

## Naturwissenschaftliches Denken mit Kindern?

Zur Diskussion um die Möglichkeit, Kinder im Elementar- und Primarbereich an naturwissenschaftliches Denken heranzuführen

Die Frage, inwieweit es möglich und sinnvoll ist, Kinder im Elementar- und Primarbereich an naturwissenschaftliches Denken heranzuführen, wird gegenwärtig unterschiedlich beantwortet. Die Antwort hängt davon ab, wie einerseits naturwissenschaftliches Denken gefasst wird und wie andererseits die heterogenen empirischen Befunde zum Denken von Kindern im jeweiligen Alter interpretiert werden. Grundidee dieses Beitrags ist, dass ein der Praxis neuzeitlicher Naturwissenschaft angemessenes Verständnis naturwissenschaftlichen Denkens nur unter Rekurs auf die Wissenschaftsforschung, also auf die Resultate der Wissenschaftsphilosophie (Hacking, 1996 [1983]), -geschichte (Gooding, 1990; Hentschel, 1998; Rheinberger, 2006; Steinle, 2005) und -soziologie (Latour, 2002), gewonnen werden kann. Meine These lautet, dass in vielen gegenwärtigen Versuchen, naturwissenschaftliches Denken für die Zwecke der Elementarpädagogik und der Sachunterrichtsdidaktik zu fassen, naturwissenschaftliches Denken in einer Weise gefasst wird, die vor dem Hintergrund der Ergebnisse der jüngeren Wissenschaftsforschung als inadäquat zu bewerten ist. Entsprechend können aus meiner Sicht auch weder die bejahenden noch die verneinenden Antworten auf die Frage, ob Kinder im Elementar- und Primarbereich naturwissenschaftliche Denken können, überzeugen, sofern sie auf ein solches inadäquates Verständnis rekurrieren.

Im Folgenden stelle ich zunächst einige prominente Beispiele dafür vor, wie naturwissenschaftliches Denken in der Elementarpädagogik und der Sachunterrichtsdidaktik gegenwärtig gefasst wird. Dann erläutere ich den Forschungsstand der jüngeren Wissenschaftsforschung zur Frage, wie naturwissenschaftliches Denken gefasst wird.

In einem dritten Teil erläutere ich, inwieweit dieser Forschungsstand in der Pädagogik und Didaktik bisher adaptiert wurde. Im vierten Teil diskutiere ich, inwiefern die im ersten Teil aufgeführten Beispiele vor dem Hintergrund der Ausführungen aus dem zweiten Teil zur Wissenschaftsforschung inadäquat sind. Auch der bestehende Vorschlag von Pech und Rauterberg (2013), auf Wissenschaftsorientierung im Sachunterricht gänzlich zu verzichten, wird vor dem Hintergrund der Wissenschaftsforschung diskutiert. Schließlich wird auf ein Desiderat und mögliche Formen der Bearbeitung und die sich daraus ergebenden Konsequenzen hingewiesen.

### 1. Zum naturwissenschaftlichen Denken in der Elementarpädagogik und der Sachunterrichtsdidaktik

Unter den Vertreterinnen und Vertretern der Sachunterrichtsdidaktik, die die Frage nach der Möglichkeit naturwissenschaftlichen Denkens von Kindern für die Primarstufe positiv beantworten, orientieren sich im Hinblick auf konzeptionelle Überlegungen zur naturwissenschaftlichen Bildung viele an der angelsächsischen Diskussion über „science education“. Dies zeigt sich insbesondere in der Orientierung am Konzept der „scientific literacy“ (Haider, 2015, S. 124; Lange & Everhardy, 2014, S. 36; Möller, Kleickmann, & Sodian, 2014, S. 528; Steffensky, 2015, S. 128). Möller, Kleickmann und Sodian (2014) schließen dabei an die Variante an, die in der deutschen IGLU-E-Studie (Prenzel, Geiser, Langeheine, & Lobemeier, 2003) zugrunde gelegt wurde. Danach umfasst „scientific literacy“

- die Kenntnis naturwissenschaftlicher Begriffe und Prinzipien
- die Beherrschung naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden und Denkweisen
- Wissen über Besonderheiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung
- Wissen über Beziehungen zwischen Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft (ebd., S. 147; vgl. Möller, Kleickmann & Sodian, 2014, S. 528).

Bei Prenzel et al. (2003) wird erwähnt, dass in einem weiteren Verständnis auch

- Interesse und Bereitschaft, sich mit Naturwissenschaft auseinanderzusetzen und
- Wertorientierungen, Einstellungen und Überzeugungen

beinhaltet sind. Möller, Kleickmann und Sodian (2014, S. 528) nehmen den ersten Aspekt in ihrer Interpretation hinzu, lassen das Wissen über Beziehungen zwischen Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft weg und fassen ihr Konzept zu drei Bereichen zusammen, indem sie die Beherrschung naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden und Denkweisen und das Wissen über Besonderheiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als Wissen über Naturwissenschaften zusammenfassen. Damit unterscheiden sie drei Elemente, die eine am Konzept der „scientific literacy“ orientierte naturwissenschaftliche Grundbildung beinhalten sollte:

- Naturwissenschaftliches Wissen
- Wissen über Naturwissenschaften
- Motivationale Orientierungen.

Zu den motivationalen Orientierungen werden „das Interesse am Nachdenken über Naturphänomene und das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, etwas herauszufinden und verstehen zu können“ (ebd., 528), gerechnet. Ein Element des Wissens über Naturwissenschaften ist ihnen zufolge die „Einsicht in den Prozess der Konstruktion naturwissenschaftlichen Wissens“ (Möller et al., 2014, S. 529). Diesen Prozess interpretieren sie so, dass dazu „das Entwickeln von Theorien, die Ableitung und Prüfung von Hypothesen, die Interpretation von Daten und die Revision und Weiterentwicklung von Theorien“ (ebd.) gehören. Im Hinblick auf Kinder in der Grundschule leiten sie daraus ab, Kinder sollten lernen, „Fragen zu stellen, begründete Vermutungen aufzustellen, die Notwendigkeit der Überprüfung von Vermutungen einzusehen, zwischen Evidenz und Annahmen zu unterscheiden, einfache Forschungen zu planen und durchzuführen, Vermutungen mit Evidenzen argumentativ zu stützen bzw. aufgrund von Überprüfungen zu revidieren und sich über ihre Untersuchungen und Erklärungen auszutauschen“ (ebd.). Die Fähigkeit, Theorien und Modelle aufzustellen, ist in dieser Zielbestimmung zunächst nicht enthalten. Dennoch übernehmen sie als Spezifizierung der in diesen Lernzielen enthaltenen Arbeitsweisen eine Charakterisierung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen, die Duit, Gropengießer und Stäudel (2004) im Hinblick auf den Sekundarbereich vorgenommen haben und die das Beobachten und Messen, Vergleichen und Ordnen, Erkunden und Experimentieren, Vermuten und Prüfen, Diskutieren und Interpretieren, Modellieren und Mathematisieren, Recherchieren und Kommunizieren, umfasst.

