthquake training is gaining importance: The views of 4th and 5th year students on earthquake. In: *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 15, S. 2305 - 2313.
- CHARTRAIN, J.-L. & CAILLOT, M. (2001). Conceptual Change and Student Diversity: The Case of volcanism at Primary School. In: BEHRENDT, H., DAHNCKE, H.H., DUIT, R., GRÄBER, W., KOMOREK, M., KROSS, A. & REISKA, P. (Hg.), *Research in Science Education – Past, Present, and Future*. Dordrecht u. a., S. 265 - 270.
- CHEEK, K.A. (2010). A summary and analysis of twenty-seven years of geoscience conceptions research. *Journal of Geoscience Education*, 58 (3), S. 122 - 134.

- CHEEK, K. (2013). Exploring the relationship between students' understanding of conventional time and deep (geologic) time. In: *International Journal of Science Education*, 35 (11), S. 1925 - 1945.
- CHI, M. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. In: VOSNIADOU, S. (Hg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, London, S. 61 - 82.
- CIENKI, A. (2008). Why study metaphor and gesture? In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), *Metaphor and Gesture. Gesture Studies 3*. Amsterdam, Philadelphia, S. 5 - 6.
- CLARK, S., LIBARKIN, J., KORTZ, K. & JORDAN, S. (2011). Alternative Conceptions of Plate Tectonics held by Non-Science Undergraduates. In: *Journal of Geoscience Education*, 59 (4), S. 251 - 262.
- DAHL, J., ANDERSON, S. & LIBARKIN, J. (2005). Digging into Earth Science: Alternative conceptions held by K12-teachers. In: *Journal of Geoscience Education*, 6 (2), S. 65 - 68.
- DAL, B. (2006). The Origin and Extent of Student`s Understandings: The Effect of Various Kinds of Factors in Conceptual Understanding in Volcanism. In: *Electronic Journal of Science Education*, 11 (1), S. 38 - 59.
- DELAUGHTER, J., STEIN, S., STEIN, C. & BAIN, K. (1998). Preconceptions about earth science among students in an introductory course. In: *EOS* 79 (36), S. 429 - 432.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (DGfG) [Hg.] (2012⁷). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss*. Bonn.
- DISSA, A. (2008). A Bird`s Eye View of the “Pieces“ vs. “Coherence“ Controversy (From the “Pieces“ Side of the Fence). In: VOSNIADOU, S. (Hg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, London, S. 35 - 60.
- DODICK, J. & ORION, N. (2003). Measuring student understanding of geological time. *Science Education*, 87 (5), S. 708 - 731.
- DRIELING, K. (in Vorb.). *Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung – Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion*.
- FELZMANN, D. (2013). *Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 41*. Oldenburg.
- FRIEBERTSHÄUSER, B. & LANGER, A. (2010³). Interviewformen und Interviewpraxis. In: FRIEBERTSHÄUSER, B., LANGER, A. & PRENGEL, A. (Hg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*. Weinheim, München, S. 437 - 455.

- FRISCH, W. & MESCHEDER, M. (2011⁴). Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. Darmstadt.
- GAPP, S. & SCHLEICHER, Y. (2010). Alltagsvorstellungen von Grundschulkindern: Erhebungsmethoden und Ergebnisse, dargestellt anhand der Thematik "Schalenbau der Erde". In: REINFRIED, S. (Hg.), Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin, S. 33 - 54.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: Zeitschrift für Pädagogik, 41 (6), S. 867 - 888.
- GLASER, B.G. & STRAUSS, A. L. (2010³). Grounded Theory. Strategien qualitativer Forschung. Bern.
- GOBERT, J. (2000). A typology of casual models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. In: International Journal of Science Education, 22 (9), S. 937 - 978.
- GOBERT, J. (2005). The Effects of different learning Tasks on Model-building in Plate Tectonics: Diagramming versus Explaining. In: Journal of Geoscience Education, 53 (4), S. 444 - 455.
- GOBERT, J. & CLEMENT, J. (1999). Effects of Student-Generated Diagrams versus Student-Generated Summaries on Conceptual Understanding of Causal and Dynamic Knowledge in Plate Tectonics. In: Journal of Research in Science Teaching, 36 (1), S. 39 - 54.
- GOULD, S.J. (1990). Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil und Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde. München.
- GROEBEN, N., WAHL, D., SCHLEE, J. & SCHEELE, B. (1988). Das Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts. Tübingen.
- GROPENGIESSER, H. (1997). Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Oldenburg.
- GROPENGIESSER, H. (1999). Was die Sprache über unsere Vorstellungen sagt. Kognitionslinguistische Analyse als Methode zur Erfassung von Vorstellungen: Das Beispiel sehen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 5 (2), S. 57 - 77.
- GROPENGIESSER, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P. & GLAESER-ZIKUDA, M. (Hg.), Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim und Basel, S. 172 - 189.

- GROPENGIESSER, H. (2006²). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 4. Oldenburg.
- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 105 - 116.
- GROSS, J. (2007). Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 16. Oldenburg.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2008⁵). Press/Siever. Allgemeine Geologie. Berlin, Heidelberg.
- HAPPS, J.C. (1982). Mountains. Working Paper of the Science Education Research Unit, University of Waikato, NZ.
- HARWOOD, D. & JACKSON, P. (1993). Why did they build this hill so steep? Problems of assessing primary children`s understanding of physical landscape features in the context of the UK curriculum. In: International Research in Geographical and Environmental Education, 2 (2), S. 64 - 79.
- HÄUSSLER, P., BÜNDER, W., DUIT, R., GRÄBER, W. & MAYER, J. (1998). Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis. IPN-Schriftenreihe 155. Kiel.
- HEMMER, M., RAHNER, M. & SCHULER, S. (2011). Naturrisiken im Geographieunterricht – ausgewählte Ergebnisse empirischer Studien zur Schülerperspektive, didaktische Konsequenzen und Forschungsperspektiven. In: Geographie und ihre Didaktik, 39 (1), S. 1 - 24.
- HEMMERICH, J. & WILEY, J. (2002). Do argumentation tasks promote conceptual change about volcanoes? In: Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, S. 453 - 458.
- HERRERA, J & RIGGS, E. (2013). Relating Gestures and Speech: An analysis of students` conceptions about geological sedimentary processes. In: International Journal of Science Education, 35 (12), S. 1979 - 2003.
- HÖINK, T., JELINEK, M. & LENARDIC, A. (2011). Viscous coupling at the lithosphere-asthenosphere boundary. In: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 12, Q0AK02, S. 1 - 17.
- HÖRSCH, C. (2007). Biologie verstehen: Mikroorganismen und mikrobielle Prozesse im Menschen. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 19. Oldenburg.

- JANSSEN-BARTELS, A. & SANDER, E. (2004). Verallgemeinerung qualitativer Daten in der biologiedidaktischen Lehr-Lernforschung. In: GROPENGIESSER, H., JANSSEN-BARTELS, A. & SANDER, E. (Hg.), *Lehren fürs Leben. Didaktische Rekonstruktion in der Biologie*. Köln, S. 109 - 130.
- JEPPSSON, F., HAGLUND, J., AMIN, T. & STRÖMDAHL, H. (2013). Exploring the use of conceptual metaphors in solving problems on entropy. In: *The Journal of the Learning Sciences*, 22 (1), S. 70 - 120.
- JOHNSON, M. (1987). *The Body in the Mind*. Chicago.
- KASTENS, K., AGRAWAL, S. & LIBBEN, L. (2008). Research Methodologies in Science Education: The role of Gesture in Geoscience Teaching and Learning. In: *Journal of Geoscience Education*, 56 (4), S. 362 - 368.
- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S. 93 - 104.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H. & KOMOREK, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), S. 3 - 18.
- KING, C. (2000). The Earth's mantle is solid: teachers' misconceptions about the Earth and plate tectonics. In: *School Science Review*, 82 (298), S. 57 - 64.
- KORTZ, K. & SMAY, J. (2010). *Lecture Tutorials for Introductory Geoscience*. New York.
- KRÜGER, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S. 81 - 92.
- KRÜGER, D. & RIEMEIER, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S.133 - 146.
- LAÇIN-ŞİMŞEK, C. (2007). Children's Ideas about Earthquakes. In: *International Journal of Environmental and Science Education*, 2 (1), S. 14 - 19.
- LAKOFF, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. Chicago.
- LAKOFF, G. (2008). The neuroscience of metaphoric gesture: Why they exist. In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), *Metaphor and Gesture. Gesture Studies 3*. Amsterdam, Philadelphia, S. 291 - 302.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago.

- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (2011). *Leben in Metaphern*. Heidelberg.
- LAKOFF, G. & WEHLING, E. (2009²). *Auf leisen Sohlen ins Gehirn. Politische Sprache und ihre heimliche Macht*. Heidelberg.
- LAMNEK, S. (2010⁵). *Qualitative Sozialforschung*. Weinheim, Basel.
- LANGACKER, R.W. (2008). *Metaphoric gesture and cognitive linguistics*. In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), *Metaphor and Gesture. Gesture Studies 3*. Amsterdam, Philadelphia, S.249 - 252.
- LEATHER, D.A. (1987). *Views of the nature and origin of earthquakes and oil held by eleven to seventeen year olds*. In: *Geology teaching: Journal of the Association of Teachers of Geology*, 12 (3), S. 102 - 108.
- LIBARKIN, J., ANDERSON, S., DAHL, J., BEILFUSS, M. & BOONE, W. (2005). *Qualitative Analysis of College Students' Ideas about the Earth: Interviews and Open-Ended Questionnaires*. In: *Journal of Geoscience Education*, 53 (1), S. 17 - 26.
- LILLO, J. (1994). *An Analysis of the annotated drawings of the Internal Structure of the Earth made by Students aged 10-15 from Primary and Secondary Schools in Spain*. In: *Teaching Earth Sciences*, 19 (3), S. 83 - 87.
- MARQUES, L. & THOMPSON, D. (1997). *Misconceptions and Conceptual Changes concerning Continental Drift and Plate Tectonics among Portuguese Students Aged 16-17*. In: *Research in Science & Technological Education*, 15 (2), S. 195 - 222.
- MARSCH, S. (2012). "Die weißen Blutzellen schießen Antikörper auf den Virus". In: *Unterricht Biologie*, 36 (372), S. 27 - 31.
- MARSCH, S., ELSTER, M. & KRÜGER, D. (2007). "Mein Gehirn nimmt auf, was mir wichtig ist." – Eine Untersuchung zu Schülervorstellungen und Metaphern über das Lernen. In: VOGT, H., KRÜGER, D., UPMEIER ZU BELZEN, A., WILDE, M. & BÄTZ, K. (Hg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 6*. Kassel, Bielefeld, S. 21 - 35.
- MAYRING, P. (2002⁵). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim.
- MCNEILL, D. (1992). *Hand and Mind. What Gestures Reveal about Thought*. Chicago, London.
- MÜLLER, C. (1998). *Redebegleitende Gesten. Kulturgeschichte – Theorie – Sprachvergleich*. Berlin.
- MÜLLER, M. (2009). *Meteoriteneinschläge auf der Erde: Fachliche Konzepte, Schülerperspektiven und didaktische Umsetzung. Geographiedidaktische Forschungen. Band 43*. Weingarten.

- NIEBERT, K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Oldenburg.
- NIEBERT, K., MARSCH, S. & TREAGUST, D.F. (2012). Understanding Needs Embodiment: A Theory-Guided Reanalyses of the Role of Metaphors and Analogies in Understanding Science. In: *Science Education*, 96 (5), S. 849 - 877.
- NIEBERT, K., RIEMEIER, T. & GROPGENGIESSER, H. (2013). The hidden hand that shapes conceptual understanding. Choosing effective representations for teaching cell division and climate change. In: TSUI, C.Y. & TREAGUST, D.F. (Hg.), *Multiple Representations in Biological Education*. New York, S. 293 - 310.
- NIEBERT, K. & GROPGENGIESSER H. (2014): Leitfadengestützte Interviews. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S. 121 - 132.
- NÚÑEZ, R.E. (2008). A fresh look at the foundations of mathematics. Gesture and the psychological reality of conceptual metaphor. In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), *Metaphor and Gesture. Gesture Studies 3*. Amsterdam, Philadelphia, S. 93 - 114.
- 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, S. 45 - 65.
- OGUZ, A. (2005). Surveying american and turkish middle school student`s existing knowledge of earthquakes by using a systemic network. Dissertation. Ohio. Internet: etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/osu1132756370/inline. (aufgerufen am 30.04.2014)
- OLDROYD, D.R. (1998). Die Biographie der Erde. Zur Wissenschaftsgeschichte der Geologie. Frankfurt am Main.
- OTTO, K.H. & SCHULER, S. (2012). Pädagogisch-psychologische Ansätze. In: Haversath, J. H. (Mod.), *Geographiedidaktik*. Braunschweig, S. 133 - 164.
- PIAGET, J. (1980) (frz. Erstaussgabe 1926). Das Weltbild des Kindes. Frankfurt, Berlin, Wien.
- PINTRICH, P.R., MARX, R.W. & BOYLE, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. In: *Review of Educational Research*, 63 (2), S. 167 - 199.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. & GERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education*, 66 (2), S. 211 - 227.
- RAIA, F. (2005). Students' understanding of complex dynamic systems. In: *Journal of Geoscience Education*, 53 (3), S. 297 - 308.

- RAKKAPAO, S., ARAYATHANITKUL, K., PANANONT, P. & CHITAREE, R. (2012). High School Students` Misconceptions on the topic of earthquakes. Internet: penthai.sc.mahidol.ac.th/html/research/paper_SPCEN2007/SPCEN_ta.pdf (aufgerufen am 30.04.2014)
- REINFRIED, S. (2005). Wie kommt das Grundwasser in der Natur vor? – Ein Beitrag zur Praxisforschung über physisch-geographische Alltagsvorstellungen von Studierenden. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 33 (3), S. 133 - 156.
- REINFRIED, S. (2007). Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lerntheorie am Beispiel des Conceptual-Change. In: *Geographie und Schule*, 29 (168), S. 19 - 28.
- REINFRIED, S. (2010). Lernen als Vorstellungsänderung: Aspekte der Vorstellungsforschung mit Bezügen zur Geographiedidaktik. In: REINFRIED, S. (Hg.), *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion*. Berlin, S. 1 - 31.
- REINFRIED, S. (2013a). Schülervorstellungen. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z*. Braunschweig, S. 250 - 252.
- REINFRIED, S. (2013b). Conceptual Change. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z*. Braunschweig, S. 40 - 42.
- REINFRIED, S. & SCHULER, S. (2011). LLBG - Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Forschung über Alltagsvorstellungen in den Geowissenschaften. Stand/Volume 04.08.2011, www.ph-ludwigsburg.de/llbg (aufgerufen am 26.12.2013)
- REINFRIED, S. & TEMPELMANN, T.(2014). Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts. In: *Zeitschrift für Geographiedidaktik*, 42 (1), S. 31 - 56.
- REMPFLER, A. (2010). Fachliche und systemische Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Lawinen. In: REINFRIED, S. (Hg.), *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion*. Berlin, S. 55 - 85.
- RIEMEIER, T. (2005). *Biologie verstehen: Die Zelltheorie. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion*. Band 7. Oldenburg.
- RIEMEIER, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S. 69 - 70.

- ROSS, K.E.K. & DARGUSH, A. (1992). Investigating teacher knowledge of earthquakes. Paper presented at the Earthquake Engineering, Tenth World conference, Rotterdam. Internet: iitk.ac.in/nicee/wcee/article/10_vol10_6073.pdf (aufgerufen am 30.04.2014)
- ROSS, K.E.K. & SHUELL, T.J. (1993). Children`s beliefs about earthquakes. In: Science Education, 77 (2), S. 191 - 205.
- SAVASCI, F. & ULUDÜZ, H. (2013). Fifth grade elementary students`conceptions of earthquakes. In: Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 14 (2), Article 11. Internet: www.led.edu.hk/apfslt/v14_issue2/funda/index.htm (aufgerufen am 30.04.2014)
- SCHEELE, B. & GROEBEN, N. (1988). Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien. Die Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT), konsensuale Ziel-Mittel-Argumentation und kommunikative Flußdiagramm-Beschreibung von Handlungen. Tübingen.
- SCHEELE, B., GROEBEN, N. & CHRISTMANN, U. (1992). Ein alltagssprachliches Struktur-Lege-Spiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In: SCHEELE, B. (Hg.), Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Heidelberg, S. 152 - 197.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. In: Forum Qualitative Sozialforschung. Volume 4, No.2. Internet: <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> (aufgerufen am 10.10.2013)
- SCHNOTZ, W. (2006³). Conceptual Change. In: ROST, D. H. (Hg.), Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim, S. 77 - 82.
- SCHOON, K.J. (1989). Misconceptions in the Earth Sciences: A Cross-Age Study. Paper presented at the 62nd Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. San Francisco.
- SCHOON, K.J. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the earth and space sciences: A survey of pre-service elementary teachers. In: Journal of Elementary Science Education, 7 (2), S. 27 - 46.
- SCHUBERT, J.C. (2012). Schülervorstellungen zu Wüsten und Desertifikation – Eine empirische Untersuchung zu einem zentralen Thema des Geographieunterrichts. Münster. Internet: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:hbz:6-48319559913> (aufgerufen am 26.03.2014)

- SCHULER, S. (2011). Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels. Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Bochumer Geographische Arbeiten. Band 78. Bochum.
- SCHULER, S. & FELZMANN, D. (2013). Schülervorstellungen. In: ROLFES, M. & UHLENWINKEL, A. (Hg.), Metzler Handbuch 2.0. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Braunschweig, S. 148 - 154.
- SHARP, J. G., MACKINTOSH, M. A. P. & SEEDHOUSE, P. (1995). Some comments on children's ideas about earth structure, volcanoes, earthquakes and plates. In: Teaching Earth Sciences 20 (1), S. 28 - 30.
- SHERIN, B.L., KRAKOWSKI, M. & LEE, V.R. (2012). Some assembly required: How scientific explanations are constructed during clinical interviews. In: Journal of Research in Science Teaching, 49 (2), S. 166 - 198.
- SIBLEY, D. (2005). Visual Abilities and Misconceptions about Plate Tectonics. In: Journal of Geoscience Education, 53 (4), S. 471 - 477.
- STARK, R. (2002). Conceptual Change: kognitivistisch oder kontextualistisch? Forschungsbericht Nr. 149. München: Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität.
- STEER, D., KNIGHT, C.C., OWENS, K.D. & MCCONNELL, D.A. (2005). Challenging Students' s Ideas About Earth's Interior Structure Using a Model-based, Conceptual Change Approach in a Large Class Setting. In: Journal of Geoscience Education, 53 (4), S. 415 - 421.
- STEFFE, L.P. & THOMPSON, P.W. (2000). Teaching experiment methodology. Underlying principles and essential elements. In: KELLY, A.E. & LESH, R. A. (Hg.), Handbook of research design in Mathematics and Science education. Mahwah (NJ), S. 267 - 306.
- STRIKE, K. & POSNER, G. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: DUSCHL, R. & HAMILTON, R. (Hg.), Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice. New York, S. 147 - 176.
- TARBUCK, E. & LUTGENS, F. (2009). Allgemeine Geologie. München.
- TREND, R. (1998). An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children. In: International Journal of Science Education, 20 (8), S. 973 - 988.
- TREND, R., EVERETT, L., DOVE, J. (2000). Interpreting Primary Children's Representations of Mountains and Mountainous Landscapes and Environments. In: Research in Science & Technological Education, 18 (1), S. 85 - 112.

- TRETTNER, 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. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (3), S. 282 - 319.
- TSAI, C.-C. (2001). Ideas about earthquakes after experiencing a natural disaster in Taiwan: An analysis of students' worldviews. In: *International Journal of Science Education*, 23 (10), S. 1007 - 1016.
- VOSNIADOU, S. & BREWER, W.F. (1992). Mental Models of the earth: a study of conceptual change in childhood. In: *Cognitive Psychology*, 24 (4), S. 535 - 585.
- VOSNIADOU, S. & IOANNIDES, C. (1998). From conceptual development to Science Education. A psychological point of view. In: *International Journal of Science Education*, 20 (10), S. 1213 - 1230.
- VOSNIADOU, S., VAMVAKOUSSI, X. & SKOPELITI, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In: VOSNIADOU, S. (Hg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, London, S. 3 - 34.
- WEITZEL, H. (2006). *Biologie verstehen: Vorstellungen zur Anpassung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion*. Band 15. Oldenburg.
- WITZEL, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. In: *Forum: Qualitative Sozialforschung* Volume 1, No.2, Art. 22. Internet: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2519> (aufgerufen am 23.12.2013)

7 Teilarbeiten der Dissertation

7.1 Publikationsliste

- A** CONRAD, D. (angenommen). Schülervorstellungen zur Plattentektonik – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit Schülern der neunten Jahrgangsstufe. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik.
- B** CONRAD, D. (zur Publikation eingereicht). Wie kann die Theorie der Plattentektonik durch Aktivierung geeigneter verkörperter Begriffe verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik.
- C** CONRAD, D., BASTEN, T. & FELZMANN, D. (2014). Verstehen auf der Grundlage von Erfahrungen – wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik, 42 (4) (angenommen).

7.2 Darstellung des Eigenanteils

Bei den Teilarbeiten A und B beträgt der Eigenanteil 100 Prozent. Bei Teilarbeit C werde ich aufgrund meines Anteils am Beitrag als Erstautor angeführt. Dieser besteht sowohl in der Idee zu diesem Artikel als auch in der Entwicklung der deduktiv abgeleiteten Kategorien zu Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten (Teilarbeit C, Kapitel 3), welche die Grundlage des gesamten Artikels bilden. Zudem bin ich für die Herausarbeitung der Konsequenzen der jeweiligen Lernschwierigkeiten für den Unterricht auf einer allgemeinen Ebene (Teilarbeit C, Kapitel 6.2), für die Darstellung großer Teile der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Teilarbeit C, Kapitel 2), für die empirischen Befunde zu allen vier Kategorien von Lernschwierigkeiten im Zusammenhang mit der Theorie der Plattentektonik (Teilarbeit C, in den Kapiteln 5.1 - 5.4), für das praktische Beispiel zum unterrichtlichen Umgang mit Lernschwierigkeiten der Kategorie zwei (Teilarbeit C, Kapitel 6.2), zu großen Teilen für die Darstellung des methodischen Vorgehens (Teilarbeit C, Kapitel 4) sowie zu einem kleinen Teil für die Diskussion der Reanalyse (Teilarbeit C, Kapitel 6.1) verantwortlich. Alle Kapitel dieses Beitrags, insbesondere die in den empirischen Befunden dargestellten Beispiele, wurden unter Beteiligung aller drei Autoren kritisch diskutiert.

7.3 Teilarbeit A

CONRAD, D. (angenommen)

Schülervorstellungen zur Plattentektonik – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit Schülern der neunten Jahrgangsstufe

Zeitschrift für Geographiedidaktik

Schülervorstellungen zur Plattentektonik – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit Schülern der neunten Jahrgangsstufe

Zusammenfassung

Mittels teilstrukturierter Interviews wurden an vier bayerischen Gymnasien vorunterrichtliche Vorstellungen zur Plattentektonik bei 15 Schüler_innen der neunten Jahrgangsstufe erhoben. Den theoretischen Rahmen der Untersuchung bildete die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. Die Auswertung der Interviews erfolgte durch eine Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse, systematischer Metaphernanalyse sowie einer systematischen Analyse der Gestik. Auf diese Weise konnten nicht nur zentrale Vorstellungen der Schüler_innen identifiziert, sondern auch die von den Schüler_innen bei der Vorstellungskonstruktion genutzten Quellbereiche offengelegt werden. Durch eine kognitionslinguistische Analyse wurde zudem das Verständnis des zentralen Wortes Platte innerhalb des deutschen Sprachraums erschlossen.

Die Studie ergab, dass Schüler_innen Lithosphärenplatten wesentlich stärker mit den Kontinenten als mit den Ozeanböden in Verbindung bringen. Elemente des lebensweltlichen Verständnisses des Wortes Platte finden sich kontextunabhängig in den Vorstellungen der Schüler_innen zu Lithosphärenplatten wieder. Plattenbewegungen werden von Schüler_innen als reine Horizontalbewegungen von Körpern betrachtet, Zerstörung und Produktion von Lithosphäre nicht in Erwägung gezogen. Als Auslöser der Plattenbewegungen werden u.a. die Erdrotation, Magmaströme, die Erdanziehungskraft, der Erdkern oder kurzfristig auftretende Naturereignisse betrachtet. Bei der Konstruktion dieser Vorstellungen greifen Schüler_innen auf lebensweltliche Erfahrungen mit Bewegungen zurück. So erklären viele Schüler_innen Plattenbewegungen als Bewegung, die durch drückende oder ziehende Kräfte ausgelöst wird. Einige Schüler_innen gehen davon aus, dass Platten transportiert werden, oder betrachten die Plattenbewegung als ein Hinabrutschen der Platte auf einer geneigten Fläche.

Schlüsselwörter:

Schülervorstellungen, Plattentektonik, Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, Gestik, kognitionslinguistische Analyse

Students` conceptions of plate tectonics – results of a qualitative interview study with 9th grade students

Summary

Fifteen 9th grade students aged 14-15 of four different Bavarian grammar schools have been interviewed on the topic of plate tectonics using semi-structured interviews. The theoretical framework for this study is based on the theory of experientialism. Interviews have been analyzed by a combination of qualitative content analysis, systematic metaphor analysis and a systematic analysis of gesture. By this means I could identify students` central conceptions as well as the source domains used by students to construct these conceptions. In addition the central term `Platte´ (engl. `plate´) has been analyzed by cognitive linguistic analysis.

Main results of the study show, that students associate plates strongly with continents and far less with oceanic floor. Students use many elements from an everyday-life conception of a plate to understand tectonic plates. They are only aware of horizontal movements of plates, but they don`t consider the possibility of destruction and production of lithosphere at the plates` borders. According to the students` conceptions the rotation of the earth, earth`s core, rivers of magma inside the earth, earth`s gravitational force or natural phenomena like earthquakes are causing plates` movements. For explaining causes of plates` movement students use everyday-life experiences with movements as source domains. Some students think plates` moving is caused by pushing or pulling forces, other students belief plates are transported or they slip down a slope.

Keywords: student conceptions, plate tectonics, theory of experientialism, gestures, cognitive linguistic analyses

1 Einleitung

Gemäß den nationalen Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss (DGfG 2012) sollen Schüler_innen in der Lage sein, „Mensch-Umwelt- Beziehungen in Räumen unterschiedlicher Art und Größe zu analysieren“ (DGfG 2012, S. 15). Eine Voraussetzung hierfür bildet das Verständnis der naturgeographischen Teilsysteme (vgl. DGfG 2012, S.12). Grundlegende Kenntnisse des Systems Plattentektonik ermöglichen, über lange geologische Zeiträume ablaufende Prozesse wie die Gebirgsbildung oder die Kontinentaldrift ebenso zu erklären wie die kurzzeitig auftretenden Naturereignisse Erdbeben, Tsunamis oder Vulkanausbrüche. Damit bildet das Verständnis der Theorie der Plattentektonik auch die Basis, um die Gefährdung von Räumen hinsichtlich der genannten Naturereignisse beurteilen zu

können. Somit kommt der Vermittlung der Theorie der Plattentektonik eine zentrale Rolle im Geographieunterricht zu.

Damit eine solche Vermittlung möglichst erfolgreiche Lernprozesse auslöst, müssen Schülervorstellungen im Unterricht ausreichend Berücksichtigung finden (vgl. REINFRIED 2010). Bislang liegen allerdings noch wenige Erkenntnisse über Schülervorstellungen zur Plattentektonik vor (vgl. Kapitel 2). Um dazu beizutragen, diese Forschungslücke zu schließen, wurden innerhalb eines Promotionsprojektes zur didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik im Rahmen einer qualitativen Interviewstudie 15 Schüler_innen der neunten Jahrgangsstufe zu ihren Vorstellungen zu Strukturen und Prozessen der Plattentektonik befragt. In dem vorliegenden Artikel werden zentrale Ergebnisse dieser Untersuchung vorgestellt.

2 Theoretischer Rahmen

Gemäß einer konstruktivistischen Sichtweise werden Vorstellungen als „subjektive gedankliche Prozesse“ (GROPENGISSER 2006, S. 13) betrachtet. Lernen wird als ein aktiver Vorgang verstanden, bei dem Lernerende auf Basis ihrer Vorerfahrungen individuelle Vorstellungen zu einem Lerngegenstand konstruieren (GERSTENMAIER & MANDL 1995; REINFRIED 2007; RIEMEIER 2007).

Aufgrund der ungeheuren zeitlichen und räumlichen Dimensionen können Schüler_innen wenig direkte Erfahrungen mit den der Plattentektonik zugrunde liegenden Prozessen und Strukturen machen. Viele plattentektonische Prozesse spielen sich im Makrokosmos ab, unser Wahrnehmungsapparat aber ist auf den Mesokosmos ausgerichtet (vgl. VOLLMER 1986; NIEBERT, RIEMEIER & GROPENGISSER 2013; CONRAD, BASTEN & FELZMANN 2014). Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980; GROPENGISSER 2006; 2007; BASTEN, CONRAD & FELZMANN 2013) ist das Erfassen eines unsichtbaren und nicht erfahrbaren Gegenstands nur imaginativ möglich. Wir nutzen direkt verständliche Bereiche als Quellbereiche und übertragen Basiskategorien und kinästhetische Schemata metaphorisch auf nicht direkt erfahrbare Zielbereiche. Unter Basiskategorien werden Begriffe wie Tisch oder Platte verstanden, die sich nach LAKOFF und JOHNSON (1999) aus unserer direkten sensomotorischen Erfahrung herausbilden. Es ist anzunehmen, dass die lebensweltlich gebildete Basiskategorie Platte als Quellbereich zum Verständnis des wissenschaftlichen Begriffes Platte genutzt wird. Als Basiskategorien werden auch Verben aufgefasst, die Aktionen beschreiben, beispielsweise Schwimmen oder Tauchen. Auch kinästhetische Schemata wie das Start-Weg-Ziel-Schema, das Teil-Ganzes-Schema oder unterschiedliche Kraftschemata sind direkt verständlich und bilden sich aufgrund basaler Erfahrungen unseres Körpers mit der

physischen und sozialen Umwelt heraus (JOHNSON 1987; LAKOFF 1987; LAKOFF & JOHNSON 1980). Dem Teil-Ganzes-Schema (LAKOFF 1987, S. 273) beispielsweise liegen Erfahrungen mit dem eigenen Körper zugrunde, der aus verschiedenen Teilen (Arme, Füße, Hände, Hals ...) besteht, die ein Ganzes bilden. Es enthält als Strukturelemente ein Ganzes, Teile sowie eine bestimmte Anordnung der Teile. Das Teil-Ganzes-Schema ist wie alle anderen kinästhetischen Schemata kein sprachliches Gebilde, aber unsere Sprache ermöglicht es, einen Blick auf diese konzeptuellen, unser Denken strukturierenden Schemata zu werfen (vgl. GROPENGIESSER 2007). Solch verkörperte Vorstellungen bilden die Grundlage unseres kognitiven Systems, mit deren Hilfe wir gemäß der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nicht direkt verständliche Bereiche wie das System Plattentektonik imaginativ verstehen (vgl. GROPENGIESSER 2007). Lernschwierigkeiten können aus einer aus fachlicher Sicht unangemessenen metaphorischen Übertragung resultieren (vgl. NIEBERT et al. 2013; CONRAD et al. 2014). Nicht nur die Sprache, auch die Gestik (MCNEILL 1992; CIENKI, S. 2008; LAKOFF 2008) verschafft Einblicke in die verkörperten Kognitionen: *„Gestures can depict in space elements from a source domain of a metaphor, something which is not possible for metaphoric expressions in spoken language“* (CIENKI 2008, 16). Zudem wird bisweilen in der Gestik eine Metaphorik ersichtlich, die sprachlich überhaupt nicht zum Ausdruck kommt (LAKOFF 2008). Gerade wenn es um Sachverhalte geht, die eine räumliche Dimension beinhalten, wird das Sprechen häufig von Gesten begleitet (vgl. KASTENS, AGRAWAL & LIBBEN 2008), sodass in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand neben einer Untersuchung der Sprache eine Analyse der Gestik wichtige Hinweise über die Quellbereiche der Vorstellungskonstruktionen der Schüler_innen geben kann (vgl. HERRERA & RIGGS 2013). Zudem können auch Schülerzeichnungen in die Analyse der metaphorischen Strukturierung der Vorstellungen miteinbezogen werden (vgl. MARSCH, ELSTER & KRÜGER 2007; MARSCH 2012).

Viele Prozesse und Strukturen der Plattentektonik sind zwar nicht direkt erfahrbar, das Verständnis der Schüler_innen kann aber auch von medial vermittelten Erfahrungen geprägt sein, die Ausgangspunkte für Vorstellungskonstruktionen bilden (GROPENGIESSER 2005; 2006; REINFRIED 2006). Dass dies insbesondere für den Gegenstand dieser Untersuchung von Bedeutung sein könnte, zeigen die Ergebnisse der Schülerinteressenforschung (HEMMER, RAHNER & SCHULER 2011). In einigen Lehrplänen, z. B. dem Lehrplan des bayerischen Gymnasiums, ist zudem die Behandlung von Vulkanismus, Erdbeben und Gebirgsbildung vor der eigentlichen Thematisierung des Systems Plattentektonik vorgesehen (vgl. BSTMUK, ISB 2004), sodass man davon ausgehen kann, dass Schüler_innen, auch wenn sie keine direkten Erfahrungen mit vielen Aspekten des Untersuchungsgegenstands machen können, zu einigen

Teilbereichen bereits Vorstellungen im Vorfeld der unterrichtlichen Behandlung der Plattentektonik konstruiert haben. Auch diese Konstruktionen laufen gemäß der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens vor dem Hintergrund eigener körperlicher Erfahrungen ab.

3 Forschungsstand und Forschungsfragen

Während eine Vielzahl von Studien zu Schülervorstellungen zu Erdbeben (10 Studien) bzw. Vulkanismus (10) sowie einige zur Gebirgsbildung (4) und dem Aufbau des Erdinneren (4) vorliegen, ist das Wissen über Schülervorstellungen zur Plattentektonik noch als gering einzustufen (Zahlangaben auf Basis der LLBG [REINFRIED & SCHULER 2011] sowie weiterer Recherche des Autors; vgl. CONRAD 2014). Zwar gibt es elf Forschungsarbeiten über Alltagsvorstellungen zu dieser Thematik, hiervon aber beschäftigen sich fünf Studien mit den Vorstellungen Studierender (BARROW & HASKINS 1993; DELAUGHTER, STEIN, STEIN & BAIN 1998; LIBARKIN, ANDERSON, DAHL, BEILFUSS & BOONE 2005; SIBLEY 2005; CLARK, LIBARKIN, KORTZ & JORDAN 2011) und zwei Studien mit den Vorstellungen von Lehrer_innen (KING 2000; DAHL, ANDERSON & LIBARKIN 2005). Von den vier Untersuchungen, die Schülervorstellungen zur Plattentektonik thematisieren, fokussieren drei die Effektivität unterschiedlicher methodischer Zugänge der Wissensvermittlung (GOBERT & CLEMENT 1999; GOBERT 2000; 2005) und geben wenig Auskunft über konkrete Vorstellungen der Lernenden. Zudem weisen die den Schüler_innen bereitgestellten Lernmaterialien selbst Fehlvorstellungen auf und könnten so die Quelle möglicher Schwierigkeiten darstellen. Nur bei MARQUES und THOMPSON (1997) galt bislang ein primäres Erkenntnisinteresse dem Erfassen von Schülervorstellungen zum Bereich Plattentektonik. Sie untersuchten die Vorstellungen von 16 - 17 Jahre alten portugiesischen Schüler_innen zur Plattentektonik, der Kontinentaldrift sowie dem Erdmagnetfeld. In einer Pilotstudie wurden zehn Schüler_innen befragt, die das Thema Plattentektonik noch nicht in der Schule durchgenommen hatten. Auf Basis der Interviewergebnisse wurde ein Fragebogen entworfen, der 270 Schüler_innen vorgelegt wurde, bei denen das Thema bereits im Unterricht behandelt wurde. Ziel war es, herauszufinden, welche Präkonzepte den Unterricht überdauern haben, und zudem Aussagen über deren quantitative Verteilung zu treffen. 64 Prozent der Schüler_innen gehen nach dem Unterricht davon aus, dass die Platten aufeinander geschichtet liegen. 21 Prozent der Schüler_innen glauben, dass die Plattengrenzen an der Erdoberfläche erkennbar sind. Hierunter fällt die Vorstellung, dass die Küstenlinie der Plattengrenze entspricht. 35 Prozent der Schüler_innen meinen, dass die Platten sich um ihr Zentrum oder um eine Achse herum bewegen, die an einem Punkt ihrer Oberfläche ansetzt. 34 Prozent der Schüler_innen sind der Auffassung, dass die Wanderung der mag-

netischen Pole die Plattenbewegungen verursacht. Zudem haben 34 Prozent der befragten Schüler_innen die Vorstellung, dass die Erdrotation die Kontinentaldrift auslöst. Einige Schüler_innen sind der Meinung, dass die Meeresströmungen die Kontinentaldrift bewirken (keine Prozentangabe).

In den Studien zu Schülervorstellungen zu Erdbeben, Gebirgsbildung sowie Vulkanismus finden sich zudem einige wenige Vorstellungen zu Vorgängen an Plattengrenzen. Die Vorstellung, dass Platten miteinander kollidieren, wird von vielen Schüler_innen bei Erklärungen zur Entstehung von Erdbeben (z. B. ROSS & SHUELL 1993) sowie einigen Schüler_innen bei Erklärungen zur Entstehung von Vulkanen (HAPPS 1982; DAL 2006) oder zur Gebirgsbildung (HAPPS 1982) geäußert. Einige Schüler_innen im Alter von 15 und 16 Jahren erklären die Gebirgsbildung zudem damit, dass sich eine Platte unter die andere schiebt (HAPPS 1982) oder dass sich Platten im Falle eines Zusammenstoßes zu Gebirgen auftürmen (HAPPS 1982).

Sowohl Studierenden (LIBARKIN et al. 2005) als auch Lehrer_innen (DAHL et al. 2005) fällt es schwer zu erklären, was eine tektonische Platte ist, und Lithosphärenplatten in den Aufbau der Erde einzuordnen. Die meisten Studierenden gehen davon aus, dass die Platten sich unterhalb der Erdoberfläche befinden. Einige Studierende platzieren in Zeichnungen die tektonischen Platten in der Nähe des Erdkerns, in einigen Zeichnungen schweben die Platten über der Erde in der Atmosphäre. All diesen Vorstellungen ist eines gemein: Durch ihre Lage wird die Bewegung der Erdplatten von der Bewegung der Erdoberfläche entkoppelt (vgl. LIBARKIN et al. 2005). Keine der Untersuchungen mit Lehrer_innen oder Studierenden thematisiert Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten. Zu Interaktionen an Plattengrenzen lassen sich folgende Vorstellungen bei Studierenden finden:

- Schieben sich zwei Platten übereinander, so bildet sich durch die Reibung Magma, die über Vulkane an die Erdoberfläche tritt (HEMMERICH & WILEY 2002).
- Platten kollidieren miteinander und es bilden sich Vulkane (BARROW & HASKINS 1993; HEMMERICH & WILEY 2002).
- Bei Kollision kontinentaler Lithosphäre schieben sich Platten dreiecksförmig nach oben (SIBLEY 2005).
- Bei Kollision kontinentaler Lithosphäre steigt Magma an Plattengrenzen auf (SIBLEY 2005).

