

## 2.3 Inhaltsbereiche

### 2.3.1 Fachbezogene Inhaltsbereiche

## 19| Physikalische Aspekte Michael Haider

### 1 Physik als Wissenschaft – Physik in der Grundschule

Die Wissenschaft Physik befasst sich mit der Erklärung grundlegender Naturphänomene und geht dabei u.a. von erkenntnistheoretischen Fragen aus. Im Zentrum steht das Zusammenspiel aus experimentellen Untersuchungen und einer theoretischen Modellbildung. Diese beiden Pole bilden auch die beiden großen Forschungsrichtungen: „Experimentalphysik“ und „Theoretische Physik“.

Physik im Sachunterricht unterscheidet sich von der wissenschaftlichen Bezugsdisziplin besonders dadurch, dass keine neuen Erkenntnisse gesucht werden, sondern bereits bestehendes Wissen didaktisch aufbereitet und vermittelt wird. Dies wirkt sich auf die unterschiedliche Durchführung von Experimenten in Wissenschaft und Unterricht aus. Experimente im Unterricht haben selten ein wissenschaftliches Erkenntnisinteresse, auch wenn es das Ziel ist, den Lernenden zu echter Erkenntnis zu verhelfen, kennt die Lehrkraft meist bereits den Ausgang und die Erkenntnis des durchgeführten „Experiments“.

Physikunterricht hat verschiedene Perspektiven und Bezüge, die zum einen den physikalischen Unterrichtsinhalt oder das Schulfach legitimieren (z.B. historisch-technische Entwicklungen, wie Schutzschalter im Haushalt, Blutdruckmessung etc.), Meilensteine der Wissenschaftsgeschichte (z.B. Brown'sche Bewegung), gesellschaftliche Mitgestaltungsfähigkeit (innerhalb einer Wissensgesellschaft etc.), und die zum anderen auch bei der Unterrichtsgestaltung berücksichtigt werden sollten. Die wissenschaftliche Disziplin Physik und deren Erkenntnisse und Methoden bedingt die Gestaltung physikalischen Sachunterrichts, indem sie typische Inhalte und Arbeitsweisen bereitstellt, auf problemlösendes Lernen setzt und eine Fragehaltung gegenüber den unbelebten Dingen der Natur weckt. Allein aus der unterschiedlichen Umsetzung von Sachunterricht in den Lehr- und Bildungsplänen der einzelnen Bundesländer wird jedoch ersichtlich, dass divergente Anforderungen und Wünsche aus Gesellschaft, Politik und Wirtschaft an den Sachunterricht herangetragen werden. Die Gestaltung physikalischen Sachunterrichts hängt aber nicht nur von gesellschaftlichen Einflüssen ab, sondern ist von erziehungswissenschaftlichen Erkenntnissen, der (physik-)didaktischen Unterrichtsforschung, der Lebenswelt der Kinder und den Schülerinnen und Schülern selbst abhängig.

## 2 Physik unter dem Anspruch der Grundlegenden Bildung

Mittlerweile ist es selbstverständlich, dass naturwissenschaftliche und physikalische Inhalte im Unterricht vermittelt werden sollen. Über die Notwendigkeit einer naturwissenschaftlichen Bildung herrscht heute weitgehend gesamtgesellschaftlicher und bildungspolitischer Konsens (vgl. Labudde & Möller 2012). Der Zeitpunkt für den ersten Kontakt mit physikalischen Inhalten wird dabei sogar von der Grundschule auf vorschulische Einrichtungen verlegt. Ein Blick in die Geschichte zeigt, dass die Tradition der Vermittlung von Physik im deutschen Raum zwar älter ist als etwa im angloamerikanischen, jedoch wurde Physik auch hier lange Zeit nicht als Teil von Bildung gesehen.