Für die Gestaltung von Bildungsprozessen wird für die Förderung naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens häufig ein Vorgehen im Sinne von „scientific inquiry“ vorgeschlagen. Entsprechend werden im dreibändigen von Kornelia Möller herausgegebenen „Spiralcurriculum Magnetismus: Naturwissenschaftlich arbeiten und denken lernen“ folgende zwölf Arbeits- und Denkweisen unterschieden: 1. Fragen stellen, 2. Vermutungen / Hypothesen bilden, 3. Begründen und Argumentieren, 4. eine Untersuchung planen, 5. einen Versuch / ein Experiment aufbauen / durchführen, 6. Beobachten, 7. Messen, 8. Dokumentieren / Protokollieren / Daten aufbereiten, 9. Ordnen / Vergleichen / Systematisieren, 10. Interpretieren / Schlussfolgern / Generalisieren, 11. Modellieren und 12. Arbeitsprozesse und -ergebnisse bewerten (Möller, Bohrmann, Hirschmann, Wilke & Wyssen, 2013, S. 22). Im Projekt „prima(r)forscher“ soll die naturwissenschaftliche Methode für Kinder in Form eines „Forschungskreislaufes“ sichtbar werden. Dieser beinhaltet: 1. Fragestellung, 2. Ideen / Vermutungen, 3. Versuch / Durchführung, 4. Teamarbeit, 5. genau beobachten, 6. alles aufschreiben, 7. Ergebnisse festhalten und 8. Ergebnisse erörtern (Marquart-Mau, 2011, S. 37). Und im Projekt „Haus der kleinen Forscher“, das sich an den Elementar- und den Primarbereich wendet, wird die Orientierung an einem Forschungskreis vorgeschlagen, der aus den folgenden Elementen besteht: 1. Frage an die Natur stellen, 2. Ideen und Vermutungen sammeln, 3. Ausprobieren und Versuch durchführen, 4. Beobachten und Beschreiben, 5. Ergebnisse dokumentieren und 6. Ergebnisse erörtern (Haus der kleinen Forscher, 2013).<sup>1</sup>

Solche Heuristiken naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung spielen auch in entsprechenden Ansätzen im Elementarbereich eine zentrale Rolle. So basiert das „ScienceStart!“-Curriculum (French, 2004) auf einem Vier-Phasen-Modell, in dem erstens Fragen und Reflektieren, zweitens Planen und Vorhersagen, drittens Handeln und Beobachten und viertens Berichten und Reflektieren unterschieden werden (ebd., S. 143). Im Programm „Pre-school pathways to science“ (PrePS) (Gelman & Brenneman, 2004, 2012) orientiert sich das Vorgehen mit den Kindern an den drei Phasen Beobachten, Vorhersagen und Überprüfen. Das wird am Beispiel des Apfels erläutert. Zunächst wird der Apfel unter Berücksichtigung verschiedener Sinne beobachtet, und die Ergebnisse werden zusammengetragen und festgehalten. Dann wird den Kindern erläutert, Naturwissenschaftler würden Vorhersagen machen, wenn sie etwas nicht beobachten können. Dabei würden sie das Wissen, das sie haben, nutzen, um Vorhersagen zu machen. Jedes Kind wird dann aufgefordert vorherzusagen, was sich im Apfel befindet und wie viele Kerne drinnen sind. Dann wird der Apfel aufgeschnitten, um zu prüfen, ob die Vorhersagen stimmen.

Im Hinblick auf den Elementarbereich ist die Möglichkeit, dass Kinder an naturwissenschaftliches Denken herangeführt werden können, aber auch bestritten worden. So wählt Fischer eine detaillierte Beschreibung einer Episode, in der ein knapp dreijähriges Mädchen (Annika) im Waschraum einer Kindertagesstätte über etwa zwei Minuten immer wieder Seife aus einem Seifenspender entnimmt und sich in unterschiedlicher Weise unter dem Wasserhahn die Hände wäscht, als Ausgangspunkt seiner Überlegungen (Fischer, 2013, S. 19). Dieses Beispiel lässt sich im Sinne Piagets als handelndes Denken interpretieren. Das Mädchen variiert Handlungen, beobachtet und nimmt wahr, wie sich die Dinge, mit denen es handelt, jeweils dabei verhalten. Die entstehenden Erfahrungen lösen neue Handlungsvariationen aus. Die Situation wird von Fischer auch entsprechend (ohne Rekurs auf Piaget)

---

<sup>1</sup> Die Autorinnen des Spiralcurriculums weisen wie Marquart-Mau und das „Haus der kleinen Forscher“ darauf hin, dass die jeweilige Darstellung nicht als Abbild des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses zu verstehen sei. Dennoch wird die jeweils aufgeführte Heuristik als zentrale Orientierung für die Gestaltung von Bildungsangeboten dargestellt.

gedeutet. Zurecht weist er darauf hin, dass das Tun des Mädchens als ein Ausprobieren und Versuchen beschrieben werden kann und sie so Erfahrung macht. Um die Frage zu bearbeiten, inwieweit Kindern im Elementarbereich naturwissenschaftliches Denken möglich ist, stellt er der Beschreibung und Interpretation der Waschraumszene seine Charakterisierung naturwissenschaftlichen Vorgehens gegenüber (ebd., S. 24):

