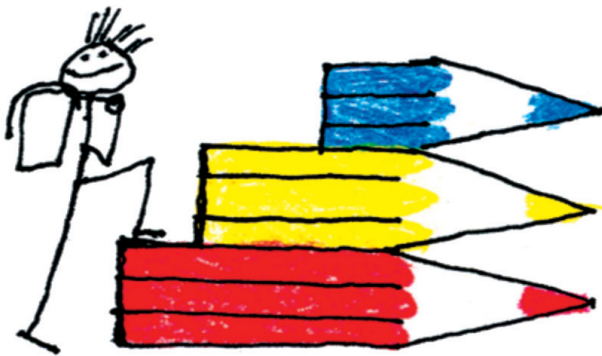


Naturwissenschaftliche Fachkonzepte anbahnen – Anschlussfähigkeit verbessern

Rita Wodzinski

SINUS



an Grundschulen

Steigerung der Effizienz des
mathematisch-naturwissenschaftlichen
Unterrichts

NaWi
Naturwissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Forderungen an modernen naturwissenschaftlichen Sachunterricht	4
3 Hindernisse bei der Umsetzung der Forderungen.....	5
4 Ansatzpunkt Basiskonzepte	7
5 Überlegungen zu möglichen Basiskonzepten für den Sachunterricht	9
5.1 Das Konzept der Erhaltung der Materie	9
5.2 Das Teilchenkonzept	11
5.3 Das Konzept der Energie	13
5.4 Das Konzept der Wechselwirkunge	15
6 Andere Wege, um naturwissenschaftliche Fachkonzepte anzubahnen und Anschlussfähigkeit zu verbessern	17
6.1 Das Projekt 2061 – Benchmarks for science education	17
6.2 Das Nuffield Projekt SPACE	20
6.3 Ergebnisse einer Arbeitsgruppe zur Abstimmung der Fachinhalte zwischen Primar- und Sekundarstufe	20
6.4 Naturwissenschaftliche Methoden vs. naturwissenschaftliche Konzepte	20
7 Ansatzpunkte für die Arbeit an Schulen	22
Literatur	24
Anhang	26

Impressum

Rita Wodzinski
Naturwissenschaftliche Fachkonzepte anbahnen –
Anschlussfähigkeit verbessern

Publikation des Programms *SINUS an Grundschulen*
Programmträger: Leibniz-Institut für die Pädagogik
der Naturwissenschaften



und Mathematik (IPN)
an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24118 Kiel
www.sinus-an-grundschulen.de

© IPN, Juni 2011

Projektleitung: Prof. Dr. Olaf Köller
Projektkoordination: Dr. Claudia Fischer
Redaktion u. Realisation dieser Publikation:
Dr. Karen Rieck, Verena Hane
Kontaktadresse: info@sinus-grundschule.de

ISBN: 978-3-89088-211-6

Nutzungsbedingungen

Das Kieler Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) gewährt als Träger der SINUS-Programme ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Rita Wodzinski

Naturwissenschaftliche Fachkonzepte anbahnen – Anschlussfähigkeit verbessern

1 Einleitung

Mit der Einführung der Bildungsstandards für die drei Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I ergeben sich auch für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht neue Herausforderungen. Im Sinne kumulativen Lernens und der Verbesserung der Anschlussfähigkeit gilt es, den Sachunterricht mit Blick auf die Bildungsstandards der Sekundarstufe I neu zu überdenken. Zu klären ist insbesondere, wie Sachunterricht auf den nachfolgenden Fachunterricht vorbereiten kann, d.h. wie naturwissenschaftliche Fachkonzepte und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen sinnvoll angebahnt werden können. Dabei muss allerdings sorgfältig abgewogen werden, inwieweit die „von oben“ an den Sachunterricht herangetragenen Erwartungen des nachfolgenden Fachunterrichts auch mit den „von unten“ gewachsenen Zielsetzungen eines integrativen Sachunterrichts zusammenpassen.

In verschiedenen Modulen des SINUS-Programms wurde die Frage der Anbahnung von Fachkonzepten bereits aufgegriffen: Im Naturwissenschaftsmodul G3 „Schülervorstellungen aufgreifen – grundlegende Ideen entwickeln“ (Demuth & Rieck 2005) entfalten die Autoren die Idee der Basiskonzepte für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Im Modul G10 „Übergänge gestalten“ (Demuth & Kahlert 2007) werden schließlich Vorschläge zur Abstimmung vom Kindergarten bis zur Sekundarstufe hinsichtlich der Inhalte und der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen gemacht. Dadurch wurden fruchtbare Diskussionen angestoßen, die jedoch längst noch nicht abgeschlossen sind. Ziel der vorliegenden Handreichung ist es, in der kontrovers geführten Diskussion über die Rolle der Basiskonzepte für den Sachunterricht zu einer eigenen Positionierung beizutragen und Ansatzpunkte herauszuarbeiten, welche Schritte Schulkollegien gehen können, um den Sachunterricht in der Grundschule im Sinne der Anschlussfähigkeit weiterzuentwickeln.

(Aufgrund des eigenen Hintergrundes haben die im Modul gewählten Beispiele meist einen Schwerpunkt im Bereich der Physik.)

2 Forderungen an modernen naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Die aktuelle Diskussion um den naturwissenschaftlichen Sachunterricht ist wesentlich durch drei Forderungen bestimmt:

(1) Naturwissenschaftlicher Sachunterricht soll inhaltlich und methodisch anspruchsvoller werden.

Empirische Untersuchungen zum naturwissenschaftlichen Sachunterricht der letzten Jahre haben gezeigt, dass Kinder offenbar in den Naturwissenschaften deutlich komplexere und anspruchsvollere Zusammenhänge verstehen können, als dies gemeinhin erwartet wird. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf fachliche Zusammenhänge, sondern auch bezogen auf naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Aspekte von Wissenschaftsverständnis (Stern & Möller 2004; Köster 2006; Grygier 2008).

(2) Naturwissenschaftlicher Sachunterricht soll anschlussfähig sein.

Anschlussfähigkeit wird verstanden als eine Voraussetzung für das produktive Ineinandergreifen der verschiedenen Bildungsstufen. Die Forderung nach Anschlussfähigkeit des Sachunterrichts beinhaltet insbesondere, dass im Sachunterricht Kompetenzen bereitgestellt werden, auf die der nachfolgende naturwissenschaftliche Fachunterricht aufbauen kann. Der Sachunterricht selbst soll wiederum die Kompetenzen weiterentwickeln, die im Elementarbereich vorbereitet werden.

Seit den 90er Jahren wird einer derartigen Abstimmung der Bildungsbemühungen vom Kindergarten bis zur weiterführenden Schule verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt. Die Bildungspläne der Länder sind ein Ergebnis dieser Bemühungen.

(3) Naturwissenschaftlicher Sachunterricht in der Grundschule soll einen kumulativen Wissensaufbau unterstützen.

Sachunterricht soll den Aufbau von Fachkonzepten vorbereiten. Diese Forderung ergibt sich aus der Verknüpfung der zuvor genannten Forderungen für den Bereich des Fachwissens. Fachkonzepte kennzeichnen dabei zusammenhängendes und strukturiertes Wissen zu einem Teilbereich der Naturwissenschaften. Ein Fachkonzept schließt Wissen über Begriffe, Theorien und Modellbildungen mit ein. Fachkonzepte lassen sich z.B. über Begriffsnetze veranschaulichen.

Fachkonzepte können unterschiedlich tiefgreifend und komplex sein. So kann beispielsweise das Fachkonzept „Schatten“ im Sachunterricht auf die Optik beschränkt bleiben, während man auch beim Schall oder bei Strahlung allgemein von Schatten spricht. Das Verständnis des Fachkonzepts „Schatten“ in der Grundschule anzubahnen, kann bedeuten, dass die Schülerinnen und Schüler die Entstehungsbedingungen für Schatten benennen können und begründete Vorhersagen machen können, wie sich der Schatten verändert, wenn man bestimmte Veränderungen (z.B. hinsichtlich der Position der Lampe oder des Schatten werfenden Gegenstandes) vornimmt. Auch kann der Begriff Schatten von einem zweidimensionalen „Schatten an der Wand“ um die Vorstellung eines dreidimensionalen Schattenraums ergänzt werden. Im weiteren naturwissenschaftlichen Unterricht lässt sich dieses Konzept dadurch erweitern und vertiefen, dass z.B. die Zusammenhänge über Strahlensätze präzisiert werden. Der Begriff Schatten kann differenziert werden in Kern-, Halb- und Übergangsschatten. Damit wird Schatten

präzisiert als relative Abwesenheit von Licht. Eine weitere Ausschärfung des Fachkonzepts Schatten findet in der Oberstufe statt, wenn Interferenzversuche die Vorstellung von der geradlinigen Lichtausbreitung in Frage stellen. Wird das Fachkonzept Schatten derartig angereichert und über die Grenzen der Optik hinaus ausgeweitet, dann wird deutlich, dass es Sinn macht, Schatten als Teilkonzept unter das Konzept von Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie einzuordnen. Das Beispiel soll deutlich machen, wie Verständnis mit kleinen zusammenhängenden Strukturen beginnt, die zunehmend ausgeschärft und angereichert und dann ggf. wieder in neue übergeordnete Strukturen eingefügt werden.

3 Hindernisse bei der Umsetzung der Forderungen

Der Umsetzung der im Abschnitt 2 genannten Forderungen steht eine Reihe von Schwierigkeiten und Hindernissen entgegen.

Unsicherheit über das anzustrebende Anspruchsniveau

Hinsichtlich der Frage, was inhaltlich anspruchsvollen naturwissenschaftlichen Sachunterricht auszeichnet, herrscht unter Lehrkräften, aber auch unter Sachunterrichtsdidaktikern kein Konsens. Mit dem Ziel, die kognitiven Möglichkeiten von Grundschulkindern auszuloten, wurden in den letzten Jahren Unterrichtskonzepte ausgearbeitet, die einer Vorverlagerung von Unterricht aus der Sekundarstufe I in die Grundschule z.T. nahe kommen (z.B. Haider, M. 2008, Haider, Th. 2010, Heran-Dörr 2009, Rachel 2010). Angesichts der erheblichen Schwierigkeiten, die nicht nur Schülerinnen und Schüler, sondern auch Sachunterrichtsstudierende mit bestimmten naturwissenschaftlichen Konzepten wie dem Teilchenmodell, dem Kraftbegriff oder den Modellen für den elektrischen Strom haben, ist nicht zu erwarten, dass diese Themen in der Unterrichtspraxis in der Breite Einzug finden werden. Viele Lehrkräfte (insbesondere diejenigen, die keine Ausbildung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht durchlaufen haben) werden nicht in der Lage sein, diese Themen kompetent mit Schülerinnen und Schülern zu erarbeiten. Werden die Erwartungen zu hoch gesteckt, besteht die Gefahr, dass der Unterricht in Oberflächlichkeiten stecken bleibt und bei den Kindern nicht eine kritische Haltung des Hinterfragens und selbständigen Nachdenkens aufgebaut wird, sondern eher einem unkritischen Konsumieren und Reproduzieren von Fakten Vorschub geleistet wird.

