

Harald Gropengießer und Annette Marohn

4.1 Einführung

Diesterweg (1850) hat den Weg gewiesen: „Ohne die Kenntniß des Standpunktes des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich.“ Der pädagogische Psychologe Ausubel (1968, S. vi) formuliert dieses Prinzip so: „The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.“ Diese Sätze können als Ausgangspunkt für die Schülervorstellungsforschung gelten. Schüler verfügen über eine Reihe vielfältiger, deutlich anderer Vorstellungen über Objekte und Ereignisse als die aktuell akzeptierte naturwissenschaftliche Sichtweise. Zu diesen Schülervorstellungen liegt ein umfangreicher Wissensschatz vor, der über eine Bibliografie (Duit 2009), eine Literaturdatenbank (z. B. ERIC) oder wissenschaftliche Suchmaschinen wie *Google scholar* zugänglich ist.

Viele der erfassten Vorstellungen sind widerständig gegen unterrichtliche Änderungsversuche (Wandersee et al. 1994). Das im zweiten Satz des Diktums von Ausubel verlangte, dem Vorwissen angemessene, verstehensfördernde Lehren erweist sich somit als schwierig. Die Herausforderung besteht darin, unterrichtliche Strategien zur Änderung von Vorstellungen zu finden, die Bedingungen zu klären, unter denen dies gelingen kann,

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text verallgemeinernd das generische Maskulinum verwendet. Diese Formulierungen umfassen gleichermaßen weibliche und männliche Personen; alle sind damit gleichberechtigt angesprochen.

H. Gropengießer (✉)

Didaktik der Biologie, Leibniz Universität Hannover
Hannover, Deutschland
E-Mail: gropengiesser@idn.uni-hannover.de

A. Marohn

Didaktik der Chemie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Münster, Deutschland
E-Mail: a.marohn@uni-muenster.de

und den dabei ablaufenden Lernprozess theoretisch gerahmt zu beschreiben. Solche Ansätze werden unter dem Terminus *Conceptual Change* gefasst (Duit und Treagust 2003; Vosniadou 2008).

4.2 Theoretische Rahmungen zu Schülervorstellungen

Am Beispiel eines Interviews mit Stella, einer Schülerin der Oberstufe, soll erläutert werden, wie aus Äußerungen auf Schülervorstellungen geschlossen wird. Stella, die bereits Unterricht zum Thema Osmose hatte, werden Kartoffelstückchen vorgelegt. Einige haben in Salzwasser gelegen, andere in destilliertem Wasser. Die ursprünglich zu gleicher Größe geschnittenen Kartoffelstückchen zeigen nun unterschiedliche Form und Konsistenz. Dies soll beschrieben und erklärt werden. Im Verlauf des Interviews äußert Stella u. a. (Schellwald 2015): „Das Salz zieht das Wasser heraus. Salz und Wasser haben ja verschiedene Moleküle. Vielleicht ziehen sich ja die Moleküle an.“ An anderer Stelle: „Und wenn die Konzentration jetzt in der Vakuole höher ist als im Salzwasser, dann streben die Wasserteilchen den Ausgleich an.“ Später dann: „Dass Wasserteilchen den Ausgleich anstreben, ist eigentlich nicht korrekt ausgedrückt. Mein Lehrer hat uns immer wieder verbessert, als wir ‚streben‘ gesagt haben. Wasser macht das einfach, die Wasserteilchen machen es. Das ist in deren Natur. Also ‚streben‘ und ‚wollen‘ ist eigentlich falsch. Die Teilchen machen es einfach.“ Und: „Wasser, die Wasserteilchen, wollen sich nach dem Brownschen Gesetz immer gleichmäßig verteilen. Nicht wollen, aber sie machen es einfach.“

Ein solches, problemzentriertes, offenes und interaktives Interview (Niebert und Gropengiesser 2014; Krüger und Riemeier 2014) bietet tiefe Einblicke in das Denken der Schülerin. An dem hier gewählten Ausschnitt lassen sich wesentliche Aspekte und Grundlagen der Forschung zu Schülervorstellungen verdeutlichen. Zunächst wird das Konstrukt Schülervorstellungen skizziert, indem der Gegenstand und die grundlegende methodische Vorgehensweise sowie die theoretische Rahmung umrissen werden.

Die Äußerungen Stellas drücken ihre subjektiven themenspezifischen Vorstellungen aus. Sie beziehen sich in diesem Fall auf die Kartoffelstückchen, auf deren Zellen und Zellmembranen, auf die beteiligten Moleküle oder ganz allgemein auf Referenten. In der Schülervorstellungsforschung sind somit der sprachliche, gedankliche und referenzielle Bereich im Anschluss an Ogden und Richards (1923) zu unterscheiden. Zentral ist dabei der gedankliche Bereich, der den referenziellen und sprachlichen Bereich verbindet (Gropengiesser 2007a).

Der Sachverhalt wird von Stella mithilfe ihrer verfügbaren Vorstellungen interpretiert. Fachdidaktiker beschäftigen sich mit den Vorstellungen, den Ideen und den Denkprozessen anderer Menschen, d. h. sie interpretieren die Vorstellungen anderer Menschen aus deren Äußerungen zu einem Sachverhalt. Kurz: Sie konstruieren Vorstellungen von Vorstellungen. Bezogen auf den Sachverhalt liegt damit eine zweifache Interpretation vor.

Stellas Äußerungen zeigen, dass sie sich Gedanken über osmotische Effekte an Kartoffelstückchen macht. Sie hat allerdings keine Vorstellungen in dem Sinn, dass sie als

fertige Güter in einem Speicher lägen und als solche hervorzuholen wären. Vermutlich entwickelt sie ihre Vorstellungen ad hoc, was besonders in ihren selbstkorrigierenden Äußerungen deutlich wird. Sie konstruiert ihre Vorstellungen in der Auseinandersetzung mit dem Phänomen und den Anregungen der Interviewerin.

Inhaltlich können die Äußerungen als von der wissenschaftlich korrekten Darstellung abweichend gekennzeichnet werden. Als Beschreibung der Ausgangslage für weiteres Lernen ist damit allerdings wenig gewonnen. Eine deutlich andere Perspektive eröffnet sich, wenn versucht wird, aus Stellas Äußerungen ihre Vorstellungen inhaltlich interpretativ zu erschließen und die Denkweise zu verstehen. Aus einer solchen Perspektive ist Stella auf der Suche nach einem Verursacher oder Akteur für das osmotische Phänomen: Das Salz zieht; die Wassersteilchen streben, wollen oder machen das einfach. Der Akteur zeigt auch Volition und macht einfach. Dies ist keineswegs eine Eigentümlichkeit von Stella, vielmehr handelt es sich um einen mehrfach bestätigten empirischen Befund. Beispielsweise antworten zwischen einem Viertel und einem Drittel schriftlich befragter Collegestudenten ($n = 250$) mit: „[. . .] the molecules want to spread out“ oder „They tend to move [. . .]“ (Odom und Barrow 1995).