„Auch in der Wissenschaft, vor allem in der Naturwissenschaft, hat das Experimentieren Karriere gemacht. Hier ist es eines von vielen Mitteln der Erkenntnisgewinnung und Überprüfung von Erkenntnissen. Der Unterschied zu Annikas Experimenten besteht schlicht darin, dass am Anfang nicht das Hantieren mit dem Wasserhahn und dem Seifenspendler, sondern eine bewusste Fragestellung, eine Hypothese, ja ein ganzer theoretischer und methodologischer Bezugsrahmen stehen. Am Anfang des naturwissenschaftlichen Experimentierens steht die Sprache, die ein bereits elaboriertes Weltwissen fasst, expliziert und kommuniziert und daraus Folgerungen zieht, die experimentell überprüft werden sollen. Was die sog. ‚naturwissenschaftliche Bildung‘ neu in Annikas Welt trägt, ist also gar nicht das Experimentieren. Dieses wird von Annika längst gelebt. Es ist der besondere Zugang zum Experimentieren. Dieser wird von ‚oben‘ gewählt, aus der Sprache und aus dem bewussten Denken heraus. Explizit und kommunizierbar wird eine Frage ausgewählt, eine Theorie formuliert und methodisch überprüft. Kinder werden herausgefordert, ihre Welt erst zu denken und dann auszuprobieren – statt umgekehrt. Nach allem was wir über Annika erfahren haben, ignoriert dieser Zugang schlicht elementare Voraussetzungen des kindlichen Lernens.“

Obwohl Fischer dafür argumentiert, dass Kinder im Elementarbereich nicht an naturwissenschaftliches Denken herangeführt werden können, geht er doch von einer ähnlichen Heuristik naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung aus, wie sie bei den zuvor aufgeführten AutorInnen zu finden ist. Der Startpunkt ist danach eine Fragestellung, dann wird eine Hypothese aufgestellt, die schließlich im Experiment überprüft wird.

## 2. Zum naturwissenschaftlichen Denken in der Wissenschaftsforschung

Die Frage, wie naturwissenschaftliches Denken zu fassen ist, ist bis heute innerhalb der Wissenschaftsforschung Gegenstand einer regen Debatte und auch im Hinblick auf die Genese des gegenwärtigen Diskussionsstandes gibt es keine Einigkeit. Dennoch gibt es einige Aspekte, im Hinblick auf die es seit den 1990er Jahren eine gewisse Konsolidierung gegeben hat (vgl. Gooding, 1992; Hacking, 1992b; Hentschel, 1998, Kapitel 1.1; Rheinberger, 2007; Steinle, 2005, Kapitel 7). Danach war bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein induktives und positivistisches Verständnis der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung vorherrschend. So konstatiert Hentschel am Beispiel Ernst Machs, dass Ende des 19. Jahrhunderts ein Verständnis der Problemgeschichte der Naturwissenschaft als eine Abfolge von Entdeckungen, „in deren Verlauf mehr und mehr Fakten bekannt wurden, während all diejenigen Elemente der Theoriebildung, die kein empirisch nachweisbares Korrelat haben, als ‚metaphysisch‘ gebrandmarkt wurden“ (Hentschel, 1998, S. 4), vorherrschend gewesen sei. Und Hentschel betont, dass Fortschritt in der Naturwissenschaft für Mach „in einer immer weitergehenden Ausweitung und Verschärfung des empirischen Wissens, gekoppelt mit einer immer weitergehenden Reinigung des begrifflichen Hilfsapparates von allen metaphysischen Elementen“ (ebd.) bestanden habe. Dieses Primat der Erfahrung zeigt sich bis in den logischen Empirismus des Wiener Kreises, der versuchte, den Erfolg der Naturwissenschaft auf ihre sichere empirische Basis in Form von basalen Sinnesdaten oder Protokollsätzen zurückzuführen (Carnap, 2006 [1932], 2006 [1936]; Neurath, 2006 [1932], 2006 [1935]; Schlick, 2006 [1934]). Als bekannteste Gegenposition ist dagegen Karl Poppers „Logik der Forschung“ (1969 [1934]) zu nennen. Popper zufolge ist es die Theorie, von der aus das Experiment verstanden werden muss:

„Der Experimentator wird durch den Theoretiker vor ganz bestimmte Fragen gestellt und sucht durch seine Experimente für diese Fragen und nur für sie eine Entscheidung zu erzwingen; alle anderen Fragen bemüht er sich dabei auszuschalten. [...] der Theoretiker [muß] seine wichtigste Aufgabe bereits gelöst haben: die Frage scharf zu formulieren. Er ist es, der dem Experimentator den Weg weist. Und auch dessen Arbeiten sind nicht so sehr die ‚exakten Beobachtungen‘, sondern wieder theoretische Überlegungen: Diese beherrschen die experimentelle Arbeit von der Planung des Versuches bis zu den letzten Handgriffen.“ (ebd., 72)

Popper zufolge entstehen neue Erkenntnisse, indem sich entweder Hypothesen im Experiment bestätigen lassen oder indem sie falsifiziert werden und so neue Theoriebildung angeregt wird, die wiederum zu neuen Hypothesen führt, die experimentell überprüft werden können. Diese Position wird üblicherweise als hypothetisch-deduktives Modell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bezeichnet.

Die zweite bekannte Gegenposition zum logischen Empirismus ist die auf Duhem (1978 [1908]) zurückgehende These von der Theoriebeladenheit jeder Erfahrung. In der Wissenschaftsgeschichte gilt es Hentschel zufolge (1998, S. 2) inzwischen als gut abgesichert, dass eine empirische Untersuchung ohne jedwede vorherige theoretische Annahmen über Messapparatur, zugrunde gelegte Hilfstheorien und ähnliches als Grundlage für die daran anschließende Induktion nicht möglich ist.

Ob das Vorgehen in der Naturwissenschaft angemessen als Hypothesenprüfung zu verstehen ist, wurde insbesondere von Duhem (1978 [1908]) und Quine (1980 [1951]) bestritten. Die sogenannte Duhem-Quine-These besagt, dass naturwissenschaftliche Theorien als ein holistisches Ganzes zu betrachten sind und daher im Experiment nicht einzelne Sätze oder Gruppen von Sätzen geprüft werden, sondern alle Sätze der Wissenschaft im Ganzen. Jede Aussage könne letztlich auch bei widersprechender Evidenz dadurch gerettet werden, dass an anderer Stelle ein Satz revidiert wird. Die Abhängigkeitsverhältnisse der Sätze untereinander seien so komplex, dass es keine

logischen Argumente geben könne, aus denen sich bestimmen ließe, welche Sätze revidiert werden müssen (vgl. Schäfer, 1974). Diese Sichtweise hat Kuhn (1976 [1970]) aufgegriffen. Er unterscheidet zwei Phasen des Wandels naturwissenschaftlicher Erkenntnis. In Phasen der Normalwissenschaft besteht der Wandel darin, neue Gesetze zu entdecken, die das bestehende Wissensgebäude um einen weiteren Baustein ergänzen, ohne dass es dabei zu Veränderungen von Grundbegriffen oder der Art und Weise kommt, wie die Welt betrachtet wird. Kuhn spricht daher auch von einem „kumulativen Hinzufügen von Einzelerkenntnissen“ (Kuhn, 1981, S. 6). Phasen wissenschaftlicher Revolutionen unterscheiden sich Kuhn zufolge von normalwissenschaftlichen Phasen, da sie Entdeckungen einschließen, die mit den traditionellen Begriffen gerade nicht in Einklang zu bringen seien (ebd., S. 7).

