



Wie können Plattenbewegungen verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Bewegung von Lithosphärenplatten

How to Teach Plate Movements Effectively? Key Results of an Educational Reconstruction of the Movement of Tectonic Plates

Dominik Conrad 

Zitieren dieses Artikels:

Conrad, D. (2016). Wie können Plattenbewegungen verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Bewegung von Lithosphärenplatten. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 44(2), S. 25-49. doi 10.18452/23262

Quote this article:

Conrad, D. (2016). Wie können Plattenbewegungen verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Bewegung von Lithosphärenplatten. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 44(2), pp. 25-49. doi 10.18452/23262

Wie können Plattenbewegungen verständlich unterrichtet werden? Zentrale Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Bewegung von Lithosphärenplatten

How to Teach Plate Movements Effectively? Key Results of an Educational Reconstruction of the Movement of Tectonic Plates

Dominik Conrad

Zusammenfassung

Im Rahmen einer didaktischen Rekonstruktion der Bewegung von Lithosphärenplatten wurden didaktische Leitlinien für den Geographieunterricht entwickelt. Viele Strukturen und Prozesse von Plattenbewegungen sind nicht direkt wahrnehmbar und damit gemäß der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens nur metaphorisch verständlich. Eine zentrale Rolle bei der Formulierung von Leitlinien nimmt daher die Aktivierung verständnisfördernder, direkt verständlicher Quellbereiche ein, beispielsweise mittels Sprache, Gestik oder Analogien. Der Artikel fokussiert auf zentrale Ergebnisse der fachlichen Klärung, den Vergleich der fachlichen Konzepte mit der Schülerperspektive sowie die Entwicklung von als Empfehlung für den Unterricht zu betrachtenden didaktischen Leitlinien.

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

Abstract

The model of educational reconstruction was used in this study to develop educational guidelines for teaching plate movements. This is based on a comparison of the results of Scientific Clarification with students' conceptions identified by analyzing qualitative interviews. Many structures and processes concerning plate movements cannot be perceived directly and so, according to theory of experientialism, they can only be understood on an imaginary level. As a result, instructors teaching plate movements are required to use adequate metaphors from source domains which are clearly comprehensible. Appropriate source domains could be activated for example by language, gesture or analogies. The article focusses on key results of scientific clarification, a comparison between scientific and learners' perspective and the development of educational guidelines for teaching plate tectonics.

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

1 Einleitung

Mit Hilfe der Theorie der Plattentektonik lassen sich viele geowissenschaftliche Phänomene erklären, die im Schulunterricht behandelt werden. Ob Vulkanismus, Erdbeben, Tsunamis oder Gebirgsbildung—alle diese Phänomene stehen in engem Zusammenhang mit der Bewegung von Lithosphärenplatten. Insbesondere die erstgenannten Phänomene haben einen großen Einfluss auf das Leben vieler Menschen in tektonisch aktiven Regionen. Gemäß den Nationalen Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss ist eine zentrale Zielsetzung des Geographieunterrichtes der Erwerb der Kompetenz, „Räume auf den verschiedenen Maßstabsebenen als natur- und humangeographische Systeme zu erfassen und Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Umwelt analysieren zu können“ (DGfG, 2014, 9). Hierzu ist „ein Verständnis des Systems Erde, also der verschiedenen natürlichen Systeme und Teilsysteme der Geosphäre erforderlich“ (DGfG, 2014, 6). Das Verständnis des Systems Plattentektonik bildet die Grundlage, die Gefährdung von Räumen hinsichtlich der durch plattentektonische Prozesse ausgelösten Naturereignisse einschätzen zu können.

In einer Interviewstudie (CONRAD, 2015) zeigte sich, dass Schülerinnen und Schüler am Ende der neunten Jahrgangsstufe des bayerischen Gymnasiums über zum Teil erheblich von der fachwissenschaftlichen Sichtweise abweichende Vorstellungen be-

züglich zentraler Aspekte der Bewegung von Lithosphärenplatten verfügen. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Studie widmet sich der vorliegende Artikel der Fragestellung, wie die Bewegung von Lithosphärenplatten auf Basis eines Vergleichs der Ergebnisse der fachlichen Klärung mit der Perspektive der Lernenden, insbesondere durch die Aktivierung geeigneter lebensweltlicher Erfahrungen, verständlich unterrichtet werden kann.

Zunächst werden mit dem Modell der didaktischen Rekonstruktion, der klassischen Conceptual-Change-Theorie und der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens die theoretischen Grundlagen der Untersuchung dargestellt. Nachfolgend wird in Kapitel 3 der Forschungsstand in Bezug auf Schülervorstellungen zur Bewegung von Lithosphärenplatten und deren Veränderung skizziert. In Kapitel 4 werden die Forschungsfragen und das methodische Vorgehen vorgestellt. Analog zum Modell der didaktischen Rekonstruktion werden ein kurz gehaltener Überblick über relevante Schülervorstellungen (Kapitel 5), zentrale Ergebnisse der fachlichen Klärung (Kapitel 6) sowie ein Vergleich der Schülerperspektiven mit der fachwissenschaftlichen Perspektive auf Plattenbewegungen (Kapitel 7) skizziert. Aufbauend auf diesen Vergleich erfolgt die Darstellung möglicher Konsequenzen für den Geographieunterricht (Kapitel 8).

2 Theoretische Grundlagen

Zur Entwicklung didaktischer Leitlinien bildet das Modell der didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER & KOMOREK, 1997; KATTMANN, 2007) einen geeigneten Forschungsrahmen. Es stammt ursprünglich aus der Didaktik der Naturwissenschaften. Innerhalb der geographiedidaktischen Forschung wurde es bislang insbesondere im Bereich physisch-geographischer Themen verwendet BASTEN, CONRAD & FELZMANN, 2013a), zum Beispiel Klimawandel (SCHULER, 2011), Passatkreislauf (BASTEN, 2013), glaziale Prozesse und Eiszeiten (FELZMANN, 2013), Boden (DRIELING, 2015) und Quellen (REINFRIED, AESCHBACHER, KIENZLER & TEMPELMANN, 2015).

Grundlegend für das Modell ist das fachdidaktische Triplet, bestehend aus den drei aufeinander bezogenen Bausteinen fachliche Klärung, Erforschung von Schülerperspektiven und didaktische Strukturierung (Abb 1).

Bei der fachlichen Klärung wird die fachwissenschaftliche Sicht auf den Unterrichtsgegenstand aus einer Metaperspektive bezüglich Grenzen, möglichen Lernschwierigkeiten sowie der Eignung verwendeter Analogien und Metaphern untersucht. Bei der Erforschung der Schülerperspektiven stehen die Vorstellungen 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 der Erforschung von Schülerperspektiven erfolgt die didaktische Strukturierung, die beispielsweise in die Erstellung didaktischer Leitlinien für den Unterricht münden kann.

Die Ergebnisse bezüglich der Lernerperspektiven zum System Plattentektonik liegen bereits ausführlich vor (vgl. CONRAD, 2015).



Quelle: Kattmann, Duit, Gropengiesser & Komorek, 1997
Graphik: M. Wegener (2016)

Abb 1 Das fachdidaktische Triplet
(Graphik M. Wegener, Quelle: KATTMANN et al. 1997)

In diesem Aufsatz sollen am Beispiel „Bewegung von Lithosphärenplatten“ die fachliche Klärung und die didaktische Strukturierung erfolgen.

Im Modell der didaktischen Rekonstruktion werden mit den unterschiedlichen Ansätzen der Conceptual-Change-Forschung, der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und einer konstruktivistischen Sicht auf Lernprozesse (RIEMEIER, 2007) für das Lernen fachlicher Inhalte wichtige theoretische Ansätze unter einem Dach zusammengeführt (KATTMANN, 2007, 97).

Der klassische Conceptual-Change-Ansatz (POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG, 1982) nennt vier Bedingungen, die für einen erfolgreichen Konzeptwechsel gegeben sein müssen: Unzufriedenheit mit der eigenen Vorstellung, Verständlichkeit, Plausibilität sowie Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung. Erzeugung von Unzufriedenheit kann mittels eines kognitiven Konflikts ausgelöst werden. NIEBERT (2010) nennt vier Möglichkeiten, einen kognitiven Konflikt zu induzieren: Vergleich der eigenen Vorstellungen mit den Vorstellungen der Mitschülerinnen und Mit-

schüler, Konfrontation mit der fachwissenschaftlichen Vorstellung, Widersprüche in der eigenen Vorstellung, Widerspruch von Ergebnis und Vorhersage beispielsweise in Bezug auf den Ausgang eines Versuchs. Verständlichkeit meint, dass die fachwissenschaftliche Sicht für die Lernenden nachvollziehbar sein muss. Plausibilität bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler die fachliche Vorstellung als glaubwürdig betrachten können, da sie nicht im Widerspruch mit eigenen Beobachtungen und Erfahrungen steht. Fruchtbarkeit zielt auf die erfolgreiche Anwendung der neuen Vorstellung ab (FELZMANN & SCHULER, 2013).