Der Überblick über den bisherigen Forschungsstand zeigt, dass trotz einer Vielzahl von Untersuchungen bislang wenig über Alltagsvorstellungen zur Gestalt der Lithosphärenplatten sowie den Antriebsmechanismen der Plattenbewegung bekannt ist. Vereinzelt werden in den Untersuchungen zu Schülervorstellungen über Erdbeben, Gebirgsbildung und Vulkanismus

Vorstellungen über Vorgänge an Plattengrenzen beschrieben, allerdings beschränken sich die Vorstellungen auf konvergente Plattengrenzen und es wird keine Verbindung mit weiteren Komponenten des Systems Plattentektonik erfasst. Zudem sind die durchgeführten Studien in der Regel quantitativ angelegt, sodass die Ergebnisse wenig Einblicke in die für den Unterricht relevanten individuellen Denkstrukturen geben (vgl. GROPENGIESSER 1997).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein tieferes Verständnis der Schülervorstellungen zum System Plattentektonik zu erlangen. Die theoretischen Überlegungen zu den Besonderheiten des Gegenstandes Plattentektonik lassen erkennen, dass neben der Untersuchung der Vorstellungen auf einer unterrichtsrelevanten Ebene auch eine Betrachtung der von den Lernenden genutzten Quellbereiche sich für das Verständnis der Schülervorstellungen und möglicher Lernschwierigkeiten als hilfreich erweisen kann (vgl. BASTEN 2013; FELZMANN 2013; CONRAD et al. 2014). Hieraus ergeben sich für die vorliegende Studie zwei Forschungsfragen.

1. Welche Vorstellungen konstruieren Schüler_innen vor der unterrichtlichen Behandlung zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik?
2. Auf welche Quellbereiche greifen Schüler_innen bei ihren Vorstellungskonstruktionen zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik zurück?

4 Methodisches Vorgehen

Erhebungsmethode

Zur Erfassung individueller Denkstrukturen sind qualitative Verfahren besser geeignet als quantitative Verfahren (vgl. GROPENGIESSER 1997; NIEBERT 2010). Als Erhebungsinstrument wurde mit problemzentrierten Einzelinterviews (WITZEL 2000) ein teilstandardisiertes Verfahren gewählt. Dadurch sollte ein gewisses Maß an Offenheit geschaffen werden, das den Schüler_innen ermöglicht, ihre eigenen Ideen zu entwickeln und den Verlauf des Gespräches gemäß ihren eigenen Verknüpfungen (mit) zu steuern. Da Vorstellungen nicht nur symbolisch abstrakt, sondern auch analog in Form mentaler Modelle codiert sind (vgl. SCHNOTZ 2006), wurden auch Schülerzeichnungen in die Erhebung der Vorstellungen einbezogen.

Zum Zwecke der Qualitätssicherung wurden bei der Erstellung des Leitfadens beratend Experten aus der Geographiedidaktik und ein Experte aus der Geologie hinzugezogen. Der Leitfaden wurde in einer mehrstufigen Pilotphase (MAYRING 2002; FRIEBERTSHÄUSER & LANGER 2010) getestet und weiterentwickelt. Er setzt sich aus 13 Themenbereichen zusammen: 1. Erdbeben 2. Tektonische Platten 3. Aufbau der Erde 4. Gebirge 5. Tsunamis 6. Vulkanismus 7. Plattengrenzen 8. Kontinente und Ozeane 9. Erkenntniswege der Geowissenschaften 10. Verortung geowissenschaftlicher Phänomene 11. Magmatische

Gesteine 12. Schwimmen und Sinken 13. Konvektion. Diese Themenbereiche wurden auf Basis einer ersten Sichtung der in der fachlichen Klärung genutzten Lehrwerke (GROTZINGER, JORDAN, PRESS & SIEVER 2008; TARBUCK & LUTGENS 2009; FRISCH & MESCHÉDE 2011) sowie der bereits vorhandenen Ergebnisse der Vorstellungsforschung ausgewählt. Durch Letzteres sollte gezielt ein besseres Verständnis bereits in anderen Untersuchungen identifizierter Vorstellungen durch vertiefende Fragestellungen erreicht, aber auch Vorstellungen zu bislang nicht erforschten Themenbereichen erfasst werden (vgl. NIEBERT & GROPENGIESSER 2014).

Die Interviews wurden mit dem für Schüler_innen aus den Medien vertrauten Bereich Erdbeben eröffnet. Durch diesen Einstieg lenkten alle Schüler_innen der Pilotphase das Gespräch auf das Thema Lithosphärenplatten. Die weitere Reihenfolge der Themenbereiche war mit Ausnahme der Themenbereiche 12 und 13, deren Behandlung als Abschluss erfolgte, nicht festgelegt. Die in diesem Artikel dargestellten Schülervorstellungen entstammen nicht nur den Antworten auf Fragen zum Themenbereich 2 (tektonische Platten). Es wurden auch bei anderen Themenbereichen konstruierte Vorstellungen zur Auswertung herangezogen. Tabelle 1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Interviewleitfaden und bietet damit eine Übersicht über die in diesem Artikel berücksichtigten Fragestellungen dieser Themenbereiche.

Stichprobe und Durchführung

Plattentektonik wird im bayerischen Gymnasium in Jahrgangsstufe zehn behandelt. Daher wurden 15 Schüler_innen als Interviewpartner_innen ausgewählt, die sich im zweiten Halbjahr der neunten Jahrgangsstufe befanden. Zur Erfassung einer möglichst großen Bandbreite an Schülervorstellungen wurde bei der Auswahl der Interviewpartner_innen die Strategie der Maximierung von Unterschieden (LAMNEK 2010) eingesetzt. So wurde darauf geachtet, dass eine ähnlich große Anzahl weiblicher (8) und männlicher (7) Schüler_innen befragt wird. Die Interviews wurden zudem an vier bayerischen Gymnasien mit divergierenden Ausbildungsrichtungen (naturwissenschaftlich, sprachlich) geführt, die sich in unterschiedlichen Regionen Bayerns befinden (Alpennähe, unmittelbare Nachbarschaft zum Egergraben, Bayreuth) und in denen jeweils andere in Bayern zugelassene Schulbücher zum Einsatz kamen, da in Klasse 8 bereits Erdbeben und Vulkanismus behandelt wurden. Auf diese Weise sollten möglichst unterschiedliche Erfahrungen bezüglich plattentektonischer Erscheinungen sowie eine ungleiche naturwissenschaftliche Vorbildung der Schüler_innen berücksichtigt werden. Es wurde darauf geachtet, dass maximal zwei Schüler_innen aus der gleichen Klasse interviewt werden und dass die Schüler_innen der gleichen Schule, wenn sie aus verschiedenen Klassen stammten, zuletzt auch von unterschiedlichen Lehrkräften im Fach

Geographie unterrichtet wurden. Die Schüler_innen selbst wurden von den Lehrer_innen über das Merkmal mittleres Leistungsniveau (Geographienote [Klasse 8] zwischen 2 und 4) und gute kommunikative Fähigkeiten ausgewählt. Um eine Analyse der Gestik zu ermöglichen, wurden alle Interviews videografiert. Eine explizite Aufforderung, das Gesagte mit Gestik zu begleiten, erfolgte nicht. Die Interviews dauerten zwischen 57 und 128 Minuten und fanden am Nachmittag statt, damit kein Unterricht ausfallen musste. Die Schüler_innen erhielten eine angemessene Aufwandsentschädigung. Innerhalb von sieben Tagen nach dem Interview wurde eine kommunikative Validierung mittels einer dem Niveau der Altersgruppe angepassten Form der Struktur-Lege-Technik (SCHEELE, GROEBEN & CHRISTMANN 1992) durchgeführt. Die kommunikative Validierung dauerte in der Regel 90 Minuten. Aus Zeitgründen konnten mit den Themen Erdbeben, Vulkanismus und Gebirgsbildung nur Teilbereiche des Interviews in die Validierung einbezogen werden. Die Auswahl dieser Bereiche erfolgte, da davon ausgegangen wurde, dass Schüler_innen zu diesen Themen stärker verankerte Vorstellungen besitzen, von denen man allgemein annimmt, dass sie besonders schwer zu verändern sind (vgl. HÄUSSLER, BÜNDER, DUIT, GRÄBER & MAYER 1988). Zumeist beinhalteten die validierten Äußerungen in der Pilotstudie auch Schülerkonzepte zu Plattenbewegungen sowie zu Interaktionen an Plattengrenzen.

Auswertungsmethodik

Nach der Transkription der Interviews erfolgte deren Auswertung durch eine Kombination der von GROPENGIESSER (2005) für die fachdidaktische Forschung adaptierten Form der qualitativen Inhaltsanalyse, der von NIEBERT (2010) für Zwecke der Vorstellungsforschung abgewandelten Form der systematischen Metaphernanalyse (SCHMITT 2003) und einer systematischen Analyse der Gestik (MÜLLER 1998; HERRERA & RIGGS 2013).

Die Explikation der Schülervorstellungen im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse erfolgte auf der Ebene der verallgemeinerten Vorstellungen (vgl. BASTEN 2013; FELZMANN 2013). Bei der Explikation wurden neben den verbalen Äußerungen der Schüler_innen auch die Zeichnungen als Informationsquelle genutzt (vgl. MARSCH et al. 2007; SCHUBERT 2012; BASTEN 2013; DRIELING in Vorb.). Eine eigenständige Auswertung der Zeichnungen erschien nicht zweckmäßig, da die verbalen und zeichnerischen Äußerungen der Schüler_innen sich in den Interviewsituationen ergänzten und somit die gemeinsame Auswertung weniger Anfälligkeit hinsichtlich einer möglichen Über- oder Unterinterpretation versprach (vgl. GROSS 2007, S. 49). Die systematische Metaphernanalyse sowie die Analyse der Gestik erfolgten ebenfalls im Rahmen der Explikation auf der Ebene der verallgemeinerten Vorstellungen. Hierbei wurden die Schülerzeichnungen auch in die Analyse möglicher

Quellbereiche einbezogen (vgl. MARSCH et al. 2007; MARSCH 2012). Die Kombination der verwendeten Analyseverfahren erschien geeignet, um gemäß der Forschungsfrage sowohl die Vorstellungen auf einer unterrichtsrelevanten Ebene zu rekonstruieren als auch die hinter den Vorstellungen liegenden Quellbereiche aufzudecken.

Das Vorgehen bei der systematischen Metaphernanalyse umfasste folgende Schritte:

1. Festlegung des Zielbereichs, der untersucht werden soll
2. Herausarbeitung aller Metaphern, die zum Verständnis des Zielbereichs von dem/der jeweiligen Schüler_in genutzt wurden
3. Ordnen der Metaphern nach Quellbereichen; Metaphern mit gemeinsamen Quell- und Zielbereich bilden ein metaphorisches Konzept

Die Analyse der Gestik erfolgte in Anlehnung an die Vorgehensweisen bei MÜLLER (1998) und HERRERA und RIGGS (2013), allerdings wurden die Daten gemäß dem Forschungsinteresse ausschließlich qualitativ ausgewertet. In einem ersten Schritt wurden Gesten, die Äußerungen der Schüler_innen zu einer bestimmten Vorstellung begleiteten, gesichtet, ihr zeitliches Auftreten notiert und zentrale Elemente der Geste mittels Screenshot festgehalten. Zusätzlich wurden die zu der Gestik getätigten Äußerungen der Schüler_innen notiert und eine erste Beschreibung des Verlaufs der Geste angefertigt. Erste Arbeitshypothesen zur Bedeutung der Gestik wurden festgehalten. In einem zweiten Schritt wurden dann typische Gesten der Schüler_innen zu einer Vorstellung ausgewählt und in der Gestik erkennbare kinästhetische Schemata identifiziert. Die ausgewählten Gesten wurden dann einem zweiten Codierer vorgelegt, welchem die Interpretationen des Erstcodierers unbekannt waren. Bei abweichender Codierung erfolgte eine Diskussion der Interpretationen und gegebenenfalls eine Neucodierung.

Aufgrund seiner zentralen Stellung wurde das Wort Platte einer kognitionslinguistischen Analyse (GROPENGISSER 1999; RIEMEIER 2005; WEITZEL 2006) unterzogen. Auf diese Weise sollte das Verständnis des Wortes Platte innerhalb der deutschen Sprechergemeinschaft erschlossen werden (vgl. GROPENGISSER 1999) mit dem Ziel, Einsicht in mögliche Schwierigkeiten bei der metaphorischen Übertragung auf den Zielbereich Lithosphärenplatten zu erlangen. Als Quellen dienten hierbei Bedeutungswörterbücher der deutschen Sprache (MÜLLER 2010; GRIMM & GRIMM 2003), der „DUDEN ONLINE“ (DUDENREDAKTION), „Der deutsche Wortschatz nach Sachgruppen“ (DORNSEIFF 1970), der „Deutsche[.] Sprachschatz. Bd. 1: Systematischer Teil“ (SANDERS 1985) sowie das „Synonymwörterbuch der deutschen Redensarten“ (SCHEMANN 1992).

Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Als Maßnahme zur Qualitätssicherung wurden wesentliche Gütekriterien qualitativer Forschung (MAYRING 2002) beachtet. Verfahrensdokumentation (MAYRING 2002) wurde durch die Dokumentation des Forschungsprozesses hergestellt, argumentative Interpretationsabsicherung (MAYRING 2002) durch eine theoriegeleitete Explikation der Schüleraussagen. Die Datenanalyse erfolgte regelgeleitet (MAYRING 2002) durch den Einsatz vereinheitlichter Analyseinstrumente (qualitative Inhaltsanalyse, systematische Metaphernanalyse, Analyse der Gestik). Die Nähe zum Gegenstand (MAYRING 2002) wurde hergestellt, indem eine angstfreie Atmosphäre geschaffen wurde und die Schüler_innen darüber informiert wurden, dass die Ergebnisse der Untersuchung der Verbesserung des Geographieunterrichts dienen und sie mit dazu beitragen können, dass Schüler_innen Themen besser verstehen können. Eine kommunikative Validierung (MAYRING 2002) wurde mittels Struktur-lege-Technik (SCHEELE et al. 1992) durchgeführt. Eine Triangulation (MAYRING 2002) erfolgte durch Interpretation der Daten in Gruppen (Arbeitskreis Schülervorstellungsforschung im HGD Nachwuchs; vgl. STEINKE 2008) sowie den Einsatz unterschiedlicher Analysemethoden.

5 Zentrale Ergebnisse der Interviewstudie

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden zunächst die Vorstellungen der Schüler_innen zu Lithosphärenplatten beschrieben, sodass ersichtlich wird, was Schüler_innen meinen, wenn sie von Platten sprechen. Da es den Rahmen dieses Artikels sprengen würde, wird auf eine Explikation der Vorstellungen zu horizontalen Abgrenzungen der Lithosphärenplatten (5.1) verzichtet. Bei den Vorstellungen zur Einordnung der Lithosphärenplatten in den Aufbau der Erde (5.2) erfolgen kurze Explikationen. Hierbei werden gemäß Forschungsfrage zwei auch die von Schüler_innen genutzten kinästhetischen Schemata beschrieben, die als Quellbereiche der Vorstellungskonstruktionen fungieren. In Kapitel 5.3 wird auf Basis der Ergebnisse der kognitionslinguistischen Analyse des Wortes Platte dargelegt, inwieweit Vorstellungen von Lithosphärenplatten durch metaphorische Übertragung des lebensweltlichen Verständnisses der Basiskategorie Platte konstruiert werden. Es folgt eine Beschreibung der Schülervorstellungen zu Plattenbewegungen (5.4). Da aus fachwissenschaftlicher Sicht Vorgänge an Plattengrenzen für das Verständnis des Plattenantriebs entscheidend sind, werden daraufhin die Vorstellungen der Schüler_innen zu Interaktionen der Platten an Plattengrenzen dargestellt. Die Explikation der Vorstellungen fokussiert auf die aus der Analyse der verbalen und non-

verbalen Schüleräußerungen rekonstruierten Quellbereiche der Vorstellungskonstruktionen (5.5). Analog zu diesem Vorgehen erfolgt die Explikation der Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten (5.6).

Im Zentrum des Interesses der Explikationen steht ein tieferes Verständnis der Schülervorstellungen und weniger ein Vergleich mit den fachwissenschaftlichen Vorstellungen. Dieser erfolgt erst im Rahmen der didaktischen Strukturierung (CONRAD, eingereicht). Bei den beispielhaften Lernaussagen handelt es sich um die auf Basis der qualitativen Inhaltsanalyse gewonnenen geordneten Lernaussagen. Die Namen der Schüler_innen wurden aus Gründen der Wahrung der Anonymität geändert.

5.1 Vorstellungen zur horizontalen Abgrenzung (hA) der Platten

Auf Basis von Schüleraussagen und -zeichnungen konnten die folgenden vier Vorstellungen zu horizontaler Ausdehnung der Lithosphärenplatten identifiziert werden.

Vorstellung _{hA1} :	Kontinente (und Inseln) bilden die Platten.
Vorstellung _{hA2} :	Die Platten sitzen unter den Kontinenten und tragen diese.
Vorstellung _{hA3} :	Die Platten umrahmen die Kontinente und befinden sich somit auch unter den Ozeanen.
Vorstellung _{hA4} :	Es gibt Platten, die sich nur unterhalb der Ozeane befinden.

Die Vorstellungen werden im Folgenden kurz erläutert und jeweils anhand beispielhafter Lernaussagen veranschaulicht.

Bei Vorstellung_{hA1} werden die Kontinente (und Inseln) mit den Platten gleichgesetzt. Es existieren zwei Varianten. Diese unterscheiden sich dahingehend, dass Kontinente bei Variante 1 als in den Ozeanen schwimmende Objekte, bei Variante 2 hingegen als festsitzende Objekte klassifiziert werden. Die Ozeanböden werden jeweils nicht für Platten gehalten.

Vorstellung _{hA1} :	Kontinente (und Inseln) bilden die Platten.
<u>Variante 1</u> : Kontinente sind die im Meer schwimmenden Platten.	
Beispielhafte Lernaussage:	
„Ich meine mit den Platten die hier [zeigt auf Südamerika und fährt Umriss des Kontinents nach]. Das sind halt diese Erdplatten auf dem Wasser“ (Tina, 38-55).	
<u>Variante 2</u> : Die Kontinente sind festsitzende Platten.	
Beispielhafte Lernaussage:	
„Ich glaube, dass das einfach alles Erdplatten sind [umfährt Afrika in Karte 1 mit dem Finger]. Ich denke, dass da, wo nichts ist, wo nur Meer ist, keine Erdplatten sind. Ich habe keine Vor-	

stellung, was unter den Kontinenten ist, weil da eigentlich kein Wasser ist. Das ist alles so unendlich. Ich bin mir nicht sicher, ob der Meeresboden auch mit den Kontinenten zusammenhängt“ (Hanna, 36-58,76-87,88-95).

Auch Vorstellung _{hA2} lässt eine enge Verbindung der Platten mit den Kontinenten erkennen mit dem Unterschied, dass die Kontinente nicht die Platten sind, sondern von diesen getragen werden.

Vorstellung _{hA2}: Die Platten sitzen unter den Kontinenten und tragen diese.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. Wenn sie jetzt wirklich unter dem Kontinent sind, müssen sie ja tragen. Die Platten sind so groß wie vielleicht der Umriss der Länder [deutet auf Afrika und zeichnet um Afrika]. Sonst würde der Kontinent auf dem Wasser schwimmen“ (Joachim, 360-365).

Vorstellung _{hA3} bezieht im Gegensatz zu den beiden vorherigen auch die Ozeanböden in die Überlegungen zu den Platten mit ein. Schüler_innen mit dieser Vorstellung zeichneten die Platten in die Satellitenbilder ein, indem sie sich an den Kontinenten orientierten. Die Platten entsprechen hierbei aber nicht den Kontinenten, sondern überlappen diese und nehmen einen Teil des Ozeanbodens ein (vgl. Abb. 1 und 2). Die meisten Schüler_innen mit Vorstellung _{hA3} gehen davon aus, dass die Platten unterhalb der Kontinente sitzen.

Vorstellung _{hA3}: Die Platten umrahmen die Kontinente und befinden sich somit auch unter den Ozeanen.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Jeder eigene Kontinent hat seine eigene Platte“ (Marcel, 18-23).

Beispielhafte Lerner aussage:

„Ich stelle mir die Lage der Platten so vor, weil durch die Verschiebungen auch die Kontinente entstanden sind“ (Viola, 237-252).

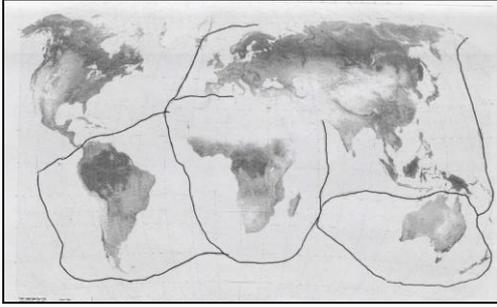


Abb. 1: Vorstellung _{hA3}; Zeichnung Marcel



Abb. 2: Vorstellung _{hA3}; Zeichnung Viola

Schüler_innen mit der Vorstellung _{hA4} sind der Auffassung, dass es Platten gibt, die sich ausschließlich unterhalb der Ozeane befinden und keinen Anteil an den Kontinenten haben (vgl. Abb. 3). Diesen Platten kommt häufig die Funktion eines Lückenfüllers zu, während die Konzentration der Schüler_innen den Platten gilt, welche die Kontinente bilden oder umrahmen. Nur bei einer Schülerin erhalten Platten, die sich vollständig unterhalb der Wasseroberfläche befinden, mit dem Terminus „Wasserplatten“ eine gesonderte Bezeichnung. Ansonsten sprechen Schüler_innen in der Regel allgemein von Platten oder Erdplatten.

Vorstellung _{hA4}: Es gibt Platten, die sich nur unterhalb der Ozeane befinden.

Beispielhafte Lerner aussage:

Auf jeden Fall müsste dann da noch eine kleine Platte sein, die praktisch nur im Meer liegt. Es kann keinen Abstand zwischen den Platten geben, sonst würde das Wasser in den Erdmantel fließen“ (Bernd, 88-93,94-97).

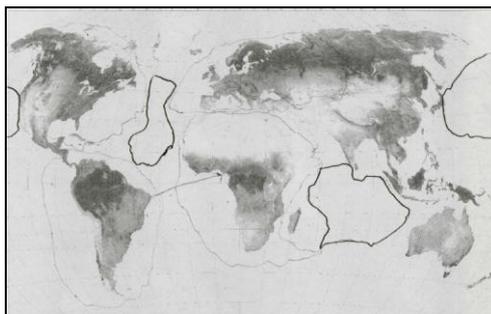
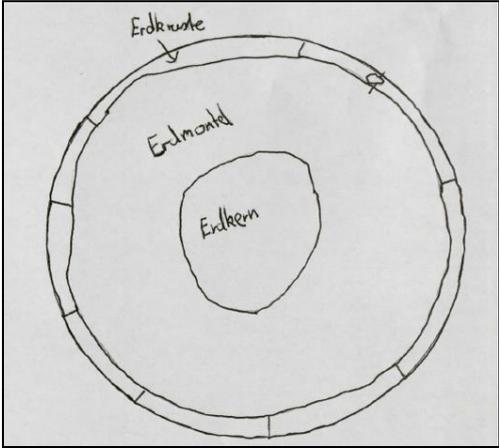
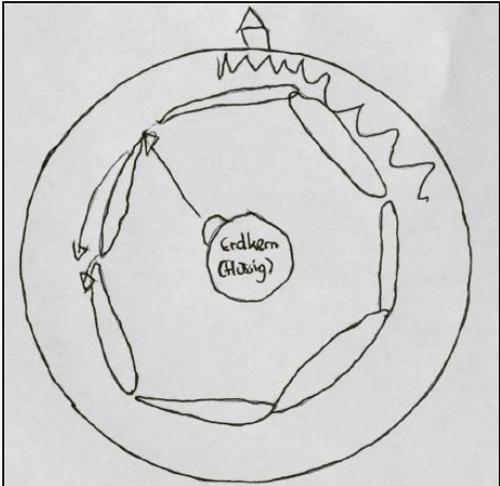


Abb. 3: Bernd zeichnet Platten ein, die keinen Anteil an den Kontinenten haben (Vorstellung _{hA4})

5.2 Vorstellungen zur Einordnung der Platten in den Aufbau der Erde (AE)

Vorstellung _{AE1} :	Platten sind die Kontinente und schwimmen in den Ozeanen.
Vorstellung _{AE2} :	Die Platten bilden die in Stücke geteilte äußerste Schicht der Erde.
Vorstellung _{AE3} :	Die Platten bilden eine in Stücke geteilte Schicht, aber nicht die äußerste.

Die Schüler_innen hatten die Aufgabe, die Lithosphärenplatten in eine Zeichnung zum Aufbau des Erdinneren einzutragen, die sie zuvor eigenständig angefertigt hatten. In diesem Kontext zeichneten Schüler_innen, die davon ausgehen, dass die Platten die Kontinente sind und in den Ozeanen schwimmen, dies auch so in ihrer Abbildung zum Aufbau der Erde ein (= Vorstellung_{AE1}). Neben dieser Vorstellung zeigten sich bei dieser Aufgabe zwei weitere Vorstellungen der Schüler_innen zur Lage der Platten in Bezug auf das Erdinnere.

<p>Vorstellung_{AE2}: Die Platten bilden die in Stücke geteilte äußerste Schicht der Erde.</p>	<p>Vorstellung_{AE3}: Die Platten bilden eine in Stücke geteilte Schicht, aber nicht die äußerste.</p>
<p>Beispielhafte Lerner aussage: „Unter einer Erdplatte stelle ich mir die äußerste Schicht der Erde vor. Die befinden sich am Rand ganz außen. Die gibt es überall, aber nicht als Ganzes. Die Erde ist kein Ganzes, sondern Stücke bilden im Prinzip die Oberfläche“ (Olaf, 19-25,25-26,79-92).</p>	<p>Beispielhafte Lerner aussage: „Wenn ich an Platten denke, fällt mir ein, dass sie nur eine Schicht von vielen sind. Ich glaube, ziemlich weit oben, aber nicht ganz oben. Ich glaube, dass es keine geschlossene Schicht ist, sondern dass es mehrere solcher Platten sind“ (Daniel, 64-67,90-113,114-119,124-131).</p>
	
<p>Abb. 4: Vorstellung_{AE2}; Zeichnung Bernd</p>	<p>Abb. 5: Vorstellung_{AE3}; Zeichnung Mirja</p>

Bei Vorstellung _{AE2} gehen die Schüler_innen davon aus, dass die Platten die äußerste Schicht der Erde bilden. Mit Schichten werden in diesem Zusammenhang die Schalen der Erde bezeichnet, der Terminus Erdschale wird von keinem/keiner der Schüler_innen verwendet. Manchmal erhält die äußerste Schicht in diesem Kontext keine Bezeichnung, einige Schüler_innen benennen sie mit dem Terminus Erdkruste. Vorstellung _{AE2} ist im Gegensatz zu den Vorstellungen _{AE1} und _{AE3} stark kontextabhängig. Mit einer Ausnahme konstruieren die Schüler_innen diese Vorstellung nur bei der Aufgabe des Einzeichnen der Platten in den Aufbau der Erde und bei der Definition einer Lithosphärenplatte. Eine Schwierigkeit besteht wohl darin, eine Verbindung zwischen dem in einem wissenschaftlichen Kontext stehenden Konzept Platte und ihren lebensweltlichen Erfahrungen zu ziehen, sodass sie zwar die Platten bei einer abstrakten Aufgabe wie dem Einzeichnen in Abbildungen zum Aufbau der Erde als äußerste Schicht begreifen. Bei Aufgabenstellungen mit einem stärkeren Bezug zur Lebenswelt verorten sie Platten aber unterhalb der Erdoberfläche.

Der Zielbereich Lithosphärenplatten wird über ein Teil-Ganzes-Schema (LAKOFF 1987) verstanden, erkennbar an Schüleräußerungen wie: „Die Erdkruste ist in Teile unterteilt“; „Die Erde ist kein Ganzes, sondern Stücke bilden im Prinzip die Oberfläche“; „Die Erdkruste ist aufgeteilt in solche Platten“; „Die Platten bilden gemeinsam die Kruste“. Während Fachwissenschaftler Platten als einen aus zwei unterschiedlichen Körpern zusammengesetzten Körper strukturieren – der obere Körper wird von der Kruste, der darunterliegende Körper von dem lithosphärischen Mantel gebildet (vgl. FRISCH & MESCHÉDE 2011) – begreifen Schüler_innen Platten als Einfachkörper (vgl. Abb. 4).

Die Vorstellung _{AE3} unterscheidet sich lediglich hinsichtlich der Lage der „Schicht“, die von den Platten gebildet wird, von der vorhergehenden Vorstellung (vgl. Abb. 5). Mit Schichten werden einerseits Schalen der Erde, andererseits aber auch geologische Schichten bezeichnet. Häufig bereitet es den Schüler_innen Schwierigkeiten, diese voneinander zu unterscheiden. Ein ähnliches Problem ergibt sich auch bei der Trennung geologischer Schichten von als „Erdschicht“ bezeichneten Bodenhorizonten (vgl. auch DRIELING in Vorb.). Die Verortung der Platten in unteren Schichten seitens der Schüler_innen könnte daraus resultieren, dass Platten keinen Bestandteil der Lebenswelt der Schüler_innen bilden. Bei einem Schüler ist die Vorstellung Bestandteil eines fixistischen Weltbilds: „Die Schicht über den Platten bewegt sich nicht mit“ (Daniel, 192-203).

Bei Vorstellung _{AE3} verstehen Schüler_innen den Zielbereich Lithosphärenplatte ebenfalls als Einfachkörper, der im Verbund mit anderen Platten Teile eines Ganzen bildet.

5.3 Verwendung der Basiskategorie Platte als Quellbereich

„Ich weiß nicht, ob man sich das als Platten vorstellen kann, das kann keine Platte sein, so wie man es bei uns nennt, weil ich denke, dass das alles hier so verschiedene Schichten hat“ (Hanna, 199-212).

In Hannas Aussage wird explizit, dass sie bei ihrer Vorstellungskonstruktion zu Lithosphärenplatten Bezug auf Platten nimmt, „so wie man es bei uns nennt“. Die Basiskategorie Platte wird auch von anderen Schüler_innen als Quellbereich ihrer Vorstellungskonstruktionen zu Lithosphärenplatten herangezogen. Mittels einer kognitionslinguistischen Analyse des Wortes Platte wurde daher das lebensweltliche Verständnis von Platten innerhalb des deutschen Sprachraums untersucht. Auf diese Weise sollte in einem ersten hier dargelegten Schritt ein tieferes Verständnis der Vorstellungskonstruktionen der Schüler_innen erlangt werden. In einem zweiten Schritt (CONRAD, eingereicht) werden dann mögliche Probleme durch eine aus fachlicher Sicht unangemessene metaphorische Übertragung beleuchtet. Die Darstellung der Ergebnisse ist angelehnt an RIEMEIER (2005).

Aus dem in Kapitel 4 angegebenen Quellenmaterial wurden Beispielsituationen des lebensweltlichen Gebrauchs des Wortes Platte zusammengetragen, die sich in den folgenden Beispielsätzen wiederfinden:

1. Er stellte das Glas auf eine Tischplatte.
2. Du kannst die Trauben auf die Käseplatte legen und die Platte dann ins Esszimmer tragen.
3. Die Wand wurde mit Dämmplatten bekleidet.
4. Der Boden wurde mit weißen Platten gefliest.
5. Sein Grab war mit einer Marmorplatte bedeckt.

Die Beispiele zeigen, dass das Wort Platte in sehr unterschiedlichen Kontexten verwendet wird. Dies geschieht nicht willkürlich, sondern basiert gemäß der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens auf Basis verkörperter Erfahrung (vgl. WEITZEL 2006). Über sensomotorische Erfahrungen lassen sich Platten in allen fünf Beispielen als ein „flaches, überall gleich dickes, auf zwei gegenüberliegenden Seiten von je einer im Verhältnis zur Dicke sehr ausgedehnten ebenen Fläche begrenztes Stück eines harten Materials (z. B. Holz, Metall, Stein)“ (DUDENREDAKTION) begreifen. Neben diesen auf ihrer Erscheinung beruhenden strukturellen Gemeinsamkeiten liegt ein Schlüssel zum Verständnis des Begriffs Platte auch in Erfahrungen mit deren Funktionen. In Beispiel 1 und 2 zeigen sich Platten als flache Körper, auf die man aufgrund ihrer strukturellen Eigenschaften Dinge abstellen kann. Platten bilden dann eine Unterlage und dienen dazu, Objekte zu tragen. Die tragende Funktion von Platten wird in der Alltagssprache metaphorisch auch Festplatten (= Datenträger) oder Schallplatten (= Tonträger)

zugesprochen. Im Falle einer Käseplatte (Beispiel 2) wird die tragende Funktion einer Platte zusätzlich mit einer Transportfunktion kombiniert. Bewegt man die Platte, so werden auf ihr befindliche Objekte mitbewegt. Das Beispiel 3 zeigt, dass Platten auch eine schützende Funktion aufweisen können. In dieser befinden sie sich an der Wand eines Behälters bzw. bilden einen Teil von dieser und verhindern entweder, dass ein störendes Objekt in den Behälter eindringt, oder aber, dass etwas aus dem Behälter nach außen gelangt. In den Beispielen 4 und 5 haben Platten eine bedeckende Funktion. Das Objekt, das bedeckt wird, befindet sich vom Betrachter aus unterhalb der Platten. In den Beispielen 3 und 4 treten Platten nicht einzeln auf, sondern erfüllen ihre Funktion in einem Verbund von eng aneinander liegenden Platten. In einem solchen Verbund bilden Platten häufig einen Boden oder einen Untergrund.

Platten werden in allen Kontexten als eigenständige Einheiten aufgefasst, die klar definierte äußere Begrenzungen aufweisen und einen einheitlichen Block bilden. Sie werden über ein Körper-Schema strukturiert (vgl. CONRAD 2014). Platten können im Verbund auftreten und auf diese Weise Teile eines Ganzen bilden. Das Verständnis erfolgt somit in einigen Kontexten über ein Teil-Ganzes-Schema (LAKOFF 1987). Verständnisgrundlage für die strukturellen Eigenschaften einer Platte bilden Erfahrungen mit den hier dargelegten Schemata. Direkte Erfahrungen mit Lithosphärenplatten können Schüler_innen nicht machen.

Konstruieren Schüler_innen Vorstellungen zu Lithosphärenplatten, so strukturieren sie diese gemäß ihrer lebensweltlichen Erfahrungen mit Platten als Einfachkörper und nicht als zusammengesetzte Körper. Dies führt bei Hanna (Zitat am Kapitelanfang) zu sichtlichen Irritationen, denn verschiedene Schichten lassen eine Strukturierung als Einfachkörper nicht zu. Sie kommt daher im weiteren Verlauf des Gesprächs zu der Überlegung, dass es sich bei den Schichten um die Platten handeln muss. Die Strukturierung der Platten als Einfachkörper zeigt sich auch bei der Einordnung der Platten in den Aufbau der Erde (Vorstellungen AE2 und AE3) und themenbereichsübergreifend in vielen Zeichnungen der Schüler_innen. Die gezeichneten Lithosphärenplatten weisen eine große Ähnlichkeit mit Platten der Alltagswelt auf, sie werden symbolisch als solche abgebildet (vgl. Abb. 6).

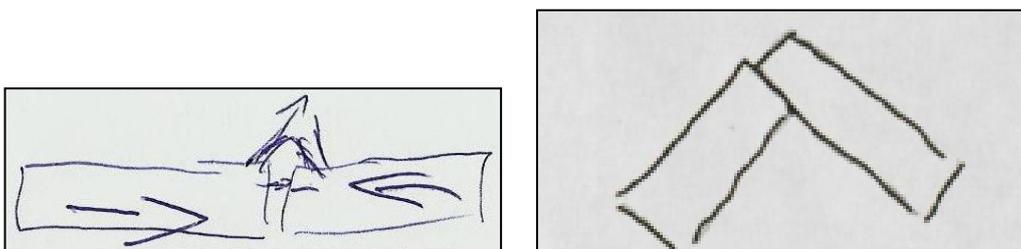


Abb. 6: Schüler_innen zeichnen „Platten“ links: Zeichnung Christoph; rechts: Zeichnung Hanna

Auch in der Gestik der Schüler_innen findet sich ein solches lebensweltliches Verständnis von Platten. Fast alle Schüler_innen in dieser Studie verwenden, wenn sie Platten mit ihren Händen darstellen, flach ausgestreckte Hände (vgl. Abb. 7), was als eine metaphorische Geste (MCNEILL1992) betrachtet werden kann, da die ikonische Darstellung einer flachen Platte den Quellbereich des abstrakten, nicht wahrnehmbaren Begriffs Erdplatte bildet (vgl. CIENKI 2008).

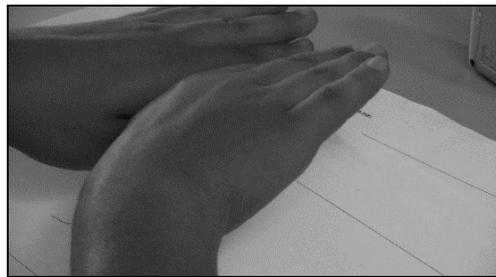


Abb. 7: Olaf, Video1, 29:14

Alle Schüler_innen stellen sich Lithosphärenplatten in der Regel als Körper vor, der eine einheitliche Dicke aufweist. Hierbei betrachten einige Schüler_innen Lithosphärenplatten als tragende Elemente (siehe auch Vorstellung $_{hA2}$). Bei einem Teil der Schüler_innen zieht sich diese Vorstellung durch das ganze Interview, bei einem anderen Teil könnte es sich manchmal auch nur um sprachliche Hilfskonstruktionen handeln, die sich aus dem lebensweltlichen Gebrauch des Wortes Platte ergeben. Schüler_innen sprechen von Platten, auf denen „Kontinente drauf sind“ bzw. „liegen“ oder „sitzen“, „Inseln, die auf Platten sitzen“, von Platten, „die tragen müssen“, von „Gewichten, die auf den Platten lasten“, oder davon, dass „im Grunde alles auf Platten liegt“. Die Vorstellung, dass Platten tragende Elemente sind, könnte auch bei der Vorstellung $_{AE3}$ leitend gewesen sein und erklären, weshalb Schüler_innen mit Vorstellung $_{hA3}$ Platten zumeist unterhalb der Kontinente verorten. Als tragende Elemente transportieren Lithosphärenplatten ähnlich den Platten des Alltags bei Bewegung auch Objekte, die sich auf der Plattenoberseite befinden.

Beispielhafte Lerner aussage:

„ Wenn sich die Erdplatte verschiebt, dann verschiebt sich alles mit, was auf der Platte lastet“ (Viola, 237-252).