Stella weiß auch, dass sie damit die Sache nicht korrekt ausdrückt, wie sie sagt. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff und Johnson 1999; Gropengiesser 2007b) ist ihr Sprechen ein Fenster auf das dahinterstehende Denken. Die Kognition gilt als primär und zeigt sich hier als imaginativ, indem dem Salz und den Molekülen Handlungen zugeordnet werden. Es ist eine metaphorische Sprech- und v. a. Denkweise, die mit der Metaphertheorie („conceptual metaphor theory“; Lakoff und Johnson 1980, 1999; Gibbs 2008) erklärt werden kann. Danach wird in den Zielbereich (hier das osmotische Phänomen) die Struktur eines Ursprungsbereichs hineingetragen und damit verständlich gemacht. Der Ursprungsbereich, der hier das Denken strukturiert, ist das sog. Handlungsschema. Die Struktur dieses Schemas besteht hauptsächlich aus den Elementen eines Handelnden (Akteur) mit einer Absicht (Intention), der etwas tut (Handlung, Aktion) und zwar an oder mit einem Objekt (Patient) (vgl. Lakoff 1990, S. 54–55).

4.2.1 Das Konstrukt Vorstellung

Die Forschungen zu Schülervorstellungen und deren Rolle beim Lernen und Lehren hat sich zum wichtigsten Zweig naturwissenschaftsdidaktischer Forschung entwickelt. Beginnend in den 1970er-Jahren wurden Vorstellungen zu vielen Themenbereichen wie Kraft, Energie, oder Evolution erkundet. Seit Mitte der 1980er-Jahre kamen Untersuchungen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten hinzu (*Nature of Science*; Duit und Treagust 2003).

Unter Vorstellungen („conceptions“) werden subjektive gedankliche Konstruktionen verstanden. Analytisch lassen sich Vorstellungen verschiedener Komplexität (Tab. 4.1) unterscheiden: Begriffe („concepts“) sind dabei die einfachsten Vorstellungen. Sie beziehen sich auf Dinge oder Vorgänge oder allgemeine Referenten (Chi et al. 1994) und werden

Tab. 4.1 Deutsche und englische Termini für Vorstellungen unterschiedlicher Komplexität

Vorstellung	„conception“
Weltbild	„world view“
Wissenschaftsphilosophie, Erkenntnistheorie	„philosophy“, „epistemology“
Theorie	„theory“
Denkfigur	„principle“
Konzept, Proposition	„construct“, „proposition“
Begriff	„concept“

durch Wörter oder Termini ausgedrückt. Wird ein Begriff mit einem oder mehreren Begriffen in Beziehung gesetzt, denken wir ein Konzept. Dies lässt sich durch einen Satz oder eine Behauptung, wie beispielsweise Kartoffeln bestehen aus Zellen, aussagen und bezieht sich auf eben diesen Sachverhalt. Eine Denkfigur und eine subjektive Theorie sind Vorstellungen höherer Komplexität (Gropengiesser 2006, S. 13). Dabei ist zu bedenken, dass sich der Bedeutungsgehalt einzelner Begriffe wie Zelle, Energie oder Molekül aus deren jeweiligen Verknüpfungen mit anderen Begriffen ergibt. Begriffe sind Teile eines kognitiven Systems.

Zu Beginn der Vorstellungsforschung wurden die von den aktuell als korrekt geltenden wissenschaftlichen Vorstellungen abweichenden Schülervorstellungen als Fehl- oder Falschvorstellungen („misconceptions“) betrachtet, die zu eliminieren und durch korrekte Vorstellungen zu ersetzen seien. Dieser von vornherein abwertende Blick auf die Schülervorstellungen geriet in den 1980er-Jahren in die Kritik. Waren es doch Vorstellungen und erfahrungsbasierte Erklärungen, mit denen Schüler sich viele natürliche Phänomene verständlich gemacht hatten, die mit einer solchen Bezeichnung missachtet wurden. Zudem sind solche Vorstellungen in alltäglichen und lebensweltlichen Kontexten durchaus angemessen und vernünftig. „Die Sonne geht auf“ passt meistens besser als „Die Erde dreht sich aus ihrem Eigenschatten“. Als neutrale und respektvolle Bezeichnung bietet sich der Terminus alternative Vorstellungen („alternative conceptions“) an (Wandersee et al. 1994, S. 178).

Obwohl die Ergebnisse der Schülervorstellungsforschung vielfältig sind, ist von Wandersee et al. (1994, S. 195) der Versuch unternommen worden, die Ergebnisse in acht Thesen über alternative Vorstellungen von Lernenden der Naturwissenschaften zusammenzufassen:

- These 1: Lernende kommen mit mannigfaltigen alternativen Vorstellungen über natürliche Objekte und Vorgänge in den naturwissenschaftlichen Unterricht.
- These 2: Die alternativen Vorstellungen, mit denen die Lernenden in den naturwissenschaftlichen Unterricht kommen, finden sich in Gruppen jedes Alters, jeder Fähigkeit, jedes Geschlechts und jeder Kultur.
- These 3: Alternative Vorstellungen sind widerständig gegenüber der Auslöschung durch konventionelle Lehrstrategien.

- These 4: Alternative Vorstellungen ähneln oft den Erklärungen, die frühere Generationen von Wissenschaftlern und Philosophen gegeben haben.
- These 5: Alternative Vorstellungen entspringen diversen persönlichen Erfahrungen einschließlich direkter Beobachtung und Wahrnehmung, Kultur und der Sprache von Gleichaltrigen, wie auch den Erklärungen der Lehrperson und des Lehrmaterials.
- These 6: Lehrpersonen verfügen oft über dieselben alternativen Vorstellungen wie ihre Schüler.
- These 7: Das vorunterrichtliche Wissen der Lernenden steht in Wechselwirkung mit dem präsentierten unterrichtlichen Wissen: Dies führt zu diversen unbeabsichtigten Lernergebnissen.
- These 8: Vermittlungsformen, die Vorstellungsänderungen fördern, können effektive unterrichtliche Werkzeuge sein.

Besonders bedeutsam für Lehr- und Lernprozesse sind die allgemeine Verfügbarkeit alternativer Vorstellungen und deren Widerständigkeit gegen Änderung. Dass dies auch Lehrpersonen betrifft erstaunt. Viele dieser Thesen werfen Fragen auf. Einerseits sind dies inhaltspezifische Fragen, z. B.: Über welche Vorstellungen zu bestimmten Inhaltsbereichen verfügen Lernende vor und nach bestimmten Lernangeboten? Andererseits geht es um kausale Fragen, z. B.: Warum sind die Alltagsvorstellungen widerständig gegenüber der Auslöschung durch konventionelle Lehrstrategien? Die Forschungen wurden und werden entsprechend der jeweiligen Fragestellung, aber v. a. im Anschluss an Entwicklungen in den Kognitionswissenschaften unterschiedlich theoretisch gerahmt.