Auch wenn empirische Studien zeigen, dass in gut vorbereiteten Lernumgebungen mit kompetenten Lehrkräften bestimmte fachliche Zusammenhänge bereits von Grundschulkindern erfasst werden können, muss auch die Frage gestellt werden, inwieweit sich für die Schülerinnen und Schüler der Grundschule ein Sinn in der Auseinandersetzung erschließt. Darauf weisen auch Giest und Pech im Tagungsband der GDSU-Tagung 2009 hin, die „Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht“ zum Thema hatte: „Anschlussfähigkeit der Bildung im Sachunterricht bedeutet, jene Kernkonzepte und Basiskompetenzen im Unterricht zu thematisieren, die ein erfolgreiches Lernen in den Fächern der Sekundarstufe grundlegen. Dazu gehört aber auch, dass dieses Wissen sinnstiftend, persönlich bedeutsam, d.h. eingebettet in Lebenszusammenhänge erfolgt. Zu verhindern ist eine in der Praxis vorzufindende Orientierung auf das Einlernen mehr oder weniger zusammenhanglosen Faktenwissens.“ (Giest & Pech 2010, S. 18)

Begrenzter Spielraum für naturwissenschaftliche Themen im Sachunterricht

Zu einer Verbesserung der Anschlussfähigkeit an den nachfolgenden naturwissenschaftlichen Unterricht scheint notwendig zu sein, die Themen des Sachunterrichts stärker verbindlich festzulegen. Allerdings zieht Sachunterricht seine besondere Stärke auch daraus, dass er sich an den Fragen und Bedürfnissen der Kinder orientiert und sich bietende Lerngelegenheiten konstruktiv aufgreift. Hinzu kommt, dass im Sachunterricht die verschiedenen fachlichen Perspektiven nicht isoliert nebeneinander stehen, sondern bewusst die Verknüpfung der Perspektiven gesucht wird. Der Kanon der verbindlich zu bearbeitenden naturwissenschaftlichen Themen muss deshalb eher klein gehalten werden, damit noch ausreichend Freiräume für eine an die jeweilige Lerngruppe angepasste Unterrichtsgestaltung bleiben.

Einen guten Einblick darin, welchen Anteil die Naturwissenschaften im Sachunterricht aktuell ausmachen, gibt eine Untersuchung von Pia Altenburger (2010). Sie hat die Klassenbücher von 30 Schulklassen der Jahrgangsstufe 3 und 4 in Baden-Württemberg ausgewertet und die dort verzeichneten Themen den 5 Perspektiven des Sachunterrichts zugeordnet. Dabei zeigt sich, dass sowohl in Klasse 3 als auch in Klasse 4 die naturwissenschaftlichen Themen im Vergleich zu den anderen Perspektiven des Sachunterrichts überwiegen (Klasse 3: 53% (48h), Klasse 4: 38% (43h)). Technische und historische Themen werden sehr selten unterrichtet: Technische Themen zu 4%, historische Themen zu 10%. Angesichts der Bedeutung, die zweifellos auch den nicht-naturwissenschaftlichen Perspektiven des Sachunterrichts zukommt, ist ein größerer Anteil der Naturwissenschaften im Sachunterricht kaum zu rechtfertigen. Bei den naturwissenschaftlichen Themen wiederum entfällt etwa die Hälfte der Unterrichtszeit auf die Biologie. Physikalische Themen im Sachunterricht der Klasse 3 nehmen etwa 17 Stunden in Anspruch, in Klasse 4 etwa 10 Stunden, chemische Themen finden sich in Klasse 3 und 4 zusammen genommen in durchschnittlich 7 Stunden.

Auch über die bearbeiteten Themen gibt die Studie Aufschluss: „In den Klassen 3 und 4 konnten insgesamt zehn physikalische Themen identifiziert werden. Von nahezu allen dreißig Sachunterrichtslehrkräften wurde in Klasse 3 oder 4 das Thema Wetter (MW = 9,1h), Wasser (MW = 4,3h) und Wärme & Temperatur (MW = 2,8h) unterrichtet. Die Hälfte der Sachunterrichtslehrkräfte behandelt das Thema Elektrischer Strom mit durchschnittlich 9,9 Stunden im Unterricht. Luft (MW = 6h), Weltall (MW = 5,2h) oder Magnetismus (MW = 7,2h) werden von weniger als einem Drittel der Sachunterrichtslehrkräfte gewählt. Selten sind die Themen Schall, Licht & Farben oder Fliegen“ (S. 234).

Nimmt man diese Ergebnisse als Maßstab, kommt man zu dem Schluss, dass pro Schuljahr mehr als zwei gründlich bearbeitete Themen aus dem Bereich Physik/Chemie nicht realistisch sind.

Anschlussmöglichkeiten werden von weiterführenden Schulen kaum genutzt

Die Abstimmung des Sachunterrichts mit dem weiterführenden Unterricht wird dadurch erschwert, dass der Anschluss in den verschiedenen Bundesländern und in den verschiedenen Schularten unterschiedlich geregelt ist. Wenn in Klasse 5 und 6 ein naturwissenschaftlicher Unterricht erteilt wird, greift er häufig auf Themen zurück, die

im Sachunterricht bereits bearbeitet wurden (Luft, Wasser, Aggregatzustände, Wasserkreislauf, Magnetismus, Schall) (Wodzinski 2006). Grundsätzlich ist festzustellen, dass Lehrkräfte der weiterführenden Schulen meist wenig Einblick in die Arbeit der Grundschulen haben und das Bedürfnis nach Austausch mit den Grundschulen eher gering ist.

4 Ansatzpunkt Basiskonzepte

Bei der Frage, wie Sachunterricht das Anbahnen von Fachkonzepten unterstützen kann, fällt der Blick unweigerlich auf die Basiskonzepte. Sie wurden in den Bildungsstandards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe verankert, um „den Schülerinnen und Schülern kumulatives Lernen (zu) erleichtern.“ (KMK 2005, S. 8). Basiskonzepte können verstanden werden als übergeordnete Fachkonzepte, die in besonderer Weise das naturwissenschaftliche Wissen strukturieren. Die von der KMK formulierten Basiskonzepte der drei Naturwissenschaften sind:

Physik	Chemie	Biologie
Materie	Stoff-Teilchen-Beziehung	System
Wechselwirkung	Struktur-Eigenschafts-Beziehung	Struktur und Funktion
System	Chemische Reaktion	Entwicklung
Energie	energetische Betrachtung bei Stoffumwandlungen	

Basiskonzepte sollen im Sinne von Leitideen dazu beitragen, die fachwissenschaftlichen Inhalte zu strukturieren und über die Schuljahre hinweg vertikal, sowie zwischen den drei Naturwissenschaften horizontal zu vernetzen (KMK Chemie, 2004).

Unklar ist jedoch, welche Bedeutung die Basiskonzepte konkret im Unterricht einnehmen sollen. Dienen sie lediglich als Planungshilfe für die Lehrkraft, um sicherzustellen, dass die Schülerinnen und Schülern über eine hinreichende Basis verfügen, ihr Verständnis der Basiskonzepte ausdifferenzieren zu können oder soll explizit immer wieder der Bezug zu den Basiskonzepten hergestellt werden? Um beim obengenannten Beispiel zu bleiben: Soll schon in der Grundschule das Thema „Schatten“ explizit als eine besondere Form der Wechselwirkung von Licht und Gegenstand beschrieben werden, oder reicht es aus, darauf hinzuweisen, dass Schatten immer nur dann entsteht, wenn Licht auf einen Gegenstand fällt ohne den Begriff der Wechselwirkung zu thematisieren?

Schecker und Wiesner (2007) beziehen dazu bezogen auf den Unterricht der Sekundarstufe klar Position: „Für Schülerinnen und Schüler sind Leitideen am Anfang des Lernprozesses noch nicht hilfreich. Eine top-down-Strategie – zuerst die Leitideen einführen und dann an Beispielen veranschaulichen – widerspräche den Erkenntnissen über den Verlauf von Lernprozessen. Schülerinnen und Schüler benötigen zunächst

vielfältige Erfahrungen und Einsichten in den jeweiligen Sachgebieten. Dabei kommt es vorrangig auf den Zusammenhang innerhalb eines Sachgebietes an. Erst auf einer breiten Erfahrungsbasis lassen sich Vernetzungen mithilfe von Leitideen erreichen und stärken. Nur aus Sicht des fertig ausgebildeten Physikexperten scheinen sie geeignet zu sein, als Vorab-Orientierung das Lernen zu unterstützen. Für Schülerinnen und Schüler sind es im Prozess des Physiklernens zunächst noch inhaltsleere abstrakte Konzepte, deren Evidenz den Lernenden nicht durchgängig aufgezeigt werden kann.“ (Schecker & Wiesner 2007, S. 11) Was Schecker und Wiesner als Kritik an den Basiskonzepten für die Sekundarstufe I formulieren, gilt umso stärker für Basiskonzepte als Leitideen für den Sachunterricht.

Es darf nicht verschwiegen werden, dass die Auswahl der Basiskonzepte der Physik bei Lehrkräften und Fachdidaktikern auf deutliche Widerstände stößt. Während die Basiskonzepte in der Chemie und Biologie als akzeptabel erscheinen, erschließt sich vielen die Relevanz der Basiskonzepte „Wechselwirkung“ und „System“ nicht. Sie stellen sehr allgemeine Oberbegriffe dar, unter die ganz unterschiedliche Inhaltsfelder subsumiert werden. Deshalb ist fraglich, ob sie überhaupt zur Strukturierung beitragen (Schecker, Parchmann 2006). Die Kraftwirkung zwischen Körpern, die Reflexion von Licht an Spiegeln und der Schalltransport in Medien lassen sich zwar unter einer gemeinsamen Perspektive der Wechselwirkung einordnen, aber inwieweit diese neue Brille auf die Phänomene zur Erkenntnis beiträgt, bleibt fraglich.

Schon in den 1970er Jahren entwickelten Tütken und Spreckelsen in Anlehnung an das amerikanische Curriculum „Science Curriculum Improvement Study“ eine Konzeption für den Sachunterricht, die einerseits an zentralen Konzepten der Naturwissenschaften orientiert war und andererseits die Idee des Brunerschen Spiralcurriculums aufgreift (Tütken & Spreckelsen 1970). Die zentralen Konzepte sind hier Teilchenstruktur, Wechselwirkung und Erhaltung, wobei Erhaltung auch Energie einschließt. Die Konzepte sind den aktuell diskutierten Basiskonzepten ähnlich. Letztlich sind die Reformbemühungen der 70er Jahre daran gescheitert, dass die stark vorstrukturierten Materialien den Kindern wenig Möglichkeit boten, eigene Fragen und Interessen einzubringen. Daraus ergaben sich Motivationsprobleme. Auch überforderte der Unterricht offenbar Kinder und Lehrkräfte (Feige 2009, Möller 2001). Lauterbach urteilte in den 1990er Jahren: „Grundschul Kinder lernen nicht, die naturwissenschaftlichen Fachbegriffe zu verstehen, sondern bestenfalls Wörter, die für sie stehen, assoziativ und grammatikalisch korrekt zu gebrauchen“ (Lauterbach 1992, S. 205).