Insbesondere die Bedingung Verständlichkeit der wissenschaftlichen Vorstellung macht es notwendig, einen Blick auf zentrale Strukturen und Prozesse der Bewegung von Lithosphärenplatten zu richten. Diese entziehen sich häufig unserer direkten Erfahrung und sind somit nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON, 1980; GROPENGIESSER, 2006; 2007; BASTEN, CONRAD & FELZMANN, 2013b) nur metaphorisch (imaginativ) verständlich (CONRAD, BASTEN & FELZMANN, 2014). Der Begriff Metapher bezeichnet in diesem Kontext kein rhetorisches Mittel. LAKOFF und JOHNSON (1980) sprechen von einer Metapher, wenn ein abstrakter, nicht direkt erfahrbare Zielbereich durch Übertragung von unmittelbaren körperlichen Erfahrungen (= Quellbereich) verstanden wird. So nutzen wir beispielsweise Erfahrungen mit dem Sehen als Quellbereich, um ein Verständnis für bestimmte Aspekte im abstrakten Zielbereich Erlangen zu erlangen. Die genutzte Metaphorik wird in der Sprache ersichtlich. So kann jemand bei einer Entscheidung vorausschauend denken, hierbei Weitblick beweisen sowie unterschiedliche Perspektiven einbeziehen. Gemäß der

Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ist ein Großteil unseres Denkens auf diese Weise metaphorisch strukturiert.

CONRAD et al. (2014) konnten zeigen, dass die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens einen plausiblen Erklärungsrahmen für typische Lernschwierigkeiten im Bereich Geowissenschaften bildet, da sich viele geowissenschaftliche Strukturen und Prozesse in so großen räumlichen und zeitlichen Dimensionen abspielen, dass sie nicht direkt erfahrbare sind. Sie sind daher nur imaginativ verständlich. Lernschwierigkeiten können daraus resultieren, dass Schülerinnen und Schüler beim metaphorischen Verstehen einen anderen Quellbereich als Fachwissenschaftler nutzen (Kategorie 1) oder beim Gebrauch des gleichen Quellbereichs die Grenzen der metaphorischen Übertragung nicht erkennen (Kategorie 2). Eine weitere Schwierigkeit (Kategorie 3) resultiert daraus, dass viele geowissenschaftliche Sachverhalte zwar einerseits in großen räumlichen und zeitlichen Dimensionen ablaufen, aber andererseits eine Erklärung verlangen, die im Mikrokosmos, der Welt der kleinen, nicht mehr direkt wahrnehmbaren Dimensionen angesiedelt ist. Versuchen Lernende geowissenschaftliche Phänomene zu erklären, greifen sie gemäß der meisten ihrer Alltagserfahrungen nicht auf Erklärungen im Mikrokosmos zurück. Die hieraus resultierende Schwierigkeit soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Aus fachwissenschaftlicher Sicht wird die Genese von Gletschereis erst durch einen Blick auf Veränderungen von Eiskristallen verständlich. Erklären Schülerinnen und Schüler aber die Genese von Gletschereis, so ziehen sie lediglich Erfahrungen mit dem Gefrieren flüssigen Wassers heran (CONRAD, 2012; 2013; FELZMANN, 2013). Jede der drei Kate-

TAB 1 *Unterrichtlicher Umgang mit Lernschwierigkeiten (verändert nach CONRAD et al., 2014, 172)*

Lern-schwierigkeit	Das Verstehen der fachwissenschaftlichen Vorstellung erfordert...
Kategorie 1	einen Wechsel des Quellbereichs.
Kategorie 2	das Erkennen der Grenzen der metaphorischen Übertragung.
Kategorie 3	einen Wechsel auf die Ebene der Teilchen.

goren von Lernschwierigkeiten erfordert ein bestimmtes unterrichtliches Vorgehen, um ein Verständnis der fachwissenschaftlichen Vorstellung zu erlangen (vgl. TAB 1).

NIEBERT, MARSCH und TREAGUST (2012) konnten im Rahmen einer Re-Analyse von 199 in Lernprozessen verwendeten Metaphern aufzeigen, dass es von entscheidender Bedeutung ist, dass verkörperte Erfahrungen Quellbereiche der metaphorischen Übertragung bilden, da diese für Schülerinnen und Schüler direkt verständlich sind. Erfordert das Verstehen eines geowissenschaftlichen Sachverhalts den Wechsel eines Quellbereichs (Kategorie 1), so erscheint es lernförderlich, durch Lernangebote, beispielsweise durch die Arbeit mit Modellen, Computer- oder Handlungssimulationen, Erfahrungen mit den von der Wissenschaft genutzten Quellbereichen im Unterricht zu ermöglichen und deren Übertragung auf den abstrakten wissenschaftlichen Sachverhalt zu reflektieren. Bei der Aktivierung der dem Verständnis

des wissenschaftlichen Sachverhaltes dienenden lebensweltlichen Erfahrungen hilft zudem ein sorgsamer Sprachgebrauch ebenso wie die Nutzung alltagsnaher Analogien (RIEMEIER, 2005; NIEBERT, 2010; NIEBERT et al., 2012; NIEBERT, RIEMEIER & GROENGIESSER, 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 Erfahrungsbereiche leisten kann. Da Quell- und Zielbereich zwar gemeinsame Elemente besitzen, aber niemals identisch sind, haben Schülerinnen und Schüler häufig Schwierigkeiten, zu erkennen, welche Bereiche eines Quellbereiches auf den Zielbereich übertragen werden können (Kategorie 2). Für die Entwicklung eines angemessenen Verständnisses einer Metapher ist eine Reflexion ihrer Grenzen oft notwendig (BASTEN, 2013; NIEBERT et al., 2013; CONRAD et al., 2014). Liegen die Erklärungen des wissenschaftlichen Sachverhaltes auf der Ebene des Mikrokosmos (Kategorie 3), so muss seitens der Lehrkraft ein Ebenenwechsel im Denken der Lernenden hin zum Mikrokosmos initiiert werden. Da viele physisch-geographische Themen das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte voraussetzen, ist der Geographieunterricht so zu gestalten, dass er diese explizit aufgreift (CONRAD, 2012; 2013; CONRAD et al., 2014).

3 Forschungsstand zu Schülervorstellungen zur Bewegung von Lithosphärenplatten

Trotz der großen Bedeutung der Theorie der Plattentektonik für die Geowissenschaften ist bislang wenig über Schülervorstellungen zu Plattenbewegungen bekannt (vgl. CONRAD, 2014a). GOBERT und CLEMENT (1999) sowie GOBERT (2000; 2005) untersuchten bei Schülerinnen und Schülern der fünften Jahrgangsstufe die Effektivität unterschiedlicher Verarbeitungsformen von Texten. Lediglich bei GOBERT (2000) werden im Rahmen einer Einzelfallanalyse Vorstellungen eines Probanden zu den Antriebsmechanismen der Lithosphärenplatten beschrieben. Hierbei wird die Ursache von Konvektionsströmen im Erdinneren von einem Probanden durch den 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“ (GOBERT, 2000, 954). Neben der bereits erwähnten Studie von CONRAD (2015), die im Kontext des vorliegenden Artikels zu sehen ist und deren zentrale Ergebnisse hinsichtlich Schülervorstellungen zu Plattenbewegungen in Kapitel 5 überblicksartig zusammengestellt sind, gibt es lediglich eine Studie (MARQUES & THOMPSON, 1997), die Schülervorstellungen zum Themenbereich Plattentektonik erfasst. Die Studie von MARQUES und THOMPSON (1997) verlief in drei Phasen. In der ersten Phase interviewten die Autoren zehn Schülerinnen und Schüler im Alter von 16 bis 17 Jahren vor der unterrichtlichen Behandlung der Plattentektonik. Auf Basis der Ergebnisse entwickelten sie in der zweiten

Phase einen Fragebogen zur Erhebung von Vorstellungen bei Schülerinnen und Schülern ($n=270$), die das Thema bereits im Unterricht durchgenommen haben. Im Zentrum der Untersuchung stand die Frage, ob die vorunterrichtlichen Vorstellungen auch nach dem Unterricht und wenn ja, in welcher Häufigkeit auftreten. In der dritten Phase wurde darauf aufbauend ein Kleingruppenunterricht mit fünf freiwillig teilnehmenden Schülerinnen und Schülern durchschnittlichen Leistungsniveaus durchgeführt und evaluiert. Ergebnisse zu Präkonzepten hinsichtlich der Bewegung von Lithosphärenplatten werden keine beschrieben. Nachunterrichtlich sind 35 Prozent der Befragten der Auffassung, dass die Platten rotierende Bewegungen ausführen. 34 Prozent machen die Erdrotation für die Kontinentaldrift verantwortlich und ein nicht prozentual angegebener Anteil geht davon aus, dass Meeresströme die Kontinente, die häufig mit Lithosphärenplatten gleichgesetzt werden, antreiben. 34 Prozent der Befragten glauben, dass die Plattenbewegungen durch das Wandern der magnetischen Pole ausgelöst werden. Die auf Grundlage der Ergebnisse der Phasen 1 und 2 entwickelte, konstruktivistisch angelegte Lernumgebung in Phase 3 belegt deutliche Fortschritte der Probanden durch einen an die Vorstellungen der Lernenden anknüpfenden Unterricht. Allerdings werden die eingesetzten Vermittlungsstrategien nicht detailliert dargelegt.

4 Ziele der Untersuchung und methodisches Vorgehen

Der vorliegende Aufsatz ist eingebettet in ein Dissertationsprojekt zur didaktischen Rekonstruktion der Plattentektonik (CONRAD, 2014a). Ziel dieses Projektes war es, didaktische Leitlinien für die Vermittlung der Plattentektonik in der zehnten Jahrgangsstufe zu entwickeln. Als Forschungsrahmen diente das in Kapitel 2 erläuterte Modell der didaktischen Rekonstruktion. Die Ergebnisse der Erforschung von Schülerperspektiven finden sich ausführlich bei CONRAD (2015). Der vorliegende Artikel zeigt das Vorgehen und zentrale Ergebnisse der beiden weiteren Untersuchungsaufgaben fachliche Klärung und didaktische Strukturierung am Themenbereich Bewegung von Lithosphärenplatten beispielhaft auf.