4.2.2 Piagets Stufenmodell der kognitiven Entwicklung

Jean Piaget (1992) befragte (seine) Kinder in verschiedenem Alter über deren Vorstellungen. Allerdings war Piaget kein Fachdidaktiker, vielmehr zielten seine Forschungen auf die Entwicklung der Erkenntnisfähigkeit und Intelligenz im Lebenslauf, d. h. auf eine genetische Epistemologie. Dazu modifizierte er das aus der Psychiatrie entlehnte klinische Interview. Diese Methode wurde in den frühen Jahren der Vorstellungsforschung am häufigsten angewendet (Niebert und Gropengiesser 2014; Wandersee et al. 1994, S. 200).

Die kognitive Entwicklung vom Säuglings- bis zum Jugendalter beschrieb Piaget als aufeinanderfolgende Stufen oder Phasen: sensomotorische, präoperationale, konkret-operationale und formal-operationale Stufe. Die jeweils vorhergehende Stufe ist Voraussetzung der folgenden und wird in diese integriert (Seel und Hanke 2015, S. 356 f). Dieses Stufenmodell diente als theoretischer Rahmen, um die Altersabhängigkeit von Schülervorstellungen zu prüfen. Beispielsweise entwickeln sich im Alter von 5 bis 14 Jahren die Vorstellungen zur Verdunstung von Wasser aus einer Untertasse sequenziell von „Wasser verschwindet“ über „wird absorbiert“, zu „wird überführt“ und „wird verteilt in der Luft“ (Bar und Galili 1994). Wenngleich solche entwicklungsabhängigen Studien sel-

ten geworden sind, wird auch heute noch die Altersabhängigkeit in Untersuchungen zu bereichsübergreifenden Fähigkeiten wie dem naturwissenschaftlichen Denken beachtet (Metz 1995; Scott et al. 2010, S. 33).

Schon Ende der 1970er-Jahre wurde empirisch fundierte Kritik an der starren Einteilung in Stufen oder Phasen vorgetragen. Es zeigte sich, dass formales Denken mit entsprechenden Lernangeboten schon mit deutlich jüngeren Schülern möglich ist, als dies nach der Phaseneinteilung zu erwarten wäre. Somit ist eine generelle altersabhängige Einstufung der Vorstellungen von Lernenden wenig hilfreich. Vielmehr sollten die Lernausgangslagen zum jeweiligen Themenbereich diagnostiziert und Muster der kognitiven Entwicklung beschrieben werden (Driver 1978; Amin et al. 2014).

4.2.3 Die mentalen Modelle der kognitiven Psychologie

Die Forschungen zu themen- und inhaltspezifischen Vorstellungen werden häufig mit dem Rüstzeug der kognitiven Psychologie theoretisch gerahmt. Die kognitive Psychologie postuliert innere, mentale Strukturen und Prozesse als Erklärung für Verhalten (Anderson 1989; Kap. 5). Im Theorierahmen der kognitiven Psychologie wird die Konzeptbildung abstrakt und ohne den Einfluss von sinnlicher Wahrnehmung, mithin entkörperlicht modelliert, d. h. die Rolle des menschlichen Körpers wird weitgehend vernachlässigt. Die Begriffe werden aus den Eigenschaften der externen Realität abgeleitet und es wird angenommen, dass die äußere Realität intern objektiv repräsentiert wird. Bei einer so gestalteten Begriffsbildung entscheiden allein die Attribute des externen Gegenstands über die Zugehörigkeit zu einem Begriff. Objekte sollten dann entweder zu einem Begriff gehören oder aber nicht. Diese Positionen der kognitiven Psychologie und besonders der psychologischen Begriffsbildungsforschung stehen im Widerspruch zu den Untersuchungsergebnissen von Rosch (1975), die prototypische Effekte an Begriffen wie Vogel oder Möbel nachwies. Beispielsweise wird ein Spatz für ein besseres Beispiel des Begriffs Vogel gehalten als ein Pinguin und ein Stuhl ist ein besseres Beispiel für den Begriff Möbel als ein Teppich. Begriffe sind nur in Ausnahmefällen wohldefiniert. Auch die Mehrdeutigkeit des Worts Ladung zeigt, dass es je nach Kontext seine Bedeutung wechselt. Dies passt eher zu der Auffassung, dass Begriffe in konkreten Situationen und deren sinnlicher Wahrnehmung entstehen (Klein 2006).

4.2.4 Vorstellungen aus Sicht des Konstruktivismus

Die Erkenntnistheorie des radikalen Konstruktivismus (von Glasersfeld 1992) und Erkenntnisse der Neurobiologie (Roth 1994) führten zu einem neuen Verständnis der Vorstellungen. Der Konstruktivismus führt die vom Menschen erlebte Wirklichkeit auf die Leistung des Gehirns zurück. Das Gehirn erzeugt aus den Erregungen der Sinneszellen und Gedächtnisleistungen individuelle Wirklichkeit. Die äußere Realität ist nicht zugänglich. Wahrnehmung dient lediglich der Orientierung in der Umwelt, aber nicht der wahr-

ren Erkenntnis der Welt. Die konstruktivistische Naturwissenschaftsdidaktik betont die Subjektivität und Individualität der Vorstellungen und deren kognitiven Charakter. Vorstellungen werden als subjektive gedankliche Prozesse verstanden, die zu einem mentalen Erlebnis führen. Deshalb können Vorstellungen weder weitergegeben noch aufgenommen werden, weil sie keine Stoffe oder Substanzen sind (Riemeier 2007). Durch die starke Fokussierung des radikalen Konstruktivismus auf das Individuum erscheint der Beitrag sozialer Zusammenhänge zur Vorstellungsbildung marginal. Aus didaktischer Perspektive, mit dem Blick auf Unterricht als eine Form des sozialen Lernens, sind individuelle und soziale Aspekte des Lernens gleichermaßen zu beachten (Duit und Treagust 2003). Als gemeinsamen Kern der verschiedenen konstruktivistischen Ansätze identifiziert Duit (1996) vier Annahmen:

- (1) Vorstellungen werden von Menschen auf der Basis ihrer bereits existierenden Vorstellungen aktiv konstruiert.
- (2) Vorstellungen über Ereignisse und Vorgänge in der Welt oder über die Gedanken anderer Menschen haben einen vorläufigen und hypothetischen Charakter.
- (3) Die konstruierten Vorstellungen müssen viabel sein, d. h. sich als brauchbar für diejenigen erweisen, die sie denken.
- (4) Obwohl jedes Individuum seine eigenen Vorstellungen konstruiert, geschieht dies in einem sozialen Kontext.

Mit dieser konstruktivistischen Rahmung werden aus erkenntnistheoretischer Perspektive der Vorstellungsbegriff und die Bedingungen für Veränderungsänderungen umrissen.

4.2.5 Embodied Cognition

Mit Vorstellungen tragen wir Bedeutung und Verständnis an Phänomene heran. Für die Schülervorstellungsforschung ist deshalb eine Theorie angemessen, die das Verstehen erklärt und Verstehensschwierigkeiten voraussagbar macht. Diese Verstehenstheorie (Barsalou 2008; Gropengiesser 2007b; Lakoff und Johnson 1980) erklärt, wie unser kognitives System entsteht (*Embodied Cognition*) und wie dieses funktioniert, beispielsweise um Vorstellungen zur Osmose zu konstruieren („conceptual metaphor theory“).

