

Universität Bayreuth

Professur Didaktik der Geographie

**„Lernförderliche Methoden
für einen Conceptual Change
von Schülervorstellungen
zum Aufbau der Erde“**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. rer. nat.

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

vorgelegt von

Catharina Anna Denk

geb. in Arnstadt

2018

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Mai 2015 bis Februar 2019 in Bayreuth an der Professur Didaktik der Geographie unter Betreuung von Frau Prof. 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 einer Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.).

Dissertation eingereicht: 19.02.2019

Zulassung durch das Leitungsgremium: 21.02.2019

Wissenschaftliches Kolloquium: 29.03.2019

Amtierender Direktor: Prof. Dr. Dirk Schüler

Prüfungsausschuss:

Prof. Dr. Gabriele Obermaier (Erstgutachterin)

Prof. Dr. Ludwig Haag (Zweitgutachter)

Prof. Dr. Ludwig Zöllner (Vorsitzender)

Prof. Dr. Manfred Miosga (Prüfer)

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich bei der Entwicklung der Dissertation begleitet und damit die Entstehung dieses Werkes erst möglich gemacht haben.

Meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Gabriele Obermaier möchte ich herzlich für ihr Vertrauen danken. Ich verdanke ihr jede erdenkliche Unterstützung und viele anregende Diskussionen. Jede Phase dieser Arbeit wurde von ihr intensiv, professionell und warmherzig begleitet. Besonders bedanken will ich mich auch für die Freiheit, die sie mir während des gesamten Forschungsprojektes gewährte. Ihr kompetenter Rat und ihre Hilfe kam mir in zahlreichen Angelegenheiten sehr zugute.

Mein besonderer Dank gilt auch meinem Zweitgutachter Herrn Prof. Dr. Ludwig Haag. Gleiches gilt für Herrn Prof. Dr. Ludwig Zöller für die anregenden fachlichen Diskussionen und Herrn Prof. Dr. Manfred Miosga.

Meinem Dank gilt auch dem Team des Lehrstuhls der Didaktik der Geographie Dr. Kati Barthmann, Anja Hager, Christoph Koch und Sandra Kopschitz an der Universität Bayreuth, die mich in jeder Situation unterstützten und engagiert entlasteten.

Ein besonderer Dank gilt allen Probandinnen und Probanden, die diese Untersuchung ermöglichten.

Besonders möchte ich mich bei meinem Mann Florian mit seiner Familie für die Unterstützung und vielen lieben Worte während der Erarbeitung meiner Dissertation bedanken, dass es neben der Arbeit auch viele andere wertvolle Dinge im Leben gibt.

Ich möchte mich ganz besonders herzlich bei meinen Eltern Christine und Bernd sowie meinem Bruder Maximilian und meinem Onkel Eckhard Melzer für die uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung bedanken, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein ganz besonderer Dank aber gilt meinen Großeltern, Gerhard, Marie-Luise und Rosl Hildegard und meinem viel zu früh verstorbenen Großvater Wolfgang, denen vier ich diese Arbeit widmen möchte.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Summary	X
Zusammenfassung	XII
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Schülervorstellungen – Begrifflichkeiten	3
2.2 Lerntheoretischer Hintergrund	5
2.3 Conceptual Change	8
2.3.1 Definition	8
2.3.2 Bedingungen	10
2.3.3 Motivationale Faktoren	11
2.3.4 Modelle	13
2.3.5 Der Zusammenhang der unterschiedlichen theoretischen Ansätze	19
2.3.6 Der Umgang mit Conceptual Change im Unterricht	20
2.3.7 Herausforderungen der Conceptual-Change-Forschung	24
2.4 Modell der didaktischen Rekonstruktion	25
3 Forschungsstand	28
3.1 Umstrukturierung von Schülervorstellungen	28
3.2 Schülervorstellungen zum Aufbau des Erdinneren	39
4 Forschungsfragen	43
5 Forschungsdesign	44
5.1 Modell der didaktischen Rekonstruktion als Grundlage	44
5.1.1 Fachliche Klärung	44
5.1.2 Untersuchung der Schülervorstellungen	45
5.1.3 Didaktische Strukturierung	45
5.2 Methodische Überlegungen	52
5.2.1 Leitfadengestütztes Interview	52
5.2.2 Zeichnung	54

5.2.3	Gütebestimmung.....	55
5.3	Phasen der Untersuchung.....	58
5.3.1	Präkonzept	58
5.3.2	Intervention.....	60
5.3.3	Postkonzept.....	61
5.3.4	Reflexion.....	62
5.4	Lernumgebung nach POSNER et al. (1982).....	62
5.4.1	Unzufriedenheit	63
5.4.2	Verständlichkeit.....	64
5.4.3	Plausibilität	79
5.4.4	Fruchtbarkeit.....	81
5.5	Sampling	82
6	Ergebnisse	86
6.1	Beschreibung der angewandten Verfahren	86
6.1.1	Qualitative Inhaltsanalyse.....	86
6.1.2	Diagnose von Schülerzeichnungen.....	90
6.1.3	Quantitative Erhebung	92
6.2	Auswertung	92
6.2.1	Präkonzept	93
6.2.2	Postkonzept.....	99
6.2.3	Veränderungen vom Prä- zum Postkonzept	105
6.2.4	Lernhinderliche Interventionen	110
6.2.5	Lernförderliche Interventionen.....	111
6.2.6	Interesse und zeitliche Bildung der Vorstellung.....	113
7	Beantwortung der Forschungsfragen.....	115
8	Fazit und Schlussfolgerungen	122
8.1	Herausragende Ergebnisse	122
8.2	Grenzen der Forschungsarbeit	123
8.3	Forschungsd desiderata	124
9	Literaturverzeichnis.....	126
Anhang	137
A1	Interviewleitfaden.....	138
A2	Materialien.....	149
A3	Kodierleitfaden	170

A4 Einzelauswertungen.....	172
A5 Auszüge aus den Pilotstudien.....	204
(Eidesstaatliche) Versicherungen und Erklärungen	205

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Struktur einer kindlichen Vorstellung von der Form der Erde.....	15
Abb. 2: Interpretationskontexte	18
Abb. 3: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion	26
Abb. 4: Phasen der Untersuchung	58
Abb. 5: Arbeitsblatt: 1. Schülerzeichnung	60
Abb. 6: Zusammenhang der Phasen des CC mit den Lernmaterialien.....	63
Abb. 7: Steinmodell.....	66
Abb. 8: Materialmix	68
Abb. 9: Schaumstoffbällchen	70
Abb. 10: Wunderknete	72
Abb. 11: Platte	74
Abb. 12: Aufbau der Erde	80

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Geographie.....	29
Tab. 2: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Biologie.....	32
Tab. 3: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Chemie.....	35
Tab. 4: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Physik.....	37
Tab. 5: Untersuchungen von SV zum Aufbau der Erde.....	39
Tab. 6: Didaktische Leitlinien.....	46
Tab. 7: Chemische Zonierung der Erde.....	49
Tab. 8: Rheologische Zonierung der Erde.....	50
Tab. 9: Zusammenfassung der didaktischen Leitlinien und der Materialien.....	51
Tab. 10: Transkriptionsregeln.....	88
Tab. 11: Begriffsklassen im Präkonzept.....	93
Tab. 12: Konzeptklassen im Präkonzept.....	94
Tab. 13: Zeichnungsklassen im Präkonzept.....	97
Tab. 14: Multiple-Choice-Test im Präkonzept.....	98
Tab. 15: Begriffsklassen im Postkonzept.....	100
Tab. 16: Begrifflichkeiten im Postkonzept.....	101
Tab. 17: Konzeptklassen im Postkonzept.....	102
Tab. 18: Zeichnungsklassen im Postkonzept.....	103
Tab. 19: Multiple-Choice-Test im Postkonzept.....	104
Tab. 20: Zeichnungsklassen im Prä-Post-Vergleich.....	105
Tab. 21: Erreichter Conceptual-Change-Grad.....	107
Tab. 22: Interessensverteilung.....	113
Tab. 23: Zusammenhang von Interesse, Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung.....	120

Abkürzungsverzeichnis

BK	Begriffsklasse
CC	Conceptual Change
KK	Konzeptklasse
MCT	Multiple-Choice-Test
SV	Schülervorstellungen
VE	Vermittlungsexperimente
ZK	Zeichnungsklasse

Summary

The conceptual change research examines the question of how far students' perceptions can be influenced by appropriate learning opportunities. There are only a few papers about the conceptual change in the didactics of geography. However, some results from other disciplines can be used for the scientific research in that area. In the present doctoral thesis, methods that support learning are developed in an appropriate learning environment for a conceptual change and their impact is checked empirically. The study wants to contribute to the promotion of geography lessons. Furthermore, the results provide a further development of the conceptual change theory. In the didactics of geography, mainly research results of students' perceptions to physical-geographic concepts exist. The focus of this doctoral thesis is on the physical-geographic subject area structure of the earth. For this, a broad base due to the study of CONRAD (2014) exists and the present paper builds upon it.

As a theoretical framework for a conceptual change, POSNER et al. (1982) has been chosen. In 1982, they published four conditions for a successful conceptual change. Those four conditions function as structural guidelines for the development of the didactic prepared learning opportunities. To perform a successful conceptual change, the criteria dissatisfaction, comprehensibility, plausibility and fertility have to be passed through. It is important that the teacher is not only providing the conditions for a conceptual change, however, the learner also have to accept them in the learning environment. A conceptual change cannot be initiated, if those criteria are not given.

Ten teaching experiments with 20 pupils from Bavarian secondary schools (Realschule and Gymnasium) were carried out in a qualitative study. The experiments consist of sections of interviews and of interventions in order to stimulate the learners to reflect their own constructive thinking process and to question their subjective concepts. The present study comprises the following aspects:

- Sections of interviews to capture the level of knowledge of the test persons
- Sections of interventions to develop technical concepts in a didactic prepared learning environment
- Drawings as survey method for the students' perceptions
- Questionnaires (multiple choice test, scale of interest and time of consideration of the concept)

At the beginning of the study, four students' concepts are shown: closely related to the subject, model of a magma cover, model of rock stratum and no concentricity. In the preconcept the majority of learners comply with the model of rock stratum. The research results show that an understanding for the structure of the earth can be achieved, when learners reflect their own concepts and restructure their existing preconcept to a concept that is closely related to the subject with the help of a didactic prepared learning environment. The learning environment is characterized by the way that it presents clearly the topic due to used models and materials. The learning was self-regulated and the investigator stepped back in order to give the learners an active role.

17 of 20 pupils achieved a conceptual change to the topic structure of the earth and the majority of the test persons designed a concept that was closely related to the subject with more than five adequate terminologies. It becomes clear that a high interest of learners are advantageous for the initiation of a significant conceptual change. All learners with a high interest carried out a significant conceptual change. Furthermore, contrary to the assumption, the extent of anchoring of the concept (time of consideration of the concept) does not seem to be related to the conceptual change itself. The three learners, who were not able to do the conceptual change, have apparently not reached the stage of dissatisfaction according to Posner et al. (1982). They showed a lack of interest, demotivation and a low level of commitment. In addition, their statements in the first interview revealed a satisfaction with their preconcept. The result of all this was that apparently no dissatisfaction has been generated. In order to reach a successful conceptual change, all conditions, namely dissatisfaction, comprehensibility, plausibility and fertility have to be fulfilled. Consequently, the last three criteria of the conceptual change have never been reached, because they failed already in the first stage of dissatisfaction.

Zusammenfassung

Die Conceptual-Change-Forschung verfolgt die Fragestellung, inwieweit Schülervorstellungen durch geeignete Lernangebote beeinflusst werden können. In der Geographiedidaktik liegen bis jetzt nur sehr wenige Arbeiten zum Conceptual Change vor. Teilweise können jedoch Ergebnisse auch aus anderen Fachdidaktiken für die geographiedidaktische Forschung fruchtbar gemacht werden. Es gilt in dieser vorliegenden Dissertation, lernförderliche Methoden in einer geeigneten Lernumgebung für einen Conceptual Change zu entwickeln und ihre Tragweite empirisch zu überprüfen. Damit soll auch ein Beitrag für die Förderung des Geographieunterrichts geleistet werden.

In der Didaktik der Geographie liegen vor allem Forschungsergebnisse über Schülervorstellungen zu physisch-geographischen Themen vor. Der Schwerpunkt dieser Dissertation liegt auf dem Thema Aufbau der Erde. Eine breite Basis hierfür bietet die Arbeit von CONRAD (2014), auf die die vorliegende Forschungsarbeit aufbaut.

Als theoretischen Rahmen wurde der Conceptual Change wurden POSNER et al. ausgewählt, bei dem 1982 vier Bedingungen für einen erfolgreichen Conceptual Change postuliert wurden (vgl. POSNER et al. 1982, S. 211ff.). Diese vier Bedingungen sind als Strukturvorgabe für die Entwicklung der didaktisch aufbereiteten Lernangebote leitend. Um eine erfolgreiche Veränderung des Konzepts durchzuführen, müssen die Kriterien Unzufriedenheit, Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit nacheinander durchschritten werden. Dabei ist ausschlaggebend, dass der Lehrende die Bedingungen für einen Conceptual Change nicht nur ermöglicht, sondern dass diese auch vom Lernenden in der Lernumgebung erfasst werden, da sonst kein Conceptual Change initiiert werden kann. Es wurden zehn Vermittlungsexperimente mit insgesamt 20 SchülerInnen aus bayerischen Realschulen und Gymnasien in einer qualitativen Studie durchgeführt. Die Vermittlungsexperimente beinhalten neben Interview- auch Interventionsphasen, um die ProbandInnen dazu anzuregen, ihre eigenen konstruktiven Denkprozesse zu reflektieren und ihre subjektiven Vorstellungen zu hinterfragen.

Die vorliegende Studie besteht aus folgenden Teilbereichen:

- Interviewphasen zur Erfassung der Wissensstände der ProbandInnen
- Interventionsphasen zur eigenen Erarbeitung von fachwissenschaftlichen Konzepten in einer didaktisch aufbereiteten Lernumgebung
- Zeichnungen als Erhebungsmethode der Schülervorstellungen

-
- Fragebogen (Multiple-Choice-Test, Interessenskala und Erhebung des Zeitpunkts der Vorstellungsüberlegung)

Zu Beginn der Untersuchung konnten vier Schülervorstellungskonzepte herausgearbeitet werden: fachliche Nähe, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität. Die Ergebnisse der Studie machen deutlich, dass ein fachlich nahes Verständnis für den Aufbau der Erde erreicht werden konnte. Die ProbandInnen hinterfragten und es gelang ihnen ihr bestehendes Präkonzept zu einem fachwissenschaftlich nahen Ansatz umstrukturieren. Die didaktisch aufbereitete Lernumgebung zeichnet sich dadurch aus, dass die Thematik durch die eingesetzten Modelle und Materialien verständlicher und anschaulicher wurde. Das Lernen erfolgte selbstgesteuert, d.h. die aktive Rolle lag bei den Lernenden.

17 von 20 SchülerInnen haben eine Veränderung ihres Konzepts zum Aufbau der Erde erreicht, wobei ein Großteil der ProbandInnen ein fachwissenschaftlich nahes Konzept mit über fünf adäquaten Begrifflichkeiten konstruierte. Es wurde deutlich, dass ein hohes Interesse der ProbandInnen für die Initiierung eines deutlichen Conceptual Changes vorteilhaft sein kann. Alle ProbandInnen, die ein hohes Interesse aufwiesen, haben einen deutlichen Conceptual Change vollzogen. Es kann keine Aussage über den Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung und einem erfolgreichen Conceptual Change getroffen werden. Die ProbandInnen waren anscheinend nicht in der Lage darüber zu reflektieren, ob sie ihre Vorstellungen ad hoc oder schon vor einem längeren Zeitraum gebildet haben. Ein weiteres Ergebnis ist, dass bei den ProbandInnen, bei denen kein Conceptual Change initiiert werden konnte, die Phase der Unzufriedenheit nach POSNER et al. (1982) anscheinend nicht erreicht wurde. Zu beobachten war bei ihnen mangelndes Interesse, Demotivation und geringe Leistungsbereitschaft. Außerdem zeigten ihre Äußerungen in der 1. Interviewphase, dass sie mit ihrem Präkonzept zufrieden waren. Um jedoch einen erfolgreichen Conceptual Change zu erreichen, müssen die Phasen Unzufriedenheit, Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit nacheinander durchschritten werden. Hieraus ergibt sich, dass die letzten drei Kriterien eines Conceptual Changes bei diesen ProbandInnen nie erreicht werden konnten, da sie bereits an der ersten Phase der Unzufriedenheit scheiterten.

1 Einleitung

„If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.“ (DAVID PAUL AUSUBEL 1918-2008)

AUSUBEL stellt in diesem Zitat fest, dass ein wichtiger Faktor für das Lernen im Unterricht die Berücksichtigung des Vorwissens ist. So wurde auch schon im Jahre 1844 im „Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer“ Folgendes deklariert: *„Beginne den Unterricht auf dem Standpunkte des Schülers, führe ihn von da aus stetig, ohne Unterbrechung, lückenlos und gründlich fort! Der Standpunkt des Schülers ist der Ausgangspunkt. Dieser ist also vor dem Unterricht zu erforschen. [...] Ohne die Kenntniß des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich. Man weiß ja sonst nicht, was vorauszusetzen, wo anzuknüpfen ist“* (DIESTERWEG 1844, S. 156 f.). Es wird deutlich, dass schon damals die Sichtweise vertreten wurde, dass die Standpunkte und subjektiven Theorien der Schülerinnen und Schüler im Unterricht von Lehrkräften zu berücksichtigen sind, damit die Lernenden auch erfolgreich Wissen konstruieren können.

Die vorliegende Arbeit handelt von der Umstrukturierung eines bestehenden Präkonzepts hin zu einem fachwissenschaftlich nahen Ansatz durch eine didaktisch aufbereitete Lernumgebung. Es soll erforscht werden, welche Prä- und Postkonzepte die SchülerInnen verwenden, inwieweit sich die Schülervorstellungen durch die didaktisch aufbereitete Lernumgebung verändern, welche Interventionen lernförderlich und lernhinderlich für die Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung sind und ob ein Zusammenhang zwischen Interesse, Zeitpunkt der Vorstellungüberlegung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung besteht. Als Referenzrahmen wird hierbei auf die Bedingungen eines Conceptual Changes (POSNER et al. 1982) zurückgegriffen.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst auf den theoretischen Hintergrund eingegangen (Kapitel 2). Der aktuelle Forschungsstand wird in Kapitel 3 vorgestellt. Es zeigt sich ein großes Forschungsdesiderat zur Umstrukturierung von Schülervorstellungen.

Hieraus ergeben sich die Forschungsfragen (Kapitel 4). Das Forschungsdesign wird im Kapitel 5 vorgestellt. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion bildet den Schwerpunkt dieser Studie (5.1). Im Abschnitt 5.2 werden die methodischen Überlegungen dargelegt. Nach der Begründung der Verwendung des leitfadengestützten Interviews wird auf die Zeichnung, die Ratingskala zur Feststellung des Interesses, die Erhebung des Zeitpunkts der Vorstellungsüberlegung und die Gütebestimmung eingegangen. Die Phasen der Untersuchung sind Gegenstand von Abschnitt 5.3. Sie setzen sich aus der Erhebung der Präkonzepte, den Interventionen, der Erhebung der Postkonzepte und der Reflexion zusammen. Die Entwicklung der Lernumgebung wird unter 5.4 beschrieben. Sie folgt den Bedingungen nach POSNER et al. (1982). Das Sampling (5.5), das die Stichprobe charakterisiert, wird anschließend dargestellt. Die Ergebnisse der Studie werden in Kapitel 6 zusammengefasst. In Kapitel 7 werden die Forschungsfragen beantwortet. Schließlich wird in Kapitel 8 die Arbeit mit einem Fazit und Schlussfolgerungen abgerundet.

2 Theoretische Grundlagen

Drei Theorien bilden die Basis, auf der diese Arbeit aufbaut. Die aus dem Konstruktivismus abgeleiteten Grundlagen des Lernens, die Conceptual-Change-Theorie und das Modell der didaktischen Rekonstruktion. Diese drei Theorien wurden für die vorliegende Studie ausgewählt, da sich der theoretische Rahmen zur Optimierung des Unterrichts unter Bezug der Schülervorstellungen bereits z. B. in GROPPENGIEßER (2001), ZABEL (2009) und NIEBERT (2010) als erfolgsversprechend gezeigt hat.

2.1 Schülervorstellungen – Begrifflichkeiten

Bereits vor der Einschulung besitzen Kinder umfassende Vorstellungen zu vielen Themenbereichen. Diese Vorstellungen haben sie aus Alltagserfahrungen heraus gebildet (vgl. DUIT 2002, S. 1). Auch zum Erdinneren gibt es unterschiedlichste Vorstellungen. Zum einen sind SchülerInnen der Ansicht, dass das Erdinnere aus Humus besteht. Diese Sichtweise könnte dadurch entstanden sein, indem die Kinder mit den Händen im Boden gegraben haben. Des Weiteren gibt es die Annahme, dass die Erde aus Gestein besteht (vgl. GAPP & SCHLEICHER 2010, S. 39 f.). „Diese Annahme könnte darauf beruhen, dass die Kinder annehmen, dass etwas sehr stabiles im Erdinneren sein muss, da es da Gewicht der Erdoberfläche tragen muss. Der Blick auf Gebirge unterstützt diese Sichtweise: Sie treten aus der Erde empor und sind sehr stabil“ (GAPP & SCHLEICHER 2010, S. 40). Neben Humus oder Gesteinen wird Magma bzw. Lava als Material beschrieben, aus dem das Erdinnere besteht (CONRAD 2014).

„Der Begriff Schülervorstellungen bezeichnet ganz allgemein die Vorstellungen von Lernenden zu Phänomenen und Begriffen“ (HAMANN & ASSHOFF 2014, S. 15). Häufig werden in der Fachliteratur auch folgende Begriffe für Schülervorstellungen verwendet: alternative Vorstellungen, subjektive und implizite Theorien, Alltagsvorstellungen, Alltagstheorien, intuitive oder naive Konzepte sowie Präkonzepte. Man findet sie oft auch als Synonyme, da sich die Begriffe nicht präzise voneinander abgrenzen lassen. Subjektive Denkweisen, die nicht mit den fachwissenschaftlichen Sichtweisen übereinstimmen, werden auch als (school-made) Misconcept(ion)s, (hausgemachte) Fehlvorstellungen oder Schülerfehlvorstellungen definiert (vgl. BELLMANN et al. 2011, S. 12 f.). Die genannten Termini sind jedoch negativ behaftet. Folglich wird in der vorliegenden Studie der Begriff Schülervorstellungen verwendet, da der Begriff Neutralität und keinerlei negative Wertung aufweist.

Nach GROPENGEIßER lässt sich der Begriff der Vorstellung in drei Bereiche differenzieren (vgl. GROPENGEIßER 2001, S. 31):

- Kontext der Verwendung: lebensweltliche (Alltagsvorstellung) oder wissenschaftliche Vorstellung
- Grad der Bewusstheit: implizite oder explizite Vorstellung
- Grad der Komplexität: Begriff, Konzept, Denkfigur oder subjektive Theorie

Allerdings reichen die Vorstellungen der Lernenden nicht aus, um das Fachwissen vollständig zu erklären (Treagust & Duit 2008).

Die Bezeichnung „concept“ wird in der Regel im englischen Sprachgebrauch für „Begriff“ verwendet. Im Sinne des Conceptual-Change-Ansatzes wird hierunter die Idee, die Vorstellung und das Konzept verstanden (Neressian 2008). Ebenso kann Konzept in diesem Zusammenhang als mentales Bild, als Vorstufe einer Theorie also als Vorstellung eines umfangreichen Ansatzes beschrieben werden. In hierarchisch geordneten semantischen Netzwerken dienen Konzepte der Strukturierung kategorialen Wissens. Durch die Konzepte wird das Langzeitgedächtnis geordnet und es werden Kategorien und Klassen mental repräsentiert (vgl. HERAN-DÖRR 2006, S. 164).

Kindern entwickeln bereits in jungen Jahren Präkonzepte (vorunterrichtliche Vorstellungen), um sich die eigene Lebenswelt zugänglich und begreiflich zu machen. Sie beziehen sich auf Phänomene der sozialen sowie physikalischen Welt und werden individuell konstruiert. Sie stellen somit das Resultat eines subjektiven und gedanklichen Konstruktionsprozesses dar. Damit können sich Schülervorstellungen immens von fachwissenschaftlichen Vorstellungen unterscheiden (vgl. SCHULER 2011, S. 16 ff.). Die individuelle kognitive Konstruktion von Wissen ist ein komplexer und in sich nicht abgeschlossener Prozess. Nach SCHULER werden sieben Quellen unterschieden, aus denen die Lernenden ihre Informationen für eine subjektive Theorie schöpfen. Hierzu zählen Bücher, Massenmedien, Alltagssprache, Sinneserfahrungen aus dem Alltag, (bisheriger) Unterricht, alltägliches Agieren und Gespräche mit Eltern, Geschwistern sowie Freunden (vgl. SCHULER 2011, S. 24).

MÖLLER (1999) definiert zwei Formen von Präkonzepten, die Lernende vor Beginn des Unterrichts verwenden: Deep Structures und Current Structures. Unter Deep Structures versteht man tief verankerte Vorstellungen, die gegenüber Veränderungen als stabil gelten. Die Ursache hierfür liegt in der Plausibilität und in der Bewährung im Alltag (vgl. SCHULER 2011, S. 14). Diese Vorstellungen sind nicht isoliert, sondern mit ande-

ren tief verankerten Vorstellungen vernetzt. Current Constructions sind Vorstellungen, die spontan konstruiert werden. Sie werden auch als ad hoc-Vorstellungen bezeichnet. Sie gelten als instabil und leicht veränderbar (vgl. HAMANN & ASSHOFF 2014, S. 23). Folglich wird in der vorliegenden Studie auch der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung erhoben, um die Tiefe des verankerten Präkonzepts festzustellen.

2.2 Lerntheoretischer Hintergrund

Lerntheorien befassen sich mit Lernprozessen und gehen der Frage nach, wie gelernt wird. Die moderne psychologische Lernforschung unterscheidet drei große Lerntheorien, den Behaviorismus, den Kognitivismus und den Konstruktivismus (vgl. BAUMGARTNER & PAYR 1994, S. 100).

Der Ansatz des Behaviorismus (Reiz-Reaktions-Lernen) gilt nach HASSELHORN & GOLD (2013, S. 51) als überholt, da nach dem Konzept das Wissen abgelagert wird und Lernen nur durch Verstärkung erfolgen kann. Ab den 1960er Jahren wurde der Behaviorismus durch den Kognitivismus abgelöst: kognitive Wende (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013, S. 51). Die kognitivistische Theorie (lat. *cognitio*: Erkennen, Erkenntnis und Vorstellung) charakterisiert den Lernenden als aktiv. Beim Lernen werden neue Informationen aus der Umwelt verarbeitet, wobei nun auf die Prozesse des Wahrnehmens, Verstehens, Erkennens, Denkens und Sprechens geachtet wird. Durch Assimilation (Einpassen von Umweltanreizen in bereits bekannte kognitive Schemata) und Akkommodation (Anpassung der kognitiven Schemata an unerwartete, neue Gegebenheiten) werden die Informationen in eine innere, mentale Repräsentation umgewandelt (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013, S. 51 ff.). Nach Ansicht des Kognitivismus erfolgt Lernen durch Einsicht und Erkenntnis. Wissen wird durch einen adäquaten internen Verarbeitungsprozess entwickelt und soll der Lösung von Problemstellungen dienen. Die Lehrkraft ist in dem Prozess als Tutor tätig ist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Kognitivismus einen dynamisch gesteuerten Ablauf mit einer vorgegebenen Problemstellung und einer Antwortanalyse als Merkmale aufweist (vgl. BAUMGARTNER & PAYR 1994, S. 103 ff.).

Der Konstruktivismus vertritt die Ansicht, dass die Wahrnehmung der Realität durch individuelles Verarbeiten im Gehirn stattfindet und jeder Einzelne sein Wissen subjektiv konstruiert. Eine präzisere Definition des Konstruktivismus ist nicht möglich, da der Begriff in verschiedenen Zusammenhängen verwendet wird und sich unterschiedliche Sichtweisen des Konstruktivismus entwickelt haben (vgl. REINMANN & MANDL 2006,

S. 625 f.). Auch beim konstruktivistischen Lernen werden Informationen aktiv und selbstgesteuert verarbeitet (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013, S. 66). Nach der Ansicht des Konstruktivismus ist der Lernende ein „*informationell geschlossenes System, welches auf zirkulärer Kausalität und Selbstreferentialität beruht und autonom struktur determiniert ist*“ (BAUMGARTNER & PAYR 1997, S. 92). Der Unterschied zum kognitiven Lernen besteht allerdings darin, dass der konstruktive und individuelle Wissensaufbau im Vordergrund steht. Der Schwerpunkt liegt mehr auf dem Verständnis als auf dem Behalten von Informationen (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013, S. 66). Lernziele zielen darauf ab, komplexe Situationen bewältigen zu können. Die Lehrkraft fungiert in diesem Fall als Coach, Moderator und Begleiter (vgl. BAUMGARTNER & PAYR 1997). In didaktischer Hinsicht lässt sich somit schlussfolgern, dass bereits subjektiv vorhandene Vorstellungen der Lernenden mit dem neu gelernten Wissen in Verbindung gebracht werden müssen.

Nach dem radikalen Konstruktivismus ist das Erfassen der Realität nicht möglich. Dies hat zur Konsequenz, dass keine objektive Erkenntnis und kein objektives Wissen existiert. Der Mensch konstruiert sich das Wissen ausgehend davon, was ihm in der Realität als wichtig erscheint. Folglich kann das Wissen nicht von einer Lehrperson übertragen werden, sondern der/die Lernende muss selbst aktiv den Lernprozess in einer Lernsituation konstruieren (vgl. REINMANN & MANDL 2006, S. 626). Da nach der Sichtweise des radikalen Konstruktivismus das Lernen nicht durch das Lehren angeregt werden kann, da die Wirklichkeit ausschließlich individuell konstruiert wird, wird der radikale Ansatz für die vorliegende Studie nicht verwendet.

Diesem radikalen Ansatz des Lernens steht der gemäßigte, moderate bzw. wissensbasierte Konstruktivismus gegenüber. Der moderate Konstruktivismus setzt auf den aktiven und eigenständigen Aufbau von kognitiven Strukturen, ohne dabei eine objektive Erkenntnis infrage zu stellen. Der moderate Konstruktivismus formuliert nach REINMANN und MANDL sechs Leitprinzipien des Lernens (vgl. REINMANN & MANDL 2006, S. 638):

- Aktiver Lernprozess: Lernen findet ausschließlich über die aktive Teilnahme statt.
- Selbstgesteuerter Prozess: Der Lernende steuert und kontrolliert sein Lernen in eigener Verantwortung.
- Konstruktiver Prozess: Auf der Basis von bereits vorhandenen Kenntnissen, Fähigkeiten und Einstellungen erfolgt das Lernen.

- Emotionaler Prozess: Der Antrieb des Lernens ist immens von sozialen und leistungsbezogenen Emotionen abhängig.
- Situativer Prozess: Lernen ereignet sich im Kontext der Lernsituation. Dieser Kontext spielt eine bedeutende Rolle für die Beurteilung der Lerninhalte.
- Sozialer Prozess: Soziokulturelle Einflüsse und ein interaktiver Ablauf bestimmen das Lernen.

In neurobiologischer Hinsicht korrelieren die Aktivitätsmuster eng mit den Vorstellungskonstrukten. Lernen führt zu Veränderungen des neuronalen Aktivitätsmusters und damit auch zu einer Veränderung des mentalen Erlebens (Vorstellung) (RIEMEIER 2005). Die neuronale Umstellung zeigt sich in der Anzahl und der Qualität der Vernetzung von Neuronen. Beim Lernen sind die bereits vorhandenen Strukturen die Basis für neue weitere neurobiologische Abläufe. Es finden Modifikationen statt und so werden neue neuronale Muster generiert. Wenn die Lernenden Vorstellungen zu einem gewissen Sachverhalt haben, so wurde diese Vorstellung durch verschiedene vorausgehende Erfahrungen situativ konstruiert (KANDEL et al. 2000).

Damit Wissen dauerhaft erworben werden kann, müssen die allgemeinen Leitlinien des erfolgreichen Wissenserwerbs eingehalten werden. Der Lernende soll der neuen Information genügend Beachtung schenken. Außerdem soll ausreichend geübt und wiederholt werden. Ebenso soll das neue Wissen mit dem bisherigen Wissen abgeglichen und abgestimmt werden. Schließlich soll eine Konsolidierung des neuen Wissens (Vertiefung) erfolgen (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013, S. 51 ff.).

Der Konstruktivismus bildet zwar eine Grundlage hierfür, ist aber keine Anleitung für den Aufbau einer Lernumgebung. REINMANN und MANDL (2006) beschreiben verschiedene Bedingungen für die Gestaltung von Lernumgebungen aus konstruktivistischer Perspektive. Wie bereits oben angeführt, ist Lernen ein aktiver, selbstgesteuerter, konstruktiver, situierter, sozialer und emotionaler Prozess. Vier der Leitprinzipien unterstützen die Entwicklung von Lernangeboten. Für die Entwicklung einer Lernumgebung lassen sich aus dem moderaten Konstruktivismus für die sozialen und emotionalen Prozesse keine gestalterischen Hinweise ableiten. Im Schulalltag findet zwar ein sozialer Austausch zwischen Lehrkräften und SchülerInnen statt, doch letztlich sind die Lernenden immer für ihre Wissenskonstruktion selbst verantwortlich. Dass ein Zusammenhang zwischen Emotionen und Lernen besteht, soll nicht in Frage gestellt werden, doch auch hier können keine Gestaltungshinweise aus dem moderaten Konstruktivismus abgeleitet

werden. Es lässt sich Folgendes aus dem Konstruktivismus (GLASERSFELD 1989) und der Neurobiologie (ROTH 2009) für die Entwicklung einer Lernumgebung schließen: Wichtig ist erstens, dass die Lernenden nicht nur eine wissenschaftliche Vorstellung wiedergeben, sondern sich auch der Grenzen ihrer bereits vorhandenen subjektiven Vorstellungen bewusst sind. Zweitens muss den Lernenden die Möglichkeit gegeben werden, eine Vorstellung zu konstruieren, die nach GLASERSFELD im wissenschaftlichen Kontext viabel (gangbar, passend, brauchbar oder funktional) ist (vgl. GLASERSFELD 1989, S. 162 f.). Um dies zu erreichen, müssen die Schülervorstellungen dem Lehrenden bekannt sein, um die Lernumgebung auf sie abstimmen zu können. Die vorliegende Untersuchung baut auf den Vorstellungen, die von CONRAD (2014) erhoben wurden, auf. Sie bilden die Grundlage für die Gestaltung der Lernumgebung zum Aufbau der Erde, mit dem Ziel eine Vorstellungsveränderung einzuleiten. Eine wichtige Rolle bei der Vorstellungsveränderung spielt die Conceptual-Change-Theorie, die im nächsten Abschnitt 2.3 vorgestellt wird.

2.3 Conceptual Change

„Es ist schwieriger, eine vorgefasste Meinung zu zertrümmern als ein Atom.“

(ALBERT EINSTEIN 1879-1955)

Das folgende Kapitel widmet sich dem Conceptual Change. Zunächst ist es notwendig, den Begriff zu definieren und abzugrenzen. Anschließend werden Bedingungen für einen Conceptual Change erläutert. Dabei wird auch auf motivationale Faktoren eingegangen. Es existieren einige Erklärungsmodelle für den Conceptual Change, die vorgestellt werden. Im Anschluss daran wird der Umgang mit Conceptual Change im Unterricht veranschaulicht.

2.3.1 Definition

Der Begriff Conceptual Change wird mit einer direkten Übersetzung (Konzeptwechsel) aus dem Englischen missverstanden. Es werden unter der Bezeichnung Conceptual Change generell Veränderungen von bestehendem begrifflichem Wissen durch Unterricht zusammengefasst. Die Reichweite der Veränderung kann sich bis zum Weglassen, Hinzufügen oder Revidieren von einzelnen Wissens-elementen erstrecken (THAGARD 1992). Conceptual Change bedeutet also mehr die Umstrukturierung von Präkonzepten als die Erweiterung oder Anhäufung von Wissen (vgl. RHÖNECK & NIEDDERER 2006, S. 73). Im Zusammenhang mit dem Unterricht versteht man unter dem Begriff Conceptual

Change die Veränderung von bereits vorhandenem Wissen. Dabei können Veränderungen einzelner Wissens Elemente die Veränderung von ganzen Wissensstrukturen bedingen (SCHNOTZ 2006). Hingegen verwendet KATTMANN (2005) den Terminus der konzeptionellen Rekonstruktion (Conceptual Reconstruction). Er versteht darunter die Bereicherung, Modifikation und Ausdifferenzierung von bestehenden Konzepten. DUIT (1999) sowie DUIT und TREAGUST (2003) definieren Conceptual Change als Conceptual Development, Conceptual Growth und Conceptual Reorganisation. VOSNIADOU und SCHNOTZ beschreiben Conceptual Change folgendermaßen: „*a domain-general modification of cognitive structures which affect knowledge acquisition processes in all subject-matter areas*“ (VOSNIADOU & SCHNOTZ 1997, S. 106). Dieser Ansatz verfolgt die Beschreibung eines Lernprozesses, seine Entwicklung innerhalb bestimmter Bereiche und beinhaltet die Veränderung eines Konzepts. Es soll nicht zwangsläufig eine Vorstellung ersetzt werden, sondern sie kann auch eine multiple Perspektive im Bereich verschiedener Anwendungskontexte umfassen (vgl. VOSNIADOU & SCHNOTZ 1997, S. 106).

Der Conceptual Change unterscheidet zwei Lernprozesse. Unter Weak Conceptual Change versteht man die Erweiterung von Präkonzepten um fachliches Wissen. In diesem Fall gibt es keinen direkten Gegensatz zwischen der Schülervorstellung und dem fachwissenschaftlichen Sachverhalt (CAREY 1985). Dies entspricht nach PIAGET der Assimilation (Erklären neuer Problemstellungen mit bereits vorhandenen Vorstellungen) (vgl. PIAGET 2003, S. 16 ff.). In diesem Lernprozess erfolgt eine Anreicherung des Vorwissens mit neuen Informationen, so dass eine Wissenserweiterung als Wachstum stattfindet (vgl. HERAN-DÖRR 2006, S. 165). Der zweite Lernprozess nach CAREY (1985) wird als Radical Conceptual Change bezeichnet. Die Alltagsvorstellungen stehen im direkten Widerspruch zur Wissenschaft. Die Vorstellung muss verworfen werden, um ein fachliches Konzept neu aufzubauen. PIAGET (1973) versteht darunter die Akkommodation (vgl. PIAGET 2003, S.17 ff.). Es findet ein Wandel vorhandener Inhalte, Theorien und Konzepte statt, sodass eine Veränderung nicht mehr tragfähiger Vorstellungen hin zu einem richtigen Konzept erfolgt (vgl. HERAN-DÖRR 2006, S. 165). Nach PIAGET haben die Lernenden die Tendenz, ein Gleichgewicht (Äquilibration) zwischen den beiden Mechanismen von Assimilation und Akkommodation herzustellen (vgl. PIAGET 2003, S. 17).

Problematisch ist, dass die Vorstellungen langlebig und widerstandsfähig gegenüber Umbrüchen sind (vgl. MIETZEL 2007, S. 292). Menschen neigen dazu, bereits vorhan-

dene Präkonzepte, mit denen sie auf einen Sachverhalt schließen können, zu behalten und neue disgruente Informationen zu ignorieren. Diese Neigung resultiert aus der Vorliebe des Menschen, Ordnung zu halten und Verhaltenssicherheit zu gewinnen. Dieser Ansatz wird auch als „auf Voreingenommenheit beruhende Bestätigungstendenz“ (confirmation bias) bezeichnet (MIETZEL 2007, S. 292).

2.3.2 Bedingungen

Das Ziel eines Lernprozesses liegt darin, eine Veränderung von einer Alltagsvorstellung zu einem wissenschaftlichen Konzept zu erreichen. Damit ein Conceptual Change erfolgt, müssen die Voraussetzungen eines gelungenen Lernens erfüllt werden. POSNER et al. veröffentlichten 1982 vier Bedingungen für einen erfolgreichen Conceptual Change (vgl. POSNER et al. 1982, S. 211 ff.):

1. Unzufriedenheit mit vorhandener Vorstellung

Voraussetzung für die Vorstellungsveränderung ist es, Unzufriedenheit beim Lernenden über seine bereits vorhandenen Vorstellungen hervorzurufen, indem er keine zufriedenstellende Antwort auf eine Frage findet.

2. Verständlichkeit der neuen Vorstellung

Die neue Vorstellung muss rational, verständlich und nachvollziehbar sein, damit die beim Umlernen bzw. Erweitern der Schülervorstellung vorkommenden Sicherheitsverluste und Anstrengungen in Kauf genommen werden.

3. Plausibilität der neuen Vorstellung

Das wissenschaftliche Konzept muss dem Lernenden mehr Aspekte der Erklärungsmächtigkeit als das bisher genutzte Präkonzept bieten. Nur so wird künftig eine neue Vorstellung zu einer Erklärung eines Sachverhalts hinzugezogen. Der fachliche Ansatz ist umso besser integriert, je mehr er mit der übrigen Vorstellungswelt des Lernenden übereinstimmt.

4. Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung

Die neu erworbene Vorstellung sollte Wissen beinhalten, die Lernenden auch in anderen Kontexten anzuwenden können. Dies geschieht, wenn das fachliche Konzept erklärungs mächtiger als das Präkonzept ist.

Die Bedingungen nach POSNER et al. (1982) sind hierarchisch angeordnet und müssen nacheinander erfüllt werden. Ausschlaggebend ist, dass die Bedingungen für einen

Conceptual Change in einer Lernumgebung nicht nur zur Verfügung gestellt werden, sondern dass sie auch bewusst angenommen werden. GUZZETTI und GLASS untersuchten in einer Meta-Analyse unterschiedliche Mechanismen zur Initiierung eines Conceptual Changes. Es konnte ein wirksamer Zusammenhang bei der Gegenüberstellung des Präkonzepts mit dem naturwissenschaftlichen Ansatz festgestellt werden (vgl. GUZZETTI & GLASS 1992, S. 1 ff.).

POSNER et al. stellen jedoch eine Abneigung der Lernenden bezüglich der Akkommodation (Anpassung) fest. Sofern die metaphysischen und epistemologischen Überzeugungen fest und tief verankert sind, findet eher ein Assimilationsprozess (Angleichung) statt, (vgl. POSNER et al. 1982, S. 211 ff.). GREGOIRE vertritt die Meinung, dass die Intensität des Conceptual Changes von der Auseinandersetzung mit der Bedeutung des Vorwissens abhängig ist. Assimilation tritt ein, wenn der Akkommodationsprozess scheitert. Allerdings verhindert Assimilation ein tiefgründiges Verstehen und eine radikale Veränderung der individuellen Vorstellung (vgl. GREGOIRE 2003, S. 157 f.).

Wenn der Lernprozess jedoch keinen Erfolg hat, dann tritt die Kompartimentalisierung des Wissens ein. Kompartimentalisierung bedeutet, dass Wissen über einen bestimmten Bereich aus unterschiedlichen und nicht miteinander verknüpften Teilen besteht. In diesem Fall bleibt das Präkonzept bestehen und die wissenschaftliche Vorstellung wird zusätzlich akzeptiert. Diese Art des zusammengesetzten Wissens ist normalerweise nicht anwendbar. Alltagserfahrungen und Theorie können nicht in Einklang gebracht werden. SchülerInnen beziehen sich deshalb bei der Konfrontation mit wissenschaftlichen Problemstellungen eher auf ihre eigenen individuellen Vorstellungen als auf wissenschaftliche Theorien (vgl. MANDL et al. 1993, S. 21 ff.).

2.3.3 Motivationale Faktoren

Motivationale Faktoren in Conceptual-Change-Prozessen werden in der Literatur nur wenig diskutiert, obwohl sie eine bedeutende Rolle nach BENDIXEN (2002, S.191 ff.) und PINTRICH (1999, S. 33 ff.) spielen.

Es werden fünf motivationale Faktoren nach PINTRICH unterschieden (vgl. PINTRICH 1999, S. 33 ff.):

1. Zielorientierung beim Lernen

Dieser motivationale Faktor beinhaltet eine intrinsische Aufgabenorientierung (Zielorientierung) und grenzt sich von der extrinsischen Leistungsorientierung

ab. Die extrinsische Leistungsorientierung bezieht sich auf eine gute Note oder auf eine gute Leistung im Vergleich zu anderen. Die intrinsische Zielorientierung hingegen korreliert mit dem verstehenden Lernen und gehört zu den wichtigsten didaktischen Prinzipien des Unterrichts. Die Zielorientierung steuert das unterrichtliche Handeln und ist ein Kriterium des Unterrichtserfolgs (vgl. Glöckel 1996, S. 127 ff; Meyer 1993, S. 135). Da die SchülerInnen sich individuell an verschiedenen Zielen orientieren, findet eine unterschiedliche kognitive Auseinandersetzung mit dem Thema statt. Pintrich (1999) vertritt die Meinung, dass die Zielorientierung im Gegensatz zur Leistungsorientierung eher zu einem Conceptual Change führt, da hierbei eine tiefere und metakognitive Verarbeitungsstrategie angewendet wird. Aufgaben mit einem hohen Anwendungscharakter fördern eine intrinsische Zielorientierung.

2. Konstruktivistisch epistemologische Überzeugungen über Lernen und Wissen

In Anlehnung an Schommer definiert Pintrich (1999) fünf Aspekte von konstruktivistisch epistemologischen Überzeugungen. Eine Überzeugung ist, dass die Sicht auf Fähigkeiten als veränderbar oder gegeben angesehen werden kann. Lernende, die der Meinung sind, ihre Fähigkeiten verändern zu können, lassen sich auf tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse ein als die Lernenden, die ihre Fähigkeiten als gegeben ansehen. Außerdem gibt es die Sichtweise, Wissen als unsicher oder sicher anzusehen. Sicheres Wissen gilt als Hürde für einen Conceptual Change, da dies Sicherheit in Bezug auf individuelles Wissen bedeutet und somit die Lernenden nicht bereit sind, sich auf neue Konzepte einzulassen. Desweiter kann Wissen als komplex oder einfach angesehen werden. Sofern Wissen als komplex betrachtet wird, gibt es eine größere Offenheit für einen Conceptual Change. Eine weitere Überzeugung besteht darin, dass der Lernprozess komplex oder schnell erfolgt. So sind mit einer Sichtweise auf das Lernen als komplexen Prozess eher Conceptual Change möglich. Schließlich definiert PINTRICH als letzten Aspekt von konstruktivistisch epistemologischen Überzeugungen die Quelle des Wissens als intern oder extern zu erachten. Die interne Einstellung begünstigt einen Conceptual Change (interne Quelle), da in diesem Fall eigenes Wissen individuell konstruiert wird. Von einer externen Quelle, wie z. B. von ExpertInnen oder Lehrkräften, wird das Wissen nicht hinterfragt, da es als extern gegeben erachtet wird.

3. Interesse

Interesse begünstigt die Bereitschaft, sich mit neuen Sachverhalten zu beschäftigen. Ebenso steigert es die Qualität der Auseinandersetzung und fördert den Einsatz von metakognitiven Strategien. Somit ist das Interesse der Lernenden am Thema für einen Conceptual Change vorteilhaft, da die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit gegensätzlichen Informationen gefördert wird.

In der Interessensforschung wird zwischen situationalem und individuellem Interesse unterschieden (Schiefele 1996). Situationales Interesse bezeichnet den psychologischen Zustand, der durch die Interessantheit einer konkreten Lernsituation entsteht. Individuelles Interesse dagegen beruht auf einer persönlichen Disposition (vgl. HIDI & BERNDORFF 1998; KRAPP 2002, 2003; RENNINGER et al. 1998).

4. Gefühl der Selbstwirksamkeit in Bezug auf das eigene Lernen

Menschen, die davon überzeugt sind, eigene Ziele zu schaffen und Veränderungen im Denken zuzulassen, besitzen eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung. Conceptual Change wird durch das Gefühl „etwas selbst bewirken zu können“ begünstigt.

5. Gefühl der Kontrolle über das eigene Lernen

Wenn ein Subjekt das Gefühl hat, das eigene Lernen und die daraus resultierende Leistung kontrollieren zu können, kommt es zu einer stärkeren Motivation und einer höheren Leistung. Es werden tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse in Gang gesetzt, bei denen auch Widersprüche zwischen den Präkonzepten und den fachlichen Ansätzen überwunden werden können.

Motivationale Faktoren können somit einen Conceptual Change behindern oder begünstigen (vgl. PINTRICH 1999, S. 38 f.).

2.3.4 Modelle

Der klassische Conceptual-Change-Ansatz

Die Ursprünge der Conceptual-Change-Forschung basieren auf der konstruktivistisch-epistemologischen Sichtweise, in der die Lernenden ihr Wissen individuell und selbstständig konstruieren. PIAGETS (1973) Konzept des Wechselspiels von Assimilation und Akkommodation sowie der KUHNnsche Paradigmenwechsel (KUHN 1962) haben den

klassischen Conceptual-Change-Ansatz von POSNER, STRIKE, HEWSON UND GERTZOG (1982) maßgeblich beeinflusst. Der klassische Ansatz wurde viele Jahre zum Exempel in der Conceptual-Change-Forschung. Nach diesem Ansatz soll den Lernenden ihr Präkonzept bewusstgemacht werden, bevor eine wissenschaftliche Sichtweise erarbeitet wird. Erst dann kann eine Vorstellungsveränderung herbeigeführt werden, da die Lernenden mit ihrer bereits vorhandenen Vorstellung unzufrieden sind und ihr mentales Gleichgewicht durch einen kognitiven Konflikt gestört wurde. So kann eine lebensweltliche Vorstellung zu einem fachlich angemessenen Konzept gewandelt werden (vgl. POSNER et al. 1982, S. 211 ff.).

Der klassische Conceptual-Change-Ansatz gehört zu den radikalen konstruktivistisch-epistemologischen Theorien. Diese Sichtweise wird auch auf die kognitive Entwicklung des Lernenden übertragen. POSNER et al. (1982) vergleichen diese kognitive Veränderung mit der Akkommodation PIAGETS (1973). Der Conceptual Change kann dauerhaft, vorübergehend oder zu gering für eine Wahrnehmung sein. Häufig wird lediglich ein peripherer Conceptual Change erreicht, bei dem nur Bereiche des Präkonzepts mit dem neuen wissenschaftlichen Ansatz verknüpft werden. Das Ergebnis dieses Conceptual Changes wird als Hybridvorstellung oder Synthesemodell bezeichnet. Es ist zu beachten, dass ein Conceptual Change Zeit in Anspruch nimmt und die kognitive Veränderung immer wieder neu umstrukturiert werden muss. Hierbei können von Zeit zu Zeit Fehlstarts oder neue Fehler auftreten.

Die Bedingungen Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung bestimmen den konzeptionellen Status und bieten Anhaltspunkte beim Vergleich der Schülervorstellung mit einem neuen wissenschaftlichen Sachverhalt. Die kognitive Rivalität zwischen den beiden Vorstellungen unterliegt vielen Einflüssen, wie z. B. Bildern, Analogien, Metaphern, früheren Erfahrungen und epistemologischen Annahmen. Falls das neue Konzept beim Lernenden keine Unzufriedenheit auslöst, tritt die Assimilation ein. Ist der Lernende mit seiner bisherigen Vorstellung unzufrieden und sein mentales Gleichgewicht durch einen kognitiven Konflikt gestört, können folgende zwei Wege eingeschlagen werden. Besitzt die fachliche Vorstellung einen höheren Status als das Präkonzept, erfolgt eine Akkommodation. Wenn allerdings die bisherige Schülervorstellung im Gegensatz zu der neuen Vorstellung einen höheren Status innehat, kommt es zu keinem Conceptual Change (POSNER et al. 1982). Der Lernende ist nach POSNER et al. (1982) und nach HEWSON (1982) selbst dafür verantwortlich, ob er einen

Status einer Vorstellung verändert. SINATRA und PINTRICH (2003) bezeichnen die individuelle Eigenverantwortung als Intentional Conceptual Change.

Der Rahmentheorieansatz

VOSNIADOU und BREWER veröffentlichten 1992 den Rahmentheorieansatz (Abb. 1), in dem Vorstellungen in theoretische Strukturen eingebettet sind. Der Rahmentheorieansatz beinhaltet die allgemeine Rahmentheorie (Framework Theories) und die inhaltspezifischen Theorien (Specific Theories).