Kuhn gibt drei Charakteristika an, die revolutionäre Veränderungen in seinem Sinne miteinander gemein haben. Zum einen haben sie eine systemische Struktur (Kuhn selbst spricht von „ganzheitlicher Struktur“; ebd., S. 32), insofern sie nicht etappenweise, Schritt für Schritt, vollzogen werden können, da eine Anzahl untereinander verbundener Gesetzmäßigkeiten revidiert werden. Das zweite Charakteristikum besteht darin, dass sich ein Bedeutungswandel („meaning change“, ebd.) vollzieht, indem sich die „Art und Weise, wie Worte und Sätze mit den Naturphänomenen verbunden sind“ (ebd., S. 34), verändert. Das dritte Charakteristikum revolutionärer Veränderungen ist nach Kuhn ein „grundlegender Wandel des Modells, der Metapher oder der Analogie“ (ebd., S. 36). Bezogen auf die Subjekte, die einen solchen Wandel vollziehen, deutet er dies so, dass sich das „Gefühl dafür, was einander ähnlich und was voneinander verschieden ist“ (ebd.) ändert. So sei bei Aristoteles der fallende Stein, die wachsende Eiche und der gesund werdende Mensch als ähnlich betrachtet worden, und entsprechend als verschiedene Varianten derselben Form von Veränderung auch gemeinsam behandelt worden. Dieses Muster der Ähnlichkeiten sei dann in der newtonschen Physik ersetzt worden. Das Erkennen, welche Objekte und Situationen als ähnlich zu betrachten sind, ist für Kuhn damit das zentrale Element des Erlernens von Naturwissenschaft.

Wie Hacking (1996 [1983]) herausgearbeitet hat, stimmt Kuhn in einer Hinsicht mit den wissenschaftsphilosophischen Ansätzen des Wiener Kreises, Duhems und Poppers überein: der starken Orientierung an der Theorie im Versuch, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung zu verstehen. Denn was sich bei Kuhn im Zuge eines Paradigmenwechsels ändert, sind Ähnlichkeitsbeziehungen, Begriffe und Gesetze. Dem stellt Hacking die These entgegen, dass wissenschaftliche Forschung in Praktiken des Repräsentierens und des Eingreifens besteht. Zentral ist für Hacking dabei, dass die Experimentiertätigkeit ein Eigenleben habe und damit auch Gegenstand der Analyse sein müsse, wenn man naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung verstehen wolle (ebd., S. 250).

Dass es in einer solchen Betrachtungsweise nicht mehr sinnvoll ist, Theorie und Experiment unabhängig voneinander zu fassen, wird insbesondere in Hacking's Versuch deutlich, auf Basis der unter anderem von ihm selbst ausgelösten neuen Aufmerksamkeit für die Praktiken naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung nach etwa einem Jahrzehnt wissenschaftshistorischer Forschung, eine Synthese in Form einer Taxonomie des Experimentes vorzustellen. Hacking (1992b) fasst das Experimentieren in den Laborwissenschaften dabei als Herstellen von Kohärenz zwischen Denken, Handeln, Materialien und Zeichen (ebd., S. 58) und beschreibt eine Taxonomie des Experiments, deren 15 Elemente er in drei Gruppen zusammenfasst (ebd., S. 44-50)<sup>2</sup>:

- 1) Ideen: Fragestellungen, Hintergrundwissen, systematische Theorie, Hilfhypothesen („topical hypotheses“), Modellierung der Apparatur.
- 2) Dinge: Untersuchungsgegenstände („target“), Messapparatur („Source of modification“), Detektor des in der Messapparatur hergestellten Effekts, weitere Hilfsmittel, Datengeneratoren.
- 3) Zeichen („marks“) und die Manipulation der Zeichen: Daten, Datenbewertung, Datenreduktion, Datenanalyse, Interpretation.

Hacking zufolge (ebd., S. 58) werden im Prozess naturwissenschaftlicher Forschung all diese Elemente variiert, um sie miteinander in Kohärenz zu bringen.

Gooding (1990) betont in seiner Analyse der Entstehung der Elektrodynamik zudem stärker die Rolle von Repräsentationen und zeigt, wie aus den Handlungen, die die Forscher in ihren Laboratorien jeweils individuell vollziehen, ein Diskurs über geteilte Erfahrungen wird, in dem Verallgemeinerungen, Argumente und Kritik möglich sind (ebd., S. xiii). Im Mittelpunkt steht bei ihm die Entstehung neuer Repräsentationsweisen, die es den Forschern erst ermöglichen, über die neuen Phänomene des Elektromagnetismus miteinander zu kommunizieren und zu neuen reproduzierbaren und auch kommunizierbaren experimentellen Resultaten zu kommen, die damit auch zur Grundlage für die Theoriebildung werden. In einem solchen Prozess gegenseitiger Anpassung werden ihm zufolge nicht einfach bestehende Modi der Repräsentation übernommen: vielmehr ist das Konstruieren geeigneter Repräsentationen möglicher Ergebnisse auf der Phänomenebene Teil des Forschungsprozesses:

„Bringing new phenomena into the domain of discourse calls for a succession of construals, or tentative representations of possible outcomes. Construals are continually constructed and revised to describe and communicate actual outcomes. The process is actually

---

<sup>2</sup> In der Übersetzung orientiere ich mich an Hentschels (1998, p. 12f.) Interpretation der Taxonomie, wie Hacking sie früher schon formuliert hatte (Hacking, 1988).

more complex: there is a convergence of successive material arrangements (the apparatus) and successive construals (or tentative models) of manipulations of and with apparatus, and of the outcomes of these manipulations.“ (Gooding, 1992, S. 103)

Im Anschluss an Rheinberger betont Steinle auf Basis einer gegenüber Gooding nochmals vertieften Analyse der Entstehung der Elektrodynamik, dass sich wissenschaftliche Erkenntnis auf verschiedenen epistemischen Schichten abspiele und nennt dabei explizit „Kategorien, Darstellungsmittel, Begriffe, Begriffssysteme, empirische Regeln, Gesetze, Theorien und theoretische Entitäten“ (Steinle, 2005, S. 319).