In einer Art Wellenbewegung kämpfte sich „die Physik“ in den Bildungskanon. Zu Zeiten Wilhelm von Humboldts und seines humanistischen Bildungsideals (17. Jh.) wurde der Physik weder für höhere noch für niedrigere Bildung ein Bildungswert zugesprochen. Erst 1832 wurde das Realgymnasium (neben den humanistischen Gymnasien für höhere Bildung) als eigenständige Schulform für naturwissenschaftliche Inhalte und für „niederwertige“ Bildung ohne Hochschulzugangsberechtigung geschaffen. Die Industrialisierung (Ende 19. Jh.) und Ingenieure wie Werner von Siemens lösten die nächste Welle und den nächsten Aufschwung des Faches aus. Die Bedeutsamkeit der Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten für eine industrialisierte Gesellschaft wurde zunehmend erkannt.

Die nächste große Stärkung erfuhr physikalischer Unterricht in den 1970er Jahren. Ausgelöst durch den „Sputnik-Schock“ wurde Sachunterricht erneut durch die Gesellschaft beeinflusst: Das Bestreben, in der naturwissenschaftlichen Forschung dem „Osten“ nicht unterlegen zu sein, führte dazu, dass in Deutschland im Strukturplan 1970 (vgl. Deutscher Bildungsrat 1970) Forderungen (z.B. wurde aus Sorge um die nationale Leistungsfähigkeit ein Bedarf an gut ausgebildeten Fachkräften in den naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen formuliert, den frühen Jahrgangsstufen wurde ein erheblicher Reformbedarf zuerkannt, vgl. Möller 2002) aufgestellt wurden. Wissenschaftsorientierte Curricula (z.B. SCIS, SAPA etc.) aus dem englischsprachigen Raum, insbesondere den USA, wurden adaptiert und teilweise aufgegriffen. Eine erneute Stärkung naturwissenschaftlicher Inhalte lösten Large-Scale-Untersuchungen wie z.B. PISA und TIMSS mit ihrer Haupterkennnis erheblicher Kompetenzmängel im Bereich naturwissenschaftlicher Bildung bei deutschen Schülerinnen und Schüler weiterführender Schulen aus. Die sich daran anschließenden Forderungen neuerer Zeit verlaufen analog zu den 1970 aufgestellten und bis heute immer noch nicht erfüllten Forderungen (z.B. gut ausgebildete Fachkräfte in den naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen; vgl. Möller 2002). In der Ausbildung von Grundschullehrkräften, insbesondere für den Sachunterricht, wurde in einigen Bundesländern reagiert. Einzelne Universitäten führten entsprechende Lehramtsstudiengänge für Naturwissenschaft und Technik in der Grundschule (z.B. in Regensburg und in Berlin) ein.

## 3 Fachpropädeutik

Sachunterricht leistet für seine unterschiedlichen Bezugsdisziplinen eine propädeutische Aufgabe, indem er den späteren Physikunterricht vorbereitet. Dies geschieht unter verschiedenen Aspekten: Für die Disziplin typische Inhalte und Kompetenzen werden vermittelt, das Interesse für naturwissenschaftliche Aspekte wird gefördert, ein Verständnis von Wissenschaft aufgebaut. Eine wichtige Forderung gerade an den „Anfangs“-unterricht ist hier Anschlussfähigkeit. „Anschlussfähige Bildung“ im Sachunterricht der Grundschule ist ein sehr komplexer Auftrag. Unterricht soll an die (heterogenen) Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler, die sie vor

Beginn oder außerhalb der Schule erworben haben, anschließen. Es soll zudem ein Anschluss an das in den verschiedenen Fachkulturen der weiterführenden Schulen zu erarbeitende Wissen und an die entsprechenden Arbeitsweisen ermöglicht werden (vgl. GDSU 2013, 10). Dabei geht es in der Grundschule weniger darum, „richtiges Wissen“ (im Sinne des aktuellen Wissensstandes der jeweiligen Fachdisziplinen) zu vermitteln als vielmehr darum, „anschlussfähiges Wissen“ und belastbare Vorstellungen und Konzepte aufzubauen, d.h. solches Wissen grundzulegen, auf dem im nachfolgenden Physikunterricht vertieft angeknüpft werden kann. Durch dieses fachpropädeutische Anliegen lässt sich der Vorwurf entkräften, die Grundschule nehme Inhalte vorweg. Erste *Naturwissenschaftliche Kompetenzen im Sinne des sich* international eingebürgerten Begriffs der „*scientific literacy*“ umfassen neben Wissen auch Lern- und Arbeitsweisen und Einstellungen (Weinert 2001).