Rahmentheorieansatz			
Rahmentheorie		→	Spezifische Theorie
<u>Ontologische Überzeugungen</u> Festigkeit Stabilität Gravitation nach oben und unten Organisation des Raumes nach oben, unten, innen und außen	<u>Epistemologische Überzeugungen</u> Die Dinge sind so, wie wir sie sehen. Unbelebte Objekte bewegen sich nicht von alleine.	<u>Beobachtungen und kulturell vermittelte Informationen</u> Die Erdoberfläche erstreckt sich auf derselben Ebene über eine große Distanz. Sonne, Mond und Sterne sind im Himmel. Der Himmel befindet sich über der Erde. Unter dem Boden ist festes Land. <hr style="width: 20%; margin: 10px auto;"/> <u>Annahmen (Beliefs)</u> Die Erde ist flach und hat eine rechteckige oder runde Form. Die Erdoberfläche liegt auf einem festen Untergrund. Sonne, Mond, Sterne und Himmel befinden sich hoch über der Erde. <div style="text-align: center;">↓</div> <u>Mentale Modelle</u> Rechteckige Erde Scheibenförmige Erde	

Abb. 1: Struktur einer kindlichen Vorstellung von der Form der Erde (in Anlehnung an VOSNIADOU et al. 2008, S.8)

Im Gegensatz zur konstruktivistisch-epistemologischen Sichtweise des klassischen Conceptual-Change-Ansatzes berücksichtigt dieses Modell auch eine ontologische Perspektive in der Conceptual-Change-Forschung. Die ontologischen Überzeugungen entsprechen Überzeugungen über „*fundamentale Kategorien und Eigenschaften der Welt*“ (CHINN & BREWER 1993, S. 17). Hierbei werden die Entwicklungen der Schülervorstellungen über naturwissenschaftliche Ansätze und die Veränderungen ihrer Sichtweise auf die Realität unter dieser Perspektive untersucht. Bereits 1985 wurde in einer Studie von CAREY gezeigt, dass schon sehr junge Kinder Theorien mit ontologischen Einstellungen entwickeln. In ihren Theorien befinden sich erklärende Ansichten und erlauben verschiedene Beschreibungen sowie Prognosen. Sie werden während der Kindheit oftmals neu konstruiert.

Zu der Rahmentheorie gehören die tief verankerten Vorstellungen aus der Kindheit, die im alltäglichen Kontext entwickelt und durch Erfahrungen immer wieder bestätigt werden. Daraus entwickeln sich epistemologische Überzeugungen, die z.B. aussagen, dass die Dinge so sind, wie man sie sieht, oder dass sich unbelebte Objekte nicht bewegen können, so dass jegliche Bewegung erklärt werden muss. Spezifische Theorien basieren auf einer Rahmentheorie. Die Lernenden nehmen die Beobachtungen der Welt und die kulturell vermittelten Informationen vor dem Hintergrund der Rahmentheorie wahr. Sie entwickeln Annahmen (Beliefs) über Sachverhalte, wie beispielsweise die Form der Erde ist. So könnten ihre Annahmen sein, dass die Erde flach, unbeweglich und fest ist. Die Wahrnehmungen im kulturellen Kontext und die eigenständig konstruierten Annahmen (Beliefs) bilden die spezifische Theorie. Sie definiert die Struktur, in der die Vorstellung enthalten ist (STARK 2003). Hieraus entsteht für den Lernenden ein mentales Modell, wie z. B. bei jenem, bei dem die Erde eine Scheibe ist oder bei dem die Menschen auf der Südhalbkugel von der Erde stürzen könnten. Nach dem Rahmentheorieansatz ist ein Conceptual Change auf der spezifischen Theorieebene relativ leicht durchführbar, wenn die Rahmentheorie keine Veränderung erfährt. Eine Vorstellungsveränderung auf der Rahmentheorieebene führt jedoch zu Auflehnungen der Lernenden und Lernprozesse gestalten sich schwierig (VOSNIADOU 2002; SCHULER 2011).

Die Rahmentheorie entspricht einem kohärenten Erklärungssystem. Sie basiert auf den Erfahrungen aus der Kindheit, die sich bewährt haben und vor allem im Unterbewusstsein ablaufen. Doch durch die Lernprozesse werden neue Vorstellungen in die Rahmentheorie integriert, wobei die bisherigen Konzepte verändert werden. Damit wird deren Kohärenz zerstört. Es werden über die Jahre Teile von Wissen angesammelt und zu

einer fachlich ähnlichen Theorie konstruiert. Mischformen aus Präkonzepten und wissenschaftlichen Vorstellungen, so genannte Synthesemodelle, werden gebildet, die sich im Laufe der Kindheit weiterentwickeln (SCHNOTZ 1996; VOSNIADOU & BREWER 1992). Bedeutende Wissensrevisionen führen zu Veränderungen in der Rahmentheorie, also auch der ontologischen und epistemologischen Überzeugungen. Wenn sich die Rahmentheorie verändert, hat das Auswirkungen auf die spezifische Theorie, die auf der Rahmentheorie basiert. Ein Conceptual Change ist so dauerhaft und schwer umzusetzen, da mit einer Vorstellungsveränderung nicht nur eine Konzeptveränderung verbunden, sondern die individuelle Gesamtsichtweise betroffen ist. Sie dient der Bewahrung der individuellen Weltsicht (STARK 2003).

Das Kontextmodell

Das Kontextmodell von CARAVITA und HALLDÉN (1994) betont den Kontextbezug von Wissen. Es orientiert sich an den konstruktivistischen Annahmen von WYGOTSKI (1964), in denen das Wissen ein Werkzeug darstellt, das in sozial-kulturellen Kontexten angeeignet und verwendet wird. Folglich ist die Beschaffenheit von Wissen immens von Kontexten abhängig, in denen es verwendet wird (vgl. CARAVITA & HALLDÉN 1994, S. 89 ff.).

Es wurde ein hierarchisches Kontextmodell entwickelt (Abb. 2), in dem ein Sachverhalt auf verschiedenen Ebenen und in verschiedenen Kontexten dargestellt wird. Im Mittelpunkt des Modells steht das Wissen, im wissenschaftlichen Kontext und im Alltagskontext. Auf der ersten Ebene (Ebene der Praxis) steht die Empirie im Wissenschaftskontext den Alltagserfahrungen und der Wahrnehmung im Alltagskontext gegenüber. Im wissenschaftlichen Kontext sind auf der zweiten Ebene (Ebene der Erklärung, Analyse und Interpretation) die theoretischen Konzepte angelegt. Ausschlaggebend im Alltag sind Konventionen und Handlungsnormen sowie der gesunde Menschenverstand. Auf der dritten Ebene (Metaebene) spielt für den wissenschaftlichen Kontext die Theorie eine entscheidende Rolle. Beim Alltagskontext sind hingegen Weltanschauung und Ideologie von großer Relevanz (CARAVITA & HALLDÉN 1994; STARK 2003).

		Kontext	
		Kontext des Alltags	Kontext der Wissenschaft
Ebene	Metaebene	Weltanschauung und Ideologie	Kontext der Theorie
	Ebene der Erklärung, Analyse und Interpretation	Gesunder Menschenverstand, Konventionen und Handlungsnormen	Theoretische Konzepte
	Ebene der Praxis	Kontext der Erfahrung und Wahrnehmung	Kontext der Empirie

Abb. 2: Interpretationskontexte
(in Anlehnung an CARAVITA & HALLDÉN 1994)

Fehlkonzepte bei Lernenden entstehen, wenn ein Sachverhalt im wissenschaftlichen Kontext interpretiert werden soll und dabei auf den Alltagskontext zurückgegriffen wird (STARK 2003). Die Problematik für die SchülerInnen besteht darin, den richtigen Kontext für eine Aufgabenbearbeitung zu erkennen. Aus diesem Grund betonen CARAVITA und HALLDÉN (1994) die Berücksichtigung von Kontextualität im Unterricht. Die Lernenden sollen differenzieren können, in welchem Kontext welches Konzept adäquat ist und verwendet werden kann. Ebenso haben die Lehrenden darauf zu achten, dass das wissenschaftliche Wissen vor allem in alltagsnahen Kontexten zur Anwendung kommt. CARAVITA und HALLDÉN definieren Lernen als eine Änderung des Kontextes, von einem Alltagskontext zu einem Wissenschaftskontext hin.

Der Kohärenzansatz

Der Kohärenzansatz wurde 2008 von VOSNIADOU, VAMVAKOUSSI und SKOPELITI entwickelt. In diesem Ansatz werden die vorunterrichtlichen, naiven Vorstellungen als kohärente (zusammenhängende) und theorieähnliche Wissensstrukturen betrachtet. Die Präkonzepte unterliegen ontologischen Bestimmungen, wobei die Struktur logische Beziehungen verfolgt. Um wissenschaftliche Vorstellungen zu entwickeln, müssen die bis dato naiven, individuellen Theorien umstrukturiert werden. Es werden neue Begriffe

oder Verknüpfungen beigelegt, um somit nacheinander das fachliche Wissen aufzubauen. Die Entwicklung einer wissenschaftlichen Theorie kann als Bewältigung einer Sequenz unterschiedlicher subjektiver Theorien bezeichnet werden (vgl. VOSNIADOU et al. 2008, S. 3 ff.).

Der Fragmentierungsansatz

Der Fragmentierungsansatz von DISSA (2008) betrachtet im Gegensatz zum Kohärenzansatz die Alltagsvorstellungen als inkohärent, d. h. nicht zusammenhängend. Das vorunterrichtliche Wissen besteht nach diesem Ansatz aus vielen isolierten Bruchstücken und ist fragmentiert. Die subjektiven Theorien sind nur wenig bzw. lose an die Kontexte, in denen sie erworben wurden, gebunden. Die einzelnen Bruchstücke werden als P-Prims (Phenomenological Primitives) bezeichnet. Sie wurden intuitiv aus einer alltäglichen Erfahrung gebildet und sind daher weniger umfangreich. Einige P-Prims können Alltagserfahrungen erläutern, wie z. B. dass alle Gegenstände nach unten fallen. Allerdings fehlt den P-Prims die Einbindung in allgemeine Wissensstrukturen, wie es z. B. das Gravitationsgesetz ist. Die meisten Einzelelemente bleiben unverbunden nebeneinander bestehen, da im Alltag nicht überprüft wird, ob sie in einem Gesamtzusammenhang stehen. Eine bedeutende Ursache von Fehlvorstellungen besteht darin, dass Widersprüche überhaupt nicht erkannt werden. Somit sind die Inkonsistenzen der subjektiven Vorstellungen eine direkte Folge der Fragmentierung und der fehlenden Kohärenz. Nach DISSA gilt es, die Systematisierung von Alltagsvorstellungen zu steigern (vgl. DISSA 2008, S. 35 ff.).

2.3.5 Der Zusammenhang der unterschiedlichen theoretischen Ansätze

Die Basis der Conceptual-Change-Ansätze ist der Konstruktivismus. Die Lernenden sollen eine aktive und intentionale (zielsichere) Rolle im Prozess der Wissensmodifikation ausüben. Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt für die Wissensumstrukturierung sind die Motivation und das Interesse des Lernenden. POSNER et al. (1982) beachten diesen Einflussfaktor zumindest implizit, da für sie die Auslösung von Unzufriedenheit beim Lernenden über seine subjektive Vorstellung eine wichtige Rolle bei einem Conceptual Change spielt. Conceptual Change sind nicht nur ein innerer rationaler Prozess, sondern auch vom schulischen und kulturellen Umfeld abhängig und werden maßgeblich von sozialen Prozessen, wie Kommunikation und Interaktion, bestimmt.

2.3.6 Der Umgang mit Conceptual Change im Unterricht

Die Alltagsvorstellungen der Lernenden, die bereits in der Kindheit gebildet wurden, unterscheiden sich vehement von den fachwissenschaftlichen Ansätzen. Ein Unterschied liegt im metakonzeptionellen Bewusstsein, also der Einschätzung und Hinterfragung der Bedeutung von Thesen und wissenschaftlichen Modellen sowie der Klarheit darüber, dass Hypothesen überprüft werden müssen (WISER & SMITH 2008). Den Lernenden fehlt das Bewusstsein über ihre Präkonzepte und über die hypothetische Natur der Vorstellungen, beides kann sich lernhinderlich auswirken. Folglich sind sich die Lernenden nicht bewusst, dass ihre eigenen Präkonzepte im Vergleich zu fachwissenschaftlich gesicherten Fakten nur Hypothesen sind und andere Personen andere Annahmen über die Welt aufweisen (VOSNIADOU 2008). Problematisch ist außerdem, dass die Vorstellungen der Lernenden zur Einsichtsgewinnung absolut, nicht-konstruktivistisch und subjektivistisch sind, wodurch das Lernen behindert wird. Es wurde bewiesen, dass eine negative Korrelation zwischen einem Conceptual Change und einem stabilen Wissen, das autoritär z. B. durch die Lehrkraft vermittelt wurde, besteht. Das bedeutet, dass hierdurch kein erfolgreicher Conceptual Change erreicht werden kann, wenn das Wissen nicht eigenständig erarbeitet wird, sondern nur durch Belehren vermittelt wird (STATHOPOULOU & VOSNIADOU 2006, 2007).

Nach Ansicht der kognitiven Psychologie besteht hinsichtlich des Lernens bis zu einem gewissen Grad ein fächerspezifischer Unterschied (SEILER 1973; VOSNIADOU 2007). Die Erkenntnisse der situierten Kognition nach HENNESSY (1993) belegen dies auch. So ist neu erworbenes Wissen ist von der Situation abhängig, in der es erlangt wird. Der Vergleich zu anderen Fächern, wie z. B. zur Geschichte, zeigt, dass die Art und Weise eines Conceptual Changes oft unterschiedlich ist (GÜNTHER-ARNDT 2006; LIMÓN 2001). In der Geschichtsdidaktik gibt es im Gegensatz zu den Naturwissenschaftendidaktiken keine Vorstellungen, die nicht fachlich nah sind, da Forschungsergebnisse gezeigt haben, dass Lernende im Fach Geschichte nur selten ein konzeptuelles Verständnis von Geschichte entwickeln (GÜNTHER-ARNDT 2003).

Unterricht, der auf den Prinzipien des Konstruktivismus basiert, scheint wirksamer als traditioneller Unterricht zu sein (BEETH et al. 2003; GUZZETTI et al. 1993). Die Studie von BAUMERT und KÖLLER im Jahr 2000 belegt allerdings, dass eine einzige Intervention, wie das Ansprechen von Präkonzepten, nicht per se zu besseren Unterrichtserfolgen führt. Ein Conceptual Change benötigt ein entsprechend konstruktivistisch organisiertes Lernumfeld. Die Qualität des Unterrichts ist dabei abhängig von der Konstellation ver-

schiedener Unterrichtsstrategien und Unterrichtsmethoden (vgl. OSER & BAERISWYL 2001). Wobei die Merkmale eines guten Unterrichts nach MEYER (1993) sowie die Zielorientierung und eine hohe Schüleraktivität (SEIDEL et al. 2002) grundlegend sind.

Seit der Entwicklung der klassischen Conceptual-Change-Ansätze nimmt der kognitive Konflikt in den Ansätzen zum Conceptual Change eine bedeutende Rolle ein (SCOTT et al. 2007). Zur Auslösung eines kognitiven Konflikts kann u.a. eine besondere Fragetechnik, die als Discrepant Questioning bezeichnet wird, eingesetzt werden. Die Lernenden erfahren eine kognitive Dissonanz, da sie Unstimmigkeiten zwischen dem wissenschaftlichen Konzept und ihrem Präkonzept wahrnehmen und dazu aufgefordert werden, diese Widersprüche zu erläutern. Mit dieser speziellen Fragetechnik werden kleinere, sofortige Erkenntnisse in einem langsamen und schrittweisen Conceptual-Change-Prozess ermöglicht (REA-RAMIREZ & NÚÑEZ-OVIEDO 2008).

Nach DUIT et al. werden folgende Unterrichtsstrategien für einen erfolgreichen Conceptual Change empfohlen (vgl. DUIT et al. 2008, S. 629 ff.):

1. Zu Beginn werden die Lernenden mit dem Phänomen vertraut gemacht.
2. Die Lernenden sollen sich ihrer eigenen subjektiven Vorstellungen bewusst sein.
3. Das wissenschaftliche Konzept soll im Unterricht eingeführt werden.
4. Daraufhin soll die neue Sichtweise auch angewendet werden.
5. Die Lernenden sollen auf ihren eigenen Lernprozess einen Rückschau halten.

Eine zentrale Rolle in der Conceptual-Change-Forschung spielt das Phasenmodell von DUIT et al. In ihm werden sowohl kognitive, motivationale als auch situationale Faktoren einbezogen. Die Lehrperson setzt hierfür lerngegenstandsangemessene Materialien und Methoden ein. Folgende fünf Phasen lassen sich in diesem Modell für konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen unterscheiden (vgl. DUIT et al. 2008, S. 134 ff.):

1. Orientierung

Zunächst werden die Lernenden mit dem Phänomen konfrontiert und vertraut gemacht. Durch die Schaffung von situationalem Interesse sollen die Lernenden motiviert werden. Hierbei können sie ihre eigenen Alltagserfahrungen mit einbringen.

2. Hervorlocken

In dieser Phase wird die subjektive Vorstellung der SchülerInnen über das zu lernende Phänomen bewusst gemacht, indem z. B. in der Gruppe diskutiert, eine Concept Map

erstellt oder ein Text verfasst wird. Weitere Möglichkeiten sind die Interpretation eines Phänomens, eines Bildes oder eines Experiments oder die Beantwortung eines Fragebogens. Es werden unterschiedliche Perspektiven und Vorstellungen aufgezeigt. Dadurch kann ein Spannungsbogen für die Erarbeitungsphase geschaffen werden (kognitive Dissonanz). Grundsätzlich gilt es, dass die Lernenden ihr Vorwissen nicht als unzureichendes Wissen, sondern als besondere Basis für ihr eigenes individuelles Lernen einschätzen.

3. Umstrukturierung der Schülervorstellungen

In dieser Phase werden die SchülerInnen mit der fachwissenschaftlichen Theorie konfrontiert. Das Fachwissen ist mit einem angemessenen Beispiel einzuführen. Damit eine Wissensumstrukturierung erfolgen kann, soll ein Vergleich zwischen der Schülervorstellung und dem wissenschaftlichen Sachverhalt vorgenommen werden. Gemeinsamkeiten und Widersprüche sollen dabei diskutiert werden. Als Beispiel für den Unterricht bietet sich die gezielte Konfrontation der Lernenden mit Widersprüchlichkeiten an, so dass ein kognitiver Konflikt provoziert wird. Außerdem werden die SchülerInnen dazu angeregt, ihre bisherigen Vorstellungen auf Grundlage des neu erworbenen Wissens umzustrukturieren bzw. zu erweitern. Am Vorwissen ist anzuknüpfen, um ein Gesamtverständnis für den Sachverhalt zu entwickeln.

4. Anwenden der neuen Vorstellung

Das neu erworbene Wissen soll in Anwendungsaufgaben erprobt und gefestigt werden. Beispiele hierfür sind die Bearbeitung von Übungs- und Transferaufgaben, die Planung und Weiterentwicklung von Experimenten durch Hypothesenbildungen, die Beobachtung und Erklärung von neuen Phänomenen sowie die Beschäftigung mit alltagsbezogenen Aufgaben. Dadurch steigt die Komplexität des vorhandenen Wissens kontinuierlich.

5. Vergleich und Rückblick

In der letzten Phase wird die Metaebene des Lernens durch die Reflexion der Lernergebnisse angesprochen. In diesem Zusammenhang soll die Lehrkraft die SchülerInnen anregen die zuvor bestehende Alltagsvorstellung dem Fachwissen gegenüber zu stellen und über die Veränderung zu reflektieren. Eine weitere Möglichkeit für die unterrichtliche Umsetzung besteht darin, dass die Lernenden die Tauglichkeit ihrer neuen Vorstellung mit der Tauglichkeit ihres Präkonzepts hinsichtlich der Beschreibung von Phänomenen vergleichen.

DUIT et al. heben noch zwei weitere wichtige Aspekte hervor. Einerseits soll das Phasenmodell nicht starr ausgelegt werden. So können Aspekte der dritten Phase beispielsweise bereits in der zweiten Phase aufgegriffen werden. Andererseits spielt der spiralförmige Aufbau des Lernprozesses bei dem Erlernen von abstrakten Sachverhalten eine wichtige Rolle. Nach der ersten Unterrichtssequenz sind oft noch deutliche Diskrepanzen zwischen dem Fachwissen und der neuen Vorstellung der Lernenden auszumachen. Nur durch ein immer wieder erneutes Aufgreifen des Sachverhalts kann kontinuierlich Wissen aufgebaut werden. Das bestehende Wissen kann auch durch ein außerschulisches und selbstständiges Lernen, z. B. durch Medien erweitert werden (DUIT et al. 2008).

Untersuchungen bei REINFRIED et al. im Jahr 2010 ergaben, dass Unterricht, der sich an den Lernenden und an den konstruktivistischen Prinzipien orientiert, den Conceptual Change unterstützen kann. Die metakognitiven Phasen sind nicht zu vernachlässigen, in denen der Lernende sich mit seinen eigenen kognitiven Prozessen auseinandersetzt. Somit kann durch eine zielstrebige lernpsychologisch geplante Lernumgebung ein nachhaltiger Conceptual Change erreicht werden (vgl. REINFRIED et al. 2010a, S. 123 ff.).

Vorstellungen von Lehrkräften über die Alltagstheorien von Lernenden sind immer noch weitestgehend unerforscht. BARTHMANN erforschte 2018 in einer Studie die Vorstellungen von Geographielehrkräften über Schülervorstellungen und den Umgang mit ihnen in der Unterrichtspraxis. Die Ergebnisse zeigen, dass Lehrende vorwiegend durch ihre Berufserfahrungen und nicht durch ihre Ausbildung erworbenes Professionswissen theorieähnliche subjektive Konzepte über Schülervorstellungen entwickelt haben. Schülervorstellungen werden sowohl als Lernchance als auch Lernhindernis beurteilt. Unabhängig von der Berufserfahrung stimmen die Vorstellungen der befragten Geographielehrkräfte im Umgang mit Schülervorstellungen größtenteils überein. Ein Conceptual Change-Ansatz nach POSNER et al. (1982) wird von den befragten Lehrkräften erst in Ansätzen umgesetzt. BARTHMANN erforschte ebenfalls, dass die Berufserfahrung der Geographielehrkräfte allein nicht ausreicht, um Schülervorstellungen umzustrukturieren (BARTHMANN 2018). Es ist problematisch, dass es immer noch Lehrkräfte gibt, die das instruktionelle Vermitteln von Fachwissen als Erfolgsrezept für ein aussichtsreiches Lernen sehen und den Präkonzepten der Lernenden keine Bedeutung beimessen. Bis dato spielt bei der Unterrichtsplanung der befragten Lehrkräfte der Stoffinhalt immer noch eine übergeordnete Rolle. TREGUST und DUIT (2008) vertreten die Meinung, dass generell die Kluft zwischen Praxis und Theorie noch größer wird. Das bedeutet, dass

die Diskrepanz zwischen der Conceptual-Change-Lernstrategie und die von den Lehrkräften im Unterricht eingesetzten Strategien größer wird.

Die Anwendungsphase ist für die Vermeidung von trägem Wissen von Bedeutung. Für eine umfassende Wissensverarbeitung und Schaffung von aktivem Wissen sind beispielsweise nach HASSELHORN und GOLD (2013) sowie nach MIETZEL (2007) folgende Verfahren förderlich: Elaborierende Übungen und Entkontextualisierung. Sie führen zu einer Steigerung der Flexibilität des Wissens, da das neu Erworbene an verschiedenen Beispielen in unterschiedlichen Kontexten erprobt wird. Ebenfalls empfiehlt es sich, eine anspruchsvolle Fragetechnik zu verfolgen. Ein Beispiel hierfür ist das Erkundungstraining, in dem die Lernenden der Lehrkraft die Fragen so stellen, dass diese nur noch mit „Ja“ bzw. „Nein“ beantwortet werden können. Ein weiteres Verfahren, um träges Wissen zu vermeiden, ist die Anwendung in möglichst authentischen Situationen. Ein Beispiel hierfür wäre ein Unterrichtsgang, bei dem sich die Lernenden nur mithilfe einer Karte und eines Kompasses orientieren müssen. Dadurch werden die Lernenden zu intensiven und nachhaltigen Denkprozessen angeregt. Eine reale Lernumgebung ist allerdings nicht in allen Lernbereichen anwendbar, so dass auf konkrete Fallbeispiele zurückgegriffen werden muss (vgl. HASSELHORN & GOLD 2013; MIETZEL 2007).

2.3.7 Herausforderungen der Conceptual-Change-Forschung

Die Conceptual-Change-Forschung verfolgt die Fragestellung, inwieweit Schülervorstellungen durch den Unterricht beeinflusst werden. In der Geographiedidaktik liegen bis jetzt nur sehr wenige Arbeiten zum Conceptual Change vor. Teilweise können jedoch Ergebnisse auch aus anderen Fachdidaktiken für die geographiedidaktische Forschung fruchtbar gemacht werden. Es sind nicht nur die Alltagsvorstellungen der Lernenden zu untersuchen, sondern auch die Prozesse, die einen Conceptual Change fördern. TREAGUST und DUIT erläuterten 2008 die Herausforderungen der Conceptual-Change-Forschung, die sich für die Naturwissenschaften ergeben. Die Herausforderungen lassen sich ebenso auf die Geographie übertragen:

1. Theoretischer Art

Konzeptveränderungen sollen in einem explizit formulierten Theorierahmen aufgeklärt werden, wobei sowohl die soziokulturellen also auch die kognitiven Aspekte des Lernens einbezogen werden. Der Schwerpunkt der Forschung soll darauf liegen, wie Lernende einen Conceptual Change in vielfältigen Zusammenhängen vollziehen.

2. Methodischer Art

Conceptual-Change-Prozesse sollen durch erforderliche und angemessene Nachweise identifiziert werden. Somit werden die Aspekte des Wechselprozesses, wie z. B. durch Lernprozessstudien, offenkundig dargelegt und erläutert. Außerdem sind die Prozesse kausal zu begründen, durch die ein Conceptual Change hervorgerufen wird.

3. Praktischer Art

Außerdem gilt es, lernförderliche Methoden in einer geeigneten Lernumgebung für einen Conceptual Change zu entwerfen, und ihre Tragweite empirisch zu überprüfen.

Der letzten Herausforderung „praktischer Art“ wird sich in der vorliegenden Arbeit gestellt. ***Der Schwerpunkt dieser Dissertation liegt auf dem Conceptual Change im physisch-geographischen Themenbereich „Aufbau der Erde“.*** Der Ansatz von POSNER et al. (1982) wird verwendet, ***um eine Lernumgebung mit lernförderlichen Methoden für die Umstrukturierung von Schülervorstellungen zu entwickeln*** und ihre Wirksamkeit empirisch zu überprüfen. Die Vermittlungsexperimente beinhalten neben den speziellen Lernangeboten auch metakognitive Phasen, um die Lernenden dazu anzuregen, ihre eigenen Denkprozesse zu reflektieren und retrospektiv ihre subjektiven Vorstellungen zu hinterfragen.

2.4 Modell der didaktischen Rekonstruktion

Im Modell der didaktischen Rekonstruktion werden Schülervorstellungen und fachwissenschaftliche Vorstellungen so zueinander in Beziehung gesetzt, dass daraus ein Lerngegenstand entwickelt werden kann (vgl. KATTMANN et al. 1997, S. 3). Damit bezieht sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion direkt auf die Kritik KLAFFIS an der Abbilddidaktik (vgl. JANK & MEYER 2009, S. 339).

Der Lerngegenstand lässt sich nicht einfach aus der Fachwissenschaft ableiten, sondern muss zunächst noch entwickelt werden. Als Hilfe lassen sich folgende Aspekte anführen: effektive methodische Umsetzung der fachwissenschaftlichen Theorie, didaktische Reduktion der fachwissenschaftlichen Fülle und didaktische Transformation. Allerdings geht im Modell der didaktischen Rekonstruktion das Verständnis über die Transformation hinaus (vgl. KATTMANN et al. 1997, S. 4). *„Die Didaktische Rekonstruktion umfasst sowohl das Herstellen pädagogisch bedeutsamer Zusammenhänge, das Wiederherstel-*

len von im Wissenschafts- und Lehrbetrieb verlorengegangenen Sinnbezügen, wie auch den Rückbezug von Primärerfahrungen sowie auf originäre Aussagen der Bezugswissenschaften“ (KATTMANN et al. 1997, S. 4).

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion „ist ein fachdidaktisch akzentuierter Forschungsansatz, mit dem drei Aufgaben gelöst werden sollen“ (JANK & MEYER 2009, S. 338). Diese drei Aufgaben umfassen folgende Bereiche (vgl. KATTMANN 2015, S. 15):

- Ermittlung des Lernpotenzials der Lernenden: Schülervorstellungen sowie Kenntnisse, Fertigkeiten, Verständnisse und Kompetenzen der Lernenden
- Fachliche Klärung des Lerngegenstandes: Erkenntnisse, Methoden, Theorien und Termini der Fachwissenschaftler
- Didaktische Struktur(ierung): Gestaltung der Lernumgebung sowie Unterricht, Lernsequenzen und Lernangebote

Die Abbildung 3 veranschaulicht das Modell der didaktischen Rekonstruktion., Innerhalb dessen die drei Aufgabenbereiche bewältigt werden müssen.

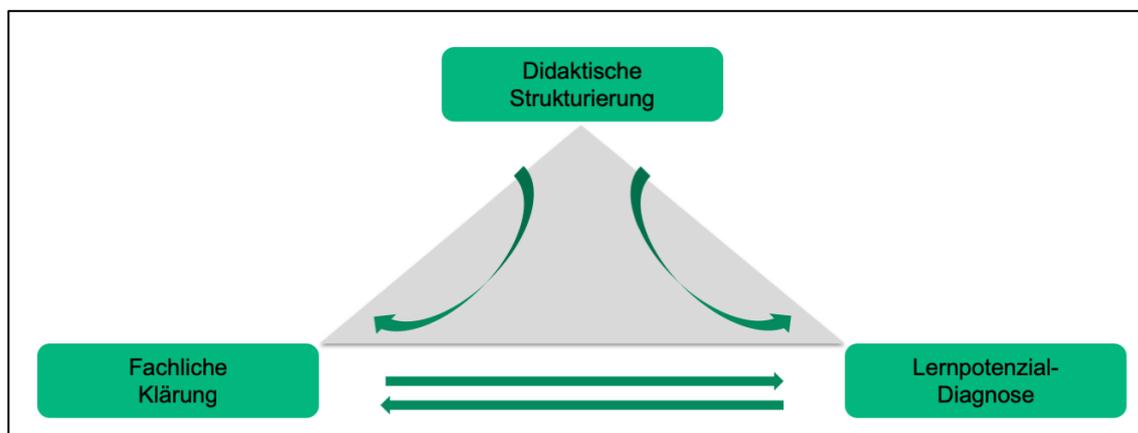


Abb. 3: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion

(in Anlehnung an KATTMANN 2015, S. 15)

Die drei Aufgaben sind nicht sukzessiv (nacheinander) zu bearbeiten, sondern immer im Zusammenhang zu sehen. Indem das Modell der didaktischen Rekonstruktion auf den Einsatz in der Praxis im Unterricht zielt, ist es sowohl für die Fachdidaktik als auch Unterrichtspraxis nützlich. Es wird deutlich, dass die fachwissenschaftlichen Vorstellungen und die Schülervorstellungen für das Lernen gleichrangig bedeutend sind (vgl. KATTMANN 2015, S. 15).

Die Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen fachlichen Vorstellungen und Schülervorstellungen ist besonders wichtig, da sich die Methoden und Erklärungen der Fachwissenschaft nicht einfach auf den Unterricht übertragen lassen. Die Lerngegenstände werden im Gegensatz zu den Fachwissenschaften in einem individuellen und gesellschaftlichen Kontext dargestellt, damit die besondere Bedeutung des Inhalts für den Lernenden hervorgehoben werden kann. Nur so kann vom Lernenden eine adäquate Vorstellung konstruiert werden (vgl. KATTMANN et al. 1997, S. 3).

3 Forschungsstand

Im folgenden Kapitel wird eine Auswahl an Studien aus der Geographie, Biologie, Chemie und Physik vorgestellt, die auf eine Umstrukturierung von Schülervorstellungen zielen. Ebenso wird auf Untersuchungen eingegangen, in der Alltagsvorstellungen zum Aufbau des Erdinneren behandelt wurden.

Zur Feststellung des Forschungsstands wurde u. a. der Fokus auf die Ludwigsburger-Luzerner Bibliographie (LLBG) gelegt. Sie ist eine systematisch aufbereitete Bibliographie über Forschungsarbeiten und Grundlagenliteratur zu Schülervorstellungen bzw. Alltagsvorstellungen und Conceptual Change in der Geographie und den Geowissenschaften (vgl. <https://www.ph-ludwigsburg.de/llbg.html>). Mit über 600 Forschungsarbeiten (letzter aktualisierter Stand: 04. 08. 2011) umfasst diese Bibliographie schon ein recht weites Forschungsspektrum. Dennoch existieren hier keine Studien über die Umstrukturierung von Schülervorstellungen zum Aufbau der Erde. Ebenfalls wurde keine Forschungsarbeit in grundlegender Literaturrecherche entdeckt, die den Themenbereich Aufbau der Erde aufgreift und einen Conceptual Change in einer didaktisch aufbereiteten Lernumgebung in Vermittlungsexperimenten nach den wesentlichen Anforderungen von POSNER et al. (1982) einleitet. Hieraus ergibt sich die Legitimation der vorliegenden Dissertation.

3.1 Umstrukturierung von Schülervorstellungen

In folgenden Tabellen werden ausgewählte Untersuchungen zu den Umstrukturierungen von Schülervorstellungen aus den Naturwissenschaften Geographie, Biologie, Chemie und Physik dargestellt. Die Studien sind nach den Erscheinungsjahren sortiert. Anschließend ist die Tabelle jeweils detailliert beschrieben, sodass eine Beurteilung des Forschungsstandes zu den Umstrukturierungen von Schülervorstellungen erfolgen kann.

Geographie

Tab. 1: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Geographie

Autoren	Ziel	Methode	ProbandInnen
REINFRIED (2015)	Untersuchung der Entwicklung von Wissen über Porenquellen	Lernpfadanalyse Fallstudie Interview Schülerzeichnungen Gesprächsaufzeichnungen	7. Jahrgangsstufe
REINFRIED, AESCHBACHER, KIENZLER & TEMPELMANN (2013)	Wirksamkeit einer didaktisch rekonstruierten und lernpsychologisch optimierten Lernumgebung zum Thema Wasserquellen und Gebirgshydrologie	Pre-, Post- und Follow-up-Test Versuchsgruppe Vergleichsgruppe Fragebogen Schülerzeichnungen und -texte	7. Jahrgangsstufe
PETER (2012)	Praktische Umsetzung des Conceptual-Change-Ansatzes im Erdkundeunterricht, bei dem die Momente der Vorstellungsveränderung von den SchülerInnen erkennbar werden.	Schülerzeichnungen Mindmap zu Alltagsvorstellungen und Neugestaltung mit fachwissenschaftlichen Vorstellungen	6. Jahrgangsstufe
REINFRIED, AESCHBACHER & ROTTERMANN (2012)	Entwicklung von Lernmaterialien zum aktiven kognitiven Lernen im Themenbereich Treibhauseffekt	Pre-, Post- und Follow-up-Test Versuchsgruppe Vergleichsgruppe	8. Jahrgangsstufe
REINFRIED, ROTTERMANN, AESCHBACHER & HUBER (2010b)	Entwicklung einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung zum Themenbereich Treibhauseffekt	Pre-, Post- und Follow-up-Test Versuchsgruppe Vergleichsgruppe Fragebogen Schülerzeichnungen und -texte Video	8. Jahrgangsstufe

(Quelle: Eigene Darstellung)

REINFRIED (2015) analysierte Wissenskonstruktionsprozesse von 12-jährigen Lernenden bei ihrer Arbeit mit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung zum Thema Porenquellen. Mithilfe von fallbasierten Lernpfadanalysen wurden die Veränderungen des Vorwissens der SchülerInnen innerhalb ihres Lernprozesses untersucht und

rekonstruiert. Auf diese Art sollten lernhinderliche und lernförderliche Möglichkeiten von Vorstellungsveränderungen verdeutlicht werden. Die Ergebnisse der Studie veranschaulichen, dass Lernen ein kognitiver Konstruktionsprozess ist. Ebenso wurde deutlich, dass eine empirisch validierte Lernumgebung zwar den Wissenserwerb sowie dessen Behaltensleistung steigern kann, doch bedingt sie nicht unbedingt den intendierten Lernprozess.

In der Studie von REINFRIED et al. (2013) wurde 13-Jährigen eine didaktisch rekonstruierte Lernumgebung zu dem Themenbereich Quellen zur Verfügung gestellt. Sie sollten hiermit ihre subjektiven Vorstellungen zu einem adäquaten Konzept umstrukturieren. Es wurde eine Interventionsstudie mit einem Pre-, Post- und Follow-up-Test durchgeführt, wobei Fragebögen, Schülerzeichnungen und -texte der Evaluation dienten. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Wissenserwerb gesteigert wurde und über einen Zeitraum von zwei Monaten sogar relativ stabil gehalten werden konnte, das als Hinweis für tieferes Lernen verstanden werden konnte.

PETER (2012) untersuchte primär folgende Fragestellung: Wie kann eine praktische Umsetzung des Conceptual Change im Erdkundeunterricht erfolgen, bei welchem die Momente der Vorstellungsveränderung bei den SchülerInnen erkennbar werden? Der Aufbau orientierte sich an REINFRIED (2007), bei dem das Thema Verlauf des Grundwassers untersucht wurde. Um die Momente der Vorstellungsveränderung festzustellen, wurde eine Mindmap verwendet. Da die Alltagsvorstellungen hin zu fachwissenschaftlichen Vorstellungen schrittweise verändert wurden, erhielt die Methodik die Bezeichnung Reconstruction Map. Die Durchführung der Unterrichtseinheit beanspruchte sieben Unterrichtsstunden und einen Projekttag. Damit ist sie sehr komplex und nur schwer in den Unterrichtsalltag zu integrieren. Die Studie von PETER (2012) zeigte sich als schülerorientiert und ein Conceptual Change war bei den /nnen erfolgreich.

REINFRIED, AESCHBACHER und ROTTERMANN (2012) entwickelten Lernmaterial zum aktiven kognitiven Lernen im Themenbereich Treibhauseffekt, damit auch ein tieferes Verständnis bei SchülerInnen entwickelt werden konnte. Die Materialien basieren auf der Theorie der Argumentation und des Verständnisses, mitbegründet von dem Schweizer Schulpsychologen AEBLI. In einem Pre-, Post- und Follow-up-Test wurde die Wirksamkeit der Lernmaterialien im Vergleich zu Standard-Lernmaterialien getestet. Insgesamt haben 289 Achtklässler, die wenig in den Naturwissenschaften unterrichtet wurden, an der Studie teilgenommen. Es wurde eine Kombination von quantitativen und

qualitativen Methoden verwendet. Als erfolgreiche Theoriegrundlage erwies sich das Modell der didaktischen Rekonstruktion. Die Ergebnisse zeigen auf, dass die theoriebasierten Lernmaterialien die aktiv kognitive Verarbeitung während des Lernens fördern. Das Design der Lernmaterialien scheint die Lernenden in hohe kognitive Aktivitäten zu verwickeln, wodurch ein tief konzeptionelles Verständnis des komplexen und abstrakten Konzepts des Treibhauseffekts erreicht wurde.

REINFRIED et al. (2010b) untersuchten in einer instruktionspsychologisch optimierten Lernumgebung zum Treibhauseffekt die beständige Veränderung von Alltagsvorstellungen. In einer Interventionsstudie wurde mit einem Pre-, Post- und Follow-up-Test Lernende der 8. Jahrgangsstufe analysiert. Die Lernumgebung bestand aus Arbeitsblättern sowie einem Film zu einem Experiment. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass mit der entwickelten Lernumgebung ein hoher Wissenserwerb einherging und die Behaltensleistung von einem Zeitraum über zwei Monaten sehr hoch war.

Biologie

Tab. 2: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Biologie

Autoren	Ziel	Methode	ProbandInnen
FRANKE (2011)	Ermittlung von Schülervorstellungen zur Gentechnik Auswirkungen eines Praktikumsbesuchs mit Berücksichtigung von Schülervorstellungen im experimentellen Unterricht im Demonstrationslabor Biogentechnik (z. B. im Hinblick auf kognitive Leistungen oder affektive Faktoren)	Interventionsgruppe Kontrollgruppe Fragebogen Konfrontationsmethode	10. Jahrgangsstufe
NIEBERT (2010)	Entwicklung von Lernangeboten zur Vermittlung der zentralen Aspekte des Klimawandels	Interview Fragebogen Video	11. und 12. Jahrgangsstufe
PACH & RIEMEIER (2007)	Verbesserung des Unterrichts zum Thema Blutkreislauf Entwicklung von Lernangeboten auf Basis von Schülervorstellungen	Vermittlungsexperimente	8. Jahrgangsstufe
BURGER (2001)	Ermittlung von Schülervorstellungen im Bereich Energie im biologischen Kontext Entwicklung von vier Strategien zur Unterrichtsplanung auf der Basis von Schülervorstellungen	Assoziationstest Fragebogen mit freier Antwortmöglichkeit Multiple-Choice-Test Visualisierung Halbstandardisiertes Interview mit Interviewleitfaden Protokollierung von Unterrichtssequenzen	5., 8., 10., 11. und 13. Jahrgangsstufe

(Quelle: Eigene Darstellung)

FRANKE (2011) untersuchte mithilfe eines Fragebogens zunächst Schülervorstellungen zu Begriffen und Prozessen der Gentechnik. Diese Ermittlung der Schülervorstellungen war für die Durchführung seiner drei weiteren Studien notwendige Voraussetzung, die sich mit der grundlegenden Frage beschäftigte, ob und wie sich die Berücksichtigung von Schülervorstellungen im experimentellen Unterricht im Demonstrationslabor Biogentechnik auf den Wissenserwerb von SchülerInnen auswirkt. Die ermittelten Schülervorstellungen setzte FRANKE gezielt in den Unterricht einer Interventionsgruppe in

die grundlegenden Arbeitsschritte der Gentechnik ein. In einem Fragebogen ermittelte er die Anzahl an fachwissenschaftlichen Vorstellungen und Schülervorstellungen sowohl vor als auch nach der Intervention. Ein weiterer Aspekt der Untersuchung bestand in der Überprüfung des Lernerfolgs bei Berücksichtigung und Nichtberücksichtigung von Schülervorstellungen im Lernort Labor. Die zentralen Ergebnisse von FRANKE bestehen darin, dass sich der Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht in vielerlei Hinsicht positiv auf den Lernenden auswirkt. Die SchülerInnen der Interventionsgruppe, deren Vorstellungen im Unterricht nicht explizit angesprochen wurden, bestanden den Wissenstest schlechter als die SchülerInnen, deren Vorstellungen beachtet wurden. Mithilfe der Konfrontationsmethode konnte bei der Interventionsgruppe ein Konzeptveränderung zugunsten der fachlich richtigen Vorstellung erzielt werden.

NIEBERT (2010) leistete mit seiner Untersuchung durch die Entwicklung einer Vermittlungsstrategie einen Beitrag zur Conceptual-Change-Forschung. In den Vermittlungsexperimenten wurden die SchülerInnen mit entwickelten Lernangeboten, die auf Schülervorstellungen basieren, konfrontiert. Darauf aufbauend ließ sich ihre Vorstellungsentwicklung untersuchen und individuelle Denkpfade nachvollziehen. Die Ergebnisse der Studie machten deutlich, dass SchülerInnen oft andere Vorstellungen vom Klimawandel als Wissenschaftler besitzen, jedoch verwendeten sie dieselben Erfahrungen, um fachliche Sachverhalte zu verstehen. Es wurde in den Vermittlungsexperimenten gezeigt, dass ein Verständnis für den Klimawandel dadurch erreicht werden kann, indem die Lernenden ihre eigenen Vorstellungen hinterfragen.

In der Studie von PACH und RIEMEIER (2007) wurden in Vermittlungsexperimenten Schülervorstellungen zum Themenkomplex Blutkreislauf in der 8. Jahrgangsstufe analysiert. Ausgehend von Schülervorstellungen wurden Lernangebote entwickelt und durch Vermittlungsexperimente evaluiert. Hierbei erwiesen sich einige Lernangebote als lernförderlich und andere als lernhinderlich, die in Zukunft weiterhin überarbeitet werden müssen. Mit einigen Lernangeboten konnte eine Vorstellungsveränderung herbeigeführt werden. Es konnte nicht zusammenfassend erörtert werden, was sich als lernförderlich oder lernhinderlich erwies.

Das Ziel von BURGER (2001) bestand darin, fundierte schulpraxisnahe Vorschläge für eine effizientere Gestaltung von Biologieunterricht zu entwickeln. Im Fokus stand zunächst die Ermittlung von Schülervorstellungen im Themenbereich Energie im biologischen Kontext. Außerdem wurden Leitlinien zur inhaltlichen und methodischen Gestal-

tung entwickelt sowie erste Praxiserfahrungen mit den entworfenen Strategien gesammelt. In Hinblick auf die unterrichtliche Anwendbarkeit ist nach BURGER zwischen fachlich richtigen und fachlich falschen Schülervorstellungen zu differenzieren. Die fachlich richtigen Vorstellungsinhalte bilden im Sinne der Anknüpfungsmodelle einen Ausgangspunkt für neues Wissen (Strategie 1). Die drei weiteren Strategien berücksichtigen die fachlich falschen Schülervorstellungen, die als lernhinderlich gelten. Conceptual-Change-Modelle ermöglichen eine Veränderung der fachlich unangemessenen Vorstellungen. In der Studie wurde hervorgehoben, dass kognitive Konflikte möglichst handlungs- und problemorientiert behandelt werden sollten, z. B. durch Experimente oder Modelle. Die fachlich falschen Vorstellungen lassen sich durch aktives Handeln bestätigen (Strategie 2) oder auch nicht (Strategie 3). Wenn die Fehlvorstellungen nicht überprüft werden können, kann es z. B. an mangelnder Unterrichtszeit oder am fehlenden Versuchsaufbau liegen, der für den Einsatz im Unterricht passend wäre, um den Inhalt der Fehlvorstellung in einen kognitiven Konflikt zu bringen. Die letzte Strategie nach BURGER (2001) besteht darin, absichtlich fachlich falsche Vorstellungen im Unterricht nicht zu thematisieren und den Unterricht daran vorbei zu gestalten, da sie bei SchülerInnen zu Lernschwierigkeiten führen können.

Folgende Zusammenfassung verdeutlicht die vier Strategien, die zur Unterrichtsplanung entwickelt wurden (vgl. BURGER 2001, S. 258):

1. Strategie:

Aktives Nutzen von fachlich richtige Schülervorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ im Unterricht zum Anknüpfen von neuen Wissensinhalten (Effektiveres Lernen durch Verankern von neuem Wissen in fachlich richtigem und damit kontextflexiblem Vorwissen)

2. Strategie:

Thematisierung von Fehlvorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ durch im Unterricht initiierte kognitive Konflikte (Effektiveres Lernen durch Hervorheben und Bewerten von Vorstellungen durch aktives Handeln)

3. Strategie:

Thematisierung von Fehlvorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ ohne im Unterricht initiierte kognitive Konflikte (Effektiveres Lernen durch Ausschließen bzw.

Bestätigen von Vorstellungen im Unterrichtsgespräch durch logisches Schlussfolgern ohne aktives Handeln)

4. Strategie:

Absichtliche Nicht-Thematisierung von Fehlvorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ im Unterricht (Effektiveres Lernen durch geplantes Umgehen von Fehlvorstellungen)

Die erste Strategie wurde von BURGER nicht weiter untersucht, da die fachlich richtigen Schülervorstellungen nicht als lernhinderlich gelten und hier lediglich angeknüpft werden sollte. Die zweite Strategie erwies sich in der Praxis oftmals als unpassend, da für viele Schülervorstellungen keine geeigneten Experimente gefunden wurden, die einen gewünschten kognitiven Konflikt initiieren würden. Erfolgreich konnten hingegen die Strategien drei und vier durchgeführt werden.

Chemie

Tab. 3: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Chemie

Autoren	Ziel	Methode	ProbandInnen
SCHMIDT (2010)	Entwicklung von Unterrichtselementen auf Basis des Forschungsstands zu Schülervorstellungen zum Stoff-Teilchen-Konzept, die eine aktive Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen zum Ziel haben und im Feld erprobt wurden.	Lernbegleitbogen	7., 8. und 9. Jahrgangsstufe
DÖRFLER (2008)	Entwicklung und Evaluation eines exemplarischen Unterrichtskonzepts zur Neutralisationsthematik	Methodentriangulation Fragebogen Interview Experimentalgruppe Kontrollgruppe	10. Jahrgangsstufe
PETERMANN, FRIEDRICH & OETKEN (2008)	Entwicklung eines Unterrichtsverfahrens, in dem Schülervorstellungen eine besondere Berücksichtigung erfahren und gezielt thematisiert werden. Konzeption und Umsetzung die-	Fragebogen Lehrer-Schüler-Gespräch	8., 9., 10., 12. und 13. Jahrgangsstufe

	ses Verfahrens exemplarisch an einer Unterrichtseinheit zum Themenbereich Gesetz der Erhaltung der Masse		
--	--	--	--

(Quelle: Eigene Darstellung)

SCHMIDT (2010) entwickelte Unterrichtselemente zum Stoff-Teilchen-Konzept, wobei eine aktive Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen stattfand und diese im Feld erprobt wurden. Die Unterrichtseinheiten wurden durch zwei aufeinanderfolgende Fallstudien untersucht. Als Untersuchungsinstrument wurden Lernbegleitbögen entwickelt und die Abläufe durch Videoaufnahmen dokumentiert. Im Gegensatz zu klassischen Pre-Post-Tests wurden die Lernbegleitbögen mit Antworten den ProbandInnen wieder ausgehändigt, damit der Wissensstand reflektiert werden konnte. Mit der Untersuchung ging nicht nur eine positive Umstrukturierung von Schülervorstellung einher, sondern auch ein Fundus an Materialien. Die neu entwickelte Methode „Lernbegleitbogen“ hat sich als lukrativ erwiesen.

DÖRFLER (2008) beschreibt die Entwicklung und Evaluation eines exemplarischen Unterrichtskonzepts zur Neutralisationsthematik. In einer Klasse wurde das neu entwickelte Unterrichtskonzept erprobt (Experimentalgruppe) und in zwei Parallelklassen fand der traditionelle Unterricht statt (Kontrollgruppen). Die Ergebnisse machten deutlich, dass die Experimentalgruppe in den Fragebögen eindeutig bessere Ergebnisse aufwies und damit weniger Fehlvorstellungen vorhanden waren. Dies belegen auch die Ergebnisse der Interviews, sodass insgesamt eine Verbesserung der einzelnen Schülervorstellungen innerhalb der Experimentalgruppe im Vergleich zu den ProbandInnen der Kontrollgruppen sichtbar wurde. Hieraus resultiert die positive Wirkung der Berücksichtigung von Schülervorstellungen im einführenden Unterricht zur Neutralisationsreaktion.

In der Studie von PETERMANN, FRIEDRICH & OETKEN (2008) lag der Fokus auf einem Unterrichtsverfahren, in dem Schülervorstellungen besonders berücksichtigt und gezielt thematisiert wurden. Außerdem wurde die methodisch-didaktische Konzeption und deren Umsetzung beispielhaft an einer Unterrichtseinheit zum Thema Gesetz der Erhaltung der Masse verdeutlicht. Es konnte aufgezeigt werden, wie im Unterricht eine intensive inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen erfolgen kann.