Solche Ausführungen stellen allerdings zunächst nur beschreibend zusammen, welche Elemente im Prozess naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung aneinander angepasst werden. Auf die Frage, wie das geschieht und was dabei wesentlich ist, gibt es keine Antwort, die über die Rekonstruktion einzelner Fallbeispiele hinausgeht und für verschiedene oder gar alle Gegenstandsbereiche der Naturwissenschaft Gültigkeit beanspruchen könnte. Alternativ werden Listen mit Heuristiken des Experimentierens angegeben, die nachvollziehbar machen sollen, woran sich Forschende in Koordination der verschiedenen Elemente orientieren. Meist werden in solchen Listen unterschiedliche Ziele oder Teilziele des Experimentierens beschrieben; so die kontrollierte Beeinflussung eines Untersuchungsgegenstandes als Indiz für dessen Existenz (Hentschel, 1998, S. 21), die Eichung der Instrumente (ebd.), die Benutzung verschiedener Detektortypen für den Nachweis eines noch für unsicher gehaltenen Objektes (ebd., S. 22), der Ausschluss von Fehlerquellen (ebd.), das systematische Variieren vieler Parameter (Steinle, 2005, S. 314) oder das „Entwickeln experimenteller Anordnungen, die nur noch die für den Effekt unerlässlichen Bedingungen enthalten“ (ebd.).

In der jüngeren Wissenschaftsforschung bilden gerade die Praktiken naturwissenschaftlichen Arbeitens in der Entstehung neuen Wissens den Gegenstand der Untersuchung. Seit den 1980er Jahren sind dabei in einer Vielzahl wissenschaftshistorischer Arbeiten die Praktiken naturwissenschaftlichen Arbeitens sehr genau rekonstruiert worden (Buchwald, 1994; Franklin, 1987; Galison, 1987; Gooding, 1990; Hentschel, 1998; Rheinberger, 2006; Steinle, 2005). Dabei wird zunächst insbesondere die Heterogenität der Vorgehensweisen deutlich. Das hat einige Vertreter der jüngeren Wissenschaftsforschung dazu geführt, es gerade als Resultat dieser jüngeren Forschung zu betrachten, dass es in dem Sinne, wie es sich Carnap (1998 [1928]) und Popper (1969 [1934]) vorgestellt hatten, keine einheitliche naturwissenschaftliche Methode gibt (Gooding, 1997, S. 122; Hacking, 1992a, S. 49; 1996 [1983], S. 22; Rheinberger, 2007, S. 93f.). Insofern ist es nicht verwunderlich, dass es bisher innerhalb der Wissenschaftsforschung keinen Versuch gibt, hinausgehend über die Angabe einer Taxonomie der Elemente naturwissenschaftlichen Denkens und Handelns auch das Vorgehen reduziert auf wesentliche Aspekte einheitlich zu beschreiben. Schließlich könnte dies als Zurückfallen in überwunden geglaubte Perspektiven betrachtet werden. Dennoch lässt sich auf Basis der hier aufgeführten Überlegungen im Anschluss an Kuhn, Hacking, Gooding, Hentschel und Steinle zusammenfassen, dass naturwissenschaftliches Denken in einer jeweils domänenspezifischen Weise darin besteht, a) zu erkennen, welche Phänomene als ähnlich aufzufassen sind, b) mit spezifischen Begriffen die an den Phänomenen charakteristischen Merkmale zu erfassen, c) dabei bekannte Regelmäßigkeiten zwischen diesen Merkmalen heranzuziehen und d) mit Hilfe der spezifischen Repräsentationsmittel Schlussfolgerungen im Hinblick auf weitere Zusammenhänge ziehen zu können. Experimentelle Praktiken entstehen dabei gemeinsam mit Begriffen, Repräsentationsweisen und Ähnlichkeitsauffassungen in einem Wechselspiel, in dem diese Elemente so lange variiert werden, bis Experiment und Theorie zusammen passen und sich gegenseitig stabilisieren. Experimente sind damit nicht als Verfahren der Gewinnung vortheorietischer Daten zu deuten und auch nicht im Sinne bloßer Hypothesenprüfung zu verstehen.

### **3. Zur Adaption der Ergebnisse der Wissenschaftsforschung in Pädagogik und Didaktik**

Für die angelsächsische Debatte der „science education“ hat Matthews (2004) eine Orientierung am Wissenschaftsverständnis des logischen Empirismus bis in die 1960er Jahre hinein ausgemacht. Das ist auch nicht sehr verwunderlich, da viele Vertreter des logischen Empirismus während des Nationalsozialismus in die USA emigrierten und dort wissenschaftstheoretische Lehrstühle übernahmen. Poppers „Logik der Forschung“ erschien dagegen erst 1959 in englischer Übersetzung. Diese Orientierung am logischen Empirismus gilt insbesondere auch für die in der deutschsprachigen Sachunterrichtsdidaktik in den 1970er Jahren adaptierten Curricula „Science Curriculum Improvement Study“ und „Science – A Process Approach“ (vgl. Löffler, 2001).

Im Hinblick auf Kuhn konstatiert Matthews eine Rezeption innerhalb der „science education“-Debatte ab Mitte der 1970er Jahre, nachdem Kuhns „Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ 1970 auch als eigenständige Monographie publiziert war. Und zur Standardreferenz wird Kuhn Matthews zufolge erst ab Mitte der 1980er Jahre. Dabei betont Matthews, dass Kuhn in zwei Feldern besonders relevant wurde: Zum einen im Zusammenhang mit der in den 1980ern beginnenden Debatte um Konzeptwechsel und zum anderen im Kontext konstruktivistischer Ansätze der „science education“.

Insofern ist es auch nachvollziehbar, dass in den in Kapitel 1 aufgeführten Beispielen aus Elementarpädagogik und Didaktik keine Spuren von Kuhns Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu finden sind. Die Forschung zum Konzeptwechsel bezieht sich auf die Veränderung des Wissens von Lernenden in jeweils

spezifizierten Wissensdomänen. Und konstruktivistische Überlegungen beziehen sich in der Regel auf ein zugrunde gelegtes Lernverständnis. Die Frage, was naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung ausmacht, wird dagegen in der Regel im Rahmen von Ansätzen forschend-entdeckenden Lernens oder zum Wesen der Naturwissenschaft diskutiert.