#### 4 Physikalische Aspekte des Sachunterrichts und didaktische Umsetzung

Der Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU 2013) verweist auf physikalische Aspekte sowie in Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen auf die Fachdisziplin Physik. Beide Bereiche finden in den Lehr- und Bildungsplänen der einzelnen Bundesländer unterschiedliche Beachtung. Tabelle 1 zeigt im Überblick, in welchen Bundesländern (Mecklenburg-Vorpommern wurde nicht betrachtet) welche physikalischen Themen behandelt werden und verdeutlicht, dass es keine zwei Länder gibt, die gleiche Themenfokussierungen aufweisen. Gleichzeitig gibt es nicht ein Thema, das in allen Bundesländern im Bildungsplan curricular verankert wurde. Parallel dazu werden phänomenorientiert die Bereiche Luft und Wasser in den Blick genommen. In einigen Ländern finden sich keine Beziehungen zu Teilbereichen der Physik mehr (siehe z.B. in Hessen). Stattdessen wird versucht, physikalische Inhalte über Geräte und technische Einrichtungen zu vermitteln.

Da die zentrale Bezugsdisziplin des physikalischen Sachunterrichts die Physik ist, und zu deren Aufgaben die Erklärung von Phänomenen gehört, liegt die *Phänomenorientierung* als ein möglicher didaktischer Zugang nahe. Martin Wagenschein lieferte bereits in den 1960er Jahren Ansätze, um von Phänomenen der Lernenden auszugehen, die für diese auch bedeutsam sind (vgl. z.B. Wagenschein 1962, 1970a, 1970b). Daraus erwächst ein Spannungsverhältnis für den Unterricht: Phänomene und deren Erklärungen befinden sich im Allgemeinen zwischen der Alltagserfahrung (oder der Lebenswelt der Kinder) und wissenschaftlichen Erklärungen. Sachunterricht findet demnach im Spannungsverhältnis zwischen der Orientierung an physikalischen Inhalten (Sach-Orientierung) und Kindorientierung statt.

Nichts Neues, aber für die unterrichtliche Beschäftigung essenziell, sind didaktische Überlegungen zur Darbietung von Phänomenen. Verschiedene historische Ansätze (z.B. Pestalozzis Überlegungen, den Lehrstoff in „Elemente“ zu zerschneiden, oder Diesterwegs Auffassung „Gib kleine Ganze!“) zeigen, dass eine didaktische Reduktion auf wesentliche Elemente eine lange Tradition besitzt. Kircher et al. (2009) bezeichnen die *Elementarisierung* sogar als „Kern der Physikdidaktik“. Die Schwierigkeit dabei ist, zwischen „fachlich korrekt“ und „kindgerecht“ einen Weg zu finden, der zumindest fachliche Anschlussfähigkeit ermöglicht. Die Elementarisierung kann über verschiedene Wege gelingen. Dafür können heuristische Verfahren wie Abstrahierung, Idealisierung und Symbolisierung hilfreich sein. Der Einbezug von Modellen und Analogien oder Visualisierungen kann das jeweils „Elementare“ hervortreten lassen und eine Fokussierung sowie die Modellierung von Erklärungen bewirken. So kann eine vereinfachte Zeichnung von Hebelverhältnissen die Erklärung des Phänomens Wippe erleichtern, das Modell eines elektrischen Schalters (z.B. in Form eines Hebelschalters) die Funktion „Öffnen des