Wissenschaftliche Texte können ohne Metaphern nicht auskommen. Metaphern finden sich in (fast) jedem Satz. Im Kern geht es bei einer Metapher darum, eine Sache im Sinn einer anderen Sache zu verstehen: Die Struktur eines Quellbereichs wird imaginativ (zumindest teilweise) auf einen Zielbereich projiziert („mapping“), um diesen denken und verstehen zu können (Lakoff und Johnson 1980, S. 230). Erkennbar wird eine Metapher mithilfe der Metaphernanalyse (Schmitt 2003), wenn Wörter oder Redewendungen in einem über die wörtliche Bedeutung hinausgehendem Sinn gebraucht werden. Wenn z. B. von einem Lernweg oder einem Wissenszuwachs gesprochen wird, dann werden der Weg und das Wachstum im übertragenen Sinn verwendet und Lernen wird als gehen und wachsen verstanden (Marsch 2009).

Der Quell- oder Ursprungsbereich einer Metapher ist meist direkt verständlich, d. h. wir haben sofort eine bildliche Vorstellung, wenn wir ein Wort wie Baum oder Fluss hören und damit Stammbaum oder Energiefluss verstehen. Wir haben auch eine direkte Vorstellung von gehen, die teilweise so spürbar wird, als gingen wir gerade. Solche Basisbegriffe sind aus unseren wiederholten Begegnungen und Interaktionen mit der Welt entstanden. Basisbegriffe gründen in Wahrnehmung, Körperbewegung und Erfahrungen mit der natürlichen sozialen und kulturellen Welt. Die Basiskonzepte werden als verkörpert („embodied“) gekennzeichnet, weil deren gedankliche Struktur aus vorgedanklichen körperlichen Erfahrungen erwächst und an diese gebunden bleibt (Lakoff 1990, S. 267 f).

Ein weiterer Quellbereich für Metaphern sind die Schemata („kinesthetic image schemas“; Lakoff 1990, S. 269 f), z. B. Handlung (s. o.), Start-Weg-Ziel, Teil-Ganzes, oben-unten, vorne-hinten oder Mitte-Rand (Johnson 2012; Lakoff 1990, S. 272 f). Wie aus Erfahrung Bedeutung entsteht, soll am Beispiel des Behälterschemas gezeigt werden. In Erfahrungen mit der Nahrungsaufnahme und Ausscheidung oder der Ein- und Ausatmung erleben wir uns selbst als Person mit Grenzen gegenüber der Umwelt. Kleine Kinder legen Gegenstände in Behälter aller Art (Tassen, Töpfe, Kisten, Taschen usw.) und holen sie wieder hervor. In diesen Fällen gibt es eine wiederholbare räumliche und zeitliche Organisation der Situation (Johnson 2012, S. 21). Damit erhält das Behälterschema eine interne Struktur, die aus einer Grenze, dem Innen und dem Außen besteht. Dieses Behälterschema wird z. B. bei der Erklärung des Klimawandels auf die Atmosphäre oder die Vegetation angewendet, die bestimmte Mengen an Kohlenstoff enthalten (Niebert und Gropengiesser 2013).

Verkörperte Schemata und Basisbegriffe bilden die Ursprungsbereiche für die metaphorischen Projektionen auf Zielbereiche (Lakoff 1990, 279 f). Damit sind auch Vorstellungen beispielsweise zur Osmose indirekt erfahrungsbasiert – über imaginative, v. a. metaphorische Projektionen.

4.3 Theoretische Rahmungen zum *Conceptual Change*

Lag der Forschungsfokus in der Naturwissenschaftsdidaktik zunächst auf der *Diagnose* und dem *Verstehen* von Vorstellungen, so rückte zunehmend die Frage nach deren *Veränderung* in den Blick: Auf welche Weise lässt sich eine Veränderung von Vorstellungen initiieren und wie lassen sich geeignete Lernangebote entwickeln? Was kennzeichnet eigentlich einen *Conceptual Change* und durch welche Faktoren wird er beeinflusst?

4.3.1 *Conceptual Change* im Überblick

Trotz jahrzehntelanger Forschung existiert bislang kein Konsens darüber, was eine Vorstellungsänderung kennzeichnet und was genau sich im Verlauf dieses Prozesses verändert (Lin et al. 2016). Dies spiegelt sich auch in den verwendeten Termini wider: Während

Conceptual Change in seiner ursprünglichen Bedeutung den radikalen Wandel einer Vorstellung beschreibt, betonen „conceptual development“ und „conceptual growth“ die Prozesshaftigkeit und Kleinschrittigkeit einer Vorstellungsentwicklung. Die Begriffe „conceptual reorganisation“ bzw. „conceptual reconstruction“ legen den Fokus stärker auf die Situiertheit von Vorstellungen sowie deren aktive Konstruktion durch die Lernenden (vgl. Krüger 2007). Trotz dieser unterschiedlichen Perspektiven wird in der Literatur zu meist *Conceptual Change* als übergreifende Bezeichnung verwendet. Es lassen sich vier Ansätze unterscheiden (Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Theoretische Rahmungen des *Conceptual Change* im Überblick

Theoretische Beschreibung eines <i>Conceptual Change</i>	Quellen
Wechsel der Erkenntnisweise – Konzeptveränderung als Wechsel eines Konzepts – Unterscheidung: Assimilation, Akkommodation	Posner et al. 1982
Veränderung der Seinskategorie – Konzeptentwicklung als Zuweisung eines Konzepts zu einer anderen ontologischen Kategorie (Dinge, Prozesse, mentale Zustände) – Unterscheidung: „individual beliefs“, „mental models“, „categories“	Chi et al. 1994; Chi 2008
Veränderung von Rahmentheorien – Unterscheidung zwischen allgemeinen Rahmentheorien (in sich kohärent, umfassen ontologische und epistemologische Überzeugungen) und inhaltsspezifischen Theorien – Konzeptentwicklung als Anreicherung oder graduelle Revision der entsprechenden Theorie, kombiniert mit einer Reinterpretation des Vorwissens	Vosniadou und Brewer 1987; Vosniadou 2008
„Knowledge in pieces“ – Konzeptentwicklung als Aufbau und Vernetzung von „p-prims“ (kognitive Schemata, bei Novizen isoliert und nicht kohärent) zu „coordination classes“	diSessa 2002
Einflussfaktoren auf einen <i>Conceptual Change</i>	
Einfluss affektiver Faktoren auf die Konzeptentwicklung – Kritik an „cold cognition perspective“ – Einfluss von Motivation, Interesse etc.	Pintrich et al. 1993; Sinatra und Pintrich 2003
Kontextabhängigkeit von Vorstellungen – Vorstellungen sind in kognitive, situative und linguistische Kontexte eingebettet	Carravita und Halldén 1994; Halldén 1999
Einfluss epistemologischer Faktoren auf Konzeptentwicklung – Metakonzeptuelles Wissen als Einflussfaktor – Vorstellungen über die Natur des Wissens sowie der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung prägen die Bereitschaft zur Veränderung von Vorstellungen	Qian und Alvermann 1995; Vosniadou und Ionides 1998; Chi 2008
Einfluss der Argumentationsfähigkeit sowie der Fähigkeit zum logischen Denken – Voraussetzungen für das Erkennen kognitiver Konflikte	Limón 2001; Kang et al. 2004