Damit ist auch nachvollziehbar, weshalb trotz der bestehenden Kuhn-Rezeption in allen in Kapitel 1 aufgeführten Beispielen ein Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zum Ausdruck kommt, das an Poppers hypothetisch-deduktivem Modell orientiert ist.

Der Umstand, dass die jüngere Wissenschaftsforschung innerhalb der Elementarpädagogik und der Sachunterrichtsdidaktik bisher unberücksichtigt geblieben ist, ist dabei keine Eigenheit dieser Bildungsbereiche. Höttecke (2001) hatte bereits vor über einer Dekade gezeigt, dass ein angemessenes Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung nur unter Rekurs auf die jüngere Wissenschaftsforschung möglich ist. Dennoch kommt er mit Rieß (2015) zu dem Ergebnis, dass die im Zuge naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung auftretende unsichere Evidenz im Physikunterricht in der Regel weitestgehend vermieden wird. Aus ihrer Sicht sind in der Naturwissenschaftsdidaktik insgesamt die in der jüngeren Wissenschaftsforschung herausgearbeitete Prozesshaftigkeit und Materialität von Forschungsprozessen noch kaum berücksichtigt worden. Entsprechend sei die Frage, ob im Rahmen forschend-entdeckenden Unterrichts tatsächlich das Experimentieren und ein angemessenes Verständnis des Experimentierens erlernt werden kann, empirisch noch weitestgehend unbeantwortet.

#### 4. Diskussion

Es zeigt sich, dass die insbesondere im Hinblick auf den Elementarbereich deutlich auseinander gehenden Befunde aus Kapitel 1 zur Möglichkeit, Kinder an naturwissenschaftliches Denken heranzuführen, gleichermaßen auf einem hypothetisch-deduktiven Modell naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung beruhen. Gelman und Brenneman scheinen dabei naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung vollständig auf eine Heuristik von Beobachten, Vorhersagen und Überprüfen, zu reduzieren. An die Qualität der Vorhersagen scheint es bei ihnen keinerlei Anforderungen zu geben. Geht man davon aus, dass vermutlich jedes Kind im Elementarbereich schon mal einen aufgeschnittenen Apfel gesehen hat, so scheint in diesem Extrembeispiel gar kein Erkenntnisgewinn, der irgendwie in Zusammenhang mit relevantem naturwissenschaftlichen Wissen steht, zu bestehen. Die Gefahr, dass die Orientierung an einer solchen Heuristik ohne ein Bewusstsein für die spezifischen Hilfsmittel naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung in Form von spezifischen Begriffen und Repräsentationsweisen zu einer Karikatur naturwissenschaftlichen Arbeitens verkommt, scheint mir dabei auch für den Primarbereich gegeben. Meines Erachtens ist es auch diese in der Sachunterrichtsdidaktik auftretende Tendenz, die hypothetisch-deduktive Heuristik unabhängig von den spezifischen kognitiven Hilfsmitteln der Naturwissenschaft zu betrachten, die Pech und Rauterberg (2013) dazu bringt, die Wissenschaftsorientierung des Sachunterrichtes fallen zu lassen. Dabei gehen sie davon aus, dass verschiedene Formen des Wissens sich aufgrund jeweils spezifischer Erkenntnismethoden und -interessen konstituieren (ebd., S. 21). Sie bestimmen Weisen des Umgangs mit der Welt als Gegenstand des Sachunterrichts (ebd., S. 24). Vier verschiedene Umgangsweisen werden von ihnen in den Mittelpunkt der Konzeption des Sachlernens gestellt und näher erläutert (ebd., S. 30ff.): 1. Beobachten, 2. Recherchieren, um etwas herauszufinden, 3. Gestalten, um etwas kommunikabel zu machen, und 4. Sich positionieren, um sich zu orientieren. Das Beobachten bezieht sich dabei insbesondere auf Phänomene. Das Recherchieren bezieht sich auf Informationen. Das Gestalten bezieht sich auf die Zusammenfassung, die Wieder- und Weitergabe von Informationen. Und das Positionieren bezieht sich auf Wertfragen. Es zeigt sich hier deutlich die zuvor von den Autoren explizit formulierte Annahme, dass der Erwerb von Wissen als unproblematisch betrachtet wird. Phänomene müssen genau beobachtet werden, und was sich nicht beobachten lässt, kann über Recherche angeeignet werden. Dass bei der Beobachtung spezifische Beobachtungsbegriffe es erst ermöglichen, etwas als eine bestimmte Gestalt wahrzunehmen, und dass manches Wissen über die Welt nicht in alltäglichen Begriffen vorliegt und daher durch Recherche allein nicht erschlossen werden kann, wird hier ausgeblendet. Solche nicht alltäglichen Begriffe gehören jedoch gerade zum konstitutiven Bestand von wissenschaftlichen Disziplinen. Und dass Repräsentationsformen nicht bloß dem Übermitteln von Informationen dienen, sondern auch konstitutiv in der Entstehung neuen Wissens sind, bleibt ebenfalls unberücksichtigt (vgl. für eine weitergehende Analyse Kosler, 2016, S. 174f.).

Fischer scheint dagegen sehr viel enger an Poppers in Kapitel 2 zitierter Vorstellung zu sein, der zufolge es der Vorarbeit eines theoretischen Physikers bedarf, bevor ein Experimentalphysiker überhaupt anfangen kann, über ein Experiment nachzudenken. Seine Behauptung, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung würde mit einer bewussten Fragestellung, einer Hypothese und einem ganzen theoretischen und methodologischen Bezugsrahmen beginnen, ist jedoch vor dem Hintergrund der in Kapitel 2 aufgeführten Wissenschaftsforschung nicht haltbar. Auch Faradays Vorgehen im Umgang mit ersten Phänomenen der Elektrodynamik wird von Gooding (1990) und Steinle (2005) als Exploration eines Phänomens interpretiert. Ein Unterschied zu Annika besteht darin, dass Faraday das Ziel hat, kommunizierbares Wissen zu generieren und sich daher auf die Suche nach geeigneten Begriffen und Repräsentationsformen macht, und er sich selbst damit auch in die Lage versetzt, über seine Explorationen

bewusst und sprachlich explizit nachzudenken. Will man Kinder an naturwissenschaftliches Denken heranzuführen, so müsste die Aufgabe meines Erachtens daher so gefasst werden, dass sie an die kognitiven Hilfsmittel in Form von Begriffen, Repräsentationsformen und Ähnlichkeitsauffassungen herangeführt werden, die es ihnen ermöglichen, mit Phänomenen so explorierend umzugehen, dass solche Zusammenhänge sichtbar, kommunizierbar und verstehbar werden, die dies unter Rekurs auf bestehendes Alltagsdenken nicht sind.