Neben einer tragenden Funktion haben Lithosphärenplatten aus Sicht einiger Schüler auch eine bedeckende Funktion und werden als Schutzplatten vor der heißen, bedrohlich anmutenden Lava unterhalb der Lithosphärenplatten betrachtet.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Die Platten stelle ich mir enorm dick vor, weil die Lava sie sonst einfach wegschmelzen und nach außen treten würde, und sie wäre dann nicht gehindert“ (Viola, 277-280).

Und letztlich sehen die Schüler_innen Platten auch als Teile an, die gemeinsam einen Boden bilden (vgl. Teil-Ganzes-Strukturierung, Vorstellungen_{AE2} und _{AE3}).

5.4 Beschreibung der Plattenbewegung

Plattenbewegungen werden zu großen Teilen mit „sich bewegen“, aber auch mit „sich verschieben“ beschrieben. „Sich verschieben“ beinhaltet eine Bewegung von einem Standort zu einem anderen auf einer Oberfläche, „sich bewegen“ liefert wenig Einblicke in die Art der Bewegung. Schüler_innen sprechen zudem, wenn auch weit weniger häufig, von „rutschenden“, „schwimmenden“, „treibenden“, „driftenden“, „sich hin und her bewegendem“, „gleitenden“ oder auch „verrutschenden“ Platten. „Treiben“, „Driften“ und „Schwimmen“ wird von Schüler_innen als eine Bewegung in einem flüssigen Medium verstanden. Dies kann entweder Wasser, aber auch Lava sein. Von einigen Schüler_innen wird die Bewegung als passiv von einer Strömung angetrieben beschrieben, andere wiederum schildern eine Bewegung der Platten durch äußere Kräfte in einem wenig bewegten flüssigen Medium. Im letzteren Fall werden die Bewegungen zumeist über ein Start-Weg-Ziel-Schema (vgl. LAKOFF 1987) strukturiert, es bedarf einer äußeren Kraft, die stark genug ist, sodass sich die Platten aus einem ansonsten ruhenden Zustand heraus bewegen können. Die Beschreibung „Platten verrutschen“ wird von Schüler_innen für die Vorstellung verwendet, dass die Platten ein wenig aus ihrer angestammten Position geraten.

Sieht man von der Bezeichnung der Plattenbewegung als „Rutschen“ ab, beschreiben die Schüler_innen Plattenbewegung in der Regel als eine Bewegung, die nur eine horizontale Komponente aufweist. Schüler_innen beziehen Plattenbewegungen nicht in einen Materialkreislauf mit dem Mantel ein. Dies äußert sich auch in den Vergleichen, die Schüler zur Plattenbewegung heranziehen, z. B. einem Vergleich mit einem Schiebepuzzle, dem Transport von Granitblöcken auf Baumstämmen beim Pyramidenbau der Ägypter oder den Pflastersteinen eines Weges, die man verschieben kann.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Wenn man einen Weg mit Platten macht, dann hat man auch unten so eine Steinschicht. Darauf kann man die Platten verschieben“ (Daniel, 266-276).

Bei vielen Vergleichen zur Beschreibung der Plattenbewegung lässt sich die Vorstellung einer dicht mit Platten besetzten Erdoberfläche erkennen. Die Platten können sich aufgrund kleinerer Lücken ein wenig bewegen.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Die Plattenbewegung könnte man vielleicht mit so einer Badewanne, in der man so Holz drin schwimmen hat, vergleichen. Also dass kaum noch Hohlraum dazwischen ist, sondern

dass sie sich eigentlich immer berühren, aber trotzdem noch Platz haben, sich zu bewegen, sich eigentlich nicht immer berühren“ (Maria, 310-321).

5.5 Vorstellungen zu Interaktionen der Platten an Plattengrenzen

Schüler_innen charakterisieren Plattengrenzen in der Regel nicht durch eine bestimmte Bewegungsrichtung der Platten, vielmehr sind zwischen verschiedenen Platten an der gleichen Stelle unterschiedliche Interaktionen je nach auftretender Plattenbewegung möglich. Die vielen Schüler_innen präsentesten Interaktionen von Platten resultieren aus dem Aufeinanderzubewegen der Platten. Im Folgenden werden die Vorstellungen zu konvergierenden (5.5.1) und divergierenden (5.5.2) Platten näher erläutert.

5.5.1 Vorstellungen zu konvergierenden Platten (konv)

Vorstellung konv1:	Dicht beieinander liegende, sich bewegende Platten stoßen zusammen.
Vorstellung konv2:	Platten driften aufeinander zu und stoßen zusammen.
Vorstellung konv3:	Platten schieben sich dreiecksförmig nach oben.
Vorstellung konv4:	Eine Platte schiebt sich über die andere.

Kontext der Vorstellungen konv1 und konv2 ist zumeist die Erklärung der Entstehung von Erdbeben, die Vorstellung konv3 tritt bei Erklärungen zur Gebirgsbildung und zur Vulkanentstehung auf, Vorstellung konv4 bei Erklärungen zur Gebirgsbildung und zur Erdbebenentstehung.

Vorstellung konv1: Dicht beieinander liegende, sich bewegende Platten stoßen zusammen.

Beispielhafte Lernaussage:

„Ich glaube, die Platten bewegen sich immer so ein bisschen, aber nicht so, dass man es merkt. Nur so ganz leicht. Oder dass sie nicht an die anderen dranstößen. Wenn sich die Platten auseinanderbewegen, dann stoßen die auch irgendwie wieder an eine andere Platte dran“ (Mirja, 103-106, 378-391,392-407).



Abb. 8: Platten „arbeiten“ (Vorstellung konv2;
Zeichnung Daniel)



Abb. 9: Platten „gehen aneinander“
(Vorstellung konv2; Zeichnung Mirja)

Bei Vorstellung $\text{konv}1$ resultiert ein Zusammenstoßen von Platten daraus, dass Platten sehr dicht aneinander liegen und in Bewegung sind (vgl. Abbildungen 8 und 9). Hierbei können sie aneinanderstoßen.

Der Zielbereich `konvergierende Platten` wird durch Rückgriff auf die Vorstellung zweier Körper verstanden, die eng beieinander liegen. In Bewegung kann es zu dazu kommen, dass einer der Körper gegen den anderen stößt. Die Interaktion der Platten wird über ein Gegenkraft-Schema (JOHNSON 1987, S. 46) verstanden. Es ist die Rede von Platten, die „aneinandergehen“, davon, dass Platten „arbeiten“ (hier im Sinne von sich gegenseitig bearbeiten, aneinander arbeiten) oder an andere „dranstoßen“ und daher anfangen zu „wackeln“. Auch in der Gestik wird das Gegenkraft-Schema deutlich (Abb. 10). „Arbeitende“ Platten werden als zwei aneinanderdrückende Körper dargestellt.

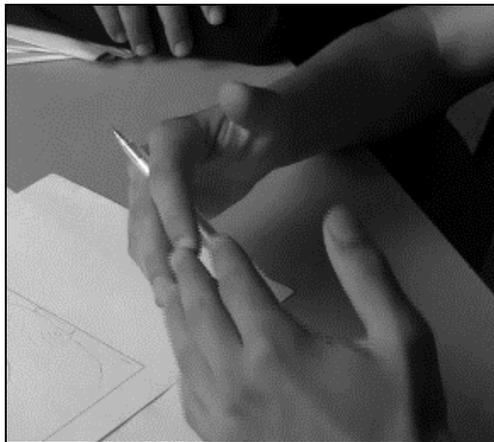


Abb. 10: „Es muss ja was arbeiten“ (Daniel, V1, 27:07)

Vorstellung $\text{konv}2$: Platten driften aufeinander zu und stoßen aneinander.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Ein Erdbeben ist vielleicht, dass die Erdplatten aneinanderkrachen und dann erschüttert davon so die Erde [zeichnet]“ (Maria, 6-9,10-17, 188-189,200-205).

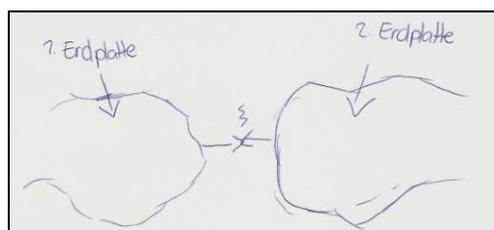


Abb. 11: Platten prallen aneinander (Vorstellung $\text{konv}2$; Zeichnung Maria)

Vorstellung _{konv2} meint einen gewaltvollen Zusammenstoß zwischen zwei zuvor auseinanderliegenden Platten, die mit großer Kraft gegeneinanderprallen (vgl. Abb. 11). Diese Vorstellung wird von allen Schüler_innen geäußert, die die Platten für die Kontinente halten (Vorstellung _{hA1}). Allerdings äußern sie auch viele Schüler_innen, die von einer lückenlos mit Platten bedeckten Oberfläche ausgehen

Der Zielbereich `konvergierende Platten` wird über den Rückgriff auf die Vorstellung zweier Körper verstanden, die sich aufeinander zu bewegen (Start-Weg-Ziel-Schema; LAKOFF 1987, S. 275) und gegeneinanderprallen (Gegenkraft-Schema). Dies kommt sowohl in der Sprache („krachen aneinander“; „krachen zusammen“; „rumpeln aneinander“) als auch durch Vergleiche von Plattenkollisionen mit Autounfällen seitens einiger Schüler_innen zum Ausdruck. Das wahrscheinlich unbewusste Inkaufnehmen einer Lücke zwischen den Platten hat seine Ursache vermutlich darin, dass die Schüler_innen bei ihren Vorstellungskonstruktionen von Alltagserfahrungen mit schweren Erschütterungen geleitet werden.

In der Gestik zeigt sich auch bei dieser Vorstellung ein Gegenkraft-Schema. Sie unterscheidet sich aber in der Regel dahingehend von der Gestik bei Vorstellung _{konv1}, dass Platten zunächst als zwei auseinanderliegende Körper gezeigt werden, die sich dann aufeinander zu bewegen (Start-Weg-Ziel-Schema; vgl. Abb. 12).

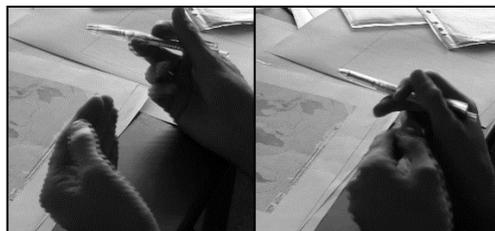


Abb. 12.: „Wenn man beobachtet, dass da ein Erdbeben ist, müssen da halt Platten zusammenstoßen“ (Bernd, V3, 16:55)

Vorstellung _{konv3}: Platten schieben sich dreiecksförmig nach oben.

Beispielhafte Lernaussage:

„Wenn zwei Platten mit ziemlich derselben Kraft aneinanderdrücken, dann können die sich auftürmen und die formen dann Faltengebirge. Der Himalaya wächst auch noch, weil noch die Platten gegeneinanderdrücken. Die türmen sich dann so auf“ (Bernd, 4-9,80-83,244-245).

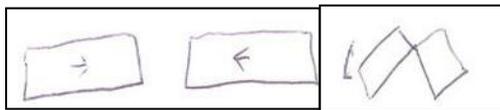


Abb. 13: Vorstellung _{konv3}; Zeichnung

Bernd

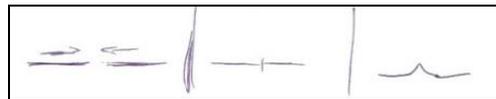


Abb. 14: Vorstellung _{konv3}; Zeichnung

Olaf

Vorstellung _{konv3} ist dadurch gekennzeichnet, dass zwei Platten sich zunächst gegeneinander und dann dreiecksförmig nach oben bewegen (vgl. Abb.13 und 14).

Konvergierende Platten werden als zwei Körper verstanden, die sich aufeinander zu bewegen (Start-Weg-Ziel-Schema) und dann gegeneinander drücken und in ihrer Bewegung abgelenkt werden (Ablenkungs-Schema; JOHNSON 1987, S. 46). Dies zeigt sich darin, dass Schüler_innen zum Beispiel davon sprechen, dass Platten mit „ziemlich derselben Kraft aneinanderdrücken (gegenseinanderdrücken)“ und im weiteren Verlauf zu einer Richtungsänderung gezwungen werden: „Durch die weitere Druckzufuhr muss das irgendwo hin“; „Wenn es eben sehr stark aufeinandertrifft, dann schieben sie sich hoch“; „Dann gehen sie so langsam nach oben, weil jedes weiter möchte“. Diese Ablenkung wird auch als Biegen verstanden: „Wenn die aufeinandertreffen, die Erdplatten, dass die sich dann hochbiegen.“ Auch Falten (→siehe beispielhafte Lernaussage) kann als ein Nach-oben-Biegen durch gegeneinander gerichteten Druck verstanden werden. Hierbei kann es zu einer Formänderung der Platten kommen (vgl. Abb. 15). Auch in der diese Vorstellung begleitenden Gestik wird in der Regel deutlich, dass zwei Körper gegeneinanderdrücken und in der Folge in ihrer Bewegung nach oben hin abgelenkt werden (Ablenkungs-Schema, vgl. Abb. 15).

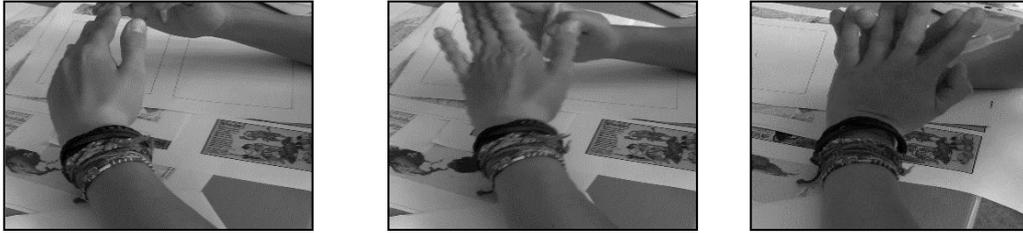


Abb. 15: „Wenn die aufeinandertreffen, die Erdplatten, dass die sich dann hochbiegen, die Platten“ (Tina, V2, 28:15)

Vorstellung _{konv4} : Eine Platte schiebt sich über die andere.
Beispielhafte Lerneraussage: „Wenn zwei Platten aneinandergelangen [schiebt Hände übereinander] und sich die eine dann leicht über der anderen befindet, dann schiebt sich die eine auf die andere drauf“ (Christoph, 471-488).
Abb. 16: Vorstellung _{konv4} ; Zeichnung Bernd

Bei Vorstellung _{konv4} schiebt sich eine Platte über die andere.

Die Platten werden dabei metaphorisch als Körper strukturiert, die sich aufeinanderschieben und dann übereinanderliegen. Häufig wird davon ausgegangen, dass zwei Körper zunächst gegeneinander prallen („gegeneinanderschieben“, „stoßen die erstmal aneinander“, „Kollision“) und es erst in der Folge dazu kommt, dass sich ein Körper über den anderen schiebt („Dann müssen sie sich ja irgendwohin bewegen. Also bewegt sich die eine über die andere“, „dann schiebt sich die eine drunter oder die andere schiebt sich drüber“). Die Vorstellung ist wie Vorstellung _{konv3} über ein Ablenkungs-Schema strukturiert mit dem Unterschied, dass entweder nur eine Platte abgelenkt wird bzw. die Ablenkungsrichtung der Platten entgegengesetzt ist. Die Schüler_innen verstehen die resultierende Bewegung der Platten über den Quellbereich `Übereinanderschieben`. Ein Übereinanderschieben der Platten bedeutet nicht, dass die untere Platte absinkt und in den Erdmantel aufgenommen wird.

Vorstellung _{konv4} wird zumeist begleitet von einer Geste, bei der eine Hand über die andere geschoben wird. Auch diese metaphorische Geste lässt den Quellbereich zweier sich übereinanderschiebender Körper sichtbar werden (vgl. Abb. 17 - 18). Bei einigen Schüler_innen wird zudem in der Gestik auch das Ablenkungs-Schema ersichtlich.



Abb. 17: „Wenn sie sich nicht untereinander schieben“
(Tina, V2, 28:31)



Abb. 18: „Dann schiebt sich die andere, sag ich jetzt mal, auf die andere drauf“
(Christoph, V2, 6:13)

Von Interesse erscheint auch die Fragestellung, unter welchen Bedingungen sich aus Schülersicht eine Platte unter die andere bewegt (BK_{onv4}). Hier lassen sich drei unterschiedliche Vorstellungen beobachten.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Vorstellung BK _{onv4} 1: | Die leichtere Platte bewegt sich über die schwerere. |
| Vorstellung BK _{onv4} 2: | Die höher gelegene Platte schiebt sich auf die tiefer gelegene. |
| Vorstellung BK _{onv4} 3: | Die Platte mit mehr Kraft schiebt sich unter die andere Platte. |

Die Schüler_innen scheinen bei ihren Begründungen auf Erfahrungen mit gegeneinanderstoßenden Objekten zurückzugreifen. Derartige Interaktionen im Alltag geschehen häufig auf festem Untergrund. Die Schüler_innen betrachten Platten in diesem Kontext nicht als schwimmende Objekte. Auch daher spielt die Dichte in ihren Überlegungen keine Rolle.

5.5.2 Vorstellungen zu divergierenden Platten (div)

- | | |
|-------------------|---|
| Vorstellung div1: | Zwei Platten entfernen sich voneinander und es entsteht ein Spalt. |
| Vorstellung div2: | Es entsteht eine neue Platte zwischen zwei divergierenden Platten. |
| Vorstellung div3: | Platten, die aufeinanderlagen, bewegen sich voneinander weg. |
| Vorstellung div4: | Platten, die sich gegenseitig nach oben gedrückt haben, gehen wieder auseinander. |

Vorstellung div1:	Zwei Platten entfernen sich voneinander.
-------------------	--

Beispielhafte Lerner aussage:

„Die Platten haben sich vorher, denke ich, ein bisschen auseinanderbewegt. Ich denke, da entsteht dann so ein Spalt“ (Maria, 278-289, 678-685).

Vorstellung div1 ist die unter den befragten Schüler_innen am stärksten vertretene Vorstellung. Sie besagt, dass zwei Platten, die vorher dicht beieinander waren, sich voneinander entfernen,

und wird häufig zur Erklärung der Entstehung von Tiefseegräben herangezogen. Schüler_innen mit der Vorstellung $_{hA1}$ (Kontinente [und Inseln] bilden die Platten) sind der Auffassung, dass sich beim Auseinanderbewegen der Kontinente ein Meer zwischen den Kontinenten bildet.

Der Zielbereich `divergierende Platten´ wird über zwei zunächst beieinander liegende Körper verstanden, die sich auseinanderbewegen. Häufig sprechen Schüler_innen davon, dass hierbei ein „Spalt“ zwischen den Platten entsteht. Auch von „Schluchten“ zwischen den Platten ist die Rede.

Auch diese Vorstellung wird häufig von einer Geste (Abb. 19) begleitet. Schüler_innen legen zunächst ihre Hände aneinander. Dies kann als metaphorische Geste für dicht beieinander liegende Lithosphärenplatten gedeutet werden. Darauf erfolgt ein Auseinanderbewegen der Hände (Start-Weg-Ziel-Schema). Einige Schüler_innen zeigen den entstehenden Spalt mit einer ikonischen Geste an.

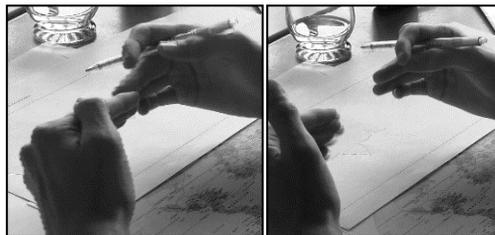


Abb. 19: „Wenn da jetzt eine Plattengrenze ist und die halt anfängt, auseinanderzugehen“
(Bernd, V2, 15:30)

Schüler_innen mit Vorstellung $_{div1}$ vertreten die Auffassung, dass der „Spalt“ zwischen den Platten nicht unendlich groß werden kann. Die Begründungen erfolgen häufig im Zusammenhang mit ihren Vorstellungen zu Platten als dicht beieinander liegenden Körpern. So würden Platten wieder an ihrem anderen Rand auf andere Platten stoßen und dadurch an einem weiteren Auseinandergehen gehindert werden.

Beispielhafte Lerner aussage:

Ich glaube, wenn die Platten immer weiter auseinandergehen und die Platten sich konstant bewegen, wird der Graben immer größer. Aber die Platte, die bewegt sich nicht nur von der einen weg, sondern geht dann auf eine andere wieder drauf. Dadurch wird sie wieder abgebremst. So eine Art Billard“ (Christoph, 459-469).

Vorstellung div2: Es entsteht eine neue Platte zwischen zwei divergierenden Platten.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Es kann keinen Abstand zwischen den Platten geben, sonst würde das Wasser in den Erdmantel fließen, dann würde sich wieder eine neue Platte durch das Erkalten der Gesteine bilden. Aber da unten ist flüssiges, heißes Gestein. Entweder wird das Gestein abgekühlt und dadurch bildet sich eine neue tiefere Platte oder das Wasser, das reinfließt, verdampft restlos durch die Hitze vom Erdmantel. Ich denke, dass sie [die Platte im Atlantik] sich nicht so durch die Wassereinströmung gebildet hat, sondern wie die anderen Erdplatten auch entstanden ist“ (Bernd ,94-99).

Ein Schüler (Bernd) entwickelt die Idee, dass sich bei der Divergenz von Platten eine neue Platte durch die Abkühlung von Magma bilden könnte, verwirft diese aber im Verlaufe des Gespräches wieder. Die Vorstellung findet hier dennoch Erwähnung, da sie Einblicke in mögliche Schwierigkeiten beim Verständnis der fachwissenschaftlichen Sichtweise aufzeigt. Die Bildung einer neuen Platte wurde nicht über eine redegleitende Geste dargestellt.

Vorstellung div3: Platten, die aufeinanderlagen, bewegen sich voneinander weg.

Beispielhafte Lerner aussage:

„Wenn sie aufeinanderlagen und dann wieder auseinandergehen, dann entsteht da irgendwie ein Erdbeben“ (Viola, 684-689).

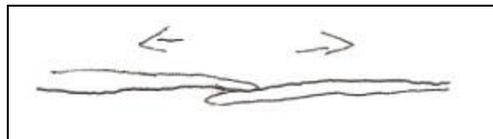


Abb. 20: Vorstellung div2; Zeichnung Marcel

Diese Vorstellung kann, muss aber keine Umkehrbewegung der Platten beinhalten. Eine Schülerin äußert sie zur Erklärung des Kleinerwerdens von Gebirgen, ein anderer Schüler (Marcel; Abb. 20) bei der Erklärung der Entstehung von Erdbeben und Viola (obiges Zitat) auf die Fragestellung, ob Platten sich auch wieder auseinanderbewegen können. Zwei Varianten treten auf: Zwei Platten, die aufeinanderliegen, bewegen sich voneinander weg oder eine Platte bewegt sich von einer anderen herunter.

Der Zielbereich `divergierende Platten´ wird über zwei aufeinander liegende Körper verstanden, die sich wieder voneinander bewegen. Das Aufeinanderliegen zweier Körper und das Herunterbewegen eines Körpers, das über ein Start-Weg-Ziel-Schema strukturiert wird, ist auch in der Gestik ersichtlich (vgl. Abb. 21).

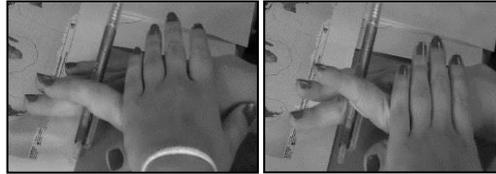


Abb. 21: „Wenn die jetzt aufeinanderlagen und dann auseinandergehen“ (Viola, V2, 26:26)

Vorstellung_{div4}: Platten, die sich gegenseitig nach oben gedrückt haben, gehen wieder auseinander.

Beispielhafte Lernaussage:

„Ich glaube, dass ein Gebirge auch wieder kleiner werden kann. Wenn das stimmt, dass sich da irgendwie diese Spannungen lösen und dass es dann anstatt so [deutet auf linke Zeichnung in Abb. 22] nur noch [zeichnet rechtes Bild in Abb. 22] so ist“ (Hanna, 488-491).

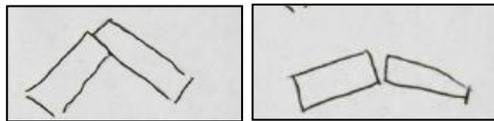


Abb. 22: Vorstellung_{div1}; Zeichnung Hanna

Vorstellung_{div4} wird auf die Frage geäußert, ob Gebirge wieder kleiner werden können. Sie beinhaltet eine Umkehrbewegung von Platten, die sich zuvor dreiecksförmig nach oben gebogen haben (Vorstellung_{Konv3}) und sich nun auseinanderbewegen. Nur zwei Schüler_innen äußern diese Vorstellung.

Bei Hanna (beispielhafte Lernaussage) ist sie dadurch gekennzeichnet, dass der Druck auf die Platten nachlässt und diese dadurch wieder auseinandergehen. Guido strukturiert die Vorstellung über ein Ziehen-Schema. Er versteht die Gebirgsbildung über eine Art „Gelenk“ zwischen zwei Platten (Abb. 23, links). Wenn die Platten auseinandergehen, „ziehen“ sie an dem Gelenk und es wird gestreckt. Dieses Ziehen wird auch in der Gestik deutlich, bei der Guido die Finger seiner linken Hand nach innen krümmt und zum eigenen Körper bewegt, als würde er etwas mit der Hand ziehen (vgl. Abb. 23, rechts).

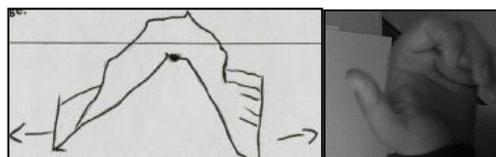


Abb. 23: links: Vorstellung_{div1}; Variante mit „Gelenk“ zwischen den Platten (Zeichnung Guido); rechts: Ziehen-Schema: „Wenn jetzt die Platten dran ziehen“ (Guido, V2, 30:48)

5.6 Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Platten (AP)

Vorstellung AP1:	Erdrotation verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung AP2:	Magmaströme verursachen Plattenbewegung.
Vorstellung AP3:	Erdanziehungskraft verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung AP4:	Erdkern verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung AP5:	Wasserdruck verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung AP6:	Erdbeben verursachen Plattenbewegung.
Vorstellung AP7:	Urknall hat Plattenbewegung ausgelöst.

Vorstellung AP1:	Erdrotation verursacht Plattenbewegung.
<u>Variante 1:</u> Erdrotation erzeugt Druck auf die Platten. Beispielhafte Lerner aussage: „Es bewegt die Platten einfach durch die Rotation der Erde aufgrund der Fliehkraft. Dadurch drückt es die Platten nach außen und es verschiebt die Platten. Ich würde die Bewegung der Erdplatten mit einem Karussell vergleichen, wo es einen mit der Fliehkraft so nach außen drückt“ (Olaf, 131-138, 139-140, 145-148, 217-220).	
<u>Variante 2:</u> Erdrotation verursacht Magmaströme. Beispielhafte Lerner aussage: „Weil flüssiges Zeug bewegt sich ja irgendwie immer mit jeder Bewegung, und wenn die Erde sich dreht, bewegt sich das flüssige Zeug auch. Und dann wäre es ja ständig in irgendeiner Bewegung. Wenn das halt so ein ganz zähflüssiges flüssig ist, kann sein, dass die Platten da drauf liegen, dass sie sich deswegen so ein bisschen bewegen“ (Elisabeth, 235-245).	

Einige Schüler_innen haben die Vorstellung, dass die Erdrotation die Plattenbewegung verursacht. Bei der ersten Variante gehen Schüler_innen davon aus, dass durch die Erdrotation Kräfte auf die Platten einwirken und die Platten in Bewegung versetzen.

Die Vorstellung ist durch ein Drücken-Schema strukturiert. Dieses zeigt sich sowohl in der Sprache („eine hohe Kraft drückt“, „drückt nach außen“) als auch bei einigen Schüler_innen in der Gestik (Abb.24). Es handelt sich um kontinuierlich drückende Kräfte, die von den Schülern manchmal als „Fliehkraft“ oder „Zentrifugalkräfte“ bezeichnet werden. Zwei Schüler_innen greifen bei der Erklärung explizit auf Erfahrungen beim Karussellfahren zurück.



Abb. 24: Drücken-Schema: „Alleine die Kraft“ (Elisabeth, V1, 17:21)

Bei der zweiten Variante gehen Schüler_innen davon aus, dass die Erdrotation Magmaströme im Erdinneren auslöst und diese die Plattenbewegung verursachen. Die Erde wird als mit Magma gefüllter Behälter gedacht. Bewegt sich der Behälter, so bewegt sich die flüssige Substanz, die sich im Behälter befindet (vgl. beispielhafte Lerneraussage oben). Weitere Erläuterungen finden sich unter den Erklärungen zu Vorstellung AP2.

Vorstellung AP2: Magmaströme verursachen Plattenbewegung.

Beispielhafte Lerneraussage:

„Die Platten werden von der Lava bewegt. Die Lava strömt“ (Viola, 706-718).

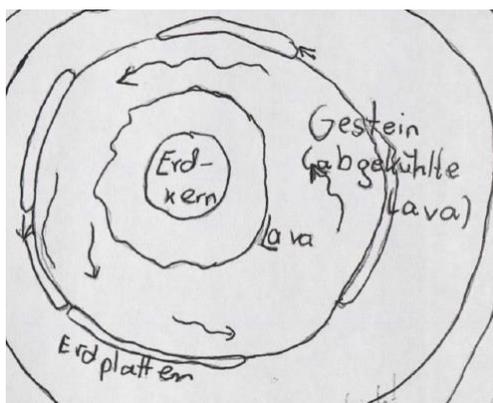


Abb. 25: Vorstellung AP2; Zeichnung Viola

Vorstellung AP2 besagt, dass Magmaströme im Erdinneren die Bewegungen der Platten verursachen. Schüler_innen gehen in der Regel davon aus, dass das Magma in einer Schicht unterhalb der Platten rotiert. Die geschwängelten Pfeile in Abbildung 25 deuten die Bewegung der Lava an, der gerade Pfeil auf der linken Seite der Zeichnung stellt die resultierende Bewegung der Platten dar. Als Ursache der Magmazirkulation werden ein Magma durch die Erde pumpender Erdkern, Energie im Erdkern und die Erdrotation genannt.

Die Bewegung der Lava wird über ein Kreislauf-Schema verstanden, das bei einer Schülerin nur in der Gestik in Form einer kreisenden Bewegung der rechten Hand beim Sprechen über Magmaströme erkennbar wird. Bei anderen Schüler_innen zeigt es sich zudem in sprachlichen Ausdrücken wie „Magma zirkuliert“ oder „Magma rotiert“. Der Antrieb der Platten wird in der Regel über ein Transport-Schema (FELZMANN 2013, S. 29) verstanden. Ein Schüler

strukturiert die Ursache der Bewegung darüber hinaus auch über ein Ziehen-Schema. So spricht er davon, dass die Zirkulation „die Platten auseinanderreißen kann“ und vergleicht die Bewegung der Platten mit dem Pyramidenbau im alten Ägypten: „Die mussten riesige Steinblöcke auf Baumstämmen herkarren. Sie haben die Baumstämme vor sich gelegt und dann gezogen. Die Baumstämme sind wie die Magmaschicht. Der Granit oder was es war ist vergleichbar mit den Platten. Und die Bewegung mit der Zirkulation, beziehungsweise es waren ja Sklaven, die das gezogen haben, eben wie die Zirkulation“ (Guido, 442-459).

Das Transport-Schema findet sich teilweise auch in der Gestik der Schüler_innen wieder, bei Guido sind sowohl Transport-Schema (Abb. 26, links) als auch Ziehen-Schema (Abb. 26, rechts) in Bezug auf Vorstellung AP2 erkennbar.

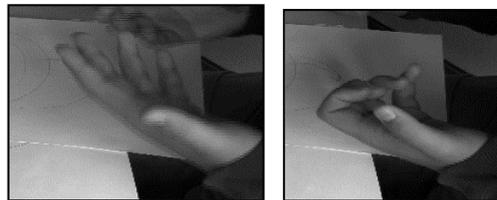


Abb. 26, links: Transport-Schema: „Sie [die Zirkulation] kann die Platte wieder wie bei den Baumstämmen zusammenführen“ (Guido, V2, 3:33); rechts: Ziehen-Schema: „Sie [die Zirkulation] kann natürlich wieder die Platten auseinanderreißen“ (Guido, V2, 3:36)

Variante 1: Erdanziehungskraft zieht Platte Richtung Erdkern.

Beispielhafte Lerneraussage:

„Ich kann es mir doch nicht so mit der Anziehungskraft vorstellen. Weil die Anziehungskraft normalerweise nur Richtung Erdkern zieht und nicht in verschiedene Richtungen. Also dürfte das eigentlich nicht so richtig sein“ (Daniel, 174-181).

Variante 2: Platten rutschen nach unten.

„An der Erdanziehungskraft kann es ja nicht liegen. Oder doch? Also 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).

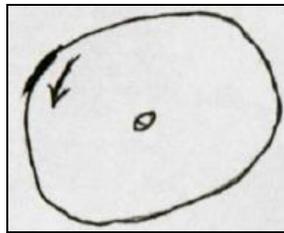


Abb. 27: Vorstellung AP3 (Variante 2); Zeichnung Elisabeth

Drei Schüler_innen versuchen die Plattenbewegung durch die Erdanziehungskraft zu erklären. Variante 1 beinhaltet ein Ziehen der Platte in Richtung Erdkern, Variante zwei eine rutschende Bewegung der Platte an vom Schüler angenommenen Schrägen der Erdkugel (vgl. Abb. 27).

Bei Variante 1 greifen die Schüler_innen bei ihrer Erklärung auf ein Ziehen-Schema zurück. Allerdings erscheint die Vorstellung den Schüler_innen selbst problematisch, da die Erdanziehungskraft eine horizontale Plattenbewegung nicht erklären kann, und wird von beiden Schülern wieder verworfen.

Das Ziehen-Schema wird auch in der Gestik ersichtlich (Abb. 28).



Abb. 28: Ziehen-Schema: „und nicht in verschiedene Richtungen“ (Daniel, V1, 12:30)

Bei Variante zwei wird die Plattenbewegung nicht über ein Ziehen-Schema, sondern über die Basiskategorie Rutschen als Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche verstanden. Die Schülerin erklärt sich die Bewegung der Erdplatten durch einen Vergleich mit der Bewegung von Objekten auf einem Tisch, der auf einer Seite angehoben wird. Bei diesem Vergleich wird Rutschen als schräge Abwärtsbewegung auch in der Gestik der Schülerin ersichtlich.

Vorstellung AP4:	Erdkern verursacht Plattenbewegung
<u>Variante:</u> Brodelnde Stellen des Erdkerns verursachen Plattenbewegung. Beispielhafte Lerner aussage: „Ich glaube, dass das flüssige Gestein im Erdkern brodeln und kocht, weil das ganz heiß ist. Und dann brodeln der irgendwo mal ein bisschen mehr und dann drückt das Brodeln die Erde hoch und dann rutscht die eine Platte darüber “ (Mirja, 5-62, 71-88, 89-102).	

Der Erdkern tritt in den Vorstellungen der Schüler_innen auf unterschiedliche Art und Weise in Erscheinung. Er wird für Magmaströme im Erdinneren, die Erdrotation und auch die Erdanziehungskraft verantwortlich gemacht. Dabei bleibt die genaue Rolle des Erdkerns meist etwas nebulös: „Vielleicht ist da drinnen Energie, die wir noch nicht kennen können“ (Viola, 325-332). Daniel spricht von „Kräfte(n), die aus dem Kern kommen“, die er allerdings nicht näher bestimmen kann und die er allgemein „Bewegungskräfte“ nennt. Hierbei scheint die Hitze im Erdkern bei manchen Schüler_innen eine wichtige Rolle zu spielen. So bringt Daniel Eruptionen im Erdkern ins Spiel, durch die eine Kraft an die Platten abgegeben werde, ohne dies allerdings näher zu erläutern zu können. Mirja, die von brodelnden Stellen im Erdkern ausgeht (beispielhafte Lerner aussage), kann ihre Vorstellung hingegen genau erklären. Die brodelnden Stellen des Erdkerns sorgen dafür, dass die „Schichten“ über dem Erdkern samt der Lithosphärenplatte nach oben gehoben werden. In der Folge rutscht die Platte nach unten. Bei der Variante `Brodelnde Stellen des Erdkerns verursachen Plattenbewegung´ steht weniger eine lebensweltlich spürbare Kraft, die auf ein Objekt einwirkt, wie beispielsweise Ziehen oder Drücken, im Zentrum des metaphorischen Verstehens, sondern vielmehr die Erfahrung, dass Dinge, die nach oben gehoben werden, sich wieder abwärtsbewegen. Mirja überträgt diese Erfahrung auf Plattenbewegungen. Der Erdkern wird als Kochtopf mit einer heißen Flüssigkeit aufgefasst. Bei einem Topf mit kochendem Wasser kann es passieren, dass der Deckel sich hochhebt und dann seitlich herunterrutscht. Diese Erfahrung wird genutzt, um die Hebung der Erdoberfläche und in der Folge die Bewegung der Platte, die von der Schülerin als „Rutschen“ bezeichnet wird, zu erklären.

Vorstellung AP5:	Wasserdruck verursacht Plattenbewegung.
Beispielhafte Lernaussage:	„Ich glaube, dass vielleicht das Wasser die Kontinente antreibt. Es ist eher unwahrscheinlich, dass es die Wellen oder so machen, weil das viel zu schwach ist. Aber das Wasser verdrängt die Kontinente und dann werden sie geschoben. Also driften sie dann“ (Silke, 197-202; Silke geht davon aus, dass die Kontinente und Inseln die Platten bilden [= Vorstellung Ha1]).
Vorstellung AP6:	Erdbeben verursachen Plattenbewegung.
Beispielhafte Lernaussage:	„Die Inseln [Hawaii] sind mal wieder durch Druck, durch ein Erdbeben oder so etwas von Nordamerika abgespalten und durch den Druck dann ein Stück weit getrieben“ (Janine, 265-286; Janine geht davon aus, dass die Kontinente und Inseln die Platten bilden [= Vorstellung Ha1]).
Vorstellung AP7:	Urknall hat Plattenbewegung ausgelöst.
Beispielhafte Lernaussage:	„Ich kann mir vorstellen, dass die Platten mit dem Urknall in Bewegung gesetzt wurden. Da war diese große Explosion und durch die Druckwelle, also die Explosionsenergie, die Kraft, die in einer Explosion steckt, die bewegt durch die Druckwelle alles Mögliche. 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).

Die Vorstellungen AP5-7 werden hier zusammenfassend dargestellt, da der Antrieb der Plattenbewegungen bei diesen Vorstellungen jeweils über den Quellbereich `Bewegung durch Druck´ verstanden wird und mit Ausnahme einer Schülerin mit der Vorstellung AP5 wird hierbei von einem einmaligen Druck ausgegangen. Dieser wird in den Vorstellungen der Schüler_innen oft durch Naturereignisse ausgelöst, bei denen ungeheure Kräfte wirken, wie bspw. Erdbeben, Vulkanausbrüche unter Wasser oder der Urknall. Das Drücken-Schema findet sich zumeist auch in der Gestik der Schüler_innen wieder (vgl. z. B. Abb. 29: Der Schüler führt die zur Faust geballte rechte Hand nach vorne).