Physik

Tab. 4: Untersuchungen zur Umstrukturierung von SV in der Physik

Autoren	Ziel	Methode	ProbandInnen
MUTH & WINKELMANN (2014)	Die Auswirkungen der Art des Experimentierens auf Schülervorstellungen (Kochbuch, Guided und Demo)	Fragebogen	7. Jahrgangsstufe
WILHELM (2005)	Entwicklung eines Unterrichtskonzepts zu dem Thema Kinematik- und Dynamikunterricht, das durch den Einsatz bildlicher Repräsentationen den SchülerInnen das Verstehen der newtonschen Mechanik erleichtert.	Fragebogen Paper-Pencil-Test Treatmentgruppe Kontrollgruppe	11. Jahrgangsstufe
MÜLLER & WIESNER (2002)	Entwicklung eines Münchner Unterrichtskonzepts zur Quantenmechanik Erhebung von Schülervorstellungen und den Lernzuwachs nach einer Intervention Veränderung des Interesses durch die Beschäftigung mit der Quantenphysik	Fragebogen Interview Experimenttalgruppe	12. und 13. Jahrgangsstufe

(Quelle: Eigene Darstellung)

MUTH & WINKELMANN (2014) untersuchten den Lernzuwachs nach einer Intervention. Das Ziel der Fragebogenerhebung bestand darin, zu erforschen, welche Auswirkung die Art des Experimentierens auf die Schülervorstellungen hat. Um die Art des Experimentierens zu differenzieren, wurde die Unterrichtseinheit dreimal unterschiedlich strukturiert, wobei der Grad der Schüleraktivität variiert wurde:

- Kochbuch: Detaillierte Experimentieranleitung
- Guided: Arbeitsauftrag zum Experiment
- Demo: Vorführung der Experimente durch die Lehrkraft

Im Fokus standen der Zusammenhang zwischen Antwort und Begründung sowie die Einschätzung darüber, wie sicher sich die SchülerInnen bei der Beantwortung der Fragen fühlten. Die Ergebnisse zeigen, dass ein erheblicher Anteil an SchülerInnen mit Demo- und Guided-Experimenten Fehlvorstellungen aufwiesen. Hingegen bei Schülerinnen, die die Kochbuch-Alternative durchführten, überwiegen die fachlich richtigen Vorstellungen. Doch ist auch zu beachten, dass die Kochbuch-Variante eine tieferge-

hende Auseinandersetzung mit den fachwissenschaftlichen Sachverhalten hemmt und die Antworten der SchülerInnen nahe an den Instruktionen waren. Die Auswertung verdeutlicht ebenso, dass SchülerInnen, die die Aufgabenstellung richtig beantworten, auch sicherer waren, als solche, die eine unangemessene Antwort gegeben haben.

In der Untersuchung von WILHELM (2005) wurde ein Unterrichtskonzept für den Kinetik- und Dynamikunterricht zu Beginn der Oberstufe des Gymnasiums entwickelt, das durch den Einsatz geeigneter bildlicher Repräsentationen den SchülerInnen das Verstehen der newtonschen Mechanik erleichtert. Da komplexere Versuche mit mehreren Kräften und Reibung durchgeführt wurden, war eine rechnerunterstützte Aufbereitung mit dynamisch ikonischen Repräsentationen unabdingbar. Die graphische Modellbildung als weiterer Einsatz bildlicher Darstellungen wirkt auch unterstützend beim Verstehen von Sachverhalten. SchülerInnen der Treatmentgruppe wiesen ein besseres Verständnis des newtonschen Kraftbegriffs als die Kontrollgruppe auf.

MÜLLER & WIESNER (2002) entwickelten das Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik. Es ist ein neuer Unterrichtsvorschlag, in dem die begrifflichen Aspekte der Quantenphysik im Mittelpunkt stehen. Es wurden bei der Durchführung nicht nur der Lernerfolg, sondern auch die individuellen Schülervorstellungen zu verschiedenen quantenphysikalischen Sachverhalten erhoben. Im Fokus stand ebenso die Veränderung des Interesses durch die Beschäftigung mit der Quantenphysik. Die Vorstellungen und das Interesse der SchülerInnen wurden mithilfe eines Fragebogens erhoben. Ebenso wurden in einem der Oberstufenkurse gegen Ende der Unterrichtssequenz Interviews erhoben, um die Schülervorstellungen und Lernerfolge festzustellen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Experimentalgruppe einen signifikant besseren Wissenszuwachs als die Kontrollgruppe verzeichnen konnte. Es wurde deutlich, dass die Quantenmechanik korrekt und auf hohem Niveau geeignet unterrichtet werden kann.

3.1.1 Fazit

Es liegen umfassende Untersuchungen zu den Umstrukturierungen von Schülervorstellungen vor allem in den Naturwissenschaften Biologie, Physik und Chemie vor, da hier in diesen Bereichen, wie z. B. in der Physik, schon seit über 30 Jahren geforscht wird (vgl. WILHELM 2008). In der Geographie hingegen rückt die Umstrukturierung von Schülervorstellungen erst seit den letzten Jahren in den Fokus. Somit stellt dies im Gegensatz zu den anderen Naturwissenschaften ein noch recht unerforschtes Gebiet in der Geographie dar.

3.2 Schülervorstellungen zum Aufbau des Erdinneren

In folgender Tabelle werden Studien zu Schülervorstellungen zum inneren Aufbau der Erde dargestellt. Die Reihenfolge der Untersuchungen richtet sich, wie bereits in Abschnitt 3.1, nach dem Erscheinungsjahr. Im Anschluss an die Tabelle werden die Untersuchungen kurz beschrieben, sodass eine Beurteilung des Forschungsstandes zu den Schülervorstellungen zum Aufbau des Erdinneren erfolgen kann.

Tab. 5: Untersuchungen von SV zum Aufbau der Erde

Autoren	Ziel	Methode	ProbandInnen
CONRAD (2014)	Entwicklung von didaktischen Leitlinien zur Vermittlung der Theorie der Plattentektonik	Interview Fragebogen Video Schülerzeichnungen	9. Jahrgangsstufe
CLARK, LIBARKIN, KORTZ & JORDAN (2011)	Ermittlung der Vorstellungen zur Plattentektonik von Studierenden nach eines Einführungskurses zur Plattentektonik	Fragebogen	Studierende zu Beginn Ihres Studiums
GAPP & SCHLEICHER (2010)	Ermittlung der Vorstellungen vom Aufbau des Erdinneren	Fragebogen Schülerzeichnungen Interview	3. Jahrgangsstufe
DAHL, ANDERSON & LIBARKIN (2005)	Ermittlung der Interessen und Kompetenzen von LehrerInnen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten	Fragebogen	LehrerInnen
LIBARKIN, ANDERSON, DAHL, BEILFUS & BOONE (2005)	Ermittlung von Vorstellungen zu geowissenschaftlichen Sachverhalten von Studierenden zu Beginn ihres Studiums	Fragebogen Interview	Studierende zu Beginn ihres Studiums
STEER, KNIGHT, OWENS & MCCONNEL (2005)	Entwicklung einer fachlich ähnlichen Vorstellung durch die Anfertigung eines Modells zum Erdinne-	Schülerzeichnungen Interview Pre-, Post- und Follow-Up-Test	Studierende des Einführungskurses Geographie

	ren in einer konstruktivistischen Lernumgebung		
GOBERT (2000)	Ermittlung der Vorstellungen vom Aufbau des Erdinneren	Fragebogen Interview	5. Jahrgangsstufe
KING (2000)	Ermittlung der Vorstellungen vom Aufbau der Erde und der Plattentektonik	Fragebogen	LehrerInnen

(Quelle: Eigene Darstellung)

CONRAD (2014) untersuchte u. a. neben den Vorstellungen auf einer unterrichtsrelevanten Ebene auch die den Vorstellungskonstruktionen zugrunde liegenden Quellbereiche. Alle befragten SchülerInnen gingen in ihren Vorstellungen von einem gegliederten und nicht homogenen Erdaufbau. Dabei konnten zwei Modelle identifiziert werden: das Gesteinsschichtenmodell und das Magmahüllenmodell. Die SchülerInnen gehen nicht wie in der Wissenschaft von einer chemischen Zonierung, sondern von einer thermischen Zonierung aus. Mit der Studie von CONRAD konnte somit erstmals veranschaulicht werden, inwieweit SchülerInnen differenzieren. Die Lernenden verwenden die Fachtermini einer chemischen Zonierung (Erdkern und Kruste), der Begriff Erdmantel fällt verhältnismäßig selten. Statt des Begriffs Erdmantel wird manchmal der Begriff Hülle verwendet. Häufig werden die Erdplatten mit der Kruste gleichgesetzt und nicht differenziert betrachtet. Ebenso wie in den Studien von GAPP & SCHLEICHER 2010, DAHL et al. 2005 UND GOBERT 2000 vertreten die SchülerInnen auch hier die Meinung, dass sich viel Magma im Inneren der Erde befindet.

CLARK et al. (2011) untersuchten von Studierenden die Vorstellungen zum Themenbereich Plattentektonik im Rahmen eines Einführungskurses in die Geowissenschaften. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass viele subjektiven Vorstellungen trotz Besuches des Einführungskurses in die Geowissenschaften weiterhin bestanden. Die subjektiven Vorstellungen werden durch die unangemessenen Farbwahlen in den Lehrbüchern verstärkt. Es lagen bei den Studierenden nach dem Besuch der Lehrveranstaltung keine zusammenhängenden Vorstellungen zur Plattentektonik vor.

GAPP & SCHLEICHER (2010) untersuchten die Alltagsvorstellungen von Grundschulkindern zum Schalenbau der Erde. Die Fragestellung der Studie bezieht sich darauf, welche Vorstellungen SchülerInnen der 3. Jahrgangsstufe zum Aufbau des Erdinneren ha-

ben. Es fanden zwei Untersuchungen statt. In einer Hauptuntersuchung wurde mithilfe eines Fragebogens das Erdinnere gezeichnet und erklärt. In der vertiefenden Studie wurden Interviews zu den Zeichnungen und zu den Bestandteilen des Erdinneren durchgeführt. Es stellt sich heraus, dass auch schon jüngere Kinder von konzentrischen Schalen im Erdinneren ausgehen. Allerdings werden die konzentrischen Kreise inkorrekt als Schlamm, Boden und Wasser beschrieben. Ebenso zeigen die SchülerInnen der 3. Jahrgangsstufe auch die Vorstellung, dass der Erdkern heiß ist und aus flüssigem Magma besteht. Außerdem beschrieben einige der SchülerInnen, dass der Teufel im Erdkern lebt.

DAHL et al. (2005) legten den Fokus auf das Verstehen und das Interesse von LehrerInnen in Bezug auf geowissenschaftliche Themen. Als Methodik wurde ein Fragebogen gewählt. Die Häufigkeit der Themen im Unterricht spiegeln das Interesse der Lehrenden wieder. Im Unterricht werden vor allem Erdbeben und Vulkanismus behandelt, nur gering sind die Themen Aufbau der Erde und Plattentektonik vertreten. Ursächlich für die unzureichende Behandlung im Unterricht ist die Unsicherheit der LehrerInnen. DAHL et al. konnten nachweisen, dass nur ein Drittel der LehrerInnen im Stande waren, die Platten und ihre Lage korrekt zu beschreiben.

Ziel der Studie von LIBARKIN et al. (2005) war es, die Vorstellungen von Studierenden der Geographie zu Beginn ihres Studiums zu untersuchen. Als Methodik wurden der Fragebogen und das Interview gewählt. Sie stellten u. a. fest, dass ein Großteil der Studierenden die Platten unter der Erdoberfläche ansiedeln. Es wurde auch die Vorstellung gezeigt, dass die Platten in der Atmosphäre über der Erdoberfläche schweben. Zwar sind die Studierenden in der Lage, Erdbeben in einem Zusammenhang mit Erdplatten zu sehen, doch nur selten Vulkanismus.

STEER et al. (2005) untersuchten von Studierenden die Vorstellungen zum Aufbau der Erde und ihre Veränderungen durch Interventionen. 95 % der Studierenden vertraten zunächst die Meinung, dass z. B. die Erdkruste mehrere hundert Kilometer mächtig ist. Durch Peer-Group-Diskussionen und Interventionen konnten die meisten subjektiven Vorstellungen beseitigt werden. Ein Vergleich des Kurses vor und nach der Intervention zeigte, dass bis zu 20 % mehr Studenten richtige Antworten zum Aufbau der Erde liefern konnten.

GOBERT (2000) legte mehr den Fokus mehr auf die Untersuchung des Verständnisses zum Aufbau der Erde nach einer Intervention als auf die Erhebung der Schülervorstel-

lungen im Vornherein. Die Studienergebnisse sind jedoch nach SIBLEY (2005) fraglich, da die ProbandInnen fehlerhafte Texte erhielten. Es konnte festgestellt werden, dass nur zwei ProbandInnen die Hitze im Erdinneren als Ursache für die Konvektionsströme sehen. Diese Vorstellung bestand allerdings nicht vor der Intervention, sondern wurde erst danach gebildet.

In der Studie von KING (2000) wurden die Vorstellungen von LehrerInnen analysiert. Der Themenbereich umfasst das Erdinnere und die Plattentektonik. Sie stellten u. a. fest, dass die Hälfte der befragten LehrerInnen nicht wusste, dass der äußere Kern flüssig ist. Außerdem zeigte sich, dass 80 % der ProbandInnen die Vorstellung besitzen, dass der Erdmantel entweder flüssig, teilweise flüssig oder solide ist.

3.2.1 Fazit

Es liegen Studien zu den subjektiven Vorstellungen zum Aufbau des Erdinneren vor. Problematisch zeigt sich v. a. das Verständnis der Zonierung der Erde mit ihren Eigenschaften. Die Basis für die vorliegende Studie ist die Dissertation von CONRAD (2014), in der bereits Schülervorstellungen zum Aufbau der Erde erhoben wurden.

4 Forschungsfragen

Auf Basis der theoretischen Grundlagen (2.) und der Beschreibung des Forschungsstandes (3.) widmet sich dieses Kapitel den Forschungsfragen. In dieser Studie soll untersucht werden, ob und inwieweit ein erfolgreicher Conceptual Change zum Themenbereich Aufbau der Erde initiiert werden kann. Hierfür wurde eine konstruktivistische Lernumgebung entwickelt, mit dessen Hilfe der Conceptual Change zu erreichen ist. Neben der Erhebung des Prä- und Postkonzepts sind lernhinderliche und lernförderliche Interventionen für einen Conceptual Change zu untersuchen. Es ist auch zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zwischen Interesse, Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung und fachlicher Nähe des Konzepts besteht. Nach KATTMANN (2007) hat sich das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als angemessene Grundlage für die Entwicklung von Lernumgebungen konstituiert. In diesem Modell werden Fachwissen und Alltagsvorstellungen wechselseitig in einen Zusammenhang gebracht, um die Bedingungen für einen lernförderlichen Unterricht abzuleiten.

Die zentrale Forschungsfrage der vorliegenden Dissertation lautet:

Kann und wenn ja, inwieweit ein erfolgreicher Conceptual Change zu Vorstellungen des Aufbaus der Erde durchgeführt werden?

Die Forschungsfrage lässt sich in weitere Teilfragen gliedern:

1. Welche Vorstellungen bestehen vor den Interventionen zum Themenbereich Aufbau der Erde?
2. Welche Vorstellungen bestehen nach den Interventionen zum Themenbereich Aufbau der Erde?
3. Wie verändern sich die Schülervorstellungen durch die didaktisch aufbereitete Lernumgebung?
4. Was sind lernförderliche Interventionen für die Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung?
5. Was sind lernhinderliche Interventionen für die Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung?
6. Besteht ein Zusammenhang zwischen Interesse, zeitlicher Bildung der Vorstellung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung?

5 Forschungsdesign

In diesem Kapitel 5 wird auf das Forschungsdesign eingegangen. Neben dem theoretischen Rahmen der Arbeit sind methodische Überlegungen zum Forschungsdesign veranschaulicht. Die vier Phasen der vorliegenden Untersuchung legen die Struktur der Vermittlungsexperimente fest. Der Schwerpunkt ist schließlich die Lernumgebung, in der ein Conceptual Change initiiert werden soll.

5.1 Modell der didaktischen Rekonstruktion als Grundlage

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion bildet die Grundlage, um lernförderliche Methoden in einer geeigneten Lernumgebung für einen Conceptual Change zu entwickeln. Das Modell besteht aus drei Teilen:

1. Fachliche Klärung
2. Erfassung der Schülervorstellungen
3. Didaktische Strukturierung

Die fachwissenschaftlichen Vorstellungen werden zu den erhobenen Schülervorstellungen so zueinander in Beziehung gesetzt, dass daraus ein Lerngegenstand entwickelt werden kann. Denn fachwissenschaftliche Sachverhalte besitzen keine didaktische Aufarbeitung und können nicht einfach für den Unterricht übernommen werden. Um die fachwissenschaftlichen Gegenstände zu vermitteln ist eine Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen unabdingbar (KATTMANN et al. 1997). Der Schwerpunkt dieser Dissertation liegt auf der Didaktischen Strukturierung, um einen Conceptual Change anhand einer Lernumgebung initiieren zu können. Das Ziel der didaktischen Strukturierung beinhaltet die Formulierung von Leitlinien zur Vermittlung des Themenbereichs Aufbau der Erde sowie die Entwicklung einer angemessenen Lernumgebung.

5.1.1 Fachliche Klärung

Als Quelle der fachlichen Klärung wird die Dissertation von CONRAD (2014) verwendet. In CONRAD (2014) wurde bereits intensiv die fachliche Klärung zum Themenbereich „Aufbau der Erde“ vollzogen.

5.1.2 Untersuchung der Schülervorstellungen

Im Fokus bei der Analyse der Schülervorstellungen steht die innere Gliederung der subjektiven Theorien zu einer fachwissenschaftlichen Thematik. Als Grundlage dient wiederum die Dissertation von CONRAD (2014), in der bereits ausführlich Alltagsvorstellungen zum Aufbau der Erde erhoben wurden. Seine Typen von Schülervorstellungen werden in dieser Studie als Konzeptklassen (6.1.2) verwendet.

5.1.3 Didaktische Strukturierung

Nach KATTMANN et al. (1997) ist die didaktische Strukturierung die Verknüpfung der Ergebnisse der fachlichen Klärung zu den erhobenen Schülervorstellungen. Dabei werden die Theorien der Fachwissenschaften und die der SchülerInnen zueinander in Beziehung gesetzt und verglichen. Die Charakteristika der beiden Richtungen und „*die lernförderlichen Korrespondenzen und voraussehbaren Lernschwierigkeiten*“ sollen somit herauskristallisiert werden (KATTMANN et al. 1997, S. 12). Das Anliegen der Studie ist mithilfe der Analyse der Schüler- und Wissenschaftlervorstellungen den Lernbedarf zu ermitteln und eine geeignete Lernumgebung zum Themenbereich „Aufbau der Erde“ zu entwickeln.

Entwicklung didaktischer Leitlinien für die Lernumgebung

Um eine Lernumgebung entwickeln zu können, sind didaktische Leitlinien notwendig. Da der Aufbau der Erde ein abstraktes und komplexes Thema darstellt, werden in der Lernumgebung vielseitige Lernmaterialien zur Verfügung gestellt. Auf der Grundlage der formulierten Leitlinien in Kapitel 7 in CONRAD (2014) wurden sechs didaktische Leitlinien für die Lernumgebung formuliert. Folgende Tabelle 6 fasst die entwickelten didaktischen Leitlinien zusammen. Sie dienen der Entwicklung der Lernumgebung, um den SchülerInnen den komplexen Sachverhalt klar und anschaulich näherzubringen.

Tab. 6: Didaktische Leitlinien

Leitlinie	Thema
1	Materialien der Erde
2	Verteilung der unterschiedlichen Materialien in der Erde
3	Aufbau des äußeren und inneren Erdkerns
4	Plastizität des Erdmantels
5	Lithosphäre und Asthenosphäre
6	Unterschiede der chemischen und rheologischen Zonierung
7	Zusammenfassung vom Aufbau der Erde

(Quelle: Eigene Darstellung)

Leitlinie 1: Materialien der Erde

Um ein Verständnis für den Aufbau der Erde zu entwickeln, sind zunächst die drei grundlegenden Schalen der Erde zu vermitteln: Erdkern, Erdmantel und Erdkruste. Durch das Verwenden von Exempeln wird der Sachverhalt anschaulich. Es bietet sich an, beispielhafte Materialien der drei Schalen der Erde zur Verfügung zu stellen. Hierzu zählen Eisen für den Erdkern, Olivin für den Erdmantel, Basalt für die ozeanische Kruste und Granit für die kontinentale Kruste. Die Materialien unterscheiden sich durch ihre Dichte (GROTZINGER & JORDAN 2017). Die Dichte ist bei der Wissensentwicklung neben den unterschiedlichen Materialien auch als Schwerpunkt zu berücksichtigen. Damit der Aspekt der Dichte noch mehr hervorgehoben werden kann, können beispielsweise die Materialien im gleichen Volumen dargestellt werden.

Leitlinie 2: Verteilung der unterschiedlichen Materialien in der Erde

Nachdem in der 1. Leitlinie die drei Schalen der Erde und deren Dichte mit beispielhaften Materialien dargestellt wurden, liegt der Fokus der 2. Leitlinie auf der Verteilung der Materialien in der Erde. Dabei sollte nicht nur deren aktuelle Verteilung (höchste Dichte im Erdkern bis zur niedrigsten Dichte in der kontinentalen Kruste) im Vordergrund stehen, sondern auch die Verteilung zu Beginn der Erdentstehung (keine Sortie-

rung der Dichte nach). Es ist zu erörtern, wie sich die Materialien von einem Gemisch der Materialien zu einer klaren Dichte-Strukturierung angeordnet haben.

Leitlinie 3: Aufbau des äußeren und inneren Erdkerns

In den zwei vorherigen Leitlinien wurde der Fokus auf die drei Schalen der Erde sowie deren Dichteverteilung gelegt. Ab dieser Leitlinie werden die Schalen im Einzelnen besprochen, um eine detailliertere Erarbeitung und Intensivierung der Thematik zu erreichen. In der 3. Leitlinie geht es um den Erdkern. Er besteht hauptsächlich aus einer Eisen-Nickel-Legierung und gliedert sich in einen inneren und äußeren Erdkern, wobei der innere Erdkern fest und der äußere Erdkern flüssig ist. Der enorme Druck, der auf dem inneren Erdkern lastet, lässt sich u. a. als Erklärung anführen, dass die Eisen-Nickel-Legierung einen festen Zustand erlangt. Durch die Druckunterschiede weist die Eisen-Nickel-Legierung im inneren und äußeren Erdkern eine unterschiedliche Dichte auf (GROTZINGER & JORDAN 2017).

Leitlinie 4: Plastizität des Erdmantels

In der 4. Leitlinie steht der Erdmantel im Vordergrund, der durch einen enormen Dichtesprung an der Kern-Mantel-Grenze gekennzeichnet ist. Der Erdmantel befindet sich zwischen dem Erdkern und der Erdkruste. Der Erdmantel zeichnet sich durch zwei große Zonen aus, dem unteren und oberen Erdmantel. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung wird der Erdmantel weniger unterteilt. Es sind vielmehr die Kristallstruktur und Dichte der Materialien, die eine Zonierung des Erdmantels ermöglichen. Ein Teil des oberen Erdmantels wird als Asthenosphäre (griechisch: die „nicht-harte“ Sphäre) bezeichnet und besteht hauptsächlich aus Peridotit. Unterhalb von einer Tiefe von 100 km wird das Gestein geringfügig aufgeschmolzen. Durch das partielle Aufschmelzen können die starren Lithosphärenplatten leichter auf der sich plastisch verhaltenden Asthenosphäre fließen. Der untere Bereich des Erdmantels ist im Gegensatz zur sich duktil verhaltenden Asthenosphäre fest. Mit Zunahme der Tiefe verhält sich das Gesteinsmaterial nicht mehr duktil (verformbar), sondern starr (GROTZINGER & JORDAN 2017). Um den Begriff und die Vorstellung des Erdmantels richtig zu vermitteln, ist somit auf geeignetes Material zurückgreifen.

Leitlinie 5: Lithosphäre und Asthenosphäre

In der Leitlinie 5 soll ein Verständnis von Lithosphäre und Asthenosphäre erreicht werden. In der rheologischen Zonierung wird die Kruste mit dem starren äußersten Teil des Mantels (lithosphärischer Mantel) zur Lithosphäre zusammengefasst, an die sich nach unten ein plastischer Bereich des Mantels (Asthenosphäre) anschließt (s. Leitlinie 4). Die intensivere Behandlung der Thematik ist wichtig, da viele Schülerinnen davon ausgehen, dass die Linien der Küsten den Plattengrenzen entsprechen. Die Grenzen der Kontinente und die Plattengrenzen werden als identisch betrachtet und die Konzepte Kontinent und Platte werden nicht korrekt voneinander getrennt. Im Vergleich zur Platte ist das Konzept Kontinent ein vertrautes Konzept, das die Lernenden nach Auffassung von MARQUES und THOMPSON nutzen, um das unvertraute Konzept Platte zu verstehen. Die Autoren sind der Meinung, dass die Verwendung der Begrifflichkeiten ozeanische Platte und kontinentale Platte diese Problematik beim Lernen verstärkt. Die erhaltenen Informationen von SchülerInnen werden dann in unangemessener Art und Weise interpretiert (MARQUES & THOMPSON 1997). Um den Sachverhalt von Lithosphäre und Asthenosphäre zu begreifen, ist anschauliches und didaktisch adäquates Lernmaterial zur Verfügung zu stellen.

Leitlinie 6: Unterschiede der chemischen und rheologischen Zonierung

Um die Schalen der Erde differenzieren zu können, sind die Unterschiede zwischen der chemischen und rheologischen Zonierung herauszustellen.

Die chemische Zonierung gliedert sich nach ihren chemischen Bestandteilen, d. h. jede Schale der Erde besitzt eine typische chemische Zusammensetzung. So besteht der Erdkern (6370 - 5150 km) vor allem aus einer Eisen-Nickel-Legierung. Der Erdmantel erstreckt sich in der Tiefe von 5150 km bis 2900 km. Gegenüber der Erdkruste weist er Gesteine mittlerer Dichte auf, deren Minerale überwiegend aus Verbindungen bestehen, die Sauerstoff, Magnesium, Eisen und Silicium enthalten. An den Erdmantel schließt sich die Erdkruste an, die im Verhältnis eine maximale Mächtigkeit von 70 km besitzt. Sie ist die dünnste äußerste Schale der Erde mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 8 km unter den Ozeanen und etwa 40 km unter den Kontinenten. Die kontinentale Kruste besteht überwiegend aus Granit und Granodiorit, die ozeanische Kruste überwiegend aus Basalt (GROTZINGER & JORDAN 2017). Die chemische Zonierung gliedert sich wie folgt (Tab. 7).

Tab. 7: Chemische Zonierung der Erde

Chemisch						
Bezeichnung			Material		Kilometer	
Kruste	kontinental	ozeanisch	kontinental	ozeanisch	kontinental	ozeanisch
			Granit und Granodiorit	Basalt	0 - 70	0 - 10
Mantel	oberer		Sauerstoff, Magnesium, Eisen und Silicium		10 bzw. 70 - 400	
	unterer		Sauerstoff, Magnesium, Eisen und Silicium		400 - 2900	
Kern	äußerer		Eisen und Nickel		2900 - 5150	
	innerer		Eisen und Nickel		5150 - 6370	

(Quelle: Eigene Darstellung)

Neben der chemischen Zonierung gibt es die rheologische Zonierung. Als Rheologie wird das Fließverhalten von Materialien bezeichnet. Der Kern gliedert sich in einen inneren und äußeren Erdkern. Der innere Erdkern ist kristallin fest, der äußere Erdkern dünnflüssig. An den äußeren Erdkern schließt sich der Erdmantel an, der im unteren Bereich fest ist. In der rheologischen Zonierung gibt es keine Unterscheidung zwischen Mantel und Kruste, sondern eine Unterscheidung von Asthenosphäre und Lithosphäre. Der obere Bereich des Erdmantels wird als Asthenosphäre bezeichnet und weist eine plastische Konsistenz auf. Die spröde Kruste wird gemeinsam mit dem spröden lithosphärischen Mantel als Lithosphäre bzw. lithosphärische Platte bezeichnet (GROTZINGER & JORDAN 2017). Nachfolgende Tabelle 8 verdeutlicht die rheologische Zonierung, die oftmals auch in der Fachliteratur mit der chemischen Zonierung vermischt wird und so Verständnisschwierigkeiten hervorruft.

Tab. 8: Rheologische Zonierung der Erde

Rheologisch (Fließverhalten)			
Bezeichnung		Eigenschaft	Kilometer
Lithosphäre (lithosphärische Platte)	Kruste	spröde	0-70
	lithosphärischer Mantel	spröde	70-160
Asthenosphäre	Teil des oberen Mantels	plastisch	160-300
Mantel		fest	300-2900
Kern	äußerer	dünnflüssig	2900-5150
	innerer	fest	5150-6370

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Unterschiede werden in den Tabellen 7 und 8 deutlich. Folglich ist es wichtig, beide Zonierungen im Unterricht klar zu trennen, um somit Verständnisschwierigkeiten entgegenzuwirken. In CLARK et al. (2011) wird deutlich, dass der Begriff Platte verwendet wird, um die Asthenosphäre oder ausschließlich den lithosphärischen Mantel zu bezeichnen. Begriffe der rheologischen Zonierung, wie Asthenosphäre und Lithosphäre werden von Lernenden oftmals unterschlagen, wobei Bezeichnungen der chemischen Zonierung wie Erdkern und Erdmantel deutlich häufiger verwendet werden.

Leitlinie 7: Zusammenfassung vom Aufbau der Erde

Um abschließend einen Überblick über den Aufbau der Erde zu erhalten, ist eine Zusammenfassung notwendig. Es ist anschauliches und vielseitiges Lernmaterial zur Verfügung zu stellen. Beispielhafte Materialien der einzelnen Schalen der Erde können für einen Nachbau der Erde verwendet werden, um ein besseres Verständnis von chemischer und rheologischer Zonierung zu erreichen.

Konstruktion von Vermittlungsexperimenten

Mithilfe der eben genannten didaktischen Leitlinien wurden Lernangebote konstruiert (5.4 Lernumgebung nach POSNER et al. 1982). Folgende Tabelle 9 veranschaulicht die didaktischen Leitlinien mit den entwickelten Lernmaterialien.

Tab. 9: Zusammenfassung der didaktischen Leitlinien und der Materialien

Leitlinie	Thema	Material
1	Materialien der Erde	Modell 1: Steinmodell
2	Verteilung der unterschiedlichen Materialien in der Erde	Modell 2: Materialmix
3	Aufbau des äußeren und inneren Erdkerns	Modell 3: Schaumstoffbällchen
4	Plastizität des Erdmantels	Modell 4: Wunderknete Film: Wunderknete
5	Lithosphäre und Asthenosphäre	Modell 5: Platte Arbeitsblatt 1: Ozeanische und kontinentale Kruste
6	Unterschiede der chemischen und rheologischen Zonierung	Arbeitsblatt 2: Chemische und rheologische Zonierung
7	Zusammenfassung vom Aufbau der Erde	Modell 6: Aufbau der Erde

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Lernumgebung zum Themenbereich Aufbau der Erde ist keine geschlossene Unterrichtsstunde. Sie setzt sich aus verschiedenen Modellen, Arbeitsblättern und Filmmaterial zusammen und beansprucht ca. 45 Minuten.

5.2 Methodische Überlegungen

Im Folgenden werden die methodischen Überlegungen der Studie hergeleitet. Ausgehend vom leitfadengestützten Interview (5.2.1) wird in Abschnitt 5.2.2 die Zeichnung als Erhebungsmethode für Schülervorstellungen vorgestellt. Anschließend wird auf die Aspekte eingegangen, die die Gütebestimmung (5.2.3) kennzeichnen.

5.2.1 Leitfadengestütztes Interview

Zur Strukturierung der Untersuchung wurde ein Leitfaden eingesetzt (s. Anlage-Nr. A1). Damit wurde dem Versuchsleiter ein geregelter Ablauf geboten. Der Leitfaden ist nach Interview und Intervention gegliedert, so dass die Vorstellungsentwicklung über die verschiedenen Bereiche klar erkennbar wurde. Während der Dauer der Vermittlungsexperimente konnten die ProbandInnen jederzeit ihre Meinungen und Vorstellungen äußern.

Für die Erhebung einer Vorstellungsentwicklung stellt nach WHITE und GUNSTONE das Interview eine angemessene Methode dar: „*[An] interview is the most direct method, among all the probes, of assessing a person's understanding*“ (WHITE & GUNSTONE 1992, S. 85). Das Interview ist eine sehr anspruchsvolle Methode, da es viel Spielraum bietet und der Versuchsleiter sich zurücknehmen muss. Falls der Versuchsleiter zu sehr eingreift, werden nicht die individuellen Vorstellungen der ProbandInnen erhoben, sondern seine eigenen (vgl. NIEBERT & GROPEGIEBER 2014, S.121 f.).

Es ist wichtig, dass am Anfang eines Interviews eine offene und angenehme Atmosphäre geschaffen wird. Es wird mit einer kurzen Einführungsphase gestartet, in der ein Kennenlernen und eine Erklärung über den Ablauf des Interviews stattfindet. Im weiteren Verlauf des Interviews sind ad hoc-Fragen und Impulse ebenso gestattet, da Sichtweisen gezeigt werden können, die nur durch spontanes Nachfragen deutlich werden. Außerdem hat der Proband die Möglichkeit, seine subjektive Vorstellung noch einmal deutlicher darzustellen und der Interviewer kann seine Ansicht besser nachvollziehen (vgl. NIEBERT & GROPEGIEBER 2014, S. 122 ff.).

Bei der Auslegung der Interviewdaten gibt der Versuchsleiter den Aussagen der ProbandInnen einen Sinn, sogenanntes Fremdverstehen. Denn das Ziel einer fachdidaktischen Forschung ist nicht die Erschließung des fachwissenschaftlichen Phänomenen an sich (Perspektive erster Ordnung), sondern die Vorstellung, die über das fachwissenschaftliche Phänomen herrscht, sowie wie und zu welchem Konzept dieses Phänomen

weiterentwickelt wird (Perspektive zweiter Ordnung). Somit liegt die Absicht der Phänomenographen darin, wie ProbandInnen die Welt wahrnehmen bzw. verstehen und nicht, wie bei den Phänomenologen, nur bestimmte Aspekte der Welt in ihrer Diversität zu erklären (vgl. MARTON 1981, S. 170 ff.).

Ein Fragebogen, der in einem standardisierten Interview durchgeführt wird, legt den exakten Ablauf des Gespräches fest. Ein Leitfaden hingegen ermöglicht eine Orientierung und eine Richtung, wobei das Gespräch nicht zu sehr beschränkt wird. Durch den Leitfaden ist es dem ProbandInnen möglich, Vorstellungen und Emotionen zuzulassen. Es ist hierbei jedoch wichtig, dass der Versuchsleiter mit der Thematik, dem Forschungsstand und der Fragestellung vertraut ist, da er nur so an relevanten Stellen im Gesprächsablauf eingreifen und intensiv nachhaken kann (vgl. NIEBERT & GROPEGIEBER 2014, S. 125 f.).

Nach NIEBERT und GROPEGIEBER werden an einen Interviewleitfaden folgende Ansprüche gestellt (vgl. NIEBERT & GROPEGIEBER 2014, S. 126):

- Es ist eine Übersichtlichkeit zu schaffen, damit das Interview in einer lockeren und natürlichen Gesprächsatmosphäre stattfindet. Außerdem dient der Leitfaden der Steuerung. Der Interviewer sollte nicht von ihm ablesen, denn dadurch wird er nur abgelenkt.
- Der Leitfaden ist nicht mit Details zu überfüllen, da die Erhebung sonst zu keiner allgemeinen Aussage kommt.
- Der Aufbau des Leitfadens ist schlüssig zu gestalten. Dabei stimmt die Sachstruktur der Thematik nicht unbedingt mit der Denkstruktur der ProbandInnen überein.
- Die spontanen Äußerungen und Impulse des Interviewers sind in einer Umgangssprache zu formulieren, da sonst eine zu hohe fachliche Sprache den Redefluss beeinträchtigen könnte. Dabei ist auf die subjektive Theorie und den Wortschatz der ProbandInnen zu achten.
- Der Leitfaden dient nur der Orientierung und sollte den Versuchsleiter nicht zu sehr einschränken.

Das grundsätzliche Ziel besteht darin, die Auffassung der ProbandInnen zu verstehen. Der Interviewleitfaden dient dabei nur als Mittel und Hilfestellung, jedoch keinem Selbstzweck. Dabei dient folgende Äußerung von NIEBERT und GROPEGIEBER als Stüt-

ze bei der Gestaltung eines Leitfadens: „*So offen wie möglich, so strukturiert wie notwendig*“ (NIEBERT & GROPPENGIEßER 2014, S. 126).

Der Leitfaden (s. Anlage-Nr. A1) wurde mehrfach mithilfe von Experten aus der Fachwissenschaft und Fachdidaktik analysiert und weiterentwickelt. Die Interviewfragen wurden auf Basis von CONRAD (2014) entwickelt.

5.2.2 Zeichnung

Bisher liegen nur wenig Forschungsansätze in der geographischen Literatur vor, um Schülerzeichnungen identifizieren zu können. Meistens werden die Schülervorstellungen in Interviews erhoben und analysiert. Neben dem mündlichen Gespräch lassen sich auch Schülervorstellungen über den schriftlichen Weg (z. B. durch eine Concept Map) feststellen. In der vorliegenden Untersuchung werden die Zeichnungen der ProbandInnen verwendet.

Untersuchungsergebnisse von skizzierten Präkonzepten liegen in der Studie von STEER et al. (2005) vor. Studenten wurden aufgefordert, den Aufbau der Erde auf ein Blatt zu zeichnen. Es wurden sechs Kategorien zur Einordnung dieser Präkonzepte gebildet. SCHULER verfasste 2015 in der Praxis Geographie einen Artikel über Schülerzeichnungen im Unterricht, wie geographische Schülervorstellungen als Zeichnungen diagnostiziert und verändert werden können. Wichtig ist, dass die Zeichnung nicht als Wissenstest verstanden wird, sondern dass die ProbandInnen ihre Vorstellungen darstellen, auch wenn diese fachwissenschaftlich nicht korrekt sind. Falls mangelnde Fähigkeiten im Zeichnen vorliegen, so ist es empfehlenswert, die Zeichnung mit Begriffen ergänzen zu lassen, um Verfälschungen vorzubeugen. Sobald SchülerInnen aufgefordert werden, einen Sachverhalt zu illustrieren, aktivieren sie hierzu ihr mentales Modell, um daraus Informationen in graphisch-visueller Hinsicht ableiten zu können. Durch die Entwicklung von Zeichnungen kann ein Zugang zu den mentalen Modellen geschaffen werden, die zu analysieren sind (vgl. SCHULER 2015, S. 9 ff.).

5.2.2.1 Ratingskala zum Interesse

Ende der 20er Jahre seit THURSTONE (1929) und LIKERT (1932) gehören Ratingskalen (Schätzskalen) zu den aussagekräftigen und am häufigsten angewendeten Instrumenten sozialwissenschaftlicher Datenerhebung. Sie zeichnen sich durch ein Bewertungskontinuum auf (z. B. Zustimmung), mit dessen Hilfe verschiedene Merkmale oder Phänomene erhoben werden können. Durch die Ratingskala kann festgestellt werden, in wel-

chem Grad eine Eigenschaft vorhanden ist. In folgender Studie wurde das Interesse mithilfe einer Ratingskala untersucht. Es wurde eine verbale Ratingskala verwendet, um die Stufen der Skala durch eine Bezeichnung näher zu definieren. Durch die verbale Ratingskala lassen sich Unklarheiten in der eigenen Einstufung verringern. Bei zahlreichen Literaturhinweisen zu Skalen wie bei BORG und STAUFENBIEL (2007) werden fünf Stufen empfohlen.

In den Pilotstudien wurden zur Erhebung des Interesses zunächst fünf Stufen zur Verfügung gestellt. Es stellte sich allerdings heraus, dass größtenteils eine neutrale Position, d. h. die Mitte, angekreuzt wurde. Damit es keine Mitte mehr gibt, die angekreuzt werden konnte, wurde die Anzahl der Stufen auf die gerade Zahl vier festgelegt. Die ProbandInnen hatten nun die Möglichkeit vier unterschiedliche Gewichtungen vorzunehmen, in welchem Grad sie ihr eigenes Interesse von sehr hoch, hoch, etwas bis niedrig einschätzen. In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, inwieweit Interesse mit einem erfolgreichen Conceptual Change zusammenhängt.

5.2.2.2 Zeitliche Bildung des Präkonzepts

Nach SCHLÖPKE (1991) ist es bislang noch unerforscht, ob das wiedergegebene Präkonzept überdauernd und stabil (Deep Structures) oder eine spontane ad hoc-Konstruktion (Current Structures) ist. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Präkonzepte der SchülerInnen durch ein Verfahren erhoben, in dem sie ankreuzen sollen, ob sie sich die Vorstellung gerade erst oder schon vorher überlegt haben. Es soll untersucht werden, inwieweit der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung mit einem Conceptual Change zusammenhängt.

5.2.3 Gütebestimmung

Zur Gütebestimmung der Daten werden die Gütekriterien erläutert, die die Untersuchungsergebnisse absichern. Des Weiteren wird auf die Pilotphasen eingegangen, in denen das Material erstmals erprobt wurde.

5.2.3.1 Gütekriterien

Eine Absicherung der Untersuchungsergebnisse über die charakteristischen Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität ist auf Grund des gewählten Forschungsdesigns nur eingeschränkt möglich. Nach KRIPPENDORF (2012) zählen Reliabilität und Validität als Qualitätsstandards für die Inhaltsanalyse.

Reliabilität dient der Zuverlässigkeit und definiert sich durch die „*Stabilität und Genauigkeit der Messung sowie der Konstanz der Messbedingungen*“ (FRIEDRICHS 1973, S. 102). Der Fokus wurde auf die Intracoderreliabilität gelegt, die sich folgendermaßen definiert: „*wenn der gleiche Inhaltsanalytiker am Ende der Analyse nochmals Material (oder relevante Abschnitte) kodiert, ohne seine ersten Kodierungen zu kennen*“ (MAYRING 2010, S. 116). Die Intracoderreliabilität kann nach MERTEN (1995) in Maßzahlen mit akzeptablen Werten berechnet werden. Allerdings merkt MAYRING 15 Jahre später selbst an, dass die Gütekriterien fragwürdig sind und es in diesem Bereich noch keine verpflichtenden Gütekriterien gibt (vgl. MAYRING 2010, S. 116 ff.). Somit wird in der vorliegenden Dissertation auf die Berechnung der Intracoderreliabilität verzichtet. Es wurden in dieser Forschungsarbeit die eindeutigen Interviewaussagen bzw. Zeichnungen mehrmals im zeitlichen Abstand vom Autor codiert und überprüft, ob sie erneut der gleichen Kategorie bzw. Konzept zugeordnet werden konnten. Unsichere und nicht eindeutige Transkriptionsstellen wurden in der Didaktik der Geographie der Universität Bayreuth diskutiert. Außerdem wurde das Gütekriterium der Reliabilität dadurch erfüllt, da die Forschungsergebnisse aus mehreren Vermittlungsexperimenten abgeleitet wurden. Obwohl bei den ProbandInnen unterschiedliche Ausgangsvorstellungen bestanden, konnten ähnliche Postkonzepte erreicht werden. Dies bestätigt die Stabilität und Konstanz der Vermittlungsexperimente.

Validität hingegen prüft, „*ob das gemessen wird, was gemessen werden sollte*“ (FRIEDRICHS 1973, S. 100). Nach KRIPPENDORF (2012) geht die prozessorientierte Validierung im engeren Sinn auf die Gliederung des Leitfadens zurück. Der semantischen Gültigkeit kann entsprochen werden, wenn bei vertiefenden Validierungsinterventionen die Konstruktvalidität beachtet wird. Unter Konstruktvalidität versteht man die Übereinstimmung der Operationalisierung der Interviewinhalte mit der Theorie, die stellvertretend handlungssteuernd sind. Die mehrmalige Diskussion mit didaktischen Fachwissenschaftlern zur Operationalisierung der theoretischen Vorüberlegungen bietet die Möglichkeit, den Leitfaden zu validieren. Der internen Validierung wird entsprochen, wenn das Erhebungsinstrument in sich schlüssig ist. In der vorliegenden Studie sind der Leitfaden und die Zeichnungen angewandte Verfahren, um die Vorstellungen der ProbandInnen festzustellen. Sollte ein Verfahren keinen Aufschluss bringen, so besteht die Möglichkeit auf das andere zurückzugreifen, um die interne Validierung zu gewährleisten.

Reliabilität und Validität werden als angewandte Gütekriterien in der qualitativen Forschung kritisiert, da im Gegensatz zur quantitativ messbaren Forschung nur Daten durch das Prinzip des Verstehens erhoben werden. Folglich ist dieses Prinzip ein limitierender Faktor in der Gültigkeit der beiden Gütekriterien (SMITH 1984, 1990). Nach MAYRING (2015) ist stets die Gegenstandsangemessenheit vor der Systematik zu verfolgen. Damit verfällt die Problematik der quantitativen Forschung. Nur so kann eine vernünftige, bedeutungsvolle und methodisch abgesicherte qualitative Forschung betrieben werden (vgl. MAYRING 2015, S. 131).

5.2.3.2 Pilotphasen

Ziel der beiden Pilotphasen bestand darin, den Ablauf mit seinen Lernmaterialien zu erproben. Dieser Rahmen diente dafür, Fehler sowie Verbesserungsbedarf zu erkennen und anschließend zu beheben, bevor die eigentliche Studie startet. Aus den Diskussionen mit den ProbandInnen in den Pilotphasen wurde die Lernumgebung evaluiert, so konnte eine erprobte und weiterentwickelte Lernumgebung für die Untersuchung verwendet werden. Die Verbesserungen an den Materialien werden im Abschnitt 5.4 Lernumgebung nach POSNER et al. (1982) erläutert.

5.3 Phasen der Untersuchung

Im folgenden Abschnitt werden die vier Phasen der Untersuchung beschrieben. Nachstehende Abbildung 4 verdeutlicht den Aufbau der Studie.

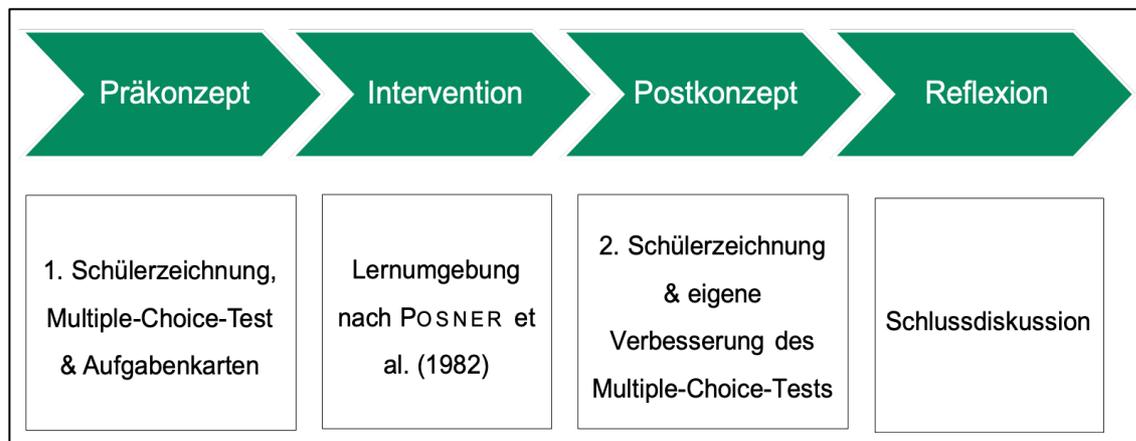


Abb. 4: Phasen der Untersuchung

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es werden nun die vier Phasen der Studie erläutert. Sie bilden den Rahmen für die Initiierung eines Conceptual Change.

5.3.1 Präkonzept

In der ersten Phase der Vermittlungsexperimente steht das Präkonzept der Lernenden im Vordergrund. Der Einstiegsimpuls dient der Eröffnung und bietet den ProbandInnen die Möglichkeit, vielseitig darauf zu reagieren und eigene Vorstellungen offen zu legen. Die SchülerInnen erhalten ein Arbeitsblatt (s. Anlage-Nr. A2), auf dem sie ihre Vorstellungen zum Aufbau der Erde zeichnen. Außerdem werden sie auf der rechten Seite des Arbeitsblatts dazu aufgefordert, ihr Interesse an der Thematik einzustufen. Durch die Erhebung des Interesses kann auf die Motivation zur Bearbeitung der Lernumgebung geschlossen werden. Ebenso sollen sie darlegen, ob sie sich ihre Vorstellung zum Aufbau der Erde gerade erst (Current Structures) oder schon vorher überlegt haben (Deep Structures). Hierdurch soll aufgezeigt werden, ob Vorstellungen bereits vor der Interviewphase existieren (tief verankert) oder ob sie in dem Moment gebildet werden, in dem danach verlangt wird.

Im Anschluss erhalten die ProbandInnen einen Multiple-Choice-Test, in dem Schülervorstellungen aus der Studie von CONRAD (2014) dargestellt sind. Durch das Einschätzen der Aussagen mit „stimmt nicht“ (1) bis „stimmt sehr“ (5) sollen die ProbandInnen

den Wahrheitsgehalt der Aussagen beurteilen, sodass Rückschlüsse auf ihre eigenen fachwissenschaftlich nahen Vorstellungen gezogen werden können.

Des Weiteren erhalten die ProbandInnen Karteikarten mit Fragen zum Aufbau der Erde, die gemeinsam diskutiert werden. Durch die gemeinsame Diskussion lassen sich ebenfalls Rückschlüsse auf die Vorstellungen der ProbandInnen ziehen.

- Aus welchem Material besteht die Erde?
- Warum ist die Erde so aufgebaut?
- Wie ist die Temperatur im Inneren der Erde?

Zusammenfassend lassen sich die Schülervorstellungen in dieser Studie auf drei Wege feststellen: Schülerzeichnungen, Multiple-Choice-Test und die gemeinsame Diskussion über die Karteikarten mit Fragen.

Verbesserungen

Die in den Pilotphasen gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um eine Optimierung des Materials (Abb. 5) zu erreichen. Folgende Punkte wurden hierbei verbessert: Zunächst wurden das Interesse und der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung durch Doppelpfeile (\leftrightarrow) erhoben. Dies führte allerdings zu Unstimmigkeiten und starken Spielräumen in der Zuordnung der ProbandInnen. Deshalb wurden die Doppelpfeile (\leftrightarrow) durch leere Ankreuzfelder (**O**) mit entsprechenden Bezeichnungen ersetzt. Die ProbandInnen geben nur eine Antwort preis, weil sie sich präzise entscheiden müssen. Hiermit wird eine deutliche Klassifizierung der ProbandInnen in der späteren Auswertung gewährleistet. Ebenfalls wurde die Anzahl an Ankreuzmöglichkeiten für das Interesse verringert (5.2.5.2). Das geänderte Arbeitsblatt umfasst die Items: sehr hoch, hoch, etwas und niedrig. Durch die gerade Anzahl gibt es keine Mitte mehr. Die ProbandInnen, die sich eigentlich der Mitte zuordnen würden, werden gezwungen, sich für eine Tendenz zu entscheiden. Dadurch kann die Interessensneigung der ProbandInnen eindeutiger erfolgen.

Probant

Aufbau der Erde

Interesse
 sehr hoch
 hoch
 etwas
 niedrig

Vorstellung
 gerade
 schon vorher
 überlegt

Abb. 5: Arbeitsblatt: 1. Schülerzeichnung

(Quelle: Eigene Darstellung)

5.3.2 Intervention

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, um einen Conceptual Change in einer Lernumgebung durchzuführen (2.3). Da die vorliegende Untersuchung darauf abzielt, ob und wenn ja inwieweit ein Conceptual Change mit lernförderlichen Methoden erreicht werden kann, bietet sich die Methode der Vermittlungsexperimente an. Ausgangspunkt für die Überlegungen bilden die Vermittlungsexperimente nach STEFFE & D'AMBROSIO (1996). Hierbei werden Lernprozesse mithilfe sogenannter „Teaching Experiments“ untersucht. Sie ermöglichen, Schülervorstellungen zu erfassen und den Einfluss von Interventionen auf die bestehenden Schülervorstellungen zu analysieren. Dabei wechseln sich Interview und Intervention ab. Die Interviewphasen werden durchgeführt, um die Schülervorstellungen zu erheben. Die Interventionsphasen dienen der Vorstellungsveränderung. Um den Conceptual Change einzuleiten, werden die ProbandInnen eine Lernumgebung (s. Anlage-Nr. A2) erarbeiten, die sich an den Phasen von POSNER et al. (1982) orientiert. Die detaillierte Lernumgebung wird in Abschnitt 5.4 erläutert.