Tab. 4.2 (Fortsetzung)

Initiierung von Konzeptentwicklungen	
Konzeptwechsel durch kognitiven Konflikt – Bedingungen: Unzufriedenheit, Verständlichkeit; Plausibilität, Fruchtbarkeit	Posner et al. 1982
Konzeptentwicklung durch Auseinandersetzung mit divergierenden Standpunkten – Soziokonstruktivistischer Ansatz/Soziokognitiver Konflikt	Vygotsky 1978
Konzeptentwicklung durch Reflexion der verkörperten Schemata – Schemata erwachsen aus Erfahrungen mit dem eigenen Körper, der sozialen und physischen Umwelt – Verkörperte Schemata werden vom Ursprungsbereich auf abstrakte Zielbereiche übertragen – Strategie: Reflexion und gegebenenfalls Erweiterung oder Veränderung der Schemata	Niebert et al. 2012, 2013; Niebert und Gropengiesser 2015
Konzeptentwicklung durch (sozio-)kognitive Konflikte und kollaborative Argumentation („choice ² learn“) – Veränderung „elementarer“ Vorstellungen durch Auseinandersetzung mit anomalen Daten und divergierenden Standpunkten – Gemeinsames Schlussfolgern und Bewerten von Evidenzen – Metareflexion des Vorgehens mit Bezug zur <i>Nature of Science</i>	Marohn 2008a; Egbers 2017
Entwicklung von Lernangeboten	
Didaktische Rekonstruktion – Didaktische Strukturierung durch wechselseitigen Bezug auf fachliche Klärung und Erfassung der Lernerperspektive	Kattmann et al. 1997

Posner et al. (1982) beschreiben in ihrem grundlegenden Beitrag auf Basis der Arbeiten von Piaget (1926) und Kuhn (1976) die Veränderung einer Vorstellung als einen nicht linearen, sondern in größeren Schritten verlaufenden Prozess, der in einem vollständigen Wechsel der Vorstellung resultiert. Ausgelöst wird dieser Prozess durch einen kognitiven Konflikt, d. h. die Konfrontation mit Informationen, die der Erwartung des Individuums widersprechen. Als Bedingungen für einen erfolgreichen Wechsel gelten die Unzufriedenheit mit dem bestehenden Konzept sowie die Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit des neuen.

Chi et al. (1994; Chi 2008) gehen davon aus, dass sich im Verlauf der kognitiven Entwicklung eines Menschen drei ontologische Kategorien ausbilden, in denen Denkkonzepte gespeichert werden können: *Dinge*, *Prozesse* und *mentale Zustände*. Schilervorstellungen entstehen hier durch falsche Zuordnung (z. B. Zuordnung des Konzepts *Wärme* zur Kategorie *Dinge* statt *Prozesse*). Eine Konzeptentwicklung bedeutet demnach die Zuordnung eines Konzepts zu einer anderen ontologischen Kategorie. Der kognitive Konflikt eignet sich dabei nur bedingt als Strategie. Den Lernenden müssen vielmehr die Existenz dieser Kategorien sowie die eigenen Zuordnungen bewusst werden, um Vorstellungsänderungen erzielen zu können.

Vosniadou (2008) nimmt an, dass Denkkonzepte stets in theoretische Strukturen eingebettet sind. Dabei unterscheidet sie zwischen allgemeinen Rahmentheorien und inhaltspezifischen Theorien. Erste umfassen ein relativ kohärentes Gerüst von ontologischen und epistemologischen Überzeugungen, das sich schon in der Kindheit durch Beobachtung und Deutung der Lebenswelt entwickelt. Neue Informationen werden vor dem Hintergrund dieser Überzeugungen interpretiert. Konzeptentwicklungen lassen sich als Anreicherung oder graduelle Revision einer Theorie deuten, wobei sich die Veränderung von allgemeinen Rahmentheorien aufgrund der über Jahre geprägten epistemologischen Vorstellungen als besonders schwierig erweist.

DiSessa (1993, 2002) beschreibt im Gegensatz zu Vosniadou das Wissen von Kindern als inkohärente Bruchstücke, sog. „phänomenological primitives“ (p-prims). Diese beruhen auf alltäglichen Erfahrungen und benötigen keine Erklärungen, wie z. B. die Erkenntnis, dass eine größere Anstrengung zu einem größeren Erfolg führt – etwa, wenn man einen schweren Stein anschieben möchte. Zumeist sind diese p-prims wenig miteinander vernetzt, sodass sie in einigen Kontexten abrufbar sind, in anderen dagegen nicht. Bei Experten sind die Wissens Elemente stärker vernetzt und bilden sog. „coordination classes“ („a model of a certain type of scientific concept“; diSessa 2002, S. 43). Eine Konzeptentwicklung bedeutet in diesem Sinn, dass neue *p-prims* aufgebaut oder miteinander vernetzt werden, sodass komplexere Strukturen entstehen.

4.3.2 Einflussfaktoren auf einen *Conceptual Change*

In den Anfängen der *Conceptual-Change*-Forschung verstand man einen Konzeptwechsel als Prozess, der allein durch kognitive Faktoren beeinflusst wird. Pintrich et al. (1993) kritisieren diese *Cold-Cognition*-Perspektive und betonen die Bedeutung affektiver Faktoren wie etwa Interesse, Intentionen oder (Selbstwirksamkeits-)Erwartungen (vgl. Tab. 4.2). Caravita und Halldén (1994) argumentieren, dass Vorstellungen nicht nur in kognitive, sondern auch situative und linguistische Kontexte eingebettet sind und unterscheiden explizit zwischen Alltagskontext und wissenschaftlichem Kontext (Kap. 12). Die Vorstellung, dass Salz beim Lösen in Wasser scheinbar verschwindet, bildet z. B. für Kinder eine naheliegende Alltagsvorstellung; im wissenschaftlichen Kontext würde man dagegen von einer Hydratisierung von Ionen sprechen (Marohn 2008b; Rott und Marohn 2016). Auch die aktuelle Motivation der Lernenden kann sich auf den Erfolg von Vorstellungsänderungen auswirken; diese umfasst Aspekte wie Interesse, Herausforderung, Misserfolgsbefürchtung und Erfolgserwartung (Rheinberg et al. 2001). Zudem kann sich bei kooperativen Prozessen auch die Zusammensetzung der Gruppe (konfligierende oder einheitliche Vorstellungen) auf den Verlauf von Vorstellungsveränderungen auswirken (Egbers 2017).