Abb. 29: „Dadurch werden die angeschubst“ (Christoph, V1, 35:53)

6 Fazit

Die vorliegende Studie konnte dazu beitragen, eine aus Sicht der Fachdidaktik bedeutende Forschungslücke zu Schülervorstellungen in geowissenschaftlichen Kontexten zu schließen. Hinsichtlich der Vorstellungen zu Lithosphärenplatten wurden neben der von MARQUES und THOMPSON (1997) ebenfalls festgestellten Gleichsetzung der Kontinente mit den Lithosphärenplatten (Vorstellung _{hA1}) drei weitere Vorstellungen zu horizontalen Abgrenzungen der Platten identifiziert. Es wurde zudem ersichtlich, dass Schüler_innen in der Regel nicht zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre unterscheiden. Auch zeigte sich, dass viele Schüler_innen ähnlich den Studierenden in der Untersuchung von LIBARKIN et al. (2005) die Lithosphärenplatten unterhalb der Erdoberfläche verorten. Allerdings geht in der vorliegenden Studie die Mehrheit der Schüler_innen davon aus, dass sich die Erdoberfläche mit den Platten mitbewegt.

Durch den Einbezug von Fragestellungen zu unterschiedlichen geowissenschaftlichen Phänomenen konnte erstmals ein differenziertes Bild zu Vorstellungen über Vorgänge an Plattengrenzen gewonnen werden, das wiederum Rückschlüsse auf Vorstellungen zu Art und Weise der Plattenbewegungen ermöglichte. Hinsichtlich der Prozesse an Plattengrenzen zeigte sich, dass Schüler_innen insbesondere Vorgänge an konvergenten Plattengrenzen präsent sind. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (z. B. HAPPS 1982; ROSS & SHUELL 1993; DAL 2006). Dennoch konnten in dieser Studie einige Vorstellungen zu divergierenden Platten erfasst werden, die wichtige Hinweise auf mögliche Lernschwierigkeiten liefern können. Bei den Vorstellungen zu Antriebsmechanismen tektonischer Platten konnten neben der bereits bei MARQUES und THOMPSON (1997) in Bezug auf die Kontinentaldrift genannten Ursachen Erdrotation und Bewegung durch das Wasser der Ozeane weitere zentrale Vorstellungen identifiziert werden.

Gerade bei der Analyse der Vorstellungen zu Interaktionen der Platten an Plattengrenzen erwies es sich als besonders hilfreich, auch die Schülerzeichnungen und die Gestik mit einzubeziehen. Dies ermöglichte ein wesentlich exakteres Bild der Vorstellungen der Schüler_innen zu rekonstruieren. So erschloss sich aufgrund ihrer räumlichen Struktur beispielsweise Vorstellung _{konv3} (Platten schieben sich dreiecksförmig nach oben) insbesondere durch den Einbezug von Gestik und Schülerzeichnungen. Diese Vorstellung wurde bislang nur bei SIBLEY (2005) bei einer Untersuchung unter Studierenden erfasst, bei der ebenfalls Zeichnungen als Erhebungsinstrument genutzt wurden. Zudem konnte die Vorstellung, dass Platten zusammenstoßen, noch einmal differenzierter in zwei unterschiedliche Vorstellungen (_{konv1} und _{konv2}) untergliedert werden und es wurde deutlich, dass ein sich unter eine andere Platte

schieben (Vorstellung _{konv}4) keineswegs mit einem Einsinken der subduzierenden Platte in den Erdmantel verbunden ist.

Erst unter Einbezug der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens konnte die Sinnhaftigkeit vieler Vorstellungen zu Lithosphärenplatten, Plattenbewegungen, Interaktionen der Platten an Plattengrenzen sowie zu den Antriebsmechanismen der Platten deutlich werden. So gründen beispielsweise die Vorstellungen zu den Antriebsmechanismen der Platten allesamt auf basalen körperlichen Erfahrungen mit Bewegungen: Schüler_innen verwenden die Quellbereiche 'Bewegung durch Drücken', 'Bewegung durch Ziehen', 'Bewegung durch Transport' und 'Bewegung als Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche', um den Antrieb der Platten zu erklären. Hinsichtlich der Quellbereiche der Vorstellungskonstruktionen zu Lithosphärenplatten zeigte sich, dass Schüler_innen maßgeblich von alltäglichen Erfahrungen mit Platten geleitet werden. Bei der Offenlegung des Schülerverständnisses erwies sich der methodische Zugang über die kognitionslinguistische Analyse des Wortes Platte insofern als gewinnbringend, da auf diese Weise der von Schüler_innen genutzte Quellbereich tiefer verstanden und mögliche Ursachen einer aus fachlicher Sicht unangemessener Übertragungen erkannt werden konnten (vgl. CONRAD, eingereicht). Die Analyse der Schülerzeichnungen verdeutlichte insbesondere, dass sich Schüler_innen Lithosphärenplatten metaphorisch als Platten und damit als Einfachkörper vorstellen.

Die Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse und der Analyse der Gestik stützen sich zumeist gegenseitig. In seltenen Fällen wurden in der Gestik aber auch Schemata ersichtlich, die in der Sprache nicht zum Ausdruck kamen. Insbesondere die Erklärungen der Schüler_innen zu Vorgängen an den Plattengrenzen wurden fast ausnahmslos durch metaphorische Gesten begleitet, teilweise derart, dass die Schüler_innen mit ihren Händen zunächst eine Situation ausprobierten, bevor sie diese in sprachliche Ausdrücke kleideten. ROTH (2007) zeigt auf, dass Schüler_innen häufig Gesten als Denkhilfen nutzen, wenn sie mit neuartigen Phänomenen konfrontiert werden. Es erscheint somit nutzbringend, in zukünftigen Forschungsarbeiten zu Schülervorstellungen, gerade bei abstrakten räumlichen Sachverhalten, verstärkt auch die Gestik der Schüler_innen in die Analyse der Vorstellungen einzubeziehen, zumal dieser im Verständnis, aber auch im Vermittlungsprozess eine wichtige, bislang wenig beachtete Rolle innewohnt (vgl. ROTH 2001).

Literatur

BARROW, L. & HASKINS, S. (1993). Earthquakes Haven't Shaken College Students' Cognitive Structure. Paper presented at the Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, NY, S.1 - 13.

BASTEN, T. (2013). Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der Passatzirkulation. Hannover. Internet: edok01.tib.uni-hannover/edoks/e01dh13/74933620X.pdf (aufgerufen am 12.03.2014)

BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Braunschweig, S. 66 - 67.

BSTMUK, ISB (2004). Lehrplan des achtjährigen Gymnasiums. Internet: <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=1> (aufgerufen am 26.12.2013)

CIENKI, A. (2008). Why study metaphor and gesture? In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), Metaphor and Gesture. Gesture Studies 3. Amsterdam, Philadelphia, S. 5 - 6.

CLARK, S., LIBARKIN, J., KORTZ, K. & JORDAN, S. (2011). Alternative Conceptions of Plate Tectonics held by Non-Science Undergraduates. In: Journal of Geoscience Education, 59 (4), S. 251 - 262.

CONRAD, D. (2014). Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik. Bayreuth.

CONRAD, D. (eingereicht). Wie kann die Theorie der Plattentektonik durch Aktivierung geeigneter verkörperter Begriffe verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik.

CONRAD, D., BASTEN, T. & FELZMANN, D. (2014). Verstehen auf der Grundlage von Erfahrungen – wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik, 42 (4) (angenommen).

DAHL, J., ANDERSON, S. & LIBARKIN, J. (2005). Digging into Earth Science: Alternative conceptions held by K12-teachers. In: Journal of Geoscience Education, 6 (2), S. 65 - 68.

- DAL, B. (2006). The Origin and Extent of Student`s Understandings: The Effect of Various Kinds of Factors in Conceptual Understanding in Volcanism. In: *Electronic Journal of Science Education*, 11 (1), S. 38 - 59.
- DELAUGHTER, J., STEIN, S., STEIN, C. & BAIN, K. (1998). Preconceptions about earth science among students in an introductory course. In: *EOS* 79 (36), S. 429 - 432.
- DGFG (2012⁷): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss. Bonn.
- DORNSEIFF, F. (1970). *Der Deutsche Wortschatz nach Sachgruppen*. Berlin.
- DRIELING, K. (in Vorb.). Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung – Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion.
- DUDENREDAKTION (Hg.). Duden online. Internet: <http://www.duden.de/woerterbuch> (aufgerufen am 06.12.2013)
- FELZMANN, D. (2013). Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 41. Oldenburg.
- FRIEBERTSHÄUSER, B. & LANGER, A. (2010³). Interviewformen und Interviewpraxis. In: FRIEBERTSHÄUSER, B., LANGER, A. & PRENGEL, A. (Hg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*. Weinheim, München, S. 437 - 455.
- FRISCH, W. & MESCHÉDE, M. (2011⁴). Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. Darmstadt.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), S. 867 - 888.
- GOBERT, J. (2000). A typology of casual models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. In: *International Journal of Science Education*, 22 (9), S. 937 - 978.
- GOBERT, J. (2005). The Effects of different learning Tasks on Model-building in Plate Tectonics: Diagramming versus Explaining. In: *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), S. 444 - 455.
- GOBERT, J. & CLEMENT J. (1999). Effects of Student-Generated Diagrams versus Student-Generated Summaries on Conceptual Understanding of Causal and Dynamic Knowledge in Plate Tectonics. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (1), S. 39 - 54.

- GRIMM, J. & GRIMM, W.; KÜRSCHNER, W. (Hg.) (2003). Deutsches Wörterbuch. Hildesheim.
- GROPENGIESSER, H. (1997). Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Oldenburg.
- GROPENGIESSER, H. (1999). Was die Sprache über unsere Vorstellungen sagt. Kognitionslinguistische Analyse als Methode zur Erfassung von Vorstellungen: Das Beispiel sehen. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 5 (2), S. 57 - 77.
- GROPENGIESSER, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P. & GLAESER-ZIKUDA, M. (Hg.), Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim und Basel, S. 172 - 189.
- GROPENGIESSER, H. (2006²). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 4. Oldenburg.
- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 105 - 116.
- GROSS, J. (2007). Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 16. Oldenburg.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2008⁵). Press/Siever. Allgemeine Geologie. Berlin, Heidelberg.
- HAPPS, J.C. (1982). Mountains. Working Paper of the Science Education Research Unit, University of Waikato, NZ.
- HÄUSSLER, P., BÜNDER, W., DUIT, R., GRÄBER, W. & MAYER, J. (1998). Naturwissenschafts-didaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis. IPN-Schriftenreihe 155. Kiel.
- HEMMER, M., RAHNER, M. & SCHULER S. (2011). Naturreisiken im Geographieunterricht – ausgewählte Ergebnisse empirischer Studien zur Schülerperspektiven, didaktische Konsequenzen und Forschungsperspektiven. In: Geographie und ihre Didaktik, 39 (1), S. 1 - 24.
- HEMMERICH, J. & WILEY, J. (2002). Do argumentation tasks promote conceptual change about volcanoes? In: Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, S. 453 - 458.

- HERRERA, J. & RIGGS, E. (2013). Relating Gestures and Speech: An analysis of students' conceptions about geological sedimentary processes. In: *International Journal of Science Education*, 35 (12), S. 1979 - 2003.
- JOHNSON, M. (1987). *The Body in the Mind*. Chicago.
- KASTENS, K., AGRAWAL, S. & LIBBEN, L. (2008). Research Methodologies in Science Education: The role of Gesture in Geoscience Teaching and Learning. In: *Journal of Geoscience Education*, 56 (4), S. 362 - 368.
- KING, C. (2000). The Earth's mantle is solid: teachers' misconceptions about the Earth and plate tectonics. In: *School Science Review*, 82 (298), S. 57 - 64.
- KORTZ, K. & SMAY, J. (2010). *Lecture Tutorials for Introductory Geoscience*. New York.
- LAKOFF, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. Chicago.
- LAKOFF, G. (2008). The neuroscience of metaphoric gesture: Why they exist. In: CIENKI, A. & MÜLLER, C. (Hg.), *Metaphor and Gesture*. *Gesture Studies* 3. Amsterdam, Philadelphia, S. 291 - 302.
- LAKOFF, G. & JOHNSON M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago.
- LAKOFF G. & JOHNSON M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. New York.
- LAMNEK, S. (2010⁵). *Qualitative Sozialforschung*. Weinheim, Basel.
- LIBARKIN, J., ANDERSON, S., DAHL, J., BEILFUSS, M. & BOONE, W. (2005). Qualitative Analysis of College Students' Ideas about the Earth: Interviews and Open-Ended Questionnaires. In: *Journal of Geoscience Education*, 53 (1), S. 17 - 26.
- MARQUES, L. & THOMPSON, D. (1997). Misconceptions and Conceptual Changes concerning Continental Drift and Plate Tectonics among Portuguese Students Aged 16-17. In: *Research in Science & Technological Education*, 15 (2), S. 195 - 222.
- MARSCH, S. (2012). "Die weißen Blutzellen schießen Antikörper auf den Virus". In: *Unterricht Biologie*, 36 (372), S. 27 - 31.
- MARSCH, S., ELSTER, M. & KRÜGER, D. (2007). "Mein Gehirn nimmt auf, was mir wichtig ist." – Eine Untersuchung zu Schülervorstellungen und Metaphern über das Lernen. In: VOGT,

H., KRÜGER, D., UPMEIER ZU BELZEN, A., WILDE, M. & BÄTZ, K. (Hg.), Erkenntnisweg Biologiedidaktik 6. Kassel, Bielefeld, S. 21 - 35.

MAYRING, P. (2002⁵). Einführung in die qualitative Sozialforschung. Weinheim.

MCNEILL, D. (1992). Hand and Mind. What Gestures Reveal about Thought. Chicago, London.

MÜLLER, C. (1998). Redebegleitende Gesten. Kulturgeschichte – Theorie- Sprachvergleich. Berlin.

MÜLLER, W. (Hg.) (2010⁴). Der Duden 10. Das Bedeutungswörterbuch: Wortschatz und Wortbildung. Mannheim.

NIEBERT, K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Oldenburg.

NIEBERT, K. & GROPENGIESSER H. (2014): Leitfadengestützte Interviews. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 121 - 132.

NIEBERT, K., RIEMEIER, T. & GROPENGIESSER, H. (2013). The hidden hand that shapes conceptual understanding. Choosing effective representations for teaching cell division and climate change. In: TSUI, C.Y. & TREGUST, D.F. (Hg.), Multiple Representations in Biological Education. New York, S. 293 - 310.

REINFRIED, S. (2006). Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. In: Geographie heute, 27 (243), S. 38 - 42.

REINFRIED, S. (2007). Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lerntheorie am Beispiel des Conceptual-Change. In: Geographie und Schule, 29 (168), S. 19 - 28.

REINFRIED, S. (2010). Lernen als Vorstellungsänderung: Aspekte der Vorstellungsforschung mit Bezügen zur Geographiedidaktik. In: REINFRIED, S. (Hg.), Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin, S. 1 – 31.

REINFRIED, S. & SCHULER, S. (2011). LLBG - Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Forschung über Alltagsvorstellungen in den Geowissenschaften. Stand/Volume 04.08.2011, www.ph-ludwigsburg.de/llbg (aufgerufen am 26.12.2013)

- RIEMEIER, T. (2005). *Biologie verstehen: Die Zelltheorie. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 7.* Oldenburg.
- RIEMEIER, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung.* Berlin, Heidelberg, S. 69 - 70.
- ROSS, K.E.K. & SHUELL, T. J. (1993). Children`s beliefs about earthquakes. In: *Science Education*, 77 (2), S. 191 - 205.
- Roth, W.-M. (2001). Gestures: Their Role in Teaching and Learning. In: *Review of Educational Research*, 71 (3), S. 365 - 392.
- ROTH, W.-M. (2007). Making Use of Gestures, the Leading Edge in Literacy Development. Internet: [www. Educ.uvic.ca/faculty/mroth/PREPRINTS/Literacy1.pdf](http://www.Educ.uvic.ca/faculty/mroth/PREPRINTS/Literacy1.pdf) (aufgerufen am 01.04.2014).
- SANDERS, D. (1985). *Deutscher Sprachschatz. Bd. 1: Systematischer Teil.* Tübingen.
- SCHEELE, B., GROEBEN, N. & CHRISTMANN, U. (1992). Ein alltagssprachliches Struktur-Lege-Spiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In: SCHEELE, B. (Hg.), *Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik.* Heidelberg, S. 152 - 197.
- SCHEMANN, H. (1992). *Synonymwörterbuch der deutschen Redensarten.* Stuttgart.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. In: *Forum Qualitative Sozialforschung. Volume 4, No.2.* Internet: <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> (aufgerufen am 10.10.2013)
- SCHNOTZ, W. (2006³). Conceptual Change. In: ROST, D. H. (Hg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie.* Weinheim, S. 77 - 82.
- SCHUBERT, J.C. (2012). Schülervorstellungen zu Wüsten und Desertifikation – Eine empirische Untersuchung zu einem zentralen Thema des Geographieunterrichts. Münster. Internet: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:hbz:6-48319559913> (aufgerufen am 26.03.2014)
- SIBLEY, D. (2005). Visual Abilities and Misconceptions about Plate Tectonics. In: *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), S. 471 - 477.
- STEINKE, I. (2008⁶). Gütekriterien qualitativer Forschung. In: FLICK, U., VON KARDOFF, E. & STEINKE, I. (Hg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch.* Reinbek, S. 319 - 331.

TARBUCK, E. & LUTGENS, F. (2009). Allgemeine Geologie. München.

VOLLMER, G. (1986). Was können wir wissen? Band 2: Die Erkenntnisse der Natur. Stuttgart.

WEITZEL, H. (2006). Biologie verstehen: Vorstellungen zur Anpassung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 15. Oldenburg.

WITZEL, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. In: Forum: Qualitative Sozialforschung Volume 1, No.2, Art. 22. Internet: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2519> (aufgerufen am 23.12.2013)

7.4 Teilarbeit B

CONRAD, D. (zur Publikation eingereicht)

Wie kann die Theorie der Plattentektonik durch Aktivierung geeigneter verkörperter Begriffe verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik.

Zeitschrift für Geographiedidaktik

Wie kann die Theorie der Plattentektonik durch Aktivierung geeigneter verkörperter Begriffe verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik

Dominik Conrad

Zusammenfassung:

Im Rahmen einer didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik wurden didaktische Leitlinien für den Geographieunterricht entwickelt. Grundlage hierzu bildete die Annahme, dass Strukturen und Prozesse der Plattentektonik aufgrund der räumlichen und zeitlichen Dimensionen nicht direkt wahrnehmbar und somit nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nur imaginativ verständlich sind. Für den Unterricht bedeutet dies, bei der Vermittlung der Plattentektonik geeignete Metaphern zu verwenden, deren Quellbereiche direkt verständlich sind. Forschungsrahmen bildete das Modell der didaktischen Rekonstruktion. Die mittels qualitativer Interviews ermittelten Schülervorstellungen wurden mit den bei der fachlichen Klärung identifizierten fachwissenschaftlichen Konzepten zur Plattentektonik verglichen. Auf Basis dieses Vergleichs wurden als Empfehlung für den Unterricht zu betrachtende didaktische Leitlinien erstellt.

Schlüsselwörter: Didaktische Rekonstruktion, Schülervorstellungen, Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, Conceptual Change, Plattentektonik

How to teach plate tectonics effectively? Key results of an educational reconstruction of plate tectonics

Summary

The model of educational reconstruction was used in this study to develop didactical guidelines for teaching plate tectonics in geography class. This is based on the assumption that structures and processes concerning plate tectonics cannot be perceived directly because of their spatial and temporal dimensions. According to theory of experientialism, plate tectonics can only be understood on an imaginary level. As a result, instructors teaching plate tectonics are required to use adequate metaphors from source domains which are clearly comprehensible. Students' conceptions of plate tectonics have been investigated by using qualitative interviews. For scientific clarification three textbooks have been analyzed with a combination of

qualitative content analysis and systematic metaphor analysis. The article presents key results of scientific clarification and central students' conceptions of plate tectonics, a comparison of these two perspectives and educational guidelines for teaching plate tectonics.

Keywords: model of educational reconstruction, student conceptions, theory of experientialism, conceptual change, plate tectonics

1 Einleitung

Das Verständnis der Theorie der Plattentektonik ist grundlegend für eine Vielzahl geologischer Phänomene, die im Geographieunterricht behandelt werden. Eine Befragung unter 15 - 16 Jahre alten Schüler_innen (n = 270) in Portugal (MARQUES & THOMPSON 1997) ergab, dass ein beachtlicher Teil der befragten Schüler_innen nach der unterrichtlichen Behandlung der Plattentektonik über von der fachwissenschaftlichen Sicht abweichende Vorstellungen verfügt. MARQUES und THOMPSON bilanzieren: „*Normal earth science teaching methodology in Portuguese schools does not enable many students to eradicate their learning difficulties*“ (MARQUES & THOMPSON 1997, S. 218). Aber worin liegen diese Lernschwierigkeiten, und wie sollte ein Unterricht, der diese berücksichtigt, idealerweise aufgebaut werden? Antworten auf diese für den Geographieunterricht zentralen Fragestellungen sollten im Rahmen eines Forschungsprojekts zur didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik gefunden werden. Zur detaillierten Erfassung der Lernerperspektive zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zu Plattenbewegungen und den Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten wurden problemzentrierte Interviews (WITZEL 2000) mit 15 Schüler_innen der neunten Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums geführt (CONRAD, zur Publikation eingereicht). Zudem wurden im Rahmen einer fachlichen Klärung zentrale fachwissenschaftliche Konzepte zu den gleichen Themenbereichen herausgearbeitet und im Hinblick auf die Vermittlungsabsicht analysiert. Die Ergebnisse beider Forschungsschritte wurden aufeinander bezogen und auf Basis eines wechselseitigen Vergleichs theoriebasiert didaktische Leitlinien formuliert.

2 Theoretische Grundlagen

Gemäß einer konstruktivistischen Sichtweise (GERSTENMAIER & MANDL 1995; REINFRIED 2007; RIEMEIER 2007) ist Lernen ein aktiver Prozess, bei dem die Vorerfahrungen der Lernenden eine zentrale Rolle spielen. Strukturen und Prozesse des Systems Plattentektonik sind wie viele geowissenschaftliche Phänomene aufgrund ihrer räumlichen und zeitlichen Dimensionen nicht direkt erfahrbar und somit nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980; GROPPENGIESSER 2006;2007; BASTEN, CONRAD & FELZMANN

2013) nur durch metaphorische Übertragung verkörperter Begriffe verständlich. Unter verkörperten Begriffen versteht man Basiskategorien und kinästhetische Schemata, die sich aus direkten Erfahrungen unseres Körpers mit der physischen und sozialen Umwelt herausbilden (GROPENGISSER 2007). Lernschwierigkeiten können daraus resultieren, dass Schüler_innen beim imaginativen Verstehen einen anderen Quellbereich als Fachwissenschaftler nutzen oder beim Gebrauch des gleichen Quellbereichs die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen. Zudem verlangen viele geowissenschaftliche Sachverhalte eine Erklärung, die im Mikrokosmos angesiedelt ist. In der Alltagswelt werden Vorgänge und deren Ursachen (z. B. Bewegungen) auf der Ebene des unmittelbar erfahrbaren Mesokosmos erklärt. Versuchen Schüler_innen geowissenschaftliche Phänomene zu erläutern, bleiben sie häufig im Mesokosmos verhaftet und konstruieren dadurch vom wissenschaftlichen Verständnis abweichende Vorstellungen. Ziehen Schüler_innen aber Begründungen aus dem Mikrokosmos heran, so kann es auch hier zu einer Nutzung inadäquater Quellbereiche oder einer unangemessenen metaphorischen Übertragung bei Nutzung eines mit der Fachwissenschaft übereinstimmenden Quellbereiches kommen (CONRAD, BASTEN & FELZMANN 2014). Für die erfolgreiche Vermittlung der Plattentektonik ist es somit entscheidend, sowohl die Vorstellungen der Schüler_innen und deren Quellbereiche als auch die Vorstellungen der Wissenschaftler_innen und deren Quellbereiche detailliert zu kennen, um auf diese Weise ein Verständnis für mögliche Lernschwierigkeiten zu erlangen.

Wichtige Erkenntnisse zur Frage, wie Lernprozesse auf Basis eigener Vorstellungen ablaufen, liefert die Conceptual-Change-Forschung (vgl. KRÜGER 2007). Der traditionelle Conceptual-Change-Ansatz (POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG 1982) betrachtet einen Konzeptwechsel als Akkommodation und nennt vier Bedingungen, die für einen erfolgreichen Lernprozess gegeben sein müssen: Unzufriedenheit mit der eigenen Vorstellung, Verständlichkeit, Plausibilität sowie Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung. Insbesondere im Hinblick auf die Verständlichkeit der wissenschaftlichen Vorstellung erscheint es für die Vermittlung der Plattentektonik notwendig, geeignete Metaphern zu finden, die ein imaginatives Verständnis dieses abstrakten Zielbereichs ermöglichen. NIEBERT, MARSCH und TREAGUST (2012) konnten im Rahmen einer Reanalyse von 199 im Lernprozess verwendeten Metaphern aufzeigen, dass es von entscheidender Bedeutung ist, dass verkörperte Erfahrungen Quellbereiche der metaphorischen Übertragung bilden, da diese für Schüler_innen direkt verständlich sind. Erfordert das Verstehen eines geowissenschaftlichen Sachverhalts den Wechsel eines Quellbereichs, so erscheint es lernförderlich, durch Lernangebote, beispielsweise die Arbeit mit Modellen, Computer- oder Handlungssimulationen, Erfahrungen mit den von der Wissenschaft genutz-

ten Quellbereichen im Unterricht zu ermöglichen und deren Übertragung auf den abstrakten wissenschaftlichen Sachverhalt zu reflektieren. Bei der Aktivierung dem Verständnis des wissenschaftlichen Sachverhaltes dienenden Schemata verhilft zudem ein sorgsamer Sprachgebrauch ebenso wie die Nutzung alltagsnaher Analogien (RIEMEIER 2005; NIEBERT 2010; NIEBERT et al. 2012; NIEBERT, RIEMEIER & GROPENGIESSER 2013; FELZMANN 2013; BASTEN 2013; CONRAD et al. 2014). HERRERA und RIGGS (2013) stellen die Annahme auf, dass zudem ein überlegter Einsatz von Gesten einen Beitrag zur Aktivierung passender kinästhetischer Schemata leisten kann. Da Quell- und Zielbereich zwar gemeinsame Elemente besitzen, aber niemals identisch sind, ist für die Entwicklung eines angemessenen Verständnisses eine Reflexion der Grenzen einer metaphorischen Übertragung als förderlich zu betrachten (BASTEN 2013; NIEBERT et al. 2013; 2014; CONRAD et al. 2014). Liegen die Erklärungen des wissenschaftlichen Sachverhaltes auf der Ebene des Mikrokosmos, so muss ein Ebenenwechsel seitens der Lehrkraft initiiert werden. Der Geographieunterricht ist so zu gestalten, dass er zum Verständnis notwendige naturwissenschaftliche Konzepte explizit aufgreift (CONRAD 2012; CONRAD et al. 2014).

3 Untersuchungsdesign

Gemäß dem Erkenntnisinteresse bietet das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER & KOMOREK 1997; KATTMANN 2007) einen geeigneten Forschungsrahmen. Dieses besteht aus den drei aufeinander bezogenen Forschungsaufgaben fachliche Klärung, Erfassen von Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung. Bei der fachlichen Klärung wird die fachwissenschaftliche Sicht aus einer Metaperspektive bezüglich Grenzen, möglicher Lernschwierigkeiten sowie der Eignung verwendeter Analogien und Metaphern untersucht. Bei der Untersuchung der Lernerperspektive stehen die Vorstellung der Lerner, ihre Einbettung in größere Zusammenhänge und die mögliche Genese der Vorstellungen im Fokus. Aus dem wechselseitigen Vergleich der Ergebnisse von fachlicher Klärung und dem Erfassen der Lernerperspektiven erfolgt die didaktische Strukturierung, die beispielsweise in die Erstellung didaktischer Leitlinien für den Unterricht münden kann.

Kapitel 4 gibt einen Überblick über methodisches Vorgehen, Forschungsfragen und zentrale Ergebnisse der fachlichen Klärung zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zu Plattenbewegungen und Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten. In Kapitel 5 wird analog zum Vorgehen in Kapitel 4 das Erfassen der Lernerperspektiven beschrieben. Anschließend werden beide Perspektiven zusammengeführt. Dies erfolgt über einen wechselseitigen Vergleich (Kapitel 6), auf dessen Basis didaktische Leitlinien entwickelt werden (Kapitel 7).

4 Methodisches Vorgehen, Forschungsfragen und zentrale Ergebnisse der fachlichen Klärung

4.1 Methodisches Vorgehen und Forschungsfragen

Als Quellen zur fachlichen Klärung wurden drei aktuelle Hochschullehrbücher herangezogen. Die Wahl fiel wegen seiner weiten Verbreitung zum einen auf GROTZINGER, JORDAN, PRESS und SIEVER (2008), auf TARBUCK und LUTGENS (2009) aufgrund der umfassenden Betrachtung des Systems Erde und der Vielzahl verwendeter Analogien sowie mit FRISCH und MESCHÉDE (2011) auf ein Lehrbuch, das im Gegensatz zu den beiden anderen Lehrbüchern nicht aus dem angloamerikanischen Raum stammt und zudem Prozesse des Systems Plattentektonik stärker fokussiert. Beim Themenbereich Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten wurde auf Empfehlung von Prof. Dr. Hans Keppler (Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth) zusätzlich eine aktuelle Studie (HÖINK, JELLINEC & LENARDIC 2011) herangezogen. Die Auswertung der Quellentexte erfolgte mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGIESSER 2005) und systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT 2003; NIEBERT 2010) unter der Fragestellung, über welche Vorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zu Plattenbewegung sowie den Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten Wissenschaftler verfügen und auf welche Quellbereiche sie bei ihren Vorstellungskonstruktionen zurückgreifen. Die verwendete Metaphorik wurde hinsichtlich Potenziale und Grenzen im Hinblick auf die Vermittlungsabsicht untersucht.

4.2 Zentrale Ergebnisse

Im Folgenden werden für das Verständnis der Plattentektonik wichtige wissenschaftliche Vorstellungen und deren metaphorische Strukturierung beschrieben.

Zentrale wissenschaftliche Konzepte zu Strukturen des Systems Plattentektonik (SP)

Tab. 1: Zentrale wissenschaftliche Konzepte zu Strukturen des Systems Plattentektonik (SP).

Konzept _{SP1} : Platten bilden zusammen die äußerste Schale der Erde.
Konzept _{SP2} : Platten sind Doppelkörper aus Kruste und lithosphärischem Mantel.
Konzept _{SP3} : Es ist zu unterscheiden zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre.
Konzept _{SP4} : Der Aufbau des Erdinneren kann über eine chemische und eine physikalische Zonierung beschrieben werden.
Konzept _{SP5} : Die Lithosphäre verhält sich starr, die Asthenosphäre plastisch.

Platten werden als Stücke aufgefasst, die gemeinsam die äußerste Schale der Erde bilden (Teil-Ganzes-Schema, LAKOFF 1987). Sie sind aus Kruste und lithosphärischem Mantel zusammengesetzte Doppelkörper (Körper-Schema, CONRAD 2014b). Je nach auflagerndem

Krustentyp ist von ozeanischer bzw. kontinentaler Lithosphäre die Rede. Ozeanische und kontinentale Kruste unterscheiden sich voneinander in Mächtigkeit, Aufbau, Bildungsprozessen und auf der Ebene der Teile: Ozeanische Kruste ist mit ca. $3,0 \text{ g/cm}^3$ etwas dichter als kontinentale Kruste (ca. $2,7 \text{ g/cm}^3$). Ozeanische und kontinentale Lithosphäre können, müssen aber nicht als getrennte Körper vorliegen: „Fast alle heute existierenden Platten enthalten Bereiche mit kontinentaler und ozeanischer Kruste“ (FRISCH & MESCHÉDE 2011, S. 19). Kontinente und Ozeanböden werden über ein Teil-Ganzes-Schema als Teile der Platten verstanden. Das Erdinnere kann sowohl aufgrund der chemischen Zusammensetzung (Aufteilung in Erdkruste, Erdmantel und Erdkern) als auch aufgrund der physikalischen Eigenschaften (Aufteilung in Lithosphäre, Asthenosphäre, Übergangszone, unterer Mantel, D"-Schicht, äußerer und innerer Kern) zoniert werden. Für das Verständnis der Plattentektonik zentral ist die Vorstellung einer starren Lithosphäre und einer plastischen Asthenosphäre. Unter Beanspruchung reagiert das Gestein der Asthenosphäre duktil. Duktile Verformung wird als bruchlose und somit plastische Verformung und auch als plastisches Fließen beschrieben. Plastisches Fließen wird auf der Ebene der Teile als Rutschen oder Gleiten aufgefasst. Die Existenz einer weniger festen Schicht unterhalb der Lithosphäre erst ermöglicht die Bewegung von Platten.

Zentrale wissenschaftliche Konzepte zur Plattenbewegung (PB)

Tab. 2: Zentrale wissenschaftliche Konzepte zur Plattenbewegung (PB)

Konzept _{PB1} : Plattenbewegung ist Teil der Konvektionsbewegung des Mantels.
Konzept _{PB2} : Platten wachsen an konstruktiven Plattengrenzen.
Konzept _{PB3} : Platten sind schwimmende Objekte.
Konzept _{PB4} : Alternde Lithosphäre wird mächtiger und dichter.
Konzept _{PB5} : Ozeanische Lithosphäre wird in den Mantel aufgenommen.
Konzept _{PB6} : Aufgenommene Lithosphäre wird mit Mantelmaterial vermischt.
Konzept _{PB7} : Lithosphärenplatten werden recycelt.

Das Mantelmaterial selbst ist in Bewegung, die Bewegung wird über ein Kreislauf-Schema (NIEBERT 2010) und ein Fließ-Schema (FELZMANN 2013) strukturiert. Ozeanische Lithosphäre bildet einen Teil des oberen Astes der Kreislaufbewegung, die subduzierten Platten einen Teil der nach unten gerichteten Kreislaufbewegung. Ursache dieser Konvektionsbewegung ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Erdinneren und der Erdoberfläche. Die Erklärung erfolgt auf Ebene der Teilchen durch Dichteunterschiede. Plattenbewegung wird, da sie Teil dieses Kreislaufs darstellt, auch als Platten-Mantel-Bewegung oder Platten-Mantel-Konvektion beschrieben.

Einen Punkt des angenommenen Kreislaufs stellen konstruktive Plattengrenzen dar. Bei deren Betrachtung werden Platten als zwei zunächst beieinanderliegende und sich dann auseinanderbewegende Körper strukturiert. Der Vorgang wird dabei nicht aus der Perspektive auf einen Körper betrachtet, der ständig wieder entzweibricht, vielmehr wird von zwei Körpern ausgegangen, die kurze Zeit miteinander verbunden sind und sofort wieder getrennt werden. Vorgänge des Trennens und Wiederverbindens der Körper laufen simultan ab und werden als zyklische Vorgänge betrachtet. Das Anfügen von Material an die der Plattengrenze zugewandten Ränder der Körper führt zu deren kurzfristigen Verbindung und wird über ein Geber-Gabe-Nehmer-Schema (GROPENGIESSER 2007) strukturiert. Geber ist die Magmakammer, die Gabe ist Magma und die Nehmer sind die Plattenränder. Das neu gebildete Lithosphärenmaterial sorgt für ein Wachstum der Platten. Wachstum wird über ein Mehrwerden-Schema (RIEMEIER 2007) und ein Größerwerden-Schema (RIEMEIER 2007) strukturiert. Bevor das Material an die Platten gefügt wird, kommt es zu einer zweifachen Umwandlung, die jeweils über ein Transformations-Schema (JOHNSON 1987) verstanden wird: 1. Transformation von festem Mantelgestein zu Magma; 2. Transformation von Magma zu Effusiv- bzw. Intrusivgestein. Bei der ersten Transformation wird ein Drücken-Schema (JOHNSON 1987) herangezogen. Durch Abnahme des Drucks kommt es zu einer Dekompressionsschmelze aufsteigenden Mantelmaterials unterhalb der Mittelozeanischen Rücken. Die entstehende Gesteinsschmelze sammelt sich in der über ein Behälter-Schema (LAKOFF 1987) verstandenen Magmakammer. Die Transformation von Magma zu Gestein wird über den Quellbereich Erstarren beschrieben.

Um das Verhalten der Lithosphärenplatten und schließlich deren Subduktion zu verstehen, ist die Nutzung des Quellbereiches 'Schwimmende Objekte' von zentraler Bedeutung. Die Auftriebskraft wird hierbei über ein Drücken-Schema strukturiert, Kraftquelle ist die Gewichtskraft der verdrängten Asthenosphäre. Der Druck wirkt entgegen der Gewichtskraft der Lithosphäre (Gegenkraft-Schema, JOHNSON 1987). Diese wird über ein Ziehen-Schema strukturiert. Das Schwimmen der Lithosphärenplatten wird über ein Gleichgewichts-Schema (JOHNSON 1987) verstanden. Lithosphäre, die sich vom Mittelozeanischen Rücken entfernt, kühlt ab. Dies führt zu einer Veränderung auf der Ebene der Teile. Die Dichte der ozeanischen Lithosphäre erhöht sich durch thermische Schrumpfung der ozeanischen Kruste, die über ein Reflexiv-Schema (LAKOFF 1987) verstanden wird. Während der obere Körper der Platte durch thermische Schrumpfung minimal an Mächtigkeit verliert, wächst der untere Körper, obschon er thermischer Schrumpfung ausgesetzt ist, immens an. Dies geschieht durch eine thermisch bedingte Umwandlung von weicher Asthenosphäre in starre Lithosphäre (Transformations-

Schema). Auch diese Form des Wachstums ozeanischer Lithosphäre wird über ein Mehrwerden-Schema und ein Größerwerden-Schema strukturiert. Da lithosphärischer Mantel dichter ist als ozeanische Kruste, führt das deutliche Wachstum des unteren Körpers zu einer Erhöhung der Dichte des gesamten Körpers und somit zu einem tieferen Einsinken in die Asthenosphäre.