5 Überlegungen zu möglichen Basiskonzepten für den Sachunterricht

Demuth und Rieck (2005), sowie Demuth und Kahlert (2007) haben in den SINUS-Modulen G 3 und G 10 erstmals den Versuch unternommen, von den Basiskonzepten der Sekundarstufe ausgehend grundschulgerechte Basiskonzepte für den Sachunterricht zu entwickeln. Dabei geht es im Kern um Konzepte, die denen von Tütken und Spreckelsen sehr nahe kommen, nämlich Erhaltung der Materie, Teilchenstruktur der Materie, Wechselwirkung und Energie.

Im Folgenden soll deshalb der Blick etwas genauer darauf gelenkt werden, welche Bedeutung diese Konzepte für den Sachunterricht haben können.

5.1 Das Konzept der Erhaltung der Materie

Das Konzept der Materie beinhaltet insbesondere ein Verständnis von der Erhaltung der Materie, das im Sachunterricht sinnvoll vorbereitet werden kann. Zentral dafür sind die Themen Luft und Wasser, die zu den Standardthemen des Sachunterrichts gehören. In Tabelle 1 sind beispielhaft diejenigen Erfahrungsmöglichkeiten zusammengestellt, mit denen Sachunterricht zu einem Verständnis der Erhaltung der Materie beitragen kann. Die in der Tabelle aufgelisteten Aspekte sind wiederum nur ein kleiner Ausschnitt der unterrichtlichen Möglichkeiten, die die Themen Luft und Wasser im Sachunterricht bieten.

Im Hinblick auf Anschlussfähigkeit an ein Konzept der Erhaltung der Materie kommt es darauf an, die in der Tabelle aufgelisteten Erfahrungen Kindern zugänglich zu machen und auch im Sinne der Erhaltung der Materie (Luft, Wasser etc. ist nicht weg, nicht mehr oder weniger geworden) zu interpretieren. Selbstverständlich tragen auch andere Unterrichtsthemen zum Materiekonzept bei. Beispielsweise lassen sich im Rahmen einer Einheit zum Thema Müll Eigenschaften von Stoffen thematisieren. Der Erhaltungsaspekt lässt sich z.B. auch im Kontext von Umweltverschmutzung thematisieren. Ein Teilchenkonzept ist für die hier dargestellten Erkenntnisse nicht erforderlich.

Tabelle 1: Erkenntnismöglichkeiten im Sachunterricht zum Konzept der Erhaltung der Materie

fachlicher Aspekt	Phänomene oder Experimente	Erkenntnismöglichkeiten
Eigenschaften von Luft	<p>umgestülptes Glas oder Flasche in Wasserbecken tauchen, mit eng anliegender und weiter Kleidung rennen, etc.</p> <p>Luft in einer vorn verschlossenen Spritze zusammendrücken auf Sitzball/Luftmatratze, Fahrrad setzen</p>	<p>Luft begegnet uns in verschiedenen Gestalten (Wind, Luftballons, Atemluft, Luft um uns herum). Die Luft nehmen wir oft gar nicht wahr, aber sie ist immer da. Luft ist nicht nichts.</p> <p>Luft lässt sich zusammendrücken. Dabei geht keine Luft weg. Dieselbe Luft nimmt nur weniger Platz ein.</p>
fest – flüssig – gasförmig	<p>„Flaschengeist“, Luftballon auf Flasche durch Wärme aufblähen lassen, verschlossene Plastikflasche bei unterschiedlicher Temperatur beobachten</p> <p>Wasser gefrieren und wieder auftauen</p> <p>Wassertropfen im verschlossenen Glas erwärmen und wieder abkühlen Nachweis des Wassergehalts in der Luft durch Kondensation z.B. an Eisbehältern oder eisgekühlten Getränken</p>	<p>Luft dehnt sich bei Erwärmung aus. Dabei kommt keine neue Luft dazu. Dieselbe Luft nimmt nur mehr Platz ein.</p> <p>Eis ist gefrorenes Wasser. Eine bestimmte Menge ist gefroren und flüssig gleich viel Wasser. Gefrorenes Wasser ist nur in einem anderen (festen) Zustand. Gefrorenes Wasser braucht mehr Platz als flüssiges Wasser.</p> <p>Flüssiges Wasser kann sich in gasförmiges Wasser verwandeln. Das passiert beim Kochen (Verdampfen), aber auch beim Verdunsten. Das Wasser ist noch dasselbe Wasser. Es ist nicht weg. Es ist nur in einem anderen (gasförmigen) Zustand. Gasförmiges Wasser braucht sehr viel mehr Platz als flüssiges Wasser. Auch andere Stoffe können bei Erwärmung oder Abkühlung ihren Zustand verändern (z.B. Kunststoff, Blei, Eisen, Luft)</p>
Löslichkeit in Wasser	Lösen von Salz und Zucker in Wasser und trocknen	Salz und Zucker löst sich in Wasser. Es ist nicht weg, sondern noch immer im Wasser enthalten.

5.2 Das Teilchenkonzept

Das Teilchenkonzept ist ein weiteres zentrales Konzept, das dem Konzept der Materie untergeordnet ist und das in seiner Bedeutung für die Grundschule kontrovers diskutiert wird. Vor dem Hintergrund, Kinder frühzeitig an anspruchsvolle Konzepte der Naturwissenschaften heranzuführen, nimmt die Zahl der Befürworter des Teilchenkonzepts in der Grundschule wieder zu. So warf auch eine Ausbilderin für den Sachunterricht bei einer Fortbildung kürzlich die Frage auf, wie man im Unterricht den Versuch zum „Flaschengeist“ angemessen erklärt. Ihrer Ansicht nach sei der Versuch eigentlich nur über das Teilchenmodell zu erklären. Andere teilten diese Ansicht.


<p>Material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eine leere Flasche • eine 50 Cent-Münze <p>Versuchsdurchführung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stell die leere Flasche an einen kalten Ort (z. B. Kühlschrank). • Befeuchte den Rand der Öffnung mit einem nassen Finger. • Lege eine 50 Cent-Münze auf die Öffnung. Die Öffnung muss ganz abgedeckt sein. • Lege deine Hände um die Flasche. Warte ein wenig. • Beobachte und beschreibe. 	
--	---

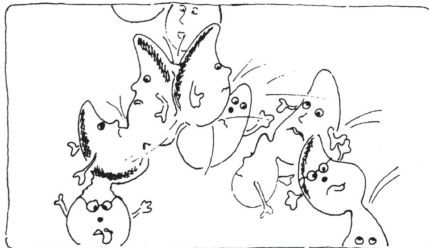
Abbildung 1: Anleitung zum Versuch „Flaschengeist“.

In ähnlicher Weise argumentieren auch Demuth und Rieck (2005) im Modul G3. Auch sie sind der Ansicht, das Verhalten der Luft z.B. beim Aufpumpen eines Fahrradschlauches sei nur zu verstehen, „wenn man annimmt, dass Gase aus kleinen, unsichtbaren Teilchen bestehen, die frei in Bewegung sind. Auf Grund dieser Bewegung verteilen sie sich gleichmäßig in jedem Raum, in den sie eindringen“ (S. 6). Tatsächlich haben Untersuchungen gezeigt, dass Kinder auch nach Unterricht zum Teilchenmodell dieses nicht zur Erklärung von Alltagsphänomenen verwenden (Seré 2007). Dies deutet darauf hin, dass sich Kindern der Erklärungswert des Teilchenmodells offenbar nicht erschließt. Auch ist ernsthaft zu fragen, wie sich denn Grundschul-kinder ein Teilchenmodell der Luft wirklich vorstellen sollen. Es ist bekannt, dass eine verbreitete Fehlvorstellung zum Teilchenmodell darin besteht, dass die Luftteilchen als „Teilchen in der Luft“ gedeutet werden. Die Vorstellung, dass zwischen den Teilchen tatsächlich nichts ist, überfordert selbst viele Erwachsene. Wenn Kinder sich vorstellen, dass sich die Teilchen überallhin ausbreiten, dann tun sie das vermutlich auf der Grundlage der Vorstellung, dass Luft sich überallhin ausbreitet und die Teilchen mitnimmt. Im Hinblick auf die Erhaltung der Materie ist der Versuch zum Flaschengeist dennoch er-giebig mit Kindern zu diskutieren. Anregungen für das tiefere Durchdenken könnten sein:

- Verschiebt sich vielleicht die Luft nur nach oben, und unten in der Flasche entsteht ein „Luftloch“?
- Steigt die Luft vielleicht nach oben, weil sie leichter geworden ist?
- Würde die Luft auch zur Seite aus der Flasche herausgehen, wenn die Öffnung seitlich wäre?

Auf diese Weise können Kinder angeregt werden, eigene Vorstellungen zu entwickeln, zu diskutieren und zu überprüfen. Das Teilchenmodell liefert für die Beschreibung und das Verstehen des Phänomens im Vergleich dazu für die Kinder keinen Erklärungswert. Im Gegenteil: Es unterstützt eher das Apportieren unhinterfragten Scheinwissens. Ein anderes Thema, bei dem das Teilchenmodell häufig vorgeschlagen wird, ist der Wasserkreislauf. Das Verdunsten von Wasser wird über Teilchen analogisiert. Auch hier gibt es unzählige Beispiele, die Fehlvorstellungen geradezu provozieren. Aus meiner Sicht zeichnet sich anspruchsvoller Sachunterricht auch dadurch aus, auf derartige Bilder zu verzichten. Mit einer Hinführung zum Teilchenmodell haben diese Vorstellungen nichts gemeinsam. Teilchen im Sinne des Teilchenmodells verlieren die Eigenschaften, die der Stoff besitzt. Wassermoleküle haben nicht die Eigenschaft, flüssig zu sein, Tropfenform zu haben oder Temperatur zu besitzen. Ein Wassermolekül ist eben kein ultrakleiner Wassertropfen.