Der Leiter des Versuches nimmt gleichzeitig zwei Rollen ein. Einerseits ist er Interviewer, indem er die bestehenden Schülervorstellungen ermittelt. Andererseits nimmt er auch die Rolle des Lehrers ein, da die Vermittlungsexperimente durch ihn gegliedert werden und er Förderer des Lernprozesses ist (vgl. WEITZEL & GROPPENGIEßER 2009, S. 291). In der Interventionsphase können neben den geplanten Eingriffen auch spontane

Reaktionen durch den Lehrer erfolgen, um so die Verständnisprobleme der Lernenden zu beheben. Somit ist ein Vermittlungsexperiment ein Balanceakt, da der Versuchsleiter nur bei der Erhebung der Schülervorstellungen, bei der Stellung von Arbeitsaufträgen sowie bei der Klärung von Verständnisproblemen eingreift (vgl. RIEMEIER 2005, S. 147f.).

Nach KOMOREK und DUIT hat das Kleingruppendesign im Gegensatz zum Unterricht im Klassenzimmer folgenden Vorteil: Der Austausch zwischen den Lernenden bleibt durch seine geringe Anzahl in der Gruppe für den Versuchsleiter besser zugänglich und überprüfbar. Durch mehrere ProbandInnen sind Interaktionen untereinander möglich, so dass sie sich bei der Konstruktion von Vorstellungen besser austauschen können und der Versuchsleiter einen geringeren Einflussfaktor darstellt (vgl. KOMOREK & DUIT 2004, S. 619 ff.).

In Vermittlungsexperimenten wird sowohl zwischen Experimentalgruppen als auch Kontrollgruppen unterschieden, um das entscheidende Kriterium der Validität zu gewährleisten. So ist eine *„Kontrollgruppe [...] eine Gruppe von Versuchspersonen, welche untersucht werden, ohne ein experimentelles Treatment erhalten zu haben. Sie dient zur Kontrolle von Störeinflüssen des zwischenzeitlichen Geschehens“* (<http://141.76.19.82/mediawiki/index.php/Kontrollgruppen-Designs>). Dadurch werden Störeinflüsse des zwischenzeitlichen Geschehens, wie z. B. Zeiteffekte oder Reifungseffekte ausgeschlossen. Die vorliegenden Vermittlungsexperimente finden ohne diese Störvariablen statt, da sie in einer Sitzung durchgeführt wurden. RIEMEIER (2003), PACH und RIEMEIER (2007) sowie NIEBERT (2010) wenden ebenfalls in ihren Vermittlungsexperimenten nur Experimentalgruppen an und schließen eine Kontrollgruppe aus. Eine Kontrollgruppe wird somit ebenfalls in der vorliegenden Studie nicht angesetzt.

5.3.3 Postkonzept

Anschließend an die Phase der Intervention folgt die Phase des Postkonzepts. Die ProbandInnen werden dazu aufgefordert, erneut ihre Vorstellungen zum Aufbau der Erde zu zeichnen. Diese Phase dient dazu, das bisher neu konstruierte Wissen darzustellen und neue Wissenszusammenhänge aufzuzeigen. Des Weiteren erhalten die ProbandInnen ihren Multiple-Choice-Test zurück, den sie zu Beginn in der Phase des Präkonzepts bearbeitet haben. Diesen können sie nun selbstständig mit einem Rotstift korrigieren. Die ProbandInnen erhalten durch die Korrektur der eigenen angekreuzten Aussagen die

Gegenüberstellung ihres Prä- und Postkonzepts. Hierdurch kann die eigene Vorstellungsentwicklung bewusst gemacht werden und die neue Theorie gefestigt werden.

5.3.4 Reflexion

Die letzte Phase der Untersuchung ist die Reflexion. In dieser wird mit jedem ProbandInnen eine Schlussdiskussion im Einzelinterview durchgeführt (s. Anlage-Nr. A1). In dem Reflexionsgespräch wird darauf eingegangen, welche Materialien sich auf dem Weg zu einer fachwissenschaftlich nahen Vorstellung als lernförderlich bzw. lernhinderlich erwiesen haben. Ebenfalls wird das Lernen thematisiert, um so Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Lernmaterialien ziehen zu können. Schließlich wird jedes einzelne Material der Lernumgebung abgefragt, inwieweit es hilfreich war, um so die Lernumgebung evaluieren zu können.

5.4 Lernumgebung nach POSNER et al. (1982)

Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, durch lernförderliche Methoden den Conceptual Change von einer Alltagsvorstellung zu einem wissenschaftlichen Konzept zu initiieren. Damit ein Conceptual Change erfolgen kann, müssen die Voraussetzungen des gelungenen Lernens erfüllt werden. POSNER et al. veröffentlichten 1982 vier Bedingungen für einen erfolgreichen Conceptual Change, die hierarchisch angeordnet sind. Um einen erfolgreichen Conceptual Change durchzuführen, müssen die Kriterien Unzufriedenheit, Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit nacheinander durchschritten werden (2.3). Der Lehrende hat die vier Phasen eines Conceptual Change nicht nur zur Verfügung zu stellen, sondern sie sind auch vom Lernenden in der Lernumgebung zu erfassen und zu bewältigen. Diese vier Phasen in Abbildung 6 geben die Struktur für die Gliederung der Lernumgebung vor.

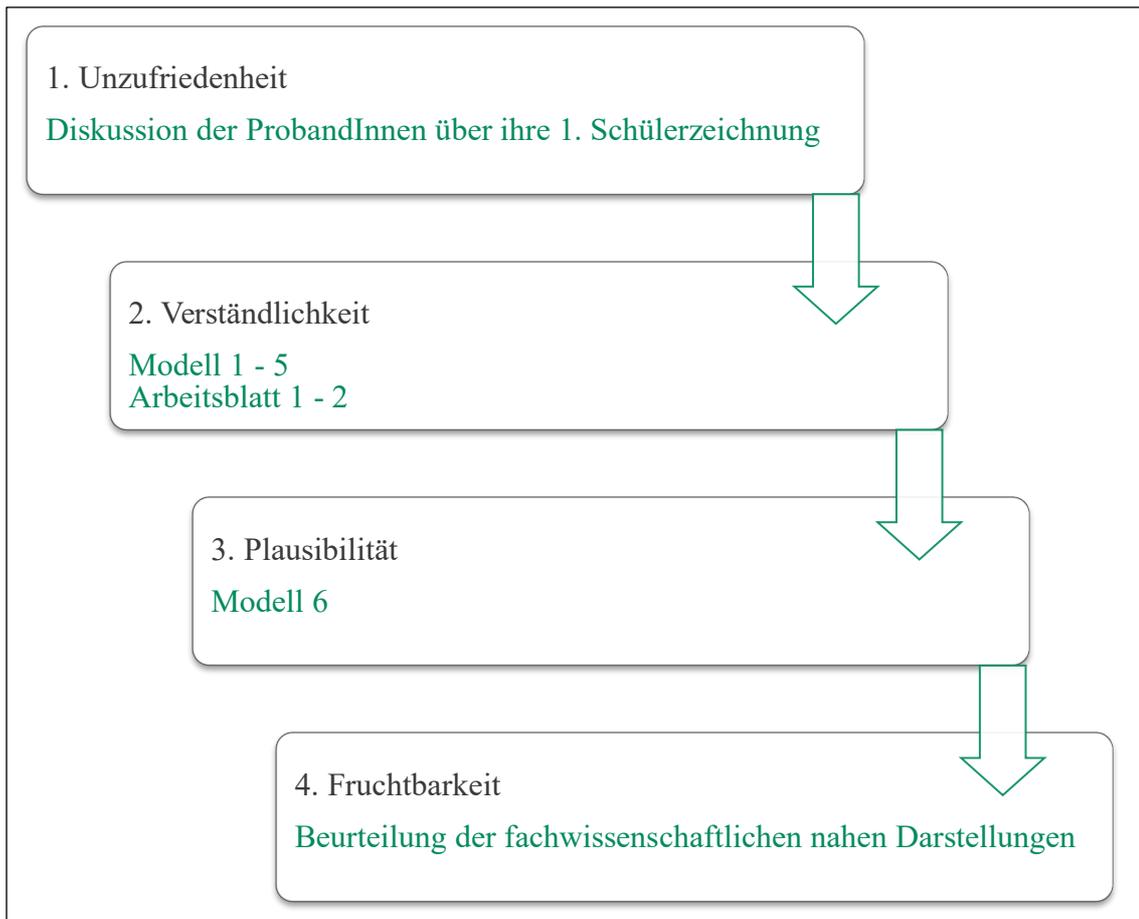


Abb. 6: Zusammenhang der Phasen des CC mit den Lernmaterialien
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die nächsten Abschnitten erläutern die Phasen, die einen Conceptual Change nach POSNER et al. (1982) bedingen. Die Phasen werden mit den Lernmaterialien in einen Zusammenhang gebracht. Es wird auch auf die Materialverbesserungen eingegangen, die in den Pilotphasen diskutiert wurden

5.4.1 Unzufriedenheit

Die erste Bedingung für das Einleiten einer Vorstellungsveränderung ist, Unzufriedenheit beim Lernenden über seine bereits vorhandene Vorstellung (Präkonzept) hervorzu-rufen, da er keine zufriedenstellende Antwort auf eine Fragestellung findet (POSNER et al. 1982). Durch eine gemeinsame Diskussion über ihre 1. Schülerzeichnung offenbaren die ProbandInnen spontane freie Meinungen sowie Einstellungen und stimulieren sich gegenseitig. Durch die unterschiedlichen Konzepte der ProbandInnen soll Unzufriedenheit erzeugt und die Voraussetzung eines Conceptual Change gesetzt werden.

5.4.2 Verständlichkeit

Die zweite Bedingung für einen erfolgreichen Conceptual Change ist die Verständlichkeit der neuen Vorstellung. Mit dem Umstrukturieren der Schülervorstellung ist ein gewisser Sicherheitsverlust und eine Anstrengung verbunden. Deswegen soll die neue Vorstellung rational, verständlich und nachvollziehbar sein. Nur durch eine Verständlichkeit der neuen Vorstellung kann das Wissen langfristig konstruiert und tief verankert werden (POSNER et al. 1982).

In dieser Phase werden in der Lernumgebung fünf Modelle (Steinmodell, Materialmix, Schaumstoffbällchen, Wunderknete und Platte) sowie zwei Arbeitsblätter (ozeanische und kontinentale Kruste sowie chemische und rheologische Zonierung) von den ProbandInnen bearbeitet. Die Lernangebote werden nacheinander eingesetzt (s. Anlage-Nr. A2), um den ProbandInnen ein schrittweises Näherbringen der Sachverhalte und ein Verständnis für ein fachwissenschaftliches Konzept zu entwickeln. Nachfolgend werden die Materialien, die damit verbundenen Lernziele, Aufgabenstellungen sowie die daran vorgenommenen Verbesserungen aus den Pilotphasen erläutert.

5.4.2.1 Das Modell

Durch Modelle lassen sich schwer erfassbare Sachverhalte verständlich repräsentieren (vgl. WIKTORIN 2014, S. 6). Modelle werden in zwei Arten unterschieden: theoretische und konkret-gegenständliche Modelle. Im Gegensatz zu theoretischen Modellen, die zweidimensional sind, weisen konkret-gegenständlichen Modelle eine Dreidimensionalität auf. In der vorliegenden Lernumgebung werden ausschließlich konkret-gegenständliche Modelle verwendet, um die Anschaulichkeit zu erhöhen. Wichtig ist, dass bei der Verwendung von Modellen für Lernprozesse die Grenzen der Modelle aufgezeigt werden. Durch den Vergleich von Modellen mit der Wirklichkeit wird Modellkritik ausgeübt. Modelle sind keine Abbilder der Realität, sondern Rekonstruktionen und Abstraktionen (vgl. SCHUBERT 2013, S. 199 f.).

Modell 1: Materialien der Erde

Die grundlegenden Schalen der Erde stellen für die SchülerInnen ein häufiges Lernhindernis dar (CONRAD 2014). Ziel des 1. Modells ist, ein allgemeines Verständnis für die Anordnung der drei grundlegenden Schalen der Erde mit den zugehörigen Bezeichnungen zu entwickeln. Außerdem soll ein Verständnis für die Dichte geschaffen werden. Denn nur so kann die Anordnung der Materialien in der Erde nachvollzogen werden.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von folgender Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, welche Schalen in der Erde vorzufinden sind. Die ProbandInnen erhalten einen Überblick über die Anordnung der grundlegenden Zonierung, da Erdkern, Erdmantel und Kruste (ozeanisch und kontinental) anhand von Würfeln aus dem entsprechenden Material der Schale veranschaulicht werden. Die Würfel hängen auf unterschiedlicher Höhe, da das gleiche Volumen der einzelnen Würfel mit gleichzeitig unterschiedlichem Gewicht den Sachverhalt Dichte klar veranschaulicht. Gleichzeitig wird eine kleine Infokarte (z. B. Erdkern, Beispiel: Eisen, $7,94 \text{ g/cm}^3$) zur Verfügung gestellt, so dass eine Verknüpfung von dem vorliegendem Material mit der Bezeichnung, der Materialbezeichnung und der Dichte erfolgen kann.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen sortieren die Steine nach ihrem Gewicht.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen ordnen die Karten mit den Bezeichnungen den Steinen richtig zu.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen begründen ihr Vorgehen bei der Anordnung der unterschiedlichen Materialien.
- Lernziel 4: Die SchülerInnen entwickeln ein Verständnis für den Grund der Anordnung des Materials.

Es wurde ein Steinmodell (Abb. 7) mit vier Würfeln (10 cm x 10 cm) entwickelt:

- Erdkruste (kontinental), Beispiel: Granit
- Erdkruste (ozeanisch), Beispiel: Basalt
- Erdmantel, Beispiel: Olivin
- Erdkern, Beispiel: Eisen

Neben dem in einem Stahlbaubetrieb hergestellten Metallgestell, werden vier Kraftmesser mit zwei Einheiten [N] und [g] sowie kleine Infokarten benötigt.



Abb. 7: Steinmodell

(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Befestigt die Steine mit den Kraftmessern an dem Metallgestell.
- Sortiert die Materialien nach ihrem Gewicht.
- Ordnet die Infokarten den Materialien zu und begründet euer Vorgehen.
- Erklärt den Grund für die Anordnung des Materials.
- Vergleicht den Aufbau des Steinmodells mit dem Aufbau der Erde.

Verbesserungen

In den Pilotphasen hatten die ProbandInnen deutliche Probleme, die Materialien nach ihrem Gewicht zu sortieren (s. Lernziel 1). Die in den Pilotphasen gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um eine Optimierung des Materials zu erreichen. Da sich Verständnisschwierigkeiten in der Sortierung der Materialien nach ihrem Gewicht ergaben, wurde das Modell überarbeitet und die Federwaagen durch Verbindungsstücke

überhöht dargestellt. Durch die Überhöhung kann eine deutlichere Sortierung der Materialien nach ihrer Dichte erfolgen und einer Unstimmigkeit entgegengewirkt werden.

Modell 2: Verteilung der unterschiedlichen Materialien in der Erde

Die Anordnung der Materialien in der Erde ist für die Lernenden ein häufiges Lernhindernis (CONRAD 2014). Durch ein mechanisches Trennverfahren können Stoffe aufgrund unterschiedlicher Dichteigenschaften in ihre Einzelbestandteile zerlegt werden. Das zweite Modell Materialmix zielt auf die Vorstellungsentwicklung ab, dass sich Materialien einer losen vermengten Menge mit unterschiedlicher Dichte trennen. Das Modell 2 soll das Verständnis für die Dichte intensivieren.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von der Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass sich Materialien einer lose vermengten Menge ihrer Dichte nach durch Bewegung sortieren. Das Modell Materialmix (Abb. 8) erklärt die Entstehung des Schalenbaus der Erde. Die Basis für das Modell 2 bildet das Modell 1, da hier bereits der Fachbegriff Dichte eingeführt wurde.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen beschreiben den Aufbau des Gefäßinhalts.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erklären die Anordnung im Gefäß, nachdem die Materialien verrührt wurden.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen vergleichen die Verteilung der Materialien vor und nach dem Verrühren und erklären die Unterschiede.
- Lernziel 4: Die SchülerInnen vergleichen den Aufbau des Gefäßinhalts mit dem Aufbau der Erde.

In dem Modell Materialmix werden drei unterschiedliche Materialien, Murmeln, Holzkugeln und Schaumstoffbällchen in weiß und grün, zu Verfügung gestellt. Außerdem werden eine durchsichtige Schale und ein Löffel benötigt.



Abb. 8: Materialmix
(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Beschreibt den Aufbau des Gefäßinhalts.
- Verrührt mithilfe des Löffels die Materialien. Nehmt das Gefäß mit beiden Händen und dreht es am Tisch schnell hin und her. Erklärt die jetzige Anordnung im Gefäß.
- Vergleicht die Verteilung der Materialien vor und nach dem Verrühren. Erklärt, wo die Unterschiede liegen.
- Vergleicht den Aufbau des Gefäßinhalts mit dem Aufbau der Erde.

Verbesserungen

Die in den Pilotphasen gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um eine Optimierung des Materials zu erreichen. Es wurde als Material ein Stab zur Verfügung gestellt. Allerdings eignet sich eine größere Fläche besser für die Vermischung der Materialien. Demzufolge wurde nach den Pilotphasen ein Löffel zur Verfügung gestellt und die Bezeichnung Stab in Löffel auch auf dem Arbeitsblatt geändert (vgl. Pilotstudie 2, Z. 285 - 291). In den Pilotphasen wurden die ProbandInnen aufgefordert, die Materialien mit dem Stab zu verrühren. Eine eindeutige Vermischung der Materialien kann allerdings

nur ergänzend durch kräftiges Schütteln mit beiden Händen und ein schnelles Hin- und Herdrehen am Tisch erreicht werden, so dass die Arbeitsanleitung entsprechend ergänzt wurde (vgl. Pilotstudie 2, Z. 311 - 315). In den ersten beiden Modellen wurde der allgemeine Aufbau der Erde sowie die Dichte behandelt. Für ein tieferes Verständnis für den Sachverhalt Aufbau der Erde ist es unabdingbar, einzeln auf die Schalen einzugehen.

Modell 3: Aufbau des äußeren und inneren Erdkerns

Im dritten Modell Schaumstoffbällchen soll hinsichtlich des Erdkerns ein fachwissenschaftlich nahes Konzept erreicht werden. Die Schwerpunkte liegen auf dem äußeren und inneren Erdkern, die durch starke Druckunterschiede gekennzeichnet sind.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von der Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass zwar der äußere und innere Kern aus dem gleichen Material (Eisen-Nickel-Legierung) bestehen, sie aber dennoch Unterschiede in ihrer Dichte aufweisen. Der innere Erdkern weist trotz höherer Temperaturen im Gegensatz zum äußeren Erdkern einen festen Zustand auf. Das Modell Schaumstoffbällchen (Abb. 9) veranschaulicht den Aufbau des Erdkerns. Dieser gliedert sich in einen inneren (festen) und einen äußeren (flüssigen) Erdkern. Durch die Druckerzeugung mit einem geeigneten Gegenstand werden die Schaumstoffbällchen zusammengedrückt. Dies dient sinnbildlich für den inneren Erdkern (fester Zustand). Indem der Stab wieder aus dem Gefäß genommen wird, ordnen sich die Schaumstoffbällchen wieder in ihrem Ursprungszustand an, weil der Druck nachlässt. Dies entspricht dem äußeren Erdkern (flüssiger Zustand).

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen erklären die Bewegung der Schaumstoffbällchen, wenn das Gefäß rotiert.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erklären, was passiert, wenn die Schaumstoffbällchen fest nach unten gedrückt werden.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen vergleichen die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen.

- Lernziel 4: Die SchülerInnen vergleichen die Zustände der Schaumstoffbällchen mit dem äußeren und inneren Erdkern.

Für das Modell Schaumstoffbällchen werden ein schmales, durchsichtiges Gefäß, Schaumstoffbällchen sowie ein Gegenstand zum Herunterdrücken benötigt. Des Weiteren wird eine Infokarte zum Erdkern zur Verfügung gestellt.



Abb. 9: Schaumstoffbällchen

(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Der Erdkern gliedert sich in einen inneren und einen äußeren Kern. Beide Bereiche bestehen aus demselben Material, einem Eisen-Nickel-Gemisch. Der innere Erdkern ist fest und ca. 4700° Grad heiß. Der äußere Erdkern ist flüssig und ca. 3800° Grad heiß. Wie kann das sein? Stellt Vermutungen an.
- Erklärt, was passiert, wenn das Gefäß gedreht wird.
- Drückt die Schaumstoffbällchen mit dem Gegenstand fest nach unten und dreht das Gefäß. Beschreibt, was passiert.
- Erklärt die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen, wenn einmal die Schaumstoffbällchen zusammengedrückt gedreht und wenn sie ohne Druck gedreht werden.

- Vergleicht die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen mit dem äußeren und inneren Erdkern.

Verbesserungen

In den Pilotphasen stellte sich heraus, dass ein anderer Gegenstand nötig ist, um eine stärkere Druckerzeugung auf die Schaumstoffbällchen zu erzeugen. Es eignet sich ein Gegenstand mit einem adäquaten Umfang des Gefäßdurchmessers (z. B. Pastalöffel) besser zum Herunterdrücken, da sich die gesamten Schaumstoffbällchen nach unten pressen lassen (vgl. Pilotstudie 2, Z. 432 - 441).

Modell 4: Plastizität des Erdmantels

Im vierten Modell Wunderknete soll ein fachwissenschaftlich nahes Konzept des Erdmantels entwickelt werden. Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von folgender Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass der Erdmantel unterschiedliche Eigenschaften besitzt. Der Erdmantel weist im oberen Bereich eine Plastizität auf (Asthenosphäre) und ist im unteren Bereich in einem festen Zustand. Das Modell Wunderknete (Abb. 10) veranschaulicht die Zustände des oberen und unteren Erdmantels. Für die Umsetzung wird Wunderknete und eine Infokarte zum Erdmantel zur Verfügung gestellt. Außerdem wurde ein Video entwickelt, das die unterschiedlichen Eigenschaften des Erdmantels veranschaulicht. Der erste Teil des Videos zeigt das Zerschlagen der Wunderknete mit einem Hammer. Durch den Druck beim Aufschlagen des Hammers verdichtet sich die Wunderknete so sehr, dass es zum Bruch des Materials kommt. Der Hammerschlag dient der Veranschaulichung der Konsistenz des unteren Erdmantels, der ebenfalls fest und spröde ist. Der zweite Teil des Videos zeigt im Zeitraffer das Absinken einer Münze, die in einem durchsichtigen Glas auf Wunderknete gelegt wurde. Die Knete beginnt nach einiger Zeit irreversibel zu fließen, so dass die Münze in die Masse einsinkt. Die ProbandInnen sollen durch das langsame Einsinken der Münze ein Verständnis für die Plastizität im oberen Bereich des Erdmantels entwickeln. Zusammenfassend wird im 4. Modell die Wunderknete durch die Druckerzeugung mit dem Hammer schlagartig zusammengedrückt und bricht. Dies dient sinnbildlich dem unteren Erdmantel. Beim langsamen Einsinken der Münze reagiert die Wunderknete plastisch, wobei dies dem oberen Erdmantel entspricht.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen beschreiben die Eigenschaften der Wunderknete.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erklären, was passiert, wenn mit einem Hammer auf das Material geschlagen wird.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen beschreiben, was passiert, wenn eine Münze auf die Wunderknete gelegt wird.
- Lernziel 4: Die SchülerInnen vergleichen den Hammerschlag auf die Knete mit dem Versuch der Schaumstoffbällchen.
- Lernziel 5: Die SchülerInnen vergleichen die Knete mit dem unteren und oberen Erdmantel.



Abb. 10: Wunderknete

(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Nehmt die Knete in die Hand und beschreibt ihre Eigenschaften.
- Überlegt euch, was passiert, wenn mit einem Hammer auf das Material geschlagen wird.
- Überlegt euch, was passiert, wenn eine Münze auf die Knete gelegt wird.
- Schaut euch das Video an und überlegt euch dabei die unterschiedlichen Eigenschaften des Materials.

- Vergleicht den Hammerschlag auf die Knete mit dem Versuch der Schaumstoffbällchen.
- Vergleicht die Knete mit dem unteren und oberen Erdmantel.

Modell 5: Lithosphäre und Asthenosphäre

Im fünften Modell Platte stehen die Lithosphäre und die Asthenosphäre im Fokus. Die Asthenosphäre befindet sich unterhalb der Lithosphäre, die auch als Platte bezeichnet wird. Die Lithosphäre gliedert sich in den lithosphärischen Mantel und die Kruste (ozeanisch und kontinental). Durch das rheologische Fließverhalten grenzt sich die spröde Lithosphäre von der plastischen Asthenosphäre ab. Die Komplexität des Themas, besonders die ähnlichen Begrifflichkeiten (z. B. Lithosphäre bzw. lithosphärischer Mantel), führt häufig zu Verständnisschwierigkeiten. Das 5. Modell soll Unklarheiten beheben.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von folgender Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass die Konsistenz der Asthenosphäre plastisch und die Lithosphäre bestehend aus lithosphärischer Mantel und Kruste spröde ist. Das fünfte Modell Platte veranschaulicht die rheologische Zonierung im oberen Bereich der Erde. Für die Umsetzung wurde ein Modell aus Styropor (Abb. 11) entwickelt, das aus vier Elementen in unterschiedlichen Farben, zugehörigen Bezeichnungen und Eigenschaften besteht. Das Modell Platte zeigt die Asthenosphäre als plastischen Bereich (gelb). Darüber befindet sich der spröde lithosphärische Mantel (dunkelgrau). Auf dem lithosphärischen Mantel sind die spröde ozeanische (schwarz) und kontinentale (hellgrau) Kruste angeordnet.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen legen dar, wie sie aus den Einzelementen ein sinnvolles Modell zusammenbauen.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen ordnen die Bezeichnungen den Einzelementen zu.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen erklären die Eigenschaften der Lithosphäre und der Asthenosphäre.

- Lernziel 4: Die SchülerInnen vergleichen das Modell mit dem unteren und oberen Erdmantel und erklären die Unterschiede.

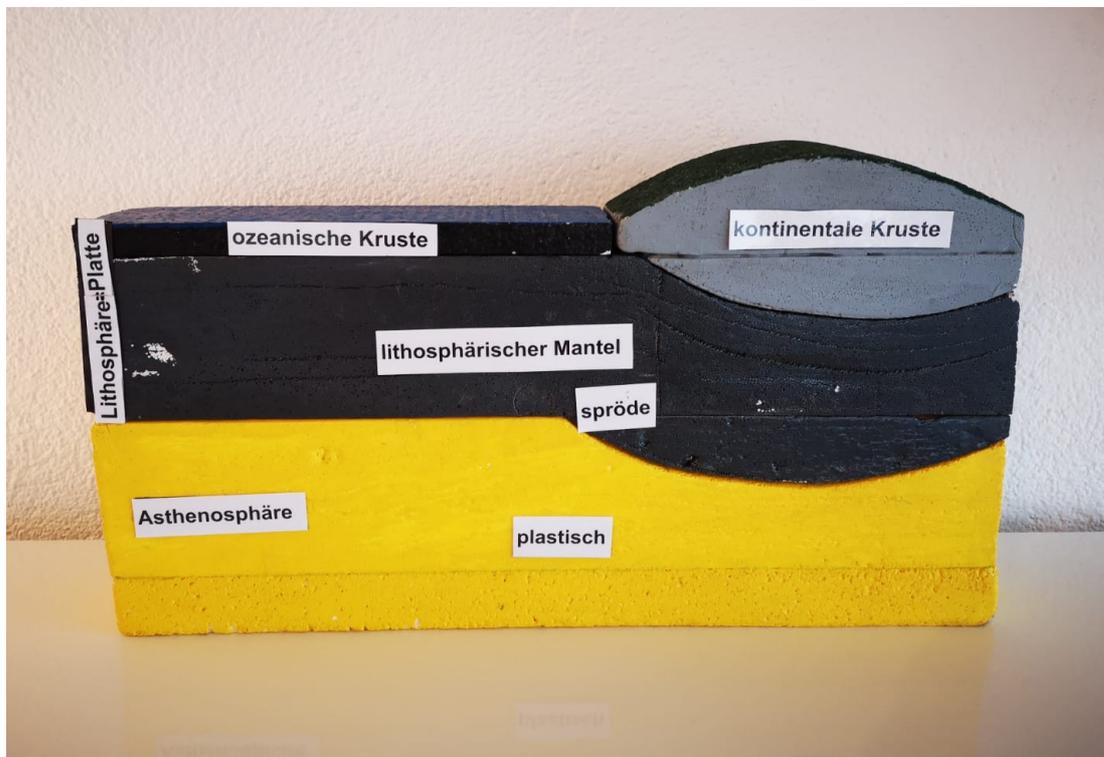


Abb. 11: Platte

(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Baut aus den Einzelementen ein sinnvolles Modell zusammen.
- Ordnet die Bezeichnungen und Eigenschaften den Einzelementen zu.
- Erklärt, woraus eine Platte besteht.
- Beschreibt die Konsistenz unterhalb einer Platte.
- Erläutert die Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Bereiche.
- Beschreibt die Eigenschaften der Lithosphäre und der Asthenosphäre.
- Vergleicht das Modell mit dem unteren und oberen Erdmantel und erklärt die Unterschiede.

5.4.2.2 Das Arbeitsblatt

Das Medium Arbeitsblatt wird auch in der Phase der Verständlichkeit in der Lernumgebung verwendet. Die Vorteile eines Arbeitsblatteinsatzes liegen darin, dass das Lerntempo vom Lernenden selbst bestimmt werden kann. Ebenfalls wird die Aktivität beim Einzelnen angehoben und eine Unterrichtsdifferenzierung ermöglicht (vgl. SITTE 1975, S. 21). Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die unterschiedlichsten Medienarten darauf abgebildet werden können, wie z. B. Blockbilder und Texte. Somit zählt man das Arbeitsblatt zu der Gruppe der Verbundmedien (vgl. BIRKENHAUER 1997, S. 215). Es werden zwei Arbeitsblätter in der Lernumgebung verwendet.

Arbeitsblatt 1: Ozeanische und kontinentale Kruste

Auf dem ersten Arbeitsblatt liegen die Schwerpunkte auf der ozeanischen und kontinentalen Kruste. Die kontinentale Erdkruste bildet zusammen mit der ozeanischen Erdkruste den oberen Bereich der Lithosphäre. Die Mächtigkeit der kontinentalen Kruste ist deutlich höher als die der ozeanischen Kruste. Diesen Zusammenhang von Begriffen und der Mächtigkeit gilt es, den ProbandInnen mithilfe des Lernmaterials verständlich näherzubringen.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von der Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass ein Verständnis für die Lage und die Mächtigkeit der beiden Krusten in der Erde zu entwickeln. Das Arbeitsblatt zeigt auf der rechten Seite den oberen Aufbau der Erde (Lithosphäre: Kruste und lithosphärischer Mantel sowie Asthenosphäre) auf. Neben dem Arbeitsblatt werden zudem zwei Karten (Krusten) in Blau und Grün zur Verfügung gestellt. Die blaue Karte ist die ozeanische Kruste, die grüne Karte die kontinentale Kruste. Das Lernmaterial zeigt anschaulich die Lage der Krusten.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen ordnen die ozeanische und kontinentale Kruste in ihrer Höhe in die Zeichnung ein.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen umranden die Platte und die Kruste in unterschiedlichen Farben und entwickeln somit ein Verständnis für deren Zusammenhang.

- Lernziel 3: Die SchülerInnen nennen aus dem Atlas verschiedene Beispiele. Jeweils ein Beispiel, wo sich nur die ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel und wo sich nur die kontinentale Kruste auf dem lithosphärischen Mantel befindet. Außerdem nennen sie eine Platte, die sich aus kontinentaler, ozeanischer Kruste sowie lithosphärischen Mantel zusammensetzt.

Aufgaben

- Die grüne Karte ist die kontinentale Kruste und die blaue die ozeanische Kruste. Ordnet die ozeanische und kontinentale Kruste in der Höhe in die Zeichnung ein.
- Umrandet die Kruste rot.
- Überlegt euch, aus was eine Platte besteht und umrandet sie gelb.
- Sucht im Atlas Beispiele, wo nur die ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel und nur die kontinentale Kruste auf dem lithosphärischen Mantel ist sowie wo sich die kontinentale und ozeanische Kruste zusammen auf dem lithosphärischen Mantel befinden (DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., Abb. 2).

Verbesserungen

In der 2. Pilotstudie ergab sich als Verbesserungsvorschlag, die grüne und blaue Karte mit Bezeichnungen zu versehen, so dass die Verwechslungsgefahr der beiden Karten verringert werden kann (vgl. Pilotstudie 2, Z. 881 - 884).

Es stellte sich durch die Pilotstudien heraus, dass ein weiteres Hilfsmittel für Vertiefung des Sachverhalts unabdingbar ist. Im DIERCKE Weltatlas (2015) befindet sich eine Weltkarte zur Geotektonik, in der die unterschiedlichen Kruste auf dem lithosphärischen Mantel abgebildet sind (vgl. DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., Abb. 2). Durch den Atlaseinsatz wird das Wissen intensiviert.

Arbeitsblatt 2: Unterschiede der chemischen und rheologischen Zonierung

Die Zonierungen der Erde stellen für die Lernenden ein häufiges Lernhindernis dar, da die rheologische und chemische Zonierung in Schulbüchern häufig vermischt dargestellt werden. Ein Beispiel ist das Erdkundeschulbuch Terra für die 10. Jahrgangsstufe für Gymnasien in Bayern (S. 80 f.). Das zweite Arbeitsblatt der Lernumgebung greift diese Problematik auf und soll den ProbandInnen einen Überblick über die Zonierungen geben.

Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von der Fragestellung geleitet: Wie kann das Lernangebot auf die Vorstellung der Lernenden Einfluss nehmen? Die Vorstellung bezieht sich darauf, dass eine Unterteilung der Erde sowohl chemisch als auch rheologisch möglich ist. Das Arbeitsblatt zeigt einen leeren Ausschnitt der Erde als Tortenstück. Auf der linken Seite befinden sich Kilometerangaben bis zum Mittelpunkt der Erde. Das Tortenstück der Erde ist zweigeteilt und links mit chemisch und rechts mit rheologisch versehen. In den beiden Bereichen sind die beiden Möglichkeiten des Aufbaus der Erde zu entwickeln. Neben dem Arbeitsblatt wird auch ein Informationsblatt zur Verfügung gestellt. Als Tabelle jeweils mit Kilometerangaben ist links die chemischen Zonierung und auf der rechten Seite die Zonierung der Rheologie (Fließverhalten) abgebildet. Das Lernmaterial gibt einen Überblick über die beiden Zonierungen und die Mächtigkeit der Schalen der Erde. Durch das Zuordnen von Begriffen und Eigenschaften werden Zusammenhänge, aber auch Unterschiede aufgezeigt.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen ordnen die Bezeichnungen und die Eigenschaften der chemischen sowie rheologischen Zonierung den Erdausschnitten zu.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erläutern die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der chemischen sowie rheologischen Zonierung der Erde.

Aufgaben

- Tragt die Schichtnamen der chemischen Zonierung in die linke Seite sowie die Schichtnamen und Eigenschaften der rheologischen Zonierung in die rechte Seite ein.
- Erläutert die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zonierungen.

Verbesserungen

Einige Herausforderungen zeigten sich in den Pilotphasen, die wie folgt verbessert wurden. Auf dem Informationsblatt wurden die Tabellen der chemischen und rheologischen Zonierung durch einen gewissen Abstand getrennt, da zuvor zur Unübersichtlichkeit führte. Ebenfalls wurden die Informationen farbig gestaltet, um ein schnelleres visuelles Erfassen zu erreichen und Zusammenhänge aufzuzeigen. Die Vorschläge hierzu waren ozeanische Kruste blau, kontinentale Kruste grün, innerer Erdkern dunkellila, äußerer Erdkern helllila. In der rheologischen Zonierung existiert in der Fachwissenschaft keine klare Definition für den Mantel im Bereich von 300 bis 400 km. Dies sorg-

te allerdings für Verwirrungen bei den ProbandInnen. Somit wurde zur Reduktion der Komplexität der Mantel auf 300 - 2900 km angesetzt (vgl. Pilotstudie 2, Z. 712 - 714). Außerdem wurden auf dem 2. Arbeitsblatt einige Verbesserungen vorgenommen. Es wurden graue Hilfslinien in Verlängerung der Kilometerangaben über das ganze Arbeitsblatt gezogen, damit die Schalen der Erde präziser gezeichnet werden konnten (vgl. Pilotstudie 1, Z. 925-929). Des Weiteren wurde zunächst die obere Kante der Erde rund gestaltet. Es kam beim Zeichnen durch die Abrundung zu Problemen, da der obere Bereich der Erde (vor allem für die Zeichnung der kontinentalen und ozeanischen Kruste) im Maßstab sehr klein ist. Aus diesem Grund wurde die obere Kante des Erdausschnitts begradigt, um das Bearbeiten des Lernmaterials zu erleichtern (vgl. Pilotstudie 2, Z. 670 - 685)

5.4.2.3 Der Film

Das Medium Film ist ebenfalls Teil der Lernumgebung. Die Vorteile des Films liegen auf der Hand. Filmsequenzen lassen sich stoppen und weisen eine beliebige Reproduzierbarkeit auf. Ebenfalls ist es möglich, den Film in Zeitlupe oder im Zeitraffer darzustellen. Zu erwähnen ist außerdem, dass die Darstellung durch den Film (bewegtes Bild) wirklichkeitsnaher als beim statischen Bild ist (vgl. SIEGMUND 2013, S. 84). Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Film aus zwei Sequenzen zur Veranschaulichung der Konsistenz der Wunderknete entwickelt.

Teil 1: Hammerschlag auf Wunderknete

Die Wunderknete mit dem Hammer zu zerschlagen, stellte sich teilweise als Hürde dar, da hierzu ein präziser Hammerschlag mit viel Kraft notwendig war. Es ist empfehlenswert vor der Versuchsdurchführung, die Knete in einen Kühlschrank zu legen, um sie leichter mit dem Hammer in Stücke zu zerschlagen. Denn eine kühlere Temperatur des Materials wirkt sich positiv auf diese Eigenschaft der Wunderknete aus. Die erste Filmsequenz dient der Veranschaulichung des Sachverhalts, dass bei hoher Druckauswirkung das Material in Bruchstücke zerbricht, siehe 2. Lernziel: Die SchülerInnen sollen erklären können, was passiert, wenn mit einem Hammer auf das Material geschlagen wird (s. Modell 3: Wunderknete).

Teil 2: Münze im Zeitraffer

Plastizität ist ein Begriff, unter dem die SchülerInnen sich nur schwer etwas vorstellen können. Um eine Vorstellung für den Sachverhalt der Plastizität zu erreichen, wurde

eine zweite Filmsequenz entwickelt. Eine Münze auf einer Wunderknete sinkt im Zeitraffer bis zum Boden eines Glases ab. Die Filmsequenz veranschaulicht die Thematik, dass Stoffe dazu fähig sind, sich unter einer Krafteinwirkung nach Überschreiten einer Fließgrenze irreversibel zu verformen (fließen) und diese Form nach der Einwirkung beizubehalten. Dies dient allegorisch für die Asthenosphäre, siehe drittes Lernziel: Die SchülerInnen sollen beschreiben können, was passiert, wenn eine Münze auf die Wunderknete gelegt wird (s. Modell 3: Wunderknete).

5.4.3 Plausibilität

Das Anliegen der 3. Phase eines Conceptual Change ist, dass eine neue Vorstellung plausibel erscheint. Dazu muss das wissenschaftliche Konzept dem Lernenden mehr Aspekte der Erklärungsmächtigkeit als das bisher genutzte Präkonzept bieten. Nur so wird die neue Vorstellung zu einer Erklärung eines Sachverhalts hinzugezogen. Der fachliche Ansatz ist umso besser integriert, je mehr er mit der übrigen Vorstellungswelt des Lernenden übereinstimmt (POSNER et al. 1982).

Modell 6: Zusammenfassung vom Aufbau der Erde

Fachwissenschaftlich theoretisches Wissen kann durch die praktische Anwendung vertieft werden. Ziel des 6. Modells ist, ein grundlegendes Verständnis für die einzelnen Schalen der Erde zu entwickeln, so dass der Sachverhalt in bisherige Wissensstrukturen besser integriert werden kann. Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von folgender Fragestellung geleitet: Welches Schale ist in welchem Bereich der Erde angeordnet? Das Modell umfasst die grundlegenden Schalen der Erde. Es werden verschiedene Materialien zur Verfügung gestellt: Gefäß, kleine Eisenspäne, Basaltsteine, Knete, Glasmurmeln, Granitsteine, Schieferplatten und ein Eisenkern sowie Bezeichnungen zu den Materialien. Der Eisenkern entspricht dem inneren Erdkern, die kleinen Eisenspäne dem äußeren Erdkern, die Glasmurmeln dem unteren Erdmantel, die Knete der Asthenosphäre, die Schieferplatten dem lithosphärischen Mantel, die Basaltsteine der ozeanischen Kruste und die Granitsteine der kontinentalen Kruste. Durch das Modell 6 (Abb. 12) werden Zusammenhänge aufgezeigt und ein Überblick über alle bisherigen Lernmaterialien geschaffen. Durch die Anwendung erfolgt eine Festigung und tiefere Verarbeitung des Wissens.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen beschreiben den Aufbau der Erde.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erklären, warum sie bei ihrer Anordnung so vorgegangen sind.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen vergleichen den Aufbau des Gefäßes mit dem Aufbau der Erde.
- Lernziel 4: Die SchülerInnen erklären, warum das Modell nicht mit der Realität übereinstimmen kann.



Abb. 12: Aufbau der Erde

(Quelle: Eigenes Foto)

Aufgaben

- Beschreibt den Aufbau.
- Warum seid ihr bei eurer Anordnung so vorgegangen?
- Vergleicht den Aufbau des Gefäßes mit dem Aufbau der Erde.
- Erklärt, warum das Modell nicht mit der Realität übereinstimmen kann.

Verbesserungen

Zunächst wurde das Modell 6 in den Pilotstudien erprobt. Als Material für den unteren Erdmantel wurde Ton ausgewählt, da er in einem bestimmten Wassergehaltsbereich bildsam ist. *„Nach allgemeiner Lehrmeinung verhalten sich Tonminerale unter der auf sie wirkenden Gewichtskraft wie ein elastischer Körper und bei Ausübung einer größeren Kraft annähernd wie eine viskose Flüssigkeit. Verringert man die auf die Masse ausgeübte Kraft, so verhält sich diese wie ein Festkörper“* (Melzer 1988, S. 5). Ton eignet sich gut für Formgebungszwecke. Denn unter einem adäquaten Druck *„nehmen bildsame Massen die ihnen zur Verfügung gestellte Form an und behalten sie auch bei, wenn die äußere Kraft zurückgenommen wird“* (Melzer 1988, S. 5). Es wurde Ton aus einem mittelfränkischen Dachziegelunternehmen bezogen. Allerdings zeigten die Pilotphasen, dass sich Ton nicht adäquat für den unteren Erdmantel eignet. Zwar unterscheidet sich der untere Erdmantel (Ton) vom oberen Erdmantel (Knete) hinsichtlich der Plastizität, aber dennoch konnten die ProbandInnen das Material nicht eindeutig dem entsprechenden Bereich zuordnen. Somit wurde Ton durch kleine Glasmurmeln ersetzt. Diese sollen sinnbildlich Edelsteine darstellen, die sich u. a. im unteren Erdmantel befinden. Die Bezeichnung Glasmurmeln enthält in Klammern auch den Hinweis Edelsteine, um eine Hilfestellung anzubieten.

5.4.4 Fruchtbarkeit

In der letzten Phase des Conceptual Change steht die Fruchtbarkeit des neuen Konzepts im Vordergrund. Die neu erworbene Vorstellung sollte dabei Auffassungen beinhalten, die es dem Lernenden erlauben, damit auch auf andere Bereiche zu reagieren. Wenn das fachliche Konzept erklärungsmächtiger als das bisher genutzte Präkonzept erscheint, wird der neue Ansatz fruchtbarer sein und vom Lernenden verwendet (POSNER et al. 1982).

Fachwissenschaftlich nahe Darstellungen

Ziel der fachwissenschaftlich nahen Darstellungen besteht darin, ihre Unterschiede in der Nähe zur Fachwissenschaft zu erkennen. Die Entwicklung dieses Lernangebots wird von der Fragestellung geleitet: Weist jede Abbildung eine hohe fachwissenschaftliche Nähe auf? Das Lernmaterial umfasst drei verschiedene Darstellungen vom Aufbau der Erde (s. Anlage-Nr. A2). Die ProbandInnen sollen die Abbildungen einschätzen, inwieweit sie fachwissenschaftlich angemessen sind. Durch die gemeinsame Diskussion

untereinander sollen ihre eigenen Vorstellungen an den Abbildungen angewendet werden.

Lernziele

- Lernziel 1: Die SchülerInnen vergleichen die verschiedenen fachwissenschaftlich nahen Darstellungen untereinander.
- Lernziel 2: Die SchülerInnen erklären, für welche fachwissenschaftliche Darstellung sie sich bei der Erstellung eines Schulbuchs entscheiden.
- Lernziel 3: Die SchülerInnen erläutern, warum sie sich genau für diese fachwissenschaftlich nahe Darstellungen bei der Erstellung eines Schulbuchs entscheiden.

Aufgaben

- Nun möchten wir ein Schulbuch erstellen. Welche der Zeichnungen würdet ihr dafür auswählen?
- Warum habt ihr genau diese ausgesucht?

5.5 Sampling

Der Fokus wird auf ein qualitatives Untersuchungsdesign gelegt. Hier gilt das Prinzip der Varianzmaximierung als theoretische Grundlage für die Selektion der ProbandInnen (MAYRING 2002; PATTON 2002). Dadurch soll die Wahrscheinlichkeit minimiert werden, dass Informationen, die für die Untersuchung relevant sind, nicht erhoben werden (REINDERS 2005). Der Fokus der qualitativen Forschung liegt nicht darauf, dem Kriterium der Repräsentativität zu entsprechen, sondern „*das Allgemeine im Besonderen zu fassen*“ (HELFFERICH 2011, S. 173). Hierzu werden typische Muster analysiert. Es werden zunächst die wichtigen Modalkategorien festgelegt, die eine geeignete Größe des Samplings bestimmen. Es gilt eine innere Repräsentation zu erreichen. MERKENS spricht von einer angemessenen Repräsentation in der qualitativen Forschung, „*wenn einerseits der Kern des Feldes in der Stichprobe gut vertreten ist und andererseits auch die abweichenden Vertreter hinreichend in die Stichprobe aufgenommen worden sind*“ (MERKENS 1997, S. 100). Es soll untersucht werden, ob und wenn ja inwieweit ein erfolgreicher Conceptual Change durch lernförderliche Methoden zum Aufbau der Erde bei SchülerInnen eingeleitet werden kann. Dieser Bereich wurde bisher noch nicht erforscht. Durch die Erhebungsmethode (problemzentriertes Interview) und die Auswer-

tungsmethode (qualitative Inhaltsanalyse) empfiehlt sich ein Sampling, das an den Forschungsschwerpunkten ausgerichtet ist (vgl. WITZEL & REITER 2012, S. 61). Nach KELLE und KLUGE (2010) sind alle jene Merkmale, die sich theoriegeleitet als relevant erkennen lassen, entsprechend zu beachten, um auf dieser Basis neue Erkenntnisse herzuleiten.

Im Folgenden wird eine Stichprobe von $n=20$ unter Berücksichtigung der bereits erläuterten inhaltlich-methodischen Kriterien und im Hinblick auf die Auswertungsmethode der qualitativen Inhaltsanalyse bestimmt. Zudem sind auch die zur Verfügung stehenden Ressourcen ein beschränkender Faktor bei der Festlegung der Größe des Sampling. Dies gilt auch für die Durchführung der Interviews an den unterschiedlichen Schulen sowie für die Transkription, Analyse und Auswertung der Daten. Im Hinblick auf die Auswertung ist die Samplinggröße so gewählt worden, dass eine fundierte Analyse erfolgen konnte. Es wurden 20 ProbandInnen aus dem Gymnasium und der Realschule untersucht. So sollte eine Bandbreite von verschiedenem Vorwissen gegeben sein. Die ProbandInnen wurden zur gleichen Anzahl aus bayerischen Gymnasien ($n=10$) und Realschulen ($n=10$) bezogen. Somit ist der Anteil zwischen den beiden Schularten ausgeglichen. Die Anzahl der Geschlechterverteilung wurde im Vorherein nicht klar definiert, denn es handelt sich hierbei um eine qualitative Studie. Aussagekräftige Ergebnisse, die sich auf Geschlechterunterschiede beziehen, sind aufgrund der ProbandInnenanzahl nicht möglich. So ist nur die Schulart im Vorfeld festgelegt worden und nicht, welches Geschlecht die ProbandInnen aufzuweisen haben.

Nachdem sich die Schulleitung interessiert zeigte, wurde ein detailliertes Informationsschreiben (bestehend aus Anschreiben, Inhalt und allgemeiner Ablauf) an die Schulen versandt. Anschließend haben sich die SchülerInnen selbst bei der Versuchsleitung gemeldet und zur Verfügung gestellt. So wurden 15 weibliche ProbandInnen und 5 männliche ProbandInnen untersucht. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Auswahl der ProbandInnen nicht nach bestimmten Kriterien erfolgte. Die Anzahl an Untersuchungen wurde im Vorfeld auf zehn Gruppen festgelegt. Dennoch sollte man sich stets am Prinzip der theoretischen Sättigung orientieren und keine weiteren Studien durchführen, wenn die Aussagen der SchülerInnen Redundanzen aufweisen (GLASER & STRAUSS 2008).

Die ProbandInnen stammten aus der neunten Jahrgangsstufe. Man entschied sich für diese Jahrgangsstufe, da im Gymnasium der Sachverhalt in die 10. Jahrgangsstufe in

den Lehrplan eingeordnet ist. In der Realschule ist das Thema im Lehrplan in die 9. Jahrgangsstufe eingeordnet. In Absprache mit den jeweiligen FachlehrerInnen aus der Realschule wurde sichergestellt, dass der Themenbereich erst am Ende des Schuljahres unterrichtet wurde, so dass hier keine Beeinflussung des Vorwissens der Lernenden stattfinden konnte. Der Lehrplan PLUS ist in der Realschule und Gymnasium nur für die Jahrgangsstufen 5 und 6 verbindlich. Somit stütze man sich in den oberen Jahrgangsstufen auf den bisherigen Lehrplan.

In den aktuell gültigen Lehrplänen (Stand: 01/2019) wird der Themenbereich Aufbau der Erde in den folgenden Jahrgängen beschrieben:

Gymnasium – Geographie:

Geo 5.2 Der Planet Erde

Die Schülerinnen und Schüler stellen innerhalb unseres Sonnensystems die Einzigartigkeit des Planeten Erde dar.

Inhalte zu den Kompetenzen: Aufbau und Gestalt der Erde: Schalenbau, Ozeane und Kontinente

(<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/5/geographie>)

Geo 10.2.1 Geodynamische Vorgänge im pazifischen Raum

Die Schüler erwerben Kenntnisse über endogene Vorgänge und lernen deren Auswirkungen auf den Menschen kennen.

(http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/id_26172.html)

Realschule - Geographie

Geo 5.2 Der Planet Erde

Die Schülerinnen und Schüler erläutern die Bewegungen des Planeten Erde und beurteilen dessen Einzigartigkeit und die Ermöglichung von Leben.

Inhalte zu den Kompetenzen: Aufbau der Erde (Schalenbau)

(<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/lernbereich/66227>)

EK 9.1 Deutschland und seine Einbindung in die Welt

Entstehung von Landschaften: globale Bezüge: Plattentektonik (Schwächezonen, Gebirgsbildung und Bruchtektonik)

(<https://www.isb.bayern.de/download/8696/ek9.pdf>)

In den nationalen Bildungsstandards für das Fach Geographie wird die Erde in den Standards für den Kompetenzbereich Fachwissen in der ersten Fähigkeit beschrieben (DGFG 2014, S.13): F1: Fähigkeit, die Erde als Planeten zu beschreiben.

Die Thematik Aufbau der Erde findet sich in den nationalen Bildungsstandards und im bayerischen Lehrplan des Gymnasiums und der Realschule. Sie ist für das Grundverständnis jeglicher Prozesse auf der Erde unabdingbar. Hieraus ergibt sich die Legitimation der Thematik für die vorliegende Arbeit.

6 Ergebnisse

Neben der Erklärung der Verfahren, die für die Erhebung der Daten eingesetzt wurden, sind in 6.2 die Auswertungen der Untersuchungen zusammengefasst.