Tab. 1: Physikalisch-technische Aspekte in den Lehrplänen der Länder. Die Abkürzungen der Bundesländer folgen den auf EU-Ebene vereinbarten Abkürzungen der Regionen (BW – Baden-Württemberg, BY – Bayern, BE – Berlin, BB – Brandenburg, HB – Bremen, HH – Hamburg, HE – Hessen, NI – Niedersachsen, NW – Nordrhein-Westfalen, RP – Rheinland-Pfalz, SL – Saarland, SN – Sachsen, ST – Sachsen-Anhalt, SH – Schleswig-Holstein, TH – Thüringen).

	Akustik	Energie	Elektrizitätslehre	Körper und Stoffe	Magnetismus	Mechanik	Optik	Wärmelehre	Luft	Wasser	Denk-/Arbeitsweisen	Weitere Inhalte
BW (2004)	x	x	x	o	o	x	x	x	x	*	o	*Schwimmen & Sinken
BY (2014)	o	x	x	x	o	#	*	o	x	x	o	*Auge (biol.) #Statik
BE (2004)	o	x	o	x	o	x	x	o	o	o	x	Physikalische Trennverfahren
BB (2004)	o	o	o	x	o	*	x	o	o	o	x	*Bewegung in Natur und Technik
HB (2007)	o	x	x	o	x	o	o	o	x	x	o	Technische Entwicklung
HH (2011)	o	x	x	o	x	x	o	o	o	*	x	*Schwimmen & Sinken
HE (1995)	Funktionsweise und Gefahren techn. Geräte Technische Einrichtungen und Anlagen im Schulgebäude											
NI (2006)	x	x	x	o	x	x	o	x	x	o	o	
NW (2008)	x	o	x	o	x	o	x	x	x	o	o	Werkzeuge & Materialien Maschinen & Fahrzeuge
RP (2012)	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	
SL (2010)	x	o	x	o	x	o	o	o	x	x	x	
SN (2009)	o	o	o	o	o	o	x	x	x	x	x	Wahlpflicht: Astronomie
ST (2007)	o	o	o	o	o	o	o	o	o	*	o	*Schwimmen & Sinken
SH (1997)	o	o	x	o	x	o	o	x	x	x	o	
TH (2010)	x	o	o	x	x	o	o	o	x	x	o	

Stromkreises“ fokussiert darstellen. Schwierigkeiten treten immer dann auf, wenn sich diese „Vereinfachungen“ nahe am Rande fachlicher Inkorrektheit bewegen und fachlich korrektere Darstellungen z.B. aufgrund fehlender mathematischer Voraussetzungen bei Grundschulern nicht möglich sind (etwa bei der Erklärung des Energietransportes in einem Stromleiter ohne Bezug zum elektrischen Feld und Feldtheorien).

Eine der zentralen fachgemäßen Arbeitsweisen im physikalischen Sachunterricht ist das „*Experimentieren*“. Dabei gilt es zu beachten, dass sich Experimente in Schule und Wissenschaft unterscheiden. In der Wissenschaft werden experimentelle Bedingungen zur Gewinnung neuer Erkenntnisse für die Menschheit geschaffen, Versuche nach Hypothesen der Wissenschaftler durchgeführt, die Ergebnisse interpretiert, die Versuchsbedingungen ggf. variiert usw. Beim Schülerexperiment sind diese Bedingungen meist nicht erfüllt, denn Experimente werden mit speziellem Lehrgerät durchgeführt und Störvariablen von vornherein minimiert; die Versuchsanordnung entspricht in der Regel der etablierten Theorie und nicht den Hypothesen der Lernenden. Für die Grundschule werden unter dem Begriff „Experiment“ häufig verschiedene Formen zusammengefasst. Nach Grygier und Hartinger (2009) können Experimente durch zwei Merkmale definiert werden:

- die Art der Fragestellung, die untersucht werden soll, und
- die Art und Weise, wie beim Versuch vorgegangen werden soll.