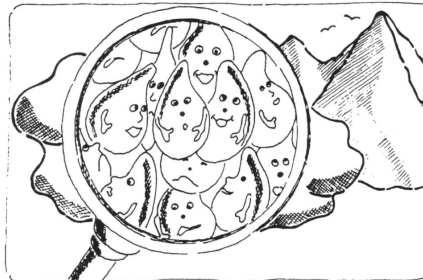
„Kommt doch her, wir wärmen uns!“, rief ein großes, dickes Wasserteilchen. Alle Wasserteilchen, die nach oben geflogen waren, bildeten jetzt kleine Gruppen. Auch das kleine Wasserteilchen hatte ein paar Freunde gefunden, mit denen es sich eng aneinander kuschelte. Zusammen waren sie jetzt so groß wie ein kleiner Tropfen. Platsch! Da waren sie mit einem anderen Tropfen zusammengestoßen, der dicker und langsamer war. Platsch! Wieder hatte ein Tropfen ihren Weg gekreuzt.



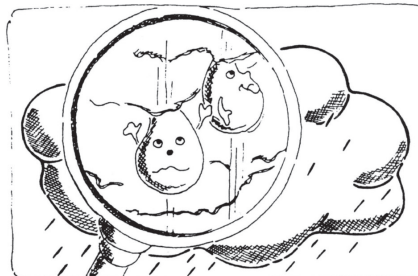
So wurden es immer mehr Wasserteilchen, die sich an der Gruppe des kleinen Wasserteilchens festhielten. Alle zusammen waren jetzt schon ein dicker, fetter Tropfen.

Das kleine Wasserteilchen schaute sich um. Überall ringsumher waren dicke Tropfen aus kleinen Wasserteilchen in der Luft. Und alle diese Tropfen zusammen bildeten eine Wolke.

Da kam ein großer Wind auf, der pustete die Wolke aus Wasserteilchen vom Meer weg, über das Land.



Bums! Platsch! Immer wieder stieß der Tropfen mit dem kleinen Wasserteilchen in der Mitte mit anderen Tropfen zusammen. Und er wurde immer schwerer und schwerer. Da näherte sich die Wolke einem Berg. Ganz schwer und dick, voller Regentropfen war sie jetzt. „Das schaffen wir nie, über den Berg!“, riefen einige Tropfen von weiter vorne. „Wir sind zu schwer!“ „Lasst euch fallen!“, rief ein anderer. Nach und nach ließen sich die Tropfen aus der Wolke fallen.



Wie könnte das Abenteuer des kleinen Wasserteilchen weitergehen? Schreibt die Geschichte zu Ende. Malt auch ein paar Bilder dazu! Schneidet die Bilder in dieser Geschichte aus und klebt sie in das große Bild „Der Kreislauf des Wassers“ ein.

aus: Kneip, Winfried; Stascheit, Wilfried: Wasser erleben und erfahren. Verlag an der Ruhr Mülheim 1990, S. 66.

Wichtiger ist stattdessen, anhand von Experimenten und Alltagserfahrungen deutlich zu machen, ...

- dass Wasser beim Verdunsten nicht einfach verschwindet.
- dass Wasser umso stärker verdunstet, je wärmer die Luft ist
- dass Luft tatsächlich Wasser enthält.
- dass Luft umso mehr Wasser enthält, je wärmer die Luft ist.
- dass das Wasser wieder kondensiert, wenn sich Luft abkühlt.

Sinnvoll kann aus meiner Sicht das Teilchenmodell bestenfalls im Zusammenhang mit Lösungsversuchen von Salz oder Zucker in Wasser vorbereitet werden. Dabei kann man sich die Kristalle in so kleine Teilchen zerlegt denken, dass man sie nicht mehr sehen kann. Das Wasser wird dabei nicht im Teilchenmodell betrachtet. Einen Unterrichtsvorschlag dazu haben Bäumer et al. (2009) vorgelegt. Entscheidend anders im Vergleich zum Teilchenmodell der Luft ist hier, dass Kinder angeregt werden, aus den Beobachtungen eigene Vorstellungen zu entwickeln. Solange diese von den Kindern selbst entwickelten Vorstellungen die Beobachtungen für die Kinder hinreichend erklären, ist dagegen nichts einzuwenden. Problematisch wird es dann, wenn man Kindern Vorstellungen aufdrängt, die keinen erkennbaren Erklärungswert haben und zudem Fehlvorstellungen und Missverständnisse nahe legen, die nicht geklärt werden können.

5.3 Das Konzept der Energie

Die Energiefrage ist eines der zentralen gesellschaftlichen Themen, das die öffentlichen Medien bestimmt. Es besteht deshalb weitgehend Konsens, dass die Grundschule im Sinne der Orientierung des Sachunterrichts an epochaltypischen Schlüsselproblemen an diese Thematik heranführen sollte. Inwieweit Sachunterricht über das Alltagswissen hinaus einen physikalischen Energiebegriff vorbereiten sollte, ist jedoch ernsthaft zu diskutieren (vgl. Staraschek 2008, Pahl et al. 2010). So urteilte Jung (1980): „Heute wird oft der Standpunkt vertreten, der Energiebegriff sei physikalisch so zentral, dass er auch im Physikunterricht schon möglichst früh eingeführt werden sollte. Ich vertrete ... den mehr konservativen Standpunkt, dass Strukturbegriffe wie Energie usw. nicht gleich am Anfang eingeführt werden sollten. Erst müssen genügend Inhalte gelernt werden, sonst können Strukturbegriffe nicht strukturieren. Sie laufen dann Gefahr, zu bloßen Leerformeln zu entarten, die alles oder nichts bedeuten.“ Erhebliche Schwierigkeiten mit dem Energiebegriff ergeben sich in der Abgrenzung zum Kraftbegriff auf der einen Seite und zum elektrischen Strom auf der anderen Seite. Diese Schwierigkeiten wird man in der Grundschule kaum auflösen können. Die Vorstellung, Energie sei das, womit man etwas tun kann, entspricht dem Alltagsverständnis und reicht für einen ersten Zugang zum Energiebegriff aus. Diese Vorstellung löst jedoch die begrifflichen Abgrenzungsprobleme nicht.

In der Physik sind im Zusammenhang mit dem Energiebegriff Begriffe wie Energieträger und Energieformen gebräuchlich. Diese Begriffe tauchen nicht selten auch in Grundschulmaterialien auf (z.B. auch bei Demuth & Rieck (2005)). Die nachfolgenden Ausführungen sollen zeigen, wie wenig eindeutig diese Begriffe belegt sind. In der Energiewirtschaft werden unter Energieträgern z.B. Kohle, Erdöl, Gas, Uran verstan-

den. Im Sprachgebrauch werden aber auch Quellen alternativer Energiegewinnung z.B. Geothermie, Solarenergie, Wasserkraft, etc. als Energieträger bezeichnet. In der Physik wird der technische Begriff des „Energieträgers“ auf Objekte und Körper erweitert, in denen Energie steckt. Ein Energieträger ist dann z.B. auch ein bewegter Körper, ein hochgehobener Stein, eine gespannte Feder, warme Luft usw.

Der Begriff der Energieformen (kinetische, potenzielle, chemische ... Energie) bezeichnet unterschiedliche „Erscheinungsformen“ der Energie. Sie werden manchmal mit Währungen verglichen, in denen man Energie darstellen kann und in die man Energie „umtauschen“ kann. Schwierig wird die Trennung zwischen der Energieform und dem Energieträger bei elektrischem Strom, Wärme und Licht. Alle drei werden sowohl im Sinne einer Energieform als auch im Sinne eines Energieträgers verwendet.

Man spricht z.B. davon, dass Energie aus Kohle in Strom und Wärme umgewandelt wird und meint damit genaugenommen, dass die chemische Energie, die in der Kohle steckt, in elektrische Energie und in Wärme umgewandelt wird. Der Energieträger für die elektrische Energie sind die im Stromkreis bewegten Ladungen. Die Wärme wird über Wärmeströmung, Wärmeleitung und Wärmestrahlung in die Umgebung transportiert. Im Fall der Wärmeströmung und der Wärmeleitung ist die Energie an Stoffe gebunden, die als Energieträger fungieren. Im Fall der Wärmestrahlung ist die Wärme an elektromagnetische Strahlung als Energieträger gebunden.

Der Karlsruher Physikkurs reagiert auf diese Schwierigkeit und verzichtet vollständig auf den Begriff der Energieformen. Stattdessen wird in den Vordergrund gestellt, mit welcher mengenartigen physikalischen Größe Energie transportiert wird. Energieträger sind in diesem Konzept Impuls (in der Mechanik), Entropie (in der Wärmelehre), elektrische Ladung (in der Elektrizitätslehre), Stoffmenge (in der Chemie) etc. (Herrmann 1995).

Die Ausführungen geben einen Einblick, mit welchen Schwierigkeiten die Begriffe Energieform und Energieträger verknüpft sind. Im Alltag kommt der Begriff der Energieform nicht vor. Von Energieträgern ist lediglich im energietechnischen Sinne zur Unterscheidung von fossilen und alternativen Energiequellen die Rede. Im Sachunterricht kann es deshalb nicht darum gehen, diese Begriffe im Sinne von Fachbegriffen vorbereiten zu wollen.

Dennoch können Kinder auch im Sachunterricht wertvolle Erfahrungen machen und an Zusammenhänge herangeführt werden, die für den späteren Unterricht von Bedeutung sind. So kommt Starauschek z.B. zu dem Schluss, dass im Sachunterricht zumindest eine Trennung zwischen der Energie und den Trägern der Energie angebahnt werden sollte, ohne dass der Begriff des Energieträgers eingeführt wird.

Meines Erachtens sollten Kinder am Ende der Grundschulzeit über folgende Kenntnisse im Zusammenhang mit der Energie verfügen:¹

- Energie wird benötigt für Licht, Wärme, Bewegung, um etwas zu heben und um Strom zu erzeugen. (Das heißt auch: Energie ist nicht dasselbe wie Licht, Wärme etc.)
- In Licht, Wärme, Bewegung und Strom steckt Energie. Auch in einem hochgehobenen Gegenstand steckt Energie. (Das heißt ebenfalls: Energie ist nicht dasselbe wie Licht, Wärme etc.)
- Energie steckt auch in Nahrung, in Brennstoffen, in Treibstoffen.

¹ Es wird in der Auflistung bewusst auf eine fachsprachlich korrekte Formulierung verzichtet.

- Die Energie im Strom kann man besonders vielseitig nutzen.
 - Öl, Gas, Kohle sind wichtige Energieträger, die allerdings nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen. (In diesem Kontext macht der Begriff des Energieträgers Sinn.)
 - Wind, Sonne und Wasserkraft können genutzt werden, um Strom zu erzeugen.
 - In traditionellen Kraftwerken wird immer ein beträchtlicher Teil der Energie in Wärme umgewandelt.
 - Die großtechnische Stromerzeugung ist im Prinzip mit der Stromerzeugung im Dynamo vergleichbar.
 - Sonnenkollektoren nutzen die Energie von der Sonne, um Wasser zu erwärmen.
 - Wir führen dem Körper über die Nahrung Energie zu, die für körperliche Betätigung benötigt wird.
- (vgl. Zolg & Wodzinski 2007, Kaiser 2010)

Wenn man auf die Unterscheidung verschiedener Energieformen verzichtet, lässt sich die Idee, dass Energie fließt bzw. Energie umgewandelt wird, dennoch verdeutlichen. Dies sei im Folgenden grob skizziert:

Zunächst können Beispiele gesammelt werden, in denen Energie aus der Steckdose für verschiedene Anwendungen genutzt wird. Dann werden andere Möglichkeiten gesammelt, dasselbe ohne Strom zu tun.