Gemäß der in Kapitel 2 geschilderten Struktur geowissenschaftlicher Inhalte und daraus resultierender Verständnisschwierigkeiten erfolgte die fachliche Klärung zum einen unter der Fragestellung, welche Vorstellungen Fachwissenschaftler von der Bewegung der Lithosphärenplatten haben, zum anderen unter der Fragestellung, welche Quellbereiche sie zum Verständnis von Plattenbewegungen nutzen. Die verwendete Metaphorik wurde hinsichtlich ihrer Potenziale und Grenzen im Hinblick auf die Vermittlungsabsicht untersucht. Als Quellen wurden drei aktuelle Hochschullehrbücher herangezogen. Die Wahl fiel wegen seiner weiten Verbreitung auf das Buch von GROTZINGER, JORDAN, PRESS und SIEVER (2008). Das Lehrbuch von TARBUCK und LUTGENS (2009) wurde aufgrund der umfassenden Betrachtung des Systems Erde und der Vielzahl verwendeter Analogien als Quelle hinzugezogen. Mit FRISCH und MESCHÉDE (2011) wurde ein Lehrbuch ausgewählt, das im Gegensatz zu den beiden

anderen Lehrbüchern nicht aus dem anglo-amerikanischen Raum stammt und zudem Prozesse des Systems Plattentektonik stärker fokussiert. Die Auswertung der Quellentexte erfolgte mittels einer Kombination aus qualitativer Inhaltsanalyse (GROPENGIESSER, 2005) und systematischer Metaphernanalyse (SCHMITT, 2003; NIEBERT, 2010). Als erstes wurden die für die Forschungsfragen bedeutenden inhaltstragenden Quellenpassagen selektiert. Diese wurden paraphrasierend zusammengefasst. Hierbei wurden die wissenschaftlichen Vorstellungen zu den relevanten Fragestellungen identifiziert und hinsichtlich der den wissenschaftlichen Aussagen zugrundeliegenden Metaphorik analysiert. Dabei wurde zunächst der Zielbereich im geowissenschaftlichen Themenfeld festgelegt. Im nächsten Schritt wurden alle dem Verständnis des Zielbereichs dienenden Metaphern und Analogien herausgearbeitet. Es erfolgte die Analyse, welche Aspekte im Zielbereich durch die verwendete Metaphorik beleuchtet werden und welche verdeckt bleiben. Die wissenschaftlichen Quellen und die von den Wissenschaftlern verwendete Metaphorik wurden hierbei vergleichend analysiert.

Die Ergebnisse der fachlichen Klärung wurden mit den Ergebnissen der Erforschung der Schülerperspektiven unter der Fragestellung verglichen, welche Empfehlungen vor dem Hintergrund der Erkenntnisse der Conceptual-Change-Forschung sowie der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und den Schwierigkeiten, die sich beim Verständnis geowissenschaftlicher Inhalte ergeben, für die Vermittlung zentraler Aspekte der Bewegung von Lithosphärenplatten gemacht werden können.

5 Zentrale Ergebnisse der Schülervorstellungen

Einen Überblick über zentrale Ergebnisse der Auswertung der qualitativen Interviews zu den Themenbereichen, die beim Verständnis der Bewegung von Lithosphärenplatten von Bedeutung sind, bietet Tabelle 2. Eine ausführliche Darstellung der Schülervorstellungen findet sich bei CONRAD (2015).

Tab 1 Zentrale Lernerperspektiven zu Plattenbewegungen (eigene Darstellung nach CONRAD 2015) (Verändert nach CONRAD et al., 2014, 172)

VORSTELLUNGEN ZU PLATTENBEWEGUNGEN	
Art und Weise der Plattenbewegung (PB)	
Vorstellung _{PB} 1:	Platten driften/schwimmen/treiben auf Magma.
Vorstellung _{PB} 2:	Platten driften/schwimmen/treiben in den Ozeanen.
Vorstellung _{PB} 3:	Platten verschieben sich.
Vorstellung _{PB} 4:	Platten verrutschen.
Vorstellung _{PB} 5:	Platten rutschen abwärts auf einer geneigten Fläche.
Vorstellung _{PB} 6:	Platten bewegen sich alle in eine Richtung.
Explizit geäußerte Analogien zur Plattenbewegung (APB)	
Vorstellung _{APB} 1:	Plattenbewegung gleicht verschiebbaren Teilen eines Schiebepuzzles.
Vorstellung _{APB} 2:	Platten gleichen verschiebbaren Platten eines Weges.
Vorstellung _{APB} 3:	Platten gleichen Eisplatten auf einem total zugefrorenen See, die eng aneinander liegen.
Vorstellung _{APB} 4:	Platten gleichen Holzklötzen, die eng nebeneinander in einer Badewanne schwimmen.
Vorstellung _{APB} 5:	Platten bewegen sich wie Steinblöcke auf Holzstämmen beim Pyramidenbau.
Vorstellungen zu konvergierenden Plattenbewegungen (konv)	
Vorstellung _{konv} 1:	Dicht beieinanderliegende, sich bewegende Platten stoßen zusammen.
Vorstellung _{konv} 2:	Platten driften aufeinander zu und stoßen zusammen.
Vorstellung _{konv} 3:	Platten schieben sich dreiecksförmig nach oben.
Vorstellung _{konv} 4:	Eine Platte schiebt sich über die andere.
Vorstellung zur Frage, welche Platte sich unter eine andere bewegt (Bedingung Vorstellung_{konv}4 [B_{konv}4])	
Vorstellung _{Bkonv} 41:	Die leichtere Platte bewegt sich über die schwerere.
Vorstellung _{Bkonv} 42:	Die höher gelegene Platte schiebt sich auf die tiefer gelegene.
Vorstellung _{Bkonv} 43:	Die Platte mit mehr Kraft schiebt sich unter die andere Platte.
Vorstellungen zu divergierenden Plattenbewegungen (div)	
Vorstellung _{div} 1:	Zwei Platten entfernen sich voneinander und es entsteht ein Spalt.
Vorstellung _{div} 2:	Es entsteht eine neue Platte zwischen zwei divergierenden Platten.
Vorstellung _{div} 3:	Platten, die aufeinanderlagen, bewegen sich voneinander weg.
Vorstellung _{div} 4:	Platten, die sich gegenseitig nach oben gedrückt haben, gehen wieder auseinander.

Grundlegende Vorstellungen

Vorstellungen zu Magma/Lava (M/L)

Vorstellung _{M/L} 5: Einziger Einflussfaktor auf das Schmelzen von Gestein ist die Temperatur.

Vorstellungen zu Lithosphärenplatten (SP) (Zusammenfassung)

Platten werden von allen Befragten als Einzelkörper betrachtet, manchmal wird dieser als Kruste bezeichnet. Schülerinnen und Schüler sprechen in der Regel nur von Platten und differenzieren nicht zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre/Kruste.

6 Zentrale Ergebnisse der fachlichen Klärung

Im Folgenden werden zusammenfassend Ergebnisse der fachlichen Klärung zu wichtigen Aspekten der Bewegung von Lithosphärenplatten dargelegt. Neben wissenschaftlichen Vorstellungen, die sich direkt auf die Plattenbewegung beziehen, werden auch Konzepte mit einbezogen, die eine Grundlage zum Verständnis von Plattenbewegungen bilden. Aus Gründen der Verständlichkeit erfolgen diese Konzepte in der Darstellung zuerst. Es wird jeweils ein Konzept genannt und seine wesentlichen Elemente beschrieben, bevor die

metaphorische Strukturierung analysiert wird. Ein durch die Wissenschaftler gerichteter Blick auf den Mikrokosmos wird jeweils dokumentiert, weil Sachverhalte, welche eine Erklärung auf der Ebene des Mikrokosmos verlangen, bei der Unterrichtsvorbereitung besonders in den Blick zu nehmen sind, da vom fachwissenschaftlichen Konzept abweichende Vorstellung seitens der Lernenden als wahrscheinlich zu betrachten sind (vgl. Kapitel 2). Die Darstellung bezieht sich auf alle untersuchten Quellen und beschränkt sich auf zentrale Aspekte.

6.1 Grundlegende Konzepte zu Strukturen der Lithosphärenplatten (SP) und zu Bildung von Magma (M/L)

Konzept _{SP} 1: Lithosphärenplatten sind Doppelkörper aus Kruste und lithosphärischem Mantel.

Die Stücke, aus der die Oberfläche der Erde sich zusammensetzt, werden als tektonische Platten bezeichnet. Diese werden von allen Autoren dahingehend beschrieben, dass sie aus der Kruste und dem darunterliegenden lithosphärischen Mantel bestehen und Einheiten bilden (z.B. FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 14; GROTZINGER et al., 2008, 14; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 23). Im Sinne der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens stellt der Fachbegriff „Platte“ selbst eine Metapher dar, die allerdings verdeckt, dass es sich bei

den Lithosphärenplatten im Gegensatz zu den meisten Platten des Alltags um zusammengesetzte Doppelkörper handelt.

Konzept _{SP} 2: Es ist zu unterscheiden zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre.

Zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre wird unterschieden, je nachdem ob sich kontinentale oder ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel befindet. Ein wesentlicher Unterschied zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste wird deutlich mit einem Blick auf die Ebene der Teilchen: Die Dichte der kontinentalen Krus-

te ist geringer als die der ozeanischen Kruste (z.B. FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 12; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 23). Behält man die Metapher ‚Platten sind ein zusammengesetzter Körper‘ bei, bildet die Kruste den oberen Teil dieses Doppelkörpers.

Konzept_{sp}3: Lithosphärenplatten sind schwimmende Objekte.

Lithosphärenplatten werden von allen Autoren als schwimmende Objekte im physikalischen Sinne betrachtet. Die Auftriebskraft, die auf einen schwimmenden Gegenstand einwirkt, wird hierbei über Erfahrungen des Hochgedrücktwerdens verstanden. Kraftquelle ist die Gewichtskraft des verdrängten Mediums (GROTZINGER et al., 2008, 602; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 472). Der Auftriebskraft entgegen wirkt die Schwerkraft der Lithosphärenplatte, die als ein Nachuntenziehen (GROTZINGER et al., 2008, 599) verstanden wird und eine Gegenkraft zur Auftriebskraft darstellt. Deutlich wird die Betrachtung der Platten als schwimmende Objekte, insbesondere bei der Beschreibung der Subduktion. Diese wird sehr häufig mit einer Metapher des Tauchens (z.B. GROTZINGER et al., 2008, 34, 85, 109, 187; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 65, 758; FRISCH & MESCHÉDE,

2011, 100, 123, 168), aber zuweilen auch des Absinkens (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 77) beziehungsweise Einsinkens (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 113) in die Asthenosphäre beschrieben. Ohne die Betrachtung tektonischer Platten als schwimmende Objekte ist eine Mantel-Platten-Bewegung nicht nachvollziehbar.

Konzept_{M/L}1: Druck, Temperatur und Vorhandensein von Fluiden beeinflussen die Bildung von Magma.

Wissenschaftler nennen für die Bildung von Magma drei Faktoren: Temperatur, Druck sowie das Vorhandensein von Fluiden (GROTZINGER et al., 2008, 98–99; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 139–140). Eine Druckabnahme führt ebenso wie ein höherer Wassergehalt zu einer niedrigeren Schmelztemperatur von Gesteinen. Druckentlastung spielt bei der Magmenbildung an Mittelozeanischen Rücken die entscheidende Rolle. TARBUCK und LUTGENS (2009, 404) erläutern die Bedeutung des Drucks sehr anschaulich: „Höherer Druck führt dazu, dass weniger Platz für das Gestein vorhanden ist, um sich auszudehnen, und so tendieren unter Druck stehende Materialien dazu, fest zu sein. Entsprechend steigt auch die Schmelzpunktkurve mit zunehmender Tiefe“.

6.2 Konzepte zur Plattenbewegung (PB)

Konzept_{PB}1: Plattenbewegung ist Teil der Konvektionsbewegung des Mantels.

Plattenbewegung und Mantelkonvektion werden in den untersuchten Quelltexten als zusammengehörig beschrieben. FRISCH und MESCHÉDE (2011, 17) sprechen von einer „Wechselbeziehung“ von Konvektionsströmen und Plattenbewegung, um im Folgenden zu verdeutlichen, dass Mantelkonvektion

und Plattenbewegung nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. GROTZINGER et al. (2008, 17) bezeichnen Plattenbewegung und Mantelkonvektion als Teile des gleichen Systems („System Plattentektonik“), TARBUCK und LUTGENS (2009, 78) sprechen von der „Platten-Mantel-Bewegung“ oder der „Platten-Mantel-Konvektion“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 443). Metaphorisch wird

diese Bewegung als Kreislauf verstanden. So ist vom „Konvektionskreislauf“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 401) die Rede, bei dem „das von den Platten stammende Material [...] zirkuliert“ (GROTZINGER et al., 2008, 47). Ozeanische Lithosphäre bildet einen Teil des oberen Astes der Kreislaufbewegung, die subduzierten Platten einen Teil der nach unten gerichteten Kreislaufbewegung (z.B. TARBUCK & LUTGENS, 2009, 401–402). Um die Ursache dieser Kreislaufbewegung zu erfassen, die aus der Temperaturdifferenz zwischen Erdinnerem und Erdoberfläche resultiert, ist ein Blick auf die Dichteunterschiede (z.B. GROTZINGER et al., 2008, 377) notwendig.

Konzept _{pb}2: Ozeanische Lithosphäre wird ständig erneuert und wieder zerstört.

Ozeanische Lithosphäre als Teil der beschriebenen Kreislaufbewegung wird ständig erneuert und wieder zerstört. GROTZINGER et al. (2008, 16) sprechen daher von einem „Materialkreislauf“, FRISCH und MESCHÉDE (2011, 20) sowie TARBUCK und LUTGENS (2009, 416) sprechen von Recycling: „Da ozeanische Lithosphäre durch den Prozess der Plattentektonik an den Mittelozeanischen Rücken neu entsteht und an Subduktionszonen verschluckt wird, wird die ozeanische Kruste ständig erneuert und recycelt“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 416).

Das metaphorische Konzept ‚Die Platten werden recycelt‘ zieht mehrere korrespondierende Metaphern nach sich. Plattenbildung an Mittelozeanischen Rücken wird über die Metapher des Herstellens verstanden, was sich sprachlich beispielsweise in den Ausdrücken „Produktion neuer Lithosphäre“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 63) oder „Er-schaffen“ (TARBUCK & LUTGENS 2008, 59) von

Lithosphäre widerspiegelt und auch in dem Fachterminus konstruktive Plattenränder beziehungsweise Plattengrenzen zum Ausdruck kommt. GROTZINGER et al. (2008, 110) vergleichen folglich den Mittelozeanischen Rücken mit einer großen Maschine: „Wir können uns dieses System als ungeheure große ‚Maschine‘ vorstellen, die Material des Erdmantels verarbeitet und daraus ozeanische Kruste produziert.“

Hierbei sind die Gesteine des Mantels gewissermaßen der Rohstoff, der verarbeitet wird. Dementsprechend ist von „Mantelmaterial“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 13; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 53; GROTZINGER et al., 2008, 16) beziehungsweise „neue[m] Material“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 59) die Rede. Das Produkt Lithosphäre altert und wird an destruktiven Plattenrändern „zerstört“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 13; TARBUCK & LUTGENS, 2009, 63), beziehungsweise wieder „vernichtet“ (GROTZINGER et al., 2008, 26). Die Lithosphärenplatten werden mit dem Mantelmaterial vermischt und bilden somit das neue Material, aus dem wiederum Platten gebildet werden (z.B. TARBUCK & LUTGENS, 2009, 401).

Eine alternative metaphorische Strukturierung findet sich bei GROTZINGER et al. (2008, 23) in der Nutzung der Metapher ‚ewiger Kreislauf des Werdens und Vergehens‘. Hierbei wird eine Platte metaphorisch als Lebewesen verstanden, das zunächst erschaffen wird, dann „altert“ (z.B. GROTZINGER et al., 2008, 112) und schließlich seine letzte Ruhe auf dem „endgültigen Friedhof für einen Teil des Lithosphärenmaterials“ (GROTZINGER et al., 2008, 375) findet, wobei letzteres im Hinblick auf einen Kreislauf des Werdens und Vergehens als widersprüchlich empfunden werden kann. Die metaphorische Strukturierung des Werdens und Vergehens erscheint

für unseren Kulturkreis abstrakt und weniger fassbar als die lebensweltlich verankerte Recyclingmetapher, die einen Quellbereich nutzt, in denen Schülerinnen und Schüler selbst handelnd eingreifen, beispielsweise bei der Nutzung von Plastikeinwegflaschen oder Getränkedosen.

Kontinentale Lithosphäre ist aufgrund ihrer geringeren Dichte nicht in diesen Kreislauf eingebunden (GROTZINGER et al., 2008, 64, 253; FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 99).

Konzept_{pb}3: Platten wachsen an konstruktiven Plattengrenzen.

Konstruktive Plattengrenzen stellen einen zentralen Punkt der Platten-Mantel-Bewegung dar. Hierbei wird aufsteigendes Mantelmaterial zum Bestandteil der divergierenden Lithosphäre. Die verwendete metaphorische Strukturierung ist unterschiedlich. Einmal werden Platten als zwei sich auseinanderbewegende Körper aufgefasst. So entstehen „Lücken“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2009, 13), die mit Mantelmaterial gefüllt werden. An anderen Stellen wird an einer konstruktiven Plattengrenze zeitweise nur ein Körper betrachtet, denn die Zugabe von Material führt zu einer kurzfristigen Verbindung der Platten. TARBUCK und LUTGENS (2009, 191, 430) sprechen davon, dass die Platten zusammengeschweißt werden, um kurz darauf wieder getrennt zu werden, so dass Magma „in neu entstandene Risse injiziert [werden kann]“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 430). Hierbei handelt es sich um einen zyklischen Vorgang, Prozesse des Trennens und Wiederverbindens laufen simultan ab. In allen drei untersuchten Lehrwerken wird die Metapher des Wachstums der Lithosphärenplatten verwendet. FRISCH und MESCHÉDE (2011, 20) sprechen von „wachsende[n]

Plattenränder[n]“, GROTZINGER et al. (2009, 51) vom „Flächenzuwachs einer Platte“; bei TARBUCK und LUTGENS (2009, 430) ist zu lesen, dass der „Ozeanboden wächst“. Die Metapher verdeutlicht in diesem Zusammenhang ein Größerwerden, aber nicht im Sinne eines organischen Wachstums, sondern vielmehr durch Materialzugabe. Besser deutlich wird dies noch durch das Bild des gleichmäßigen seitlichen Anfügens von Material: „Als Folge wird neues Material gleichmäßig an die zwei divergierenden Platten angefügt“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 430).