Neben affektiven Faktoren rücken zunehmend epistemologische Überzeugungen und metakonzeptuelles Wissen bezüglich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung

in den Blick (z. B. Qian und Alvermann 1995; Vosniadou und Ioannides 1998). Wer z. B. das Wissen als objektiv und absolut betrachtet, ist weniger gewillt, eigene Konzepte zu verändern. Weitere Voraussetzungen für erfolgreiche Vorstellungsentwicklungen bilden die Fähigkeit zum logischen Denken (Kang et al. 2004) sowie Argumentationsfähigkeiten (Limón 2001). Beide gelten als notwendige Bedingungen, um kognitive Konflikte zu erkennen und Schlussfolgerungen daraus abzuleiten.

4.3.3 Initiierung eines *Conceptual Change*

Der auf Posner et al. (1982) zurückgehende Ansatz des kognitiven Konflikts bildet auch heute noch eine zentrale Strategie, um Vorstellungsänderungen zu initiieren (Lin et al. 2016). Der Level des kognitiven Konflikts darf dabei von den Lernenden weder als zu hoch noch als zu niedrig erfahren werden, damit sich dieser tatsächlich als lernwirksam erweist (Lee und Byun 2012). Eine Möglichkeit, einen kognitiven Konflikt auszulösen, bildet die Konfrontation mit anomalen Daten, also die Auseinandersetzung mit Phänomenen oder Informationen, die den Erwartungen der Lernenden widersprechen (Chan 2001). Doch nicht immer führt diese Konfrontation zu einer Veränderung von Vorstellungen. Nach Chinn und Brewer (1993) ist es ebenso möglich, dass der Lernende die unerwarteten Daten ignoriert, sie zurückweist, sie uminterpretiert, oder die Konfliktlösung einfach aufschiebt. Um einzuschätzen, ob Lernende tatsächlich von einer neuen Vorstellung überzeugt sind, kann das Konstrukt des Stützungslevels (Egbers 2017) hilfreich sein: Ein Schüler, der am Ende des Lernprozesses eine veränderte Vorstellung formuliert, diese inhaltlich stützt und alternative Vorstellungen begründet ausschließt, ist vermutlich stärker von seiner Vorstellung überzeugt als ein Schüler, der diese lediglich verbalisiert, ohne sie zu begründen.

Der Ansatz des kognitiven Konflikts wurde auf Basis der Arbeiten von Vygotsky (1978) durch den soziokognitiven Konflikt erweitert, d. h. durch die Auseinandersetzung mit divergierenden Standpunkten in einer Gruppe (Chan 2001). Die Lernenden werden sich eigener Vorstellungen bewusst und müssen gleichzeitig die der anderen überdenken, um neues Wissen zu konstruieren: „The individual develops conceptual understanding via the social sharing of meanings and intellectual debate“ (Dennick 2016, S. 202).

Lin et al. (2016) zeigen in ihrer Analyse von 116 Studien auf, dass sich neben dem kognitiven Konflikt das kooperative Lernen als zentrale Strategie zur Initiierung von Vorstellungsentwicklungen erwiesen hat. Marohn (2008a) und Egbers (2017) belegen, dass dabei der kollaborativen Argumentation eine besondere Bedeutung zukommt. Diese wird in Anlehnung an Andriessen (2006) als ein Gespräch definiert, das auf Basis von Evidenzen und sozialer Zusammenarbeit erfolgt und die gemeinsame Lösung einer Frage anstrebt. Einen wesentlichen Hinweis auf Kollaboration bildet z. B. das Kokonstruieren von Argumenten (Chan 2001).

Niebert et al. (2013) initiieren Konzeptentwicklungen ausgehend von der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und der kognitiven Linguistik (Lakoff und Johnson 1999;

Gropengiesser 2007b) durch Reflexion der verkörperten Schemata. Eine Veränderung von Vorstellungen erfordert eine Reflexion der zugrunde liegenden verkörperten Schemata sowie gegebenenfalls eine Erweiterung oder Veränderung des jeweiligen Schemas (Niebert und Gropengiesser 2015).

Widodo und Duit (2005) identifizieren anhand von Publikationen zu konstruktivistisch orientierten Lehr-Lern-Sequenzen, die das Ziel einer Vorstellungsänderung verfolgen, fünf typische Phasen: Die Orientierung, das Erkunden von Schülervorstellungen, die Umstrukturierung von Schülervorstellungen, die Anwendung sowie das Überprüfen und Bewerten der veränderten Vorstellungen.

4.4 Anwendung der Rahmungen

Björn Andersson (1986) war wohl der erste Naturwissenschaftsdidaktiker, der *Embodied Cognition* zur Analyse von Ergebnissen der Schülervorstellungsforschung nutzte. Er identifizierte die Gestalt der Verursachung als gemeinsamen Kern im Denken von Schülern zu so unterschiedlichen Themen wie Siedepunkt, elektrischer Stromkreis oder Sehen. Neuere Arbeiten verwenden die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (TeV) für eine Reihe von unterschiedlichen Fragen (Gropengiesser 2010). In einer kognitionslinguistischen Analyse von konventionellen Wörtern und Ausdrücken zum Thema Sehen konnten lebensweltliche Vorstellungen erschlossen werden (Dannemann 2015; Gropengiesser 2007a). Die konventionelle Sprache wie auch die Sprache in schriftlichen Befragungen sagt etwas über die Vorstellungen zum Lehren und Lernen (Alger 2009; Gropengiesser 2004; Marsch 2009; Martínez et al. 2001). Das Denken der Schüler kann aus der Perspektive der TeV verständlich gemacht und erklärt werden (Amin 2015; Gropengiesser 2006, 2007b;). Eine wachsende Zahl von Publikationen nutzt die TeV als theoretische Rahmung (Niebert et al. 2012; Lancor 2013; Weitzel und Gropengiesser 2009).

Mit der TeV kann auch begründet werden, warum es so schwierig ist, molekulare chemische Reaktionen, die Zelltheorie (Riemeier und Gropengiesser 2008) oder die Relativitätstheorie (Amin et al. 2012) zu verstehen – es sind Inhaltsbereiche, die lebensweltlich nicht erfahrbar sind und uns in diesem Sinn als abstrakt entgegentreten. Systematisch fassen lassen sich die lebensweltlich erfahrungsbasierten Inhaltsbereiche mit einer von Gerhard Vollmer (1984) vorgeschlagenen Einteilung der realen Welt in Mikrokosmos, Mesokosmos und Makrokosmos. Der Mesokosmos ist dabei die Welt der mittleren Dimensionen von der Haaresbreite bis zum Horizont, von federleicht bis elefantenschwer, vom Nu bis zur Lebensspanne. Es ist auch die Welt an die unser Wahrnehmungssystem angepasst ist, in der wir Erfahrungen gemacht haben, die unser kognitives System geformt haben. Alles, was kleiner ist, gehört dem Mikrokosmos an, alles was größer ist, dem Makrokosmos. Erfahrungen als Grundlage für die Vorstellungsbildung sind dort meist nur mit technischen Geräten im wissenschaftlichen Einsatz möglich. Ein weiterer Bereich aus dem Mesokosmos, in dem üblicherweise kaum Erfahrungen gemacht werden, ist das Innere von Menschen und Tieren (Niebert und Gropengiesser 2015). Für alle Inhaltsbereiche,

die lebensweltlich nicht erfahrbar sind, lassen sich mit der TeV Verstehensschwierigkeiten voraussagen.