Mit elektrischer Energie ...

- kann man einen Mixer antreiben (und z.B. ein Milchmixgetränk herstellen),
- Wasser heizen,
- einen Lastenaufzug betreiben ...

Dasselbe kann man auch auf andere Weise tun. Man kann auch:

- einen Mixer mit der Hand betreiben (Handrührgerät),
- zum Heizen Holz verbrennen,
- Hebearbeit durch Wasserkraft verrichten (in alten Mühlen).

Während im ersten Fall die Energie aus der Steckdose stammt bzw. mit dem Strom transportiert wird, steckt sie im zweiten Fall in den Muskeln, im Holz, im strömenden Wasser.

Ein Teil der Energie, die in die Prozesse hineingesteckt wurde, ist am Ende wieder nachweisbar: Das Wasser ist heiß, ihm wurde Energie zugeführt. Auch die hoch gehobene Last hat Energie, die sie vorher nicht hatte. Dass auch dem Milchmixgetränk Energie zugeführt wurde, ist nicht so einfach einzusehen. Es lässt sich aber mit einem Thermometer nachweisen, dass auch hier Energie in das Getränk geflossen ist.

5.4 Das Konzept der Wechselwirkung

Das Konzept der Wechselwirkung wurde auch bei Tütken und Spreckelsen (1970) bereits als Konzept für die Grundschule vorgeschlagen. Auch Rieck und Demuth (2005) räumen der Wechselwirkung für die Grundschule eine hohe Bedeutung ein. Für ein tieferes Verständnis des Kraftbegriffs und der Newtonschen Mechanik ist das Konzept

der Wechselwirkung zentral.² Um das zu verstehen, muss der fachliche Zusammenhang kurz entfaltet werden.

Im Alltag ordnet man Kräfte Gegenständen oder Personen als Eigenschaft zu. Von einer rollenden Kugel würde man sagen, dass sie Kraft hat, und zwar umso mehr, je schneller sie sich bewegt. Ein Sportler hat Kraft. Er hat sie auch dann, wenn er schläft. In der Physik dagegen ist Kraft keine Eigenschaft von Körpern, sondern Kräfte beschreiben die Stärke der Wechselwirkung zwischen Körpern. Beide Wechselwirkungspartner sind dabei stets gleichberechtigt, unabhängig von der Art der Wechselwirkung.

Dies widerspricht dem Alltagsdenken. Im Alltag ist man es gewohnt, Situationen, in denen mehrere Körper miteinander wechselwirken, danach zu strukturieren, wer den aktiven Part einnimmt. Beispielsweise beim Zusammenstoß eines Autos mit einer Wand ist es das Auto, das den aktiven Part zugeschrieben bekommt. Der Wand würde man lediglich eine passive Rolle zuschreiben. In der Physik übt dagegen sowohl das Auto auf die Wand als auch die Wand auf das Auto eine Kraft aus. Beide Kräfte sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet – völlig unabhängig von den konkreten Bedingungen des Zusammenstoßes.

Kräfte auf einen Körper erkennt man in der Physik daran, dass sich die Bewegung des Körpers verändert. Wenn eine rollende Kugel langsamer wird, so folgt aus diesem Verständnis von Kraft, dass eine Kraft auf die Kugel ausgeübt wird. Sucht man den Wechselwirkungspartner, so sind dies der Boden und die umgebende Luft. Beide üben eine Reibungskraft auf die Kugel aus.

Eine Vorbereitung einer derartigen Sichtweise ist die Einsicht darin, dass der Boden und die Luft Einfluss auf die Bewegung nehmen. Eine solche Vorbereitung ist bereits in der Grundschule möglich. Dies mit Kräften beschreiben zu wollen, wäre in der Grundschule jedoch unrealistisch und würde vermutlich nur Fehlvorstellungen provozieren.

Das erste Newtonsche Axiom besagt, dass ein Körper sich unverändert mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortbewegt, wenn kein Körper eine Kraft auf ihn ausübt. Oder anders formuliert: Eine Veränderung der Bewegung setzt immer eine Wechselwirkung voraus. Mit diesem Satz ist ein Suchprogramm formuliert, bei Veränderungen von Bewegungen nach den Wechselwirkungspartnern zu suchen, die zu dieser Veränderung geführt haben. Mit dem zweiten Newtonschen Axiom $F = m a$ lassen sich auch die zugehörigen Kräfte quantifizieren.

Die Idee, dass keine Veränderung ohne Wechselwirkung geschieht, lässt sich über die Mechanik hinaus verallgemeinern. Genau das ist ein Aspekt des Basiskonzepts Wechselwirkung.

Im Alltagsverständnis dagegen gibt es viele Veränderungen, die ohne erkennbare Wechselwirkung vonstatten gehen. Selbst bezogen auf die natürliche Umwelt gilt im Alltagsverständnis, dass ...

- ein rollendes Fahrzeug von allein zur Ruhe kommt.
- eine angestoßene Schaukel von allein stehen bleibt.
- eine Batterie, die man lange liegen lässt, von allein unbrauchbar wird.
- der Ton einer angeschlagenen Gitarre von allein verstummt.
- eine Tasse Tee von allein abkühlt.

2 Auffällig ist, dass Themen der Mechanik im Zuge der Bildungsstandards wieder häufiger für den Sachunterricht vorgeschlagen werden.

Man kann diese Phänomene unter der Brille der Wechselwirkung betrachten und nach den Wechselwirkungspartnern suchen, die die Veränderung bewirken. Mir scheint aber, dass ein derartiger Ansatz für Grundschul Kinder nicht ertragreich ist. Um in den ersten beiden Fällen zu erkennen, dass die Veränderung Folge einer Wechselwirkung ist, bedarf es der Vorstellung einer Idealgestalt von Bewegungen, die auch mit dem Hinweis auf Bewegungen im Weltall alles andere als einfach zu akzeptieren ist.

Allerdings schließt eine gründliche Auseinandersetzung mit den Phänomenen immer auch mit ein, zu erkennen, wer alles am Phänomen beteiligt ist, d.h. zu erkennen, dass ...

- Schall durch Luft transportiert wird (Wechselwirkung Schallquelle – Luft – Ohr).
- Schall in Musikinstrumenten verstärkt wird (Wechselwirkung Schallquelle – Luft – Resonanzkörper).
- Wärme mit Luft abtransportiert wird (Wechselwirkung Wärmequelle – Luft).
- Wärme in Medien weitertransportiert wird (Wechselwirkung Wärmequelle – Umgebung).
- Licht von einem Gegenstand abgelenkt wird (Wechselwirkung Licht – Gegenstand).
- Licht an einem Spiegel in besonderer Weise umgelenkt wird (Wechselwirkung Licht – Spiegel).

Die Beispiele sollen zeigen: Verständnisfördernd ist nicht die Erkenntnis, dass Veränderungen Folge einer Wechselwirkung sind, sondern das gründliche Durchdringen der Phänomene selbst. Oder anders gesagt: Die Orientierung an der Leitidee der Wechselwirkung unterstützt das Verstehen nicht, aber die gründliche Arbeit an den Phänomenen schafft die Grundlage, um viel später verschiedene Phänomene in einem übergeordneten Kontext von Wechselwirkungen zu erfassen.

6 Andere Wege, um naturwissenschaftliche Fachkonzepte anzubahnen und Anschlussfähigkeit zu verbessern

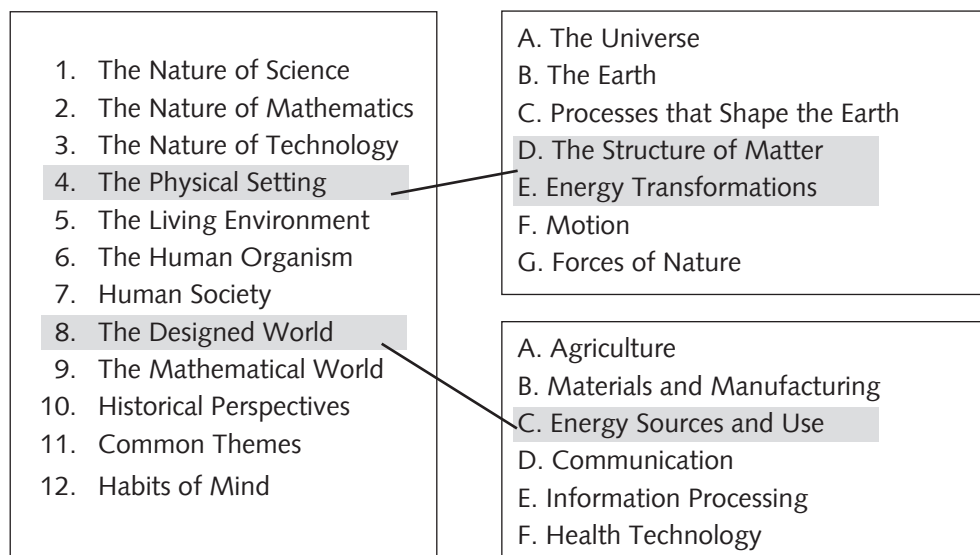
6.1 Das Projekt 2061 – Benchmarks for science education

In den USA wurde ein etwas anderer Weg verfolgt, um Anschlussfähigkeit im Bereich Science zu sichern. Im Projekt 2061 der American Association for the Advancement of Science (AAAS) wurden zwölf zentrale *Inhaltscluster* formuliert. Zu jedem Inhaltscluster sind für jeden Bildungsabschnitte (Kindergarten bis Klasse 2, Klasse 3–5, Klasse 6–8, Klasse 9–12) inhaltliche Ziele, die sogenannten „benchmarks“ formuliert, an denen sich Unterricht im Sinne von Minimalstandards orientieren soll. (Die „Benchmarks for scientific literacy“ wurden erstmals 1993 veröffentlicht und 2009 nochmals überarbeitet. Das Ergebnis dieser Arbeit ist in voller Länge im Internet zugänglich unter: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/>)

Ergänzend dazu ist im sogenannten „Atlas of Scientific Literacy“ in Form von Netzwerken für etwa 100 zentrale Konzepte der Naturwissenschaften aufgezeigt, wie die verschiedenen in den benchmarks formulierten Inhaltsaspekte zusammenwirken und sich wissenschaftliches Verständnis aufbauen kann. Beispiele solcher Netzwerke sind ebenfalls im Internet zugänglich. (<http://www.project2061.org/publications/atlas/>).

Auch bei diesem Ansatz steht strukturiertes und vernetztes Wissen im Zentrum, allerdings ohne dies auf einige wenige exponierte Konzepte zu reduzieren.