Konzept_{pb}4: Alternde Lithosphäre wird mächtiger und dichter und sinkt tiefer ein.

Lithosphäre, die sich vom Mittelozeanischen Rücken entfernt, kühlt ab. Sie wird zudem durch die Umwandlung von der ebenfalls kühler werdenden Asthenosphäre in starre Lithosphäre mächtiger. Beide Prozesse bewirken ein stärkeres Einsinken ozeanischer Lithosphäre mit der Entfernung zum Mittelozeanischen Rücken (vgl. TARBUCK & LUTGENS, 2009, 63; FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 59; GROTZINGER et al., 2008, 376). Verständlich wird das Einsinken ozeanischer Lithosphäre mit einem Blick auf die Ebene der Teilchen: „Kühlere Lithosphäre ist dichter“ (FRISCH & MESCHÉDE 2009, 59). Diese Dichtererhöhung ozeanischer Lithosphäre ist zum einen Folge eines Prozesses, der über eine Metapher des Kleinerwerdens durch Schrumpfung (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 63), aber auch über die Metapher des Zusammenziehens (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 431; GROTZINGER et al., 2008, 376) verstanden wird. Zum anderen ist die Dichtererhöhung Folge einer thermisch bedingten Umwandlung von plastischem asthenosphärischen Mantel in starren lithosphärischen Mantel (TARBUCK & LUTGENS,

2009, 443). Hierbei nimmt die Mächtigkeit des unteren Körpers der Platte enorm zu. Diese Mächtigkeitszunahme wird als Wachsen (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 60) beziehungsweise als Dickerwerden (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 442; GROTZINGER et al., 2008, 376) verstanden.

Konzept_{pb}5: Alternde Lithosphäre wird subduziert und in den Mantel aufgenommen.

An destruktiven Plattengrenzen kommt es zur Subduktion ozeanischer Lithosphäre. Hierbei wird diese in den Mantel aufgenommen (z.B. TARBUCK & LUTGENS, 2009, 442–443).

Auch zur Erklärung der Subduktion ozeanischer Lithosphäre ist ein Blick auf die Ebene der Teilchen notwendig, denn erst eine Dichteumkehr von Lithosphäre und Asthenosphäre ermöglicht die freie Subduktion ozeanischer Lithosphäre. Hierbei sind die nach unten ziehenden Kräfte größer als die nach oben drückenden Kräfte. Kontinentale Lithosphäre wird aufgrund ihrer geringeren Dichte zu stark nach oben gedrückt und kann daher nicht in großem Maßstab subduziert werden (GROTZINGER et al., 2008, 64, 253; FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 99). Die Lithosphäre ist in diesem Zusammenhang als zusammengesetzter Körper zu betrachten. Entscheidend für die Dichteumkehr ist die Vergrößerung des Anteils des unteren Körpers. Von FRISCH und MESCHÉDE (2011, 158) wird er als „schweres Gewicht an der Basis der Platte“ bezeichnet. Noch deutlicher wird dies bei TARBUCK und LUTGENS (2009). Die Autoren betonen, dass eine thermische Kontraktion der Kruste alleine keine Dichteumkehr bewirkt: „Man sollte sich merken, dass es der unter der ozeanischen Kruste liegende lithosphärische Mantel ist, der die Subduktion antreibt.

Sogar wenn die ozeanische Kruste relativ alt ist, beträgt ihre Dichte $3,0\text{g/cm}^3$, was weniger als die Dichte der darunterliegenden Asthenosphäre mit $3,2\text{g/cm}^3$ ist“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 443).

Es wird zwischen freier und erzwungener Subduktion unterschieden (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 102). Nur eine ausgeprägte Dichteumkehr kann zu freier Subduktion führen, da tektonische Platten Festkörper sind und Kraft benötigt wird für ein „Durchreißen der Lithosphäre“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 102), beziehungsweise „um die Platte zu verbiegen“ (TARBUCK & LUTGENS, 2008, 443). Aber auch ozeanische Lithosphäre, bei der die Dichteumkehr noch nicht so ausgeprägt ist, beziehungsweise bei der es noch nicht zu einer Dichteumkehr gekommen ist, kann subduziert werden. In diesem Fall ist die Subduktion durch einengende Kräfte erzwungen (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 102).

Konzept_{pb}6: Lithosphäre wird in den Mantel aufgenommen und schließlich zur Produktion neuer Lithosphäre genutzt.

Der Verbleib der Lithosphäre im Mantel wird unterschiedlich beschrieben. Gemeinsam haben alle Beschreibungen, dass der Mantel als Behälter verstanden wird, dem eine Oben-Unten-Strukturierung zugrunde liegt. Die obere Abgrenzung des Behälters stellt der lithosphärische Mantel mit der darauf liegenden Kruste dar, bei der unteren Begrenzung handelt es sich um die Kern-Mantel-Grenze. Diese Oben-Unten-Strukturierung zeigt sich in sprachlichen Ausdrücken wie z.B. bei FRISCH und MESCHÉDE (2011, 83): „Schwere Anteile subduzierender Platten sinken bis an die Mantelbasis ab [...]“

Die Darstellung, dass die Platte im Mantel geschmolzen werde (GROTZINGER et al.,

2008, 48), ist aufgrund der im Mantel herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen aus fachlicher Sicht unangemessen und lässt zudem den Mantel als Flüssigkeit erscheinen. Neutraler und fachlich angemessener erscheint die Umschreibung, dass „die Platte wieder in den Mantel eingegliedert“ (FRISCH & MESCHÉDE, 2011, 13) beziehungsweise „[...] vollständig im Mantel assimiliert“ (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 451) wird. Allerdings bleibt dieses Bild sehr abstrakt, ebenso wie das Bild, die Platte werde resorbiert (GROTZINGER et al., 2008, 377) oder im Mantel

absorbiert (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 59). Anschaulicher erscheint die Umschreibung, dass die Platten aufgeheizt und schließlich mit dem Mantel vermischt werden (TARBUCK & LUTGENS, 2009, 407). Sie beleuchtet, dass wieder eine einheitliche Substanz entsteht und die Platte dadurch Teil des Mantels wird. Die absinkenden Lithosphärenplatten bilden die absteigenden Ströme von Konvektionsbewegungen im Mantel, ein Teil dieses Materials wird schließlich wieder zu ozeanischer Lithosphäre.

7 Vergleich von Schülervorstellungen und fachwissenschaftlichen Vorstellungen

Im Folgenden werden die Schülervorstellungen und Wissenschaftlervorstellungen zu Plattenbewegungen einem systematischen Vergleich unterzogen, um Eigenheiten, Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Vorstellungen herauszustellen und mögliche Lernschwierigkeiten zu identifizieren. Hierbei wurde auch jeweils angegeben, welche der in Kapitel 2 skizzierten Lernschwierigkeiten jeweils vorliegt.

Ein wesentlicher Unterschied in der Betrachtung der Plattenbewegungen liegt darin, dass Wissenschaftler Plattenbewegungen als Teil eines Kreislaufs begreifen, während Schülerinnen und Schüler Plattenbewegung als oberflächliche, rein horizontale Bewegung betrachten (Kategorie 1). Dies liegt bei einigen Lernenden daran, dass sie die Platten für die Kontinente halten und die Bewegung der Kontinente als ein Schwimmen auf den Ozeanen betrachtet wird. Aber auch die anderen sowohl von Schülerinnen und Schülern als auch von Wissenschaftlern genutzten Ver-

ben, welche die Bewegung der Platten beschreiben, weisen in ihrem lebensweltlichen Gebrauch eine rein horizontale Komponente auf. Insbesondere das Verb verschieben knüpft an Erfahrungen mit der Bewegung von Körpern auf einer horizontalen Fläche an. Betrachtet man zudem die von Lernenden verwendeten Analogien zur Beschreibung der Plattenbewegungen, so zeigt sich häufig das Bild einer von eng aneinander liegenden Körpern bedeckten Oberfläche. Den Lernenden bereitet es offensichtlich große Schwierigkeiten, die Grenzen der Plattenmetapher zu erkennen (Kategorie 2). Viele verstehen diese zwar ähnlich wie die Fachwissenschaftler dahingehend, dass die Erdoberfläche in Stücke, die Platten, zerteilt ist. Allerdings verdeckt die Plattenmetapher wesentliche den Wissenschaftlern bekannte Aspekte, die zum Verständnis von Plattenbewegungen notwendig sind. So steht die Einbindung der Plattenbewegung in einen Kreislauf im Gegensatz zu Erfahrungen mit der Bewegung von Körpern