Ob bzw. in welchem Alter Kinder an ein so gefasstes naturwissenschaftliches Denken herangeführt werden können, bleibt dann eine Frage, die nur empirisch beantwortet werden kann. Als wesentliche Hürde für die Entwicklung geeigneter Bildungsangebote betrachte ich dabei einerseits die Komplexität des Bildes vom naturwissenschaftlichen Denken in der Wissenschaftsforschung und andererseits den Umstand, dass eine Reduktion auf wesentliche Elemente und eine Beschreibung ihres Zusammenspiels in einer Weise, die über einzelne Gegenstandsgebiete hinausgeht, in der Wissenschaftsforschung selbst bisher nicht zu finden ist. Daher betrachte ich es als Desiderat der Elementarpädagogik und Sachunterrichtsdidaktik, ein solches auf wesentliche Elemente reduziertes Bild vom naturwissenschaftlichen Denken zu entwickeln, das die Ergebnisse der jüngeren Wissenschaftsforschung berücksichtigt und zugleich die Entwicklung von Bildungsangeboten und Unterricht orientieren kann.

Einen entsprechenden Versuch habe ich unter Rückgriff auf einen Vergleich der Grundannahmen europäischen und chinesischen Denkens vorgelegt (Kosler, 2016). Die Kontrastierung mit dem chinesischen Denken stellt dabei ein Instrument dar, um charakteristische Elemente europäischen Denkens, die sich in der neuzeitlichen Naturwissenschaft entfaltet haben, zu identifizieren. Damit konnten die kognitiven Vorteile, die mit bestimmten Repräsentationsweisen, die Galilei in die Naturwissenschaft eingeführt hat, verbunden sind, genauer gefasst werden. Mit dem dabei entstehenden Bild naturwissenschaftlichen Denkens konnten für den Primarbereich zudem bestehende Unterrichtsentwürfe identifiziert werden, die als Heranführung an naturwissenschaftliches Denken zu bewerten sind. Solche Entwürfe finden sich insbesondere in den Arbeiten der Gruppe um Lehrer und Schauble (Lehrer & Schauble, 2012; Lehrer, Schauble, Carpenter & Penner, 2000). Und es konnten Vorschläge für weitere Unterrichtsentwürfe entwickelt werden, die sich anders als bei Lehrer und Schauble explizit auf die Analyse der in der Geschichte der Naturwissenschaft tatsächlich entwickelten kognitiven Hilfsmittel naturwissenschaftlichen Denkens stützen.

Eine Alternative für eine Bestimmung naturwissenschaftlichen Denkens, die wesentliche Elemente herausarbeitet, ist bei Ahrens (2011) zu finden. Er fasst das Experimentieren als eine Form der Welterschließung und grenzt es vom Explorieren als weiterer Form ab. Dabei abstrahiert er jeweils das experimentelle und das explorative Vorgehen soweit, dass er beide Vorgehensweisen auch außerhalb der Naturwissenschaft als Formen der Welterschließung findet. Bildung bestimmt er dann neu als experimentelle Form der Welterschließung und grenzt es vom Lernen als explorativer Form der Welterschließung ab.

Der Nachteil seines Vorgehens besteht meines Erachtens darin, dass Ahrens so nicht die kognitive Funktion spezifischer naturwissenschaftlicher Begriffe, Repräsentationsformen und Ähnlichkeitsbeziehungen in den Blick bekommt, und insofern auch weniger Orientierung für eine Heranführung an naturwissenschaftliches Denken bereitstellt.

## Literatur

- Ahrens, S. (2011). *Experiment und Exploration. Bildung als experimentelle Form der Welterschließung*. Bielefeld: Transcript.
- Buchwald, J. Z. (1994). *The creation of scientific effects*. Chicago: University of Chicago Press.
- Carnap, R. (1998 [1928]). *Der Logische Aufbau der Welt*. Hamburg: Meiner.
- Carnap, R. (2006 [1932]). Über Protokollsätze. In M. Stöltzner & T. Uebel (Hrsg.), *Wiener Kreis* (S. 412-429). Hamburg: Meiner.
- Carnap, R. (2006 [1936]). *Wahrheit und Bewährung*. In M. Stöltzner & T. Uebel (Hrsg.), *Wiener Kreis* (S. 469-475). Hamburg: Meiner.
- Duhem, P. (1978 [1908]). *Ziel und Struktur der physikalischen Theorie*. Hamburg: Meiner.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Stäudel, L. (Hrsg.). (2004). *Naturwissenschaftliches Arbeiten. Unterricht und Material 5-10*. Seelze: Friedrich.
- Fischer, H.-J. (2013). *Sinn und Unsinn der Naturbildung im frühen Kindesalter*. <http://www.widerstreit-sachunterricht.de/>, Beiheft 9, 13-33.
- Franklin, A. (1987). *The neglect of experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- French, L. (2004). Science as the center of a coherent, integrated early childhood curriculum. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 138-149.
- Galison, P. (1987). *How experiments end*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gelman, R. & Brenneman, K. (2004). Science learning pathways for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 150-158.
- Gelman, R. & Brenneman, K. (2012). Moving young "scientists-in-waiting" onto science learning pathways: focus on observation. In S. M. Carver & J. Shrager (Hrsg.), *The journey from child to scientist. Integrating cognitive development and the educational sciences* (S. 155-170). Washington: American Psychological Association.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the making of meaning. Human agency in scientific observation and experiment*. Dordrecht: Kluwer.
- Gooding, D. (1992). Putting agency back into experiment. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (S. 65-112). Chicago: University of Chicago Press.
- Gooding, D. (1997). Review of scientific practices: Theories and stories of doing physics by Jed Z. Buchwald. *Isis*, 88(1), 121-122.
- Hacking, I. (1988). On the stability of the laboratory sciences. *Journal of Philosophy*, 85(10), 507-514.
- Hacking, I. (1992a). Disunified sciences. In R. Q. Elvee (Ed.), *The end of science? Attack and defense* (S. 33-52). Maryland: University Press of America.