Die Inhaltscluster sind in der nachfolgenden Übersicht aufgelistet. Inhalte, die bei uns dem naturwissenschaftlichen Sachunterricht zugeordnet würden, findet man vorrangig in den Clustern 1 (allg.), 4 (Physik), 5 und 6 (Biologie) und 8 (Chemie). Jedes dieser Cluster ist nochmals untergliedert, beispielhaft ist das in der nachfolgenden Übersicht für die Cluster 4 und 8 gezeigt.



Um die Tragweite dieses Ansatzes beurteilen zu können und Vergleiche zu den Ausführungen von oben herzustellen, sind beispielhaft die konkreten inhaltlichen Ziele für die hervorgehobenen Bereiche 4D, 4E und 8C in deutscher Übersetzung aufgeführt. Die Beispiele geben einen Eindruck davon, wie konkret die inhaltlichen Ziele des Unterrichts hier formuliert sind. Manchem mögen sie inhaltlich etwas dürftig erscheinen. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass hier nur eine kleine Auswahl dargestellt ist. Die Breite der vorgesehenen Themen ist im Vergleich zum Sachunterricht in Deutschland deutlich größer.

4 D: Die Struktur der Materie

Am Ende von Klasse 2 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- Gegenstände über ihre Eigenschaften beschrieben werden können. Einige Eigenschaften wie Härte oder Biegsamkeit hängen von dem Material ab, aus dem der Gegenstand besteht, andere Eigenschaften wie Größe oder Form sind davon unabhängig.
- man die Eigenschaften von Materialien verändern kann, aber nicht alle Materialien reagieren in gleicher Weise.

Am Ende von Klasse 5 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- Erhitzen und Abkühlen die Eigenschaften von Stoffen verändern kann, aber nicht alle Stoffe reagieren in gleicher Weise auf Erhitzen und Abkühlen.

- viele Veränderungen bei wärmeren Bedingungen schneller verlaufen.
- unabhängig davon wie Teile eines Objekts angeordnet sind, das Gewicht des gesamten Objekts immer gleich der Summe der Gewichte der Teile ist. Wenn ein Objekt in Teile zerbricht, haben die Teile zusammen immer das gleiche Gesamtgewicht wie das ursprüngliche Objekt.
- Materie aus Teilen zusammengesetzt werden kann, die zu klein sind, um sie ohne Vergrößerung sehen zu können.
- wenn ein neuer Stoff aus zwei oder mehr Stoffen zusammen gesetzt wird, es andere Eigenschaften als die Bestandteile hat.
- viele verschiedene Stoffe aus einer kleinen Anzahl von Grundbausteinen hergestellt werden können.
- Substanzen von Ort zu Ort verschoben werden können, aber sie erscheinen niemals aus dem Nichts, und verschwinden auch nicht einfach.
- alle Materialien bestimmte physikalische Eigenschaften, wie beispielsweise Stärke, Härte, Biegsamkeit, Festigkeit, Widerstandsfähigkeit gegenüber Wasser und Feuer und Wärmeleitfähigkeit, haben.
- Ansammlungen von Teilchen (Puder, Murmeln, Zuckerwürfel oder Holzklötzchen) Eigenschaften haben können, die die einzelnen Teilchen nicht haben.

4 E: Energieumwandlung

Am Ende von Klasse 2 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- die Sonne den Boden, die Luft und das Wasser wärmt.

Am Ende von Klasse 5 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- wenn man zwei Gegenstände aneinander reibt, beide wärmer werden. Ergänzend dazu: viele mechanische und elektrische Geräte werden wärmer, wenn man sie benutzt.
- wenn man wärmere Gegenstände mit kälteren zusammenbringt, die wärmeren kälter und die kälteren wärmer werden, bis beide die gleiche Temperatur haben.
- wenn man wärmere Gegenstände mit kälteren zusammenbringt, Wärme vom wärmeren zum kälteren transportiert wird.
- ein wärmerer Gegenstand einen kälteren durch Kontakt oder auf Distanz erwärmen kann.

8 C: Energiequellen und Nutzung von Energie

Am Ende von Klasse 2 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- Menschen Brennstoffe wie Holz, Öl, Kohle oder Gas verbrennen oder Elektrizität nutzen, um Essen zu kochen und das Haus zu heizen.

Am Ende von Klasse 5 sollten Schülerinnen und Schüler wissen, dass ...

- bewegte Luft und Wasser Maschinen antreiben kann.
- Sonnenlicht Geräte zum Laufen bringen kann.
- einige Menschen versuchen, Brennstoff zu sparen, um Ressourcen zu schonen, die Umweltverschmutzung zu reduzieren oder um Geld zu sparen.

6.2 Das Nuffield Projekt SPACE

Ein weiteres Beispiel für Bemühungen um eine fachliche Fundierung des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts im internationalen Rahmen stellt das englische Nuffield Projekt „Science Processes and Concept Exploration“ (SPACE) dar. In dem zugehörigen Lehrerhandbuch „Understanding Science Ideas“ (Black & Harlen 1997) werden zentrale naturwissenschaftliche Themen für die Lehrkräfte entfaltet und mit fachdidaktischen Überlegungen ergänzt. Zu jedem Thema sind zentrale Kernideen formuliert, die den fachlichen Gehalt des Themas kindgerecht auf den Punkt bringen und als inhaltliche Ziele angesehen werden können. (Die Überlegungen beziehen sich jeweils auf Unterricht bis zur 6. Klasse.) Für die physikalisch relevanten Themen ist die Auflistung der Kernideen im Anhang 1 zu finden. Das vollständige Lehrerhandbuch steht im Internet unter [http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/file/6727/Understanding Science ideas.pdf](http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/file/6727/Understanding%20Science%20ideas.pdf) zum Download bereit.

6.3 Ergebnisse einer Arbeitsgruppe zur Abstimmung der Fachinhalte zwischen Primar- und Sekundarstufe

Vor einigen Jahren fand sich eine kleine Arbeitsgruppe von Didaktikern aus dem Primar- und Sekundarbereich³ zusammen, um Wege zu finden, die physikalischen Inhalte der Primar- und der Sekundarstufe besser aufeinander abzustimmen und so die Anschlussfähigkeit zu verbessern (Wodzinski et al. 2005). Im gegenseitigen Austausch haben wir versucht, abzugrenzen, was Sachunterricht sinnvoll leisten kann, welche Bereiche eher der nachfolgende Unterricht übernehmen sollte und auf welche Fachkonzepte die Auseinandersetzung mit den Inhalten letztlich hinführt. Für die Arbeitsgruppe war vor allem die Verständigung über die Sache ein großer Gewinn. Am Ende der Arbeit wuchs jedoch ein gewisses Unbehagen darüber, dass die Überlegungen lediglich an den Inhalten orientiert waren und die Erkenntnismethoden dabei außen vor blieben. Als weitere Gefahr wurde von der Arbeitsgruppe gesehen, dass bei den fachlich gedachten Überlegungen integrative Themen des Sachunterrichts aus dem Blick geraten. Einige der in der Arbeitsgruppe erstellten Tabellen sind als Anhang 2 beigefügt. Sie sind nicht als fertige Produkte, sondern als Arbeitspapiere zu verstehen. Sie können sicherlich ein Anhaltspunkt sein, um sich über Ziele und Inhalte der Schulstufen zu verständigen, die oben genannten Bedenken sind jedoch nicht außer Acht zu lassen.

6.4 Naturwissenschaftliche Methoden vs. naturwissenschaftliche Konzepte

Die Ausführungen zeigen, dass der Weg hin zu fachlicher Fundierung und zu Anschlussfähigkeit nicht zwangsläufig über Basiskonzepte führt. Mir scheint, dass die Orientierung an den Basiskonzepten der Sekundarstufe I für den Sachunterricht tatsächlich weniger ertragreich ist, als dies auf den ersten Blick scheint.

3 Mitglieder der Arbeitsgruppe waren Claudia von Aufschnaiter, Otto Ernst Berge, Angela Jonen, Ernst Kircher, Hilde Köster, Kornelia Möller, Lydia Murmann und Rita Wodzinski.

Anspruchsvoller Sachunterricht ist möglicherweise weniger durch die Orientierung an bestimmten ausgewählten Fachkonzepten gekennzeichnet als vielmehr dadurch, dass im Sachunterricht überhaupt vernetztes und strukturiertes naturwissenschaftliches Wissen aufgebaut wird. Als ein Beispiel für anspruchsvollen Sachunterricht in diesem Sinn kann eine Unterrichtssituation zum Thema Luft in einer zweiten Klasse dienen. Die Lehrerin hatte mit den Kindern den bekannten Versuch durchgeführt, bei dem ein Luftballon in einer Flasche aufgeblasen wird (siehe Abb. 2)

Um diese Erfahrung möglichst vielen Kindern zu ermöglichen, kamen verschiedene Flaschen unterschiedlicher Größe zum Einsatz. Die Kinder machten dabei die nicht beabsichtigte Beobachtung, dass sich der Ballon besser aufblasen lässt, wenn die Flasche größer ist. Die Lehrerin bestätigte die Klasse darin, eine interessante Beobachtung gemacht zu haben, der sie in der nächsten Stunde genauer auf die Spur gehen wollten. Zur nächsten Stunde brachte sie eine besonders große Flasche mit. Sie klärte mit den Kindern zunächst, was sie aufgrund der Erfahrungen aus der letzten Stunde erwarteten: Wenn die Vermutung stimmte, dann musste das Aufblasen nun noch besser gehen, was sich im Versuch auch deutlich zeigte. Gemeinsam mit der Lehrerin versuchten die Kinder zu klären, woran das wohl liegen könnte. Sie arbeiteten heraus, dass dies an der Luft in der Flasche liegen muss und daran, dass jeweils unterschiedlich viel Luft in den Flaschen ist. Damit der Luftballon Platz hat, muss die Luft in der Flasche zusammengedrückt werden. Wenn viel Luft in der Flasche ist, dann lässt sich die Luft auch weiter zusammendrücken. Zur Überprüfung schlug die Lehrerin vor, nun mit dem Mund zusätzliche Luft in die verschieden großen Flaschen hineinzupressen. Auf diese Weise konnten die Kinder die Zusammenhänge noch einmal körperlich erfahren und aus anderer Perspektive verstehen: Je größer die Flasche ist, desto mehr Platz ist für zusätzliche Luft. Beim aufgeblasenen Luftballon passiert dasselbe. Es ist lediglich der Ballon um die zusätzliche Luft herum. Darum geht das Aufblasen in der großen Flasche leichter.