Zur Erklärung der Subduktion ozeanischer Lithosphäre ist ein Blick auf die Ebene der Teile notwendig. Erst eine Dichteumkehr von Lithosphäre und Asthenosphäre ermöglicht die freie Subduktion ozeanischer Lithosphäre. Hierbei sind die nach unten ziehenden Kräfte (Ziehen-Schema) größer als die nach oben drückenden Kräfte (Drücken-Schema). Kontinentale Lithosphäre wird aufgrund ihrer geringeren Dichte zu stark nach oben gedrückt und kann daher nicht in großem Maßstab subduziert werden. Thermische Schrumpfung der Kruste (= oberer Körper) führt nicht zu einer Dichteumkehr, entscheidend ist das Wachstum des lithosphärischen Mantels (= unterer Körper), der eine höhere Dichte aufweist als die Asthenosphäre. Nur eine ausgeprägte Dichteumkehr kann zu freier Subduktion führen, da Platten Festkörper sind und Kraft benötigt wird, um diese zu zerbrechen und nach unten zu biegen. Freie Subduktion wird über die Quellbereiche Tauchen bzw. Sinken verstanden, erzwungene Subduktion über ein Drücken-Schema. Der hintere Teil der Platte schiebt den vorderen Teil der Platte unter die Oberplatte.

Das Schicksal der subduzierten Platte wird als Aufnahme in den Behälter Mantel (Behälter-Schema) beschrieben, der eine Oben-unten-Strukturierung aufweist. Nach der Aufnahme in den Mantel kommt es zu einer Vermischung der Platte mit dem Mantelmaterial.

Die Prozesse der Herstellung von Lithosphärenmaterial, seine Zerstörung und die Wiederverwertung des Rohstoffs Mantelmaterial werden über eine Recyclingmetapher veranschaulicht.

Zentrale wissenschaftliche Konzepte zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten (AP)

Tab. 3: Zentrale wissenschaftliche Konzepte zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten (AP)

Konzept_{AP1}: Plattenzug verursacht Plattenbewegung.

Konzept_{AP2}: Rückendruck verursacht Plattenbewegung.

Konzept_{AP3}: Asthenosphärenantrieb verursacht Plattenbewegung.

Beim Plattenzug wird die Platte über ein Vorne-hinten-Schema strukturiert. Die Kraft, die die Bewegung auslöst, wird über ein Ziehen-Schema verstanden. Der vordere Teil der Platte sinkt

in die Asthenosphäre ein und wird zur Kraftquelle, indem er den dahinter befindlichen Teil der Platte hinter sich herzieht.

Der Rückendruck wird über die Basiskategorie Rutschen verstanden. Das Rutschen ist mit einem Drücken verknüpft, bei dem der höher gelegene, hintere Abschnitt der Platte den tiefer gelegenen, weiter vorne befindlichen Abschnitt der Platte vom Rücken wegschiebt.

Der Plattenschleppung als möglichem Antriebsmechanismus wird von den Autoren der untersuchten Hochschullehrbücher keine Bedeutung beigemessen. In der „Encyclopedia of Solid Earth Geophysics“ (GUPTA 2011) wird allerdings beschrieben, dass es zwei Ansichten den Plattenantrieb betreffend gibt. Eine geht vom Plattenzug als der entscheidenden Kraft aus, die andere sieht in der Kopplung mit dem Mantel den Hauptantrieb (FORTE 2011, S. 982). Eine aktuelle Studie (HÖINK et al. 2011) kommt zu dem Ergebnis, dass für größere Platten, die an ihren Rändern subduziert werden (z. B. die Pazifische Platte), gilt, dass der Plattenzug hauptsächlich für den Plattenantrieb verantwortlich ist. Für Platten mit einer lateralen Ausdehnung kleiner als die Tiefe des Mantels gilt nach HÖINK et al. (2011), dass der Asthenosphärenantrieb die Hauptantriebskraft darstellt. Die Vorstellung ist über ein Ziehen-Schema strukturiert. Kraftquelle ist die Asthenosphärenströmung, welche die Platte schleppend mitzieht, wenn die Bewegung der Asthenosphäre schneller ist als die der Platte. Bei Platten, die an ihren Rändern subduziert werden, ist anzunehmen, dass dies nicht der Fall ist. Noch sind nicht alle den Plattenantrieb betreffenden Fragen zufriedenstellend geklärt.

5 Erfassen von Lernerperspektiven: Methodisches Vorgehen, Forschungsfragen und zentrale Ergebnisse

5.1 Methodisches Vorgehen und Forschungsfragen

Das Erfassen von Lernerperspektiven erfolgte mittels 15 problemzentrierter Interviews (WITZEL 2000) mit Schüler_innen der neunten Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums. Diese wurden mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGIESSER 2005), systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT 2003; NIEBERT 2010) und einer in Anlehnung an MÜLLER (1998) sowie HERRERA und RIGGS (2013) durchgeführten Analyse der Gestik unter der Fragestellung ausgewertet, über welche Vorstellungen die Schüler_innen zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zur Plattenbewegung sowie zu den Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten verfügen und welche Quellbereiche sie bei ihren Vorstellungskonstruktionen nutzen.

5.2 Zentrale Ergebnisse

Tabelle 4 bietet einen Überblick über zentrale Ergebnisse der Auswertung der qualitativen Interviews. Eine ausführliche Explikation der Schülervorstellungen findet sich bei CONRAD (zur Publikation eingereicht).

Tab. 4: Zentrale Ergebnisse der Untersuchung der Lernerperspektive

Vorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik	
Vorstellungen zu horizontalen Abgrenzungen der Platten (hA)	
Vorstellung _{hA1} :	Kontinente (und Inseln) bilden die Platten.
Vorstellung _{hA2} :	Platten sitzen unter den Kontinenten und tragen diese.
Vorstellung _{hA3} :	Die Platten umrahmen die Kontinente und befinden sich somit auch unter den Ozeanen.
Vorstellung _{hA4} :	Es gibt Platten, die sich nur unterhalb der Ozeane befinden.
Vorstellungen zur unterschiedlichen Höhenlage der Ozeanböden und Kontinente (uH)	
Vorstellung _{uH1} :	Zu- oder Wegnahme von Material bei einer ursprünglich ausgeglichenen Erdoberfläche führt zu unterschiedlicher Höhenlage.
Vorstellung _{uH2} :	Kontinente entstehen wie Gebirge durch Zusammenschieben von Platten.
Weitere Vorstellungen zu Lithosphärenplatten (LP)	
Vorstellung _{LP1} :	Platten sind einheitliche Körper.
Vorstellung _{LP2} :	Platten sind stabil und bestehen aus Gestein.
Vorstellung _{LP3} :	Platten haben eine ebene Ober- und Unterseite.
Vorstellung _{LP4} :	Platten bilden gemeinsam eine Schicht.
Vorstellung _{LP5} :	Platten schützen vor Lava im Erdinneren.
Vorstellung _{LP6} :	Platten sind tragende Elemente.
Vorstellungen zur Zonierung des Erdinneren (ZE)	
Vorstellung _{ZE1} :	Um den Erdkern befindet sich eine Magmaschicht, ganz außen befindet sich Gestein (= Magmahüllenmodell).
Vorstellung _{ZE2} :	Um den Erdkern befinden sich in konzentrischen Kreisen angeordnete Gesteinsschichten (= Gesteinsschichtenmodell).
Vorstellungen zur Einordnung der Platten in den Aufbau der Erde (AE)	
Vorstellung _{AE1} :	Die Platten sind die Kontinente und schwimmen in den Ozeanen.
Vorstellung _{AE2} :	Die Platten bilden die in Stücke geteilte äußerste Schicht der Erde.

Vorstellung _{AE3} :	Die Platten bilden eine in Stücke geteilte Schicht, aber nicht die äußerste.
Vorstellungen zum Bereich unterhalb der Platten (uP)	
Vorstellung _{uP1} :	Unterhalb der Platten befindet sich das Wasser der Ozeane.
Vorstellung _{uP2} :	Unterhalb der Platten befindet sich Magma/Lava.
Vorstellung _{uP3} :	Unterhalb der Platten befindet sich eine weichere Schicht.
Vorstellung _{uP4} :	Unterhalb der Platten befindet sich stabiles, festes Gestein.
Vorstellungen zu Plattenbewegungen	
Vorstellungen zur Bewegung der Erdoberfläche (BO)	
Vorstellung _{BO1} :	Kontinente und Ozeanböden sind in Bewegung.
Vorstellung _{BO2} :	Nur die Kontinente sind in Bewegung.
Vorstellung _{BO3} :	Die Kontinente bewegen sich noch ein bisschen, die Ozeanböden konnten sich noch nie bewegen.
Vorstellung _{BO4} :	Weder Kontinente noch Ozeanböden sind in Bewegung.
Vorstellungen zur Art und Weise der Plattenbewegung (PB)	
Vorstellung _{PB1} :	Platten driften/schwimmen/treiben auf Magma.
Vorstellung _{PB2} :	Platten driften/schwimmen/treiben in den Ozeanen.
Vorstellung _{PB3} :	Platten verschieben sich.
Vorstellung _{PB4} :	Platten verrutschen.
Vorstellung _{PB5} :	Platten rutschen abwärts auf einer geneigten Fläche.
Vorstellungen zu konvergierenden Platten (konv)	
Vorstellung _{konv1} :	Dicht beieinander liegende, sich bewegende Platten stoßen zusammen.
Vorstellung _{konv2} :	Platten driften aufeinander zu und stoßen zusammen.
Vorstellung _{konv3} :	Platten schieben sich dreiecksförmig nach oben.
Vorstellung _{konv4} :	Eine Platte schiebt sich über die andere.
Vorstellungen zur Frage, welche Platte sich unter eine andere bewegt (Bedingung Vorstellung _{konv4} [Bkonv4])	
Vorstellung _{Bkonv41} :	Die leichtere Platte bewegt sich über die schwerere.
Vorstellung _{Bkonv42} :	Die höher gelegene Platte schiebt sich auf die tiefer gelegene.
Vorstellung _{Bkonv43} :	Die Platte mit mehr Kraft schiebt sich unter die andere Platte.
Vorstellungen zu divergierenden Platten (div)	
Vorstellung _{div1} :	Zwei Platten entfernen sich voneinander und es entsteht ein Spalt.

Vorstellung _{div2} :	Es entsteht eine neue Platte zwischen zwei divergierenden Platten.
Vorstellung _{div3} :	Platten, die aufeinanderlagen, bewegen sich voneinander weg.
Vorstellung _{div4} :	Platten, die sich gegenseitig nach oben gedrückt haben, gehen wieder auseinander.
Vorstellungen zu Magma/Lava (M/L)	
Vorstellung _{M/L1} :	Magma ist flüssiges Gestein.
Vorstellung _{M/L2} :	Magma ist flüssiges Feuer/flüssige Glut.
Vorstellung _{M/L3} :	Gesteine kann man nicht schmelzen.
Vorstellung _{M/L4} :	Man kann nur bestimmte Steine schmelzen.
Vorstellung _{M/L5} :	Einzigster Einflussfaktor auf das Schmelzen von Gestein ist die Temperatur.
Vorstellung _{M/L6} :	Nicht jedes Gestein, das schmilzt, wird zu Lava.
Vorstellung _{M/L7} :	Erstarrt Lava, so wird daraus Bimsstein.
Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten	
Vorstellungen zu den Antriebsmechanismen der Platten (AP)	
Vorstellung _{AP1} :	Erdrotation verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP2} :	Magmaströme verursachen Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP3} :	Erdanziehungskraft verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP4} :	Erdkern verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP5} :	Wasserdruck verursacht Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP6} :	Erdbeben verursachen Plattenbewegung.
Vorstellung _{AP7} :	Urknall hat Plattenbewegung ausgelöst.

6 Vergleich von Schülervorstellungen und fachlichen Vorstellungen

Im Folgenden werden die Schülervorstellungen und Wissenschaftlervorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zu Plattenbewegungen und den Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten einem systematischen Vergleich unterzogen, um Eigenheiten, Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Vorstellungen herauszustellen und mögliche Lernschwierigkeiten zu identifizieren. Der Vergleich bildet eine Grundlage für die in Kapitel 7 entwickelten didaktischen Leitlinien. Da Wissen über die Transformation von Gesteinen für das Verständnis der Plattentektonik grundlegend ist, werden auch zu diesem Bereich die Vorstellungen von Schüler_innen und Wissenschaftlern miteinander verglichen (Tab. 5, S. 163 f.).

6.1 Vergleich der Vorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik

Aufbau der Erde

Wissenschaftler und Schüler_innen gehen von einem gegliederten Aufbau der Erde aus. Wissenschaftler nehmen zwei Formen der Zonierung vor, eine chemische und eine physikalische. Schüler_innen hingegen betrachten zumeist nur eine mögliche Zonierung. Das Magmahüllenmodell (Vorstellung $_{ZE1}$) verweist auf eine thermisch bedingte Zonierung, die sich in der Vorstellung eines heißen, flüssigen Magmakerns, einer weniger heißen und dadurch zähflüssigeren Hülle um den Kern und einen äußeren Bereich kalten, festen Gesteins zeigt (= physikalische Zonierung). Beim Gesteinsschichtenmodell (Vorstellung $_{ZE2}$) wird zumeist nicht deutlich, worin die Unterschiede der jeweiligen Gesteinsschichten bestehen. Bei zwei Schüler_innen zeigt sich auch hier eine thermische Zonierung, denn sie gehen von einer unterschiedlichen Gesteinsfestigkeit aufgrund unterschiedlicher Umgebungstemperaturen aus. Eine chemische Zonierung wird von Schüler_innen nicht explizit vorgenommen, allerdings greifen Schüler_innen auf Begrifflichkeiten der wissenschaftlichen chemischen Zonierung zurück. Alle Schüler_innen gehen von einem Erdkern im Zentrum der Erde aus und einige Schüler_innen benennen die äußerste Zone mit Kruste oder Erdkruste. Der Begriff Mantel wird von den Schüler_innen zumeist nicht verwendet. Begrifflichkeiten der physikalischen Zonierung wie beispielsweise Lithosphäre und Asthenosphäre sind Schüler_innen nicht geläufig.

Eingliederung der Platten in den Aufbau der Erde

Sowohl bei Schüler_innen als auch bei Wissenschaftlern findet sich die Vorstellung `Platten bilden die in Stücke zerteilte äußerste Schicht der Erde` (Vorstellung $_{AE2}$). Hierbei strukturieren Schüler_innen wie Wissenschaftler Platten über ein Teil-Ganzes-Schema. Schüler_innen betrachten nur die Kruste als äußerste Schicht, die Wissenschaftler hingegen Kruste und lithosphärischen Mantel. Bei Schüler_innen ist die Verwendung der Vorstellung $_{AE2}$ zudem kontextabhängig. In Kontexten, in denen die Schüler_innen das wissenschaftliche Konzept Platte auf ihre lebensweltlichen Erfahrungen beziehen, verorten sie Platten häufig unterhalb der Erdoberfläche. Schüler_innen mit der Vorstellung $_{AE3}$ gehen generell davon aus, dass die Platten eine Schicht unterhalb der Erdoberfläche bilden. Während Wissenschaftler eine Unterscheidung in Bodenhorizonte, geologische Schichten und Schalen der Erde treffen, sprechen Schüler_innen häufig undifferenziert von Schichten.

Nutzung des Quellbereichs Platte zum Verständnis von Lithosphärenplatten

Beim Verständnis von Lithosphärenplatten greifen Schüler_innen und Wissenschaftler auf den Quellbereich Platten zurück. Schüler_innen nutzen beim imaginativen Verstehen jedoch deutlich mehr Aspekte dieses Quellbereichs. Schüler_innen wie Wissenschaftler übertragen

die lebensweltliche Erfahrung, dass mehrere Platten gemeinsam eine Fläche bilden, auf Lithosphärenplatten. Auch betrachten Schüler_innen und Wissenschaftler tektonische Platten als Körper. Allerdings gehen Schüler_innen gemäß der Alltagserfahrung mit Platten von einem Einfachkörper aus. Die Wissenschaft betrachtet Lithosphärenplatten als einen aus zwei übereinanderliegenden Körpern zusammengesetzten Körper. Schüler_innen stellen sich Platten als einen von ebenen Flächen an der Unter- und Oberseite gebildeten Körper vor. Fachwissenschaftler gehen von unregelmäßigeren Formen aus. Einige Schüler_innen deuten Platten als tragende Elemente, die beispielsweise die Kontinente tragen, Fachwissenschaftler betrachten Kontinente als Bestandteile der Platten, allerdings kann es auch bei Fachwissenschaftlern zu sprachlichen Konstruktionen kommen, die Kontinente als auf den Platten befindlich erscheinen lassen.

Bereich unterhalb der Platten

Unterhalb der Lithosphärenplatten vermuten viele Schüler_innen eine Flüssigkeit, entweder Magma (Vorstellung _{up2}) oder Wasser (Vorstellung _{up1}), Wissenschaftler gehen hingegen davon aus, dass sich die Gesteine der unterhalb der Platten befindlichen Asthenosphäre unter den gegebenen Druck- und Temperaturverhältnissen plastisch verhalten. Eine Unterscheidung in plastisch verformbares Gestein und festes Gestein treffen Schüler_innen in aller Regel nicht. Während Wissenschaftler annehmen, dass Gesteine unter gegebenen Druck- und Temperaturverhältnissen in der Lage sind, aus dem Festkörperzustand herauszufließen, wird die Fähigkeit zu fließen von Schüler_innen nur flüssigem Gestein zugesprochen. Eine Verständnisschwierigkeit ergibt sich daraus, dass Gestein lebensweltlich nicht als plastisch verformbar, sondern nur als starr erfahren werden kann und Fließen im alltäglichen Sprachgebrauch mit Flüssigkeiten und weniger mit einem Fließen aus dem Festkörperzustand heraus assoziiert wird.

Beziehung zwischen Kontinenten, Ozeanböden und Platten

A) Schüler_innen sprechen in der Regel allgemein von Platten, sie differenzieren weder zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre noch zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste. Zudem verknüpfen sie Platten sehr stark mit den Kontinenten. Hierbei haben einige Schüler_innen die Vorstellung, dass es sich bei den Platten um die Kontinente handelt (Vorstellung _{hA1}). Vereinzelt differenzieren Schüler_innen zwischen den Platten der Kontinente und den Platten der Ozeane (Vorstellung _{hA4}), eine Unterscheidung hinsichtlich des Aufbaus der Platten wird jedoch nicht vorgenommen. Wissenschaftler gehen davon aus, dass sowohl Ozeanböden als auch Kontinente Bestandteile der Platten sind. Hierbei differenzieren sie zwischen ozeanischer und kontinentaler Lithosphäre. Aus wissenschaftlicher Sicht kann

eine Platte sowohl ozeanische als auch kontinentale Lithosphäre aufweisen. Bei allen rezenten großen Platten sind beide Lithosphärentypen vorhanden.

B) Die Platten der Ozeane werden von Schüler_innen oft als Lückenfüller zwischen den Kontinenten betrachtet. In der wissenschaftlichen Betrachtung kommt ozeanischer Lithosphäre hingegen eine zentrale Rolle als Motor der Plattenbewegung zu.

C) Für Wissenschaftler besteht ein zentraler Unterschied zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre auf der Ebene der Teile. Bei der Erklärung der Höhenunterschiede der Kontinente und Ozeane spielt die unterschiedliche Dichte ozeanischer und kontinentaler Kruste eine entscheidende Rolle, da die Lithosphärenabschnitte als schwimmende Objekte mit unterschiedlicher Eintauchtiefe betrachtet werden. Viele Schüler_innen hingegen erklären Höhenunterschiede von Kontinenten und Ozeanen als Folge linear abgelaufener Prozesse und nutzen hierbei als Quellbereiche eine Materialzugabe bzw. -wegnahme auf einer ehemals ebenen Fläche (Vorstellung _{uH1}) oder eine Erklärung analog der eigenen Vorstellung zur Gebirgsbildung (Vorstellung _{uH2}). Ein Blick auf den Mikrokosmos wird von Schüler_innen nicht vorgenommen.

6.2 Vergleich der Vorstellungen zu Plattenbewegungen

Art und Weise der Plattenbewegung

A) Schüler_innen wie Wissenschaftler sind der Meinung, dass die Platten in Bewegung sind. Plattenbewegungen werden von Schüler_innen und Wissenschaftlern gleichermaßen häufig mit dem neutralen Ausdruck `sich bewegen´ beschrieben. Das von Wissenschaftlern genutzte Verb driften wird nur von Schüler_innen verwendet, die von einem flüssigen Medium unterhalb der Platten ausgehen. Diese übertragen mehr Aspekte des Zielbereichs Driften auf den Zielbereich Plattenbewegung als die Wissenschaftler. Die Bezeichnungen treiben oder schwimmen (Vorstellungen _{PB1} und _{PB2}) werden von Wissenschaftlern nicht verwendet. Sprechen Wissenschaftler von Schwimmen, so beschreiben sie damit keine Fortbewegungsart, sondern einen physikalischen Effekt.

B) Schüler_innen betrachten Plattenbewegung als eine Bewegung von Körpern, die konstant eine Oberfläche bedecken und sich einmal in die eine, denn wieder in die andere Richtung bewegen. Die Bewegung erfolgt einzig in der Horizontalen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Bewegung ozeanischer Lithosphäre in einen Kreislauf eingebettet, Wissenschaftler sprechen auch von einer Platten-Mantel-Bewegung.

C) Fachwissenschaftler gehen davon aus, dass mit der Entfernung vom Mittelozeanischen Rücken der lithosphärische Mantel einem starken Wachstum durch eine thermisch bedingte Umwandlung plastischer Asthenosphäre in starre Lithosphäre ausgesetzt ist. Der Anteil des

unteren Körpers am Doppelkörper Platte wird erheblich größer. Dies führt neben der thermischen Schrumpfung ozeanischer Kruste zu einer Dichtezunahme ozeanischer Lithosphäre. Schüler_innen betrachten Platten bei ihren Bewegungen hingegen als Körper, die keinen Veränderungen unterworfen sind.

Vorgänge an Plattengrenzen

A) In der wissenschaftlichen Betrachtung von Plattengrenzen ist es entscheidend, ob kontinentale oder ozeanische Lithosphäre beteiligt ist. Eine solche Unterscheidung wird von Schüler_innen aber in der Regel gar nicht getroffen.

B) Ein weiterer entscheidender Unterschied beider Perspektiven ist, dass Wissenschaftler von über lange geologische Zeiträume hinweg konstanten Plattengrenzen ausgehen und diese in konvergente, divergente und konservative Plattengrenzen unterteilen. Schüler_innen gehen hingegen nicht von Plattengrenzen aus, die sich aufgrund der Bewegungsmechanismen von Platten ergeben. Vielmehr kann es nach Meinung vieler Schüler_innen zu unterschiedlichen Interaktionen der Platten kommen. Hierbei kann zwischen zwei Platten ein Divergieren, aber auch ein Konvergieren stattfinden, der Wechsel der Interaktion wird dabei nicht näher begründet. Platten, die sich zuvor aufeinandergeschoben (Vorstellung $_{konv4}$) oder dreiecksförmig nach oben geschoben haben (Vorstellung $_{konv3}$), können sich aus Sicht einiger Schüler_innen durch eine Umkehrbewegung wieder auseinanderbewegen (Vorstellungen $_{div3}$ und $_{div4}$). Das Augenmerk der Schüler_innen bei Interaktionen von Platten ist insbesondere auf konvergente Bewegungen der Platten gerichtet.

C) Die Konvergenz von Lithosphärenplatten verstehen Schüler_innen über die Quellbereiche Kollidieren, Aufeinanderschieben oder 'Sich-nach-oben-Biegen'. Fachwissenschaftler nutzen den Quellbereich Kollidieren lediglich bei der Konvergenz kontinentaler Lithosphärenabschnitte. Bei Beteiligung ozeanischer Lithosphäre kommt es in der Fachwissenschaft zu einem Rückgriff auf den Quellbereich Absinken bzw. Tauchen. Lithosphärenplatten werden in diesem Kontext von Wissenschaftlern als schwimmende Objekte betrachtet und ein Blick auf den Mikrokosmos erklärt das Verhalten der Platten. Schüler_innen hingegen nutzen bei der Vorstellungskonstruktion zu Vorgängen, die sich bei der Konvergenz von Platten abspielen, Erfahrungen mit Objekten, die auf einer Fläche gegeneinandergeschoben werden. Folglich spielt bei der Erklärung, welche Platte sich unter eine andere bewegt (Vorstellung $_{Bkonv4}$), die Dichte keine Rolle.

D) Während die Zerstörung ozeanischer Lithosphäre an destruktiven Plattengrenzen und die Produktion von Lithosphäre an konstruktiven Plattengrenzen ein zentraler Bestandteil der

fachwissenschaftlichen Vorstellungen zur Plattentektonik ist, gehen die Schüler_innen nicht davon aus, dass an Plattengrenzen Lithosphäre gebildet oder zerstört wird.

E) Die Divergenz von Platten wird von vielen Schüler_innen als ein Auseinandergehen zweier Körper beschrieben, zwischen denen in der Folge eine Lücke entsteht (Vorstellung $_{div1}$). Diese wird nach Auffassung der Schüler_innen aber nicht unendlich groß, da ihrer Meinung nach die Platten auf ihrer anderen Seite wieder gegen andere Platten stoßen und daher in ihrer Bewegung eingeschränkt sind. Einige Schüler_innen glauben daher, dass Platten sich gar nicht richtig auseinanderbewegen können. Ein Schüler erwägt die Möglichkeit, dass bei der Divergenz von Platten eine neue Platte zwischen den divergierenden Platten entstehen könnte (Vorstellung $_{div2}$). Diese Vorstellung unterscheidet sich allerdings dahingehend von der wissenschaftlichen Vorstellung, dass Wissenschaftler nicht von der Bildung einer neuen Platte an konstruktiven Plattengrenzen ausgehen. Aus wissenschaftlicher Sicht wird neue Lithosphäre produziert, die an die Plattenränder der divergierenden Platte seitlich angefügt wird.

Bewegung der Erdoberfläche

Wissenschaftler und viele Schüler_innen sind der Auffassung, dass sowohl Kontinente als auch Ozeanböden in Bewegung sind (Vorstellungen $_{BO1}$ und $_{BO2}$). Während Wissenschaftler und einige Schüler_innen meinen, dass die Kontinente und Ozeanböden Teile der Platten sind, gehen andere Schüler_innen davon aus, dass Kontinente auf den Platten sitzen und sich mitbewegen, wenn sich die Platten bewegen. Ein kleiner Teil der Schüler_innen hat ein fixistisches Weltbild (Vorstellung $_{BO4}$). In der Vorstellung dieser Schüler_innen bewegen sich Platten losgelöst von der Erdoberfläche, die gemäß der lebensweltlichen Erfahrung als ortsfest betrachtet wird. Einige wenige Schüler_innen haben auch die Vorstellung, dass nur die Kontinente in Bewegung sind, die Ozeanböden sich hingegen nicht bewegen (Vorstellung $_{BO2}$).

Tab. 5: Vergleich der Vorstellungen zur Transformation von Gesteinen

Exkurs: Vergleich der Vorstellungen zur Transformation von Gesteinen

A) Wenn es in den Schülervorstellungen zu einer Transformation von Gesteinen kommt, dann in aller Regel zur Transformation von festem Gestein zu flüssigem Magma und umgekehrt. In den fachwissenschaftlichen Vorstellungen spielt neben der Transformation von festem Gestein zu Magma auch eine Transformation von plastischer Asthenosphäre zu starrer Lithosphäre eine wichtige Rolle.

B) Bei der Magmabildung sind neben der Temperatur aus fachwissenschaftlicher Sicht auch der Druck sowie das Vorhandensein von Fluiden entscheidend. Schüler_innen gehen in der Regel nur von der Temperatur als Einflussgröße auf den Schmelzvorgang aus (Vor-

stellung _{ML5}). Erst die wissenschaftliche Vorstellung der Magmabildung durch Druckentlastung kann aber die Entstehung großer Gesteinsschmelzen unterhalb der Mittelozeanischen Rücken erklären.

C) Problematisch ist auch, dass einige der befragten Schüler_innen glauben, dass Gestein nicht schmelzbar ist (Vorstellung _{ML3}). Sie beziehen sich auf Erfahrungen am Lagerfeuer. Magma halten sie für flüssiges Feuer/flüssige Glut (Vorstellung _{ML2}). Vereinzelt sind Schüler_innen der Meinung, dass man nur bestimmte Steine schmelzen kann (Vorstellung _{ML4}), nicht jedes Gestein, das schmilzt, zu Lava wird (Vorstellung _{ML6}) oder dass umgekehrt beim Erstarren von Gestein nur ein besonderes Gestein wie Bimsstein entsteht (Vorstellung _{ML7}). Aus fachwissenschaftlicher Sicht kann unter gegebenen Bedingungen jedes Gestein schmelzen und aus magmatischer Schmelze entstehen unterschiedliche Magmatite und nicht nur ein bestimmtes Gestein. Zum Verständnis der Bildung ozeanischer Lithosphäre ist das Wissen darüber, dass Gestein schmelzen und wieder erstarren kann, zwingend notwendig.

6.3 Vergleich der Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten

A) Während Wissenschaftler von kontinuierlichen Kräften ausgehen, die auf die Platten einwirken, haben einige Schüler_innen die Vorstellung, dass es zu einem plötzlichen Auftreten von Kräften kommt, die eine zeitweilige Bewegung von Platten auslösen (Vorstellungen _{AP5} und _{AP6}).

B) Schüler_innen neigen dazu, nur eine mögliche Ursache der Bewegung in Betracht zu ziehen, während Wissenschaftler davon ausgehen, dass verschiedene Kräfte auf die Platten einwirken.

C) Schüler_innen nennen vom wissenschaftlichen Verständnis abweichende Auslöser der Plattenbewegung, was letztlich auch daraus resultiert, dass Schüler_innen Plattenbewegungen nicht als in einen Materialkreislauf eingebunden betrachten.

D) Blickt man auf die Quellbereiche, mit denen Schüler_innen und Wissenschaftler die Ursache der Plattenbewegungen beschreiben, lassen sich trotz aller Unterschiede in den inhaltlichen Vorstellungen auch Gemeinsamkeiten erkennen. Schüler_innen wie Wissenschaftler erklären die Ursache der Plattenbewegung über ein Ziehen-Schema oder ein Drücken-Schema beziehungsweise nutzen die Basiskategorie Rutschen, um Plattenbewegungen zu erklären. Schüler_innen favorisieren dabei zumeist drückende Kräfte, in der fachwissenschaftlichen Betrachtung spielen ziehende Kräfte sowohl beim Plattenzug als auch beim Asthenosphärenantrieb eine dominante Rolle. Der Versuch, bei Vorstellung _{AP3} eine horizontale Bewegung

der Platten durch ziehende Kräfte zu erklären, scheitert daran, dass Schüler_innen nicht die Möglichkeit erwägen, dass eine nach unten abgebogene Platte den Rest der Platte hinter sich herzieht. Wissenschaftler und einige Schüler_innen mit Vorstellung_{AP3} und _{AP4} erklären Plattenbewegung auch als eine Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche. Dieses Rutschen betrachtet eine Schülerin als Abwärtsbewegung am Rand einer Erdkugel (Vorstellung_{AP3}), auf der anderen Seite gibt es die Vorstellung, dass Bereiche der Erdoberfläche durch Aktivitäten im Erdkern herausgehoben sind. Von diesen exponierten Bereichen rutschen die Platten herunter (Vorstellung_{AP4}). Auch Fachwissenschaftler gehen von herausgehobenen Bereichen, den Mittelozeanischen Rücken, aus. Die Heraushebung der Mittelozeanischen Rücken ist ebenso wie das Einsinken der Platten in Subduktionszonen nur verständlich, wenn man Lithosphärenplatten als schwimmende Objekte betrachtet und dabei einen Blick auf die Dichte richtet. Eine solche Betrachtung findet sich in den Schülervorstellungen nicht.

E) Vorstellung_{AP2} ähnelt der wissenschaftlichen Vorstellung des Asthenosphärenantriebs, jedoch gibt es einige Unterschiede. Schüler_innen gehen von Strömungen eines flüssigen Mediums, Wissenschaftler von plastischem Fließen festen Gesteins aus. Des Weiteren beziehen Schüler_innen diese Vorstellung auf alle Platten, während sich die wissenschaftliche Vorstellung Platten betrifft, deren durchschnittliche Breite 2900 km nicht übersteigt, und nur, wenn die Geschwindigkeit der Asthenosphäre die der Lithosphärenplatten übertrifft, werden die Lithosphärenplatten von der Asthenosphäre gezogen. Wissenschaftler verstehen den Asthenosphärenantrieb über ein Ziehen-Schema, die meisten Schüler_innen hingegen nutzen zum Verständnis des Antriebs durch die Magmaströme ein Transport-Schema (FELZMANN 2013).

F) Betrachtet man die Vorstellungen zu Strömungen im Erdinneren genauer, so lassen sich neben Unterschieden hinsichtlich der Beschaffenheit des strömenden Mediums auch Unterschiede in den Vorstellungen zu Ursache und Verlauf der Strömungen ausmachen. Wissenschaftler gehen von Temperaturunterschieden zwischen Erdinnerem und Erdoberfläche aus, durch die Konvektionsströme in Gang gesetzt werden, und erklären Konvektion durch Dichteunterschiede. Schüler_innen betrachten bei ihrer Erklärung nicht den Mikrokosmos und erklären die Bewegung des Magmas durch Erfahrungen mit Ursachen von Bewegungen im Mesokosmos (Mitbewegen einer Flüssigkeit in einem rotierenden Behälter, Bewegung von Flüssigkeiten durch Druck). Während bei Wissenschaftlern festes Gestein fließt, gehen Schüler_innen von Magmaströmen aus. Während Wissenschaftler eine Konvektion im gesamten Mantel annehmen (geschichtet oder ungeschichtet), betrachten Schüler_innen in ihren Schilderungen meist nur den Bereich direkt unterhalb der Platten. Nur ein Schüler berichtet von

Strömungen im gesamten Mantel, die in den Erdkern führen und von diesem wie von einer Pumpe wieder nach oben gedrückt werden.

7 Didaktische Leitlinien zur Vermittlung der Plattentektonik

Der Vergleich der Wissenschaftlerperspektive mit der Schülerperspektive diene als Grundlage zur Entwicklung der im Folgenden näher erläuterten didaktischen Leitlinien (Tab. 6). Da Plattentektonik nur imaginativ verständlich ist, wurde ein Schwerpunkt auf die Aktivierung passender kinästhetischer Schemata etwa durch gezielten Gebrauch von Sprache und Gestik, durch Modellversuche oder auch durch Abbildungen gelegt (vgl. Kapitel 2). Die entwickelten didaktischen Leitlinien sollten als Empfehlungen für den Unterricht betrachtet werden, um den für Schüler_innen schwer erfassbaren geologischen Lerngegenstand (vgl. Kapitel 1) verständlicher werden zu lassen.

Tab. 6: Didaktische Leitlinien zur Vermittlung der Plattentektonik

Leitlinie 1: Behandlung der Plattenbewegung als Teil eines Kreislaufs
Leitlinie 2: Einführung der Antriebsmechanismen Plattenzug, Rückendruck und Asthenosphärenantrieb nach der Behandlung der Platten-Mantel-Bewegung
Leitlinie 3: Einbettung in einen wissenschaftshistorischen Kontext
Leitlinie 4: Strukturierung der Platten als Doppelkörper
Leitlinie 5: Einbettung der Lithosphäre in den Aufbau der Erde
Leitlinie 6: Vernetzung mit Wissen aus dem Physikunterricht, insbesondere dem physikalischen Verständnis des Schwimmens

7.1 Leitlinie 1: Behandlung der Plattenbewegung als Teil eines Kreislaufs

Die Bewegung ozeanischer Lithosphäre sollte als Teil einer Kreislaufbewegung im Unterricht behandelt werden. Zum Verständnis erscheint es notwendig, die folgenden Stationen dieses Kreislaufs näher zu betrachten: Station „Mittelozeanischer Rücken“, Station „Weg ozeanischer Lithosphäre“, Station „Subduktion“, Station „Erdmantel“. Für jede dieser Stationen werden Vorschläge für die unterrichtliche Vermittlung vorgestellt.

Station „Mittelozeanischer Rücken“:

- Betonung des Wachstums der Platten

Bei der Betrachtung divergenter Plattengrenzen sollte das seitliche Wachstum der Plattenränder betont werden. Die zugrunde liegenden Strukturen können über einen Modellversuch in Anlehnung an MILITSCHENKO (2013) veranschaulicht werden. Bei diesem werden zwei Holz-

platten jeweils am Rand einer Laminierfolie befestigt. Eine Kiste mit einem Schlitz, in welchen die Laminierfolien gesteckt werden, dient als Unterlage für die Holzbretter, die direkt nebeneinander liegen. Sie werden ein Stück auseinandergezogen und flüssiges, aber nicht mehr zu heißes Wachs zwischen die Platten injiziert. Das Wachs erstarrt. Zieht man die Platten auseinander, zerbricht der frisch erstarrte Wachskörper in der Mitte und die Holzplatten sind jeweils an ihrer dem Spalt zugewandten Seite gewachsen. Nun kann erneut Wachs zwischen die gewachsenen Platten gegeben werden. Der Prozess des Wachsens der Platten durch Materialzugabe wird auf diese Weise verständlich. Der Versuch kann auch als Film von den Internetseiten der Didaktik der Geographie der Universität Bayreuth abgerufen werden (www.geographiedidaktik.uni-bayreuth.de).

Verständlich werden die Vorgänge am Mittelozeanischen Rücken durch die Schemata in der linken Spalte der Tabelle 7. Die rechte Spalte zeigt Möglichkeiten, die Schemata durch passende sprachliche Äußerungen zu aktivieren.

Tab. 7: Direkt verständliche Schemata zu Vorgängen an Mittelozeanischen Rücken und möglicher Sprachgebrauch

Kinästhetische Schemata	Möglicher Sprachgebrauch
Ziehen-Schema	Die Platten werden auseinandergezogen; die Platten werden vom Mittelozeanischen Rücken weggezogen.
Geber-Gabe-Nehmer-Schema	Material wird seitlich an die Plattenränder angefügt.
Transformations-Schema	Magma wird zu Gestein; Magma erstarrt zu Gestein.
Mehrwerden-Schema in Kombination mit einem Größerwerden-Schema	Durch die Zugabe neu gebildeten Lithosphärenmaterials wachsen die Platten an ihren Rändern.

Der zyklische Ablauf kann durch Formulierungen wie `erneut`, `wieder` oder `auf ein Neues` verdeutlicht werden. Der Begriff des Seafloor-Spreadings sollte erst eingeführt werden, wenn die dem Prozess zugrunde liegenden Abläufe verstanden sind.

- Die Transformation von Magma zu festem Gestein verdeutlichen

Es muss explizit behandelt werden, dass es sich bei Magma um flüssiges Gestein handelt, das, erstarrt es, wieder zu Gestein wird. Hierbei sollte eine Untergeneralisierung verhindert wer-

den, indem möglichst unterschiedliche Exemplare von Magmatiten im Unterricht gezeigt werden.

- Neben der Temperatur auch den Druck als wichtigen Einflussfaktor auf die Entstehung von Gesteinsschmelzen behandeln

Viele Schüler_innen stellen sich die Erde als mit Magma gefüllten Behälter vor (Vorstellung ZE1). Unzufriedenheit mit dieser Vorstellung kann durch die Information ausgelöst werden, dass es sich beim Erdmantel um einen Gesteinskörper handelt. Wie kann es dann zur Bildung einer Magmakammer unterhalb der Mittelozeanischen Rücken kommen, wenn keine Wärme zugeführt wird?