auf einer Oberfläche. Auch können Bewegungen von Platten, die eine Oberfläche bedecken, im Alltag ohne Blick auf den Mikrokosmos erklärt werden. Zum Verständnis von Lithosphärenplattenbewegungen ist dieser aber notwendig, denn ohne Veränderungen der Dichte ozeanischer Lithosphäre ist der Plattenantrieb nicht erklärbar (Kategorie 3). Zudem ist die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler, Platten können sich mal in die eine und dann wieder in die andere Richtung bewegen, vor diesem Hintergrund erklärbar (Kategorie 1). Analog zur Plattenmetapher nutzen die Probanden zur Beschreibung von Interaktionen zwischen zwei Platten andere Quellbereiche als Wissenschaftler. So wird das Divergieren der Platten von Lernenden als das Auseinandergehen von Körpern betrachtet, zwischen denen eine Lücke entsteht (Kategorie 1). Einige Schülerinnen und Schüler glauben, dass Platten sich gar nicht richtig auseinanderbewegen können, da sie an ihrem anderen Ende gegen andere Platten stießen (Kategorie 1). Die Konvergenz von Lithosphärenplatten verstehen Schülerinnen und Schüler über die Quellbereiche gegeneinander Stoßen, Kollidieren, aufeinander Schieben oder Sich-nach-oben-Biegen (Kategorie 1). Die genutzten Quellbereiche stehen im Einklang mit dem bislang skizzierten Schülerverständnis der Plattenmetapher. Sie nutzen Erfahrungen mit Objekten, die auf einer Fläche gegeneinander geschoben werden. Folglich spielt bei der Erklärung, welche Platte sich unter eine andere bewegt, die Dichte keine Rolle (Kategorie 3). Beim Vergleich der Quellbereiche fällt auf, dass Fachwissenschaftler den Quellbereich Kollidieren lediglich bei der Konvergenz kontinentaler Lithosphärenabschnitte nutzen. Bei Beteiligung ozeanischer Lithosphäre kommt es in

der Fachwissenschaft zu einem Rückgriff auf den Quellbereich Absinken beziehungsweise Tauchen. Lithosphärenplatten werden in diesem Kontext von Wissenschaftlern als ‚schwimmende Objekte‘ betrachtet, und ein Blick auf den Mikrokosmos erklärt das Verhalten der tektonischen Platten. Bei der Beschreibung der Divergenz der Lithosphärenplatten nutzen sowohl Lernende als auch Fachwissenschaftler Erfahrungen mit zwei Körpern, welche sich voneinander wegbewegen. Fachwissenschaftler gehen jedoch davon aus, dass an die Körper jeweils Material angefügt und auf diese Weise der Platz zwischen den Platten ständig gefüllt wird. Lediglich ein Proband äußert eine Vorstellung, dass die Lücke zwischen den Platten von neuem Material verfüllt wird, allerdings geht dieser davon aus, dass sich zwischen den Platten eine neue Platte bildet (Kategorie 1). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass insbesondere die Überinterpretation der Plattenmetapher und die damit einhergehende Nichtbeachtung der Ebene der Teilchen seitens der Schülerinnen und Schüler zu von der fachwissenschaftlichen Sicht abweichenden Vorstellungskonstruktionen führen.

Blickt man auf die Sprache, mit der Plattenbewegungen beschrieben werden, fällt auf, dass einige Schülerinnen und Schüler Plattenbewegungen mit den Bezeichnungen Treiben oder Schwimmen charakterisieren. Diese Bezeichnungen werden von den Wissenschaftlern nicht zur Beschreibung der Fortbewegung verwendet. Sprechen Wissenschaftler von Schwimmen, so beschreiben sie einen physikalischen Effekt.

Ein weiterer grundlegender Unterschied zwischen der Schülersicht und der fachwissenschaftlichen Perspektive besteht darin, dass Schülerinnen und Schüler in der Regel

nicht zwischen kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre unterscheiden. Diese Unterscheidung ist aber ebenso notwendig, um Plattenbewegung zu verstehen, wie die Konstruktion einer Lithosphärenplatte als Doppelkörper bestehend aus lithosphärischem Mantel und aufliegender Kruste. Analog zu Platten des Alltags konstruieren die Lernenden tektonische Platten als einen einfachen Körper (Kategorie 2). Die Vorstellung, dass die Platte aus Kruste und lithosphärischem Mantel besteht, erscheint aus zweierlei Hinsicht Schwierigkeiten zu bergen. So ist den meisten Schülerinnen und Schülern zwar die Unterscheidung zwischen flüssigem und festem Gestein bekannt, allerdings entzieht

sich die Vorstellung von plastisch reagierendem Gestein, wie es in der Asthenosphäre der Fall ist, der lebensweltlichen Erfahrung mit Gesteinen. Eine weitere Schwierigkeit im Verständnis von für die Bewegung von Platten zentralen Vorgängen ist, dass bei der Magmabildung auch der Druck entscheidend sein kann. Schülerinnen und Schüler gehen in der Regel nur von der Temperatur als Einflussgröße auf den Schmelzvorgang aus (Kategorie 1). Erst die wissenschaftliche Vorstellung der Magmabildung durch Druckentlastung kann aber die Entstehung großer Gesteinsschmelzen unterhalb der Mittelozeanischen Rücken erklären.

8 Didaktische Leitlinien

Die hier beschriebenen didaktischen Leitlinien stellen einen Vorschlag zur unterrichtlichen Vermittlung von Plattenbewegungen für die zehnte Jahrgangsstufe dar, die auf dem Vergleich der Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern am Ende der neunten Jahrgangsstufe mit den fachwissenschaftlichen Konzepten basieren. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass vor der Vermittlung der Plattenbewegungen explizit behandelt werden muss, was eine tektonische Platte ist (Abgrenzung von Kontinenten, Unterscheidung von kontinentaler und ozeanischer Lithosphäre, Strukturierung als Doppelkörper, Abgrenzung der Lithosphäre von der Asthenosphäre). Ausführlichere Überlegungen hierzu und zu weiteren Aspekten der Vermittlung der Plattentektonik befinden sich bei CONRAD (2014a).

Leitlinie 1: Vermittlung der Plattenbewegung als Platten-Mantel-Bewegung

Eine Hauptschwierigkeit der Schülerinnen und Schüler liegt im Nichterkennen der Grenzen der Plattenmetapher. Im Unterricht sollte daher zunächst Unzufriedenheit mit der Vorstellung erzeugt werden, dass die Erdoberfläche aus eng aneinander liegenden Platten besteht, die sich mal in die eine, mal in die andere Richtung bewegen. Hierbei könnten Schülerinnen und Schüler nach Artikulation der eigenen Vorstellung damit konfrontiert werden, dass die ältesten auf den Kontinenten gefundenen Gesteine ein Alter von ca. vier Milliarden Jahren aufweisen, während die Gesteine der ozeanischen Lithosphäre nicht älter als 200 Millionen Jahre werden können. Zudem nimmt das Alter der Gesteine der ozeanischen Lithosphäre von der Mitte der Ozeane bis zu ihren Rändern hin stetig zu. Dies wirft die Frage nach den Gründen

auf, denn das Modell der sich hin und her bewegenden Platten kann dies nicht plausibel erklären. Im nächsten Schritt geht es darum, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen umstrukturieren. Ein Beitrag zur Verständlichkeit der fachwissenschaftlichen Vorstellung einer Platten-Mantel-Konvektion liegt in der gesonderten Betrachtung der einzelnen Stationen des der fachwissenschaftlichen Vorstellungen zugrundeliegenden Kreislaufs. Diese werden im Folgenden skizziert.

Station „Mittelozeanischer Rücken“:

Bei der Betrachtung divergenter Plattengrenzen sollte im Sinne eines Wechsels des Quellbereichs das seitliche Wachstum der Plattenränder betont werden. Hierbei kann es vorteilhaft sein, die Gestik der Schülerinnen und Schüler miteinzubeziehen. In den Interviews zeigte sich, dass Erklärungen der Lernenden fast ausnahmslos von einer redegleitenden Geste unterstützt werden, bei der die Probanden ihre vor dem Oberkörper gehaltenen Hände auseinanderführen. Unzufriedenheit mit dieser Vorstellung wurde bereits in den Interviews deutlich, denn bei einer solchen Bewegung würde es zu einer Lücke zwischen den Platten kommen. Verständlichkeit der neuen Vorstellung könnte durch eine Geste erreicht werden, bei der

Auseinandergehen und Wachstum der Platten deutlich werden (vgl. Abb 2). Die Betonung des Wachstums sollte durch Sprache unterstützt werden, die das Verständnis adäquater Quellbereiche aktiviert. So ist es nicht ausreichend, das Auseinandergehen der Platten zu erwähnen, sondern es muss gleichzeitig betont werden, dass von unten neues Material nachrückt und sich an die auseinandergehenden Plattenränder anfügt und zum Bestandteil der Platten wird. Durch das Anfügen dieses Materials an die Plattenränder wachsen die Platten. Der zyklische Ablauf kann durch Formulierungen wie *erneut, wieder oder auf ein Neues* verdeutlicht werden.

Um zu verstehen, warum sich unterhalb der Mittelozeanischen Rücken Magma bilden kann, ist es wichtig, Druck als bedeutenden Einflussfaktor auf die Entstehung von Gesteinsschmelzen zu behandeln. Viele Schülerinnen und Schüler stellen sich die Erde als einen mit Magma gefüllten Behälter vor. 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? Hierzu müs-



Abb 2 Die Geste verdeutlicht, dass von unten beim Auseinandergehen von Platten neues Material angefügt wird – die Platten wachsen (Foto: Autor)

sen Schülerinnen und Schüler einen anderen Quellbereich als die Temperaturzuführung aktivieren, nämlich die Wegnahme von Druck. Dabei 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 plausibel, 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, obwohl hier höhere Temperaturen als im Äußeren Kern herrschen, in festem Zustand vorliegt.