Ein Beispiel für eine Studie, die verschiedene Einflussfaktoren auf einen *Conceptual Change* in wechselseitige Beziehung setzt, bildet das Projekt „Analyse von Konzeptentwicklungen und Gesprächsprozessen im Rahmen der Unterrichtskonzeption *choice²learn*“ (Egbers 2017; Egbers und Marohn 2014). „Choice²learn“ initiiert Vorstellungsentwicklungen auf Basis von drei Prinzipien: der Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Vorstellungen in einer Gruppe; der Konfrontation mit anomalen Daten in Form von Lernimpulsen; dem kollaborativen Argumentieren (Marohn 2008a; Marohn und Egbers 2011; Egbers et al. 2015). Im Rahmen des Fallstudiendesigns nach Yin (2013) wurden u. a. Zusammenhänge zwischen Vorstellungsentwicklungen, anomalen Daten und kollaborativer Argumentation analysiert. Dabei zeigte sich z. B., dass Schülergruppen, die sich häufiger als andere mit anomalen Daten konfrontiert sehen, tiefer gehende Gespräche (Wells 1999) führen; diese Gespräche resultieren jedoch nicht automatisch in einer erfolgreichen Konzeptentwicklung, sondern können auch zur Uminterpretation der Daten genutzt werden. Eine tief gehende Diskussion stellt somit kein Indiz für eine Vorstellungsveränderung dar. Als wesentliche Faktoren für eine erfolgreiche Vorstellungsentwicklung wurden dagegen Kokonstruktionen und ein interpretativer Gesprächsstil identifiziert.

4.5 Ausblick

Trotz der vielen Studien zum *Conceptual Change* bleiben wichtige Fragen offen, z. B.: Auf welche Weise können die verschiedenen theoretischen Perspektiven konstruktiv zusammengeführt werden? Wie verlaufen Lernprozesse oder Lernpfade, die zu den großen Ideen des Fachs und der Naturwissenschaften führen? Wie können die *Conceptual-Change*-Ansätze erfolgreich in der Unterrichtspraxis implementiert werden? Die Fragen weisen auf Herausforderungen für weiterführende Forschung hin, in der es darum gehen wird, unterrichtliche Strategien zum Aufbau fachlich angemessener Vorstellungen zu finden bzw. zu klären, unter welchen Bedingungen ein entsprechender Lernprozess gelingen kann.

4.6 Literatur zur Vertiefung

Amin, T. G., Smith, C., L., & Wisner, M. (2014). Student conceptions and conceptual change. In N.G. Lederman, & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Vol. 2* (S. 57–77). New York, Oxon: Routledge.

Dieses Buchkapitel beschreibt den Fortschritt im Verständnis von Schilervorstellungen und deren Änderungen und zeigt die daraus erwachsenden Herausforderungen für effektiveren Unterricht.

Duit, R. H., & Treagust, D. F. (2012). Conceptual Change: Still a Powerful Framework for Improving the Practice of Science Instruction. In K. C. D. Tan, & M. Kim (Hrsg.), *Issues and Challenges in Science Education Research: Moving Forward* (S. 43–54). Springer Netherlands.

Der Beitrag formuliert auf Basis der aktuellen Forschungslage Herausforderungen für die Zukunft der *Conceptual-Change*-Forschung.

Lin, J.-W., Yen, M.-H., Liang, J.-C., Chiu, M.-H., & Guo, C.-J. (2016). Examining the Factors That Influence Students' Science Learning Processes and Their Learning Outcomes: 30 Years of Conceptual Change Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2617–2646.

Der Beitrag bildet eine Metaanalyse von 116 empirischen Studien zum *Conceptual Change* und bietet einen Überblick über instruktionale Ansätze und Einflussfaktoren.

Literatur

- Alger, C. L. (2009). Secondary teachers' conceptual metaphors of teaching and learning: changes over the career span. *Teaching and Teacher Education*, 25(5), 743–751.
- Amin, T. G. (2015). Conceptual metaphor and the study of conceptual change: research synthesis and future directions. *International Journal of Science Education*, 37(5–6), 966–991.
- Amin, T. G., Jeppsson, F., Haglund, J., & Strömdahl, H. (2012). Arrow of time: metaphorical construals of entropy and the second law of thermodynamics. *Science Education*, 96(5), 818–848.
- Amin, T. G., Smith, C. L., & Wisner, M. (2014). Student conceptions and conceptual change. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (Bd. 2, S. 57–81). New York: Routledge.
- Anderson, J. R. (1989). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155–171.
- Andriessen, J. (2006). Arguing to learn. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (S. 443–459). New York: Cambridge University Press. Zugriff am 10.01.2017 unter http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/30943/Andriessen_06_arguing.pdf?sequence=1.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157–174.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- Caravita, S., & Halldén, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 89–111.
- Chan, C. K. K. (2001). Peer collaboration and discourse patterns in learning from incompatible information. *Instructional Science*, 29, 443–479.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Hrsg.), *Handbook of research on conceptual change* (S. 61–82). Hillsdale: Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27–43.

- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1–49.
- Dannemann, S. (2015). Schülervorstellungen zur visuellen Wahrnehmung – Entwicklung und Evaluation eines Diagnoseinstruments. In M. Komorek & B. Moschner (Hrsg.), *BzDR Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion* Bd. 46. Oldenburg: Schneider Verlag Hohengehren.
- Dennick, R. (2016). Constructivism: reflections on twenty five years teaching the constructivist approach in medical education. *International Journal of Medical Education*, 7, 200–205.
- Diesterweg, A. (1850). *Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer*. Bd. 1. Essen: Bädeker.
- diSessa, A. A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2, 3), 105–225.
- diSessa, A. A. (2002). Why „conceptual ecology“ is a good idea. In M. Limón & L. Mason (Hrsg.), *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice* (S. 28–60). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Driver, R. (1978). When is a stage not a stage? A critique of Piaget’s theory of cognitive development and its application to science education. *Educational Research*, 21(1), 54–61.
- Duit, R. (1996). The constructivist view in science education. What it has to offer and what should not be expected from it. *Investigações em ensino de ciências*, 1(1), 40–75.
- Duit, R. (2009). *Bibliography STCSE – teachers’ and students’ conceptions and science education*. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science and Mathematics Education. Zugriff am 10.10.2017 unter: <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>
- Duit, R. H., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
- Egbers, M. (2017). Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice²learn“. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften – verstehen und entwickeln* Bd. 1. Münster: Logos.
- Egbers, M., & Marohn, A. (2014). Schülervorstellungen verändern – Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice²learn“. In B. Ralle, S. Prediger, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen. Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung* (S. 120–127). Münster: Waxmann.
- Egbers, M., Wischerath, K., & Marohn, A. (2015). Lernen über Nature of Science im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice²learn“. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 64(6), 23–29.
- Gibbs, R. W. (Hrsg.). (2008). *The cambridge handbook of metaphor and thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- von Glasersfeld, E. (1992). *Wissen, Sprache und Wirklichkeit*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Gropengiesser, H. (2004). Denkfiguren zum Lehr-Lernprozess. Metaphernanalyse nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In H. Gropengiesser, A. Janßen-Bartels & E. Sander (Hrsg.), *Lehren fürs Leben* (S. 8–24). Köln: Aulis.
- Gropengiesser, H. (2006). Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. In U. Kattmann (Hrsg.), *BzDR Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion* Bd. 4. Oldenburg: Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Universität.
- Gropengiesser, H. (2007a). Didaktische Rekonstruktion des „Sehens“. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. In U. Kattmann (Hrsg.), *BzDR Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion* Bd. 1. Oldenburg: Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Universität.
- Gropengiesser, H. (2007b). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105–116). Heidelberg: Springer.