Zum Verständnis der Magmabildung durch Druckentlastung hilft ein Rückgriff auf körperliche Erfahrungen: Legt man sich als Kind mit mehreren Kindern übereinander, so wirkt auf die Kinder weiter unten ein größerer Druck als auf die Kinder, die weiter oben liegen. Gehen die oberen Kinder vom Stapel, wird der Druck auf die unteren geringer. Man ist weniger eingengt und kann sich besser bewegen und ausbreiten. Über den Rückgriff auf solche verkörperten Erfahrungen wird verständlich, dass sich Gestein bei hohem Druck nicht ausbreiten kann, obwohl es eine Temperatur aufweist, bei der es unter geringerem Druck schon im flüssigen Zustand vorläge. Verringert man den Druck, kann das Gestein mehr Raum einnehmen und sich verflüssigen. Die Vorstellung der Schmelzbildung durch Druckentlastung erweist sich auch bei der Entstehung der Magmen des Hot-Spot-Vulkanismus als fruchtbar, umgekehrt erklärt der hohe Druck im Erdinneren, dass der Innere Kern trotz höherer Temperaturen als im Äußeren Kern in festem Zustand vorliegt.

Station „Weg der ozeanischen Lithosphäre“:

- Neutrale Bezeichnung für Bewegung der Platten verwenden

Für Plattenbewegungen sollte die neutrale Bezeichnung `Sich bewegen` gewählt werden. Die Beschreibung der Plattenbewegung als Verschieben der Platten ist zu vermeiden, da der Quellbereich Verschiebung auf eine durch Druck ausgelöste Bewegung verweist. Bezeichnungen wie driften oder schwimmen sollten hinsichtlich der Grenzen der metaphorischen Übertragung im Unterricht hinterfragt werden, da Schüler_innen mit diesen Begriffen durch Medienberichte konfrontiert werden.

- Betonung der Dichtezunahme durch Abkühlung

Um Veränderungen der ozeanischen Lithosphäre zu beschreiben, kann diese bei jüngeren Schüler_innen als Einfachkörper strukturiert werden. Die Strukturierung als Einfachkörper, der durch die Abkühlung der Platte kontrahiert und dadurch an Dichte gewinnt, verdeutlicht die Voraussetzungen für die Subduktion ozeanischer Lithosphäre und verhilft somit zu einem

grundlegenden Verständnis. Bei der Strukturierung der Platte als Einfachkörper sind folgende Prozesse zu vermitteln: Abkühlung der Platte → thermische Schrumpfung → Erhöhung der Dichte. Die Abkühlung der Platte ist direkt verständlich. Thermische Schrumpfung wird über ein Reflexiv-Schema verständlich. Dies kann sprachlich durch das Verb zusammenziehen aktiviert werden.

Fachlich angemessener ist allerdings eine Strukturierung der Platten als Doppelkörper. Bei der Strukturierung als Doppelkörper stehen folgende Prozesse im Vordergrund:

Oberer Körper: Abkühlung → thermische Schrumpfung → Erhöhung der Dichte

Unterer Körper: Umwandlung von Asthenosphäre in Lithosphäre durch Temperaturabnahme → Mächtigkeitszunahme des unteren Körpers → Erhöhung der Dichte des Gesamtkörpers

Die Umwandlung von plastischem Gestein in starres Gestein wird über ein Transformations-Schema verständlich, welches auf der sprachlichen Seite durch die Umschreibungen 'wird zu' aktiviert werden kann. Anschaulich kann diese Transformation über eine Schüssel mit heißem, zähplastischem Wachs werden, dessen oberer Rand abkühlt, sich verfestigt und schließlich bei weiterer Abkühlung mächtiger wird (vgl. GROTZINGER et al. 2008, S. 376). Hierbei sind die Unterschiede zur Situation bei den Platten (ausschließliches Wachstum des unteren Körpers) zu betonen. Die Mächtigkeitszunahme der Lithosphäre wird durch die Kombination eines Mehrwerden-Schemas mit einem Größerwerden-Schema verständlich. Dass ein Mehr an starrem Gestein entsteht, ergibt sich aus der Transformation von plastischem Material in starres Material. Das Größerwerden-Schema kann sprachlich durch Ausdrücke wie 'Dicker werden' oder 'Anwachsen' aktiviert werden. Es sollte deutlich werden, dass die Dichte des lithosphärischen Mantels größer ist als die Dichte der Asthenosphäre.

- Tieferes Einsinken durch Dichtezunahme erläutern

Einen zentralen Baustein zum Verständnis des Plattenantriebs bildet die Dichtezunahme alternder ozeanischer Lithosphäre durch Abkühlung. Neben der Wärmeabgabe der Platten sollte in Abbildungen auch die Zunahme der Dichte mit dem Alter und das tiefere Einsinken der Platte dargestellt werden (vgl. Abb.1). Lithosphärenplatten sind als schwimmende Objekte anzusehen (vgl. Leitlinie 6).

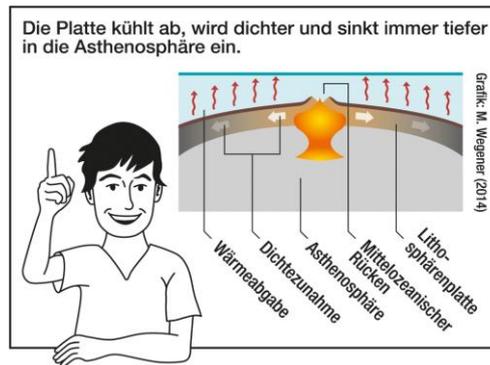


Abbildung 1 Einsinken der Platten aufgrund Abkühlung und Dichtezunahme

Station „Subduktion“:

- Dichteumkehr als Ursache der Subduktion hervorheben

Es bietet sich an, zunächst die freie Subduktion zu behandeln. Hierfür spricht, dass es durch das steile Eintauchen der Platte zu einer klaren Abgrenzung der Subduktion von Überschiebungen oder Aufschiebungen kommt. Zudem ist die Dichteumkehr als Ursache der Subduktion gut vernetzbar mit der zuvor vermittelten Vorstellung einer schwimmenden Lithosphäre und der Vorstellung, dass ozeanische Lithosphäre den oberen horizontalen Ast einer Konvektionsbewegung bildet. Die Erklärung der freien Subduktion sollte über die Dichteumkehr von ozeanischer Lithosphäre und Asthenosphäre erfolgen. Die Dichte von ozeanischer und kontinentaler Lithosphäre sowie der Asthenosphäre müssen miteinander verglichen werden, ein Dichtevergleich zwischen ozeanischer und kontinentaler Kruste, wie er gelegentlich in Schulbüchern (z. B. ACHATZ et al. 2008, S. 81) zu finden ist, genügt nicht. Durch einen Dichtevergleich mit der Dichte der Asthenosphäre wird auch deutlich, dass kontinentale Lithosphäre nicht in großem Maßstab subduziert werden kann. Vertiefend kann behandelt werden, dass eine Dichteumkehr alleine noch keine Subduktion herbeiführt, da die nach unten ziehende Kraft nicht reicht, um die Lithosphäre zu zerbrechen. Hierzu bedarf es einer ausgeprägten Dichteumkehr. Die Behandlung erzwungener Subduktion sollte als Vertiefung erfolgen.

Auch wenn der Quellbereich Sinken auf eine Flüssigkeit unterhalb der Platten hindeutet, bietet sich eine Beschreibung der Subduktion als Sinken bzw. Absinken an. Sinken beleuchtet nicht nur die Bewegungsrichtung der Platte nach unten, sondern wirft gleichzeitig einen Blick auf die Ursachen dieses Prozesses. Der Begriff Tauchen hingegen beschreibt zwar auch eine nach unten gerichtete Bewegung, bezieht sich in der Alltagssprache jedoch häufig auf einen intentionalen Vorgang und verdunkelt damit die Ursachen der Abwärtsbewegung. Bei dem Gebrauch des Verbes sinken sollte jedoch reflektiert werden, dass es sich bei der Asthenosphäre nicht um eine Flüssigkeit handelt. Eine Veranschaulichung mit intelligenter Knete,

in die ein starrer Körper langsam einsinkt, verhilft, den Prozess der Subduktion in einem plastisch verformbaren Medium nachzuvollziehen.

Umschreibungen wie „ [Die ozeanische Kruste] schiebt sich unter die kontinentale Kruste“ (ACHATZ et al. 2008, S. 81) sollten ebenso vermieden werden wie eine Geste, bei der eine flache Hand unter die andere geschoben wird (vgl. Abb. 2). Stattdessen könnte eine Gestik eingesetzt werden, bei der deutlich wird, dass eine Platte steil nach unten in den Mantel hinabsinkt (Abb. 3).



Abbildung 2 Ungünstige Geste, da sie als bloßes Übereinanderschieben von Körpern verstanden werden kann

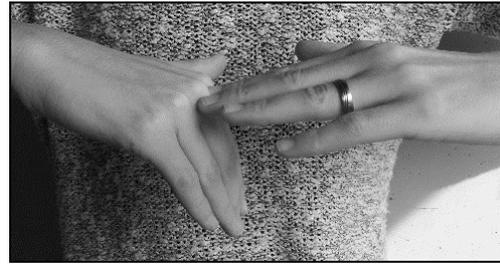


Abbildung 3 Passende Geste, der Quellbereich Sinken wird deutlich

Die Entstehung einer Subduktionszone wird über Kraftschemata verständlich. In unmittelbarer Nachbarschaft wird kontinentale Lithosphäre nach oben gedrückt und ozeanische nach unten gezogen. In der Folge zerbricht die Platte, bevor sie sich verbiegt und nach unten absinkt.

Station „Erdmantel“:

- Integration der Plattenbewegung in die Mantelkonvektion

Die Bewegung ozeanischer Lithosphäre sollte als ein oberer Abschnitt der Konvektionsbewegung im Mantel dargestellt werden, die nach unten sinkende Platte als nach unten sinkender Teil einer Konvektionsbewegung (vgl. Abb. 4).

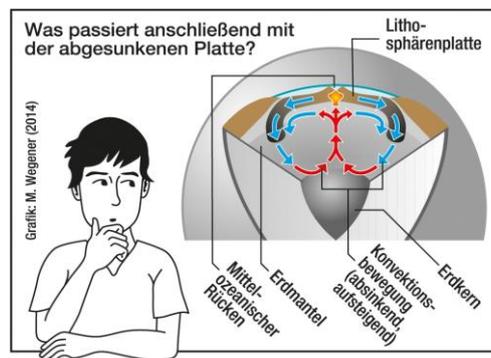


Abbildung 4 Platten sind Teil der Konvektionsbewegung

Die Zusammengehörigkeit von Mantelkonvektion und Plattenbewegung wird durch die Nutzung der Bezeichnung Platten-Mantel-Bewegung deutlich. Die Platten-Mantel-Bewegung wird über ein Kreislauf-Schema strukturiert. Das Kreislauf-Schema ist direkt verständlich. Für die Beschreibung des Kreislaufs eignet sich die Metapher 'Platten-Mantel-Bewegung stellt einen Recyclingkreislauf dar' (vgl. Abb. 5). Das Prinzip des Recyclings ist Schüler_innen bereits aus der Grundschule bekannt und Bestandteil ihres Alltagslebens der Schüler_innen, beispielsweise bei der Rückgabe von Plastikflaschen. Direkte Erfahrungen mit Herstellung, Zerstörung und Wiederverwertung kann man schon im Sandkasten, beim Spielen mit Lego oder mit Knetmasse machen. Die Entstehung von Plattenmaterial kann in diesem Rahmen als Produktion, Subduktion von Platten als Vernichtung/Zerstörung gealterter Lithosphärenteile und als Rückführung des Materials in den Mantel bezeichnet werden. Das Mantelmaterial kann als Rohstoff betrachtet werden, aus dem die neuen Plattenbestandteile produziert werden. Die Metapher des Recyclingkreislaufs beleuchtet, dass Bildung und Zerstörung von Platten beständig ablaufen und die Platten nicht losgelöst von Vorgängen im Erdinneren auf der Erdoberfläche existieren, sondern Teil eines Kreislaufs sind, die den ganzen Mantel umfassen.



Abbildung 5 Platten-Mantel-Bewegung bildet einen Recyclingkreislauf

- Aufnahme in den Mantel als Vermischung mit Mantelmaterial vermitteln

Die Aufnahme in den Mantel sollte als Vermischung mit Mantelmaterial beziehungsweise als Mischen mit Mantelmaterial vermittelt werden. Vermieden werden sollten hingegen abstrakte Begriffe wie absorbieren oder resorbieren. Die Darstellung, dass die Platten im Mantel geschmolzen werden, ist aus fachwissenschaftlicher Sicht falsch und könnte die Vorstellung der Erde als eines mit Magma gefüllten Behälters verstärken.

- Prinzip der Konvektion verdeutlichen

Vor der Vermittlung von wissenschaftlichen Detailfragen der Mantelkonvektion sollte die Vermittlung grundlegender Prozesse stehen. Mantelkonvektion ist am verständlichsten, wenn man das Modell einer Konvektion im ganzen Mantel heranzieht. Allerdings sollte man Schü-

ler_innen darauf hinweisen, dass der genaue Verlauf der Konvektionsbewegungen noch nicht geklärt ist.

Ungeschichtete Konvektion lässt sich gut durch einen Modellversuch mit angefärbtem Speiseöl sichtbar machen (EHSTAND & HEER 2000). Um die Vorstellung eines brodelnden, sich schnell bewegenden Mantelmaterials zu vermeiden, sollte explizit auf die geringe Geschwindigkeit der Mantelkonvektion eingegangen werden. Auf das Experiment, bei dem zwei Platten von Konvektionsbewegungen auseinandergetrieben werden (VON DER HEIDE 2003), sollte verzichtet werden, da weder Wachstum der Platten noch deren Subduktion deutlich wird.

- Vermittlung der Vorstellung 'Gestein fließt'

Konvektionsbewegungen als Bewegung festen Gesteins zu verstehen ist für Schüler_innen nicht auf den ersten Blick einsichtig. Erfahrungen mit Fließbewegungen sind in der Regel mit dem Fließen von Flüssigkeiten verbunden. Daher ist es notwendig, im Unterricht Erfahrungen mit dem Fließen aus dem Festkörperzustand zu ermöglichen, beispielsweise mit intelligenter Knete, die man auf einen Deckel mit einem Loch über ein Aquarium oder auf eine Flaschenöffnung legt. Es sollte explizit besprochen werden, dass das Gestein im Mantel wesentlich langsamer fließt. Eine Erklärung des Fließens auf der Ebene der Teilchen erscheint zum Verständnis der Mantelkonvektion nicht zwingend notwendig.

Konvektionsbewegungen können als Konvektionsströme bezeichnet werden, wenn den Schüler_innen direkte Erfahrungen mit dem Fließen aus dem Festkörperzustand im Unterricht ermöglicht wurden. Ansonsten ist die Bezeichnung Konvektionsbewegung vorzuziehen, da viele Schüler_innen die Vorstellung haben, dass der Erdmantel aus Magma besteht (Vorstellung ZE2).

Nach Erarbeitung des Kreislaufs Platten-Mantel-Bewegung sind zudem folgende Punkte zu beachten:

- Verhältnis von Zerstörung und Erneuerung ozeanischer Lithosphäre über Fließgleichgewichtsschema verdeutlichen

FELZMANN (2013) stellte fest, dass Schüler_innen im Alter von 13 - 14 Jahren (Gymnasium) keine Schwierigkeiten damit haben, Fließgleichgewichte anhand der Alltagsphänomene Toilettenspülung, Portemonnaie und Schülerschaft einer Schule zu erklären und die dem Fließgleichgewicht inhärente Logik auf Fließgleichgewichte bei Gletschern zu übertragen. Ein Übertrag auf die Produktion und Zerstörung von Lithosphäre bietet sich ebenfalls an. Betrachtet man eine einzelne Platte, kann das Fließgleichgewicht dadurch verändert werden, dass alte Lithosphäre schneller subduziert als neue produziert wird. Auf diese Weise kann es zum Verkleinern von Ozeanbecken kommen. Umgekehrt wächst ein Ozeanbecken, wenn noch keine

Subduktion eintritt. Betrachtet man Produktion und Zerstörung ozeanischer Lithosphäre über alle Platten hinweg, liegt ein Fließgleichgewicht vor. Diese Vorstellung ist für Schüler_innen plausibel, gehen sie doch in der Regel davon aus, dass der Durchmesser der Erde konstant bleibt.

- Deutlich herausstellen, dass es sich bei Plattengrenzen um feste Grenzen handelt
- Schüler_innen sollen ihr Wissen anwenden und Bewegungsrichtungen von Platten in unterschiedlichen Situationen in Blockbildern eintragen und ihre Annahme begründen können. Es soll deutlich werden, dass die Platten sich über lange Zeiträume in die gleiche Richtung bewegen.

7.2 Leitlinie 2: Einführung der Antriebsmechanismen Plattenzug, Rückendruck und Asthenosphärenantrieb nach der Behandlung der Platten-Mantel-Bewegung

Die Behandlung der Antriebsmechanismen sollte erst nach Behandlung der Platten-Mantel-Bewegung erfolgen, da die Kräfte, die auf die Platte einwirken, auf diese Weise besser verständlich werden. Als Antriebsmechanismen sollten Plattenzug, Rückendruck und der Asthenosphärenantrieb vermittelt werden. Hierbei muss deutlich werden, dass es sich nicht um eine Kraft handelt, die für den Antrieb der Platten verantwortlich ist, sondern um ein Zusammenspiel möglicher Kräfte, deren Einfluss noch kontrovers diskutiert wird. Im Folgenden werden einzelne Unterpunkte dieser didaktischen Leitlinie konkreter beschrieben.

- Unzufriedenheit mit eigenen Vorstellungen zu Antriebsmechanismen erzeugen
- Zunächst sollte Unzufriedenheit (vgl. Kapitel 2) mit den eigenen Vorstellungen zum Plattenantrieb erzeugt werden. Beispiele hierzu finden sich in Tabelle 8.

Tab. 8: Strategien zur Erzeugung von Unzufriedenheit mit der eigenen Vorstellung zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten

Vorstellung	Strategien zur Erzeugung von Unzufriedenheit
Erdrotation verursacht Plattenbewegung (Vorstellung AP 1).	Widersprüche in den eigenen Vorstellungen aufzeigen: Alle Platten würden sich in eine Richtung bewegen. Dies steht im Widerspruch zu der Schülervorstellung zur Entstehung von Erdbeben durch Kollision von Platten.
Magmaströme verursachen Plattenbewegung (Vorstellung AP2).	Konfrontation mit der fachlichen Vorstellung: Unterhalb der Platten befindet sich festes Gestein.
Erdanziehung verursacht Plattenbewegung	Widersprüche in den eigenen Vorstellungen aufzeigen: Gravitationskraft würde eine nach unten gerichtete Bewe-

(Vorstellung AP3).	gung verursachen, aber die Plattenbewegung ist aus Schülersicht eine reine Horizontalbewegung; Erdanziehung kann horizontale Plattenbewegungen nicht erklären.
Erdbeben verursacht Plattenbewegung (Vorstellung AP6).	Konfrontation mit der wissenschaftlichen Vorstellung: Platten sind kontinuierlich in Bewegung.
Urknall hat Plattenbewegung verursacht (Vorstellung AP7).	Konfrontation mit der fachlichen Vorstellung: Die Erde ist mehrere Milliarden Jahre nach dem Urknall entstanden.

- Plattenzug über ein Ziehen-Schema verständlich machen

Schüler_innen, die versuchen, die Ursache der Bewegung über ein Ziehen-Schema zu erläutern, geraten in Schwierigkeiten, weil sie nur Bewegungen zum Erdmittelpunkt erklären können, aber keine Horizontalbewegungen der Platten. Zum Verständnis des Plattenzugs bietet sich ein Vergleich mit einer Achterbahn an, bei der die hinteren Waggonen von den vorderen, bewegen sich diese nach unten, nachgezogen werden. Eine andere mögliche Analogie besteht in der Bewegung einer mit einem Tischdeckenbeschwerer behangenen Tischdecke.

Der Plattenzug wird über ein Ziehen-Schema strukturiert. Der Terminus Plattenzug deutet auf diesen Quellbereich hin. Eine geeignete Visualisierung kann helfen, das Ziehen-Schema mit der fachlichen Vorstellung zu verknüpfen (vgl. Abb. 6).

- Rückendruck als Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche und ein Drücken-Schema verständlich machen

Die Bezeichnung Rückendruck ist missverständlich. Man kann den Eindruck gewinnen, dass die Platten durch aufsteigendes Magma am Ozeanrücken auseinandergedrückt werden. Es erscheint fachlich angemessener, den Rückendruck über die Basiskategorie Rutschen verständlich werden zu lassen. Einige Schüler_innen greifen bereits auf den Quellbereich Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche bei ihrer Erklärung des Plattenantriebs zurück, können aber die Entstehung einer geneigten Fläche nicht erklären. Dies gelingt erst bei Kategorisierung der Lithosphärenplatten als schwimmende Objekte, deren Eintauchtiefe von ihrer jeweiligen Dichte abhängt. Um die Ursache der Plattenbewegung zu verstehen, bietet sich ein Vergleich mit einer Rutschbahn an. Auf dieser rutscht man zunächst nach unten, ohne von hinten angeschoben zu werden. Befinden sich bereits andere Personen auf der Rutschfläche, werden diese von den von hinten kommenden Personen nach vorne gedrückt. Auch der Quellbereich Abwärtsbewegung auf einer geneigten Fläche kann grafisch gut mit der Bewegung der Platten verbunden dargestellt werden (vgl. Abb. 7).

- Asthenosphärenantrieb über ein Ziehen-Schema verständlich machen

Der Asthenosphärenantrieb ist anschlussfähig an die Vorstellung, dass die Platten durch Magmaströme bewegt werden (Vorstellung AP2). Allerdings ist zu verdeutlichen, dass es sich um plastisches Fließen von festem Gestein handelt (→ Vermittlung der Vorstellung 'Gestein fließt') und dieser Mechanismus nur auf Platten zutrifft, die eine geringere durchschnittliche laterale Ausdehnung als 2900 km - gemessen vom Ozeanrücken bis zum Plattenende in Bewegungsrichtung - haben.

Der Asthenosphärenantrieb wird über ein Ziehen-Schema verständlich. Mithilfe eines Vergleichs zweier Schlittschuhläufer, die sich an den Händen halten, wird erkennbar, dass die Asthenosphäre die Lithosphäre nur mitziehen kann, wenn sie sich schneller bewegt als diese. Eine Möglichkeit der grafischen Darstellung des Asthenosphärenantriebs wird mit Abbildung 8 aufgezeigt. Die Asthenosphärenströmung sollte als horizontaler Ast einer Konvektionsbewegung anschaulich gemacht werden (vgl. Abb. 4).

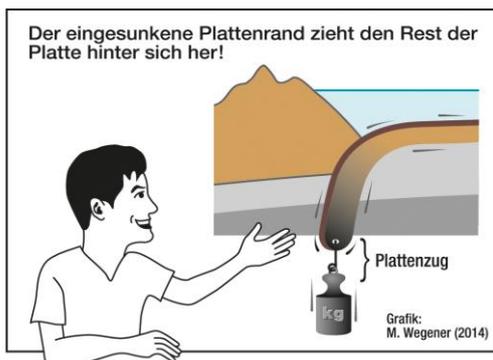


Abbildung 6 Plattenzug



Abbildung 7 Rückendruck

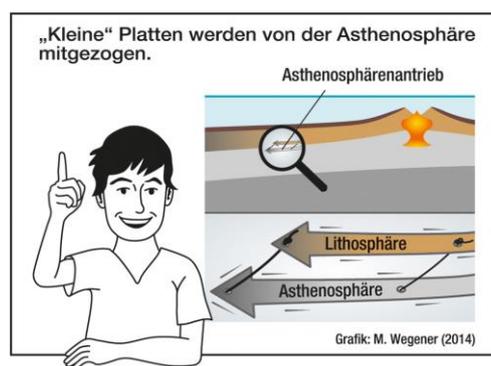


Abbildung 8 Asthenosphärenantrieb

7.3 Leitlinie 3: Einbettung in einen wissenschaftshistorischen Kontext

Trotz der engen Verknüpfung des Begriffs Kontinent mit dem Begriff Platte bietet sich als problemorientierter Kontext die Frage nach den Ursachen der Kontinentalverschiebung an.

Dieser ist anderen möglichen problemorientierten Kontexten (Entstehung von Erdbeben, Vulkanen, Gebirgen) aus folgenden Gründen vorzuziehen:

1. Nachvollzug der historischen Entwicklung der Theorie der Plattentektonik
2. Ermöglichung einer Auseinandersetzung mit dem eigenen, möglicherweise fixistischen Weltbild und einer Verknüpfung mobilistischer Vorstellungen mit der Theorie der Plattentektonik
3. Aktive Auseinandersetzung mit der Vorstellung schwimmender Kontinente
4. Reduktion der Komplexität, indem die Entstehung von Erdbeben, Vulkanismus und Gebirgsbildung erst nach den Antriebsmechanismen der Platten behandelt werden
5. Verknüpfung der Theorie der Plattentektonik mit dem Wissen zu Pangäa, über das die meisten Schüler_innen schon vor der Behandlung der Theorie der Plattentektonik verfügen

Bei der Behandlung der Theorie der Kontinentalverschiebung sollte darauf eingegangen werden, dass WEGENER nicht von im Meer schwimmenden Kontinenten ausging. WEGENER (1980) bezeichnet die Bewegung der Kontinente nicht als Kontinentaldrift, sondern als Kontinentalverschiebung. Dieser Begriff bietet dem wahrscheinlich der Rückübersetzung aus dem Englischen geschuldeten Begriff Kontinentaldrift gegenüber den Vorteil, keine Assoziationen zu im Wasser treibenden Objekten auslösen zu können, birgt aber den Nachteil, bei Schüler_innen ein Drücken-Schema zu aktivieren. Daher erscheint es vorteilhaft, im Unterricht neutral von der Bewegung der Kontinente zu sprechen. Das Wissen zur Bewegung der Kontinente sollte im weiteren Verlauf des Unterrichts in die Theorie der Plattentektonik integriert werden. Es sollte betont werden, dass auch die Ozeanböden in Bewegung sind.

Haben die Schüler_innen genügend Wissen zur Plattentektonik erarbeitet, müssen die Begriffe Kontinent und Platte noch einmal gegenübergestellt werden. Als Rahmen hierzu bietet sich ein Vergleich von Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung mit der Theorie der Plattentektonik an.

7.4 Leitlinie 4: Strukturierung der Platten als Doppelkörper

Schüler_innen bringen Platten mit geologischen Prozessen in Verbindung, haben häufig aber unklare Vorstellungen darüber, was eine Platte ist. Daher sollte der Unterricht stärker darauf angelegt werden, Schüler_innen die Möglichkeit zu geben, sich eine wissenschaftlich korrekte Vorstellung einer tektonischen Platte zu bilden. Hierzu lassen sich folgende Empfehlungen geben.

- Platten von Kontinenten abgrenzen

Der Begriff Platte sollte explizit vom Begriff Kontinent abgegrenzt werden. Je nachdem, ob man den Weg über die historische Entwicklung der Theorie der Plattentektonik gewählt hat oder nicht, kann Unzufriedenheit mit der Vorstellung `die Kontinente sind die Platten´ (Vorstellung _{HA1}) durch die Frage nach der Entstehung von Tsunamis erzeugt werden. An Beispielen sollten die Dimensionen von Platten aufgezeigt werden. Abbildungen, die die großen Platten der Erde zeigen, sind so zu gestalten, dass der Plattenname nicht fast ausschließlich auf dem Kontinent steht, der einen Teil der Platte bildet. Bei der Betrachtung dieser Abbildungen sollte zudem explizit auf den Verlauf der Grenzen der Platten eingegangen und diese mit dem Verlauf der Umrisse der Kontinente verglichen werden.

Es empfiehlt sich die Vermeidung der Begriffe Kontinentalplatte und Erdplatte. Stattdessen sollte von Platten oder mit Einführung der Lithosphäre von Lithosphärenplatten gesprochen werden.

- Differenzierung in ozeanische und kontinentale Lithosphäre

Platten sollten als Doppelkörper strukturiert werden. Hierbei wird der untere Körper vom lithosphärischen Mantel gebildet. Der obere Körper besteht bei Kontinenten aus kontinentaler Kruste und bei Ozeanböden aus ozeanischer Kruste. Hierbei sollte auf die Unterschiede in Bezug auf Mächtigkeit, vorherrschende Gesteine und deren Dichte eingegangen werden. Möglich ist auch die experimentelle Bestimmung der unterschiedlichen Dichten typischer Gesteine der ozeanischen Kruste und der kontinentalen Kruste durch die Schüler_innen selbst (vgl. ALEAN 2008). Es sollte deutlich werden, dass ozeanische Kruste und kontinentale Kruste kaum Gemeinsamkeiten aufweisen. Es ist zu betonen, dass eine Platte sowohl aus ozeanischer als auch kontinentaler Lithosphäre bestehen kann.

- Vermeidung der Puzzleteile-Analogie in Bezug auf die Lithosphärenplatten

Die Analogie der Platten mit Teilen eines Puzzles, wie sie in Schulbüchern verwendet wird (z. B. DÖRINGER et al. 2007, S. 44), sollte vermieden werden, da Schüler_innen die Kontinente aufgrund der Passform ihrer Ränder als Puzzleteile betrachten. Problematisch ist zudem, dass Puzzleteile, setzt man sie richtig zusammen, ein Bild ergeben. Zerstört man Teile eines Puzzles, so wird das Ganze zerstört. Dies steht konträr zur Vorstellung eines Werdens und Vergehens ozeanischer Lithosphäre. Statt der Puzzle-Analogie empfiehlt sich, neutral von Teilen, Stücken oder starren Einheiten zu sprechen, die die Erdoberfläche bilden, und auf diese Weise trotzdem eine Teil-Ganzes-Strukturierung zu verdeutlichen.

- Kontinente und Ozeanböden als Bestandteile der Platten betrachten

Beschreibungen wie die, dass die Platten die Kontinente tragen oder die Kontinente in die Platten eingebettet sind und mit diesen driften, sollten unterbleiben. Stattdessen müssen Kontinente und Ozeanböden als Bestandteile der Platten betrachtet werden. Sprachlich eignen sich Umschreibungen wie: `Kontinente und Ozeanböden bilden Teile der Platten`; `Platten umfassen Teile des Ozeanbodens und den Kontinent`.

- Den Fachbegriff Platte reflektieren

Der Fachbegriff Platte sollte im Unterricht reflektiert werden. Hierzu können Schüler_innen zunächst überlegen, in welchen Situationen ihnen Platten im Alltag begegnen und welche Funktionen diese haben. Auf Basis dieser Überlegungen können Schüler_innen nun den Quellbereich `Platten des Alltags` mit dem Zielbereich `Lithosphärenplatten` vergleichen. Die Schüler_innen erkennen so den Nutzen einer metaphorischen Übertragung, aber auch deren Grenzen.

7.5 Leitlinie 5: Einbettung der Lithosphäre in den Aufbau der Erde

Vor der Behandlung der Plattentektonik sollte im Unterricht eine fachlich angemessene Vorstellung des Aufbaus der Erde erarbeitet werden, weil erst hierdurch eine Einordnung der Lithosphärenplatten in den Aufbau der Erde ermöglicht wird. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten.

- Chemische und physikalische Zonierung der Erde behandeln

Nach der Einführung der chemischen Zonierung der Erde und ihrer Genese durch gravitative Differentiation sollte erarbeitet werden, dass neben dieser Form der Zonierung auch eine physikalische Zonierung möglich ist. Chemische Zonierung und physikalische Zonierung sollten vergleichend gegenübergestellt werden, sodass Schüler_innen über ein verbundenes Wissen zu beiden Formen der Einteilung verfügen.

Die Bezeichnung Schichten sollte vermieden werden, da diese auch für geologische Schichten Verwendung findet und einige Schüler_innen Schwierigkeiten haben, geologische Schichten von den Schalen der Erde zu unterscheiden. Die Bezeichnung Schale wird, obwohl sie in Schulbüchern Verwendung findet, von Schüler_innen nicht gebraucht und scheint also von Schüler_innen kaum angenommen zu werden. Einen Kern als Schale zu bezeichnen widerspricht der Logik des Alltags. Häufig hat ein Kern oder eine Frucht auch nur eine Schale, die ihn umgibt. Besser eignet sich die weniger gebräuchliche Bezeichnung als Zone, weil diese einen Bereich charakterisiert, der nach festgelegten Merkmalen von anderen abgrenzbar ist. Es ist einsichtig, dass man einen Körper wie die Erde auch in andere Zonen einteilen kann.

Schalen oder Schichten können hingegen als eigene Körper aufgefasst werden, eine weitere Unterteilung ist dann schwerer nachvollziehbar.

- Besonderes Augenmerk auf die Behandlung des Erdmantels richten

Bei der Einführung der chemischen Zonierung sollte insbesondere ein Augenmerk auf den Erdmantel gerichtet werden. Hierbei sollte deutlich werden, dass dieser aus festem Gestein und nicht aus flüssigem Magma besteht.

- Einführung der Kategorien plastisch verformbar und starr in Bezug auf Gesteine

Die Einführung der physikalischen Zonierung kann am Beispiel von Lithosphäre und Asthenosphäre erfolgen. Die Schüler_innen wissen inzwischen, dass es sich beim Mantel um einen Gesteinskörper handelt und nicht um eine Magmaschicht. Wie aber können sich die Gesteinsplatten dann bewegen, wieso können sie einsinken? Dies kann über die Einführung der Kategorien plastisch und starr in Bezug auf Gestein plausibel erklärt werden. Starres Verhalten und plastisches Verhalten ist Schüler_innen aus der Alltagswelt bekannt, weniger allerdings die Tatsache, dass Gesteine sich unter bestimmten Bedingungen plastisch verhalten. Daher sollte zunächst auf Alltagsbeispiele für starres und plastisches Verhalten von Materialien (zum Beispiel von Porzellan und Modellierton) zurückgegriffen werden. Zur Demonstration der Temperaturabhängigkeit der Steifheit eines Materials kann das starre Verhalten einer kalten Kerze mit dem plastischen Verhalten einer mit dem Föhn angewärmten Kerze verglichen werden. Die Vorstellung 'Gestein ist plastisch verformbar' wird über Bilder von in Laborexperimenten plastisch verformten Marmorblöcken oder über Bilder von Gesteinsfalten plausibel.

Die Festigkeit sollte explizit vom Aggregatzustand abgegrenzt werden. Daher erscheint die Bezeichnung Steifheit für die Festigkeit besser geeignet als der Begriff Festigkeit.

- Beachtung einer sinnvollen Farbwahl der Asthenosphäre in Abbildungen

Es erscheint geboten, im Unterricht Abbildungen einzusetzen, bei denen der Bereich unterhalb der Platten nicht in orangener oder roter Farbe gezeichnet ist. In einer Studie von CLARK, LIBARKIN, KORTZ und JORDAN (2011) meinten 38 % (n =110) der befragten Studierenden, dass die in Orange gehaltenen Bereiche in einem Blockbild zur Plattentektonik Magma darstellen. Eine geeignete Farbe könnte Grau sein, da sie wahrscheinlich eher mit Gestein assoziiert wird (vgl. CONRAD 2014a).

- Lithosphärenplatten mit dem Aufbau der Erde in Beziehung setzen

Schüler_innen sollen Lithosphärenplatten in den Aufbau der Erde integrieren können. Dabei sollte deutlich werden, dass die Platten nicht nur von der Kruste, sondern auch von den oberen starren Teilen des oberen Mantels gebildet werden. Platten sind somit als Doppelkörper

verständlich zu machen. Es ist darauf zu achten, Abbildungen im Unterricht einzusetzen, in der diese Doppelkörperstrukturierung erkennbar wird. Für den unteren Körper ist die Bezeichnung lithosphärischer Mantel der Bezeichnung oberster Mantel vorzuziehen, da letztere ein Verwechslungspotenzial mit der Bezeichnung oberer Mantel aufweist. Der Ausdruck lithosphärischer Mantel beschreibt zudem wesentlich präziser jenen Teil des Mantels, der zur Lithosphäre gehört. Reine Umschreibungen erscheinen wenig lernförderlich.

- Verwendung der Vorstellung 'Doppelkörper bilden die äußerste in Stücke zerteilte Zone' in unterschiedlichen Kontexten

Die Vorstellung 'Doppelkörper bilden die äußerste in Stücke zerteilte Zone' sollte losgelöst von der Betrachtung des Aufbaus der Erde auch in anderen Kontexten genutzt werden. Es könnte z. B. reflektiert werden, ob das, was wir von der Erdoberfläche sehen, zur Platte gehört oder ob die Kontinente Teile der Platten bilden. Das wissenschaftliche, abstrakte Konzept Platte wird auf diese Weise mit der Lebenswelt der Schüler_innen in Beziehung gesetzt.

7.6 Leitlinie 6: Vernetzung mit Wissen aus dem Physikunterricht, insbesondere dem physikalischen Verständnis des Schwimmens

Eine Vernetzung mit Wissen aus dem Physikunterricht ist unabdingbar, da das Verständnis der Plattentektonik das Verständnis der Dichte, des Schwimmens und der Konvektion voraussetzt. Es empfiehlt sich, Plattentektonik fachübergreifend mit dem Unterrichtsfach Physik zu unterrichten. Ein Schwerpunkt im Unterricht sollte darauf gelegt werden, dass Schüler_innen ein physikalisch angemessenes Verständnis vom Schwimmen aufbauen und in Kontexten der Plattentektonik anwenden können. Hierbei sollte der Terminus Schwimmen dahingehend reflektiert werden, dass zwischen Schwimmen als einer Art der Fortbewegung und dem physikalischen Verständnis von Schwimmen unterschieden wird. Eine solche Unterscheidung kann erfolgen über den Vergleich von Abbildungen von Personen, die brustschwimmen oder kraulen, und Personen, die Zeitung lesend im Toten Meer sitzen. Es sollte explizit gemacht werden, dass, wenn im Kontext der Plattentektonik von Schwimmen gesprochen wird, sich dieser Begriff auf den physikalischen Effekt bezieht. Hierbei sollte auf das Wissen aus dem Physikunterricht aufgebaut werden. Allerdings zeigen die Interviews, dass viele Schüler_innen keine fachlich angemessene Erklärung für das Schwimmverhalten von Objekten im Wasser heranziehen, sodass eine Wiederholung im Geographieunterricht notwendig ist. In diesem Zusammenhang sollten auch die Begriffe Volumen und Dichte wiederholt werden.