Station „Weg ozeanischer Lithosphäre“

Der Weg der ozeanischen Lithosphäre ist aus Schülersicht der Weg einer Platte, die sich zur Seite bewegt. Unzufriedenheit mit dieser Vorstellung dürfte schon über die Information erreicht worden sein, dass die Plattenbestandteile unterschiedliches Alter aufweisen und das Alter von der Mitte der Ozeane bis zu den Rändern zunimmt. Dass sich jüngere Lithosphäre an den Mittelozeanischen Rücken befindet, erscheint durch die Vorgänge am Mittelozeanischen Rücken plausibel. Doch wieso wird ozeanische Lithosphäre nicht unendlich älter? Um dies zu verstehen,

muss ein Blick auf Veränderungen der Lithosphäre auf der Ebene der Teilchen geworfen werden. Hierbei sollten im Vorfeld der Behandlung der Bewegung von Lithosphärenplatten schon unterrichtlich vermittelt worden sein, dass die Lithosphärenplatten als Doppelkörper strukturiert sind, denn ohne diese Strukturierung ist die Subduktion ozeanischer Lithosphäre nicht möglich (vgl. Kapitel 6). Beim oberen Körper, der ozeanischen Kruste, kommt es durch Abkühlung mit der Entfernung vom Mittelozeanischen Rücken zu einer Erhöhung der Dichte durch thermische Schrumpfung. Abkühlung ist direkt verständlich. Dass Schrumpfung eine Dichteerhöhung bewirkt, erscheint vor dem Hintergrund des alltagsweltlichen Verständnisses von Dichte plausibel. Bei der Betrachtung des unteren Körpers ist die Umwandlung von Asthenosphäre in Lithosphäre durch Temperaturabnahme entscheidend. Dies führt zu einer Mächtigkeitzunahme des unteren Körpers und damit zu einer Erhöhung der Dichte des Gesamtkörpers. Es sollte deutlich werden, dass die Dichte des lithosphärischen Mantels größer ist als die des asthenosphärischen Mantels. Um den Prozess zu verstehen, dass die Lithosphärenplatten mit größerer Entfernung zum Mittelozeanischen Rücken tiefer einsinken, müssen diese als schwimmende Objekte betrachtet werden (vgl. Leitlinie 3).

Station „destruktive Plattengrenze“

Schülerinnen und Schüler haben die Vorstellung, dass Platten sich an konvergenten Grenzen übereinander schieben. Unter anderem um den Unterschied dieser Vorstellung zur fachwissenschaftlich korrekten Vorstellung zu verdeutlichen, sollte zunächst die freie Subduktion behandelt werden. Bei dieser kommt es zu einem sehr steilen Einsin-

ken ozeanischer Lithosphäre. Zudem ist die Dichtenumkehr 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. Daher sollte die Erklärung der freien Subduktion über die Dichtenumkehr von ozeanischer Lithosphäre und Asthenosphäre erfolgen. Die Dichte 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, 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 Dichtenumkehr alleine noch keine Subduktion herbeiführt, da die nach unten ziehende Kraft nicht reicht, um die Lithosphäre zu zerbrechen. Hierzu bedarf es einer ausgeprägten Dichtenumkehr. Die Behandlung erzwungener Subduktion kann als Vertiefung erfolgen.

Als Sprachgebrauch zur Aktivierung eines passenden Quellbereiches bietet sich

die Beschreibung der Subduktion als Sinken oder Absinken an, auch wenn dies auf eine Flüssigkeit unterhalb der tektonischen Platten hindeutet. 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 plausibel werden zu lassen. Neben einem sorgfältigen Einsatz von Sprache sollte sich die Lehrkraft auch eines reflektierten Einsatzes ihrer Gestik bedienen. Eine Geste, die andeutet, dass eine Platte steil nach unten sinkt (Abb 4), erscheint besser geeignet als eine im Kontext der Erklärung von Konvergenz von Lithosphärenplatten sehr häufig beobachtbare Gestik, bei der eine flache Hand unter die andere Hand geschoben wird



Abb 3 Ungünstige Geste, da sie als bloßes Übereinanderschieben von Körpern verstanden werden kann (Foto: Autor)



Abb 4 Passende Geste, der Quellbereich Sinken wird deutlich (Foto: Autor)

(ABB 3). Letztere Geste verleitet dazu, anzunehmen, dass Körper, die sich übereinander schieben, auch wieder voneinander weg bewegen können (vgl. CONRAD, 2015). Es bietet sich an, die Unterschiede zwischen beiden Gesten mit den Schülerinnen und Schülern herauszuarbeiten und hierbei deutlich werden zu lassen, dass die subduzierende Platte tief in den Mantel einsinkt.

Die Entstehung einer Subduktionszone wird über Erfahrungen mit Kräften 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“

Die Vorstellung, dass Lithosphärenplatten vom Mantel aufgenommen werden, ist nicht Bestandteil der Ausgangsvorstellung der Lernenden, aber eine unmittelbare Konsequenz des Einsinkens der Lithosphärenplatten. Die Aufnahme in den Mantel sollte als Vermischung mit Mantelmaterial beziehungsweise als Mischen mit Mantelmaterial vermittelt werden. Die Darstellung, dass die Platten im Mantel geschmolzen werden, ist aus fachwissenschaftlicher Sicht falsch und könnte die Vorstellung der Erde als einem mit Magma gefüllten Behälter verstärken. Besitzen Schülerinnen und Schüler bereits die Vorstellung, dass es sich beim Mantel um festes Gestein handelt, liegt eine Verständnisschwierigkeit der Vorgänge im Erdmantel darin, dass Schülerinnen und Schüler lebensweltlich Fließen mit Flüssigkeiten und nicht mit Festkörpern verbinden. Daher ist es notwendig, im Unterricht Erfahrungen mit dem Fließen aus dem Festkörperzustand zu ermöglichen, beispielsweise mit intelligenter Knete, die man auf ei-

nen Deckel mit einem Loch über ein Aquarium oder auf eine Flaschenöffnung legt. Nach einiger Zeit ist erkennbar, dass die Knete sehr langsam nach unten fließt, sogar ein Strudel wird sichtbar. Es sollte explizit besprochen werden, dass das Gestein im Mantel wesentlich langsamer fließt.

Mantelkonvektion ist am verständlichsten, wenn man das Modell einer Konvektion im ganzen Mantel heranzieht. 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 den Modellversuch, bei dem zwei Platten von Konvektionsbewegungen auseinandergetrieben werden (VON DER HEIDE, 2003), sollte verzichtet werden, da weder das Wachstum der Platten noch deren Subduktion deutlich werden und der Versuch sehr an die Vorstellung erinnert, dass es sich bei den Lithosphärenplatten um in den Ozeanen schwimmende Kontinente handelt.

Leitlinie 2: Nutzung der Recyclingmetapher

Für die Beschreibung des Kreislaufs eignet sich die Metapher ‚Platten-Mantel-Bewegung‘ beschreibt einen Recyclingkreislauf. Das Prinzip des Recyclings ist Schülerinnen und Schülern bereits aus der Grundschule bekannt und Bestandteil ihres Alltagslebens, beispielsweise bei der Rückgabe von Plastikeinwegflaschen. 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 als Produktion, Subduktion von Platten

als Vernichtung/Zerstörung gealterter Lithosphärenanteile 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, der den ganzen Mantel umfasst. Die Metapher verdeckt, dass es sich nicht um einen intentionalen Prozess handelt. Diese Grenze der Metapher sollte im Unterricht reflektiert werden. Das Modell des Recyclingkreislaufs ist am Ende mit der Initialmetapher – der mit Platten überdeckten Fläche, auf der sich die Platten einmal in die eine, ein anderes Mal in die andere Richtung bewegen – zu vergleichen. Fruchtbar erweist sich das Bild des Recyclingkreislaufs auch bei der Erklärung des Plattenantriebs durch Rückendruck, Plattenzug und den Asthenosphärenantrieb (CONRAD, 2014a; CONRAD 2014b).

Leitlinie 3: 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 Verstehen der Dichte, des Schwimmens und der Konvektion voraussetzt. Es empfiehlt sich, Plattentektonik fachübergreifend mit dem Unterrichtsfach Physik zu behandeln. Ein Schwerpunkt im Unterricht sollte darauf gelegt werden, dass Schülerinnen und Schüler ein physikalisch angemessenes Verständnis vom Schwimmen aufbauen und in Kontexten der Plattentektonik anwenden können. Der Terminus Schwimmen sollte dahingehend reflektiert werden, dass zwischen Schwimmen als einer Art der Fortbewegung und dem physikalischen Verständnis von Schwimmen unterschieden wird. 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 Schülerinnen und Schüler keine fachlich angemessene Erklärung für das Schwimmverhalten von Objekten im Wasser heranziehen, so dass eine Wiederholung im Geographieunterricht notwendig werden kann. In diesem Zusammenhang sollten auch die Begriffe Volumen und Dichte wiederholt werden.