6.1 Beschreibung der angewandten Verfahren

Es wird zunächst auf die angewandten Verfahren eingegangen (6.1). Dabei ist die qualitative Inhaltsanalyse (6.1.1) ein wichtiger Bestandteil, um die Vorstellungen und Sichtweisen der ProbandInnen zu ermitteln. Nach der Diagnose der Schülerzeichnungen (6.1.2) werden abschließend die beiden quantitativen Methoden (6.1.3) vorgestellt.

6.1.1 Qualitative Inhaltsanalyse

Die entstehenden individuellen Konzepte der SchülerInnen sind mehr als nur Wissen und nicht durch ein quantitatives Verfahren feststellbar (MAYRING 2016). Für deren Untersuchung wurde deshalb die qualitative Inhaltsanalyse gewählt. Folglich wurden die Interviews durchweg mit Tonaufnahmen begleitet, um eine qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2015; 2016), KRÜGER und RIEMEIER (2014) sowie GROPPENGIEBER (2003) durchzuführen.

6.1.1.1 Definition

Es liegen zahlreiche Definitionen zur Inhaltsanalyse vor, wie z. B. die kritikreiche Definition von BERELSON: „*Inhaltsanalyse ist eine Forschungstechnik für die objektive, systematische und quantitative Beschreibung des manifesten Inhalts von Kommunikation*“ (BERELSON 1952, S. 18). So besteht nur Einigkeit über das Ziel der Inhaltsanalyse, das die Analyse von Material vorsieht, das aus irgendeiner Art von Kommunikation stammt (vgl. MAYRING 2015, S. 11). MAYRING beschreibt die Inhaltsanalyse zusammenfassend wie folgt; „*Inhaltsanalyse will [...] fixierte Kommunikation analysieren, dabei [...] regelgeleitet [...] und theoriegeleitet vorgehen, mit dem Ziel, Rückschlüsse auf bestimmte Aspekte der Kommunikation zu ziehen*“ (vgl. MAYRING 2015, S. 13). Da zu betonen ist, dass das Ziel nicht nur in der Analyse von Kommunikationsinhalten besteht, wäre eine treffendere Bezeichnung für die Inhaltsanalyse die kategoriengeleitete Textanalyse (vgl. MAYRING 2015, S. 13). Die Basis für die qualitative Inhaltsanalyse war der Ansatz der „Content Analysis“ von BERELSON (1952) und KRIPPENDORF (2004). Das Modell kommt aus den Kommunikationswissenschaften und sieht das Material

nicht als isoliert an, sondern beachtet ebenso die Elemente des Kommunikationsmodells wie Sender, Empfänger, soziokultureller Hintergrund, Quelle und Zielgruppe. Somit kann ein direkter Bezug auf bestimmte Teile des Textmaterials hergestellt werden (MAYRING 2012).

6.1.1.2 Bestimmung des Ausgangsmaterials

Um das Textmaterial auszuwerten, ist zunächst eine konkrete Analyse nötig. Denn die Inhaltsanalyse entspricht einer Auswertungsmethode von bereits zur Verfügung stehendem sprachlichen Material. Folgende drei Schritte sind bei einer Analyse des Materials zu durchlaufen (vgl. MAYRING 2015, S. 54 f.):

1. Festlegung des Materials

Definition: Zu Beginn ist das Material festzulegen, das analysiert werden soll. Unter gewissen Bedingungen kann das Textmaterial ergänzt und umgewandelt sowie bei einer größeren Datenfülle Stichproben genommen werden.

In vorliegender Studie: Das Textmaterial stammt aus den Untersuchungen zum Aufbau der Erde. Als Material wurden hierbei alle Studien ausgewählt, die nach den Pilotphasen entstanden.

2. Analyse der Entstehungssituation

Definition: Ebenfalls sind die Voraussetzungen der Studie zu benennen. Hierzu zählen v. a. die Verfasser und deren Handlungshintergründe (auch in emotionaler und kognitiver Hinsicht), die Zielgruppe der Studie und deren soziokulturelle Hintergründe sowie die Entstehungssituation.

In vorliegender Studie: Die Versuchsleitung entspricht dem Autor der Studie. Die Basis der Interviews war ein Leitfaden, an dem sich die Versuchsleitung orientierte. Die ProbandInnen haben freiwillig an der Untersuchung teilgenommen, die teilweise in der Schule oder in der Universität stattfand.

3. Formale Charakteristika des Materials

Definition: Der gesprochene Text, der in einem Interview entsteht, muss zu einem geschriebenen Text transkribiert werden. Damit das Interview nicht erheblich umgewandelt wird, ist es wichtig, sich an die zuvor definierten Transkriptionsregeln zu halten.

In vorliegender Studie: Die Interviews wurden mit Tonaufnahmen begleitet und daraufhin in geschriebene Form gebracht, so dass sie schließlich transkribiert werden konnten. Folgende Transkriptionsregeln in Tabelle 10 wurden dabei eingehalten.

Tab. 10: Transkriptionsregeln

Zeichen	Bedeutung
S	Schüler(in)
L	Lehrer
---	Jeder Strich steht für die Pause von einer Sekunde.
Mh	Zweigipfliges Rezeptionssignal, neutral bis zustimmend
[zeichnet]	Nichtsprachliche Vorgänge, wie Gesten, Störungen und Handlungen.
<u>Erdkern</u>	Proband(in) spricht leise.
(unverständlich)	Aussage ist unverständlich.
? und !	Sparsam eingesetzte Satzzeichen, um die Lesbarkeit der Transkriptionen zu verbessern.
[nicht themenbezogen]	Die weiteren Aussagen sind für die Studie irrelevant und nicht auf die Thematik bezogen.

(Quelle: Eigene Darstellung)

6.1.1.3 Vorgehensweise bei der Aufbereitung und Auswertung der Daten

Um die Daten aufzubereiten und auszuwerten, werden folgende Schritte durchlaufen (vgl. KRÜGER & RIEMEIER 2014, S. 135 ff.):

Schritt 1: Transkription

Wie bereits unter Bestimmung des Ausgangsmaterials erwähnt, werden die mündlichen Äußerungen durch Transkriptionsregeln in einen schriftlichen Text umgewandelt.

Schritt 2: Redigieren der Aussagen

Als Ausgangspunkt dient die Fragestellung. Anhand dessen wird der schriftliche transkribierte Text bearbeitet, um die Aussagen der ProbandInnen eindeutiger und

exakter erscheinen zu lassen. Folgende Bearbeitungsschritte werden durchlaufen: Paraphrasieren (Ausgleichen der Aussagen zu einer grammatikalisch ausreichenden Form, ohne Dialekt), Selegieren (Auswählen relevanter Aussagen für die Fragestellung), Auslassen (Verzicht auf Redundanzen und überflüssigen Füllwörtern) sowie Transformation (Veränderung der Aussagen der ProbandInnen zu unabhängigen und eigenständigen Aussagen des Interviewleiters).

Schritt 3: Ordnen der Aussagen

Im dritten Schritt werden die redigierten Aussagen (aus dem 2. Schritt) zu sich thematisch gleichenden Sinneinheiten zusammengefasst. Hierbei werden die Aussagen Kategorien bzw. Codes zugeordnet. Dabei ist es wichtig, die Kategorien stets genau zu definieren und abzugrenzen. Zu unterscheiden sind die induktive und deduktive Kategorienbildung. Die induktive Kategorienbildung erstellt Kategorien nicht vor der Untersuchung des Materials, sondern die Kategorien werden direkt aus dem Textmaterial abgeleitet. Dabei bezieht man sich nicht auf theoretische Konzepte. Die deduktive Kategorienbildung hingegen definiert die Kategorien vor der Analyse des Textmaterials (vgl. MAYRING 2015, S. 65 ff.).

Das Kategoriensystem der vorliegenden Studie wurde in Kooperation mit Mayring am 12. Berliner Methodentreffen Qualitativer Forschung vom 22.-23.07.2016 in Berlin diskutiert. Der Entschluss fiel auf eine deduktive Kategorienbildung. Die deduktive Kategorienbildung empfiehlt sich, da bereits eine Art Hypothese bezüglich des Forschungsgegenstandes (Wissensveränderung bei den ProbandInnen durch die Lernumgebung) aufgestellt und leitfadengestützte Interviews als teilstandardisiertes Datenerhebungsinstrument angewendet wurden. Die Kategorien können somit durch das Datenerhebungsinstrument (leitfadengestützte Interviews) entwickelt werden. Es wurden Kategorien in Kooperation mit MAYRING am 12. Berliner Methodentreffen in Berlin entwickelt (s. Anlage-Nr. A3). Optional sollte eine non-response Analyse durchgeführt werden, falls nur bei einem kleinen Anteil der ProbandInnen eine Vorstellungsveränderung eintritt. Dieser Anteil wird erneut für eine Stichprobe ausgewählt und ihnen werden Fragen gestellt. Dabei ist zu überprüfen, inwieweit dieser Anteil an ProbandInnen gemeinsame Merkmale aufweist. Mit diesem Ansatz können verschiedene Schwachstellen sowie das Versagen, das Ziel der Vorstellungsveränderung nicht erreicht zu haben, festgestellt werden. Durch eine non-response Analyse kann schließlich eine Begrün-

derung für einen kleinen Anteil an ProbandInnen mit einer Vorstellungsveränderung erbracht werden (MAYRING 2016).

6.1.2 Diagnose von Schülerzeichnungen

Wie bereits in Abschnitt 5.2.2 Zeichnung als methodische Überlegung erläutert, werden in der vorliegenden Studie auch die Schülerzeichnungen verwendet. Vor der Analyse ist zunächst festzulegen, wie die Schülervorstellungen ausgewertet werden sollen. Einerseits können die Zeichnungen konzeptorientiert untersucht werden, d. h. es steht die Analyse von einzelnen Vorstellungselementen im Vordergrund. Dabei geht es um die Frage, aus welchen Vorstellungselementen die Schülervorstellungen bestehen. Bei der Formulierung von Sätzen oder Aussagen wird auf das Konzept als Vorstellungselement zurückgegriffen. Anhand einer beschrifteten Schülerzeichnung lassen sich einige Konzepte finden, die das Präkonzept prägen. Durch die Analyse von mehreren Schülerzeichnungen lassen sich verschiedene Vorstellungen erkennen. Anhand dessen können Haupt- und Unterbereiche entwickelt werden (vgl. Schuler 2015, S. 12).

Andererseits existiert noch die Möglichkeit, die Schülerzeichnungen typisierend aufzubereiten. Hierbei wird der Fokus hauptsächlich auf die Sortierung der Zeichnungen im Ganzen nach Mustern bzw. Typen gelegt. Dazu werden die Zeichnungen im Ganzen analysiert und einem bestimmten Vorstellungskonstrukt zugeordnet. Vorliegend wird die typisierende Auswertung angewendet, da bereits die Typenbildung für fachwissenschaftlich nicht adäquate Konzepte in CONRAD (2014) erfolgte. In dieser Dissertation wurde von ProbandInnen ein Prä- und Postkonzept entwickelt. Indem ein Abgleich mit der zu entwickelnden fachwissenschaftlich nahen Vorstellung durchgeführt wird, kann festgestellt werden, inwieweit ein Conceptual Change als Vorstellungswandel initiiert werden konnte. Folgende Vorgehensweise wurden auf der Basis von SCHULER (2015) und STEER et al. (2005) entwickelt, um die Schülerzeichnungen analysieren zu können.

6.1.2.1 Begriffsklassen

Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in der Schülerzeichnung werden die ProbandInnen in gewisse Begriffsklassen eingeordnet. Die 1. Begriffsklasse* umfasst bis zu zwei fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen, die 2. Begriffsklasse** bis zu fünf und die 3. Begriffsklasse*** über fünf. Begriffe, die mehrfach genannt sind, werden nicht beachtet. Ebenfalls Termini, die nicht

fachwissenschaftlich adäquat der chemischen sowie rheologischen Zonierung entsprechen (z. B. Humus oder Land), werden außer Acht gelassen.

6.1.2.2 Konzeptklassen

Neben der Begriffsklasse wird die Konzeptklasse analysiert. Hier wird der Schwerpunkt daraufgelegt, inwieweit die Alltagsvorstellung fachwissenschaftlich angemessen ist. Die Basis war u. a. CONRAD (2014). Es lassen sich vier Konzeptklassen unterscheiden: fachliche Nähe, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrizität. Das fachlich nahe Konzept wird verwendet, wenn u. a. folgende Aspekte enthalten sind: chemische Zonierung, rheologische Zonierung, rheologische Eigenschaften (z. B. plastisch), Farbwahl oder Proportionen. Das Magmahüllenmodell hingegen definiert sich durch die Interviewaussagen, die thermischen Zonierung (konzentrische Anordnung der Schalen nach ihren Temperaturverhältnissen), die Farbwahl sowie der Vorstellung, dass sich hauptsächlich Magma im Inneren der Erde befindet. Das Gesteinsschichtenmodell zeigt unterschiedliche Gesteinsschichten, die sich in konzentrischen Schalen aneinanderreihen. Ebenfalls die Farbwahl, aber auch Aussagen aus dem Interview sind ausschlaggebende Kennzeichen für die Einordnung in diese Konzeptklassen. Die Bedingungen für die Einordnung in die fachwissenschaftlich nicht angemessenen Konzeptklassen Magmahüllenmodell und Gesteinsschichtenmodell sind durchgängig veranschaulichte konzentrische Kreise, die sich symmetrisch um einen Mittelpunkt anordnen. Falls diese Prämisse in einer Schülerzeichnung nicht erfüllt werden kann, werden die ProbandInnen in die Konzeptklasse keine Konzentrizität eingeordnet.

Die Konzeptklassen Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrizität beinhalten fachwissenschaftlich nicht adäquate Vorstellungen. Wenn sich Aspekte aus den verschiedenen Konzeptklassen vermischen, wird abgewogen, in welche Konzeptklasse die ProbandInnen eingeordnet werden. Die Interviews wurden individuell analysiert, inwieweit Affirmationen (Bekräftigungen und mehrfache Unterstreichung von Aussagen) vollzogen wurden, so dass sich letztendlich eine geeignete Konzeptklasse herauskristallisierte und die ProbandInnen eindeutig eingeordnet werden konnten.

6.1.2.3 Zeichnungsklassen

Nachdem die Begriffsklassen und Konzeptklassen analysiert wurden, werden diese beiden Klassen gemeinsam in der so genannten Zeichnungsklasse abgebildet. Hierdurch

lassen sich Zusammenhänge zwischen Begriffen und Konzepten aufzeigen und Vorstellung präzise darstellen.

6.1.3 Quantitative Erhebung

Das Interesse und der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung werden mit einem quantitativen Untersuchungsdesign erhoben.

6.1.3.1 Untersuchung des Interesses

Auf dem Arbeitsblatt der 1. Schülerzeichnung wurde auch das Interesse erhoben. Den ProbandInnen stand ein vierstufiges Antwortformat zur Verfügung: sehr hoch, hoch, etwas und niedrig. Die einzelnen Interessenseinstufungen wurden individuell ausgewertet, um die Interessensneigung an dem Thema Aufbau der Erde zu verdeutlichen. Es ist zu untersuchen, inwieweit Interesse mit einem erfolgreichen Conceptual Change zusammenhängt.

6.1.3.2 Feststellung der zeitlichen Bildung des Präkonzepts

Das Arbeitsblatt, auf dem die ProbandInnen ihre eigene Vorstellung zum Aufbau der Erde skizzieren und ihr Interesse angeben, hinterfragt auch die zeitliche Bildung ihres Präkonzepts. Es stehen ihnen zwei Möglichkeiten zum Ankreuzen zur Verfügung, ob sie sich ihre Vorstellung zum Aufbau der Erde „gerade“ (Current Structures) oder „schon vorher“ (Deep Structures) überlegt haben. Current Constructions sind Vorstellungen, die aus Verlegenheit entwickelt werden, wobei sie nicht aus der Erfahrung stammen und spontan konstruiert werden. Sie gelten als instabil und leicht veränderbar (vgl. HAMANN & ASSHOFF 2014, S. 23). Die Erhebung des Zeitpunkts der Vorstellungsüberlegung soll Aufschluss darüber geben, wie tief die Vorstellung bei den ProbandInnen in bisherige Wissensstrukturen integriert ist und ob es einen Zusammenhang zum Conceptual Change gibt.

6.2 Auswertung

In diesem Abschnitt erfolgt die Zusammenfassung der Untersuchungen. Zwei Beispiele von Einzelauswertungen befinden sich im Anhang (s. Anlage-Nr. A4). Im Folgenden wird zunächst auf das Präkonzept, das Postkonzept und die Veränderungen vom Prä- zum Postkonzept eingegangen. Des Weiteren sind die lernhinderlichen und lernförderlichen Interventionen aus der Lernumgebung dargestellt, die sich auf dem Weg zu einer

fachwissenschaftlich nahen Vorstellung ergeben. Abschließend ist das Interesse und der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung zusammengefasst. Mithilfe dieses Abschnitts sollen schließlich die Forschungsfragen in Kapitel 7, die sich aus dem Forschungsdesiderat (3.) ergeben, beantworten werden.

6.2.1 Präkonzept

Zunächst wurden die Präkonzepte der ProbandInnen von der 1. bis zur 10. untersucht.

6.2.1.1 Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 1. Schülerzeichnung an. Diese Zeichnung zeigt ein gewisses Präkonzept.

Begriffsklasse

Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 1. Schülerzeichnung wurden die ProbandInnen in gewisse Begriffsklassen (Tab. 11) eingeordnet. Es wird deutlich, dass 17 ProbandInnen in die 1. Begriffsklasse eingeordnet wurden. Die ProbandInnen der 1. Begriffsklasse nannten bis zu zwei fachwissenschaftliche adäquate Begrifflichkeiten. Die 2. Begriffsklasse ist mit drei ProbandInnen vertreten. S1, S8 und S18 waren in der Lage, in ihrer 1. Zeichnung mehr als zwei fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen anzuführen. Dabei führten alle drei die grundlegenden Schalen der Erde an: Kruste, Mantel und Kern. Die 3. und höchste Begriffsklasse ist beim Präkonzept nicht vertreten.

Tab. 11: Begriffsklassen im Präkonzept

	Begriffsklassen		
	Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Probandanzahl	17	3	/

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die ProbandInnen führten folgende Bezeichnungen an:

Kern: S1, S2, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S13, S16, S18

Mantel: S1, S4, S5, S6, S8, S18

Kruste: S1, S8, S13, S14, S15, S18

Lithosphäre: S9

Auffallend ist, dass von elf ProbandInnen vor allem der Fachbegriff Erdkern angeführt wurde und sich die Bezeichnungen Mantel und Kruste mit jeweils sechs ProbandInnen im Gleichgewicht halten. Der komplizierte fachwissenschaftliche Terminus Lithosphäre wurde im Präkonzept von einem Probanden bzw einer Probandin wiedergegeben. Zusammenfassend kann man festhalten, dass der Kern im Präkonzept am häufigsten angeführt wurde. Doch Begrifflichkeiten, die die Rheologie betreffen, sind sehr komplex und waren nur bei einem Probanden bzw. einer Probandin vertreten (Lithosphäre).

Konzeptklasse

Neben der Begriffsklasse wird die Konzeptklasse analysiert. Hierbei wird der Schwerpunkt daraufgelegt, inwieweit das Präkonzept in der Zeichnung eine fachwissenschaftlich angemessene Nähe aufweist. Unterstützend werden zur Einordnung in die Konzeptklasse die Interviewaussagen einbezogen.

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung verwenden die ProbandInnen vier verschiedenen Konzeptklassen: fachliche Nähe, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität. Die Tabelle 12 verdeutlicht, dass vor allem das Magmahüllenmodell von zwölf ProbandInnen vertreten wurde.

Tab. 12: Konzeptklassen im Präkonzept

		Proband
Konzeptklasse	KK 1: Fachliche Nähe	S1
	KK 2: Magmahüllenmodell	S2, S3, S5, S6, S7, S12, S14, S15, S17, S18, S19, S20
	KK 3: Gesteinsschichtenmodell	S8, S9, S11, S13, S16
	KK 4: Keine Konzentrität	S4, S10

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die ProbandInnen veranschaulichten häufig eine thermische Zonierung, in der eine Anordnung der Schalen nach Temperaturverhältnissen in konzentrischen Kreisen erfolgt. Ebenfalls ist die Farbwahl dementsprechend gewählt und größtenteils mit orange, rot bzw. gelb herausgearbeitet. Die Interviewaussagen trugen einen maßgeblichen Anteil zur Einordnung der ProbandInnen in die Konzeptklassen bei. S19 äußerte sich folgendermaßen zur Zeichnung: *„Okay, also das in der Mitte ist die ganz heiße Lava [...] dann kommt [...] Lava, die vielleicht nicht mehr so warm ist, bis zu einer Lava, die schon abgekühlt ist“* (10. VE, Z. 56-61). S19 vertrat die Ansicht, dass alle Schalen der Erde aus dem gleichen Material, nämlich Lava, bestehen und die Temperatur von innen nach außen abnimmt: *„ganz heiß [...] nicht mehr so warm [...] schon abgekühlt“* (10. VE, Z. 56-61). S7 sah den Ursprung für die eigene Vorstellung aus Büchern, *„weil das im Innersten ist ja am wärmsten, also am heißesten und dann das, wo nochmal also das Lavaartige [...] ist, auch warm, aber nicht mehr ganz so warm und wir hatten das in den Büchern, [...] immer orange, so war der innerste Kern, außenherum so gelb, also habe ich jetzt gedacht, dass ich mich da dran erinnern könnte“* (4. VE, Z. 64-68). Ebenfalls wie bei S19 erfolgte eine Anordnung der Schalen der Erde nach ihren Temperaturen. In diesem Fall erfolgte Vorstellung über die Temperatur durch die Farbwahl in den Büchern, in denen der innerste Kern orange und außenherum gelb gezeichnet wurde. S6 traf im 3. Vermittlungsexperiment folgende Aussage zur Zeichnung: *„In der Mitte wegen dem Magma, das Warme halt“* (3. VE, Z. 85). S6 assoziierte die Temperatur mit dem Material Magma. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle ProbandInnen des Magmahüllenmodells die Sichtweise vertreten, dass sich Lava bzw. Magma im Inneren der Erde befindet.

Am zweithäufigsten ist das Gesteinsschichtenmodell vertreten. S8 im 4. VE oder S9 im 5. VE ließen sich eindeutig durch ihre Farben in der Zeichnung und die Interviewaussagen bestimmen. Doch eine genaue Einordnung anhand der Farbwahl und der Interviewaussagen war nicht immer gegeben. In diesem Fall wurde das Gesteinsschichtenmodell vor allem anhand der Interviewaussagen zugeordnet, da hierbei individueller auf die Vorstellung der ProbandInnen eingegangen werden konnte. S11 tätigte folgende Interviewaussagen im 6. Vermittlungsexperiment: *„Ich habe nicht viel auf Papier. Na ja, ich gehe davon aus, dass man es schon als Kind gelernt hat, dass es einen Erdkern gibt. Dass man es noch so nennt. [...] Verschiedene Gesteinsschichten. [...] Ja, aber mehr habe ich mir dabei nicht gedacht. [...] [Ich habe die Farben verwendet,] um [...] die Temperatur [Lachen] letztendlich [...] wie soll ich sagen? Bildlich darzustellen?“* (6.

VE, Z. 77-95). Auf die Frage bei den Karteikarten mit Fragen, aus welchem Material die Erde besteht, antwortete S11 folgendermaßen: *„Aber ich denke auf jeden Fall aus Gestein. [...] Ich habe jetzt an sowas gedacht, wie [Lachen] Gestein oder so ein Zeug“* (6. VE, 126-134). S11 wurde in das Konzept Gesteinsschichtenmodell eingestuft, da an zwei verschiedenen Abschnitten des Interviews die Gesteine betont wurden. Wie bereits erwähnt, erfolgte eine Einordnung zum Gesteinsschichtenmodell nicht immer ausschließlich über die Zeichnung. Denn anhand der rot, orange, gelben Farbwahl wollte S11 „die Temperatur“ und nicht zum Beispiel Magma darstellen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass fünf von 20 ProbandInnen das Gesteinsschichtenmodell verwenden.

Die Konzeptklasse keine Konzentrität ist hinsichtlich der Häufigkeit an dritter Stelle vertreten. Diese Klasse zeigt Vorstellungen, in der keine konzentrischen Kreise symmetrisch um eine gemeinsame Mitte angeordnet werden. Im 2. VE zeichnete S4 waagrechte Linien durch das Innere der Erde. S10 zeigte im 5. VE eine Ansicht, in der in einem einzigen Kreis ein Querschnitt der Erde sowie eine Satellitenbilddaufnahme auf die Erde skizziert wurden. Zwar sind zwei einzelne kleine konzentrische Kreise gezeichnet, doch die Bedingung für das Magmahüllen- sowie Gesteinsschichtenmodell ist eine durchgehende veranschaulichte Konzentrität. Zusammenfassend zeigen zwei von 20 ProbandInnen keine Konzentrität im Inneren der Erde.

Die Konzeptklasse fachliche Nähe gibt es im Präkonzept lediglich im 1. VE bei S1. S1 äußerte folgende Auffassung zur Zeichnung: *„Okay, das soll die ganze Erde so darstellen und da ist quasi so ein kleiner Ausschnitt. Genau die Erdoberfläche, auf der wir eben leben. Dann die Erdkruste. Die dünnste Schicht sag ich jetzt mal, die ist fest und dann in den Erdmantel, der flüssig ist oder zähflüssig und dann die letzte Schicht ist quasi der Erdkern, der erst flüssig und dann fest wird. Ganz innen. [Lachen]“* (1. VE, Z. 82-85). Damit weist das Konzept von S1 teilweise eine hohe fachliche Korrektheit auf, da bereits im Präkonzept die grundlegende Zonierung verfolgt wurde. Außerdem wurde die Erdkruste als „dünnste Schicht“ (1. VE, Z. 83) bezeichnet und in diesem Bereich die Proportionen beachtet. Der Erdkern ist korrekt in zwei Bereiche unterteilt, wobei u. a. die Reihenfolge der Rheologie („erst flüssig und dann fest [...] innen“, 1. VE, Z. 85) berücksichtigt wurde. Die einzelnen Schalen der Erde sind in Brauntönen gemalt. Abschließend lässt sich sagen, dass damit nur ein(e) ProbandIn in die höchste Konzeptklasse eingeordnet ist.

Zeichnungsklasse

Um die Begriffsklassen und die Konzeptklassen gemeinsam abzubilden, wurden so genannte Zeichnungsklassen entwickelt. Nachfolgend sind in Tabelle 13 die Zeichnungsklassen für die ProbandInnen veranschaulicht.

Tab. 13: Zeichnungsklassen im Präkonzept

Zeichnungsklassen im Präkonzept		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	KK 1: Fachliche Nähe	/	S1	/
	KK 2: Magmahüllenmodell	S2 S3 S5 S6 S7 S12 S14 S15 S17 S19 S20	S18	/
	KK 3: Gesteinsschichtenmodell	S9 S11 S13 S16	S8	/
	KK 4: Keine Konzentrität	S4 S10	/	/

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Mehrheit der ProbandInnen ordnet sich in die 1. Begriffsklasse und in das Magmahüllenmodell ein. Lediglich S18 vertritt die 2. Begriffsklasse und das Magmahüllenmodell, da eine grundlegende Zonierung mit Kern, Mantel und Kruste veranschaulicht ist. Am zweithäufigsten ist die Kombination aus Gesteinsschichtenmodell und 1. Begriffsklasse. S8 ist in die 2. Begriffsklasse und in das Gesteinsschichtenmodell eingeordnet, da ebenfalls wie bei S18 eine grundlegende Zonierung in der 1. Schülerzeichnung eingezeichnet ist. Die beiden ProbandInnen, die in keine Konzentrität eingeordnet sind, vertreten die gleiche Begriffsklasse (Klasse 1). Lediglich S1 verwendet die höchste Konzeptklasse fachliche Nähe und die 2. Begriffsklasse.

6.2.1.2 Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wird ein Multiple-Choice-Test genutzt, um das Präkonzept der ProbandInnen zu beurteilen. Der Multiple-Choice-Test beinhaltet drei Schülervorstellungen aus der Studie von CONRAD (2014). Es stehen fünf Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen zur Verfügung. Die ProbandInnen sollten einschätzen, inwieweit diese Aussagen der Wahrheit entsprechen (Tab. 14).

Tab. 14: Multiple-Choice-Test im Präkonzept

	Wahrheitsgehalt der Aussagen				
	Stimmt nicht (1)	Stimmt wenig (2)	Stimmt mit-telmäßig (3)	Stimmt ziemlich (4)	Stimmt sehr (5)
„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.“	S20	S17 S19	S11 S14 S16	S1 S2 S3 S5 S8 S10 S15 S18	S4 S6 S7 S9 S12 S13
„Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“	S11	S2 S3 S4 S9 S14 S15 S16 S20	S1 S5 S6 S7 S8 S10 S12 S13 S17	S18	S19
„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.“	S10 S11	S3 S13	S1 S20	S2 S5 S6 S7 S8 S12 S14 S15 S18 S19	S4 S9 S16 S17

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es zeigt sich, dass alle drei Aussagen von mindestens einer ProbandIn bewertet sind. Dennoch lassen sich klare Tendenzen erkennen. Offensichtlich scheint Aussage 1 in ihrem Wahrheitsgehalt für den Großteil der ProbandInnen plausibel, so dass 14 von 20 ProbandInnen diese Sichtweise mit ziemlich bzw. vollständig befürworteten. In dieser Sichtweise gehen sie vom einem flüssigen, ganz heißen Kern aus, wobei dieser aus ge-

schmolzenen Gestein besteht. Die Schale, die nach außen folgt, wird zähflüssig wie Lava beschrieben. Die letzte Schale wird als Kruste deklariert. Wie bereits festgestellt, sind am häufigsten das Magmahüllenmodell und das Gesteinsschichtenmodell vertreten. Dies bestätigt sich erneut durch die hohe Gewichtung von Aussage 1 im Multiple-Choice-Test.

Aussage 2 wird von 17 ProbandInnen mit einem wenigen bzw. mittelmäßigen Wahrheitsgehalt eingeschätzt. Diese Aussage vertritt die Meinung, dass *„eine enge Verbindung der Platten mit den Kontinenten [zu] erkennen [ist] mit dem Unterschied, dass die Kontinente nicht die Platten sind, sondern von diesen getragen werden“* (CONRAD 2014, S. 112). So sind sie nicht der vollständigen Überzeugung, dass die Platten unterhalb der Kontinente sind und sie diese tragen.

Aussage 3 wird von 14 ProbandInnen befürwortet. Sie haben die Vorstellung, dass eine hohe Mächtigkeit der Platten vorliegt, da die Lava sie sonst wegschmelzen und nach außen treten würde. Die Lava wäre dann nicht vor dem Austreten gehindert. Damit *„haben Lithosphärenplatten [...] auch eine bedeckende Funktion und werden als Schutzplatten vor der heißen, bedrohlich anmutenden Lava unterhalb der Lithosphärenplatten betrachtet“* (Conrad 2014, S. 118). Diese Sichtweise spiegelt ebenfalls das Magmahüllenmodell wieder. Dies bestätigt die oben angeführte Erkenntnis, dass die Mehrheit der ProbandInnen dem Magmahüllenmodell entsprechen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Aussagen 1 und 3 von der Mehrheit der ProbandInnen im Präkonzept unzutreffend eingeschätzt wurden. Allerdings wurde Aussage 2 fast fachwissenschaftlich angemessen bewertet. Es ist der Frage nachzugehen, inwieweit ein Conceptual Change durch die didaktisch aufbereitete Lernumgebung initiiert werden kann.

6.2.2 Postkonzept

Nach der Bearbeitung der Lernumgebung wurde die Schülervorstellung erneut skizziert und der eigene Multiple-Choice-Test selbstständig korrigiert.

6.2.2.1 Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 2. Schülerzeichnung an.

Begriffsklasse

Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 2. Schülerzeichnung wurden die ProbandInnen erneut in die Begriffsklassen eingeordnet (Tab. 15).

Tab. 15: Begriffsklassen im Postkonzept

	Begriffsklassen		
	Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Probandanzahl	/	3	17

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es wird deutlich, dass im Postkonzept vor allem die 3. Begriffsklasse von 17 ProbandInnen und die 2. Begriffsklasse von drei ProbandInnen vertreten ist. Die 1. Begriffsklasse ist im Postkonzept nicht mehr vertreten.

Es lässt sich festhalten, dass der Erdkern im Postkonzept von allen ProbandInnen wiedergegeben wurde. Es haben 19 von 20 ProbandInnen „kontinental“ nach Bearbeitung der Lernumgebung in ihr Konzept eingegliedert. 17 von 20 ProbandInnen haben in ihrer Zeichnung den Erdmantel und die Erdkruste genannt. Dabei ist auffallend, dass die ProbandInnen, die den Erdmantel wiedergeben, nicht denen entsprechen, die die Erdkruste aufführen. Die Bezeichnungen aus der Rheologie (z. B. Lithosphäre und Asthenosphäre) werden nicht stark in das neu entwickelte Konzept einbezogen. Die Eigenschaften, die die Rheologie betreffen (z. B. plastisch), werden von elf ProbandInnen angeführt, so dass mehr als die Hälfte der ProbandInnen in der Lage ist, die Schalen zusätzlich mit einem Wesensmerkmal zu kennzeichnen (vgl. S1, S6, S8, S10, S13, S14, S15, S16, S17, S18 und S19). Folgende Begrifflichkeiten (Tab. 16) führten die ProbandInnen in ihrer 2. Schülerzeichnung an.

Tab. 16: Begrifflichkeiten im Postkonzept

Chemische Zonierung		Rheologische Zonierung	
Kern	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19 S20		
Innerer	S1 S5 S7 S8 S9 S11 S12 S13 S20		
Äußerer	S1 S5 S7 S8 S9 S11 S12 S13 S20		
Mantel	S2 S3 S5 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19 S20		
Unterer	S8 S10 S13 S15 S18 S20		
Oberer	S8 S10 S13 S15 S18 S20		
		Asthenosphäre	S1 S4 S9 S13 S14
		Lithosphäre	S1 S6 S9 S12 S13 S14 S16
		Platte	S4 S6 S12 S13 S16
		Lith. Mantel	S1 S4 S5 S13 S14 S17 S18
Kruste	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S10 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19 S20		
Ozean.	S1 S2 S3 S5 S6 S7 S8 S9 S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19		
Kont.	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19 S20		

(Quelle: Eigene Darstellung)

Hervorzuheben ist S13, da jeder einzelne fachwissenschaftlich adäquate Terminus wiedergeben wurde und sich somit von den anderen ProbandInnen abhebt. Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Bezeichnungen Kern und kontinental im Postkonzept von nahezu allen ProbandInnen angeführt sind. Bezeichnungen aus der Rheologie sind im Gegensatz zu Eigenschaften der Rheologie weniger angeführt

Konzeptklasse

Neben der Begriffsklasse wird die Konzeptklasse analysiert. Es wird untersucht, inwieweit das Präkonzept in der Zeichnung eine fachwissenschaftlich angemessene Nähe

aufweist. Unterstützend werden zur Einordnung in die Konzeptklasse die Interviewausagen einbezogen.

Tab. 17: Konzeptklassen im Postkonzept

		Proband
Konzeptklasse	Fachliche Nähe	S1 S3 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S10 S11 S13 S14 S15 S16 S18 S19 S20
	Magmahüllenmodell	S2 S12 S17
	Gesteinsschichtenmodell	/
	Keine Konzentrität	/

(Quelle: Eigene Darstellung)

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung kommen bei den Postkonzepten nur zwei der vier verschiedenen Konzeptklassen vor: fachliche Nähe und Magmahüllenmodell. Kein Proband wird in das Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität eingeordnet. Die vorliegende Tabelle 17 verdeutlicht, dass vor allem eine fachliche Nähe im Postkonzept von 17 ProbandInnen vertreten ist. Es sind häufig die chemische Zonierung und Kennzeichen der rheologischen Zonierung veranschaulicht. Ebenfalls wird die Farbwahl dementsprechend gewählt und die Proportionen beachtet. Lediglich drei ProbandInnen werden nach der Bearbeitung der Lernumgebung in das Magmahüllenmodell eingeordnet, da noch fachwissenschaftliche Unstimmigkeiten im Postkonzept vorliegen.

Zeichnungsklasse

Nachfolgend werden in Tabelle 18 die Zeichnungsklassen für die ProbandInnen veranschaulicht.

Tab. 18: Zeichnungsklassen im Postkonzept

Zeichnungsklassen im Postkonzept		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe	/	S3 S10	S1 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S11 S13 S14 S15 S16 S18 S19 S20
	Magmahüllenmodell	/	S2	S12 S17
	Gesteinsschichtenmodell	/	/	/
	Keine Konzentrität	/	/	/

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Mehrheit der ProbandInnen zeigen die 3. Begriffsklasse und ein fachlich nahes Konzept. S3 und S10 werden in die 2. Begriffsklasse eingeordnet, da sie in ihren Postkonzept nicht über fünf fachwissenschaftlich adäquate Termini zeigten. Die Kombination aus Magmahüllenmodell und 3. Begriffsklasse wird von S12 und S17 vertreten. S2 klassifiziert sich in die 2. Begriffsklasse und in das Magmahüllenmodell ein. Im Postkonzept werden keine Konzentrität und das Gesteinsschichtenmodell nicht mehr zugeordnet. Zusammenfassend verwenden im Postkonzept 17 ProbandInnen die höchste Begriffsklasse und eine fachwissenschaftlich nahe Vorstellung zum Aufbau der Erde.

6.2.2.2 Multiple-Choice-Test

Es lässt sich bei allen drei Aussagen eine Tendenz erkennen. Aussage 1, 2 und 3 werden von der Mehrheit der ProbandInnen korrekt mit mittelmäßig bis stimmt nicht beurteilt, so dass eine positive Entwicklung der Vorstellung nach Bearbeitung der Lernma-

aterialien zu erkennen ist. Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test (Tab. 19) genutzt, um das Postkonzept der ProbandInnen zu beurteilen.

Tab. 19: Multiple-Choice-Test im Postkonzept

	Stimmt nicht (1)	Stimmt wenig (2)	Stimmt mitelmäßig (3)	Stimmt ziemlich (4)	Stimmt sehr (5)
„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.“	S20 S11 S15 S16 S19	S1 S17 S18	S2 S5 S12 S13 S14	S6 S10	S3 S4 S8
„Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“	S6 S9 S10 S13 S14 S15 S16 S17 S18 S19 S20	S1 S2 S3 S5	S11	/	S4
„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.“	S5 S13 S14 S15 S19 S20	S6 S17 S18	S1 S3 S12	S2	S4

(Quelle: Eigene Darstellung)

6.2.3 Veränderungen vom Prä- zum Postkonzept

Es wird das Prä- (6.2.1) mit dem Postkonzept (6.2.2) verglichen, um die Veränderungen in der Vorstellung festzustellen.

6.2.3.1 Schülerzeichnung

Folgende Tabelle 20 verdeutlicht die Entwicklung vom Prä- zum Postkonzept, die in den Zeichnungsklassen stattgefunden hat. Sie zeigt die Einordnung der ProbandInnen im Präkonzept (a: prä) und Postkonzept (b: post).

Tab. 20: Zeichnungsklassen im Prä-Post-Vergleich

Zeichnungsklassen im Prä- und Postkonzept a: prä, b: post		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2*	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe	/	S1a S3b S10b	S1b S4b S5b S6b S7b S8b S9b S11b S13b S14b S15b S16b S18b S19b S20b
	Magmahüllenmodell	S2a S3a S5a S6a S7a S12a S14a S15a S17a S19a S20a	S18a S2b	S12b S17b
	Gesteinsschichtenmodell	S9a S11a S13a S16a	S8a	/
	Keine Konzentrität	S4a S10a	/	/

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Begriffsklasse lässt sich festhalten, dass die 1. Begriffsklasse im Präkonzept der Mehrheit der ProbandInnen zugeordnet ist, da nur bis zu zwei fachwissenschaftliche adäquate Begrifflichkeiten repräsentiert wurden. Nach der Bearbeitung der Lernumgebung konnten 17 von 20 ProbandInnen über fünf adäquate fachwissen-

schaftliche Termini anführen und sich in die 3. Begriffsklasse eingruppierten. Damit ist eine Entwicklung von der niedrigsten in die höchste Begriffsklasse zu erkennen. Hervorzuheben ist besonders die positive Entwicklung im Bereich der Begriffsanführung hinsichtlich des Mantels und der Kruste. Es ist eine enorme Steigerung von 6 auf 17 ProbandInnen und somit nahezu eine Verdreifachung. Der Kern wurde zu Beginn von elf ProbandInnen und im Postkonzept von allen ProbandInnen wiedergegeben.

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Nähe der Konzepte ist eine positive Veränderung von zu Beginn einem Probanden bzw. einer Probandin auf 17 ProbandInnen zu verzeichnen, das entspricht einer enormen Steigerung. Das Magmahüllenmodell verwenden im Präkonzept zwölf ProbandInnen. Es ist damit die häufigste Vorstellung im Präkonzept. Nach der Bearbeitung der Lernmaterialien verwenden es lediglich nur noch drei ProbandInnen. Das Gesteinsschichtenmodell ist das zweithäufigste Präkonzept. Es kommt bei dem Postkonzept nicht mehr vor und wurde durch ein fachlich nahes Konzept ersetzt. Ebenfalls wird das Konzept keine Konzentrität, das im Präkonzept von zwei ProbandInnen aufgezeigt wurde, im Postkonzept nicht mehr zugeordnet.

6.2.3.2 Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wird der Multiple-Choice-Test genutzt, um Veränderungen bezüglich des Wissensstandes festzustellen.

Aussage 1: *„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.“* Es wurden im Präkonzept am häufigsten das Magmahüllenmodell und Gesteinsschichtenmodell zugeordnet. Diese Sichtweise zeigt sich auch in der Beurteilung dieser Aussage des Multiple-Choice-Tests, denn diese Schüleraussage scheint für 14 ProbandInnen plausibel. Nach der Bearbeitung der Lernmaterialien wird die Aussage 1 mit einem niedrigen Wahrheitsgehalt eingestuft, so dass eine positive Vorstellungsveränderung zu verzeichnen ist.

Aussage 2: *„Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“* Die Aussage 2 wird im Präkonzept von 17 ProbandInnen mit einem wenigen bzw. mittelmäßigen Wahrheitsgehalt eingeschätzt. Es zeigt sich bereits im Präkonzept eine fachwissenschaftlich nahe Orientierung, die im Postkonzept noch einmal bestätigt wird.

Aussage 3: „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.“ Dieser Sichtweise stimmen im Präkonzept 14 von 20 ProbandInnen zu. Nach der Bearbeitung der Lernumgebung schätzt die Mehrheit der ProbandInnen diese Aussage als unzutreffend ein und zeigt somit die Verfolgung eines fachwissenschaftlich nahen Konzepts.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle drei Aussagen 1, 2 und 3 von der Mehrheit der ProbandInnen korrekt mit mittelmäßig bis stimmt nicht beurteilt werden, so dass ein positiver Kenntnisstand nach Bearbeitung der Lernumgebung zu verzeichnen ist.

Erreichter Conceptual-Change-Grad

Ziel der Studie bestand darin, einen Conceptual Change zu initiieren. Es wird untersucht, ob die ProbandInnen eine große (K1), kleine (K2) oder keine (K3) positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes verzeichnen konnten. Damit die ProbandInnen den Kategorien K1 bis K3 und somit den Stufen des Conceptual Change zugeordnet werden können, wird die Zeichnungsklasse im Postkonzept analysiert. Folgende Tabelle 21 veranschaulicht die Einordnung der ProbandInnen nach ihrem erreichten Conceptual-Change-Grad.

Tab. 21: Erreichter Conceptual-Change-Grad

Kategorien		
K1: Große positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes	K2: Kleine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes	K3: Keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes
S1 S4 S5 S6 S7 S8 S9 S11 S13 S14 S15 S16 S18 S19 S20	S3 S10	S2 S12 S17
Deutlicher Conceptual Change	Kleiner Conceptual Change	Kein Conceptual Change

(Quelle: Eigene Darstellung)

Dabei entspricht (s. Anlage-Nr. A3):

- K1: deutlicher Conceptual Change (d. h. ein deutlicher Zuwachs von über 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K2: kleiner Conceptual Change (d. h. ein Zuwachs von bis zu 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K3: kein Conceptual Change (d. h. fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen, aber ein fachlich unangemessenes Konzept)

Es ist bei 17 von 20 ProbandInnen ein Conceptual Change initiiert worden, wobei 15 ProbandInnen einen deutlichen Conceptual Change und zwei ProbandInnen einen kleinen Conceptual Change erreicht haben. Hingegen drei ProbandInnen haben keinen Conceptual Change erreicht. Hierzu zählen S2, S12 und S17.

Proband S2

S2 stuft das eigene Interesse mit dem Item „etwas“ ein. Daraus kann interpretiert werden, dass ein geringer Zustand des Interessiert-Seins am Aufbau der Erde vorliegt, der u. a. durch eine niedrige Aufmerksamkeit und geringen Gefühlen der Neugier und Faszination gekennzeichnet ist (KRAPP 2006). Man kann also zum Schluss kommen, dass mit dem geringen Interesse eine niedrige Aufmerksamkeit einhergeht.

S2 gibt an, sich das Präkonzept bereits vorher überlegt zu haben. Nach HAMANN und ASSHOFF (2014) gelten Vorstellungen, die bereits vorher überlegt wurden, als tief verankert, stabil und schwer veränderbar. S2 äußerte sich im 1. Interview folgendermaßen: „Das habe ich mal voll gekonnt“ (1. VE, Z. 59). S2 geht davon aus, die Thematik früher mal gewusst zu haben. Ausgehend davon kann interpretiert werden, dass S2 der Annahme ist, dass das Präkonzept in der Zeichnung korrekt wiedergegeben wurde, da es ja „mal voll gekonnt“ wurde.

In den Äußerungen von S2 lässt sich keine Unzufriedenheit erkennen. Daraus könnte man ableiten, dass S2 auf der Überzeugung ruht, das Wissen über die Erde sei immer noch korrekt. Somit gibt es für ihn keinen Anlass, unzufrieden zu sein.

Proband S12

S12 stuft das eigene Interesse als „etwas“ ein. Daraus kann gefolgert werden, dass ein geringer Zustand des Interessiert-Seins am Aufbau der Erde vorliegt, der ebenfalls u. a. durch eine niedrige Aufmerksamkeit und geringen Gefühlen der Neugier und Faszinati-

on gekennzeichnet ist (KRAPP 2006). Auch hier liegt der Schluss nahe, dass mit dem geringen Interesse eine niedrige Aufmerksamkeit einhergeht.

Am Anfang des 6. Interviews könnte auf die Demotivation von S12 geschlossen werden, da auf die Frage „*wie detailliert soll das sein?*“ mit einem „Stöhnen“ reagiert wird (6. VE, Z. 29-33). Im weiteren Verlauf gibt S12 an: „*Ich lasse das mal jetzt so. Ich habe zwar im Kopf mehr Ideen, aber ich kriege das nicht aufs Papier*“ (6. VE, Z. 57-58). Daraus könnte man schlussfolgern, dass dies eine Ausrede dafür ist, sich nicht weiter anzustrengen. Es könnte auch interpretiert werden, dass eine geringe Motivation und Leistungsbereitschaft vorliegen. In Zeile 122 äußert sich S12: „*Sagst du uns auch gleich, was richtig ist*“ (6. VE, Z. 57-58). Daraus kann man zum Schluss kommen, dass S12 sich keine eigene Meinung bilden möchte. Das könnte darauf beruhen, dass die kognitive Auseinandersetzung mit einer Anstrengung und einem gewissen Sicherheitsverlust verbunden ist, zu der S12 anscheinend nicht bereit ist.

Im 6. Vermittlungsexperiment zeigten beim Präkonzept beide ProbandInnen das Magmahüllenmodell. Daraus ergibt sich, dass der Anlass fehlte, Unzufriedenheit zu erzeugen, weil keine kontroversen Sichtweisen und damit verschiedene Konzepte vorlagen. Folglich wurde keine Diskussion angeregt, in der die eigene Sichtweise verteidigt werden musste. Zusammenfassend kann angenommen werden, dass bei S12 keine Unzufriedenheit erkennbar ist.

Proband S17

S17 stuft ebenfalls das eigene Interesse als „etwas“ ein. Auch hier kann daraus geschlossen werden, dass ein geringer Zustand des Interessiert-Seins am Aufbau der Erde vorliegt, der u. a. durch eine niedrige Aufmerksamkeit und geringen Gefühlen der Neugier und Faszination gekennzeichnet ist (KRAPP 2006). Daraus kann man schließen, dass mit dem geringen Interesse eine niedrige Aufmerksamkeit einhergeht. S17 bearbeitete den ersten Arbeitsauftrag nicht korrekt. Es wurde eine Satellitenbildaufnahme auf die Erde und nicht der innere Aufbau der Erde skizziert. Nach einiger Zeit kommentierte dies S17 mit der Floskel „*ups*“ (9. VE, Z. 29). Daraus kann interpretiert werden, dass sich das niedrige Interesse in einer geringen Aufmerksamkeit und Unkonzentriertheit für die Thematik widerspiegelt. In Zeile 36 kommentiert S17 wahrscheinlich ironisch gemeint: „*Das richtige Thema für mich*“ (9. VE, Z. 36). Dies alles könnte darauf hindeuten, dass wenig Motivation vorliegt, das Thema zu bearbeiten und erfolgreich zu beenden. Die niedrige Qualität der Aussagen und der geringe Sprechanteil spiegeln sich

in der Interaktion der ProbandInnen wieder. Daraus könnte geschlussfolgert werden, dass der Anlass fehlte, Unzufriedenheit zu erzeugen, weil keine kontroversen Sichtweisen vorlagen. Folglich wurde keine Diskussion veranlasst, in der die eigene Sichtweise verteidigt werden musste. So scheint auch, S17 die Phase der Unzufriedenheit nicht erreicht zu haben.

Zusammenfassung

Es scheint, dass S2, S12 und S17 keine Phase der Unzufriedenheit nach POSNER et al. (1982) erreicht haben. Damit ein Conceptual Change erfolgt, der auf einen Erkenntnisgewinn ausgerichtet ist, müssen die Voraussetzungen eines gelungenen Lernens erfüllt werden. Die Bedingungen nach POSNER et al. sind hierarchisch angeordnet. Um einen erfolgreichen Conceptual Change durchzuführen, müssen die Kriterien Unzufriedenheit, Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit nacheinander durchschritten werden. Hieraus ergibt sich, dass die letzten drei Kriterien eines Conceptual Change nie erreicht werden konnten, da sie bereits an der ersten Phase der Unzufriedenheit scheiterten. Es ist ausschlaggebend, dass der Lehrende die Bedingungen für einen Conceptual Change nicht nur zur Verfügung stellt, sondern dass diese auch vom Lernenden in der Lernumgebung erfasst werden, da sonst kein Conceptual Change initiiert werden kann.

6.2.4 Lernhinderliche Interventionen

Die ProbandInnen wurden in einer Einzelschlussdiskussion befragt, welches Lernmaterial für sie lernhinderlich war. Die ProbandInnen, die in den einzelnen Fragen nicht aufgeführt wurden, beurteilten entweder alle Lernmaterialien positiv oder waren nicht in der Lage, die Frage zu beantworten.