Zu beiden Merkmalen können von der Lehrkraft

- Vorgaben gemacht werden oder aber
- Freiräume gelassen werden.

Der Weg zum „Experimentieren“ kann durch feste Abläufe beim Durchführen von Experimenten, z.B. Vorgehen nach dem Algorithmus des Experimentierens von Soostmeyer (2002) oder des „Forschungskreises“ im Rahmen der Stiftungsarbeit beim Haus der kleinen Forscher (vgl. Haus der kleinen Forscher 2013) mit der klaren Abfolge von Schritten wie Fragen stellen, Hypothesen bilden, Versuch planen und durchführen etc., unterstützt werden.

Experimentieren als fachgemäße Arbeitsweise zu artikulieren, ist aber nicht die einzige Sicht. Das Experiment nimmt im Sachunterricht zusätzlich die Rolle des Mediums ein. Mit Medium ist hier alles gemeint, was Lernprozesse zu unterstützen und zu verstehen hilft. So wird zum Beispiel das Experiment „Lichtbrechung am Prisma“ dazu eingesetzt, um das Phänomen Regenbogen zu verstehen.

Ebenso wie Experimente im Unterricht zwei Rollen erfüllen, trifft dies auch für „*Modelle*“ zu. Modelle stellen im Sachunterricht zunächst ein wichtiges Medium (i.o.g.S.) dar. Mit Hilfe von Modellen werden Sachverhalte verkürzt und mit eingeschränkter Gültigkeit abgebildet (Schwarz et al. 2009). Bei einer solchen Abbildung können strukturelle Merkmale (z.B. die gleiche Struktur bei Modell und Phänomen) oder Ähnlichkeitsmerkmale (Modell sieht aus wie Original) im Vordergrund stehen. Modelle stellen in der Physik aber auch eine Methode der Erkenntnisgewinnung dar: Über Modelle erklären sich Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftler die Welt (z.B. mit Hilfe von Atommodellen). Für Schülerinnen und Schüler ist es wichtig, diese Vorgehensweise der Physik als Methode zu kennen, mit angebotenen Modellen kompetent agieren zu können und sich selbst Modellvorstellungen zu konstruieren.

Wenn das Lernen an Modellen nicht dort stattfindet, wo eigentlich beabsichtigt ist zu lernen (im sog. primären Lernbereich, z.B. in der Elektrizitätslehre das Thema Stromkreis), sondern ein weiterer Lernbereich (z.B. ein Wasserkreis) genutzt wird, von dem aus Analogien gebildet werden können, spricht man von *Analogiemodellen*. Analogien unterscheiden sich je nach Einsatzort: Im Alltag ist das Anstellen von Vergleichen, die Analogiebildung und das Ziehen von Analogieschlüssen nahezu selbstverständlich. In der Fachwissenschaft werden Analogien zur Erkenntnisgewinnung genutzt. In der Didaktik hingegen werden sie zur Vermittlung von Inhalten und zur Erkenntnisvermittlung eingesetzt. Analogien bieten bei unanschaulichen Inhalten (weil diese zu groß, zu klein, zu schnell, zu langsam etc. sind) eine Vorstellungshilfe. Ihnen wird beim Erwerb tragfähiger wissenschaftlicher Konzepte eine „Brückenfunktion“ zugeschrieben: Um Analogieschlüsse zu ziehen, greifen Lernende bereits im Primären bzw. im Sekundären auf den primären Lernbereich zurück.