- Gropengiesser, H. (2010). Biologie unterrichten. In *Markl Biologie Oberstufe, Lehrerbuch* (S. 5–82). Stuttgart, Leipzig: Klett.
- Halldén, O. (1999). Conceptual change and contextualization. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Hrsg.), *New perspectives on conceptual change* (S. 53–65). Oxford: Elsevier.
- Johnson, M. (2012). *The body in the mind: The bodily basis of meaning, imagination, and reason*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93–104). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. (2004). Reexamining the role of cognitive conflict in science concept learning. *Research in Science Education*, 34(1), 71–96.
- Klein, P. D. (2006). The challenges of scientific literacy: from the viewpoint of second-generation cognitive science. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 143–178.
- Krüger, D. (2007). Die conceptual change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Krüger, D., & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 133–145). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuhn, T. S. (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Lakoff, G. (1990). *Women, fire, and dangerous things: what categories reveal about the mind*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: the embodied mind and its challenge to western thought*. New York: Basic Books.
- Lancor, R.A. (2014). Using Student-Generated Analogies to Investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study, *International Journal of Science Education*, 36(1), 1–23.
- Lee, G., & Byun, T. (2012). An explanation of the difficulty of leading conceptual change using a counterintuitive demonstration: the relationship between cognitive conflict and responses. *Research in Science Education*, 42, 943–965.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11(4), 357–380.
- Lin, J. W., Yen, M. H., Liang, J. C., Chiu, M. H., & Guo, C. J. (2016). Examining the factors that influence students' science learning processes and their learning outcomes: 30 years of conceptual change research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2617–2646.
- Marohn, A. (2008a). „choice2learn“ – eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernvorstellungen im Naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 57–83.
- Marohn, A. (2008b). Schülervorstellungen zum Lösen und Sieden – Auf der Suche nach ‚elementaren‘ Vorstellungen. *Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 61(8), 451–457.
- Marohn, A., & Egbers, M. (2011). Vorstellungen verändern – Lernmaterialien zum Thema „Verdampfen“ im Rahmen der Unterrichtskonzeption choice2learn. *Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule*, 60(3), 5–9.
- Marsch, S. (2009). *Metaphern des Lehrens und Lernens: vom Denken, Reden und Handeln bei Biologielehrern*. Berlin: Freie Universität Berlin. Veröffentlichte Dissertation
- Martínez, M. A., Sauleda, N., & Huber, G. L. (2001). Metaphors as blueprints of thinking about teaching and learning. *Teaching and Teacher Education*, 17(8), 965–977.

- Metz, K. E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65(2), 93–127.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2013). Understanding and communicating climate change in metaphors. *Environmental Education Research*, 19(3), 282–302.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2014). Understanding the greenhouse effect by embodiment – analysing and using students' and scientists' conceptual resources. *International Journal of Science Education*, 36(2), 277–303.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2015). Understanding starts in the mesocosm: conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching. *International Journal of Science Education*, 37(5–6), 903–933. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025310>.
- Niebert, K., Marsch, S., & Treagust, D. F. (2012). Understanding needs embodiment: a theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849–877.
- Niebert, K., Riemeier, T., & Gropengiesser, H. (2013). The hidden hand that shapes conceptual understanding. Choosing effective representations for teaching cell division and climate change. In C.-Y. Tsui & D. Treagust (eds.), *Multiple representations in biological education*. New York: Springer.
- Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45–61.
- Ogden, C. K., & Richards, I. A. (1923). *The meaning of meaning*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Piaget, J. (1992). *Das Weltbild des Kindes*. München: Klett-Cotta, dtv. (Originalwerk veröffentlicht 1926)
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Qian, G., & Alvermann, D. (1995). Role of epistemological beliefs and learned helplessness in secondary school students' learning science concepts from text. *Journal of Educational Psychology*, 87, 282–292.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47, 57–66.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung* (S. 69–79). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Riemeier, T., & Gropengiesser, H. (2008). On the roots of difficulties in learning about cell division: process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education*, 30(7), 923–939.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 192–233.
- Roth, G. (1994). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Rott, L., & Marohn, A. (2016). Inklusiven Unterricht entwickeln und erproben – Eine Verbindung von Theorie und Praxis im Rahmen von Design-Based Research. *Zeitschrift für Inklusion*. <http://www.inklusion-online.net/index.php/inklusion-online/article/view/325/277>. Zugegriffen: 10. Jan. 2017.
- Schellwald, M. (2015). *Wie erklären Schülerinnen und Schüler Diffusionsphänomene?* Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Leibniz Universität Hannover, Hannover.

- Schmitt, R. (2003). Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung*. <https://doi.org/10.17169/fqs-4.2.714>.
- Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2010). Student conceptions and conceptual learning in science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 31–56). New York: Routledge.
- Seel, N. M., & Hanke, U. (2015). *Erziehungswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sinatra, G.M., & Pintrich, P.R. (2003). *Intentional conceptual change*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Vollmer, G. (1984). Mesocosm and objective knowledge. In F. Wuketits (Hrsg.), *Concepts and approaches in evolutionary epistemology* (S. 69–121). Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: an introduction. In S. Vosniadou (Hrsg.), *International handbook of research on conceptual change* (S. xiii–xxviii). New York: Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1987). Theories of knowledge restructuring development. *Review of Educational Research*, 57(1), 51–67.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213–1230.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions. In D. Gabel (Hrsg.), *Handbook of research on science teaching and learning* (S. 177–210). New York: Macmillan.
- Weitzel, H., & Gropengiesser, H. (2009). Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 285–303.
- Wells, G. (1999). *Dialogic inquiry: towards a sociocultural theory and practice of education*. New York: Cambridge University Press.
- Widodo, A., & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 131–146.
- Yin, R. K. (2013). Case study research. Design and methods. In L. Bickman & D. J. Rog (Hrsg.), *Applied social research methods series* 5. Aufl. Bd. 5. London, Thousand Oaks, New Dehli, Singapore: SAGE.