Zu der grundlegenden Zonierung der Erde traf S2 folgende Aussage: „*Also mir geht es oft so, dass [ich] mal die Kruste und den Mantel verwechsle*“ (1. VE, Z. 1355). Die Reihenfolge der Schalen wird als Schwierigkeit genannt. Die Aussagen der ProbandInnen weisen aber vor allem Bezug zu den einzelnen Lernmaterialien auf. Es wird erläutert, dass eine doppelte Veranschaulichung der Dichte mit Modell 1 und Modell 2 erfolgt, aber durch das 2. Modell der Lernende nochmal einen anderen Zugang erhält (S1). Damit werden Modell 1 und 2 nicht als lernhinderlich angesehen. Modell 3 wird ebenso nicht als lernschwierig eingestuft und erhält auch keinen Verbesserungsvorschlag. An Modell 4 wurden die Eigenschaften der Knete als schwierig angesehen, da

sie nicht alltäglich sind (S4, S6, S7 und S11). Für S6 war es schwer vorstellbar, obwohl es in die Hand genommen werden konnte und ein Video gezeigt wurde. Für einzelne ProbandInnen fehlt der Zusammenhang zur Erde und hat somit nicht als Lernmaterial weitergeholfen (S8, S15 und S17). Modell 5 wird vor allem aufgrund der spezifischen Begriffe als lernhinderlich eingeschätzt, da die Begriffe vorher unbekannt und damit schwierig zuzuordnen waren (S5, S8, S15 und S18). S18 gibt an, dass die Schalen schwer vorstellbar sind, da bereits ein bestehendes Bild im Kopf besteht. Auch wird der Zusammenbau von einigen ProbandInnen als schwierig empfunden, da der Input fehlte (S3, S5 und S16). Für S1 ist unklar, ob die Begriffe Platte und Lithosphäre zusammengehören und dasselbe bedeuten. Auf der anderen Seite wird Modell 5 als zu leicht, ersichtlich und als einfachstes Modell empfunden, das einfach zusammengesteckt wird (S15). Als Verbesserungsvorschlag für das 5. Modell wird angeführt, auf die Infokarten von Erdkruste und Erdmantel alle Schalen der Erde darzustellen, so dass sich die Begriffe Asthenosphäre und Lithosphäre besser einordnen lassen (S3). Auch wird erwähnt, für die schwierigen Begriffe andere Begriff als Alternative anzubieten (S5). Arbeitsblatt 1 wird wegen der mangelnden Farbe und der Zweidimensionalität im Gegensatz zu den Modellen als wenig anschaulich empfunden (S12). Auch die Aufgabenstellung war unklar (S3 und S11). Arbeitsblatt 2 ist nicht vorstellbar, kompliziert und unverständlich (S17 und S20). Ebenso gibt es Probleme beim Aufzeichnen (S14). An Modell 6 wird als schwierig empfunden, dass Erlernte in den Aufbau der Erde umzusetzen (S19), v. a. ab dem Kern wird die Zuordnung zu den einzelnen Schalen schwierig (S9). Als Verbesserung wird das Ersetzen der Eisenspäne durch ein anderes Material vorgeschlagen, da dessen Dichte als zu hoch eingeschätzt wurde (S19). Ebenso wird vorgeschlagen, Begriffe der Schalen zur Verfügung zu stellen, um somit eine leichtere Zuordnung der einzelnen Materialien zu ermöglichen (S4).

6.2.5 Lernförderliche Interventionen

Es erwiesen sich viele Lernangebote für die ProbandInnen lernförderlich, um neues Wissen konstruieren zu können. Die Materialien der Lernumgebung wurden im Einzelinterview mit den ProbandInnen diskutiert und die Hauptaussagen wie folgt zusammengefasst.

Auf die Frage hin, was die ProbandInnen mitgenommen haben, wurde beschrieben, dass verschiedene Sachen bzw. Details durch die Experimente klarer geworden sind (S1, S9, S10 und S16). Zuvor bestand nur kaum Wissen über die Thematik (S2). Durch

die Lernumgebung wurde der allgemeine Aufbau der Erde mit den Schalen sowie seinen Eigenschaften bewusst (S1, S5, S6, S7, S8, S11, S13 S14, S17, S18 und S20). Von S12 wird hervorgehoben, dass im eigenen Präkonzept ein flüssiger Kern statt innerer fester Kern verfolgt wurde. Zuvor bestand die Vorstellung von einer Gliederung in drei Schalen und nach der Lernumgebung war eine weitere Unterteilung der Schalen (z. B. oberer und unterer Mantel) möglich (S. 18).

Auf die Frage hin, was die ProbandInnen im Vergleich zu vorher wissen, wurde vor allem der detailliertere Aufbau der Erde mit den Bezeichnungen, den Eigenschaften und Materialien genannt (S2, S3, S4, S6, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S15, S16 und S17). Ebenso wird betont, dass zuvor eine andere Vorstellung vom Aufbau der Erde verfolgt wurde (S4). Zuvor waren zwar die Begrifflichkeiten teilweise bekannt, aber es bestand Unsicherheit beim Zuordnen der Begriffe (S7). Die Mächtigkeit des Erdmantels und dessen Bezeichnung sind besser vorstellbar (S12). Auch wird auf die Dichte eingegangen. Als Beispiel wird der innerer Kern angeführt, der abhängig von der Dichte ist (S17 und S19).

Der Aufbau der Erde ist verständlicher geworden, da die Thematik durch das Ausprobieren sichtbar und vorstellbar wurde (S1, S6 und S13). Durch die bildliche Veranschaulichung ist es langfristig vorstellbar (S18 und S20). Die Bildern und die verschiedenen Modelle veranschaulichen die Thematik (S2, S4, S7, S9, S10, S15, S16, S17 und S19). Durch die Beispiele ist es besser darstellbar und erklärbar, da man „*nicht einfach mal die Erde aufmachen und reinschauen*“ kann (vgl. 10. VE, S11). In der Lernumgebung kam immer neues Wissen dazu und es wurde schrittweise vorgegangen. Das eigene Ausprobieren ermöglicht ein einfacheres Merken (S5 und S8). Das Durchspielen an praktischen Beispielen und das sinnvolles Üben an den Modellen sind positiv hervorgehoben worden (S12).

Modell 1 veranschaulicht gut den Aufbau der Erde durch die verschiedenen Gewichte der Gesteine, wobei jedes einzelne Gewicht bzw. Stein seinen Platz in der Erde hat (S1 und S13). Ebenso wird in dem Modell 1 die Dichteverteilung in der Erde dargestellt (S8, S11 und S20). Die gute Verdeutlichung der Dichteverteilung wird beim Modell 2 hervorgehoben und von einigen als Knackpunkt beschrieben, da die Erkenntnis hieraus für die Erklärung von anderen Sachverhalten verwendet werden kann (S2, S8, S11, S12 und S17). Modell 3 veranschaulicht gut den Aufbau der Erde (S1) und das Verhalten beim Zusammendrücken des Styropors für den äußeren und inneren Kern (S13). Modell

4 sowie Arbeitsblatt 1 und 2 wurden von ProbandInnen nicht explizit erwähnt. Modell 5 wurde von S3 am schwierigsten, aber dennoch als Knackpunkt bezeichnet. Der Aufbau der Erde ist hierdurch besser vorstellbar (S7) und für die letzten Aufgaben eine Hilfestellung (S4). Modell 6 dient der besonderen Verdeutlichung des Sachverhalts (S4) und der eigene Nachbau der Erde wurde als besonderes hilfreich empfunden (S1, S6, S10, S11, S13 und S19). S9 sah den Atlaseinsatz als besonders lernförderlich. Daneben wurden als besonders hilfreich von S3 die kleinen Infokarten vom Erdkern und Erdmantel bei der Bearbeitung der Modelle 3 und 4 beurteilt. Es wurde auch erörtert, dass es nicht nur einen Knackpunkt gab, sondern dass die Lernumgebung eine Zusammensetzung aus vielen Fragestellungen war. Jeder einzelne Knackpunkt war wichtig für das Ganze, da man sonst etwas weglassen könnte.

6.2.6 Interesse und zeitliche Bildung der Vorstellung

6.2.6.1 Interesse

Die ProbandInnen schätzten selbstständig ihr Interesse von sehr hoch, hoch, etwas bis niedrig ein. Es wurden alle vier Möglichkeiten angekreuzt (Tab. 22). Dennoch zeigt sich eine Tendenz auf die Mitte. Zwei von 20 ProbandInnen bekunden ein sehr hohes Interesse, sechs ein hohes und elf etwas. Ein niedriges Interesse ist einmal angekreuzt worden. Damit sind alle Bereiche der Interessenseinstufung abgedeckt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Mehrheit der ProbandInnen ihr Interesse zu Beginn der Untersuchung mit etwas einstuft.

Tab. 22: Interessensverteilung

Interesse (Anzahl der ProbandInnen in absoluten Zahlen)			
sehr hoch	hoch	etwas	niedrig
2	6	11	1

(Quelle: Eigene Darstellung)

S15 äußert sich nach der Bearbeitung der Lernumgebung folgendermaßen: „Dass sagst, okay, du hast es [...] [einmal] veranschaulicht kriegt, mit Bilder[n] und [...] dich [...] da[mit] auseinandergesetzt, was wirklich wichtig ist, [...] dass [...] [hat] [mich] vorher gar nicht interessiert“ (8. VE, Z. 277-279). Zu Beginn stufte S15 das eigene Interesse mit „etwas“ ein. Allerdings ist durch die Lernmaterialien situationales Interesse an der

Thematik geweckt worden. Dieses Beispiel zeigt, dass im Laufe der Untersuchung bei ProbandInnen situationales Interesse geweckt werden konnte.

6.2.6.2 Zeitliche Bildung der Vorstellung

Es wurde auch der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung erhoben. Dabei standen zwei Ankreuzmöglichkeiten zur Verfügung: die Vorstellung wurde sich „gerade“ (ad hoc) oder „schon vorher“ (tief verankert) überlegt. Alle ProbandInnen weisen zu gleichen Anteilen die beiden Zeitpunkte der Vorstellungsüberlegung auf. 10 von 20 ProbandInnen haben sich an einer Vorstellung orientiert, die bereits vorhanden war (tief verankert) und 10 von 20 ProbandInnen haben eine Vorstellung zum Aufbau der Erde spontan konstruiert (ad hoc). Im folgenden Kapitel 7 werden die Forschungsfragen auf Basis der Forschungsergebnisse beantwortet.

7 Beantwortung der Forschungsfragen

Im folgenden Kapitel erfolgt die Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 4. Die Basis hierfür bilden die Untersuchungsergebnisse, die bereits im vorherigen Kapitel 6 dargelegt wurden.

1. Welche Vorstellungen bestehen vor den Interventionen zum Themenbereich Aufbau der Erde?

Es wird beim Präkonzept deutlich, dass die Mehrheit der ProbandInnen der 1. Begriffs-klasse und drei ProbandInnen der 2. Begriffs-klasse zuzuordnen sind, wobei diese drei die grundlegende Zonierung aus Kruste, Mantel und Kern skizzierten. Die 3. und höchste Begriffs-klasse mit über fünf fachwissenschaftlich angemessenen Termini ist beim Präkonzept nicht vertreten. Entgegen der Studien von CONRAD (2014) sowie GAPP und SCHLEICHER (2010) sind beim Präkonzept nicht alle ProbandInnen in der Lage, den Terminus Erdkern anzuführen (neun von 20 ProbandInnen). Es ist dennoch auffallend, dass vor allem der Fachbegriff Erdkern angeführt ist und nicht Mantel oder Kruste. Zusammenfassend kann man festhalten, dass der Kern im Präkonzept am häufigsten angeführt wird und Begrifflichkeiten, die die Rheologie betreffen, nur von einem Probanden bzw. einer Probandin wiedergegeben werden.

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung verwenden die ProbandInnen beim Präkonzept alle vier verschiedenen Konzeptklassen: fachliche Nähe, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität. Es zeichnen zwölf von 20 ProbandInnen vor allem das Magmahüllenmodell. Dabei verwenden die ProbandInnen häufig eine thermische Zonierung, in der eine Anordnung der Schalen nach Temperaturverhältnissen in konzentrischen Kreisen veranschaulicht wird. Ebenfalls wird die Farbwahl dementsprechend gewählt und größtenteils mit orange, rot bzw. gelb herausgearbeitet. Es lässt sich sagen, dass die ProbandInnen wie in den Studien von CONRAD (2014), GAPP und SCHLEICHER (2010), DAHL et al. (2005) und GOBERT (2000) angeben, dass sich viel Magma im Inneren der Erde befindet. Am zweithäufigsten ist im Präkonzept das Gesteinsschichtenmodell vertreten, das unterschiedliche Gesteinsschichten in konzentrisch angeordneten Schalen veranschaulicht. Fünf von 20 ProbandInnen vertreten das Gesteinsschichtenmodell. Die Konzeptklasse keine Konzentrität wird am dritthäufigsten aufgeführt. Diese Klasse zeigt Vorstellungen, in denen keine konzentrischen Kreise symmetrisch um eine gemeinsame Mitte angeordnet

werden. Fünf von 20 ProbandInnen zeichnen keine Konzentrität im Inneren der Erde. Die Konzeptklasse fachliche Nähe ist lediglich im 1. VE bei S1 im Präkonzept zu finden. S1 skizziert sowie beschreibt fachlich nahezu korrekt und erläutert adäquat neben der Zonierung in seiner Grundordnung auch die Mächtigkeit der Erdkruste („dünnste Schicht“, 1. VE, Z. 83). Der Erdkern wird korrekt in zwei Bereiche mit Berücksichtigung der Reihenfolge der Rheologie (innerer Kern: fest – äußerer Kern: flüssig) unterteilt. Abschließend lässt sich sagen, dass damit nur ein(e) ProbandIn der höchsten Konzeptklasse zuzuordnen ist.

2. Welche Vorstellungen bestehen nach den Interventionen zum Themenbereich Aufbau der Erde?

Beim Postkonzept wird von 17 ProbandInnen vor allem die 3. Begriffsklasse erreicht. Die restlichen drei ProbandInnen werden in die 2. Begriffsklasse eingeordnet. Die 1. Begriffsklasse ist beim Postkonzept nicht mehr vertreten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Terminus Erdkern von allen ProbandInnen wiedergegeben wurde. Somit konnten erst nach der Bearbeitung der Lernmaterialien die Studien von CONRAD (2014) sowie GAPP und SCHLEICHER (2010) bestätigt werden. Alle ProbandInnen sind nun in der Lage, den Terminus Erdkern anzuführen. 17 von 20 ProbandInnen haben in ihren Zeichnungen den Erdmantel und die Erdkruste genannt. Die Brotkruste und der Mantel als Kleidungsstück sind ebenfalls beides Alltagsgegenstände, die wohl dem Erfahrungsbereich eines jedem Einzelnen angehören. Ein(e) ProbandIn gibt an, oft Kruste und Mantel zu verwechseln. Das ist nicht verwunderlich, da die Kruste bzw. der Mantel beide den äußersten Bereich von alltäglichen Gegenständen darstellen. Eine direkte Übertragung auf den Aufbau der Erde erweist sich somit als schwierig. Eine einfachere Bezeichnung als Mantel oder Kruste ist wohl im Alltag die Bezeichnung Kern. Ein alltägliches Beispiel hierfür ist der Kern eines Pfirsichs. Der Kern steht immer für das Innere in Gegenständen und kann hierdurch es zu keiner Verwechslung der Reihenfolge kommen. Durch den Bezug zu alltäglichen Gegenständen können diese einfacher und schneller in das bereits bestehende Präkonzept integriert werden. Ebenfalls ist zu erwähnen, dass „kontinental“ eine Bezeichnung ist, die im Alltag gebräuchlich ist und die ProbandInnen hierzu einen leichteren Bezug als zu den anderen Fachbegriffen haben. Aus diesem Grund ist es nicht verwunderlich, dass 19 von 20 ProbandInnen in der Lage sind, „kontinental“ in ihr Konzept nach der Bearbeitung der Lernumgebung einzuglie-

dern. Festzuhalten ist, dass die Bezeichnungen aus der Rheologie (z. B. Asthenosphäre oder Lithosphäre) nicht häufig in das neu entwickelte Konzept einbezogen werden. Ursächlich hierfür könnte sein, dass die Begriffe zu abstrakt sowie spezifisch und im Alltag nicht gebräuchlich sind. Allerdings sind die Bezeichnungen der Rheologie von den Eigenschaften, die die Rheologie betreffen, zu unterschieden. Denn die rheologischen Eigenschaften (z. B. fest oder plastisch) werden von mehr als der Hälfte der ProbandInnen angeführt, um die Schalen mit einem zusätzlichen Wesensmerkmal zu bezeichnen.

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung kommen bei den Präkonzepten nur zwei der vier verschiedenen Konzeptklassen vor: 17 ProbandInnen weisen das Konzept fachliche Nähe und die restlichen drei das Magmahüllenmodell auf. Das Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität werden nicht mehr verwendet. Dabei illustrieren die ProbandInnen häufig die chemische Zonierung und die Eigenschaften der rheologischen Zonierung. Zusammenfassend zeigt sich, dass 15 ProbandInnen die höchste Begriffsklasse und ein fachwissenschaftlich nahes Konzept zum Aufbau der Erde zeigen. Kein Proband wird in keine Konzentrität oder in das Gesteinsschichtenmodell eingeordnet.

3. Wie verändern sich die Schülervorstellungen durch die didaktisch aufbereitete Lernumgebung?

Die Mehrheit der ProbandInnen ordnet sich beim Präkonzept in die 1. Begriffsklasse ein. Doch nach der Bearbeitung der Lernmaterialien gruppieren sich 17 von 20 ProbandInnen in die 3. Begriffsklasse ein. Bezüglich der fachwissenschaftlichen Nähe der Konzepte ist eine positive Veränderung von zu Beginn einem Probanden bzw einer Probandin auf 17 ProbandInnen zu verzeichnen, das entspricht einer enormen Steigerung. Das Magmahüllenmodell verwenden beim Präkonzept die Mehrheit der ProbandInnen und beim Postkonzept nur noch drei ProbandInnen. Das Gesteinsschichtenmodell ist das zweithäufigste Präkonzept. Es kommt beim Postkonzept nicht mehr vor und wurde durch ein fachlich nahes Konzept ersetzt. Ebenfalls wird das Konzept keine Konzentrität, das im Präkonzept von zwei ProbandInnen aufgezeigt wurde, im Postkonzept nicht mehr zugeordnet.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass kein Proband einen Wechsel von einem fachlich unangemessenen Konzept zu einem anderen fachlich unangemessenen Konzept oder von fachlicher Nähe zu einer fachlich unangemessenen Konzeptklasse vollzogen

hat. Alle ProbandInnen vom Gesteinsschichtenmodell und keine Konzentrität gruppieren sich nach der Bearbeitung der Lernmaterialien in ein fachlich nahes Konzept ein. Die Mehrheit der ProbandInnen des Magmahüllenmodells ordnet sich ebenfalls in ein fachlich nahes Konzept ein. Lediglich drei von ihnen vertreten weiterhin das Magmahüllenmodell.

Es war das Ziel der vorliegenden Dissertation aufzuzeigen, *ob und wenn ja, inwieweit ein erfolgreicher Conceptual Change zu Vorstellungen des Aufbaus der Erde durchgeführt werden konnte*. Es haben 15 ProbandInnen einen deutlichen Conceptual Change und 2 ProbandInnen einen kleinen Conceptual Change erreicht. Kein Conceptual Change wurde bei drei ProbandInnen initiiert. Es kann dem ersten Teil der Hauptforschungsfrage (*ob*) zugestimmt werden, dass ein erfolgreicher Conceptual Change zu Vorstellungen des Aufbaus der Erde durchgeführt werden konnte. In der vorliegenden Untersuchung haben ProbandInnen einen Conceptual Change zu einem fachlich nahen Konzept erreicht. Der zweite Teil der Hauptforschungsfrage (*wenn ja, inwieweit*) kann ebenfalls beantwortet werden. Es wurde deutlich, dass 15 von 20 ProbandInnen einen deutlichen Conceptual Change und zwei von 20 einen kleinen Conceptual Change erreichten. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei 17 von 20 ProbandInnen ein Conceptual Change zu Vorstellungen des Aufbaus der Erde initiiert werden konnte.

4. Was sind lernhinderliche Interventionen für die Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung?

Die Modelle 1 bis 3 sind von den ProbandInnen nicht als Lernschwierigkeit eingestuft. Lediglich einzelne Elemente der Lernumgebung sind für einzelne ProbandInnen lernhinderlich. Die Hauptlernhürde war vor allem das 5. Modell. Im 5. Modell Platte standen die Lithosphäre und die Asthenosphäre im Fokus. Als lernhinderlich wurden die spezifischen Begrifflichkeiten angegeben, da die Begriffe vorher unbekannt und damit schwierig zuzuordnen waren. Ein Verbesserungsvorschlag hierzu ist, dass die Begrifflichkeiten vor ihrem Gebrauch eingeführt werden. Ebenfalls kann als Zusatzmaterial kleine Übersichtskarten vom Aufbau der Erde während der Bearbeitung der ganzen Lernumgebung zur Orientierung zur Verfügung gestellt werden.

5. Was sind lernförderliche Interventionen für die Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung?

In der Lernumgebung erscheinen fast alle Lernangebote für die ProbandInnen lernförderlich, um neues Wissen konstruieren zu können. Es wurde vom Großteil der ProbandInnen positiv erläutert, dass der Aufbau der Erde mit den Schalen und Eigenschaften durch die Modelle und Materialien verständlicher wurde.

Von den ProbandInnen wurden folgende Punkte als besonders hilfreich genannt:

- hohe Selbsttätigkeit
- hohe Veranschaulichung
- aufeinander aufbauende Lernmaterialien
- verwendeten Farben für Übersichtlichkeit und schnelleres Begreifen
- selbstgesteuertes Lernen
- Lehrkraft als Lernbegleitung
- vielseitige Modelle zum Ausprobieren

Dadurch konnte mehr Wissen aufgebaut werden und der Aufbau der Erde wurde besser vorstellbar. Hervorzuheben ist, dass von den ProbandInnen angemessen reflektiert wurde, dass sie vor der Bearbeitung der Lernumgebung eine andere Vorstellung vom Aufbau der Erde hatten. Die ProbandInnen wurden in der Verwendung der Bezeichnungen sicherer und haben die zuvor bestehenden Unsicherheiten beiseitegelegt. Als Knackpunkte bzw. Hilfestellungen wurden vor allem das 2. und 5. Modell angesprochen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass das Modell 5 vom Großteil der ProbandInnen am schwierigsten eingeschätzt wurde (vgl. 4. Teilforschungsfrage). Durch diese positive Erwähnung in diesem Zusammenhang zeigt sich jedoch, dass zwar das Modell 5 am schwierigsten zu verstehen, doch als deutliche Hilfestellung für die weitere Wissensentwicklung empfunden wurde. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass von der Mehrheit der ProbandInnen, die einen deutlichen Conceptual Change erreicht haben, angemessen erkannt und reflektiert wurde, dass die Lernumgebung aufeinander aufbaut.

6. Besteht ein Zusammenhang zwischen Interesse, zeitlicher Bildung der Vorstellung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung?

Die ProbandInnen werden anhand ihres Interesses sowie des erreichten Conceptual-Change-Grads: K1, K2 und K3 eingestuft. Als dritter Parameter wird der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung, ob die Vorstellung ad hoc entwickelt wurde oder bereits tief verankert war, hinzugezogen. Die Zusammenhänge zwischen Interesse, bildlicher Zeitpunkt der Vorstellung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung werden in der folgenden Tabelle 23 deutlich.

Tab. 23: Zusammenhang von Interesse, Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung und fachwissenschaftlicher Nähe der Vorstellung

		Erreichter Conceptual-Change-Grad		
		Kein CC	Kleiner CC	Deutlicher CC
		K3	K2	K1
Interesse	Sehr hoch	/	/	<ul style="list-style-type: none"> • S13 ○ S20
	Hoch	/	/	<ul style="list-style-type: none"> • S7 S14 ○ S1 S8 S9 S18
	Etwas	<ul style="list-style-type: none"> • S2 S17 ○ S12 	<ul style="list-style-type: none"> • S3 S10 	<ul style="list-style-type: none"> • S11 S5 S19 ○ S4 S5 S6 S11
	Niedrig	/	/	<ul style="list-style-type: none"> • S16

Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung

- ad hoc
- tief verankert

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es wird deutlich, dass alle ProbandInnen, die in K2 und K3 eingegliedert werden, das gleiche Interesse aufweisen („etwas“). Damit stimmt der Grad des Interesses vollständig bei den ProbandInnen überein, die keinen oder einen kleinen Conceptual Change erreicht haben. Interesse begünstigt die Bereitschaft, sich mit neuen Sachverhalten zu beschäftigen (PINTRICH 1999). Ebenso steigert es die Qualität der Auseinandersetzung sowie die Verwendung von metakognitiven Strategien. Damit begünstigt Interesse einen Conceptual Change, da eine gesteigerte Bereitschaft zur Auseinandersetzung be-

steht. Damit begründet auch PINTRICH (1999), warum die ProbandInnen eventuell keinen deutlichen Conceptual Change erreicht haben, da der motivationale Faktor Interesse nicht stark ausgeprägt ist.

Die anderen 15 von 20 ProbandInnen, die einen deutlichen Conceptual Change erreichten, weisen nicht zwangsweise alle ein höheres Interesse als die ProbandInnen auf, die in K2 und K3 eingegliedert wurden. Bei K1 sind alle unterschiedlichen Grade des Interesses von sehr hoch bis niedrig vertreten. Alle ProbandInnen, die ein hohes Interesse zeigten, haben einen deutlichen Conceptual Change vollzogen. Es wird somit deutlich, dass ein hohes Interesse der Lernenden für die Initiierung eines deutlichen Conceptual Change vorteilhaft sein kann. Diejenigen, die zu Beginn kein Interesse gezeigt haben, haben während der Bearbeitung der Lernumgebung ein situationales Interesse entwickelt (6.2.6). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Interesse mit dem Ausmaß des Conceptual-Change-Prozesses Tendenzen aufzeigt.

Neben dem Interesse und dem erreichten Conceptual-Change-Grad ist auf die zeitliche Bildung der Vorstellung einzugehen. Vier von fünf ProbandInnen, die keinen deutlichen Conceptual Change erreicht haben, geben an, sich die Vorstellung ad hoc überlegt zu haben. Diese ad hoc-Vorstellungen gelten jedoch als instabil und leicht veränderbar (vgl. HAMANN & ASSHOFF 2014, S. 23). Somit lässt sich entgegen der Vermutung erkennen, dass der Grad der Verankerung der Vorstellung anscheinend keinen Zusammenhang zum Conceptual Change aufweist. Bei dieser Arbeit konnten keine eventuellen Zusammenhänge aufgezeigt werden. Sie könnten jedoch durchaus bestehen. Somit bietet dieser Bereich noch Raum für weitere Forschungsansätze.

8 Fazit und Schlussfolgerungen

Das Ziel dieser vorliegenden Dissertation bestand darin, einen grundlegenden Beitrag zur Conceptual-Change-Forschung im Fach Geographie zu leisten. Es wurden lernförderliche Methoden in einer geeigneten Lernumgebung für einen Conceptual Change entwickelt. Die theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der Lernumgebung bilden der moderate Konstruktivismus, das Modell der didaktischen Rekonstruktion und der Conceptual-Change-Ansatz nach POSNER et al. (1982).

8.1 Herausragende Ergebnisse

Eine herausragende Erkenntnis dieser Forschungsarbeit ist die immens hohe Bedeutung der **Phase der Unzufriedenheit**. Die ProbandInnen, bei denen kein Conceptual Change initiiert werden konnte, haben anscheinend auch nicht die Phase der Unzufriedenheit nach POSNER et al. (1982) erreicht. In diesem Fall trat eine Assimilation (Angleichung) ein. Diesen ProbandInnen waren anscheinend mit Ihrem Präkonzept nicht unzufrieden. Für sie hatte ihre Alltagsvorstellung im Gegensatz zu der neuen fachlich nahen Vorstellung einen höheren Stellenwert. Deshalb kam es insgesamt zu keinem Conceptual Change. Bei den anderen ProbandInnen konnte hingegen ein Conceptual Change herbeigeführt werden. Anscheinend wurde ein kognitiver Konflikt ausgelöst, der zur Unzufriedenheit mit ihrer bisherigen Vorstellung führte. Wenn die Phase der Unzufriedenheit erfolgreich bewältigt werden kann, dann scheint ein Conceptual Change erfolgreich zu sein. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Phasen Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit leichter zu bewältigen sind. Die Phase der Unzufriedenheit scheint somit die größte Hürde bei einem Conceptual Change zu sein. Deshalb ist in der Schule auf diese erste Phase Unzufriedenheit ein besonderes Augenmerk bei der Initiierung eines Conceptual Change zu legen. Die SchülerInnen müssen Gelegenheiten bekommen, Unzufriedenheit zu entwickeln und diese auch bewusst wahrzunehmen.

Eine weitere hervorzuhebende Erkenntnis dieser Forschungsarbeit ist der **Zusammenhang zwischen Interesse und einem erfolgreichen Conceptual Change**. Alle ProbandInnen, die ein hohes bzw. ein sehr hohes Interesse zeigten, haben einen deutlichen Conceptual Change erreicht. Klar wird, dass ein Conceptual Change bei höherem Interesse an der Thematik erfolgreicher vollzogen werden kann. Bei den ProbandInnen, die keinen Conceptual Change erreichten, war anfangs nur ein geringes Interesse vorhanden und anscheinend haben sie auch später kein situationales Interesse entwickelt. Für

die Schulpraxis gilt, dass Lernumgebungen durchgehend situationales Interesse anregen sollen. Damit bei den SchülerInnen, die zuvor kein Interesse zeigten, situationales Interesse geweckt wird. Dies könnte z. B. durch Lebensweltbezüge hergestellt werden. Die SchülerInnen müssen für sich selbst einen Gewinn sehen, sich mit dem Thema auseinandersetzen. Denn nur durch Interesse kann anscheinend ein Conceptual Change erfolgreich initiiert werden.

Bei der **Gestaltung der Lernumgebung** wurden alle Kennzeichen des moderaten Konstruktivismus berücksichtigt. Mittels dieser so aufgebauten Lernumgebung war ein Conceptual Change möglich. Insbesondere wurden folgende Merkmale umgesetzt: hohe Selbsttätigkeit, aufeinander aufbauende Lernmaterialien, Verwendung von Farben für Übersichtlichkeit und schnelleres Begreifen, selbstgesteuertes Lernen, Lehrkraft als Lernbegleitung, hohe Veranschaulichung und vielseitige Modelle zum Ausprobieren. Für den Geographieunterricht ergibt sich daraus die Konsequenz, dass Lernumgebungen moderat konstruktivistisch gestaltet werden müssen, um einen Conceptual Change erfolgreich zu erreichen.

8.2 Grenzen der Forschungsarbeit

Abstrakte unbekannte Fachtermini wurden ohne vorherige Einführung (beim Modell 5) eingesetzt. Dies führte zu Lernhindernissen, da die ProbandInnen mit den Fachbegriffen nicht umgehen konnten, besonders wenn sie keinen Alltagsbezug aufweisen. Somit ist im Geographieunterricht auf den Umgang mit Fachbegriffen, insbesondere bei der Einführung besonderes Augenmerk zu legen, da sie sonst nicht in die neue Vorstellung integriert werden.

Das Erreichen der Phase der Unzufriedenheit wurde nicht explizit erfasst. Somit lassen sich Aussagen, die sich auf die Unzufriedenheit beziehen, nur annehmen und nicht konkret beweisen.

Das Interesse wurde nur zu Beginn der Vermittlungsexperimente mit einem einzigen Item erfasst. Es empfiehlt sich das Interesse mit einer Skala aus mehreren Items zu erfassen. Der Wert beruht dann auf einer Skala und nicht nur auf einem einzelnen Wert. Außerdem können die ProbandInnen dann ihr Interesse besser abschätzen. Am Ende der Studie sollte noch einmal konkret das Interesse erhoben werden, um einen Prä-Post-Vergleich zu erhalten. Ebenfalls ist am Ende der Untersuchung das situationale Interes-

se abzufragen, um zu erfahren, ob es eventuell entstanden ist. Dabei ist darauf einzugehen, wie, wann und vor allem warum es sich entwickelt hat.

Eine weitere Grenze der Arbeit ist die Erhebung der zeitlichen Bildung der Vorstellung. Die ProbandInnen sollten den Entstehungszeitpunkt ihrer Vorstellung ankreuzen (ad hoc oder tief verankert). Spätere Äußerungen von ProbandInnen haben gezeigt, dass es für sie schwierig war, den Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung einzuschätzen. In diesem Fall wäre es auch sinnvoll, eine Skala mit mehreren Werten mit konkreten Aussagen zu bestimmten Fragen (z. B. „Hast du dir schon einmal überlegt, wie...“) zu entwickeln, bei denen die ProbandInnen den Zeitpunkt ihrer Vorstellungsüberlegung besser festlegen können. Zudem ist dann eine Skala möglich, die insgesamt aussagekräftiger und für die ProbandInnen verständlicher ist.

8.3 Forschungsdesiderata

Der Abschluss dieser Dissertation markiert gleichsam den Anfang für eine Weiterführung des Forschungsprozesses. Ansatzpunkte für eine weiterführende Forschung bilden einerseits das Interesse, die zeitliche Bildung der Vorstellung, die Phase der Unzufriedenheit und die Umsetzung eines Conceptual Change im gesamten Klassenverband.

Der Stellenwert des Interesses bei einem Conceptual Change ist tiefer zu erforschen. Im Rahmen einer Untersuchung könnten ProbandInnen, die zuvor kein Interesse an einem Sachverhalt zeigten, ausgewählt werden. Dabei ist zu analysieren, wo, wann und warum situationales Interesse gebildet werden kann. Die Erkenntnisse könnten Hinweise darauf geben, wie Lernmaterialien mit besonderer Berücksichtigung von Interesse gestaltet werden können.

Des Weiteren ist die Entwicklung eines Instrumentariums zur Erfassung des Zeitpunkts der Vorstellungsüberlegung zu entwickeln. Erst danach kann untersucht werden, wie sich der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung auf einen Conceptual Change auswirkt und wie damit umzugehen ist.

Ebenso muss ein geeignetes Instrumentarium zur Erfassung der Unzufriedenheit entwickelt werden. Mit dem Ziel es nicht nur im Bereich der Forschung, sondern auch in der Schulpraxis einzusetzen.

Die Lernumgebung wurde nur in Kleingruppen untersucht. Inwieweit sie auch einen Conceptual Change im Klassenverband zulässt, könnte in weiteren Studien Untersuchungsgegenstand sein.

9 Literaturverzeichnis

- Achatz, F.; Altmann, M.; Aunkofer, M.; Geiger, H.; Götz, T.; Habich, C.; Letzel, H.; Mayer, H. & Stallhofer, B. (2008): TERRA Geographie 10. Gymnasium Bayern. Stuttgart.
- BAUMGARTNER, P. & PAYR, S. (1997): Erfinden lernen. In: MÜLLER, A.; MÜLLER, K. A. & STADLER, F. (Hrsg.): Konstruktivismus und Kognitionswissenschaft. Kulturelle Wurzeln und Ergebnisse. Zu Ehren Heinz von Foerstern. Wien.
- BAUMGARTNER, P. & PAYR, S. (1994): Lernen mit Software. Österreichischer Studienverlag. Innsbruck.
- BAUMERT, J. & KÖLLER, O. (2000): Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In: BAUMERT, J.; BOS, W. & LEHMANN, R. (Hrsg.): TIMMS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie, 2. Opladen.
- Beeth, M.; Duit, R.; Prenzel, M.; Ostermeier, C.; Tytler, R. & Wickman, P.O. (2003): Quality development projects in science education. In: Psillos, D.; Kariotoglou, P.; Tsifas, V.; Fassoulopoulos, G.; Hatzikraniotis, E. & Kallery, M. (Hrsg.): Science education research in the knowledge based society. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, S. 447-457.
- BELLMANN, M.; VOORWOLD, Y.; BENMOKHTAR, S.; WAGNER, A.; HEIMANN, R. & HARSCH, G. (2011): Schülervorstellungen zum Teilchenmodell der Luft. Eine empirische Untersuchung an Gymnasien in den Jahrgangsstufen 5-10. Münster.
- BENDIXEN, L. (2002): A Process Model of Epistemic Belief Change. In: HOFER, B. K. & PINTRICH, P. R. (Hrsg.): Personal Epistemology. The Psychology of Beliefs About Knowledge and Knowing. Mahwah.
- BERELSON, B. (1952): Content Analysis in Communication Research. Glencoe, Ill.: Free Press.
- BIRKENHAUER, J. (1997): Verbundmedien. In: BIRKENHAUER, J. (Hrsg.): Medien. Systematik und Praxis. München.
- BORG, I. & STAUFENBIEL, T. (2007): Theorien und Methoden der Skalierung. Bern: Huber.
- BURGER, J. (2001): Schülervorstellungen zu Energie im biologischen Kontext: Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen. Ein Beitrag zur Verminderung von Lernschwierigkeiten im Biologieunterricht der Sekundarstufen durch vermehrte Berücksichtigung der Schülervorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ in konstruktivistischer Lernumgebung. Dissertation. Bielefeld.
- CARAVITA, H. & HALLDÉN, O. (1994): Re-framing the problem of conceptual change. In: VERMUNT, J. (Hrsg.): Learning and Instruction, 4.
- CAREY, S. (1985): Conceptual Change in childhood. Cambridge.

-
- CHINN, C. A. & BREWER, W. F. (1993): The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. In: Review of Educational Research 63, S. 1-49.
- 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.
- CONRAD, D. (2014): Erfahrungsbasiertes Verstehen geowissenschaftlicher Phänomene - eine didaktische Rekonstruktion des Systems Plattentektonik. Dissertation. Bayreuth.
- DAHL, J.; ANDERSON, S. & LIBARKIN, J. (2005): Digging into Earth Science: Alternative conceptions held by K12-teachers. In: Journal of Geoscience Education, 6.
- Das Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München (2017): LehrplanPLUS. URL: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/> (zugegriffen am 28.06.2017)
- DGfG (2014): Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Schulabschluss. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG), S.13.
- DIERCKE Weltatlas (2015): Geotektonik. 1. Aufl. Braunschweig: Westermann, S.242.
- Diesterweg, F. (1844): Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer. In Gemeinschaft mit Bormann, Hentschel, Hill, Knebel, Knie, Lüben, Mager, Mädler, Reinbott und Prange. Band 1. Essen.
- DISESSA, A. (2008): a bird's-eye view of the „pieces“ vs. „coherence“ controversy (from the „pieces“ side of the fence). In: VOSNIADOU, S. (Hrsg.): International handbook of research on conceptual change. New York.
- DÖRFLER, T. (2008): Bedeutung und Notwendigkeit einer Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Chemieunterricht - Ein Unterrichtskonzept zur Vermeidung und Korrektur von Fehlvorstellungen am Beispiel der Neutralisation. Dissertation. Münster.
- DUIT, R. (2002): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: KIRCHER, E. & SCHNEIDER, W. B. (Hrsg.): Physikdidaktik in der Praxis. Berlin und Heidelberg.
- DUIT, R. (1999): Conceptual change approaches in science education. In: SCHNOTZ, W.; VOSNIADOU, S. & CARRETERO, M. (Hrsg.): New Perspectives on Conceptual Change. Oxford UK: Pergamon, S. 263-282.
- DUIT, R.; TREAGUST, D. & WIDODO, A. (2008): Teaching science for conceptual change: Theory and practice. In: VOSNIADOU, S. (Hrsg.): International handbook of research on conceptual change. New York.
- DUIT, R. & TREAGUST, D. (1998): Learning in science. From behaviourism towards social constructivism and beyond. In: FRASER B. J. & TOBIN K. (Hrsg.): International Handbook of Science Education 1. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 3-25.
- FRANKE, G. (2011): Untersuchungen zum Wissenserwerb, zur kognitiven Belastung und zu emotionalen Faktoren im experimentellen Unterricht über Grundlagen der Gentechnik im Lernort Labor unter besonderer

- Berücksichtigung von Schülervorstellungen. Dissertation. Universität Bayreuth.
- FRIEDRICH, J. (1973): Methoden empirischer Sozialforschung. Reinbek: Rowohlt.
- GAPP, S. & SCHLEICHER, Y. (2010): Alltagsvorstellungen von Grundschulkindern – Erhebungsmethoden und Ergebnisse, dargestellt anhand der Thematik Schalenbau der Erde. In: REINFRIED, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin.
- GLASER, B. G. & STRAUSS, A. L. (2008): Grounded Theory. Strategien qualitativer Forschung. Bern.
- GLASERSFELD, E. V. (1989): Constructivism in Education. In: HUSEN, T. & POSTLETHWAITE, T. N. (Hrsg.): The international encyclopedia of education. New York.
- GLÖCKEL, H. (1996): Vom Unterricht. Lehrbuch der Allgemeinen Didaktik. Bad Heilbrunn.
- GOBERT, J. (2000): A typology of casual models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. In: International Journal of Science Education, 22.
- GOLDUNZE (2015): Die Theorie fossiler Treibstoffe (TfT). URL: http://www.goldunze.de/wp-content/uploads/2015/04/Schichten_der_Erde.jpg (zugegriffen am 17.10.2016)
- GREGOIRE, M. (2003): Is It a Challenge or a Threat? A Dual-Process Model of Teachers' Cognition and Appraisal Processes During Conceptual Change. In: PAAS, F. (Hrsg.): Educational Psychology Review 15.
- GROPENGIEßER, H. (2003): Lebenswelten, Denkwelten, Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- GROPENGIEßER, H. (2001): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Oldenburg.
- GROTZINGER, J. & JORDAN, T. (2017): Press/Siever. Allgemeine Geologie. Berlin, Heidelberg.
- GÜNTHER-ARNDT, H. (2006): Conceptual-Change-Forschung. Aufgabe für die Geschichtsdidaktik? In: GÜNTHER-ARNDT, H. & MICHAEL, S. (Hrsg.): Geschichtsdidaktik empirisch. Reihe Zeitgeschichte – Zeitverständnis 14. Berlin, S. 251-277.
- GUZZETTI, B.J.; SNYDER, T.E.; GLASS, G.V. & GAMAS, W.S. (1993): Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. Reading Research Quarterly 28, S. 116-159.
- GUZZETTI, B. J. & GLASS, G. V. (1992): Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. San Francisco.
- HAMANN, M. & ASSHOFF, R. (2014): Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten. Seelze.

-
- HASSELHORN, M. & GOLD, A. (2013): Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren. Stuttgart.
- HELFFERICH, C. (2011): Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. Wiesbaden.
- HENNESSY, S. (1993): Situated cognition and cognitive apprenticeship. Implications for classroom learning. In: *Studies in Science Education*, 22.
- HERAN-DÖRR, E. (2006): Orientierung an Schülervorstellungen – Wie verstehen Lehrkräfte diesen Appell an ihre didaktische und methodische Kompetenz? In: Cech, C.; Fischer, H.-J.; Holl-Giese, M.; Knörzer, M. & Schrenk, M. (Hrsg.): *Bildungswert des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn.
- HEWSON, P. W. (1982): A case study of conceptual change in special relativity. The influence of prior knowledge in learning. In: *European Journal of Science Education*, 4.
- HIDI, S. & BERNDORFF, D. (1998): Situational Interest and Learning. In: HOFFMANN, L.; KRAPP, A.; RENNINGER, K. A. & BAUMERT, J. (Hrsg.): *Interest and Learning*. Kiel: IPN, S. 74-90.
- JANK, W. & MEYER, H. (2009): *Didaktische Modelle*. Berlin.
- KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H. & JESSELL, T. M. (2000): *Principles of Neural Science*. New York: McGraw-Hill.
- KATTMANN, U. (2015): Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht. Hallberg.
- KATTMANN, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion - eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin.
- KATTMANN, U. (2005): Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 11, S. 165-174.
- KATTMANN, U.; DUIT, R.; GROPENIEBER, H. & KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschafts-didaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3.
- KELLE, U. & KLUGE, S. (2010): *Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- KERSTAN, T. & THADDEN, E. (2004, 01.07.2004): Wer macht die Schule klug? Ein Streitgespräch zwischen dem Hirnforscher Manfred Spitzer und der Kognitionspsychologin Elsbeth Stern. *Die Zeit*, S. 69-70.
- KING, C. (2000): The Earth's mantle is solid: teachers' misconceptions about the Earth and plate tectonics. In: *School Science Review*, 82.
- KOMOREK, M. & DUIT, R. (2004): The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of nonlinear systems. In: *International Journal of Science Education*, 2, S. 619-633.

-
- KRAPP, A. (2006): Interesse. In: ROST, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie Weinheim: Beltz, S. 280-290.
- KRAPP, A. (2003): Interest and human development: An educational-psychological perspective. *BJEP Monograph Series II*, 2, S. 57-84.
- KRAPP, A. (2002): Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, S. 383-409.
- KRAPP, A.; HIDI, S. & RENNINGER, K. A. (1992): Interest, Learning and Development. In: RENNINGER, K. A.; HIDI, S. & KRAPP, A. (Hrsg.): *The Role of Interest in Learning and Development*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, S. 3-26.
- KRIPPENDORF, K. (2012): *Content Analysis. An introduction to its methodology*. London.
- KUHN, T. S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- 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.
- LIKERT, R. (1932): A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22 140, 55.
- LIMÓN, M. (2001): On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. In: *Learning and Instruction* 11, S. 357-380.
- 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.
- MANDL, H.; GRUBER, H. & RENKL, A. (1993): Lernen im Physikunterricht-Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen. In: KURZ, G. (Hrsg.): *Vorträge Frühjahrstagung*. Deutsche Physikalische Gesellschaft. Bad Honnef.
- MARTON, F. (1981): Phenomenography - describing conceptions of the world around us. In: *Instructional Science*, 10.
- MAYRING, P. (2016): 12. Berliner Methodentreffen Qualitative Forschung vom 22.-23.07.2016 in Berlin. Diskussion des Beitrags von Krampe, C. (2016): Lernförderliche Methoden für die Umstrukturierung von Schülervorstellungen zum Aufbau der Erde.
- MAYRING, P. (2015): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel.
- MAYRING, P. (2012): Mixed Methods - ein Plädoyer für gemeinsame Forschungsstandards qualitativer und quantitativer Methoden. In: GLÄSER-ZIKUDA, M.; SEIDEL, T.; ROHLFS, C.; GRÖSCHER, A. & ZIEGELBAUER, S. (Hrsg.): *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung*. Münster: Waxman.

-
- MAYRING, P. (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Weinheim und Basel.
- MAYRING, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. 11. Aufl. Belz.
- MELZER, C. (1988): Beitrag zur Charakterisierung bildsamer Porzellanmassen. Diplomarbeit. Weimar.
- MERKENS, H. (1997): Stichproben bei qualitativen Studien . In: FRIEBERTSHÄUSER, B. & PRENGEL, A. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Weinheim und München.
- MERTEN, K. (1995): Inhaltsanalyse: Einführung in Theorie, Methode und Praxis. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Meyer, H. (1993): Leitfaden zur Unterrichtsvorbereitung. Frankfurt am Main.
- MIETZEL, J. (2007): Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens. Göttingen.
- MÖLLER, K. (1999): Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: KÖHNLEIN, W. (Hrsg.): Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht. Reihe: Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Band 3. Bad Heilbrunn, Klinkhardt, S. 125-191.
- MÜLLER, R. & WIESNER, H. (2002): Teaching Quantum Mechanics on an Introductory Level. In: American Journal of Physics 70, 200.
- MUTH & WINKELMANN (2014): Veränderungen von Schülervorstellungen durch Experimentieren. In: GRÖTZEBAUCH, H. & NORDMEIER, V. (Hrsg.): PhyDid B - Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung des Fachverbands Didaktik der Physik in Frankfurt 2014, Beitrag DD 15.14.
- NERESSIAN, N. (2008): Mental modeling in conceptual change. In: VOSNIADOU, S. (Hrsg.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York: Routledge, S. 391-416.
- NIEBERT, K. (2010): Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Beiträge zur Didaktische Rekonstruktion, Bd. 31. Oldenburg.
- NIEBERT, K. & GROPPENGIEBER, H. (2014): Leitfadengestützte Interviews. In: KRÜGER, D.; PARCHEMANN, I. & SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg.
- OSER, F. K. & BAERISWYL, F. J. (2001): Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In: RICHARDSON, V. (Hrsg.): AERA's Handbook of Research on Teaching, 4th ed. Washington DC: American Educational Research Association, S. 1031-1065.
- PACH, S. & RIEMEIER, T. (2007): Schülervorstellungen zum Blutkreislauf und ihre Veränderung durch Lernangebote. In: Erkenntnisweg Biologiedidaktik 6.
- PATTON, M. Q. (2002): Qualitative research an evaluation methods. Thousand Oaks.
- PETER, C. (2012): Theorie der Alltagsvorstellungen von Realschülern der 6. Klasse. Das Beispiel Regenwald im Fach Erdkunde. In: PETER, C. & HÖWELING, S. (Hrsg.): Konstruktivistischer Geographieunterricht in der Praxis.

- Reconstruction Map und Förderung der Lesekompetenz. In: Gießener Geographische Manuskripte, 6. Aachen.
- PETERMANN, K.; FRIEDRICH, J. & OETKEN, M. (2008): Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren. Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. CHEMKON 15.
- PINTRICH, P. R. (1999): Motivational Beliefs as Resources for and Constraints on Conceptual Change. In: SCHNOTZ, W.; VOSNIADOU, S. & CARRETERO, M. (Hrsg.): New Perspectives on Conceptual Change. Oxford.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: Science Education, 66.
- POSNER, M. I. & RAICHLER, M. E. (1996): Bilder des Geistes: Hirnforscher auf den Wegen des Denkens. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- REA-RAMIREZ, M. N. & NÚÑEZ-OVIEDO, M. C. (2008): Role of discrepant questioning leading to model element modification. In: CLEMENT, J. J. & REA-RAMIREZ, M. A. (Hrsg.): Model Based Learning and Instruction in Science Vol. 2. New York u. A.: Springer, S. 195-213.
- REINFRIED, S. (2015): Der Einfluss motivationaler Faktoren auf die Konstruktion hydrologischen Wissens - eine Analyse individueller Lernpfade. In: Zeitschrift für Geographiedidaktik (ZGD), 43.
- REINFRIED, S.; AESCHBACHER, U.; KIENZLER, P. M. & TEMPELMANN, S. (2013): Mit einer didaktisch rekonstruierten Lernumgebung Lernerfolge erzielen - das Beispiel Wasserquellen und Gebirgshydrologie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 19.
- REINFRIED, S.; AESCHBACHER, U. & ROTTERMANN, B. (2012): Improving students' conceptual understanding of the greenhouse effect using theory-based learning materials that promote deep learning. In: International Research in Geographical and Environmental Education, 21.
- REINFRIED, S.; AESCHBACHER, U.; HUBER, E. & ROTTERMANN, B. (2010a): Den Treibhauseffekt zeigen und erklären. In: REINFRIED, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin.
- REINFRIED, S.; ROTTERMANN, B.; AESCHBACHER, U. & HUBER, E. (2010b): Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verändern - eine Voraussetzung für Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften, 32.
- 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.
- REINMANN, G. & MANDL, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP, A. & WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Weinheim und Basel.