9 Fazit

Die didaktische Rekonstruktion der Plattentektonik erforderte eine Offenlegung der metaphorischen Struktur der wissenschaftlichen Vorstellungen sowie der in den Interviews identifizierten Schülervorstellungen zu Plattenbewegungen. Erst durch diese wurden die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler im Verständnis mit Plattenbewegungen ersichtlich. Hierbei erwies sich insbesondere die lebensweltliche Erfahrung mit Platten, die einen Boden bedecken und die hin und her bewegt werden können, als bedeutsame Schwierigkeit. Bei der Entwicklung didaktischer Leitlinien verhalf die Analyse der metaphorischen Strukturierung, verkörperte Erfahrungen zu identifizieren, die als Quellbereiche Lernenden das Verständnis der Plattentektonik erleichtern müssten. Eine Besonderheit liegt hierbei in dem Einbezug der Gestik zur Aktivierung geeigneter Quellbereiche, um die Vorgänge an konstruktiven und destruktiven Plattenrändern zu verstehen. In einer weiterführenden Studie (CONRAD, 2015, Oktober) konnte im Rahmen eines Eye-Tracking-Experiments bereits gezeigt werden, dass der weitaus größte Anteil von Schülerinnen und Schüler die Gestik einer Lehrkraft bei der Erklärung von Vorgängen an Plattengrenzen wahrnimmt. Die Studie zeigte zudem, dass Probanden, die eine Erklärung der Vorgänge an destruktiven und konstruktiven Plattengrenzen unter Einbezug der in Kapitel 7 vorgeschlagenen Gestik erhielten, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, welche die identische Erklärung der gleichen Lehrkraft ohne Einbezug metaphorischer Gesten erhielt, zu einem deutlich höheren prozentualen Anteil in einem der Intervention nachgeschalteten Interview eine aus fachwissen-

schaftlicher Sicht angemessene Vorstellung zu den Vorgängen an destruktiven und konstruktiven Plattengrenzen äußern.

Mit Ausnahme der Empfehlungen, welche die Gestik einbeziehen, weisen die hier dargelegten didaktischen Leitlinien einen thesehaften Charakter auf. Eine Evaluation ihrer Wirksamkeit, beispielsweise durch Vermittlungsexperimente (STEFFE & THOMPSON, 2000), steht noch aus. Auf Basis der Ergebnisse solcher Studien könnten dann konkrete Unterrichtsmaterialien für die Praxis entwickelt werden. Mit Hilfe einer quantitativ ausgerichteten Anschlussstudie könnte zudem in Erfahrung gebracht werden, in welcher Verteilung die hier skizzierten Ergebnisse zu den Lernerperspektiven in der Breite anzutreffen sind. Eine weitere Begrenztheit der Tragweite der Ergebnisse liegt zudem darin, dass die Studie bislang nur mit Schülerinnen und Schülern der neunten Jahrgangsstufe durchgeführt wurde und auch noch keine nachunterrichtlichen Vorstellungen erhoben wurden. Eine Erweiterung auf andere Altersgruppen wäre gewinnbringend, da die Plattentektonik in den Bundesländern in unterschiedlichen Jahrgangsstufen unterrichtet wird. Die beiden letztgenannten Punkte könnten zudem wichtige weiterführende Erkenntnisse hinsichtlich einer zu empfehlenden Altersstufe für die unterrichtliche Behandlung der Plattentektonik liefern.

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: Klett.
- BASTEN, T. (2013). Wie lassen sich klimageographische Inhalte im Geographieunterricht schülerorientiert vermitteln? – Ergebnisse einer didaktischen Rekonstruktion der Passatzirkulation. *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*, 41(4), 153–172.
- BASTEN, T., CONRAD, D., & FELZMANN, D. (2013a). Didaktische Rekonstruktion. In D. BÖHN & G. OBERMAIER (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A–Z* (S. 52–53). Braunschweig: Westermann.
- BASTEN, T., CONRAD, D. & FELZMANN, D. (2013b). Erfahrungsbasiertes Verstehen. In D. BÖHN & G. OBERMAIER (Hg.), *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A–Z* (S. 66–57). Braunschweig: Westermann.
- CONRAD, D. (2012). Schülervorstellungen zur eisigen Welt der Polargebiete. Ergebnisse einer explorativ angelegten Studie. *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*, 40(3), 105–127.
- CONRAD, D. (2013). Wie Schüler und Wissenschaftler über die eisigen Regionen der Erde denken. *Oldenburger Vordrucke, Band 600*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.
- CONRAD, D. (2014a). *Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – Eine didaktische Rekonstruktion der Plattentektonik (Dissertation)*. Bayreuth: Universitätsbibliothek. Aufgerufen am 01. Juli 2016 unter <https://epub.uni-bayreuth.de/1716/1/Dissertation%20Dominik%20CONRAD.pdf>
- CONRAD, D. (2014b). Lithosphärenplatten werden recycelt. Schüler lernen die Antriebsmechanismen Plattenzug, Rückendruck und Asthenosphärenantrieb kennen. *Praxis Geographie*, 44(5), 48–51.
- CONRAD, D. (2015). Schülervorstellungen zur Plattentektonik – Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit Schülern der neunten Jahrgangsstufe. *Zeitschrift für Geographiedidaktik. Journal of Geography Education*, 43(3), 175–204.
- CONRAD, D. (2015, Oktober). Die Rolle der Gestik beim Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene – Eine Eye-Tracking-Studie. Poster präsentiert auf dem Deutschen Kongress für Geographie am 3. Oktober 2015 in Berlin.
- 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. *Geographie und ihre Didaktik. Journal of Geography Education*, 42(4), 147–177.
- DGfG (Hg.) (2014). *Nationale Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Schulabschluss*. Aufgerufen am 01. Juli 2016 unter http://dgfg.geography-in-germany.de/wp-content/uploads/geographie_bildungsstandards.pdf
- DRIELING, K. (2015). Schülervorstellungen über Boden und Bodengefährdung. Ein Beitrag zur geographiedidaktischen Rekonstruktion (Dissertation). *Geographiedidaktische Forschungen, Band 55*. Münster: Monsenstein & Vannerdat.
- EHSTAND, A. & HEER, M. (2000). Veranschaulichung von Konvektionsströmen im Erdinneren. *Praxis Geographie*, 30(9), 14–19.

- FELZMANN, D. (2013). Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht (Dissertation). *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 41*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.
- FELZMANN, D. & SCHULER, S. (2013). Schülervorstellungen. In M. ROLFES & A. UHLENWINKEL (Hg.), *Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung* (S. 148–154). Braunschweig: Westermann.
- FRISCH, W. & MESCHÉDE, M. (2011). *Plattentektonik. Kontinentalverschiebung und Gebirgsbildung*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- GOBERT, J. (2000). A Typology of Casual Models for Plate Tectonics: Inferential Power and Barriers to Understanding. *International Journal of Science Education, 22*(9), 937–978. DOI 10.1080/095006900416857
- GOBERT, J. (2005). The Effects of Different Learning Tasks on Model-building in Plate Tectonics: Diagramming versus Explaining. *Journal of Geoscience Education, 53*(4), 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. *Journal of Research in Science Teaching, 36*(1), 39–54.
- GROPENGIESSER, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. MAYRING & M. GLAESER-ZIKUDA (Hg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172–189). Weinheim und Basel: Beltz.
- GROPENGIESSER, H. (2006). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 4*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.
- GROPENGIESSER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 105–116). Berlin: Springer.
- GROTZINGER, J., JORDAN, T.H., PRESS, F. & SIEVER, R. (2008). *Allgemeine Geologie*. Berlin, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- HERRERA, J. & RIGGS, E. (2013). Relating Gesture and Speech: An Analysis of Students' Conceptions About Geological Sedimentary Processes. *International Journal of Science Education, 35*(12), 1979–2003. DOI 10.1080/09500693.2013.775609
- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93–104). Berlin: Springer.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIESSER, H. & KOMOREK, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3*(3), 3–18.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press.
- MARQUES, L. & THOMPSON, D. (1997). Misconceptions and Conceptual Changes Concerning Continental Drift and Plate Tectonics Among Portuguese Students Aged 16–17. *Research in Science & Technological Education, 15*(2), 195–222.
- NIEBERT, K. (2010). Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung (Dissertation). *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 31*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.

- NIEBERT, K., MARSCH, S. & TREAGUST, D.F. (2012). Understanding Needs Embodiment: A Theory-Guided Reanalysis of the Role of Metaphors and Analogies in Understanding Science. *Science Education*, 96(5), 849–877. DOI 10.1002/sce.21026
- NIEBERT, K., RIEMEIER, T. & GROPENGIESSER, H. (2013). The Hidden Hand That Shapes Conceptual Understanding. In C.Y. TSUI & D. TREAGUST (Hg.), *Multiple Representations in Biological Education* (S. 293–310). New York: Springer.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. & GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- REINFRIED, S., AESCHBACHER, U., KIENZLER, P.M. & TEMPELMANN, S. (2015). The Model of Educational Reconstruction—A Powerful Strategy to Teach for Conceptual Development in Physical Geography: The Case of Water Springs. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 24(3), 237–257. DOI 10.1080/10382046.2015.1034459
- RIEMEIER, T. (2005). Biologie verstehen. Die Zelltheorie (Dissertation). *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 7*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität.
- RIEMEIER, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 69–79). Berlin: Springer.
- SCHMITT, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 4(2). Aufgerufen am 01. Juli 2016 unter <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03SCHMITT-d.htm>
- SCHULER, S. (2011). Alltagstheorien zu den Ursachen und den Folgen des globalen Klimawandels: Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive (Dissertation). *Bochumer Geographische Arbeiten, Band 78*. Bochum: Europäischer Universitätsverlag.
- STEFFE, L.P. & THOMPSON, P.W. (2000). Teaching Experiment Methodology. Underlying Principles and Essential Elements. In A.E. KELLY & R.A. LESH (Hg.), *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education* (S. 267–306). Mahwah (NJ): Lawrence Erlbaum Associates.
- TARBUCK, E. & LUTGENS, F. (2009). *Allgemeine Geologie*. München, Boston: Pearson Studium.
- VON DER HEIDE, T. (2003). Ein Experiment zur Plattentektonik. *Geographie heute*, 23(208), 18–21.