Unterschiedliche Arten von Analogiemodellen können von Lernenden in verschiedenen physikalischen Kontexten unterschiedlich akzeptiert werden. Bei Analogien erster Art (Oberflächenanalogien) gleicht der sekundäre Lernbereich dem primären Lernobjekt in der äußeren Form. Bei Analogien zweiter Art repräsentiert die Struktur des sekundären Lernbereichs die Struktur des primären Lernbereichs. Daraus ergeben sich Forschungsfragen bzgl. der Anwendung von Analogien für die Klärung physikalischer Phänomene (z.B. der Erklärung des Stromkreises mit Hilfe von Wasseranalogien), um der Frage nachzugehen, welche Merkmale von Schülerinnen und Schülern wie wahrgenommen werden. Um in Lernprozessen unterstützend wirken zu können, müssen Analogien Voraussetzungen erfüllen: Über Oberflächenmerkmale muss Akzeptanz hergestellt werden können. Die Lernökonomie muss beachtet werden (d.h. durch Analogielernen immer zu machende Lernumwege dürfen nicht zu exzessiv sein). Grenzen der verwendeten Analogien müssen klar erkennbar sein (zsf. Haider 2010).

## 5 Problem: Fachwissen und fachdidaktisches Wissen von Grundschullehrkräften

Ausgewählte Studien, wie PLUS (Lange, Kleickmann, Tröbst, Möller 2012) oder COACTIV (Baumert et al. 2006) zeigen, dass Fachwissen und fachdidaktisches Wissen nicht nur zum professionellen Wissen von Lehrkräften gehören, sondern dass hiervon auch die Unterrichtsqualität und damit die Wirksamkeit des Unterrichts ganz entscheidend beeinflusst wird. Die wenigsten Grundschullehrkräfte befassen sich vor Dienstantritt mit Physik oder studieren dieses Fach im Rahmen ihres Lehramtsstudiums (vgl. Blaseio 2014). Daher bleibt es Aufgabe im Rahmen des lebenslangen Lernens, sich auch während der dritten Phase der Lehrerbildung, insbesondere in Bezug auf physikalische Inhalte, fortzubilden. Unter dem mangelnden Fachwissen leidet häufig schon die Themenauswahl oder die Länge der Unterrichtssequenzen zu den physikalischen Themen im breiten Inhaltsspektrum des Sachunterrichts. Hinzu kommt eine oft unzureichende Materialausstattung von Schulen. Aufgrund mangelnder fachlicher Kompetenzen lässt sich diese oft nicht mit fachdidaktischem Sachverstand erweitern. Durch eine geringe Wertschätzung dem Sachunterricht gegenüber, erhalten schulorganisatorisch zudem Mathematik- und Deutschstunden oft den „Vorzug“. Dadurch findet physikalisches Lernen im Sachunterricht nur reduziert oder überhaupt nicht statt.

### Literatur

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469-520. – Blaseio, B. (2014). Zur aktuellen Situation des Schulfaches Sachunterricht in den Bundesländern. In: GDSU (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts) (Hrsg.). Die Didaktik des Sachunterrichts und ihre Fachgesellschaft GDSU e.V. Bad Heilbrunn. – Deutscher Bildungsrat: Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen. Stuttgart: Klett 1970. – GDSU (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts) (2013) (Hrsg.): Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Bad Heilbrunn. – Grygier, P. & Hartinger, A. (2009). Gute Aufgaben Sachunterricht. Berlin. – Haider, M. (2010). Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Bad Heilbrunn. – Haus der kleinen Forscher (2013). Der Forschungskreis. Hinweise für Pädagogen und Pädagoginnen. <http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/praxisideen/paedagogik/methode-forschungskreis/>. – Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2009). Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Heidelberg. – Möller, K. (2002). Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich-technischer Inhalte. In: Pädagogische Rundschau, 56 (4), 411-435. – Labudde, P. & Möller, K. (2012). Stichwort: Naturwissenschaftlicher Unterricht. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 15, 11-36. – Lange, K., Kleickmann, T., Tröbst, S. & Möller, K. (2012). Fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften und multiple Ziele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 15, 55-75. – Schwarz, C.V. et al.(2009): Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. In: Journal of Research in Science