Schwimmen wird über Kraftschemata verständlich. So kann die Gewichtskraft durch ein Ziehen-Schema mit einer Zugrichtung nach unten und die Auftriebskraft über ein Drücken-Schema mit einer der Zugrichtung entgegengesetzten Druckrichtung erläutert werden. Dies

stellt eine Variante des Gegenkraft-Schemas dar. Die Wirkung der Gewichtskraft ist für Schüler_innen direkt erfahrbar. Dies gilt auch für den Auftrieb, allerdings ist Schüler_innen bei letzterem weder die Bezeichnung noch die Ursache geläufig. Daher muss ein Schwerpunkt auf die Erklärung der Ursache der Auftriebskraft gelegt werden. Hierbei sollte an Alltagserfahrungen angeknüpft werden. Schüler_innen ist bekannt, dass Gegenstände (z. B. der eigene Körper in der Badewanne, Schiffe im Wasser) das Medium, in dem sie sich befinden, verdrängen. Den befragten Schüler_innen war hingegen oft nicht bewusst, dass das verdrängte Medium eine Kraft auf den schwimmenden Gegenstand ausübt und diese Kraft der Gewichtskraft des verdrängten Mediums entspricht. Das verdrängte Medium und das schwimmende Objekt können jeweils als Behälter strukturiert werden, der eine bestimmte Anzahl von Teilchen enthält, die eine bestimmte Masse aufweisen. Über ein Gleichgewichts-Schema kann verständlich gemacht werden, dass ein Körper so weit einsinkt, bis ein Flüssigkeitsvolumen verdrängt wurde, das die gleiche Gewichtskraft aufweist wie das schwimmende Objekt. Auf diese Weise wird deutlich, dass ein Objekt mit größerer Dichte tiefer in ein Medium eintaucht als ein Objekt mit geringerer Dichte, da ein größeres Volumen des Mediums benötigt wird, um den Körper zu halten. Ist die Dichte des schwimmenden Objektes größer als die der Flüssigkeit, so reicht die Kraft eines verdrängten Volumens des Mediums nicht mehr, um den Gegenstand halten zu können, und dieser sinkt ab.

Die Vorstellung 'Platten sind schwimmende Objekte' kann beispielsweise über die Frage nach der Ursache der unterschiedlichen durchschnittlichen Höhenlagen von Kontinenten und Ozeanen erarbeitet werden. Verständlich wird die fachwissenschaftliche Sicht durch Körper mit unterschiedlicher Eintauchtiefe, beispielsweise Holzklötzen aus Balsaholz und Eichenholz (vgl. GROTZINGER et al. 2008). Hierbei sollte anhand von Alltagsbeispielen (z. B. Wasser, Shampoo, Honig, Ketchup) auf unterschiedliche Grade an Zähflüssigkeit eingegangen werden (vgl. JENDRO & FRAEDRICH 2003) und das Verhalten der Gesteine der Asthenosphäre mit dem Verhalten eines extrem zähflüssigen Mediums verglichen werden. Es sollte verdeutlicht werden, dass es sich nicht um flüssiges Gestein handelt (→ Vermittlung der Vorstellung 'Gestein fließt'). Die Vorstellung 'Lithosphäre schwimmt' erweist sich in unterschiedlichen Kontexten als fruchtbar: unterschiedliche Höhenlage von Kontinenten und Ozeanböden, Absinken alternder ozeanischer Lithosphäre, glazialisostatische Ausgleichsbewegungen, Gebirgsbildung, Auftrieb kontinentaler Lithosphäre, Subduktion.

7 Fazit

Die didaktische Rekonstruktion der Plattentektonik ermöglichte eine Offenlegung der metaphorischen Struktur der wissenschaftlichen Vorstellungen sowie der in den Interviews identifizierten Schülervorstellungen zu Strukturen des Systems Plattentektonik, zu Plattenbewegungen und den Antriebsmechanismen der Plattentektonik. Dadurch wurde nicht nur eine für die Geographiedidaktik wichtige Forschungslücke geschlossen. Über den Vergleich der fachwissenschaftlichen Vorstellungen mit den Schülervorstellungen konnten zudem evidenzbasierte didaktische Leitlinien für den Geographieunterricht entwickelt werden. Hierbei verhalf die Analyse der metaphorischen Strukturierung verkörperte Erfahrungen zu identifizieren, die als Quellbereiche Schüler_innen das Verständnis der Plattentektonik erleichtern sollten. Damit wurde die Grundlage geschaffen, in einem nächsten Schritt im Rahmen von Vermittlungsexperimenten (STEFFE & THOMPSON 2000) die Wirksamkeit der aufgestellten didaktischen Leitlinien einer empirischen Prüfung zu unterziehen, gegebenenfalls zu modifizieren, um dann Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, die eine hohe Wahrscheinlichkeit aufweisen, Schüler_innen den Aufbau einer wissenschaftsnahen Vorstellung zu Strukturen und Prozessen des Systems Plattentektonik zu ermöglichen.

Literatur

- ACHATZ, F., ALTMANN, M., AUNKOFER, M., GEIGER, H., GÖTZ, T., HABICH, C., LETZEL, H., MEYER, H. & STALLHOFER, B. (2008). TERRA. Geographie 10. Gymnasium Bayern. Stuttgart, Leipzig.
- ALEAN, J. (2008). Bestimmung der Dichte von Granit- und Basaltproben. Internet: www.swisseduc.ch/geographie/themen/geologie/dichte_basalt_granit/index.html (aufgerufen am 22.03.2014)
- BASTEN, T. (2013). Wie lassen sich klimageographische Inhalte im Geographieunterricht schülerorientiert vermitteln? – Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Passatzirkulation. In: Geographie und ihre Didaktik, 41 (4), S. 153 - 172.
- BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z, Braunschweig, S. 66 - 67.
- CLARK, S., LIBARKIN, J. KORTZ, K. & JORDAN, S. (2011). Alternative Conceptions of Plate Tectonics held by Non-Science Undergraduates. In: Journal of Geoscience Education, 59 (4), S. 251 - 262.

- CONRAD, D. (2012). Schülervorstellungen zur eisigen Welt der Polargebiete. Ergebnisse einer explorativ angelegten Studie. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 40 (3), S. 105 - 127.
- CONRAD, D. (2014a). Lithosphärenplatten werden recycelt. Schüler lernen die Antriebsmechanismen Plattenzug, Rückendruck und Asthenosphärenantrieb kennen. In: *Praxis Geographie*, 44 (5), S. 48 - 51.
- CONRAD, D. (2014b). Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik. Bayreuth.
- CONRAD, D. (zur Publikation eingereicht). Schülervorstellungen zur Plattentektonik – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit Schülern der neunten Jahrgangsstufe.
- CONRAD, D., BASTEN, T. & FELZMANN, D. (2014). Verstehen auf der Grundlage von Erfahrungen – wie mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens typische Lernschwierigkeiten in geowissenschaftlichen Kontexten interpretiert und prognostiziert werden können. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 42 (4) (angenommen).
- DÖRINGER, A., ECKINGER, K., GÖLLER, J., GUMBRECHT, H., HOENIG, C., KNOLLMÜLLER, C., PLASS, H., PLASS, R., SCHMIDT, K., SCHMITT-KOYTEK, W. & WIRTH, C. (2007). Seydlitz 7. Geographie. Gymnasium Bayern. Braunschweig.
- EHSTAND, A. & HEER, M. (2000). Veranschaulichung von Konvektionsströmen im Erdinneren. In: *Praxis Geographie*, 30 (9), S. 14 - 19.
- FELZMANN, D. (2013). Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 41. Oldenburg.
- FORTE, A.M. (2011). Plate Driving Forces. In: GUPTA, H.K. (Hg.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Berlin u. a., S. 977 - 982.
- FRISCH, W., & MESCHÉDE, M. (2011⁴). Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. Darmstadt.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), S. 867 - 888.
- GROPENGIESSER, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lernforschung. In: MAYRING, P. & GLAESER-ZIKUDA, M. (Hg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel, S. 172 - 189.
- GROPENGIESSER, H. (2006²). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 4. Oldenburg.

- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 105 - 116.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2008⁵). Press/Siever. Allgemeine Geologie. Berlin, Heidelberg.
- GUPTA, H.K. (Hg.) (2011). Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Berlin u. a.
- HEIDE, T. VON DER (2003). Ein Experiment zur Plattentektonik. In: Geographie heute, 24 (208), S. 18 - 21.
- HERRERA, J. & RIGGS, E. (2013). Relating Gestures and Speech: An analysis of students` conceptions about geological sedimentary processes. In: International Journal of Science Education, 35 (12), S. 1979 - 2003.
- HÖINK, T., JELINEK, M. & LENARDIC, A. (2011). Viscous coupling at the lithosphere-asthenosphere boundary. In: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 12, Q0AK02, S. 1 - 17.
- JENDRO, I. & FRAEDRICH, W. (2003). Experimentieren mit selbst gemachter Lava. Flüssigkeiten aus dem Haushalt helfen weiter. In: Geographie heute, 24 (208), S. 14 - 17.
- JOHNSON, M. (1987). The Body in the Mind. Chicago.
- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 93 - 104.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H. & KOMOREK, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3 (3), S. 3 - 18.
- KRÜGER, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 81 - 92.
- LAKOFF, G. (1987). Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind. Chicago.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). Metaphors We Live By. Chicago.
- MARQUES, L. & THOMPSON, D. (1997). Misconceptions and Conceptual Changes concerning Continental Drift and Plate Tectonics among Portuguese Students Aged 16-17. In: Research in Science & Technological Education, 15 (2), S. 195 - 222.
- MILITSCHENKO, I. (2013). Experimente zur Geo- und Umweltphysik im zdi-Schülerlabor der Universität Gießen. Internet: phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/444 (aufgerufen am 24.03.2014)

- MÜLLER, C. (1998). *Redebegleitende Gesten. Kulturgeschichte – Theorie – Sprachvergleich*. Berlin.
- NIEBERT, K. (2010). *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. Oldenburg.
- NIEBERT, K., MARSCH, S. & TREAGUST, D.F. (2012). Understanding Needs Embodiment: A Theory-Guided Reanalyses of the Role of Metaphors and Analogies in Understanding Science. In: *Science Education*, 96 (5), S. 849 - 877.
- NIEBERT, K., RIEMEIER, T. & GROPENGIESSER, H. (2013). The hidden hand that shapes conceptual understanding. Choosing effective representations for teaching cell division and climate change. In: TSUI, C.Y. & TREAGUST, D.F. (Hg.), *Multiple Representations in Biological Education*. New York, S. 293 - 310.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. & GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education*, 66 (2), S. 211 - 227.
- REINFRIED, S. (2007). Alltagsvorstellungen und Lernen im Fach Geographie. Zur Bedeutung der konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorie am Beispiel des Conceptual-Change. In: *Geographie und Schule*, 29 (168), S. 19 - 28.
- RIEMEIER, T. (2005). *Biologie verstehen. Die Zelltheorie. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion*. Band 7. Oldenburg.
- RIEMEIER, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg, S. 69 - 70.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. In: *Forum Qualitative Sozialforschung*. Volume 4, No. 2. Internet: <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> (aufgerufen am 10.10.2013)
- STEFFE, L.P. & THOMPSON, P.W. (2000). Teaching experiment methodology. Underlying principles and essential elements. In: KELLY, A.E. & LESH, R.A. (Hg.), *Handbook of research design in Mathematics and Science education*. Mahwah (NJ), S. 267 - 306.
- TARBUCK, E. & LUTGENS, F. (2009). *Allgemeine Geologie*. München.
- WEGENER, A.; VOGEL, A. (Hg.) (1980). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Braunschweig.
- WITZEL, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. In: *Forum: Qualitative Sozialforschung* Volume 1, No. 2, Art. 22. Internet: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2519> (aufgerufen am 23.12.2013)

7.5 Teilarbeit C

CONRAD, D., BASTEN, T. & FELZMANN, D. (2014)

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

Zeitschrift für Geographiedidaktik, 42 (4)
(angenommen)

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, Dirk Felzmann

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*

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, S. 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, S. 128). Schwierigkeiten im Umgang mit den zeitlichen und räumlichen Skalen geowissenschaftlicher Phänomene können weitere Lernschwierigkeiten darstellen oder die Übertragungsprozesse 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 sowie 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 [sic] die menschlichen Denkprozesse weitgehend metaphorisch ablaufen“ (LAKOFF, JOHNSON 2011, S. 14), und weisen Metaphern eine Schlüsselrolle in unserem Begreifen der Welt zu. Der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

sierten Verstehens zufolge „besteht das Wesen der Metapher [...] darin, daß [sic] wir durch sie eine Sache oder einen Vorgang in Begriffen einer anderen Sache bzw. eines anderen Vorgangs verstehen und erfahren können“ (LAKOFF, JOHNSON 2011). 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, 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, S. 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, S. 36; 2007, S. 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, S. 143), „Gefrierkernen“ (HÄCKEL 2012, S. 117), „Wolkenkern[en]“ oder „Kristallisationskeime[n]“, „Kristallisationskerne[n] mit Geburtshelfereigenschaften“ gesprochen wird oder Wolken eine „Blumenkohloberfläche“ (WEISCHET, ENDLICHER 2008, S. 204 ff.) besitzen und ein „Zusammenwachsen“ der Tröpfchen (STRAHLER, STRAHLER 2009, S. 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 Basiskategorien 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, S. 27 f.). Fachwissenschaftler nutzen beispielsweise die Basiskategorie Tauchen (GROTZINGER et al. 2008; FRISCH, MESCHEDE 2011) als Quellbereich, um den nicht direkt wahrnehmbaren Zielbereich 'subduzierende 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 dahin gehend, 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 Reflexiv-Schema und das Geber-Gabe-Nehmer-Schema.

Das Reflexiv-Schema (LAKOFF 1987, S. 430 ff.) 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, S. 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 Naturwissen-

schaftsdidaktiken 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 et al. 2013), Physik (AMIN 2009; JEPSSON et al. 2013) und Mathematik (NÚÑEZ et al. 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 2013), glazialer Prozesse und Eiszeiten (FELZMANN 2013) 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, S. 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 Wahrneh-

mungswelten 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.

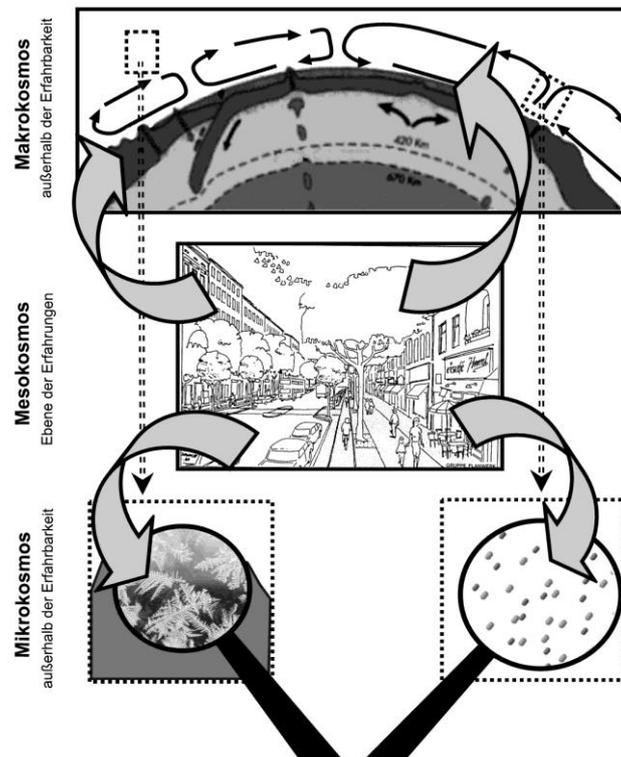


Abb. 1: Der Mesokosmos als Ebene der Erfahrungen bildet den Quellbereich für Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten (verändert nach: FELZMANN 2013, S. 31)

Eine erste diesem Umstand geschuldete Hypothese lautet, dass Verständnisschwierigkeiten 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, S. 18 ff.). 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. 5.3). 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 Schüler und Wissenschaftler den gleichen Quellbereich von Metaphern nutzen, aber 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 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 et al. 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.

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- bis 120-minütige problemzentrierte Einzelinterviews (WITZEL 2000); kommunikative Validierung mittels Struktur-lege-Technik (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

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 2005) 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 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 Metapherdefinition 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, S. 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 Verständnis 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. 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 Befunden 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 Lerneraussagen zu den Studien 1 und 3 handelt es sich um die aus der qualitativen Inhaltsanalyse gewonnenen geordneten Lerneraussagen, die Schüleräußerungen aus Studie 2 stellen Ausschnitte aus Transkripten der Vermittlungsexperimente dar. Bei den Wissenschaftleraussagen 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, S. 25). Fachwissenschaftler nutzen zur Erklärung dieses Sachverhaltes eine Metaphorik 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, S. 11; Hervorh. d. Verf.).

„In gleicher Weise liefert das große, in den dichterem 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, S. 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; Hervorheb. 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 Höhengniveaus umgewandelt werden.

„Ich glaube eher, dass die Kontinente zusammengewachsen 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 Höhengniveaus 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 bogenförmigen Kette von Hügeln und Kuppen aus Geschiebematerial ansammelt“ (GROTZINGER et al. 2008, S. 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 Gesteins-transport 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). [Hervorh. d. Verf.]

Beispiel 3: Erklärung der tropischen Klimazone (Studie 3)

Wissenschaftler: Bei den Tropen (zwischen $23,5^\circ$ N und $23,5^\circ$ 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, S. 23 ff.).

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, S. 32 ff.), es gibt eine „Strahlungsquelle“ oder „Energiequelle“ (HÄCKEL 2012, S. 173; STRAHLER, STRAHLER 2009, S. 68 ff.) oder einen „Strahlungsstrom“ (HÄCKEL 2012, S. 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 209-329; Hervorh. d. Verf.).

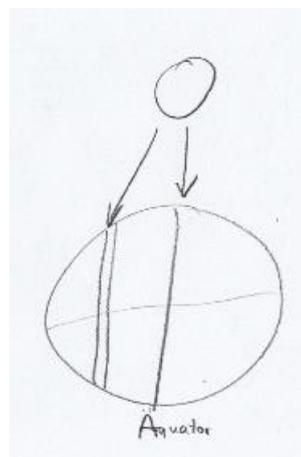


Abb. 2: Zeichnung Judith

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:</p> <p>„Der Vorgang der Verwitterung umfasst sämtliche chemischen und physikalischen Prozesse, durch die Gesteine <u>in Bruchstücke unterschiedlicher Größe zerfallen</u>. Die [...] <u>Gesteinsbruchstücke werden nachfolgend</u> durch die Prozesse der Erosion und Denudation <u>abtransportiert</u>“ (GROTZINGER et al. 2008, S. 76; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Gebirge nehmen durch Abtragung an Höhe ab:</p> <p>„Im Laufe der Zeit <u>werden die Gebirge abgetragen</u> und ihre Höhe nimmt ab“ (GROTZINGER et al. 2008, S. 619; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>Zerkleinern und Abtransportieren:</p> <p>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 dass 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 style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Abb. 3: Zeichnung Hannah</p>	<p>Kraft entfernen:</p> <p>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.</p> <p>Bei diesen Vorgängen bleiben die beteiligten Körper erhalten. Schrumpfung ist das Ergebnis einer Prozessumkehr.</p>

Glazialmorphologie Norddeutschlands (Studie 2)

Wissenschaftler:

„Das Eis drang diesmal aus Nordosten vor und brachte viele Kreidekalke mit“ (LIEDTKE, MARCINEK 2002, S. 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, S. 386).

Geber-Gabe-Nehmer-Schema:

Die Interaktion zwischen Untergrund und pleistozäner Eisrandlage in Norddeutschland wird gemäß dem Quellbereich 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.

Lerner:

„Ja, oder der Druck vom Gletscher war vielleicht zu schwer. 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 herunterdrückt, dann wird das alles ja eigentlich gerade. Das meine ich, genau das meine ich, dass der [Gletscher] zu schwer ist und alles geradedrückt“ (Ulrich 666; Hervorh. d. Verf.).

Kraft-Schema:

Viele Lerner konstruieren in den Vermittlungsexperimenten Vorstellungen, wonach das Relief Norddeutschlands niedergedrückt 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 niederdreht und einebnet.

Erklärung des tropischen Windsystems (Studie 3)

Wissenschaftler:

„Auf beiden Hemisphären besteht zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und dem Äquator ein Druckgefälle. Beide haben einen geostrophischen Ostwind zur Folge. [...] Zusammen mit der tropischen Ostströmung entsteht so ein Strömungsschema, das man sich wie zwei gegenläufig drehende Schrauben 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 Strömungsäste sind nichts anderes als die bekannten Nordost- bzw. Südostpassate“ (HÄCKEL 2012, S. 301; Hervorh. d. Verf.).

Fließendes Wasser:

Um die Bewegung von Luft zu veranschaulichen, wird auf das metaphorische Konzept 'Wind ist fließendes Wasser' zurückgegriffen.

Schraube:

Um die Luftbewegung im Makrokosmos zu veranschaulichen, vergleicht HÄCKEL (2012) diese mit der äußeren Form zweier gegenläufiger Schrauben.

Lerner:

„Der Passatwind weht beständig. Er ist ein Rückfluss im Rahmen eines Kreislaufes. Wenn die Passatwinde der beiden Halbkugeln aufeinander-treffen, entweichen sie nach oben, weil unten kein Platz ist. Dass diese Aufwinde Auswirkungen auf den Passatwind haben, kann ich mir nicht vorstellen. Sie bilden lediglich die Rücklage für den nächsten Passatwind“ (Judith 404, 569-645; Hervorh. d. Verf.).

Objekte, Entitäten, die sich anstoßen:

Für Schüler stellt der Passatwind eine Entität, eine Art Objekt dar, die sich entlang einer Kreisbahn bewegt. Passatwinde müssen einander Platz machen. Sie bewegen sich hintereinander und können auch gegeneinanderstoßen. Prozesse finden zeitlich nacheinander statt.

5.2 Befunde zu Hypothese 2

Verständnisschwierigkeiten der im Makrokosmos angesiedelten geowissenschaftlichen Sachverhalte können dadurch entstehen, dass Schüler und Wissenschaftler den gleichen Quellbereich von Metaphern nutzen, aber Schüler die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen.

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, S. 302; Hervorh. 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, S. 158; Hervorh. d. Verf.).

„Deshalb sind Basaltvulkane durch ruhig ausfließende Lava gekennzeichnet [...]“ (FRISCH, MESCHÉDE 2011, S. 125; Hervorh. 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 verdunkelt 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 runterführen, 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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, S. 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, S. 44; WINKLER 2009, S. 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; Hervorh. 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, S. 134, 138 f., 247). Sie kann gestaut werden oder in eine Tiefdruckrinne fließen (WEISCHET, ENDLICHER 2008, S. 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 202-213; Hervorh. 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 Lerner- aussagen	Erläuterung der Lernschwierigkeit
Driftende Platten (Studie 1)	
Wissenschaftler: „Von der mittleren Kreide bis ins frühe Tertiär wurde ozeanische Kruste der rasch nordwärts <u>driftenden</u> Indischen Platte unter den Tibetblock subduziert“ (FRISCH, MESCHÉDE 2011, S.	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 Schü-

<p>111; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Lerner:</p> <p>„Und da sind jetzt die Platten, die <u>schwimmen</u> dann so, die <u>driften</u>. Das hat unser Erdkundelehrer gesagt. Die <u>driften auf diesem</u> [deutet auf Kreis um innersten Kreis] – das ist ja so <u>halbflüssig</u>“ (Christoph 147-162; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>ler 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>
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, S. 320).</p> <p>Lerner:</p> <p>„Und dann ist das <u>alles eingefroren</u>, die Dinos sind ausgestorben“ (Natascha 38).</p> <p>„Ich stelle mir das so vor, dass in der Eiszeit, wie auch schon gesagt Eiszeit, <u>möglichst alles vereist war, voller Eis, Schnee</u>“ (Dieter 15).</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 Bedeutungsverschiebungen 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>

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, S. 58 f.; Hervorh. d. Verf.).

„Das Luftpaket wird keine größere Höhe als etwa 10 km erreichen, denn die dort einsetzende mächtige, Ozon bedingte Inversion wird jede weitere Vertikalbewegung unterdrücken“ (HÄCKEL 2012, S. 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 22-68; Hervorh. d. Verf.).

Wissenschaftler verstehen den vertikalen Aufbau der Atmosphäre metaphorisch mithilfe des Quellbereiches `aufeinanderliegende 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, S. 41 ff.). 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 Asthenosphäre absinken, ziehen sie die dahinter anhängende Platte mit“ (TARBUCK, LUTGENS 2009, S. 77; Hervorh. 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, MESCHEDE 2011, S. 20; Hervorh. d. Verf.).

Der Rückendruck oder auch Rückenschub wird bei TARBUCK, LUTGENS (2009) sowie GROTZINGER et al. (2008) als ein Herunterrutschen auf einer geneigten Fläche, bei FRISCH, MESCHEDE (2011) hingegen als 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, MESCHEDE 2011, S. 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, S. 77; Hervorh. 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, S. 63; Hervorh. 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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; Hervorh. d. Verf.).



Abb. 4: Zeichnung Elisabeth: 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 Personenschema 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, S. 576; Hervorh. 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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, S. 121; Hervorh. d. Verf.).

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

Die basale Logik des Behälter-Schemas (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, S. 166 f.), entsprechend ist die Dichte eines wasserdampfhaltigen Luftvolumens geringer. Die Grenze erscheint als eine Art imaginäre Wand, was sich sprachlich durch die Präposition (gegen) äu-

bert 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“ (S. 141), eine „Luftmasse“ (S. 134), „Luftsäule“ (S. 135), „riesige Luftblase“ (S. 181), „Schlauch“ (S. 181, 184) oder „Walze“ (S. 151). Wissenschaftler verstehen also sich bewegende Luft und damit Phänomene im Makrokosmos (z. B. Passatwinde, 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.

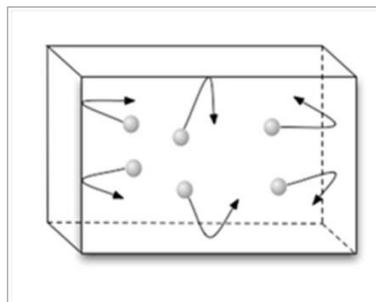


Abb. 5: Wissenschaftliche Vorstellung zum Luftdruck (Darstellung nach BASTEN 2013, S. 60)

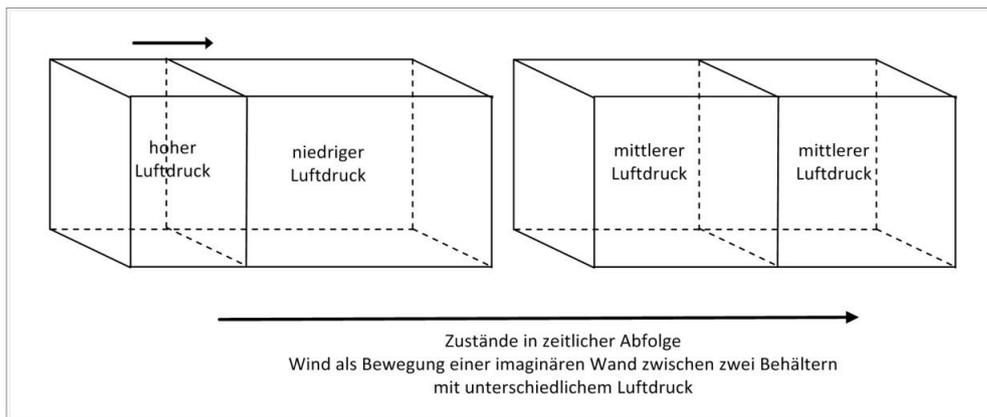


Abb. 6: Wissenschaftliche Vorstellung zur Ursache horizontaler Luftbewegungen (Darstellung nach BASTEN 2013, S. 69)

Tab. 4: Weitere Befunde zu Lernschwierigkeiten der Kategorie 3

Wissenschaftler- und Lernaussagen	Erläuterung der Lernschwierigkeit
Bewegungen im Erdinneren (Studie 1)	
<p>Wissenschaftler: „Hierbei wärmt die Flamme das Wasser am Boden des Glasbehälters. Das erhitzte Wasser dehnt sich aus, <u>wird weniger dicht</u> (bekommt mehr Auftrieb) und steigt auf. Gleichzeitig sinkt das kältere, <u>dichtere</u> Wasser nahe der Oberfläche nach unten“ (TARBUCK, LUTGENS 2009, S. 401; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Lerner: „Ich glaube, der Antrieb für das Zirkulieren kommt wahrscheinlich durch den <u>Druck vom Erdkern</u>. Weil durch den Druck vom Erdkern diese Flüsschen entstehen, die dann immer weiter das Magma <u>hochpumpen</u>“ (Guido 372-386, 387-395; Hervorh. d. Verf.). „Weil flüssiges Zeug <u>bewegt sich ja irgendwie immer mit jeder Bewegung</u>, und wenn die Erde sich dreht, bewegt sich das flüssige Zeug auch“ (Elisabeth 245-259; 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 `Sichmitbewegen`).</p>

Gletscherbewegung (Studie 2)	
<p>Wissenschaftler: „<u>Der Gesamtbetrag dieser winzigen Bewegungen innerhalb der enormen Anzahl von Eiskristallen summiert sich</u> zu einer erheblichen Bewegung der geschlossenen Eismasse in einem Vorgang, der als plastisches Fließen bezeichnet wird“ (GROTZINGER et al. 2008, S. 582; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Lerner: „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>	<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 keine 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 voranbewegen (s. nebenstehendes Zitat).</p>
Eigenschaften von Wasserdampf (Studie 3)	
<p>Wissenschaftler: „Die innertropische Konvergenz ist eine Zone verstärkter Konvektion. <u>Besitzen</u> die darin einbezogenen Luftmassen <u>genügend Wasserdampfgehalt</u>, können in ihrem Wirkungsbereich <u>hochreichende</u> Cumulonimben mit Ge-</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</p>

<p>witern [...] auftreten“ (WEISCHET, ENDLICHER 2008, S. 259; Hervorh. d. Verf.).</p> <p>Lerner:</p> <p>„Wasserdampfhaltige Luft ist <u>schwerer</u> als nicht wasserdampfhaltige, weil doch <u>mehr Wasser dabei</u> ist. Sie steigt <u>langsamer</u> auf“ (Judith 209-329; Hervorh. d. Verf.).</p>	<p>besitzen. Luft besteht aus Teilchen. Entsprechend wird ein Luftvolumen mit zunehmendem Wasserdampfanteil leichter (WEISCHET, ENDLICHER 2008, S. 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>
--	---

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 durch den Interviewer 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 Mikro-

kosmos 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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; Hervorh. 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 Moleküle oder Atome oder so etwas sind auf einer bestimmten Fläche“ (Mirja 820-829; Hervorh. 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; Hervorh. 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], dann habe ich hier mein Wasser. Dann sind das hier die Wassermoleküle. Wenn ich dann Salz reintue, 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; Hervorh. d. Verf.).

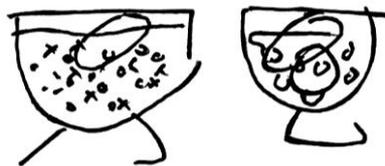


Abb. 7: Zeichnung Mirja: Liegen Teilchen dicht beieinander, lassen sie nichts durch
Oft verfügen Schüler auch parallel über das Konzept, dass Schwimmen etwas mit dem Gewicht eines Körpers zu tun hat oder mit der Verdrängung von Wasser. Diese Vorstellungen existieren dann häufig als Parallelkonzepte, 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; Hervorh. 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, S. 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, S. 65 ff.). 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 erfahrbarer 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

der räumlichen Dimensionen haben TRETTER et al. (2006) diesen Ansatz genutzt, um den Umgang mit verschiedenen Maßstabsebenen durch Laien und Experten zu untersuchen. Für die Nutzung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens im Bereich der zeitlichen Dimensionen liegt ein Ansatz bei FELZMANN (2013, S. 35 ff.) 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).

Tab. 5: Erfordernisse an das Verständnis der fachwissenschaftlichen Sicht

Lernschwierigkeit	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert...
Kategorie 1	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert einen Wechsel des Quellbereiches.
Kategorie 2	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert, die Grenzen einer metaphorischen Übertragung zu erkennen.
Kategorie 3	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Sicht erfordert einen Ebenwechsel 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.

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 Lerner und Wissenschaftler, die vergleichend gegenübergestellt werden (NIEBERT et al. 2013). Hinsichtlich der Erfassung des wissen-

schaftlichen Quellbereichs erscheint es sinnvoll, erfahrungstiftende 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 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 einem Reflexiv-Schema (sich ausdehnende Gletscher) zu vermeiden und stattdessen Strukturierungen gemäß einem Fließgleichgewicht 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 einem Reflexiv-Schema 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 Vorstellungskonstruktion 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, S. 39) kann die Alltagsvorstellung der Luftbewegung aufgrund einer Explosion (siehe 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 geowissenschaftlichen 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.
- AMIN, T. G. (2009). Conceptual metaphor meets conceptual change. *Human Development*, 52 (3), S. 165-197.
- BARKE, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg.
- BASTEN, T. (2013). Klimageographische Inhalte des Geographieunterrichts erfahrungsbasiert verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der Passatzirkulation. Hannover. Internet: edok01.tib.uni-hannover/edoks/e01dh13/74933620X.pdf (aufgerufen am 12.03.2014)
- BASTEN, T., CONRAD, D., FELZMANN, D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Geographiedidaktik*. Braunschweig, S. 66-67.
- BENNETT, M. R., GLASSER, N.F. (2009). *Glacial geology. Ice sheets and landforms*. Chichester (GB).
- BRUNER, J. S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin.
- CHEEK, K. A. (2010). A summary and analysis of twenty-seven years of geoscience conceptions research. *Journal of Geoscience Education*, 58 (3), S. 122-134.
- CHEEK, K. A. (2013). Exploring the relationship between students' understanding of conventional time and deep (geologic) time. *International Journal of Science Education*, 35 (11), S. 1925-1945.
- CONRAD, D. (2014). *Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik*. Bayreuth.
- CONRAD, D., KOCH, C., LASKE, J. (2012). Problemlösen im Geographieunterricht. Anwendung komplexer Strategien auf unbekanntem Terrain. *Praxis Geographie*, 42 (12), S. 28-31.
- DODICK, J., ORION, N. (2003). Measuring student understanding of geological time. *Science Education*, 87 (5), S. 708-731.

- FELZMANN, D. (2013). Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 41. Oldenburg.
- FRAEDRICH, W. (1997). Wetter und Klima. *geographie heute*, 18 (147), S. 4-39.
- FRISCH, W., MESCHÉDE, M. (2011). Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung. Darmstadt.
- GOULD, S. J. (1990). Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil und Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde. München.
- GROPENGIESSER, H. (2006). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 4. Oldenburg.
- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D., VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg, S. 105-116.
- GROPENGIESSER, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P., GLAESER-ZIKUDA, M. (Hrsg.): Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim, Basel, S. 172-189.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F., SIEVER, R. (2008). Press/Siever - Allgemeine Geologie. Berlin, Heidelberg.
- HÄCKEL, H. (2012). Meteorologie. Stuttgart.
- HOPF, C. (2012). Qualitative Interviews. In: FLICK, U., KARDORFF, E. VON, STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Reinbeck, S. 349-359.
- 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), S. 70-120.
- JOHNSON, M. (1987). *The Body in the Mind*. Chicago.

- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D., VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg, S.93-104.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H., KOMOREK, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3 (3), S. 3-18.
- LAKOFF, G. (1987). Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind. Chicago.
- LAKOFF, G., JOHNSON, M. (1980). Metaphors we live by. Chicago.
- LAKOFF G., JOHNSON, M. (1999). Philosophy in the Flesh. New York.
- LAKOFF, G., JOHNSON, M. (2011). Leben in Metaphern. Heidelberg.
- LASKE, J. (2012). Neue (?) Aufgabenkultur im Fach Geographie. Praxis Geographie, 42 (12), S. 4-8.
- LIEDTKE, H., MARCINEK, J. (2002). Das Norddeutsche Tiefland. In: LIEDTKE, H., MARCINEK, J. (Hrsg.): Physische Geographie Deutschlands. Gotha.
- NIEBERT, K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Oldenburg.
- NIEBERT, K., GROPENGIESSER, H., RIEMEIER, T. (2013). The hidden hand that shapes conceptual understanding. Choosing effective representations for teaching cell division and climate change. In: TSUI, C.-Y., TREAGUST, D.F. (Hrsg.): Multiple Representations in Biological Education. New York, S. 293-310.
- 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, S. 45-65.
- 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), S. 167-199.

- RAIA, F. (2005). Students' understanding of complex dynamic systems. *Journal of Geoscience Education*, 53 (3), S. 297-308.
- REINFRIED, S. (2007). Educational reconstruction – A key to progress in geoscience teaching and learning. *Geographie und ihre Didaktik*, 35 (4), S. 232-243.
- 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*, 37 (3), S. 120-135.
- RIEMEIER, T. (2005). *Biologie verstehen: Die Zelltheorie. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion. Band 7.* Oldenburg.
- SCHEELE, B., GROEBEN, N., CHRISTMANN, U. (1992). Ein alltagssprachliches Struktur-Lege-Spiel als Flexibilisierungsversion der Dialog-Konsens-Methodik. In: SCHEELE, B. (HRSG.): *Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik.* Heidelberg, S. 152-197.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. In: *Forum Qualitative Sozialforschung. Volume 4, No. 2.* Internet: <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> (10.10.2013)
- STEFFE, L. P., THOMPSON, P.W. (2000). Teaching experiment methodology. Underlying principles and essential elements. In: KELLY, A.E., LESH, R. A. (Hrsg.): *Handbook of research design in Mathematics and Science education.* Mahwah (NJ), S. 267-306.
- STRAHLER, A. H., STRAHLER, A. N. (2009). *Physische Geographie.* Stuttgart.
- TARBUCK, E., LUTGENS, F. (2009). *Allgemeine Geologie.* München.
- TREND, R. (1998). An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children. *International Journal of Science Education*, 20 (8), S. 973-988.
- 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), S. 282-319.
- VOLLMER, G. (1986). *Was können wir wissen? Band 2: Die Erkenntnis der Natur.* Stuttgart.

WEISCHET, W., ENDLICHER, W. (2008). Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Stuttgart.

WINKLER, S. (2009). Gletscher und ihre Landschaften. Eine illustrierte Einführung. Darmstadt.

WITZEL, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. In: Forum Qualitative Sozialforschung
Volume 1, No. 2. Internet: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1132/2519> (10.10.2013)

ZECH, F. (1998). Grundkurs Mathematikdidaktik. Weinheim.

8 Übersicht über weitere im Zeitrahmen der Dissertation entstandene Publikationen

MONOGRAPHIEN:

CONRAD, D. (2013). Wie Schüler und Wissenschaftler über die eisigen Regionen der Erde denken. Oldenburger Vordrucke Nr. 600. Oldenburg.

AUFSÄTZE IN ZEITSCHRIFTEN MIT PEER-REVIEW-PROZESS:

CONRAD, D. (2012). Schülervorstellungen zur eisigen Welt der Polargebiete. Ergebnisse einer explorativ angelegten Studie. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 40 (3), S. 105 - 127.

AUFSÄTZE IN UNTERRICHTSPRAKTISCHEN ZEITSCHRIFTEN:

CONRAD, D. (2014). Lithosphärenplatten werden recycelt. Schüler lernen die Antriebsmechanismen Plattenzug, Rückendruck und Asthenosphärenantrieb kennen. In: *Praxis Geographie*, 44 (5), S. 48 - 51.

CONRAD, D. & JEHLING, M. (2013). Stadt ist Wandel. Auf einer Exkursion Wandlungsprozesse und ihre Ursachen greifbar werden lassen. In: *Geographie heute*, 34 (311/312), S. 10 - 19.