- Hacking, I. (1992b). The self-vindication of the laboratory sciences. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (S. 29-64). Chicago: University of Chicago Press.
- Hacking, I. (1996 [1983]). Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Stuttgart: Reclam.
- Haider, M. (2015). Physikalische Aspekte. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller, & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 122-127). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Haus der kleinen Forscher. (2013). Der Forschungskreis. Hinweise für Pädagoginnen und Pädagogen. [http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/fileadmin/Redaktion/1\\_Forschen/Paedagogik/Forschungskreis.pdf](http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/fileadmin/Redaktion/1_Forschen/Paedagogik/Forschungskreis.pdf)
- Hentschel, K. (1998). Zum Zusammenspiel von Instrument, Experiment und Theorie. Rotverschiebung im Sonnenspektrum und verwandte spektrale Verschiebungseffekte von 1880 bis 1960 (Vol. 1 & 2). Hamburg: Dr. Kovac.
- Höttecke, D. (2001). Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung - Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21, 127-139.
- Kosler, T. (2016). Naturwissenschaftliche Bildung im Elementar- und Primarbereich. Zum naturwissenschaftlichen Denken mit Kindern im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kuhn, T. (1976 [1970]). Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Kuhn, T. (1981). Was sind wissenschaftliche Revolutionen? München: Carl-Friedrich-von-Siemens-Stiftung.
- Lange, K. & Everhardy, A. (2014). Naturwissenschaftliches Lehren und Lernen. In A. Hartinger & K. Lange (Hrsg.), *Sachunterricht - Didaktik für die Grundschule*. Berlin: Cornelsen.
- Latour, B. (2002). Die Hoffnung der Pandora. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96(4), 701-724.
- Lehrer, R., Schauble, L., Carpenter, S. & Penner, D. (2000). The interrelated development of inscriptions and conceptual understanding. In P. Cobb, E. Yackel & K. McClain (Hrsg.), *Symbolizing and communicating in mathematics classrooms. Perspectives on discourse, tools, and instructional design* (S. 325-360). Mahwah: Lawrence.
- Löffler, G. (2001). Kritik der Anfänge des Sachunterrichts - Fragen zu seinen Grundlagen. In W. Köhnlein & H. Schreier (Hrsg.), *Innovation Sachunterricht - Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen* (S. 116-180). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Marquart-Mau, B. (2011). Der Forschungskreislauf: Was bedeutet forschen im Sachunterricht? In Deutsche Telekom Stiftung & Deutsche Kinder- und Jugendstiftung (Hrsg.), *Wie gute naturwissenschaftliche Bildung an Grundschulen gelingt. Ergebnisse und Erfahrungen aus prima(r)forscher* (S. 32-37). Berlin: Deutsche Kinder- und Jugendstiftung & Deutsche Telekom Stiftung.
- Matthews, M. (2004). Thomas Kuhn's impact on science education: What lessons can be learned? *Science Education*, 88(1), 90-118.
- Möller, K., Bohrmann, M., Hirschmann, A., Wilke, T. & Wyssen, H.-P. (2013). *Spiralcurriculum Magnetismus. Naturwissenschaftlich arbeiten und denken lernen. Band 2: Primarbereich*. Seelze: Friedrich.
- Möller, K., Kleickmann, T., & Sodian, B. (2014). Naturwissenschaftlich-technischer Lernbereich. In W. Einsiedler, M. Götz, A. Hartinger, F. Heinzl, J. Kahlert & U. Sandfuchs (Hrsg.), *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik* (S. 527-535). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Neurath, O. (2006 [1932]). Protokollsätze. In M. Stöltzner & T. Uebel (Hrsg.), *Wiener Kreis* (S. 399-411). Hamburg: Meiner.
- Neurath, O. (2006 [1935]). Pseudorationalismus der Falsifikation. In M. Stöltzner & T. Uebel (Hrsg.), *Wiener Kreis* (S. 454-468). Hamburg: Meiner.
- Pech, D., & Rauterberg, M. (2013). Auf den Umgang kommt es an. "Umgangsweisen" als Ausgangspunkt einer Strukturierung des Sachunterrichts. Skizze der Entwicklung eines "Bildungsrahmens Sachlernen". <http://www.widerstreit-sachunterricht.de/>, 5. Beiheft (2. Auflage).
- Popper, K. R. (1969 [1934]). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr.
- Prenzel, M., Geiser, H., Langeheine, R. & Lobemeier, K. (2003). Das naturwissenschaftliche Verständnis am Ende der Grundschulzeit. In W. Bos, E.-M. Lankes, M. Prenzel, K. Schwippert, G. Walter, & R. Valtin (Hrsg.), *Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich* (S. 143-188). Münster: Waxmann.
- Quine, W. v. O. (1980 [1951]). Two dogmas of empiricism. In W. v. O. Quine (Ed.), *From a logical point of view* (S. 20-46). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rheinberger, H.-J. (2006). *Epistemologie des Konkreten. Studien zur Geschichte der modernen Biologie*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Rheinberger, H.-J. (2007). *Historische Epistemologie zur Einführung*. Hamburg: Junius.
- Schäfer, L. (1974). *Erfahrung und Konvention. Zum Theoriebegriff der empirischen Wissenschaften*. Stuttgart-Bad Cannstadt: Frommann-Holzboog.
- Schlick, M. (2006 [1934]). Über das Fundament der Erkenntnis. In M. Stöltzner & T. Uebel (Hrsg.), *Wiener Kreis*. Hamburg: Meiner.
- Steffensky, M. (2015). Chemische Aspekte. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 128-132). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Steinle, F. (2005). *Explorative Experimente. Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.

## Kurzvita

Prof. Dr. Thorsten Kosler, Dipl.-Physiker und Philosoph, war von 2009 bis 2014 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sachunterricht und seine Didaktik an der Leuphana Universität Lüneburg und wurde dort mit einer Arbeit über naturwissenschaftliche Bildung im Elementar- und Primarbereich promoviert. Ab 2014 war er Assistent und ab 2016 Oberassistent am Lehrstuhl für Didaktik der Naturwissenschaften und der Nachhaltigkeit an der Universität Zürich. Seit 2017 ist er Professor für Fachdidaktik Naturwissenschaften an der Pädagogischen Hochschule Tirol in Innsbruck.