- RENNINGER, K. A.; HOFFMANN, L. & KRAPP, A. (1998): Interest and Gender: Issues of Development and Learning. In: HOFFMANN, L.; KRAPP, A.; RENNINGER, K. A. & BAUMERT, J. (Hrsg.): Interest and Learning. Kiel: IPN, S. 9-21.
- RESNICK, L. B.; WILLIAMS, S. M. & HALL, M. (1998): Learning organizations for sustainable education reform. In: American Academy of Arts and Sciences (Hrsg.): Daedalus, 127.
- RHÖNECK, C. v. & NIEDDERER, H.: (2006): Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In: MIKELSKIS, H. F. (Hrsg.): Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin.
- RIEMEIER, T. (2005): Biologie verstehen: Die Zelltheorie. In: Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, 7. Oldenburg.
- RIEMEIER, T. (2003): Denkpfade von Lernern mit didaktisch rekonstruierten Lernangeboten. In: Erkenntnisweg Biologiedidaktik. Oldenburg.
- ROTH, G. (2009): Aus Sicht des Gehirns. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- SCHIEFELE, U. (1996): Motivation und Lernen mit Texten. Göttingen: Hogrefe.
- SCHLÖPKE, W.-I. (1991). Alchemistisches Denken und Schülervorstellungen über Stoffe und Reaktionen. In: chimica didacta 17, S. 5-47.
- SCHMIDT, S. (2010): Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts „Stoff-Teilchen“ für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext. Dissertation. Oldenburg.
- SCHNOTZ, W. (2006): Conceptual Change. In: ROST, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim, S. 77-82.
- SCHNOTZ, W. (1996): Psychologische Ansätze des Wissenserwerbs und der Wissensänderung. In: DUIT, R. & v. RHÖNECK, C. (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften 151. Kiel, S. 15-36.
- SCHUBERT, J. C. (2013): Modelle. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Geographiedidaktik. Braunschweig: Westermann.
- SCHULER, S. (2015): Schülerzeichnungen im Unterricht. In: Praxis Geographie, 45. Jg., 7-8, S. 9-15.
- SCHULER, S. (2011): Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels. Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive. Bochum.
- SCHULER, S. & REINFRIED, S. (2011): LLBG – Ludwigsburg-Luzerner Bibliographie zur Forschung über Alltagsvorstellungsforschung in den Geowissenschaften – ein Projekt zur Erfassung der internationalen Forschungsliteratur. Stand/Volume: 04.08.2011, URL: <https://www.ph-ludwigsburg.de/llbg.html> (zugegriffen am 18.07.2016)
- SCOTT, P. H.; ASOKO, H. M. & LEACH, J. (2007): Student conceptions and conceptual change learning in science. In: ABELL, S. & LEDERMANN, N. (Hrsg.): Handbook of Research on Science Education. Mahwah, NJ: Erlbaum, S. 31-56.
- SEIDEL, T.; PRENZEL, M.; DUIT, R.; EULER, M.; GEISER, H.; HOFFMANN, L.; MÜLLER, C. T. & RIMMELE, R. (2002): „Jetzt bitte alle nach vorne schauen!“

- Lehr-Lernskripts im Physikunterricht und damit verbundene Bedingungen für individuelle Lernprozesse. *Unterrichtswissenschaft* 30(1), S. 52-77.
- SEILER, T. B. (1973): Die Bereichsspezifizität formaler Denkstrukturen - Konsequenzen für den pädagogischen Prozess. In: FREY, K. & LANG, M. (Hrsg.): *Kognitionspsychologie und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Bern.
- SIBLEY, D. (2005): Visual Abilities and Misconceptions about Plate Tectonics. In: *Journal of Geoscience Education*, 53.
- SIEGMUND, A. (2013): Film. In: BÖHN, D. & OBERMAIER, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Geographiedidaktik*, Braunschweig.
- SIMKIN, T.; TILLING, R. I.; VOGT, P. R.; KIRBY S.H.; KIMBERLY P. & STEWART D.B. (2006): *This dynamic planet. World map of volcanoes, earthquakes, impact craters, and plate tectonics*. Washington D.C., Denver: Smithsonian Institution, U.S. Geological Survey, U.S. Naval Research Laboratory.
- SINATRA, G. M. & PINTRICH, P. R. (2003): *Intentional Conceptual Change*. Mahwah.
- SITTE, W. (1975): *Geographie und Wirtschaftskunde im Spannungsfeld neuer Entwicklungen*. Wien.
- SMITH, J. K. (1990): Alternative Research Paradigms and the Problem of Criteria. In: GUBA, E. (Hrsg.): *The Paradigm Dialog*. Newbury Park.
- SMITH, J. K. (1984): The problem of Criteria for Judging Interpretive Inquiry. In: *Educational Evaluation an Policy Analysis*, 6, S. 379-391.
- STATHOPOULOU, C. & VASNIDADOU, S. (2007): Conceptual change in physics and physics-related epistemological beliefs: A relationship under scrutiny. In: VOSNIADOU, S.; BALTAS, A. & VAMVAKOUSSI, X. (Hrsg.): *Reframing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction*. Oxford: Elsevier, S. 145-164.
- STATHOPOULOU, C. & VASNIDADOU, S. (2006): Exploring the relationship between physical-related epistemological beliefs and physics understanding. In: *Contemporary Educational Psychology* 32, S. 255-281.
- STARK, R. (2003): Conceptual Change: kognitiv oder situiert? In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 17 (2), S. 133-144.
- 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.
- STEFFE, L. P. & D'AMBROSIO, B. S. (1996): Using teaching experiments to understand students' mathematics. In: TREGUST, D.; DUIT, R. & FRASER, B. (Hrsg.): *Improving teaching and learning in science and mathematics*. New York.
- Technische Universität Dresden (2015): *Kontrollgruppen-Designs*. In: Juniorprofessur für Methoden der Psychologie & kognitive Modellierung. URL: <http://141.76.19.82/mediawiki/index.php/Kontrollgruppen-Designs> (zugegriffen am 15.06.2018)

- THAGARD, P. (1992): *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- TREAGUST, D. & DUIT, R. (2008): *Conceptual Change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education*. *Cultural Studies of Science Education*, 3.
- THURSTONE, L. L. (1929): *Theory of attitude measurement*. *Psychological Review*, 36(3), S. 222-241.
- VOSNIADOU, S. (2008): *Conceptual change research: An introduction*. In: VOSNIADOU, S. (Hrsg.): *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.
- VOSNIADOU, S. (2007): *Conceptual change and education*. In: *Human Development*, 50, S. 47-54.
- VOSNIADOU, S. (2002): *On the nature of naive physics*. In: LIMÓN, M. & MASON, L. (Hrsg.): *Reconsidering conceptual change*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 377-406.
- VOSNIADOU, S. & BREWER, W. F. (1992): *Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood*. In: *Cognitive Psychology*, 24.
- VOSNIADOU, S. & SCHNOTZ, W. (1997): *Introduction*. In: *European Journal of Psychology of Education*, 12.
- VOSNIADOU, S.; VAMVAKOUSSI, X. & SKOPELITI, I. (2008): *The framework theory approach to the problem of conceptual change*. In: VOSNIADOU, S. (Hrsg.): *International handbook of research on conceptual change*. New York.
- WEITZEL, H. & GROPPENGIEBER, H. (2009): *Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15.
- WHITE, R. & GUNSTONE, R. (1992): *Probing Understanding*. London.
- WIECHERT'sche Erdbebenwarte (2015): *Wiechert'sche Erdbebenwarte*. URL: <http://www.erdbebenwarte.de/typo3temp/pics/47ad7c3379.jpg> (zugegriffen am 18.09.2016)
- WIKTORIN, D. (2014): *Modell in der Geographie: Vernetzt denken, kritisch reflektieren, kompetent anwenden*. In: WIKTORIN, D. (Hrsg.): *Modell in der Geographie. Thematische und didaktische Einordnung*. Praxis Geographie extra. Braunschweig.
- WILHELM, T. (2008): *Vorstellungen von Lehrern über Schülervorstellungen*. In: HÖTTECKE, D. (Hrsg.): *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung*. Jahrestagung der GDCP in Essen 2007. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, 28. Münster.
- WILHELM, T. (2005): *Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung*. Dissertation. Würzburg.
- WISER, M. & SMITH, C. L. (2008): *Learning and teaching about matter in Grade K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced?* In: VOSNIADOU,

S. (Hrsg.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York: Routledge, S. 205-239.

WITZEL, A. & REITER, H. (2012): The Problem-central Interview. London.

WYGOTSKI, L. (1964): Denken und Sprechen. Berlin.

ZABEL, J. (2009): Biologie: Die Rolle der Narration beim Verstehen der Evolutionstheorie. München.

Anhang

- A1 Interviewleitfaden
- A2 Materialien
- A3 Kodierleitfaden
- A4 Einzelauswertungen
- A5 Auszüge aus den Pilotstudien

A1 Interviewleitfaden

Leitfaden	Erwartete Vorstellung	Material
Einstiegsimpulse		
Die folgende Untersuchung ist zweigeteilt. Es werden Interviews mit mir im Gespräch stattfinden und dann werdet ihr Material bekommen, das ihr ohne meine Hilfe bearbeiten werdet.		
1. Zeichnung vom Aufbau der Erde		1. Schülerzeichnung Stifte (u. a. Buntstifte)
Zeichnet bitte, wie ihr euch den Aufbau der Erde vorstellt. Bearbeitet außerdem die zwei Fragen auf der rechten Seite des Arbeitsblatts: 1. Wie hoch ist euer Interesse an dem Thema Aufbau der Erde? 2. Habt ihr euch die Vorstellung über den Aufbau der Erde gerade erst überlegt oder hattet ihr die schon vorher im Kopf?	Keine Konzentrizität, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell, fachwissenschaftlich nahe Vorstellung	
Multiple-Choice-Test		Multiple-Choice-Test
Hier habt ihr Aussagen von anderen Schülerinnen und Schülern. Kreuze bitte jeweils für dich alleine an, was du für richtig hältst.		
Besprechung der 1. Zeichnung		
Ihr habt den Aufbau der Erde gezeichnet. Erklärt bitte jeweils, was ihr euch dabei gedacht habt.	Eigene Vorstellung zum Aufbau der Erde, z. B. Schalenbau: Erdkern, Erdmantel und Erdkruste	1. Schülerzeichnung
Du hast einige Farben verwendet.	Anschaulichkeit, bessere Dar-	Diese Fragestellung

Warum hast du genau die genommen?	<p>stellbarkeit</p> <p>Verwendete Farben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • orange/rot: flüssiges Magma • grün: Landschaft und Gebirge • blau: Wasser 	verwenden, wenn Buntstifte verwendet wurden.
Du hast <u>keine</u> bestimmte Farbe verwendet. Warum hast keine unterschiedlichen Farben benutzt?	Übersichtlichkeit, ungenügende Wissenslage, Einfachheit	Diese Fragestellung verwenden, wenn keine Buntstifte verwendet wurden.
Karteikarten mit Fragen		Karteikarten mit Fragen
Nun habe ich noch ein paar Fragen für euch. Überlegt euch mal dazu die Antworten in der Gruppe.		
Aus welchem Material besteht die Erde?	Gestein, Magma, Lava, Humus	
Warum sind die Bereiche so aufgebaut?	Dichte, Temperatur	
Wie ist die Temperatur im Inneren der Erde?	innen wärmer als außen	
Überleitung		
<p>Ich habe euch nach den Bereichen der Erde gefragt. Hier habe ich euch Material aus der Erde mitgebracht.</p> <p>Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.</p>		

Modell 1: Anordnung des Materials der Erde		Modell 1: Steinmodell
<p>Befestigt die Steine mit den Kraftmessern an dem Metallgestell.</p> <p>Sortiert die Materialien nach ihrem Gewicht.</p> <p>Ordnet die Infokarten den Materialien zu und begründet euer Vorgehen.</p>	<p>Sinnvolle Anordnung der Steine nach ihrer Dichte und richtige Zuordnung der Infokarten zu den Steinen (Eisen, Olivin, Basalt und Granit)</p>	
<p>Erklärt den Grund für die Anordnung des Materials.</p>	<p>Unterschiedlich schwer, gleiches Volumen</p> <p>evtl. Begriff Dichte</p>	
<p>Vergleicht den Aufbau des Steinmodells mit dem Aufbau der Erde.</p>	<p>Das Steinmodell spiegelt den Aufbau der Erde wieder. Die Dichte nimmt von der Erdkruste zum Erdkern hin zu.</p>	
Modell 2: Unterschiedliche Materialien		Modell 2: Materialmix
<p>Hier habt ihr das nächste Modell. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.</p>		
<p>Beschreibt den Aufbau des Gefäßinhalts.</p>	<p>Unterschiedliche Materialien: Murmeln, Holzkugeln und Styropor</p>	
<p>Verrührt mithilfe des Löffels die Materialien. Nehmt das Gefäß mit beiden Händen und dreht es am Tisch schnell hin und her. Erklärt die jetzige Anordnung im Gefäß.</p>	<p>Die schwereren Murmeln setzen sich am Boden ab, dann folgen die Holzkugeln und schließlich das Styropor.</p>	
<p>Vergleicht die Verteilung der Materialien vor und nach dem Verrühren. Erklärt, wo die Unterschiede</p>	<p>Zu Beginn: Vermischung der Materialien</p> <p>Am Ende: Entmischung der</p>	

liegen.	Materialien. Das schwerere Material befindet sich am Boden des Gefäßes, das leichtere Material befindet sich darüber, bis schließlich das ganz leichte Material oben angeordnet ist.	
Vergleicht den Aufbau des Gefäßinhalts mit dem Aufbau der Erde.	Wie im Steinmodell sind die Materialien von schwer nach leicht sortiert (Grund: Dichteunterschiede).	
Modell 3: Aufbau des äußeren und inneren Erdkerns		Modell 3: Schaumstoffbällchen Karte Erdkern
Hier habt ihr das nächste Modell. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.		
Der Erdkern gliedert sich in einen inneren und einen äußeren Kern. Beide Bereiche bestehen aus demselben Material, einem Eisen-Nickel-Gemisch. Der innere Erdkern ist fest und ca. 4700° Grad heiß. Der äußere Erdkern ist flüssig und ca. 3800° Grad heiß. Wie kann das sein? Stellt Vermutungen an.	Druckerzeugung führt zu Dichteunterschieden.	
Erklärt, was passiert, wenn das Gefäß gedreht wird.	Schaumstoffbällchen rotieren und bewegen sich innerhalb des Gefäßes.	
Drückt die Schaumstoffbällchen mit dem Gegenstand fest nach unten und dreht das Gefäß. Beschreibt, was passiert.	Veränderung von Volumen Druckerzeugung auf die Schaumstoffbällchen	
Erklärt die beiden Zustände der	Wenn die Schaumstoffbällchen	

Schaumstoffbällchen, wenn einmal die Schaumstoffbällchen zusammengedrückt gedreht und wenn sie ohne Druck gedreht werden.	fest zusammengedrückt werden, haben sie kein Spielraum und können sich nicht bewegen. Wenn die Schaumstoffbällchen ohne Druck gedreht werden, können sie sich im Gefäß frei bewegen.	
Vergleicht die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen mit dem äußeren und inneren Erdkern.	Äußerer, flüssiger Erdkern entspricht den Schaumstoffbällchen ohne Druck Innerer, fester Erdkern entspricht den Schaumstoffbällchen mit Druck	Karte Erdkern
Modell 4: Plastizität des Erdmantels		Modell 4: Wunderknete Film „Wunderknete“
Hier habt ihr das nächste Modell. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.		
Nehmt die Knete in die Hand und beschreibt ihre Eigenschaften.	Langsam: plastisch, verformbar, dehnbar Schnell: zerreißbar	
Überlegt euch, was passiert, wenn mit einem Hammer auf das Material geschlagen wird.	Knete wird spröde und zerspringt in ihre Einzelteile.	
Überlegt euch, was passiert, wenn eine Münze auf die Knete gelegt wird.	Münze sinkt langsam in die Knete ein, bis sie schließlich am Boden angelangt ist.	
Schaut euch den Film an und überlegt euch dabei die unterschiedlichen Eigenschaften des Materials.	Teil 1: Münze im Zeitraffer (plastisch, verformbar) Teil 2: Hammerschlag (spröde, brüchig)	Film: Wunderknete

Vergleicht den Hammerschlag auf die Knete mit dem Versuch der Schaumstoffbällchen.	In beiden Fällen herrscht Druckzeugung. Somit wird das Material fest und spröde (innerer fester Erdkern entspricht den zusammengedrückten Schaumstoffbällchen und unterer fester Erdmantel entspricht dem Hammerschlag auf die Wunderknete).	Modell 3: Schaumstoffbällchen
Vergleicht die Knete mit dem unteren und oberen Erdmantel.	Im oberen Erdmantel herrscht niedriger Druck: plastisch Im unteren Erdmantel herrscht hoher Druck: spröde	Karte Erdmantel
Modell 5: Lithosphäre und Asthenosphäre		Modell 5: Platte
Hier habt ihr das nächste Modell. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.		
Baut aus den Einzelementen ein sinnvolles Modell zusammen.	Adäquater Aufbau der Elemente zu einem Modell	
Ordnet die Bezeichnungen und Eigenschaften den Einzelementen zu.	Korrekte Zuordnung der Bezeichnungen zu den Elementen	
Erklärt, woraus eine Platte besteht.	Eine Platte besteht aus der Kruste und dem lithosphärischen Mantel.	
Beschreibt die Konsistenz unterhalb einer Platte.	Eine Platte (Lithosphäre) befindet sich auf der Asthenosphäre (plastisch).	
Erläutert die Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Bereiche.	Die kontinentale Kruste weist im Gegensatz zur ozeanischen Kruste eine höhere Mächtigkeit auf. Der mächtigste Bereich	

	stellt in diesem Modell die Asthenosphäre dar.	
Beschreibt die Eigenschaften der Lithosphäre und der Asthenosphäre.	Die Asthenosphäre ist plastisch und die Lithosphäre spröde.	
Vergleicht das Modell mit dem unteren und oberen Erdmantel und erklärt die Unterschiede.	<p>Modell 5: Die Asthenosphäre ist plastisch (unten) und die Lithosphäre spröde (oben).</p> <p>Erdmantel: Beim Erdmantel befindet sich der untere Teil in einen festen Zustand und der obere Bereich in einen plastischen Zustand.</p> <p>Es sind beide Eigenschaften entgegengesetzt angeordnet.</p>	
Arbeitsblatt 1: Ozeanische und kontinentale Kruste		<p>Arbeitsblatt 1: Ozeanische und kontinentale Kruste</p> <p>Blaue und grüne Karte (DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., 2)</p>
<p>Hier habt ihr das nächste Arbeitsblatt.</p> <p>Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr unten auf dem Arbeitsblatt. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.</p>		
Die grüne Karte ist die kontinentale Kruste und die blaue die ozeanische Kruste. Ordnet die ozeanische und kontinentale Kruste in der Höhe in die Zeichnung ein	Ozeanische Kruste befindet sich in der Höhe mittig neben der kontinentalen Kruste in der Lithosphäre.	
Umrandet die Kruste rot.	Kruste besteht aus ozeanischer	

	und kontinentaler Kruste.	
Überlegt euch, aus was eine Platte besteht und umrandet sie gelb.	Eine Platte besteht aus Kruste und lithosphärischen Mantel.	
Sucht im Atlas Beispiele, wo nur die ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel und nur die kontinentale Kruste auf dem lithosphärischen Mantel ist sowie wo sich die kontinentale und ozeanische Kruste zusammen auf dem lithosphärischen Mantel befinden (DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., Abb. 2).	<p>Beispiel für ozeanische und kontinentale Kruste zusammen auf dem lithosphärischen Mantel: afrikanische Platte</p> <p>Beispiel für nur ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel: philippinische Platte</p> <p>Beispiel für nur kontinentale Kruste auf dem lithosphärischen Mantel: iranische Platte</p>	Atlas (DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., Abb. 2)
Arbeitsblatt 2: Chemische und rheologische Zonierung		Arbeitsblatt 2: Chemische und rheologische Zonierung Informationsblatt
Hier habt ihr das nächste Arbeitsblatt. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr unten auf dem Arbeitsblatt. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.		
Tragt die Schichtnamen der chemischen Zonierung in die linke Seite sowie die Schichtnamen und Eigenschaften der rheologischen Zonierung in die rechte Seite ein.	Richtige Zuordnung der Tabelle in das Arbeitsblatt 2	
Erläutere die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zonierungen.	<p>Gemeinsamkeiten: Mantel – Kern, weitere Gliederung der beiden Schalen</p> <p>Unterschiede: Lithosphäre & Asthenosphäre bzw. oberer</p>	

	Mantel & Kruste	
Überleitung		
Nun haben wir einiges über die Erde erfahren. Ihr werdet nun selbst eine Erde nachbauen.		
Modell 6: Aufbau der Erde		Modell 6: Aufbau der Erde
Hier habt ihr das nächste Modell. Die Arbeitsanweisungen hierfür findet ihr auf der Karte. Diskutiert bitte selbstständig in der Gruppe.		
Sortiert die Bezeichnungen den Materialien zu. Überlegt euch, welches Material für welchen Bereich in der Erde verwendet werden kann. Baut den Aufbau der Erde mit den vorliegenden Materialien nach.	Eigene Entwicklung des Aufbaus der Erde mithilfe der vorliegenden Materialien	
Beschreibt den Aufbau.	Kern besteht aus Eisen, unterer Mantel aus Glasmurmeln, Asthenosphäre aus Knete, lithosphärischer Mantel aus Schieferplatten, kontinentale Kruste aus Granit und ozeanische Kruste aus Basalt.	
Erklärt, warum ihr bei der Anordnung der Materialien so vorgegangen seid.	Anhand der Dichte, der Zusammensetzung und der Konsistenz sowie des zuvor Erlernen	
Vergleicht den Aufbau des Gefäßes mit dem Aufbau der Erde.	Ähnliche Materialien und rheologische Eigenschaften	
Erläutert, warum das Modell nicht mit der Realität übereinstimmen kann.	Nicht maßstabsgerecht, Dichte, Temperatur, keine Bewegung darstellbar	

Überleitung		
Ihr habt gerade den Aufbau der Erde nachgebaut und euer Wissen zum Erdaufbau vertieft.		
2. Zeichnung vom Aufbau der Erde		2. Schülerzeichnung
Ihr könnt nun eine neue 2. Zeichnung vom Aufbau der Erde entwickeln.	Keine Konzentrizität, Magmahüllenmodell, Gesteinsschichtenmodell und fachwissenschaftlich nahe Vorstellung	
Überleitung		
Nun möchten wir ein Schulbuch erstellen.		
Fachwissenschaftliche nahe Darstellungen		Fachwissenschaftliche nahe Darstellungen
Welche der Zeichnungen würdet ihr dafür auswählen?	Begründung der Auswahl der Zeichnungen	
Warum habt ihr genau diese ausgesucht?	teilweise fachlich unangemessen, überhöht, weniger Details	
Überleitung		
Ihr habt nun zu den Vorstellungen Stellung bezogen.		
Korrektur des Multiple-Choice-Tests		Multiple-Choice-Test aus Präkonzept Roter Stift
Korrigiere mit einem Rotstift deine bisherigen Entscheidungen.	Korrektur des Multiple-Choice-Tests	
Warum bist du dir jetzt bei manchen Fragen sicherer?	Mehr Wissen zum Aufbau der Erde	
Schlussdiskussion		
Was war lernförderlich?		

Was hast du mitgenommen?	Mehr Wissen über die Erde	
Was weißt du im Vergleich zu vorher mehr?	Details in der Darstellung, Fachbegriffe, Größenverhältnis	
Warum ist der Aufbau der Erde nun verständlicher?	Einfache Erklärung durch das Material, Modelle zum Anfassen	
Was war eine Hilfestellung? Hastest du einen Knackpunkt erlebt?	Einzelne Materialien	
War etwas besonders hilfreich?	Evtl. Modell 6: Aufbau der Erde als Anwendung	
Was war lernhinderlich?		
Was war am schwierigsten zu verstehen?	Evtl. Zusammenhang Lithosphäre, lithosphärischer Mantel, Platte	
Warum war es am schwierigsten?	Schwierige Begriffe zu Merken	
Wie kann man es verständlicher erklären?	Individuelle Antworten	
Wo gibt es Verbesserungsvorschläge?	Individuelle Antworten	
War etwas nicht besonders hilfreich?	Individuelle Antworten	
Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Lernangeboten		
Wie hat dir der Aufbau der Lernumgebung gefallen?	Individuelle Antworten	
Wie lernst du gerne?	Auswendig, laut Vorsagen, Verstehen	
Abfragung jeder Maßnahme		
War dieses Modell/AB hilfreich und ist dir etwas bewusst geworden?	Individuelle Antworten	

A2 Materialien

1. Schülerzeichnung

Multiple-Choice-Test

Karteikarten mit Fragen

Modell 1: Arbeitsanweisungen und Karten mit Bezeichnungen

Modell 2: Arbeitsanweisungen

Modell 3: Arbeitsanweisungen und Infokarte Erdkern

Modell 4: Arbeitsanweisungen und Infokarte Erdmantel

Modell 5: Arbeitsanweisungen und Bezeichnungen

Arbeitsblatt 1

Arbeitsblatt 2 und Informationsblatt zu den Zonierungen

Modell 6: Arbeitsanweisungen und Bezeichnungen

Fachwissenschaftlich nahe Darstellungen

Proband

Aufbau der Erde

Interesse

- sehr hoch
- hoch
- etwas
- niedrig

Vorstellung

- gerade
- schon vorher

überlegt

Multiple-Choice-Test

Schülerinnen und Schülern wurden zum Aufbau der Erde befragt. Kreuze die richtige Aussage an. Es gibt nur eine richtige Antwort pro Frage.

„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.“

Stimmt nicht (1)	Stimmt wenig (2)	Stimmt mittelmäßig (3)	Stimmt ziemlich (4)	Stimmt sehr (5)

„Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“

Stimmt nicht (1)	Stimmt wenig (2)	Stimmt mittelmäßig (3)	Stimmt ziemlich (4)	Stimmt sehr (5)

„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.“

Stimmt nicht (1)	Stimmt wenig (2)	Stimmt mittelmäßig (3)	Stimmt ziemlich (4)	Stimmt sehr (5)



1.
Aus welchem
Material
besteht die
Erde?



2.
Warum ist die
Erde so
aufgebaut?



3.
**Wie ist die
Temperatur im
Inneren der
Erde?**

Modell 1: Steinmodell



Catharina Denk, Universität Bayreuth

Material

- Metallstange
- Vier Kraftmesser
- Materialien der Erde
- Bezeichnungen

Aufgaben

- Befestigt die Steine mit den Kraftmessern an dem Metallgestell.
- Sortiert die Materialien nach Ihrem Gewicht.
- Ordnet die Infokarten den Materialien zu und begründet euer Vorgehen.
- Erklärt den Grund für die Anordnung des Materials.
- Vergleicht den Aufbau des Steinmodells mit dem Aufbau der Erde.

Bezeichnungen zum 1. Modell

Erdkruste

kontinental

Beispiel: Granit

2,53 g/cm³

Erdkruste

ozeanisch

Beispiel: Basalt

3,05 g/cm³

Erdmantel

Beispiel: Olivin

4,4 g/cm³

Erdkern

Beispiel: Eisen

7,94 g/cm³

Modell 2: Material-Mix



Catharina Denk, Universität Bayreuth

Material

- Gefäß (durchsichtig)
- Löffel
- Holzkugeln
- Schaumstoffbällchen
- Glasmurmeln

Aufgaben

- Beschreibt den Aufbau des Gefäßinhalts.
- Verrührt mithilfe des Löffels die Materialien. Nehmt das Gefäß mit beiden Händen und dreht es am Tisch schnell hin und her. Erklärt die jetzige Anordnung im Gefäß.
- Vergleicht die Verteilung der Materialien vor und nach dem Verrühren. Erklärt, wo die Unterschiede liegen.
- Vergleicht den Aufbau des Gefäßinhalts mit dem Aufbau der Erde.

Modell 3: Schaumstoffbällchen



Catharina Denk, Universität Bayreuth

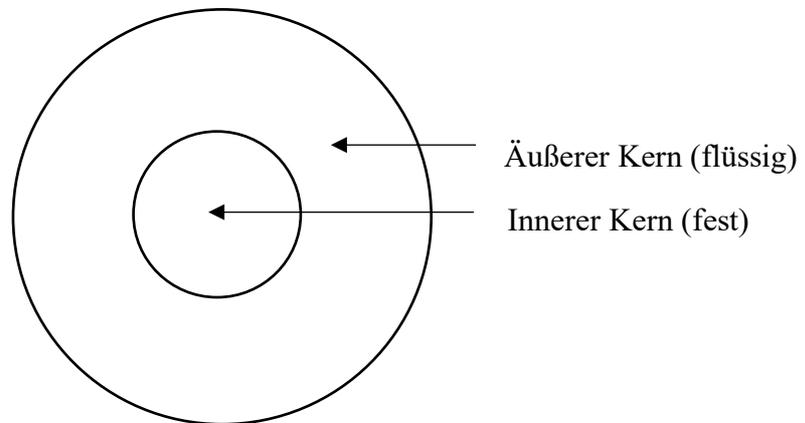
Material

- Gefäß (durchsichtig)
- Schaumstoffbällchen
- Gegenstand zum Herunterdrücken

Aufgabe

- Der Erdkern gliedert sich in einen inneren und einen äußeren Kern. Beide Bereiche bestehen aus demselben Material, einem Eisen-Nickel-Gemisch. Der innere Erdkern ist fest und ca. 4700° Grad heiß. Der äußere Erdkern ist flüssig und ca. 3800° Grad heiß. Wie kann das sein? Stellt Vermutungen an.
- Erklärt, was mit den Schaumstoffbällchen passiert, wenn das Gefäß gedreht wird.
- Drückt die Schaumstoffbällchen mit dem Gegenstand fest nach unten und dreht das Gefäß. Beschreibt, was nun mit den Schaumstoffbällchen passiert.
- Erklärt die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen, wenn einmal die Schaumstoffbällchen zusammengedrückt gedreht und wenn sie ohne Druck gedreht werden.
- Vergleicht die beiden Zustände der Schaumstoffbällchen mit dem äußeren und inneren Erdkern.

Infokarte Erdkern



Modell 4: Wunderknete



Catharina Denk, Universität Bayreuth

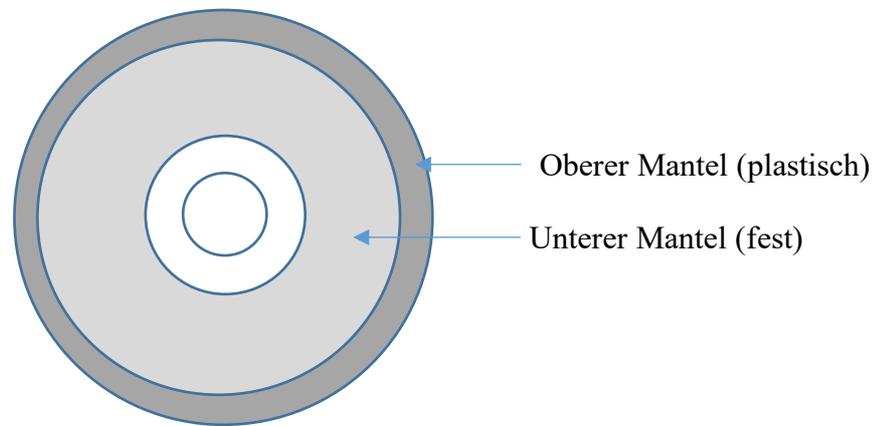
Material

- Wunderknete
- Hammer
- Brett
- Münze

Aufgaben

- Nehmt die Knete in die Hand und beschreibt ihre Eigenschaften.
- Überlegt euch, was passiert, wenn mit einem Hammer auf das Material geschlagen wird.
- Überlegt euch, was passiert, wenn eine Münze auf die Knete gelegt wird.
- Schaut euch das Video an und überlegt euch dabei die unterschiedlichen Eigenschaften des Materials.
- Vergleicht den Hammerschlag auf die Knete mit dem Versuch der Schaumstoffbällchen.
- Vergleicht die Knete mit dem unteren und oberen Erdmantel.

Infokarte Erdmantel



Modell 5: Platte



Catharina Denk, Universität Bayreuth

Material

- Modell Platte mit Einzelementen
- Bezeichnungen

Aufgaben

- Baut aus den Einzelementen ein sinnvolles Modell zusammen.
- Ordnet die Bezeichnungen und Eigenschaften den Einzelementen zu.
- Erklärt, woraus eine Platte besteht.
- Beschreibt die Konsistenz unterhalb einer Platte.
- Erläutert die Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Bereiche.
- Beschreibt die Eigenschaften der Lithosphäre und der Asthenosphäre.
- Vergleicht das Modell mit dem unteren und oberen Erdmantel und erklärt die Unterschiede.

Bezeichnungen zum 5. Modell

Lithosphäre

Platte

spröde

lithosphärischer Mantel

Asthenosphäre

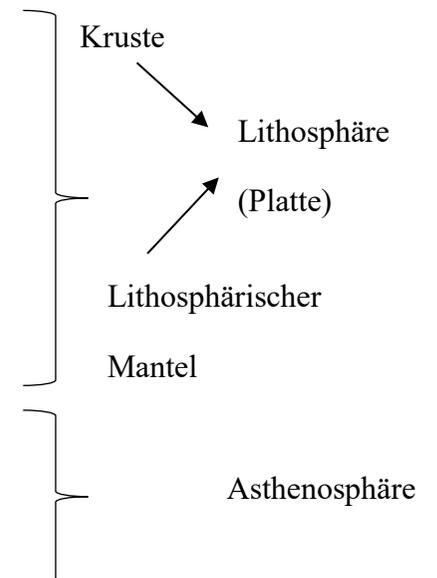
plastisch

ozeanische Kruste

kontinentale Kruste

Ozeanische und kontinentale Kruste

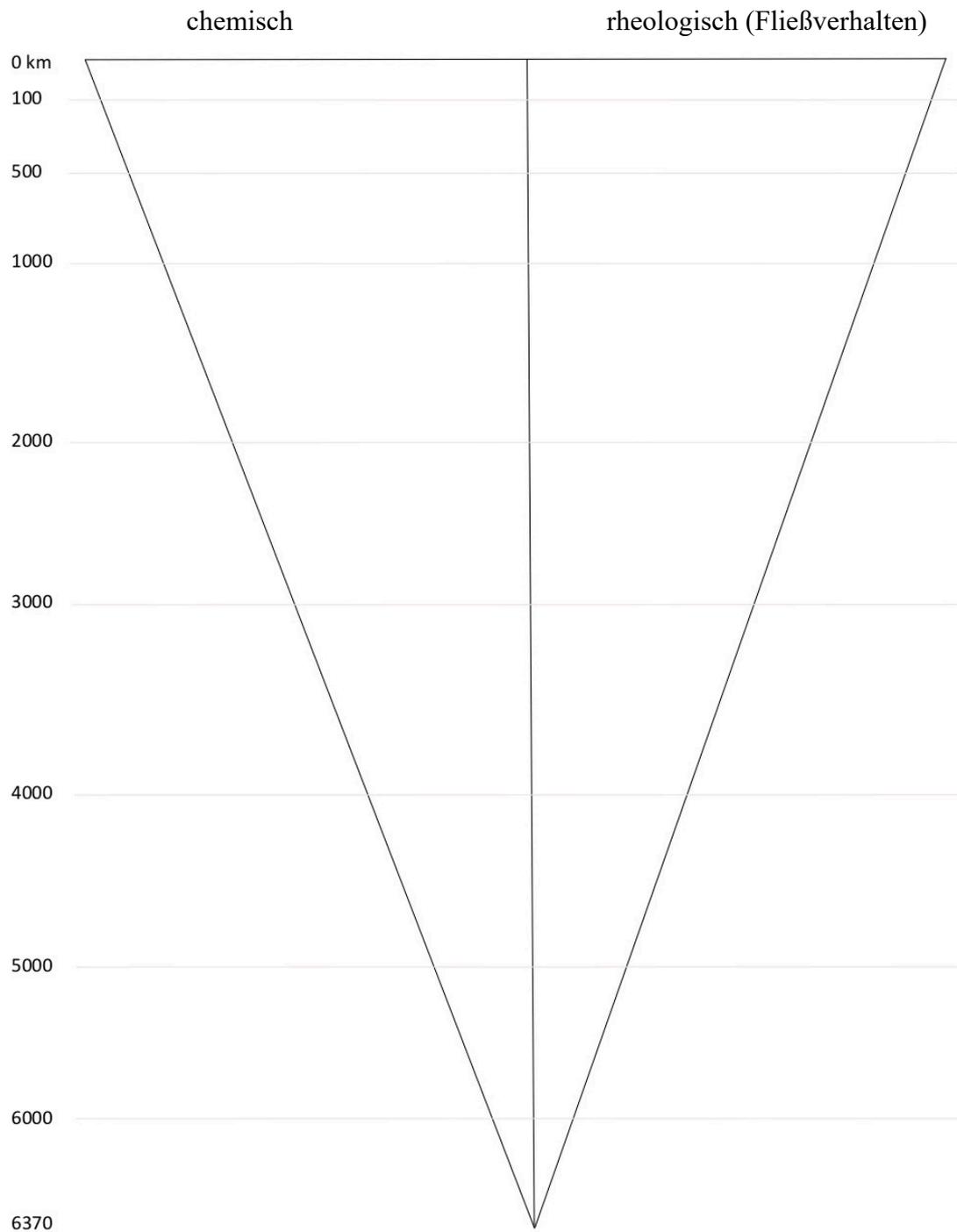
chemisch



Aufgaben:

- Die grüne Karte ist die kontinentale Kruste und die blaue die ozeanische Kruste. Ordnet die ozeanische und kontinentale Kruste in der Höhe in die Zeichnung ein.
- Umrandet rot die Kruste.
- Überlegt euch, aus was eine Platte besteht und umrandet sie gelb.
- Sucht im Atlas Beispiele, wo nur die ozeanische Kruste auf dem lithosphärischen Mantel und nur die kontinentale Kruste auf dem lithosphärischen Mantel sind sowie wo sich die kontinentale und ozeanische Kruste zusammen auf dem lithosphärischen Mantel befinden (DIERCKE Weltatlas 2015, S. 242 f., Abb. 2).

Chemische und rheologische Zonierung der Erde



- Tragt die Schichtnamen der chemischen Zonierung in die linke Seite sowie die Schichtnamen und Eigenschaften der rheologischen Zonierung in die rechte Seite ein.
- Erläutert die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Zonierungen.

Informationsblatt Zonierungen der Erde

chemisch						
Bezeichnung			Material		Kilometer	
Kruste	kontinental	ozeanisch	kontinental	ozeanisch	kontinental	ozeanisch
			v. a. Granit	Basalt Gabbro	0-70	0-10
Mantel	oberer		verfestigte basaltische Gesteine		10 bzw. 70-400	
	unterer		verfestigte basaltische Gesteine		400-2900	
Kern	äußerer		Eisen Nickel		2900-5150	
	innerer		Eisen Nickel		5150-6370	

rheologisch (Fließverhalten)			
Bezeichnung		Eigenschaft	Kilometer
Lithosphäre (lit. Platte)	Kruste	spröde	0-70
	lithosphärischer Mantel	spröde	70-160
Asthenosphäre	Teil des oberen Mantels	plastisch	160-300
Mantel		fest	300-2900
Kern	äußerer	dünnflüssig	2900-5150
	innerer	fest	5150-6370

Modell 6: Aufbau der Erde



Catharina Denk, Universität Bayreuth

Material

- Bezeichnungen
- Gefäß
- Kleine Eisenspäne
- Basaltsteine
- Knete
- Glasmurmeln
- Granitsteine
- Schieferplatten
- Eisenkern

Aufgaben

- Sortiert die Bezeichnungen den Materialien zu. Überlegt euch, welches Material für welchen Bereich in der Erde verwendet werden kann. Baut den Aufbau der Erde mit den vorliegenden Materialien nach.
- Beschreibt den Aufbau.
- Warum seid ihr bei eurer Anordnung so vorgegangen seid.
- Vergleicht den Aufbau des Gefäßes mit dem Aufbau der Erde.
- Erklärt, warum das Modell nicht mit der Realität übereinstimmen kann.

Bezeichnungen zum 6. Modell

Kleine Eisenspäne

Basaltsteine

Knete

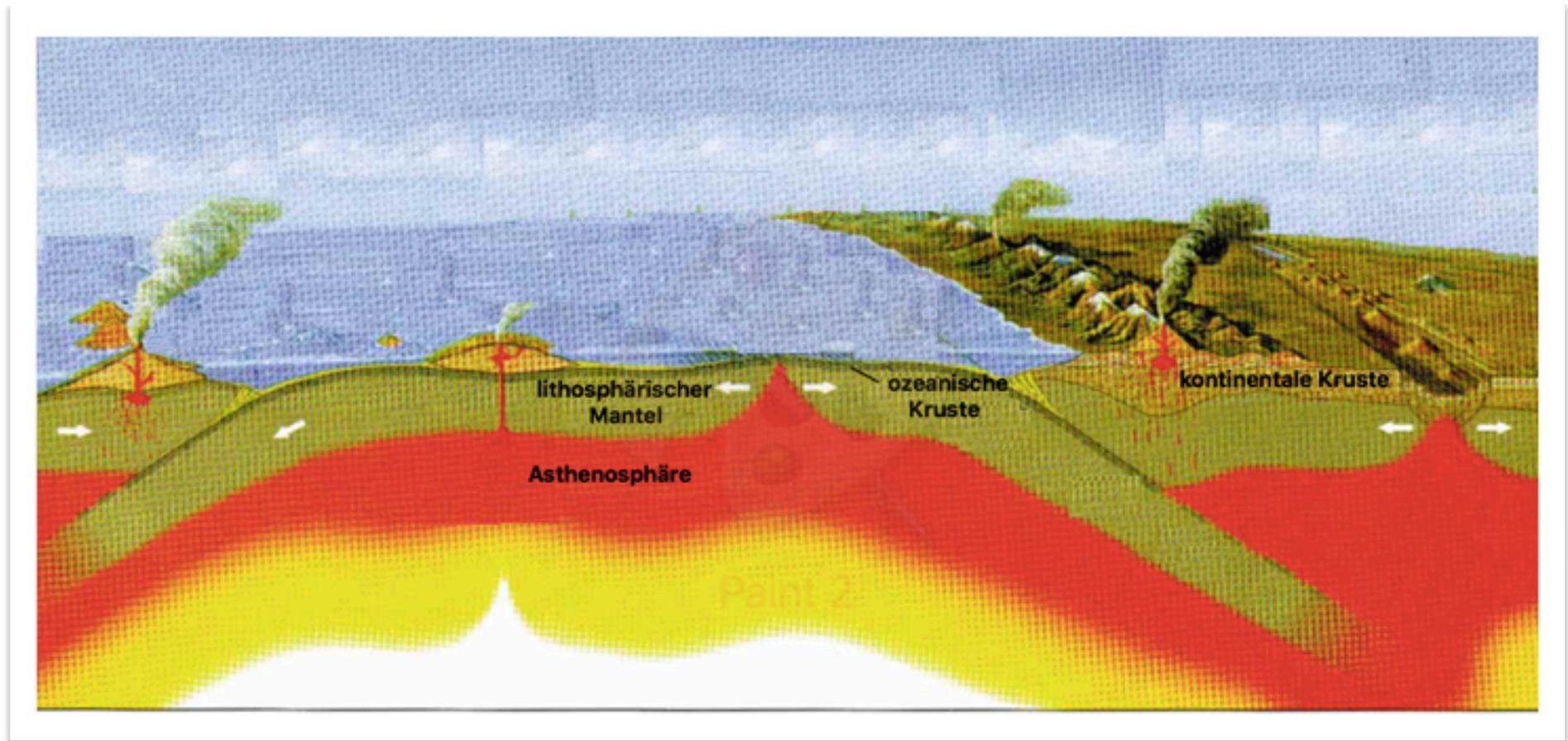
Glasmurmeln (Edelsteine)

Granitsteine

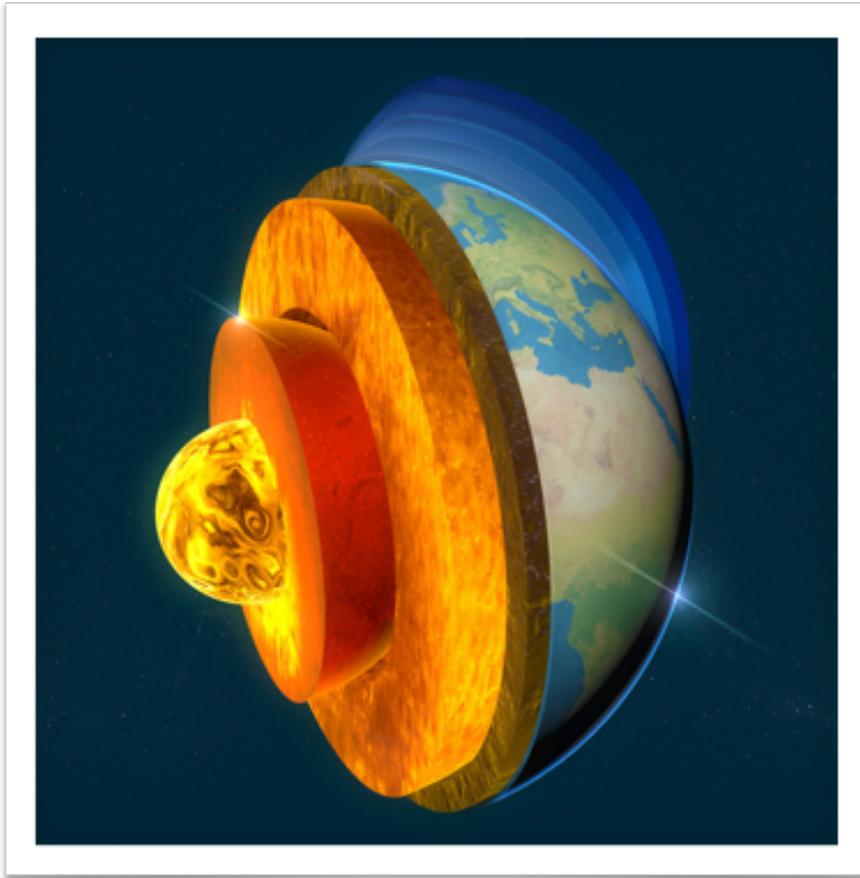
Schieferplatten

Eisenkern

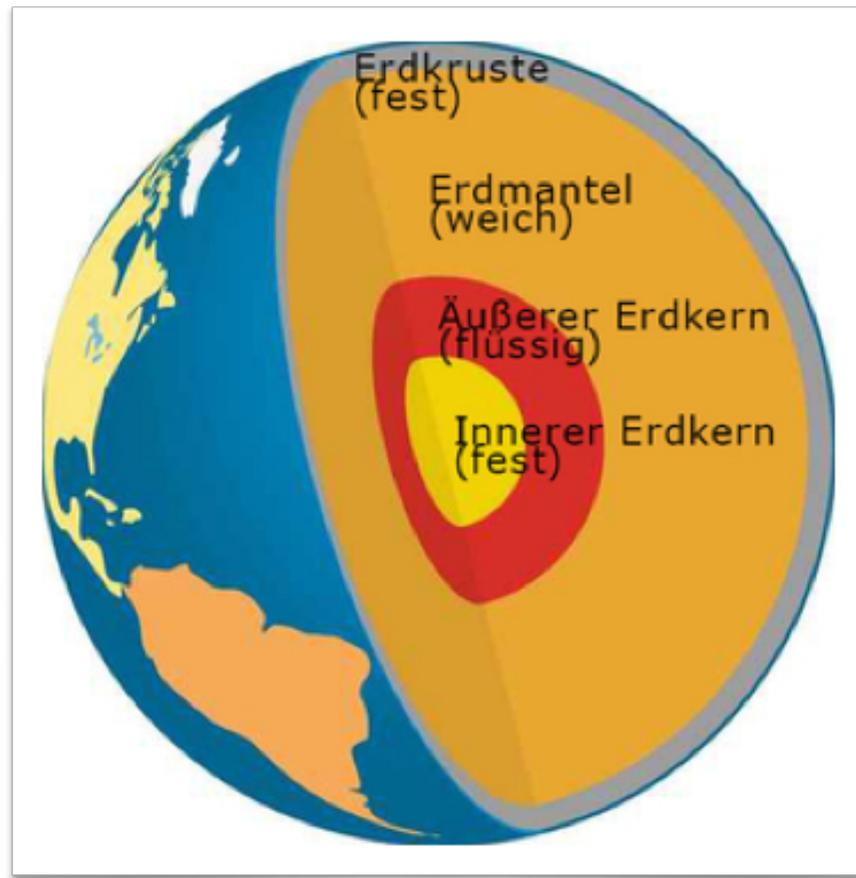
Fachwissenschaftlich nahe Darstellungen



Quelle: Eigene Darstellung (verändert nach SIMKIN et al. 2006)



Quelle: GOLDUNZE (2015)



Quelle: WIECHERT'sche Erdbebenwarte (2015)

A3 Kodierleitfaden

Kategorie	Definition	Ankerbeispiele	Kodierregeln
<p>K1: Große positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes</p> <p>Deutlicher CC</p>	<p>Es besteht eine große positive individuelle Gewissheit, dass eine Veränderung des Wissensstandes stattfand, d. h. ein deutlicher Zuwachs an fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen (über 5 Fachbegriffe) und ein fachlich nahes Konzept.</p>	<p>„Schritt für Schritt gemacht [...] und meiner Meinung nach auch sehr bildlich immer mit den Versuchen [...], dass man es selber ausprobieren konnte, [...] dadurch konnte man es sich auf jeden Fall einfacher merken.“ (3. VE, Z. 142-148)</p> <p>„Mit den Modellen? Auf jeden Fall gut. Weil am Anfang eben mal so eine allgemeine Einschätzung war, wie es so aufgebaut ist und dann eben nochmal so allgemein eigentlich, wie sich die Schichten verteilen, nach der Dichte und so und dann nochmal so auf jede einzelne Schicht einzugehen, das fand ich schon gut.“ (4. VE, Z. 1175-1178)</p> <p>Sehr gut, [...] das am Schluss zu vergleichen, das ist schon [...] ein sehr großer Unterschied da auf jeden Fall.“ (10. VE, Z. 244-246)</p>	<p>Die genannten Merkmale der Definition weisen auf eine große positive Veränderung hin, es soll kein Aspekt auf eine kleinere positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes schließen lassen.</p> <p>Sonst erfolgt eine Kodierung K2 „kleine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes“.</p>

<p>K2: Kleine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes</p> <p>Kleiner CC</p>	<p>Es wird eine schwankende Gewissheit oder kaum Emotionen aufgewiesen, mit den Anforderungen der Aufgabenstellungen gut fertig geworden zu sein, d. h. ein Zuwachs an fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen (von bis zu 5 Fachbegriffen) und ein fachlich nahes Konzept.</p>	<p>„Eigentlich voll gut, weil es waren ja auch Alltagsgegenstände da und auch Sachen mit denen man auch so in Kontakt kommt. [...] Ich glaube, das hat immer einen Blick gezeigt, wie das sein soll.“ (2. VE, Z. 945-950)</p> <p>„Also, ja, war schon gut halt, dass das alles so mit dem Grundsätzlichen halt anfängt, wie’s is und dann kommt das Obere so’n bisschen näher erklärt und joa.“ (5. VE, Z. 130-131)</p>	<p>Einordnung in K2, wenn die Definitionsaspekte nicht auf K1 und K3 schließen lassen.</p>
<p>K3: Keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes</p> <p>Kein CC</p>	<p>Es besteht die Überzeugung, keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes erreicht zu haben, d. h. fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen, aber ein fachlich unangemessenes Konzept.</p>	<p>„Ja, ich finde halt, also der Kern, dass das in der Mitte ist, das merkt man sich auch. Aber ich weiß nicht, dass man es sich so merkt, dass das so nacheinander kommt.“ (1. VE, Z. 1363-1364)</p> <p>„Schwierig, aber [...] eigentlich nicht verkehrt, weil dann macht man es ja auch nochmal Gedanken aber für einen, der gar keine Ahnung hat, der, sag ich mal, ist es schwierig zu verstehen.“ (6. VE, Z. 653-655)</p>	<p>Alle drei Aspekte von K3 deuten auf keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes hin.</p>

(Quelle: Eigene Darstellung)

A4 Einzelauswertungen

1. Vermittlungsexperiment

1) Präkonzept

Zunächst wird das Präkonzept, das die ProbandInnen vor der Bearbeitung der Lernumgebung verwendeten, analysiert. Hierbei wird der Fokus auf die 1. Schülerzeichnung, den Multiple-Choice-Test und das Interview gelegt.

Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 1. Schülerzeichnung an. Diese Zeichnung umfasst ein gewisses Präkonzept. Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 1. Schülerzeichnung werden die ProbandInnen in gewisse Begriffsklassen eingeordnet.

1. VE: Begriffsklassen (BK)

		Begriffsklassen		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Proband	S1		x	
	S2	x		

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Im 1. Vermittlungsexperiment ordnen sich die ProbandInnen in unterschiedliche Begriffsklassen ein. S1 nennt folgende Begriffe: Erdkern, Erdmantel und Erdkruste. Damit lässt sich S1 in die 2. Begriffsklasse eingruppiert. Ebenfalls wird zwar noch der Begriff Erdoberfläche angeführt, doch dieser zählt nicht zu den fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und wird somit außer Acht gelassen. S2 hingegen führt nur den Begriff Erdkern an und wird somit in die 1. Begriffsklasse eingeordnet. Damit liegen unterschiedliche Ausgangsbedingungen für einen Conceptual Change vor.

Neben der Begriffsklasse wird die Konzeptklasse analysiert. Hierbei wird der Schwerpunkt daraufgelegt, inwieweit die Alltagsvorstellung fachwissenschaftlich angemessen ist.

1. VE: Konzeptklassen (KK)

		Proband	
		S1	S2
Konzeptklasse	Fachliche Nähe	x	
	Magmahüllenmodell		x
	Gesteinsschichtenmodell		
	Keine Konzentrität		

(Quelle: Eigene Darstellung)

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung zeigen die beiden ProbandInnen S1 und S2 Diskrepanzen. S1 äußerte folgende Auffassung zur Zeichnung: „Okay, das soll die ganze Erde so darstellen und da ist quasi so ein kleiner Ausschnitt. Genau die Erdoberfläche, auf der wir eben leben. Dann die Erdkruste. Die dünnste Schicht sag ich jetzt mal, die ist fest und dann [...] [der] Erdmantel, der flüssig ist oder zähflüssig und dann die letzte Schicht ist quasi der Erdkern, der erst flüssig und dann fest wird. Ganz innen. [Lachen]“ (1. VE, Z. 82-85). Damit weist das Konzept von S1 eine hohe fachliche Korrektheit auf, da bereits im Präkonzept die grundlegende chemische Zonierung verfolgt wurde. Außerdem wird die Erdkruste als „dünnste Schicht“ (1. VE, Z. 83) bezeichnet und in diesem Bereich Proportionen beachtet. Der Erdkern unterteilt sich korrekt in zwei Bereiche, wobei u. a. die Reihenfolge der Rheologie („erst flüssig und dann fest [...] innen“, 1. VE, Z. 85) berücksichtigt wurde. Bei der Färbung der einzelnen Schalen orientierte sich S1 an Brauntönen. Damit lässt sich S1 in die Konzeptklasse fachliche Nähe einordnen.