CONRAD, D. & EVERTS, J. (2012). Schweinegrippe, Ehec, Ebola. Gesellschaftliche Ängste im Zeitalter der Globalisierung. In: *Praxis Geographie*, 42 (12), S. 47 - 52.

CONRAD, D., KOCH, C. & LASKE, J. (2012). Windpark vor Ort: Kennenlernen einer komplexen Strategie an einem schülernahen Beispiel. In: *Praxis Geographie*, 42 (12), S. 18 - 23.

CONRAD, D., KOCH, C. & LASKE, J. (2012). Energieversorgung – Zentral oder dezentral? Üben einer komplexen Strategie. In: *Praxis Geographie*, 42 (12), S. 24 - 27.

CONRAD, D., KOCH, C. & LASKE, J. (2012). Problemlösen im Geographieunterricht. Anwendung komplexer Strategien auf unbekanntem Terrain. In: *Praxis Geographie*, 42 (12), S. 28 - 31.

AUFSÄTZE IN SAMMELBÄNDEN:

CONRAD, D. (2013). Länderkundlicher Ansatz. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z*. Braunschweig, S. 167 - 169.

CONRAD, D. (2013). Metakognition. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z*. Braunschweig, S. 192 - 194.

CONRAD, D. (2013). Experten im Unterricht. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 76 - 77.

CONRAD, D. (2013). Aufgabenkultur. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 19 - 20.

CONRAD, D. (2013). Szenariotechnik. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 266 - 267.

BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 66 - 67.

BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013). Didaktische Rekonstruktion. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hg.), Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A – Z. Braunschweig, S. 52 - 53.

CONRAD, D. (2012). Heißer Bär auf kalter Scholle. Schülervorstellungen von Arktis und Antarktis. In: PINGOLD, M. & UPHUES, R. (Hg.), Jenseits des Nürnberger Trichters – Ideen für einen zukunftsorientierten Geographieunterricht. Tagungsband zum 15. Bayerischen Schulgeographentag, S. 109 - 113.

CONRAD, D. (2012). Students' conceptions of plate tectonics. In: FALK, G.C., HAUBRICH, H., MÜLLER, M., SCHLEICHER, Y. & REINFRIED, S. (Hg.), Experience-based Geography Learning, IGU-CGE 2012 Symposium Proceedings. Freiburg, S. 170 - 173.

Anhang

Im Anhang dieser Arbeit befindet sich der in der Interviewstudie genutzte Interviewleitfaden inklusiver der eingesetzten Karten und Abbildungen, soweit der Abdruck aus urheberrechtlichen Gründen möglich gewesen ist. Zudem finden sich Übersichten über Forschungsergebnisse zu Alltagsvorstellungen zum System Plattentektonik sowie zum Aufbau des Erdinneren.

Der Interviewleitfaden

Themenbereich 1: Erdbeben		
Intervention	Hinweise	Materialien
Was kommt dir in den Sinn, wenn du an Erdbeben denkst?		
Erkläre mir, was ein Erdbeben ist!		
Fertige eine Zeichnung an und erkläre, wie deiner Meinung nach ein Erdbeben entsteht!	Zeichnung beschriften lassen	Zeichen- vorlage 1
Themenbereich 2: Platten		
Intervention	Hinweise	Materialien
Du sprichst von „Erdplatten“, was genau stellst du dir unter einer „Erdplatte“ vor?	Bezeichnung der Lithosphärenplatten vom/von der Interviewpartner_in übernehmen Sollte der/die Befragte Erdbeben nicht durch Plattenbewegungen erklären, geht es bei einem anderen Themenbereich weiter. Wird der Begriff Platte /Erdplatte von dem/der Interviewpartner_in auch in anderen Kontexten nicht verwendet, läuft das Interview weiter, ohne auf den Themenbereich 2 näher einzugehen	
In welchen Zusammenhängen hast du schon etwas von Platten/„Erdplatten“ gehört?	Auch hier die Begrifflichkeit der interviewten Person übernehmen. Schülerassoziationen aufgreifen und das Gespräch dort fortsetzen, auch wenn es andere Themenbereiche betrifft	
Du siehst hier ein Satellitenbild der Erde. Kannst du einzeichnen, wo sich deiner Meinung nach eine „Erdplatte“ befindet? Erkläre mir bitte, wieso sich deiner Meinung nach dort eine „Erdplatte“ befindet! Zeichne bitte weitere „Erdplatten“ ein!	Die interviewte Person bitten, seine/ihre Antworten ausführlich zu begründen	Karte 1 (Satellitenbild der Erde)
Wie viele „Erdplatten“ gibt es deiner Meinung nach?		
Du hast die Kontinente als Platten gezeichnet. Aber was befindet sich unter den Ozeanen?	Diese Frage wird nur gestellt, falls der/die Interviewpartner_in die Ozeanböden in ihren Darstellungen nicht berücksichtigt	

Was befindet sich denn deiner Meinung nach unterhalb der Platten?	Schüler_in zur Begründung auffordern	
Wie dick stellst du dir diese Platten vor?		
Du hast vorhin gesagt, dass Erdbeben entstehen, wenn Platten sich bewegen. Wieso bewegen sich Platten eigentlich?	Vorstellung gegebenenfalls zeichnen lassen	
Erkläre mir doch bitte, wie du dir das genau vorstellst!		
Mit welcher Geschwindigkeit bewegen sich die „Erdplatten“?	Vorstellung begründen lassen	
Womit könnte man denn die Plattenbewegungen vergleichen?		
Themenbereich 3: Aufbau der Erde		
Intervention	Hinweise	Materialien
Stell dir vor, du könntest die Erde mit einem Messer aufschneiden. Zeichne bitte auf, wie du dir das Innere der Erde vorstellst!	Alles von dem/der Schüler_in erklären und beschriften lassen	Zeichen- vorlage 2
Kannst du mir erklären, wieso das Erdinnere so aufgebaut ist?		
Welche Stoffe befinden sich im Erdinneren?	Das Vokabular des/der Interviewten verwenden. Beschaffenheit jeweils genau erklären lassen	
Fällt dir etwas ein, mit dem man den Aufbau des Erdinneren vergleichen kann?		
Wie ist die Temperaturverteilung im Erdinneren?		
Welchen Durchmesser hat die Erde?	Wenn die Idee einer expandierenden oder schrumpfenden Erde geäußert wird, weiter nach Ursachen und Konsequenzen fragen	
Behält die Erde immer den gleichen Durchmesser?		
Wo befinden sich denn jetzt die Platten in deiner Zeichnung? Zeichne bitte noch die Platten in deiner Zeichnung ein!	Schüler_in soll Zeichnung des Erdinneren um die Platten ergänzen	Zeichnung Erdinneres Schüler_in (Zeichen- vorlage 2)

Stell dir mal vor, auf den Platten würde eine 4000 Meter dicke Eisschicht liegen – das Eis wiegt ja eine Menge. Wäre es möglich, dass die Platten tiefer einsinken? Was würde passieren, wenn das Eis wieder schmilzt?		
Themenbereich 4: Gebirge		
Intervention	Hinweise	Materialien
Kannst du mir erklären, was ein Gebirge ist? Wieso gibt es Gebirge? Kann ein Gebirge auch wieder kleiner werden?	Zeichnung anfertigen lassen. Zeichnung soll beschriftet werden	Zeichenvorlage 3
Themenbereich 5: Tsunamis		
Intervention	Hinweise	Materialien
Du sprichst von Tsunamis. Was ist denn überhaupt ein Tsunami? Erkläre, wie deiner Meinung nach ein Tsunami entsteht. Fertige eine Zeichnung an!	Die Fragestellung wird nur aufgegriffen, wenn der/die Interviewpartner_in das Thema Tsunami von alleine anspricht Zeichnung erklären und beschriften lassen	Zeichenvorlage 4
Themenbereich 6: Vulkanismus		
Intervention	Hinweise	Materialien
Du sprichst von Vulkanen/Du hast bestimmt schon einmal etwas von Vulkanen gehört. Was ist denn eigentlich ein Vulkan? Zeichne bitte auf, wie deiner Meinung nach ein Vulkan aussieht! Sehen Vulkane immer so aus? Woraus bestehen die Flanken des Vulkans? Wie können deiner Meinung nach Vulkane entstehen?	Beginn der Intervention richtet sich danach, ob der/die Schüler_in das Thema Vulkanismus von alleine anspricht Zur Beschriftung der Zeichnung auffordern Diese Frage stellen, falls ein Berg gezeichnet wird	Zeichenvorlage 5

Kannst du mir erklären, was Magma ist?		
Woher stammt das Magma des Vulkans?		
Wieso kann das Magma aufsteigen?		
Themenbereich 7: Kontinente und Ozeane		
Intervention	Hinweise	Materialien
Stell dir vor, du könntest eine Wanderung von Tokio nach San Francisco unternehmen. Man würde dazu das gesamte Wasser aus dem Ozean ablassen. Zeichne bitte auf, wie du dir das Relief auf deinem Weg vorstellst!	Den Begriff Relief gegebenenfalls erläutern Wenn Begriffe wie Mittelozeanischer Rücken oder andere Strukturen genannt werden, weitere Fragen zu deren Entstehung stellen	Karte 2 (politische Weltkarte)
Wenn du auf der Karte mal weiter ein Stück nach Süden blickst, erkennst du eine Inselkette. Wie erklärst du dir, dass sich dort eine Inselkette befindet?		Abbildung 1 (Satellitenbild Hawaii)
Kann es passieren, dass diese Inseln eines Tages im Meer verschwinden? Wenn ja, wieso könnte dies geschehen?		
Was sind deiner Meinung nach die tiefsten Punkte der Erdoberfläche? Hast du schon mal etwas von Tiefseerinnen oder Tiefseegräben gehört? Vom Marianengraben? Wie entstehen solche Tiefseegräben?	Teilweise zeichnen Schüler_innen Gräben eigenständig in der vorherigen Zeichnung ein. Die Entstehung der Gräben kann von den Schüler_innen in einer eigenen Zeichnung dargestellt werden	
Richten wir unseren Blick auf die Erdgeschichte. Hast du eine Vorstellung, wie die Erde - sagen wir mal vor 200 Mio. Jahren ausgesehen hat?		Karte 2 (politische Weltkarte)
Wieso gibt es den „Urkontinent“ nicht mehr?	Begrifflichkeit von dem/der Interviewpartner_in übernehmen. Frage wird nur gestellt, wenn der/die Schüler_in von alleine einen „Urkontinent“ erwähnt	

Wie war das damals mit den Platten: War das nur eine Platte oder waren das mehrere Platten?	Diese Frage stellen, falls der/die Befragte angibt, dass es früher nur einen Kontinent gegeben hat	Karte 2 (politische Weltkarte)
Stell dir mal die Welt in 200 Mio. Jahren vor. Wie könnte die Erde dann aussehen?		
Du hast jetzt davon gesprochen, dass sich die Kontinente bewegen. Wie ist das eigentlich mit den Ozeanböden. Können sie sich auch bewegen? Behalten Kontinente immer ihre Größe?	Diese Frage stellen, falls der/die Schüler_in die Bewegung der Ozeanböden noch nicht in seine/ihre Überlegungen einbezogen hat	
Wie kann ein Kontinent größer werden? Wie können Kontinente zusammenwachsen?		
Könnte (auch heute) ein Kontinent auseinanderbrechen? Wie könnte dies passieren?		
Themenbereich 8: Plattengrenzen		
Intervention	Hinweise	Materialien
Du hast gesagt, die Platten bewegen sich und stoßen dabei aneinander; du hast erklärt, dass dabei Erdbeben (...) entstehen können. Kann das Aufeinanderzubewegen der Platten noch weitere Folgen nach sich ziehen?	Schüleräußerungen werden jeweils aufgegriffen. Schüler_in hat die Möglichkeit zu zeichnen. Zeichnungen beschriften lassen. Sollte der/die Schüler_in an dieser Stelle auf Subduktion eingehen, vertiefende Fragen stellen: - Wovon hängt es ab, dass eine Platte sich unter die andere schiebt? - Welche der Platten geht unter die andere? Wenn der/die Schüler_in Vulkane ins Spiel bringt, dann nachhaken, wieso dort Magma ist und wieso Vulkanismus auftritt	
Du hast gesagt, die Platten stoßen zusammen. Gibt es noch andere Möglichkeiten der Plattenbewegung benachbarter Platten?	Mit den Ideen der/des Interviewten weiterarbeiten	
Angenommen, Platten würden sich auseinanderbewegen – was würde an den Plattengrenzen passieren?	Möglichkeit wird ins Spiel gebracht, wenn der/die Schüler_in sie nicht schon in anderen Kontexten selbst erwähnt hat. Ansonsten analoges Vorgehen wie bei der Frage zur Konvergenz der Platten	

<p>Angenommen, die Platten bewegen sich aneinander vorbei – was könnte dabei geschehen?</p>	<p>Möglichkeit wird ins Spiel gebracht, wenn der/die Schüler_in sie nicht schon in anderen Kontexten selbst erwähnt hat. Ansonsten analoges Vorgehen wie bei der Frage zur Konvergenz der Platten</p>
<p>Themenbereich 9: Erkenntniswege der Geowissenschaften</p>	
<p>Intervention</p>	<p>Materialien</p>
<p>Früher gab es Mythen wie diese, die Erdbeben erklären. Was hältst du von diesem Mythos?</p>	<p>Abbildung 2 (japanischer Mythos)</p>
<p>Was ist der Unterschied zwischen einer wissenschaftlichen Erklärung und einem Mythos?</p>	<p>Hier den/die Schüler_in herausfordern, damit dieser/diese eine genaue Vorstellung äußert, was eine wissenschaftliche Erklärung ist</p>
<p>Die Wissenschaft hat jetzt andere eigene Erklärungen zur Entstehung von Erdbeben. Handelt es sich bei den Erklärungen der Wissenschaftler um Fakten?</p>	
<p>Schauen wir uns mal konkrete Beispiele an: Woher wissen Wissenschaftler, wie es im Erdinneren aussieht?</p>	
<p>Woher wissen Wissenschaftler, wie die Erde früher ausgesehen hat?</p>	
<p>Woher weiß man, dass es Erdplatten gibt? Kann man die Platten sehen?</p>	
<p>Woher weiß man, dass sich die Erdplatten bewegen?</p>	
<p>Welche Wissenschaftler beschäftigen sich überhaupt mit der Erde?</p>	
<p>Welche Interessen verfolgt ein Wissenschaftler bei seiner Arbeit? Hat er noch weitere Motive?</p>	

<p>Man liest ja immer wieder in der Zeitung den Satz: Wissenschaftler haben herausgefunden, dass ... Wie kommt denn eine wissenschaftliche Erkenntnis deiner Meinung nach zustande? Und wenn jetzt ein Wissenschaftler etwas herausgefunden hat - ist das dann die Wahrheit? Gegebenenfalls: Wie sieht es aus mit dem, was in den Schulbüchern steht – entspricht das der Wahrheit?</p>		
<p>Stell dir vor, ein Wissenschaftler aus einem anderen Themengebiet, nehmen wir mal an, es wäre ein Meteorologe, hätte eine Idee, die vieles, was die „Erwissenschaftler“ bislang geglaubt haben, als falsch erscheinen lassen würde. Er stellt zum Beispiel die Behauptung auf: „Erdbeben werden durch Sonnenfinsternisse ausgelöst“ und hätte gute Gründe für diese Behauptung. Wie würden die „Erwissenschaftler“ darauf reagieren? Gegebenenfalls: Glaubst du, man könnte seine Idee ablehnen, nur weil er aus einer anderen Wissenschaft stammt – oder denkst du, Wissenschaftler sind über so etwas erhaben und würden genau so die Kenntnisse prüfen, als wenn der Wissenschaftler aus den eigenen Reihen stammen würde?</p>	<p>Begrifflichkeit der Schüler_in übernehmen</p>	
Themenbereich 10: Verortung geologischer Phänomene		
Intervention	Hinweise	Materialien
<p>Zeichne bitte auf der Weltkarte ein, wo sich deiner Meinung nach Vulkane befinden!</p>		<p>Karte 2 (politische Weltkarte)</p>

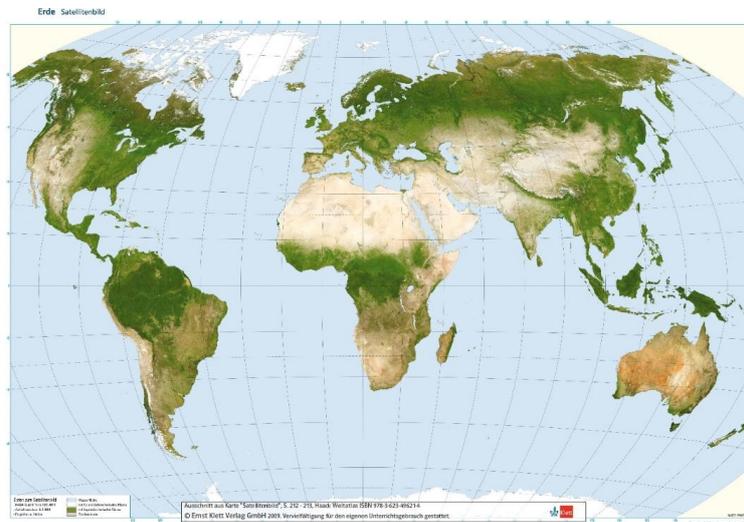
Wieso meinst du, dass sich sich hier Vulkane befinden? Kann es Vulkane auch im Meer geben? Auch unter Wasser? Gibt es auch in Deutschland Vulkane?		Karte 2 (politische Weltkarte)
Zeichne bitte ein, wo sich auf der Erde Erdbeben ereignen können! Wieso, denkst du, ereignen sich dort Erdbeben? Kann es auch in Deutschland Erdbeben geben?		Karte 2 (politische Weltkarte)
Zeichne bitte ein, wo sich auf der Erde Tsunamis ereignen können! Wieso denkst du, dass sich dort Tsunamis ereignen können? Kann es auch in Deutschland, zum Beispiel an der Nordseeküste, Tsunamis geben?	Aufgabe nur stellen, wenn Tsunamis zuvor thematisiert worden sind	Karte 2 (politische Weltkarte)
Themenbereich 11: Magmatische Gesteine		
Intervention	Hinweise	Materialien
Kannst du erklären, wie ein solcher Stein entsteht?		Stein (Granit)
Meinst du, so ein Stein kann schmelzen?		
Was wird aus dem Stein, wenn er geschmolzen ist?		
Unter welchen Bedingungen kann deiner Meinung nach ein Stein schmelzen? Gibt es noch andere Faktoren?		
Wenn man versuchen würde den Kugelschreiber zu schmelzen und diesen Stein – was würde zuerst schmelzen?		
Wenn du den Stein auf den Pausenhof legen würdest und keiner würde ihn wegnehmen. Und du würdest in 1 Mio. Jahre wiederkommen. Wie würde der Stein aussehen?	Darauf hinweisen, dass niemand den Stein wegnimmt und kein menschliches Wesen ihn in irgendeiner Form bearbeitet	

Themenbereich 12: Konvektion		
Intervention	Hinweise	Materialien
Betrachte, was hier passiert. Kennst du solche Lampen?	Die Lavalampe wird schon vor dem Interview eingeschaltet und bleibt bis zu diesem Zeitpunkt bedeckt. Auf diese Weise beeinflusst die Lampe den/die Schüler_in nicht und es geht keine Zeit verloren, bis Konvektion eintritt	Lavalampe
Kannst du erklären, wieso die Blättchen aufsteigen?		
Kannst du mir erklären, wieso die Blättchen wieder absinken?		
Kannst du mir erklären, wieso ein Heißluftballon aufsteigt?		
Themenbereich 13: Schwimmen und Sinken		
Intervention	Hinweise	Materialien
Du hast hier einige Gegenstände – was meinst du, welcher dieser Gegenstände schwimmt, welcher sinkt?	Zunächst den/die Interviewpartner_in tippen lassen und dann ausprobieren	Aquarium, Wasser, Balsaholzklötz (dick/dünn), Eichenholzklötz (dick/dünn), Stein, Porzellanplatte, Kerze
Kannst du erklären, wieso der eine Gegenstand schwimmt, der andere nicht?	Den/die Schüler_in ermuntern, die eigene Vorstellung möglichst exakt zu erklären. Hierbei auf die Vorstellung von Schwimmen zu sprechen kommen: Was bedeutet es, dass ein Gegenstand schwimmt? Wann schwimmt ein Körper, wann sinkt er ein?	
Wenn du dir die Holzstücke anschaust, was fällt dir auf? Kannst du erklären, wovon die Eintauchtiefe abhängt?		

<p>Hast du eine Erklärung, wieso das Ei in der einen Flüssigkeit schwimmt, aber in der anderen nicht? Ich gebe dir jetzt zwei Begriffe. Erkläre mir bitte, was du dir darunter vorstellst! Dichte! Auftrieb!</p>	<p>Experiment mit Ei in Salzwasser ist schon vorbereitet</p>	<p>Ei, Wasser, Salz</p>
--	--	-----------------------------

Interviewleitfaden: ergänzende Materialien

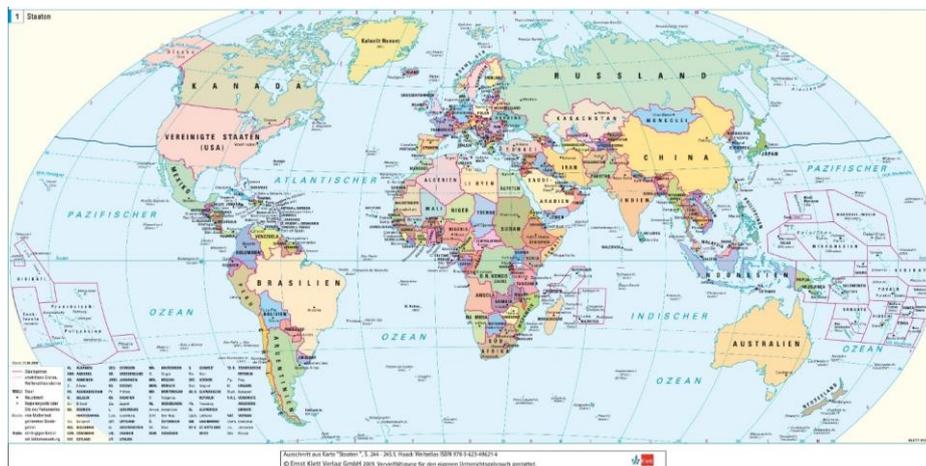
Karte 1: Satellitenbild (Erde)



Quelle: KNIPPERT, U., WAGNER, S., HENGELHAUPT, U., JANSON, P., KOCH, M., LENDL, H., LÖFFEL, G., PENNIG, L. & SCIVOS, W. (Leitung und Bearbeitung). Haack Weltatlas. Stuttgart, S. 212 – 213

Karte 2: Politische Weltkarte

(mit Ergänzung: „Wanderroute“ durch den Pazifik)



Quelle: KNIPPERT, U., WAGNER, S., HENGELHAUPT, U., JANSON, P., KOCH, M., LENDL, H., LÖFFEL, G., PENNIG, L. & SCIVOS, W. (Leitung und Bearbeitung). Haack Weltatlas. Stuttgart, S. 244 - 245.

Die Karte wurde dahingehend bearbeitet, dass eine „Wanderroute“ durch den Pazifik eingezeichnet wurde.

Abbildung 1: Satellitenbild Hawaii



Quelle: NASA. Internet: www.weltkarte.com/nordamerika/hawaii-usa/satellitenkarte-hawaii.htm (aufgerufen am 29.05.2014)

Abbildung 2: Japanischer Mythos zur Entstehung von Erdbeben

Die den Schüler_innen vorgelegten Abbildung besteht aus drei Abbildungen, die Elemente der japanischen Mythologie in Bezug auf die Entstehung von Erdbeben zeigen. Die Abbildungen können an dieser Stelle aus Gründen des Urheberrechtes nicht abgedruckt werden.

Auf der ersten Abbildung ist der Wels Namazu zu sehen, der in der japanischen Mythologie für die Entstehung von Erdbeben verantwortlich gemacht wird. Es handelt sich um die Abbildung 1 auf folgender Internetseite: BRESSAN, D. (2011). Namazu: The Earthshaker. Internet: historyofgeology.fieldofscience.com/2011/namazu-earthshaker.html (aufgerufen am 11.06.2014).

Die beiden anderen Abbildungen finden sich auf folgender Internetseite:

www.univie.ac.at/rei_jap/an/Mythen:Symboltiere/Namazue (aufgerufen am 11.06.2014).

Bei der ersten der beiden Abbildungen handelt es sich um das Bild, welches auf der angegebenen Internetseite den Titel „Erdbebenschutz“ trägt. Auf diesem ist der Gott von Kashima abgebildet. Mit seinem Schwert hält er den Erdbeben verursachenden Wels unter Kontrolle.

Die zweite der beiden Abbildungen ist das Bild, welches auf der angegebenen Internetseite den Titel „Der Namazu als Monster“ trägt. Es zeigt die verheerenden Auswirkungen eines Erdbebens im Gesicht des Welses. Der Gott Ebisu, der den Wels in Schach halten sollte, schläft.

Übersicht über Forschungsergebnisse zu Alltagsvorstellungen zum System Plattentektonik sowie zum Aufbau der Erde

Tab. 12: Alltagsvorstellungen zur Plattentektonik

Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten	
Wanderungen des Magnetfelds der Erde verursachen Plattenbewegung.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Vorstellungen zu Antriebsmechanismen der Kontinentaldrift	
Meeresströme der Ozeane verursachen Kontinentaldrift.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Erdrotation löst Kontinentaldrift aus.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Kontinente haben sich in der Vergangenheit bewegt, aber nun behalten sie ihre jetzige Position bei.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Vorstellungen zur Bewegung der Erdplatten	
Erdplatten liegen unterhalb der Erdoberfläche und bewegen sich unabhängig von dieser.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Erdplatten drehen sich um eine an der Peripherie ansetzende Achse oder um einen zentralen Punkt.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
An Plattengrenzen bewegt sich nur eine der beiden Platten.	CLARK et al. 2011 (Studierende)
In Subduktionszonen bewegt sich nur die subduzierende Platte.	CLARK et al. 2011 (Studierende)
Vorstellungen zur Lage der Erdplatten	
Die Platten liegen gestapelt übereinander. Die jüngste liegt ganz oben.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Plattengrenzen sind an der Erdoberfläche erkennbar. Küstenlinie entspricht der Plattengrenze.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Erdplatten befinden sich unterhalb der Erdoberfläche (und bewegen sich unabhängig	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)

von dieser).	
Erdplatten befinden sich in der Atmosphäre.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Erdplatten befinden sich der Nähe des Erdkerns.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Die Lage der Erdplatten kann nicht beschrieben werden.	CLARK et al. 2011 (Studierende); DAHL et al. 2005 (Lehrer_innen)
Der lithosphärische Mantel wird als Platte bezeichnet.	CLARK et al. 2011 (Studierende)
Die Asthenosphäre wird als Platte bezeichnet.	CLARK et al. 2011 (Studierende)
Vorstellungen zu Auswirkungen der Bewegung von Erdplatten	
Plattentektonische Prozesse werden gehäuft mit Erdbeben, nicht aber mit Vulkanismus in Verbindung gebracht.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Bei der Kollision kontinentaler Lithosphäre schieben sich Platten dreiecksförmig nach oben.	SIBLEY 2005 (Studierende)
Bei Kollision kontinentaler Lithosphäre steigt Magma an Plattengrenzen auf.	SIBLEY 2005 (Studierende)
Bei Kollision kontinentaler Lithosphäre entstehen Gebirge, die sich auf den Platten befinden.	SIBLEY 2005 (Studierende)
Die Mittelozeanischen Rücken entstehen durch Kollision von Erdplatten.	DELAUGHTER et al. 1998 (Studierende)
Verteilung der Tiefenbeben kann nicht mit der Theorie der Plattentektonik in Verbindung gebracht werden.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Vorstellungen zu Kontinenten und Ozeanen	
Bei den Gesteinen der Ozeanböden handelt es sich um die gleichen Gesteine wie bei den Kontinenten, lediglich der Wasseranteil ist höher.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Ozeanböden wachsen durch Absenkungs-	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahr-

prozesse der Erdoberfläche.	gangsstufe)
Kontinente entstehen durch vertikale Kräfte, welche die Erdoberfläche anheben.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Im Zentrum der Kontinente befinden sich die höchsten Punkte der Erdoberfläche. Die tiefsten Punkte befinden sich im Zentrum der Ozeane.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Ozeanböden sinken durch den Druck des Wassers tiefer ein.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe)
Vorstellungen zur Entstehung Mittelozeanischer Rücken	
Durch Anstieg des Meeresspiegels geraten Gebirge unter Wasser.	DELAUGHTER et al. 1998 (Studierende)
Mittelozeanische Rücken entstehen durch die Konvergenz von Lithosphärenplatten.	MARQUES & THOMPSON 1997 (11. Jahrgangsstufe); DELAUGHTER et al. 1998 (Studierende); CLARK et al. 2011 (Studierende)

Tab. 13: Besonderheiten in den Schülerzeichnungen zum Aufbau des Erdinneren

Besonderheit der Schülerzeichnungen	Untersuchung
Die Erde wird als homogener Festkörper gezeichnet.	SHARP et al.1995 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (6. u. 8. Jahrgangsstufe);
Schichten werden nicht konzentrisch, sondern parallel gezeichnet.	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. u. 6. Jahrgangsstufe); STEER et al. 2005 (Studierende); LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Es werden keine Schichten eingezeichnet. Der obere Teil der Erdkugel wird als Kruste, der mittlere als Mantel, der untere als Kern bezeichnet.	GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe)
Es werden konzentrische Schichten eingezeichnet, allerdings werden diese mit unkorrekten Begriffen wie Dreck, Schlamm, Boden, Wasser, Gas oder Gras bezeichnet.	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); STEER et al. 2005 (Studierende)

Es werden zwei konzentrische Kreise gezeichnet.	DELAUGHTER et al. 1998 (Studierende)
Es werden drei oder vier konzentrische Schichten eingezeichnet, allerdings unbeschriftet oder mit wenig beschrifteten Schichten. Differenzierung: - Es werden drei oder vier konzentrische Schichten eingezeichnet, allerdings werden diese nur teilweise beschriftet. Der Kern wird immer beschriftet, die Kruste nie.	LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); STEER et al. 2005 (Studierende) GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
Es werden konzentrische Schichten eingezeichnet und korrekt beschriftet, allerdings stimmen die Relationen nicht, die Kruste ist viel zu dick.	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (7. u. 8. Jahrgangsstufe); STEER et al. 2005 (Studierende)
Es werden konzentrische Schichten eingezeichnet, die Kruste wird in Relation zu anderen Schichten dünner gezeichnet, ist aber immer noch im Verhältnis zu dick.	STEER et al. 2005 (Studierende)
Alle Bedingungen des wissenschaftlichen Modells werden erfüllt, die Linie des äußersten Kreises wird mit Kruste beschriftet und gibt so nahezu das tatsächliche Verhältnis der Kruste zum Durchmesser wieder.	STEER et al. 2005 (Studierende)
Fachbegriffe wie Erdkern und Erdmantel werden verwendet, ohne diese erläutern zu können.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)

Tab. 14: Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Erdinneren

Vorstellungen zur Asthenosphäre	Untersuchungen
Die Asthenosphäre ist fest.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Die Asthenosphäre ist größtenteils flüssig.	CLARK et al. 2011 (Studierende); KING 2000 (Lehrer_innen)
Die Asthenosphäre ist flüssig.	KING (2000) (Lehrer_innen)
Die Asthenosphäre befindet sich über dem Mantel: manchmal über dem oberen Mantel, manchmal über dem unteren Mantel (in diesem Fall liegt dann die Kruste der Asthenosphäre auf).	LILLO 1994 (7. u. 8. Jahrgangsstufe)
Es besteht keine Vorstellung davon, nach welchen Kriterien das Erdinnere in Schalen eingeteilt wird. Chemische und physikalische Einteilung werden durcheinandergeworfen.	LIBARKIN et al. 2005 (Studierende)
Vorstellungen zur Kruste	Untersuchungen
Die Kruste wird in ihrer Dicke falsch eingeschätzt.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Die Kruste wird viel zu dick eingeschätzt.	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (6. - 8. Jahrgangsstufe); STEER et al. 2005 (Studierende)
Vorstellungen zum Mantel	Untersuchungen
Der Mantel unterhalb der Asthenosphäre ist größtenteils flüssig.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Der Mantel unterhalb der Asthenosphäre ist größtenteils fest.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Der Mantel unterhalb der Asthenosphäre ist flüssig.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Der Mantel ist größtenteils flüssig.	CLARK et al. 2011 (Studierende)
Vorstellungen zum Erdkern	Untersuchungen
Der äußere Kern ist fest oder größtenteils fest.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Der äußere Kern ist größtenteils flüssig.	KING 2000 (Lehrer_innen)
Der innere Kern ist flüssig (oder größtenteils)	KING 2000 (Lehrer_innen)

flüssig).		
Der innere Kern ist größtenteils fest.		KING 2000 (Lehrer_innen)
Der Erdkern ist heiß und voll flüssigem Magma.		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); DAHL et al. (2005) (Lehrer_innen)
Das Magma des Erdkerns bildet die spätere Lava der Vulkane.		GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); DAHL et al. 2005 (Lehrer_innen)
Im Erdkern brennt ein Feuer.		LILLO 1994 (6. Jahrgangsstufe)
Im Erdkern herrschen sehr hohe Temperaturen.		LILLO 1994 (6. - 8. Jahrgangsstufe)
Im Erdkern befinden sich geschmolzene Mineralien und Gase.		LILLO 1994 (7. u. 8. Jahrgangsstufe)
Im Erdkern befinden sich Gase.		DAHL et al. 2005 (Lehrer_innen)
Im Zentrum der Erde lebt der Teufel.		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (6. Jahrgangsstufe)
Ein Magnet befindet sich im Zentrum der Erde.		LILLO 1994 (5. u. 6. Jahrgangsstufe)
Im Zentrum der Erde befindet sich eine Höhle.		SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Temperaturen im Erdinneren		Untersuchungen
Das Erdinnere ist warm.		SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Be- grün- dungen	Brennende Steine und brennende Luft befinden sich im Erdinneren.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
	Die Sonne heizt das Erdinnere auf, wie eine Herdplatte den Tee in einem Teekessel aufheizt.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
	Die Sonne heizt das Erdinnere auf, im Winter ist es kälter, im Sommer ist es wärmer.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
	Die Temperatur ist im Zentrum am wärmsten.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Das Erdinnere ist kälter als die Oberfläche.		SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)

Be- grün- dungen	Die Sonne erreicht das Erdinnere nicht, daher ist es kälter.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
	Kaltes Wasser sinkt am Grund der Gewässer ins Erdinnere ein und kühlt es ab.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
	Im Erdinneren sorgen Winde für Abkühlung.	SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Im Erdinneren befindet sich/befinden sich:		Untersuchungen
Schatz, Erdöl, Dinosaurierknochen, Gold und Silber, tote Pflanzen		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
Humus/ Erde		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
Asphalt, Skelette, Ziegel, Rohre, tote Pflanzen		SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Gestein		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe)
Wasser		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. u. 6. Jahrgangsstufe)
Vari- anten	- Meer unter den Kontinenten.	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
	- Grundwasser	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
	- Wasser in Abflussrohren	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
	- Wasservorkommen in separaten Bereichen des Erdinneren	LILLO 1994 (5. Jahrgangsstufe)
Tiere		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); SHARP et al. 1995 (5. Jahrgangsstufe)
Teufel		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (6. Jahrgangsstufe)
Magma/Lava		GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); KING 2000 (Lehrer_innen)

Vari- anten	- Magmaschicht (manchmal auch als Lavaschicht bezeichnet)	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); DELAUGHTER et al. 1998 (Studierende); CLARK et al. 2011 (Studierende); KING 2000 (Lehrer_innen)
	- Magma in Blasen direkt unterhalb von Vulkanen	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
	- Magma/Lava nur in Vulkanen	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe)
	- Lava in abgetrennten Bereichen	LILLO 1994 (6. Jahrgangsstufe)
	- Lava/Magma im Erdkern	GAPP & SCHLEICHER 2010 (3. Jahrgangsstufe); GOBERT 2000 (5. Jahrgangsstufe); LILLO 1994 (5. - 8. Jahrgangsstufe); DAHL et al. (2005) (Lehrer_innen)
Abgetrennte Bereiche, die Gas, Wasser oder Städte enthalten		LILLO 1994 (5. U. 6. Jahrgangsstufe)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Zeitraum des Verfassens dieser Arbeit begleitet und damit die Entstehung dieses Werkes erst möglich gemacht haben.

Mein besonderer Dank gilt hierbei Frau Prof. Dr. Gabriele Obermaier, die mich jederzeit mit Rat und Anregung unterstützt hat. Insbesondere möchte ich mich für das in mich gesetzte Vertrauen und die mir gegebenen Freiräume herzlich bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei zahlreichen anderen Kollegen aus der Fachdidaktik für die wertvollen Diskussionen und Anregungen während der Entstehung dieser Arbeit, insbesondere bei Dirk Felzmann und Thomas Basten sowie allen anderen Mitgliedern der HGD-Nachwuchsgruppe Schülervorstellungsforschung, aber auch bei Kati Barthmann, Jochen Laske, Christoph Koch (Geographisches Institut der Universität Bayreuth), Kerstin Drieling, Stephan Schuler (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg) sowie Nina Brendel (Universität Münster).

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Prof. Dr. Hans Keppler (Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth) und Dr. Tobias Höink (Rice University Houston, Texas), die mir insbesondere hinsichtlich fachwissenschaftlich kontroverser Fragen in Bezug auf den Plattenantrieb immer wieder beratend zur Seite gestanden haben.

Ich möchte mich auch bei Prof. Dr. Gregor Falk und Prof. Dr. Werner Rieß (Pädagogische Hochschule Freiburg) bedanken, die mich zu einer Dissertation in der Fachdidaktik ermutigt haben und ohne die ich diesen Weg vermutlich gar nicht eingeschlagen hätte.

Danke sagen möchte ich auch allen Schüler_innen, die an dieser Studie teilgenommen haben, sowie allen Lehrer_innen, die dies ermöglicht haben.

Und letztlich gilt ein besonderer Dank meiner Familie und allen Freunden, die mich im Zeitrahmen dieser Arbeit unterstützt und mich aber auch immer wieder daran erinnert haben, dass es neben der Arbeit auch viele andere wertvolle Dinge im Leben gibt.

(Eidesstattliche) Versicherungen und Erklärungen

(§ 8 S. 2 Nr. 6 PromO)

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass die elektronische Fassung meiner Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung hinsichtlich der eigenständigen Anfertigung der Dissertation unterzogen werden kann.

(§ 8 S. 2 Nr. 8 PromO)

Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

(§ 8 S. 2 Nr. 9 PromO)

Ich habe die Dissertation nicht bereits zur Erlangung eines akademischen Grades anderweitig eingereicht und habe auch nicht bereits diese oder eine gleichartige Doktorprüfung endgültig nicht bestanden.

(§ 8 S. 2 Nr. 10 PromO)

Hiermit erkläre ich, dass ich keine Hilfe von gewerbliche Promotionsberatern bzw. -vermittlern in Anspruch genommen habe und auch künftig nicht nehmen werde.

.....
Ort, Datum, Unterschrift