Teaching, Vol. 46, 632-654. – Soostmeyer, M. (2002): Genetischer Sachunterricht: Unterrichtsbeispiele und Unterrichtsanalysen zum naturwissenschaftlichen Denken bei Kindern in konstruktivistischer Sicht. Baltmannsweiler. – Wagenschein, M. (1962) Die pädagogische Dimension der Physik. Grundthemen der pädagogischen Praxis, hrsg. v. A. Holfelder. Braunschweig. – Wagenschein, M. (1970a): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Bd. 1. Stuttgart. – Wagenschein, M. (1970b): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken. Bd. 2. Stuttgart. – Weinert, F.E. (Hrsg.) (2001): Leistungsmessungen in Schulen. Beltz.

## 20 | Chemische Aspekte

### Mirjam Steffensky

Naturwissenschaftliches Lehren und Lernen im Grundschulunterricht orientiert sich an der Entwicklung einer anschlussfähigen naturwissenschaftlichen Grundbildung (*scientific literacy*). Diese umfasst Wissen über zentrale Begriffe, Konzepte, Theorien (konzeptuelles Wissen oder naturwissenschaftliches Wissen) sowie Wissen über naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen und Wissenschaftsverständnis (prozedurales Wissen oder Wissen über Naturwissenschaften). Zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung gehören außerdem nicht-kognitive Aspekte, wie ein Interesse an Naturwissenschaften und die Bereitschaft der Auseinandersetzung. Wissen über Naturwissenschaften sowie die nicht-kognitiven Facetten einer naturwissenschaftlichen Grundbildung spielen selbstverständlich im Kontext der Chemie bzw. des Chemie-bezogenen Sachunterrichts eine ebenso zentrale Rolle wie in den Naturwissenschaften generell. Der vorliegende Beitrag fokussiert aber lediglich auf das Chemie-bezogene konzeptuelle Wissen. Dabei wird zunächst ein kurzer Überblick über die zentralen Konzepte der Chemie und das angestrebte Wissen gegeben (1), anschließend wird die Entwicklung des Materie-Konzepts skizziert (2), bevor dann beschrieben wird, wie über verschiedene Chemie-bezogene Inhaltsgebiete das übergeordnete Materie-Konzept entwickelt werden kann (3). Ziel des Beitrags ist es deutlich zu machen, wie sich Chemie-bezogenes konzeptuelles Wissen über verschiedene Inhaltsgebiete hinweg entwickeln kann und wie zentrale Konzepte im Sinne von Basiskonzepten oder *core ideas* dabei eine Strukturierungsmöglichkeit darstellen können.

#### 1 Welche zentralen Konzepte der Chemie sind für die Grundschule besonders relevant?

Die Menge an vorhandenem und ständig neu generiertem naturwissenschaftlichen Wissen macht es selbst für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unmöglich, einen vollständigen Überblick über die Naturwissenschaften bzw. die Chemie zu haben. Gleichzeitig ist die Idee der Grundbildung, Menschen mit anschlussfähigem grundlegendem Wissen über Konzepte und Denk- und Arbeitsweisen auszustatten, das eine Weiterentwicklung auch nach der Schulzeit ermöglicht. In verschiedenen Bildungskonzeptionen wurden deshalb eine begrenzte Anzahl zentraler naturwissenschaftlicher Konzepte, die den Kernbestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung ausmachen, festgelegt. Diese werden auch als Basiskonzepte, Schlüsselkonzepte,

*core ideas* oder *big ideas* bezeichnet. Diese zentralen Konzepte müssen in verschiedenen Inhaltsgebieten und Domänen vielfältig anwendbar und erklärungs-mächtig sein (National Research Council 2012).