Rückblickend betrachtet wurden hier ausgehend von einer Beobachtung Fragen entwickelt, denen ernsthaft und sorgfältig auf den Grund gegangen wurde. Die Kinder entwickelten dabei aus den Erfahrungen heraus Vorstellungen zur Erklärung des Phänomens. Diese Vorstellungen wurden untereinander ausgetauscht, kritisch überprüft und auf die neue Situation des Hineinblasens von Luft angewendet. Die Kinder entwickelten dabei eigene Bilder von der unsichtbaren Luft in der Flasche. Diese Bilder kommen noch ganz ohne Teilchen aus, aber unterstützen dennoch die Vorstellung davon, was Luft ist und wie sich Luft verhält. Im Sinne der Basiskonzepte könnte man sagen: Die Luft wird als Wechselwirkungspartner für dieses Phänomen erkannt. Es werden zusätzlich Erfahrungen gesammelt, die zum Konzept der Erhaltung der Materie beitragen. Der besondere Reiz dieser Episode liegt darin, dass sie sich aus der Situation heraus zufällig entwickelt hat. Vor diesem Hintergrund macht der Unterricht in dieser Form Sinn. Hätte die Lehrerin die Beobachtung des unterschiedlichen Verhaltens bei unterschiedlich großen Flaschen gezielt provoziert, kann man zurecht die Frage stellen, welche Bedeutung dieses Phänomen in der Welt der Kinder einer 2. Klasse besitzt.

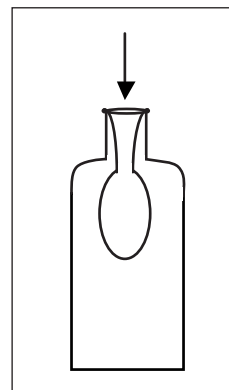


Abbildung 2:
Skizze zum Versuch

Im Hinblick auf die Anbahnung von Fachkonzepten kommt es aus meiner Sicht darauf an, dass Kinder an wenigen Themen gründlich und intensiv gearbeitet haben und einen ersten Einblick darin erhalten haben, was es bedeutet, einen Zusammenhang naturwissenschaftlich gründlich zu verstehen. Die Themen Luft, Wasser und Wetter zählen bereits zu den Standardthemen des Sachunterrichts und sind im Hinblick auf die Anbahnung eines Materiekonzeptes meines Erachtens unverzichtbar. Auch das Thema Energie gehört zweifellos in einen modernen Sachunterricht. Bei allen anderen denkbaren und im Sachunterricht gut umsetzbaren Themen (Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall, Spiegel) ist die Bedeutung im Hinblick auf die Anbahnung von Fachkonzepten meines Erachtens austauschbar. Hier kann und muss eine Auswahl getroffen werden. Um zusätzlich zu der unverzichtbaren vertieften Auseinandersetzung an wenigen Themen auch eine relative Breite von Erfahrungen zu ermöglichen, sollten auch Gelegenheiten gesucht werden, naturwissenschaftliche Aspekte als Facette eines integrativen Themas aufzugreifen (z.B. Kleidung => Wärmedämmung, Bauen => Stabilität und Schwerpunkt, Müll => Magnetismus, das alte Ägypten => Rolle und Rampe, Fahrzeugbau => Reibung etc.). Gerade die Verbindung mit technischen Themen bietet hier viele Möglichkeiten, die in der aktuellen Diskussion um die Stärkung der Naturwissenschaften vielleicht zu wenig genutzt werden.

7 Ansatzpunkte für die Arbeit an Schulen

Es ist deutlich geworden, dass die Wege hin zu einer fachlichen Fundierung des Sachunterrichts und zu einer Verbesserung der Anschlussfähigkeit noch unklar und diffus sind. Klarere inhaltliche Vorgaben könnten die Arbeit in den Schulen erleichtern, sie würden jedoch auch den Unterricht deutlich stärker reglementieren. Solange es derartige Vorgaben nicht gibt, können Schulen die Freiräume selbst gestalten.

Im Sinne eines produktiven Ineinandergreifens von Grundschule und weiterführenden Schulen erscheint mir ein erster wichtiger Schritt, dass die Lehrkräfte der Grundschulen und der weiterführenden Schulen sich als Personen begegnen, um sich über ihre inhaltliche Arbeit auszutauschen. Die Bereitschaft, sich um Anschlussfähigkeit zu bemühen und auf bestimmte Ziele hinzuarbeiten, steigt mit dem Gefühl, dass diese Vorbereitung auch geschätzt und genutzt wird.

Hinsichtlich der inhaltlichen Vorgaben in den Lehrplänen unterscheiden sich die Bundesländer sehr stark. Während einige Bundesländer sehr detaillierte Angaben darüber machen, welche Inhalte in welchen Klassenstufen bearbeitet werden sollen, fehlen in anderen Bundesländern Vorgaben über Inhalte nahezu vollständig. Im letzteren Fall wäre bereits viel geholfen, wenn sich benachbarte Grundschulen über einige Kerninhalte verständigen. Zu diesen Inhaltsfeldern können ausgehend von der Unterrichtspraxis wiederum wenige zentrale inhaltliche Ziele formuliert werden, so dass noch genügend Raum bleibt, um den Unterricht an die jeweiligen Lerngruppen individuell anzupassen. Wie detailreich die Ziele festgehalten werden, hängt letztlich auch davon ab, welche Bedeutung die Beteiligten dieser Vereinbarung beimessen. Beispiele für unterschiedlich weit reichende Formulierungen finden sich in den oben angegebenen Quellen. Die Vereinbarungen sollten als vorläufiger Zwischenstand verstanden und immer wieder neu überdacht und anhand der gemachten Erfahrungen angepasst werden.

Einen guten Anfangspunkt für eine gemeinsame Verständigung innerhalb des Grundschulkollegiums und zwischen den Schulstufen bieten aus meiner Sicht die Themen Luft und Wasser, da sie nicht nur in der Grundschule sondern auch in der Sekundarstufe standardmäßig vorkommen. Als hilfreich hat es sich erwiesen, die Ziele im Sinne von Erkenntnismöglichkeiten zu formulieren und zwar in einer Sprache, wie sie auch im Unterricht Verwendung finden könnte. Auch dazu liefern die obigen Beispiele Vorlagen. Ist der Anfang gemacht, kann arbeitsteilig an anderen Themen weiter gearbeitet werden.

In ähnlicher Weise kann und sollte auch die inhaltliche Abstimmung mit dem Elementarbereich umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- Altenburger, Pia; Starauschek, Erich (2011). Welchen Anteil haben physikalische Themen am Sachunterricht in Klasse 3 und 4? In: Höttecke, Dietmar (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Münster: Lit-Verlag. S. 232 – 234.
- Bäumer, Marcus; Dunker, Nina; Müller, Erwin; Claussen, Barbara; Meyer, Klaus; Carle, Ursula (2009). Atome schon im Sachunterricht? Unterricht Chemie, 114. S. 33-37.
- Black, Paul; Harlen, Wynne (1997). Nuffield Primary Science. Understanding science ideas. A Guide for primary teachers. London: Nuffield foundation.
- Demuth Reinhard; Kahlert, Joachim (2007). Übergänge gestalten. Modul G 10. Naturwissenschaften. SINUS-Transfer Grundschule. Kiel: IPN. Download unter: http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_STG/NaWi-Module/N10.pdf.
- Demuth, Reinhard; Rieck, Karen (2005). Schülervorstellungen aufgreifen – grundlegende Ideen entwickeln. Modul G 3. Naturwissenschaften. SINUS-Transfer Grundschule. Kiel: IPN. Download unter: http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_STG/NaWi-Module/N3.pdf.
- Feige, Bernd (2009). Der Sachunterricht und seine Konzeption. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Giest, Hartmut; Pech, Detlef (2010). Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. In: Giest, Hartmut; Pech, Detlef (Hrsg.). Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. S. 11-22.
- Grygier, Patrizia (2008). Wissenschaftsverständnis von Grundschulern im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Haider, Michael (2008). Der Stellenwert von Analogien für den Aufbau naturwissenschaftlicher Konzepte im Sachunterricht am Beispiel „elektrischer Stromkreis“. In: Höttecke, Dietmar (Hrsg.): Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Münster: Lit-Verlag. S. 283-285.
- Haider, Thomas (2010). Energie – ein Grundschulthema? Skizzierung eines möglichen Zugangs zu Energie in der Grundschule. In: Höttecke, Dietmar (Hrsg.): Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Münster: Lit-Verlag. S. 116-118.
- Heran-Dörr, Eva; Rachel, Alexander; Waltner, Christine; Wiesner, Hartmut (2009). Wie kann man sich vorstellen, dass aus Eisen ein Magnet wird? Eine Modellvorstellung für die Grundschule. In: Grundschulmagazin, 77. S. 35-41.
- Herrmann, Friedrich (1995). Der Karlsruher Physikkurs. In: Praxis der Naturwissenschaften, 44. S. 41-47.
- Jung, Walter (1980). Mechanik für die Sekundarstufe I. Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Kaiser, Astrid; Lüschen, Iris; Reimer, Monika (2010). Erneuerbare Energien in der Grundschule. Hohengehren: Schneider-Verlag.
- KMK (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Bildungsabschluss. München: Luchterhand.

- Köster, Hilde (2006). Freies Explorieren und Experimentieren – eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht. Berlin: Logos-Verlag.
- Lauterbach, Roland (1992). Naturwissenschaftlich orientierte Grundbildung im Sachunterricht. In: Riquarts, Kurt et al. (Hrsg.). Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Band 3: Didaktik. Kiel: IPN. S. 191-256.
- Möller, Kornelia (2001). Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften – Zielsetzungen und Forschungsergebnisse. In: Köhnlein, Walter; Schreier, Helmut (Hrsg.). Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. S. 275-298.
- Pahl, Eva-Maria; Peters, Sebastian; Komorek, Michael (2010). energie.bildung – Physik im Kontext von „Energiebildung“. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. (Internetzeitschrift)
- Rachel, Alexander; Heran-Dörr, Eva; Waltner, Christine; Wiesner, Hartmut (2010). Modellvorstellung zum Magnetismus: Vergleich Primar- und Sekundarstufe. In: Höttecke, Dietmar (Hrsg.): Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Münster: Lit-Verlag. S. 110-112.
- Schecker, Horst; Parchmann, Ilka (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 12. S. 45-66.
- Schecker, Horst; Wiesner, Hartmut (2007). Die Bildungsstandards Physik. Orientierungen – Erwartungen – Grenzen – Defizite. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 56. S. 5-13.
- Séré, Marie-Geneviève (2007). Der gasförmige Zustand. In: Müller, Rainer; Wodzinski, Rita; Hopf, Martin (Hrsg.). Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis.
- Starauscek, Erich (2008). Das Thema „Energie“ in der Grundschule. In: Höttecke, Dietmar (Hrsg.). Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung. Münster: Lit-Verlag. S. 167-169.
- Stern, Elsbeth, & Möller, Kornelia (2004). Der Erwerb anschlussfähigen Wissens als Ziel des Grundschulunterrichtes. In: Lenzen, D., Baumert, J., Watermann, R. & Trautwein, U. (Hrsg.). PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung. S. 25-36.
- Tütken, Hans; Spreckelsen, Kay (1970). Zielsetzung und Struktur des Curriculum. Frankfurt: Diesterweg.
- Wodzinski, Rita (2006). Zwischen Sachunterricht und Fachunterricht. Naturwissenschaftlicher Unterricht im 5. und 6. Schuljahr. In: Naturwissenschaften im Unterricht. Physik Heft 93. S. 4-9.
- Wodzinski, Rita; Möller, Kornelia; von Aufschnaiter, Claudia; Kircher, Ernst; Köster, Hilde; Murmann, Lydia; Berge, Otto-Ernst (2005). Physikalische Konzepte im Sachunterricht. In: Pitton, Anja (Hrsg.). Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Münster: Lit-Verlag. S. 419-420.
- Zolg, Monika; Wodzinski, Rita (2007). Energie im Fluss. Weltwissen Sachunterricht 3. S. 22-26.