Demgegenüber steht S2 mit folgender Aussage: „Also ich habe mal die Erde so rund gezeichnet, weil sie quasi rund ist und in der Mitte wusste ich jetzt nur, dass da der heiße Erdkern ist und dass dann nach außen immer mehr Schichten sind. Aber sonst habe ich da nichts“ (1. VE, Z. 105-107). Die Farbwahl der konzentrischen Kreise von S2 fiel

von innen nach außen auf folgende Farben: heißer Erdkern in gelb, daran anschließend ohne Bezeichnungen der Schalen orange, rot und blau. Es wird eine thermische Zonierung nach CONRAD (2014) vorgenommen. S2 entspricht dem Magmahüllenmodell.

Zusammenfassung

Die Begriffsklasse und die Konzeptklasse sind gemeinsam in der Zeichnungsklasse abgebildet. Nachfolgend werden jeweils die beiden Zeichnungsklassen für S1 und S2 veranschaulicht.

Zeichnungsklassen		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2*	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe		S1	
	Magmahüllenmodell	S2		
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Hervorzuheben ist, dass S1 zu Beginn schon ein sehr fachlich nahes Präkonzept aufweist.

Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test genutzt, um das Präkonzept der ProbandInnen zu beurteilen. Der Multiple-Choice-Test beinhaltet drei Aussagen von ProbandInnen aus der Studie von CONRAD (2014). Es stehen fünf Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen zur Verfügung, inwieweit diese Aussagen der Wahrheit entsprechen.

Aussage 1: „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.“

Aussage 2: „Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“

Aussage 3: „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.“

S1 beurteilte die Aussagen wie folgt:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 3: stimmt mittelmäßig (3)

Auffallend ist, dass S1 die Aussage 2 und 3 mit stimmt mittelmäßig (3) beurteilt, obwohl S1 im Interview fachwissenschaftlich adäquat die Kruste als „dünnste Schicht“ beschrieb (1. VE, Z. 83). Mit der Einschätzung der Aussagen ist somit ein Widerspruch zur Interviewaussage zu erkennen, da die 2. und 3. Aussage die Platten als „enorm dick“ bzw. „sehr dick“ wiedergeben. Die Zustimmung zur 1. Aussage bestätigt die Sichtweise von S1 aus der 1. Schülerzeichnung. Es wurde eine grundlegende Zonierung im Präkonzept dargestellt, die sich in der Zustimmung zur Aussage 1 widerspiegelt.

Hingegen S2 beurteilte die Aussagen wie folgt:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4)
- Aussage 2: stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt ziemlich (4)

Die hohe Gewichtung von Aussage 1 und Aussage 3 (Lava) spiegelt die Orientierung am Magmahüllenmodell wieder, die bereits in der Konzeptklasse der 1. Schülerzeichnung deutlich wurde (vgl. Konzeptklasse, S2).

2) Postkonzept

Nach Bearbeitung der Lernumgebung wurde die Schülervorstellung erneut skizziert und der Multiple-Choice-Test selbstständig korrigiert.

Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 2. Schülerzeichnung an. Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 2. Schülerzeichnung werden die ProbandInnen erneut gewissen Begriffsklassen zugeordnet.

Zeichnungsklassen		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe			S1
	Magmahüllenmodell		S2	
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

S1 verwendete folgende Begriffe: innerer Erdkern, äußerer Erdkern, Erdkern, Asthenosphäre (plastisch), lithosphärischer Mantel, Erdmantel, ozeanische Kruste, kontinentale Kruste und Lithosphäre (fest/spröde). Damit gruppiert sich S1 deutlich in die 3. Begriffsklasse ein, da ein hoher Zuwachs an fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen (13 Begriffe) zu verzeichnen ist. Es lässt sich eine starke positive Entwicklung hinsichtlich der Details in der chemischen sowie rheologischen Zonierung erkennen. Der obere Bereich der Erde wurde im Gegensatz zur 1. Zeichnung überdimensional dargestellt, doch liegt das vermutlich an der Fülle von Informationen, die S1 mitteilen wollte. Hervorzuheben ist, dass S1 zu Beginn schon ein fachlich nahes Präkonzept aufwies und sich somit die Konzeptklasse nicht veränderte. Die Zeichnung erfolgte erneut, wie bereits in der 1. Zeichnung, als Tortenstück.

S2 hingegen hatte Kenntnis von fünf fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen (ozeanisch, kontinental, Erdmantel, Kruste und Kern) und wurde somit in die 2. Begriffsklasse eingeordnet. Die 1. Zeichnung wurde als kompletter Kreis dargestellt, in der 2. Zeichnung hingegen wurde nur die Hälfte der Erde gemalt, wobei wiederum die Farbwahl in der 2. Zeichnung auf eine thermische Zonierung fiel (Kern gelb und orange dargestellt), genauso wie in der 1. Schülerzeichnung (Magmahüllenmodell). S2 ordnet sich erneut in das Magmahüllenmodell ein.

Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test genutzt, um die Postkonzepte der jeweiligen Schülervorstellung zu beurteilen. Der Multiple-Choice-Test wurde selbstständig nach Bearbeitung der Lernumgebung mit einem roten Stift verbessert.

Aussage 1: „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.“

Aussage 2: „Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“

Aussage 3: „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.“

S1 kreuzte nach den Vermittlungsexperimenten folgende Aussagen an:

- Aussage 1: stimmt wenig (2)
- Aussage 2: stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt mittelmäßig (3)

Es wird deutlich, dass die Aussagen adäquat mit einem recht niedrigen Wahrheitsgehalt eingeschätzt wurden. Wie bereits erwähnt (vgl. Postkonzept Zeichnungsklasse, S1), wurden die Proportionen in der 2. Zeichnung im oberen Bereich der Erde überdimensioniert dargestellt. Doch durch die richtige Einschätzung der Aussagen des Multiple-Choice-Tests ist diese Fehldarstellung auf die Fülle an Kenntnissen in diesem Bereich zurückzuführen, da ein enorm fachlich nahes Konzept verwendet wurde, das sowohl rheologische als auch chemische Eigenschaften in einer Zonierung vereint.

Hingegen beurteilte S2 die Aussagen wie folgt:

- Aussage 1: stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 2: stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt ziemlich (4)

S2 wies im Postkonzept weiterhin das Magmahüllenmodell auf. Die hohe Gewichtung von Aussage 1 und Aussage 3 (Lava) spiegelt die weitere Verfolgung des Magmahüllenmodells wieder: Aussage 1: „zähflüssig, so wie Lava halt ist“ und Aussage 3: „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“.

3) Veränderungen vom Prä- zum Postkonzept

Es wurden nun die Veränderungen zwischen Prä- und Postkonzept des 1. VE untersucht.

Schülerzeichnung

Zeichnungsklassen a: prä, b: post		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe		S1a	S1b
	Magmahüllenmodell	S2a	S2b	
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es wurde deutlich, dass S1 bereits mit seinem Präkonzept in der höchsten Konzeptklasse fachliche Nähe eingeordnet wurde und somit keine Steigerung mehr möglich war. Allerdings hinsichtlich der Begriffsklasse veränderte sich die Zeichnung von S1 bezüg-

lich der Nennung von fachwissenschaftlich adäquaten chemischen sowie rheologischen Bezeichnungen von drei auf 13 Begriffen, was einen enormen Zuwachs darstellt.

S2 verzeichnet in der Konzeptklasse keine Veränderung und verfolgt weiterhin das Konzept Magmahüllenmodell. Allerdings wurde S2 zunächst in die 1. Begriffsklasse eingeordnet und anschließend in die 2. Begriffsklasse, so dass hier eine kleine Entwicklung zu erkennen ist.

Multiple-Choice-Test und Interview

Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test genutzt, um Veränderungen bezüglich des Wissensstandes festzustellen.

Die Veränderungen im Multiple-Choice-Test bei S1 lauten

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4) \Rightarrow stimmt wenig (2)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3) \Rightarrow stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt mittelmäßig (3) \Rightarrow unverändert

Im Interview trifft S1 folgende Aussage zum Multiple-Choice-Test: „Weil es durch die Experimente und Versuche [...] [k]larer geworden ist“ (1. VE, Z. 1109-1113). „Ja, vor allem, wenn man es ganz am Anfang und nochmal am Ende bearbeiten musste, also man reflektiert dann nochmal, was man am Anfang gedacht hat“, kommentiert S1 (1. VE, Z. 1308-1309). S1 kann nun die drei Aussagen im Multiple-Choice-Test nach dem Vermittlungsexperiment besser beurteilen und „reflektieren“, da die Thematik durch die Lernumgebung „klarer“ geworden ist. S1 verzeichnet eine positive Sichtweise bezüglich der Veränderung des Wissensstandes: „man reflektiert dann nochmal, was man am Anfang gedacht hat“. Die Aussagen wurden korrekt bewertet. Aussage 1 beinhaltet eine fachwissenschaftlich korrekte Zonierung in eingeschränkter Perspektive. S1 beurteilte dies mit einem angemessenen Wahrheitsgehalt. Ebenfalls Aussage 2 und 3, die den oberen Bereich der Erde betreffen, wurden gut eingeschätzt. Die Einschätzung von S1 des Multiple-Choice-Tests im Postkonzept bestätigt die Einordnung in ein fachlich nahes Konzept.

Hingegen S2 verzeichnet folgende Veränderungen:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4) \Rightarrow stimmt mittelmäßig (3)

- Aussage 2: stimmt wenig (2) ⇒ unverändert
- Aussage 3: stimmt ziemlich (4) ⇒ unverändert

Auch S2 bejaht die Aussage von S1, dass die Thematik durch die Experimente und Versuche klarer geworden ist (vgl. 1. VE, Z. 1109-1113) und ergänzt, dass man auch etwas „gelernt hat“ (1. VE, Z. 1115). Allerdings ist auffallend, dass Aussage 1 und 3 sowohl im Prä- als auch im Postkonzept mit einem relativ hohen Wahrheitsgehalt eingeschätzt wurde. Diese beiden Aussagen symbolisieren das Magmahüllenmodell. Damit bestätigt dies die Zuweisung von S2 zur Konzeptklasse Magmahüllenmodell.

Erreichter Conceptual-Change-Grad

Es wurde untersucht, ob die SchülerInnen eine große, kleine oder keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes verzeichnen konnten. Ziel des Vermittlungsexperiments bestand darin, einen Conceptual Change zu initiieren. Die Basis für die Auswertung war u.a. der Kodierleitfaden (s. Anlage-Nr. A3):

- K1: deutlicher Conceptual Change (d.h. ein deutlicher Zuwachs von über 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K2: kleiner Conceptual Change (d. h. ein Zuwachs von bis zu 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K3: kein Conceptual Change (d.h. fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen, aber ein fachlich unangemessenes Konzept)

Zu Beginn zeigte S1 bereits einen hohen Wissensstand (vgl. Präkonzept, S1). Durch die Lernumgebung veränderte sich die Vorstellung weiterhin so positiv, dass S1 in „K1: große positive Veränderung bezüglich des Wissensstands“ eingeordnet wird. Es wurden 13 fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen in der 2. Zeichnung angeführt sowie das Wissen der chemischen Zonierung weiterentwickelt. Ebenfalls wurde die rheologische Zonierung konstruiert. S1 zeigt im Verlauf die Überzeugung, den Anforderungen der Aufgabenstellungen selbst gewachsen zu sein und offenbart folgende positive Einstellung zur Lernumgebung: „War gut aufgebaut, also quasi nicht durcheinander, sondern jede Schicht einzeln und von innen nach außen. Ja“ (vgl. 1. VE, Z. 1232-1233). Zusammenfassend hat S1 einen Conceptual Change deutlich erreicht.

S2 wies zu Beginn einen niedrigen Wissensstand auf (vgl. Präkonzept, S2). So wurde S2 in die 1. Begriffsklasse und in das Magmahüllenmodell eingeordnet. Durch die zur Verfügung gestellte Lernumgebung veränderte sich der Wissensstand nicht in dem Maße, sodass S2 in K3: „keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes“ eingruppiert wurde. Zum einen zeigte sich dies in der zweiten Zeichnung. Das Verständnis für den Zusammenhang von Platte, Kruste, ozeanisch und kontinental ist noch vollständig gegeben. Es wurde „ozeanische Erdplatte“ und „kontinentale Erdplatte“ aufgeführt. Separat wurde der Begriff Kruste genannt. Somit zeigt sich, dass im oberen Bereich der Erde noch Unklarheiten vorliegen. Weiterhin wurde das Magmahüllenmodell von S2 im Postkonzept verwendet. Eine Einordnung in K2 wäre nicht verhältnismäßig. Es zeigt sich somit keine positive Veränderung in den Zeichnungen bezüglich des Wissensstands (K3). Zusammenfassend hat S2 keinen Conceptual Change erreicht.

Conceptual Change im 1. VE

Es haben nicht alle ProbandInnen des Vermittlungsexperiments 1 einen Conceptual Change erreicht. S2 hat keinen Conceptual Change erreicht. Doch bei S1 wurde ein deutlicher Conceptual Change initiiert.

4) Lernschwierigkeiten

Auf dem Weg zu einem fachwissenschaftlich nahen Konzept treten auch Elemente in einer didaktisch aufbereiteten Lernumgebung auf, die als lernhinderlich empfunden werden. Die ProbandInnen wurden abschließend in einem Einzelinterview hierzu befragt.

Lernhinderliche Interventionen bei S1

S1 traf folgende wörtliche Aussagen über die lernhinderlichen Interventionen:

Was war lernhinderlich?	
Was war am schwierigsten zu verstehen?	S1: „Am schwierigsten [...] war vielleicht das mit dem lithosphärischen Mantel und [...], dass lithosphärischer Mantel nicht plastisch ist, obwohl es schon der Mantel ist.“ (1. VE, Z. 1169-1170)
Warum war es am schwierigsten?	S1: „Weil also in meiner Vorstellung war es [...], also Erdkruste ist die Lithosphäre und der Mantel beginnt dann mit dem Plastischen also mit der Asthenosphäre.“ (1. VE, Z. 1182-1183)
Wie kann man es verständlicher erklären?	S1: „Also ich finde es schon ganz schön verständlich so erklärt, [...] dass quasi der lithosphärische Mantel noch zur Platte gehört und die Platte ist Lithosphäre und deswegen [...] ist es noch fest.“ (1. VE, Z. 1191-1193)
Wo gibt es Verbesserungsvorschläge?	S1: „Hm, Moment. [...] Was, was mir jetzt zum Beispiel beim Modell [Modell 5] unklar war, war dieses Platte Lithosphäre [...]. Mir war es unklar, ob es da wirklich zusammen hingehört.“ (1. VE, Z. 1197-1206)
War etwas nicht besonders hilfreich?	S1: „Nee, also das mit den, mit den Steinen und der Schüssel war zwar quasi doppelt veranschaulicht, dass das Leichte außen [...] ist, aber mit der Schüssel hat man nochmal einen anderen Zugang.“ (1. VE, Z. 1214-1216)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Lernhinderliche Interventionen bei S2

Auf der anderen Seite traf S2 im Interview folgende Aussagen:

Was war lernhinderlich?	
Was war am schwierigsten zu verstehen?	S2: „Also mir geht es oft so, dass [ich] mal die Kruste und den Mantel verwechsle.“ (1. VE, Z. 1355)
Warum war es am schwierigsten?	S2: „Ja, ich finde halt, also der Kern, dass das in der Mitte ist, das merkt man sich auch. Aber ich weiß nicht, dass man es sich so merkt, dass das so nacheinander kommt.“ (1. VE, Z. 1363-1364)
Wie kann man es verständlicher erklären?	S2: „Ich finde durch so Beispiele ist es so ganz gut. Auch durch das Selberbauen [...], [...]für was [...] dann [...] welche Schicht [steht].“ (1. VE, Z. 1373-1374)
Wo gibt es Verbesserungsvorschläge?	S2: „Hm. [...] Keine Ahnung.“ (1. VE, Z. 1377-1381)
War etwas nicht besonders hilfreich?	S2: „Also ich fand das mit der Schüssel gut und mit der Knete, dass man da auch sehen konnte, dass die Knete verschiedene Eigenschaften hat und die Erde somit auch die verschiedenen auch.“ (1. VE, Z.1385-1386)

(Quelle: Eigene Darstellung)

5) Lernförderliche Interventionen

Anschließend werden die Materialien untersucht, die für die ProbandInnen hilfreich erschienen. S1 beurteilte die Interventionen, die lernförderlich waren, folgendermaßen:

Was war lernförderlich?	
Was hast du mitgenommen?	S1: „Also die Vorstellung von vorher hat sich dahingehend verändert, dass [...] verschiedene Sachen, verschiedene Details durch die Experimente klarer geworden sind also zum Beispiel mit dem Gewicht der Steine am Anfang oder was auch schön war [...] mit dem Druck [, das] war gut veranschaulicht. Ja, genau die Experimente konnten auf jeden Fall gut veranschaulichen, warum welcher Teil der Erde wie aufgebaut ist. Das ist gut verdeutlicht worden. (1. VE, Z. 1122-1126)
Was weißt du im Vergleich zu vorher mehr?	S1: „okay, was weiß ich mehr? [Lachen] [...] also das mit dem verschiedenen Gewicht der Gesteine. Das [...] jedes einzelne Gewicht, jeder einzelne Stein seinen Platz an der Erde hat. Der Granit ganz außen und nicht ganz innen ist.“ (1. VE, Z. 1130-1132)
Warum ist der Aufbau der Erde nun verständlicher?	S1: „Weil man’s [...] sichtbar machen konnte, also man hat es nicht nur erklärt bekommen, sondern man konnte es sich vorstellen, dahingehend, da man es selbst ausprobiert hat.“ (1. VE, Z. 1140-1141)
Was war eine Hilfestellung? Hattest du einen Knackpunkt erlebt?	S1: „[...] besonders schön fand ich, dass [...] man das hier selber zusammenstecken konnte. Das Modell mit dem Ankleben. [...] Sich so die Größe jeweils vorstellen. Die kontinentale Kruste ist mächtiger als die ozeanische und so weiter. [Modell 5] [...] Und das auch mit dem Erdkern, wo man quasi den Druck ausüben musste, dass sich da nichts mehr bewegt hat. Fand ich auch ganz [...] gut [Modell 3].“ (1. VE, Z. 1146-1157)
War etwas besonders hilfreich?	S1: Auch das und dass man am Ende die Erde selbst zusammenbauen durfte. [Modell 6] [...] Ja, gut.“ (1. VE, Z. 1161-1165)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Ebenfalls führte S2 im Einzelinterview an, welche Interventionen für eine Konzeptentwicklung als hilfreich angesehen wurden.

Was war lernförderlich?	
Was hast du mitgenommen?	S2: Dass ich eigentlich so gut nichts von dem weiß. [...] Ich hatte es eigentlich mal gelernt, [...], dass man es halt schnell vergisst. [...] Und gar nicht mehr weiß.“ (1. VE, Z. 1319-1327)
Was weißt du im Vergleich zu vorher mehr?	S2: „Vieles. [Lachen] Vorher wusste ich nur so den groben Aufbau, den Kern, dass es Schichten hat, aber jetzt aus was es so wirklich besteht nicht.“ (1. VE, Z. 1331-1332)
Warum ist der Aufbau der Erde nun verständlicher?	S2: „Ich finde, durch die verschiedenen Experimente ist [...] immer was Neues dazu gekommen, was man [...] neu gelernt hat.“ (1. VE, Z. 1336-1337)
Was war eine Hilfestellung? Hattest du einen Knackpunkt erlebt?	S2: „Ich finde das zum Beispiel mit der Schüssel [Modell 2], hat das [...] fast noch besser verdeutlicht als mit den Gewichten [Modell 1]. Oder ja so ein Knackpunkt weiß ich jetzt nicht.“ (1. VE, Z. 1341-1342)
War etwas besonders hilfreich?	S2: „Vielleicht das mit den Bausteinen [Modell 5] oder auch die Knete [Modell 4], ich weiß nicht. Es war halt einfach alles so [...] geführt, dass es verständlicher wurde.“ (1. VE, Z. 1350-1351)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Anmerkungen

Proband	Geschlecht	Schulart	Anmerkungen
S1	weiblich	Gymnasium	<p>dominant, führende Sprechrolle im Gespräch, höhere Redeanteile als S2, hohes fachlich angemessenes Präkonzept</p> <p>Lernen durch Ausprobieren, Sehen und Anfassen</p> <p>S1: „Also ich finde schon, dass man es sich leichter verinnerlichen kann, wenn man es ausprobiert hat und wenn man´s sieht und anfassen kann und anstatt einfach nur Fakten [...] auf einem Papier zu lernen.“ (1. VE, Z. 1241-1243)</p>
S2	weiblich	Gymnasium	<p>geringerer Redeanteil als S1</p> <p>Lernen durch Videos (Veranschaulichung)</p> <p>S2: „Mh, ich schau mir dann auch mal gerne Videos oder so an, dass ich es mir einfach so veranschaulichen kann. Ich finde, das bleibt dann einfach länger im Kopf, wenn man es einfach nur stur auswendig lernt vom Blatt.“ (1. VE, Z. 1401-1406)</p>

(Quelle: Eigene Darstellung)

Interesse

Auf dem Arbeitsblatt, auf dem die ProbandInnen ihre eigene Vorstellung zum Aufbau der Erde skizzierten, wurde ebenfalls nach dem Interesse gefragt.

		Interesse			
		sehr hoch	hoch	etwas	niedrig
Proband	S1		x		
	S2			x	

(Quelle: Eigene Darstellung)

Es wird deutlich, dass zu Beginn des Vermittlungsexperiments S1 ein höheres Interesse als S2 aufweist.

Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung

Auf dem Arbeitsblatt, auf dem die ProbandInnen ihre eigene Vorstellung zum Aufbau der Erde skizzierten und ihr Interesse angaben, ist u. a. der Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung untersucht worden. Dabei standen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Vorstellung zum Aufbau der Erde wurde sich „gerade“ (ad hoc) oder „schon vorher“ (tiefer verankert) überlegt.

		Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung	
		gerade	schon vorher
Proband	S1		x
	S2	x	

(Quelle: Eigene Darstellung)

Damit ordnen sich beide ProbandInnen jeweils in einen anderen Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung ein. S1 hat sich an einer Vorstellung orientiert, die bereits vorhanden war und S2 skizzierte eine Vorstellung zum Aufbau der Erde, die in dem Moment entwickelt wurde, als danach gefragt wurde.

3. Vermittlungsexperiment

1) Präkonzept

Zunächst wird das Präkonzept analysiert, das die ProbandInnen vor der Bearbeitung der Lernumgebung verwendeten. Hierbei wird der Fokus auf die 1. Schülerzeichnung, den Multiple-Choice-Test und das Interview gelegt.

Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 1. Schülerzeichnung an. Diese Zeichnung umfasst ein gewisses Präkonzept. Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 1. Schülerzeichnung werden die ProbandInnen in gewisse Begriffsklassen eingeordnet.

3. VE: Begriffsklassen (BK)

		Begriffsklassen		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Proband	S5	x		
	S6	x		

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Im 3. Vermittlungsexperiment ordnen sich die ProbandInnen in die 1. Begriffsklasse ein. S5 nennt folgende fachwissenschaftlich angemessenen Begriffe: Erdkern und Erdmantel. Damit lässt sich S5 in die 1. Begriffsklasse einordnen. S6 führt die Bezeichnungen Erdkern, Erdschale und Erdmantel an. Die Benennung Erdschale gehört nicht zu den fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und wird sie somit außer Acht gelassen. Folglich werden nur zwei korrekte Fachausdrücke verwendet und S6 ordnet sich ebenfalls wie S5 in die Begriffsklasse 1 ein. Damit liegen hinsichtlich der Begriffsklasse gleiche Ausgangsbedingungen für einen Conceptual Change vor.

Neben der Begriffsklasse wird die Konzeptklasse analysiert. Hierbei wird der Schwerpunkt daraufgelegt, inwieweit die Alltagsvorstellung fachwissenschaftlich angemessen ist.

3. VE: Konzeptklassen (KK)

		Proband	
		S5	S6
Konzeptklasse	Fachliche Nähe		
	Magmahüllenmodell	x	x
	Gesteinsschichtenmodell		
	Keine Konzentrizität		

(Quelle: Eigene Darstellung)

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Angemessenheit der Alltagsvorstellung sind bei beiden ProbandInnen S5 und S6 keinerlei unterschiedlichen Konzepte zu erkennen, da sie beide dem Magmahüllenmodell entsprechen. Im Interview kommentiert S5 die 1. Schülerzeichnung in dieser Weise: „Okay. Also ich hatte auf jeden Fall im Kopf, dass in der Mitte ein flüssiger Kern ist. [...] Der heiß ist. [...] Und dass es außen rum noch aus verschiedenen Schichten besteht, bis man eben an der Erdoberfläche ist. [...] Ich wusste allerdings nicht mehr, wie viele Schichten es waren. [...] Oder [...] wie breit die jeweils aufgebaut sind, weil der Name [...] Erdmantel ist irgendwie im Kopf noch herumgeschwirrt. [...] Das äußere grün, weil [...] als Erdoberfläche hätte ich [...] vielleicht auch braun nehmen können. [...] Das Innere [Erdkern, Anm. d. Verf.] wegen [...] dem Magma [orange dargestellt, Anm. d. Verf.]” (3. VE, Z. 41-68). Der Erdmantel als äußerste Schale wurde in der 1. Schülerzeichnung in grün und im Interview grün bzw. braun dargestellt. Durch die Beschreibung im Interview wird deutlich, dass das Innere der Erde einen heißen flüssigen Kern aufweist, der aus Magma besteht. Der Erdkern wurde wegen dem „Magma“ orange eingefärbt. Um den ausgemalten Farbkreis in orange befindet sich ein weiterer Ring ebenfalls in orange, allerdings nicht mit Erdkern betitelt. Es ist nun fraglich, ob sich S5 bewusst ist, ob es eine Untergliederung des Erdkerns (innerer-äußerer) gibt, da zwei Bereiche in der gleichen Farbe (orange) gezeichnet wur-

den oder ob die Farbwahl nur zufällig war. Leider existiert hierzu keine Aussage. Zusammenfassend wird S5 in das Magmahüllenmodell eingruppiert.

Demgegenüber steht S6 mit folgender Aussage: „Erdkern habe ich auch noch gewusst und dass es innen ganz heiß ist. [...] Erdschale und Erdmantel, aber ich weiß auch nicht mehr wie rum. [...] Oder die Reihenfolge, die wo stimmt [...] In der Mitte wegen dem Magma, das Wärme halt. [...] Und das andere [Farbwahl um den Kern] herum, ich weiß auch nicht, warum“ [3. VE, Z. 72-89]. Die Farbwahl der ausgemalten konzentrischen Kreise von S6 fiel auf folgende Farben: mittig gelb, dann von innen nach außen orange, rot und braun. Durch die Farbwahl und der Aussage „in der Mitte wegen dem Magma, das Wärme halt“ [3. SZ, Z. 85], entspricht S6 dem Magmahüllenmodell.

Zusammenfassung

Die Begriffsklasse und die Konzeptklasse sind gemeinsam in der Zeichnungsklasse abgebildet. Nachfolgend wurden jeweils die beiden Zeichnungsklassen für S5 und S6 veranschaulicht, die identisch ausfallen.

Zeichnungsklassen		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe			
	Magmahüllenmodell	S5 S6		
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Auffallend ist, dass sich beide ProbandInnen in die 1. Begriffsklasse und in das Magmahüllenmodell einordnen.

Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wurde ein Multiple-Choice-Test genutzt, um das Präkonzept der ProbandInnen zu beurteilen. Der Multiple-Choice-Test beinhaltet drei Aussagen von ProbandInnen aus der Studie von CONRAD (2014). Es stehen fünf Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen zur Verfügung, inwieweit diese Aussagen der Wahrheit entsprechen.

Aussage 1: „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.“

Aussage 2: „Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“

Aussage 3: „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.“

S5 kreuzte folgende Aussagen an:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 3: stimmt mittelmäßig (3)

Hingegen S6 beurteilte die Aussagen wie folgt:

- Aussage 1: stimmt sehr (5)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 3: stimmt ziemlich (4)

Hinsichtlich der Konzeptklasse wurden S7 und S8 dem Magmahüllenmodell zugeordnet. Die hohe Gewichtung von Aussage 1 und Aussage 3 (Lava) spiegelt die Orientierung am Magmahüllenmodell wieder, die bereits in der Konzeptklasse deutlich wurde.

2) Postkonzept

Nach Bearbeitung der Lernumgebung wurde die Schülervorstellung erneut in einer 2. Schülerzeichnung skizziert und der Multiple-Choice-Test selbstständig korrigiert.

Schülerzeichnung

Jeder Proband fertigte eine 2. Schülerzeichnung an. Anhand der Nennung der Anzahl der fachwissenschaftlich korrekten Begriffe in dieser 2. Schülerzeichnung werden die ProbandInnen erneut gewissen Begriffsklassen zugeordnet. Im 3. Vermittlungsexperiment stellen sich unterschiedliche Begriffsklassen heraus. S5 nennt folgende Begriffe: innerer Erdkern, äußerer Erdkern, innerer Erdmantel, äußerer Erdmantel, lithosphärischer Mantel, ozeanische Kruste und kontinentale Kruste. Damit ließ sich S5 deutlich in die 3. Begriffsklasse eingruppiert, da ein Zuwachs an 8 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen zu verzeichnen war. Hervorzuheben ist, dass S5 zu Beginn das Magmahüllenmodell aufwies und sich die Farbwahl in der 2. Schülerzeichnung in diesem Bereich nicht veränderte, da erneut der innere Erdkern in gelb und der äußere Erdkern in orange gezeichnet wurde. Allerdings erfolgte eine weitestgehend korrekte chemische Zonierung. Lediglich der Erdmantel wurde mit innerer und äußerer statt unterer und oberer betitelt. Es zeigt sich aber, dass sich S5 der Tatsache bewusst ist, dass der Erdmantel unterteilt wird und nur die Wortwahl unzutreffend gewählt wurde. Ebenfalls war S5 in der Lage, den lithosphärischen Mantel als rheologische Schale anzuführen. Die Proportionen der einzelnen Schalen wurden verhältnismäßig wiedergegeben. Durch diese positive Wissensentwicklung wird S5 dem fachlichen nahen Konzept zugeschrieben.

S6 hingegen nannte 10 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen (Erdkern fest, Erdkern flüssig, Erdmantel fest, Erdmantel plastisch, Lithosphäre, Platte, kontinentale Kruste und ozeanische Kruste) und wurde damit in die 3. Begriffsklasse eingeordnet. Hervorzuheben ist, dass die rheologischen Eigenschaften adäquat aufgeführt wurden. Allerdings fiel in der 2. Schülerzeichnung erneut die Farbwahl auf Gelb- bis Rottöne, genauso wie in der 1. Schülerzeichnung (Magmahüllenmodell). Damit ist eine Einschätzung schwierig. Da allerdings begrifflich eine angemessene chemische Zonierung mit rheologischen Eigenschaften verfolgt wurde, fällt somit die Einordnung auf fachliche Nähe.

Zeichnungsklassen		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2**	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe			S5 S6
	Magmahüllenmodell			
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Multiple-Choice-Test

Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test genutzt, um das Postkonzept zu beurteilen. Der Multiple-Choice-Test wurde selbstständig nach der Lernumgebung mit einem roten Stift verbessert.

Aussage 1: „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.“

Aussage 2: „Ich stelle mir die Platten schon sehr dick vor. [...] 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.“

Aussage 3: „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.“

S5 bewertete die Aussagen dahingehend:

- Aussage 1: stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 2: stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt nicht (1)

Die Aussagen wurden korrekt bewertet. Aussage 1 beinhaltet eine fachwissenschaftlich korrekte Zonierung in eingeschränkter Perspektive. S5 beurteilte dies mit einem angemessenen Wahrheitsgehalt. Ebenfalls Aussage 2 und 3, die den oberen Bereich der Erde betreffen, wurden gut eingeschätzt. Die Einschätzung von S5 des Multiple-Choice-Tests im Postkonzept bestätigt die Einordnung in ein fachlich nahes Konzept.

Hingegen S6 beurteilte die Aussagen wie folgt:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4)
- Aussage 2: stimmt nicht (1)
- Aussage 3: stimmt wenig (2)

Ebenfalls hat S6, wie S5, die Aussagen richtig erwogen. Die Einschätzung von S6 im Multiple-Choice-Test im Postkonzept bestätigt die Einordnung in ein fachlich nahes Konzept.

3) Veränderungen vom Prä- zum Postkonzept

Es wurden nun der Prä- und Postkonzept vom 3. VE untersucht.

Schülerzeichnung

Zeichnungsklassen a: prä, b: post		Begriffsklasse		
		Klasse 1*	Klasse 2*	Klasse 3***
Konzeptklasse	Fachliche Nähe			S5b S6b
	Magmahüllenmodell	S5a S6a		
	Gesteinsschichtenmodell			
	Keine Konzentrität			

*: bis zu 2 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

** : bis zu 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

***: über 5 fachwissenschaftlich angemessene Bezeichnungen

(Quelle: Eigene Darstellung)

Folgende Veränderungen fanden bei S5 bezüglich der Begriffsklasse statt. Zunächst ließ sich S5 in die 1. Begriffsklasse mit zwei fachwissenschaftlich angemessenen Begriffen einordnen, allerdings konnten im Postkonzept acht richtige Fachbegriffe wiedergegeben werden. Damit fand ein enormer Wissenszuwachs von der niedrigsten zur höchsten Begriffsklasse statt. Hinsichtlich der Konzeptklasse vollzog sich eine Veränderung vom Magmahüllenmodell zu einer fachwissenschaftlich nahen Orientierung.

Auf der anderen Seite verzeichnete S6 einen hervorzuhebenden Sprung in der Begriffsklasse von zwei auf zehn Fachbegriffe. Damit erfolgte eine Veränderung von der niedrigsten zur höchsten Begriffsklasse. Bezüglich der Konzeptklasse wurde S6 zunächst in die Konzeptklasse Magmahüllenmodell eingeordnet, doch auf Grund der Zunahme an rheologischem Grundlagenwissen in fachliche Nähe kategorisiert.

Multiple-Choice-Test und Interview

Neben der Schülerzeichnung wurde der Multiple-Choice-Test genutzt, um Veränderungen bezüglich des Wissensstandes festzustellen.

Die Veränderungen im Multiple-Choice-Test bei S5 lauten:

- Aussage 1: stimmt ziemlich (4) \Rightarrow stimmt mittelmäßig (3)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3) \Rightarrow stimmt wenig (2)
- Aussage 3: stimmt mittelmäßig (3) \Rightarrow stimmt nicht (1)

Im Interview trifft S5 folgende Aussagen zum Multiple-Choice-Test: „Also [...] ich wusste manchmal nicht genau, was ich ankreuzen sollte, weil [...] zum Beispiel mit dem flüssigen ganz heißen Kern, also ganz heiß stimmt ja, aber flüssig nicht, also wusste ich nicht genau, wo ich es dann einordnen sollte.“ [L kommentiert: „Okay, also teilweise wahr. Teilweise nicht wahr.“] S5 bestätigt: „Genau, ja“ (3. VE, Z. 273-279). Anhand der Aussagen im Interview und der fachwissenschaftlich korrekten Einschätzung des Multiple-Choice-Tests lässt sich erkennen, dass S5 die Thematik nach Bearbeitung der Lernmaterialien fachlich angemessener beurteilen konnte.

Hingegen S6 verzeichnet folgende Veränderungen

- Aussage 1: stimmt sehr (5) \Rightarrow stimmt ziemlich (4)
- Aussage 2: stimmt mittelmäßig (3) \Rightarrow stimmt wenig (2)

- Aussage 3: stimmt ziemlich (4) \Rightarrow stimmt nicht (1)

Auch S6 bestätigt, dass der Multiple-Choice-Test hilfreich war: „Ja. Vor allem, dass man den davor und danach gemacht hat. [...] Dass man es nochmal gesehen hat. Weil [...] [am] Anfang war alles noch so geschätzt und am Schluss hat man sich schon mal ein bisschen mehr ausgekannt“ (3. VE, Z. 423-428). Durch die erneute Bearbeitung des Tests war S6 in der Lage werden, die Aussagen fachwissenschaftlich angemessen zu beurteilen. Dies zeigt sich ebenfalls in der positiven Stimmung im Interview: „davor und danach gemacht“ und „[am] Anfang war alles noch so geschätzt“, „am Schluss [...] mehr ausgekannt“. Zusammenfassend kann S6 eine positive Wissensentwicklung verzeichnen.

Erreichter Conceptual-Change-Grad

Es wurde untersucht, ob die SchülerInnen eine große, kleine oder keine positive Veränderung bezüglich des Wissensstandes verzeichnen konnten. Ziel des Vermittlungsexperiments bestand darin, einen Conceptual Change zu initiieren. Die Basis für die Auswertung war u.a. der Kodierleitfaden (s. Anlage-Nr. A3):

- K1: deutlicher Conceptual Change (d.h. ein deutlicher Zuwachs von über 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K2: kleiner Conceptual Change (d. h. ein Zuwachs von bis zu 5 fachwissenschaftlich korrekten Bezeichnungen und ein fachlich nahes Konzept)
- K3: kein Conceptual Change (d.h. fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen, aber ein fachlich unangemessenes Konzept)

Zu Beginn wies S5 einen niedrigen Wissensstand bezüglich des Aufbaus der Erde auf (vgl. 3. VE, Präkonzept). Es wurde das Magmahüllenmodell und die 1. Begriffsklasse vertreten. Doch nach der Bearbeitung der Lernumgebung ließ sich S5 in „K1: große positive Veränderung bezüglich des Wissensstands“ kategorisieren, da zum einen acht fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnungen in der 2. Schülerzeichnung aufgeführt wurden sowie eine Wissensentwicklung zu einer chemische-rheologischen Zonierung mit Beachtung der Proportionen erworben wurde (vgl. Postkonzept). Ebenfalls zeigt S5 die Überzeugung, den Anforderungen der Aufgabenstellungen selbst gewachsen zu sein und offenbart eine positive Stimmung: „Schritt für Schritt gemacht [...] und meiner Meinung nach auch sehr bildlich immer mit den Versuchen [...], dass man es selber

ausprobieren konnte, [...] dadurch konnte man es sich auf jeden Fall einfacher merken“ (3. VE, Z. 142-148). Zusammenfassend hat S5 einen Conceptual Change deutlich erreicht.

S6 wies zu Beginn ebenfalls einen niedrigen Wissensstand auf (vgl. 3. VE, Präkonzept). S6 vertrat ebenfalls wie S5 das Magmahüllenmodell und die 1. Begriffsklasse. Doch durch die Lernumgebung veränderte sich das Konzept von S6 dahingehend, dass S6 in „K1: große positive Veränderung bezüglich des Wissensstands“ eingeordnet wurde. Zum einen zeigte sich dies in der 2. Schülerzeichnung, da insgesamt zehn fachwissenschaftlich angemessene Benennungen zugeordnet wurden. Zusätzlich wurde neben den Fachausdrücken auch korrekt eine rheologische Zonierung vorgenommen, so dass dies ein deutlicher Hinweis auf neu erworbene Kenntnisse ist. Die Lernumgebung wurde als „gut, also von innen nach außen. Ja, doch“ beurteilt (3. VE, Z. 356). Es zeigt sich eine große positive Veränderung des Wissensstands. Zusammenfassend hat S6 ebenfalls einen Conceptual Change deutlich erreicht.

Conceptual Change im 3. VE

Somit haben beide ProbandInnen des 3. Vermittlungsexperiments einen Conceptual Change deutlich erreicht und zeigen damit die höchste Konzeptveränderung auf, die durch das Vermittlungsexperiment zu erreichen war.

4) Lernschwierigkeiten

Auf dem Weg zu einem fachwissenschaftlich korrekten Konzept treten auch Elemente in einer didaktisch aufbereiteten Lernumgebung auf, die als lernhinderlich gelten. Hierzu wurden die ProbandInnen einzeln befragt.

S5 traf folgende wörtliche Aussagen über Lernschwierigkeiten.

Was war lernhinderlich?	
Was war am schwierigsten zu verstehen?	S5: „Na ja, bei dem Modell [Modell 5, Anm. d. Verf.] hatten wir ein bisschen Probleme anfänglich, wie es aufgebaut wird.“ (3. VE, Z. 186)
Warum war es am schwierigsten?	S5: „Weil wir die Begriffe noch nicht vorher wirklich gehört haben [...] und wir nicht wirklich wussten, wie wir es zuordnen sollen. Und [...] wegen der Beschaffenheit haben wir auch, was spröde und was plastisch war, [...] [g]erätselt.“ [Gelächter] (3. VE, Z. 191-197)
Wie kann man es verständlicher erklären?	S5: „Hm, also ich wusste zum Beispiel nichts mit dem Begriff Asthenosphäre anzufangen. [...] ich weiß nicht, ob es [...] vielleicht noch einen anderen Begriff [...] gibt, dass man es dazu schreiben könnte. [...] Ich glaube, das war ein wenig verwirrend. Aber sonst. Ja.“ (3. VE, Z. 201-210)
Wo gibt es Verbesserungsvorschläge?	[Frage wurde übersprungen]
War etwas nicht besonders hilfreich?	S5: „Nein, das würde ich jetzt nicht sagen. Ich fand alles hilfreich.“ (3. VE, Z. 214)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Auf der anderen Seite traf S6 im Interview ebenfalls Aussagen über die lernhinderlichen Interventionen, die bei der Thematik Aufbau der Erde entstanden.

Was war lernhinderlich?	
Was war am schwierigsten zu verstehen?	S6: „Hm, das am Anfang mit der Knete [Modell 4, Anm. d. Verf.], [...] wenn man das weiß, dann geht's schon, aber vorher das hätte ich halt nicht gedacht.“ [Gelächter] (3. VE, Z. 318-319)
Warum war es am schwierigsten?	S6: „Weil man es sich irgendwie nicht vorstellen kann und ich habe auch mit etwas Anderem gerechnet.“ (3. VE, Z. 323-324)
Wie kann man es verständlicher erklären?	S6: „Hm, vielleicht ist es verständlicher, wenn man die Knete [Modell 4, Anm. d. Verf.] kennt. [...] Also an sich war es schon gut.“ (3. VE, Z. 332-336)
Wo gibt es Verbesserungsvorschläge?	S6: „Hm. [- - -] [...] Nein, finde ich jetzt eigentlich nicht.“ (3. VE, Z. 344-348)
War etwas nicht besonders hilfreich?	S6: „Hm, nein, finde ich eigentlich auch nicht, weil ja alles schön immer einzeln erklärt wurde.“ (3. VE, Z.352)

(Quelle: Eigene Darstellung)

5) Lernförderliche Interventionen

Einige Lernangebote waren für die ProbandInnen lernförderlich. S5 beurteilte folgendermaßen:

Was war lernförderlich?	
Was hast du mitgenommen?	S5: „Also es war auf jeden Fall schon ein bisschen her, dass ich das in Erdkunde hatte. [Gelächter] Und ich hatte es nicht mehr ganz im Kopf, wie es aufgebaut war.“ (3. VE, Z. 127-128)
Was weißt du im Vergleich zu vorher mehr?	S5: „Also ich wusste auf jeden Fall schon vorher, dass ozeanisch und kontinental die Kruste unterteilt, dass innen der Erdkern ist. Der Begriff Erdmantel kannte ich auch. Aber ich hatte auch nicht mehr im Kopf, dass der Erdkern innen fest und dann außen rum flüssig. Ähm lithosphärischer Mantel bin ich mir nicht sicher, ob ich das überhaupt schon einmal gehört habe. Vielleicht. Aber ich konnte mich auf jeden Fall nicht mehr erinnern.“ [Gelächter] (3. VE, Z. 132-137).
Warum ist der Aufbau der Erde nun verständlicher?	S5: „[E]s ist zum einen Schritt für Schritt gemacht [worden] [...] und meiner Meinung nach auch sehr bildlich immer mit den Versuchen, [...], dass man es selber ausprobieren konnte. [...] Ja, dadurch konnte man es sich auf jeden Fall einfacher merken.“ (3. VE, Z. 142-148)
Was war eine Hilfestellung? Hattest du einen Knackpunkt erlebt?	S5: „[I]ch glaube, das war [...], wo wir vermuten sollten [...] mit dem [...] Erdkern [Modell 3, Anm. d. Verf.]. [...] Dass er innen fest ist und was war das andere noch? Noch irgendwo warte mal kurz.“ [Lachen] L: „Mit der Knete [Modell 4, Anm. d. Verf.] vielleicht?“ S5: „Ja, genau.“ (3. VE, Z. 152-169)
War etwas besonders hilfreich?	S5: „Also ich fand das mit der Schüssel [Modell 2, Anm. d. Verf.] auf jeden Fall ganz interessant. [...] Mit der Knete [Modell 4, Anm. d. Verf.] [...], das fand ich auch, da lagen wir ja auch ganz falsch mit der Vermutung.“ [Gelächter] (3. VE, Z. 174-182)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Ebenfalls führte S6 im Einzelinterview an, welche Interventionen für eine Konzeptentwicklung als hilfreich angesehen wurden.

Was war lernförderlich?	
Was hast du mitgenommen?	S6: „Allgemein so den Aufbau, das war schon nochmal alles interessant, wenn man jetzt weiß, wie das alles so aufgebaut ist.“ (3. VE, Z. 284-286)
Was weißt du im Vergleich zu vorher mehr?	S6: „Wie es genau ist. So wusste ich ja nur, [...] was außen rum [ist] und de[n] Erdkern.“ [Lachen]. (3. VE, Z. 290-291)
Warum ist der Aufbau der Erde nun verständlicher?	S6: „Ja, weil es auch anschaulich war. Also ich fand das schon gut mit den Experimenten und mit den Bildern und so und dann konnte man es sich halt auch weng vorstellen.“ (3. VE, Z. 295-296)
Was war eine Hilfestellung? Hattest du einen Knackpunkt erlebt?	S6: „Hm, eigentlich da wo wir die Erde selber gebaut haben. Das fand ich eigentlich ganz gut. [Modell 6, Anm. d. Verf.] [...] Also ich fand auch das gut, aber das ist halt nur ein Teil.“ [Modell 5, Anm. d. Verf.] (3. VE, Z. 301-306)
War etwas besonders hilfreich?	S6: „Hm. Da würde ich auch sagen das Große. [...] [Modell 5, Anm. d. Verf.]. Mh. Ja.“ (3. VE, Z. 310-314)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Anmerkungen

Proband	Geschlecht	Schulart	Anmerkungen
S5	weiblich	Gymnasium	dominant, führende Sprechrolle im Gespräch, höhere Redeanteile als S6 Lernen durch mehrmaliges Durchlesen S6: „Hm, meistens eigentlich durch mehrmals Durchlesen.“ (3. VE, Z. 222)
S6	weiblich	Gymnasium	geringerer Redeanteil als S5 Lerntechnik: Auswendiglernen des Hefteintrags S6: „Also ich lerne am liebsten privat auswendig und ganz normal in meinem Zimmer. Ganz normal vom Heft eigentlich [Gelächter]. Okay, also ich lern auch nicht gerne, aber na ja.“ [Gelächter] (3. VE, Z. 360-361)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Interesse

Auf dem Arbeitsblatt, auf dem die ProbandInnen ihre eigene Vorstellung zum Aufbau der Erde skizzierten, wurde auch das Interesse erhoben. Die Tabelle veranschaulicht, dass beide ProbandInnen aus dem 3. VE ihr Interesse mit „etwas“ einstufen.

3. VE: Interesse

		Interesse			
		sehr hoch	hoch	etwas	niedrig
Proband	S5			x	
	S6			x	

(Quelle: Eigene Darstellung)

Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung

Es standen zwei Ankreuzmöglichkeiten zur Verfügung, um die zeitliche Bildung der Vorstellung zu erheben: „gerade“ (ad hoc) oder „schon vorher“ (tiefer verankert)

3. VE: Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung

		Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung	
		gerade	schon vorher
Proband	S5		x
	S6		x

(Quelle: Eigene Darstellung)

Damit haben beide ProbandInnen ein und denselben Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung: schon vorher. Es ist auffallend, dass die ProbandInnen aus dem 3. VE das gleiche Interesse und den gleichen Zeitpunkt der Vorstellungsüberlegung aufweisen.

A5 Auszüge aus den Pilotstudien

L: Material, Gefäß durchsichtig, Stab. P: Welcher Stab? L: Löffel. P: Achso. Also Stab gleich Löffel. Holzkugeln, Schaumstoffbällchen, Glasmurmeln. (vgl. Pilotstudie 2, Z. 285 - 291).

L: Und jetzt nochmal Schütteln. Nimm sie mit beiden Händen in die Hand. P: Steht nicht da. L: Okay. (vgl. Pilotstudie 2, Z. 311 - 315).

P: Mh. Ich will aber immer alles gleich verstehen. [Rascheln] Durchsichtig, Schaumstoffbällchen, Stab. L: Naja. P: Drücke die Schaumstoffbällchen fest nach unten. L: Mit dem Löffel. (vgl. Pilotstudie 2, Z. 432 - 435).

L: Hast du mir zugehört? P: Grün ist ozeanisch, nein, warte mal, grün ist vermutlich dann das andere, kontinental und blau ist dann ozeanisch. (vgl. Pilotstudie 2, Z. 881 - 884).

P: Ja, das wäre jetzt das nächste gewesen. Genau. Gleiche Höhe. Kern innen fest. [unverständlich] 29 auch wieder, dünn, dünnflüssig, wieder [---] was ist das jetzt wieder? 300 bis 160 ja aber hier fehlen ja 100 km. (vgl. Pilotstudie 2, Z. 712 - 714).

P: Jetzt warte doch mal, ich muss da erst mal zurecht finden. Ich weiß ja jetzt gar nicht, ob das so, ob das jetzt irgendwie so gemeint ist oder. Weil mich verwirren da die ganzen, das hier verwirrt mich. Ich habe vielleicht gedacht, dass hier ist vielleicht irgendwie so eine Linie eine Länge oder so. Aber das ist nirgendwo der Fall. Also meinst du das ist so oder wie. Puh [---] ich weiß es nicht. So vielleicht so. (vgl. Pilotstudie 1, Z. 925-929).

P: Nein, nein, weil wenn ich hier oben reinzeichne dann bewege ich mich ja irgendwo im Kilometerbereich. Das ist ja unrealistisch. Sobald ich hier hochkomme. L: Das ist ein gebogenes Tortenstück. Die Linie ist 0. P: Aber dann muss man auch, dann muss man auch diese Linie, diese Striche, diese Striche hier aber auch so machen und nicht einfach gerade, gerade, weil ich geh davon aus, dass hier gerade gerade gerade und alles was hier oben sich bewegt, wenn hier 0 km ist und ich geh davon aus. L: Und was wäre dann das oben drüber gewesen für dich? P: Naja, deswegen habe ich ja darüber nichts gezeichnet. Das hier oben drüber ist, Pfff, weiß ich nicht, Luft? L: Okay. (vgl. Pilotstudie 1, Z. 670-685).

(Eidesstaatliche) Versicherungen und Erklärungen

(§ 9 Satz 2 Nr. 3 PromO BayNAT)

Hiermit versichere ich eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe (vgl. Art. 64 Abs. 1 Satz 6 BayHSchG).

(§ 9 Satz 2 Nr. 3 PromO BayNAT)

Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation nicht bereits zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht habe und dass ich nicht bereits diese oder eine gleichartige Doktorprüfung endgültig nicht bestanden habe.

(§ 9 Satz 2 Nr. 4 PromO BayNAT)

Hiermit erkläre ich, dass ich Hilfe von gewerblichen Promotionsberatern bzw. -vermittlern oder ähnlichen Dienstleistern weder bisher in Anspruch genommen habe noch künftig in Anspruch nehmen werde.

(§ 9 Satz 2 Nr. 7 PromO BayNAT)

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass die elektronische Fassung meiner Dissertation unter Wahrung meiner Urheberrechte und des Datenschutzes einer gesonderten Überprüfung unterzogen werden kann.

(§ 9 Satz 2 Nr. 8 PromO BayNAT)

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis, dass bei Verdacht wissenschaftlichen Fehlverhaltens Ermittlungen durch universitätsinterne Organe der wissenschaftlichen Selbstkontrolle stattfinden können.

Bayreuth, 21.05.2019, Catharina Denk

Ort, Datum, Unterschrift