Im Zentrum der Chemie steht die stoffliche Welt. Dabei geht es grundlegend um die Eigenschaften, die Strukturen und die Veränderungen von Stoffen sowie aus einer stärker anwendungsorientierten Perspektive um die Herstellung und Verwendung von Stoffen aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften. Diese Aspekte lassen sich zusammenführen unter dem zentralen Konzept der *Materie*. Materie ist auch in den Bildungsstandards für das Fach Physik eines der zentralen Konzepte (dort als Basiskonzept bezeichnet), während in den Bildungsstandards für das Fach Chemie dieses Konzept durch die vier Konzepte *Stoff-Teilchen-Beziehung*, *Struktur-Eigenschafts-Beziehung*, *chemische Reaktion* und *energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen* differenzierter beschrieben wird. Trotz der begrifflichen Unterschiede zeigen sich hier die großen Überschneidungen der beiden Fächer.

Das Materie-Konzept umfasst verschiedene Facetten. So geht es beispielsweise um Materialien und ihre Eigenschaften, z.B. die Härte, Brennbarkeit oder die Zustandsform von Materialien (fest, flüssig oder gasförmig); physikalische und chemische Umwandlungen von Materie, z.B. das Verdunsten oder Lösen bzw. das Verbrennen und Rosten, sowie den submakroskopischen Aufbau von Materie und die Erhaltung von Materie. Relevant für den Sachunterricht sind vor allem a) die Kenntnis von (lebensweltlich relevanten) Materialien oder Materialklassen und deren direkt wahrnehmbaren Eigenschaften oder solchen, die mit einfachen Hilfsmitteln erfasst werden können, b) verschiedene „einfache“ Umwandlungen von Materie sowie d) ein erstes Verständnis der Erhaltung von Materie. Im Zentrum steht ein Verständnis chemisch-physikalischer Zusammenhänge auf der makroskopischen Ebene, also der sichtbaren, wahrnehmbaren Ebene. In der Regel werden noch keine Erklärungen im streng wissenschaftlichen Sinne entwickelt, sondern das Erkennen und Beschreiben von Zusammenhängen in Form von Wenn-Dann- oder Je-desto-Beziehungen angeregt (Hardy & Steffensky 2013). Beispielsweise können Kinder den Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Verdunstungsvorgang herstellen und dieser Zusammenhang hat für sie auch die Funktion einer Erklärung (*Weil* es warm ist, verdunstet die Pfütze [schneller]). Für die eigentliche Erklärung dieses Zusammenhangs, also *warum* hat die Temperatur einen Einfluss auf den Verdunstungsprozess, benötigt man komplexere Erklärungsansätze wie die kinetische Gastheorie.

In der Sekundarstufe wird das Materie-Konzept weiter differenziert und vor allem um die submikroskopische Ebene erweitert. Konkret geht es dabei um die Entwicklung von Teilchenvorstellungen und des Verständnisses des Zusammenhangs zwischen der Struktur von Materie auf der submikroskopischen Ebene und den Eigenschaften der Substanz auf der makroskopischen Ebene. Die Entwicklung von Teilchenvorstellungen ist ein langwieriger und schwieriger Prozess, der immer wieder den bewussten Wechsel zwischen der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene erfordert. Grundlegend für ein solches Verständnis ist die Entwicklung eines anwendbaren, flexiblen und generalisierten Wissens über makroskopische Zusammenhänge. Auch wenn Kinder dieser Altersstufe durchaus Begriffe wie Atome oder Moleküle kennen oder lernen können, erscheint vielen Autoren die Einführung von Teilchenvorstellungen (auch von einfachen Teilchenvorstellungen, wie sie im Zusammenhang mit dem Wasserkreislauf z.T. verwendet werden) unangemessen (National Research Council 2007). Die Gefahr ist groß, dass Kinder Begriffe lernen, ohne sie zu durchdringen und zu verstehen. Oder sie entwickeln falsche Vorstellungen, die späteres Lernen erschweren können, z.B. dass Wassermoleküle kleine, nicht mehr sichtbare Wassertröpfchen sind mit den gleichen Eigenschaften, wie ein großer Wassertropfen, oder dass Wasserteilchen im (kontinuierlichen) Stoff Wasser existieren. Auf einer über-