Anhang 1

Kernideen zu physikalisch relevanten Themen aus dem Nuffield SPACE-Projekt

(Black & Harlen 1997, eigene Übersetzung)

Energie:

- Kraft ist nötig, um die Bewegung eines Gegenstands zu verändern (in Bewegung setzen, schneller machen, langsamer machen, zum Stehen bringen oder die Richtung ändern).
- Energie kann gespeichert werden.
- Energie kann übertragen werden, z.B. beim Aufheizen oder durch Kräfte, die etwas in Bewegung setzen.
- Reflexion: Energieübertragung kann auf viele verschiedene Arten geschehen.

Stromkreis:

- Damit Strom fließt, muss der Stromkreis geschlossen sein.
- Einige Stoffe, wie z.B. Metalle, leiten die Elektrizität (Leiter). Andere, wie z.B. Kunststoff leiten die Elektrizität nicht (Isolatoren).
- Schalter und andere Geräte können den Stromfluss stoppen oder verändern.
- Reflexion: Alle elektrischen Stromkreise sind Beispiele, in denen Energie übertragen wird z.B. Energie, die in der Batterie gespeichert ist, wird zur Lampe oder anderen Geräten übertragen.

Elektrizität im Haushalt:

- Elektrische Energie kann in Kraftwerken erzeugt werden.
- Elektrischer Strom transportiert elektrische Energie.
- Elektrische Energie kann genutzt werden, um Licht und Wärme zu erzeugen oder Dinge anzutreiben.
- Elektrizität kann sehr gefährlich sein.

Statische Elektrizität:

- Viele Gegenstände können elektrisch aufgeladen werden, auch wenn sie nicht Teil eines Stromkreises sind.
- Elektrische Ladung kann von Ort zu Ort und von Gegenstand zu Gegenstand transportiert werden.

Magnete:

- Magnete sind meistens aus Eisen oder aus Verbindungen mit Eisen.
- Magnete können sich anziehen und abstoßen.
- Magnete können Gegenstände aus Eisen und Stahl anziehen.

Schall:

- Töne können hoch oder tief, laut oder leise sein.
- Töne werden durch Schwingungen in Material erzeugt.
- Die Amplitude (das ist die Größe) der Schwingungen bestimmt die Lautstärke.
- Die Frequenz (das ist die Zahl der Schwingungen pro Sekunde) bestimmt die Tonhöhe.
- Schall breitet sich in alle Richtungen aus.
- Schall kann an Oberflächen reflektiert werden und so Echos erzeugen.
- Schall geht durch Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase hindurch.
- Schall bewegt sich fort und braucht dafür eine messbare Zeit.
- Schall breitet sich als Welle aus, d.h. die Substanz, durch die der Schall verläuft, gerät in Schwingungen.
- Reflexion: Musik besteht aus einer Reihe von Tönen mit einem erkennbaren Muster. Töne in der Musik werden dominiert von einer Schwingung bei einer festen Frequenz, die von Schwingungen größerer Frequenz (Obertöne) begleitet werden. Schall, der aus einer zufälligen Mischung von vielen Frequenzen besteht, wird Geräusch genannt.
- Schall kann mit Instrumenten wahrgenommen werden. Eines davon ist das menschliche Ohr.

Lichtquellen und Sehen:

- Licht kommt von verschiedenen Lichtquellen: primäre Lichtquellen, die das Licht direkt aussenden und sekundäre Lichtquellen, die das Licht reflektieren.
- Gegenstände können gesehen werden, weil sie entweder Licht aussenden oder Licht reflektieren.
- Gegenstände können gesehen werden, wenn Licht (von den Gegenständen) ins Auge kommt.

Spiegelungen und Schatten:

- Licht geht durch einige Stoffe hindurch, durch andere nicht.
- Die Lage, Form und Größe eines Schattens hängt von der Lage des Gegenstands im Verhältnis zur Lichtquelle ab.
- Licht prallt von Gegenständen ab.
- Licht bewegt sich geradlinig.

Farben:

- Verschiedene Farben können erzeugt werden durch Mischen von Farbstoffen oder durch Verwendung von Farbfiltern für Licht.
- Weißes Licht kann in verschiedene Farben aufgespalten werden.

Die Erde im Weltraum:

- Die Erde ist einer von neun Planeten in unserem Sonnensystem, die die Sonne umkreisen.
- Die Sonne ist ein Stern im Zentrum unseres Sonnensystems.
- Die Sterne (außer der Sonne) sind weit außerhalb unseres Sonnensystems.
- Die Sterne sehen aus, als bildeten sie Gruppen, diese nennen wir Sternbilder.

Zeitmessung:

- Die Erde benötigt 24 Stunden, um sich um sich selbst zu drehen.
- Die Erde benötigt 365 $\frac{1}{4}$ Tage, um sich um die Sonne zu drehen.
- Zeitmessung hängt zusammen mit der relativen Position von Erde, Sonne und Mond.
- Die Erde dreht sich und der Mond läuft um sie herum.
- Nacht gibt es, weil die Erde sich dreht. Es ist immer die Hälfte der Erde von der Sonne beleuchtet (Tag) und die andere Hälfte im Schatten (Nacht).

Jahreszeiten:

- Die Jahreszeiten entstehen durch die Verkippung der Erdachse. Winter ist da, wo sie Erde von der Sonne abgewandt ist.
- Die Verkippung der Erdachse macht die Tage kürzer und sorgt dafür, dass weniger Licht auf den Teil der Erdoberfläche fällt. Dadurch ist das Wetter kälter.

Anhang 2

Arbeitsergebnisse der Arbeitsgruppe AG Sachunterricht-Physik. Mitglieder der Arbeitsgruppe: Claudia von Aufschnaiter, Otto Ernst Berge, Angela Jonen, Ernst Kircher, Hilde Köster, Kornelia Möller, Lydia Murmann und Rita Wodzinski

Licht und Schatten

Wer verstehensfördernd zum Thema Licht arbeiten will, kommt nicht umhin, verschiedene Bedeutungen des Wortes „Licht“ zu unterscheiden, nämlich sichtbare Helligkeit an Lampen und anderen Lichtquellen, sichtbare Helligkeit auf beleuchteten Flächen, erlebte Raumhelligkeit und das tatsächlich nicht sichtbare Licht auf dem Weg zwischen der jeweiligen Lichtquelle und den Oberflächen, die sie beleuchtet. Im Folgenden ist mit „Licht“ (wenn das Wort ohne weitere Erläuterung verwendet wird) das vorgestellte (nicht sichtbare) Licht zwischen Quelle und Effekt gemeint. Von „Lichtstrahlen“ wird hier an keiner Stelle die Rede sein, weil die damit verbundenen Vorstellungen keiner Wirklichkeit entsprechen, sondern eigentlich Modellvorstellungen sind, die allzu oft als tatsächlich vorhanden betrachtet werden. Wir sprechen daher lieber von „gedachtem“ oder „vorgestelltem“ Licht, um einen naiven Realismus zu vermeiden.

Thematischer Aspekt	Erfahrungs- und Handlungsmöglichkeiten	Erkenntnismöglichkeit für Kinder bis Klasse 4	Erkenntnismöglichkeit in Klasse 5/6	damit zusammenhängende physikalische Konzepte
Licht				
Beziehung zwischen Lichtquellen und Beleuchtungseffekten	Lichtquellen selbst bewegen und deren Beleuchtungseffekte beobachten. Mit Taschenlampe an die Decke leuchten, Vorhersagen machen. Mit Schablonen zwischen Quelle und Effekte arbeiten, dabei zeigend, zeichnerisch, gedanklich Quelle und Effekte in Wegebeziehungen setzen.	Kausale Zusammenhänge zwischen Lichtquellen und sichtbaren Lichtphänomenen deuten. Richtungen und Wege der Lichtausbreitung erfahren. Zwischen „Beleuchtungsflecken“ (Effekte), heller Lichtquelle und „gedachtem Licht“ (zwischen Lichtquelle und Effekten) unterscheiden.	Zwischen sichtbarer hellerer Quelle und hellen Beleuchtungseffekten vermittelt Licht. Licht ist in der Physik eine Modellvorstellung. Geradlinigkeit der Lichtausbreitung. -> Elektromagnetische Strahlung	
Lichtwege untersuchen	Gegenstände in den Lichtweg halten und wahrnehmen, dass sie beleuchtet werden. (Sehr dunkle Umgebung, so dass außerhalb des Lichtkegels nichts sichtbar ist.) In absorbierend ausgekleideten Pappkarton oder Konservendose hineinleuchten, so dass Licht nur an der Lichtquelle sichtbar ist. Mit Kreidestaub oder Dampf Lichtbündel sichtbar machen, beobachten und beschreiben. Auch Hände, sehr kleine und große Gegenstände verwenden.	Obwohl man zwischen der Lichtquelle und dem Effekt nichts sehen kann, muss da etwas sein, denn sobald man etwas in diesen Weg hält ist es beleuchtet.	Beleuchtungseffekte sind mithilfe der Idee geradliniger Lichtausbreitung vorhersagbar.	Die Beleuchtung von Materie macht die Existenz von Licht wahrnehmbar.
Hindernisse im Lichtweg	Lichtdurchlässige und lichtundurchlässige Gegenstände in den Lichtweg halten und die Effekte hinter den Gegenständen untersuchen.	Licht kann von Hindernissen aufgenommen, wieder abgegeben oder durchgelassen werden.	Wechselwirkung zwischen Materie und Licht Absorption, Reflexion, Streuung und Transmission	
Indirekte Beleuchtung	Farbige Lichteffekte durch die Beleuchtung farbiger Gegenstände erzeugen: Mit „farblosem“ Licht, farbige Gegenstände anleuchten und Lichteffekte auf hellen Flächen in der Nähe der Gegenstände beobachten. (Hierzu ist eine gute Raumverdunklung notwendig.)	Gegenstände, die nicht selbst leuchten, können Licht abgeben. Farbige Gegenstände geben farbiges Licht ab, auch wenn man sie mit weißem Licht bestrahlt.	Lichtquellen können Gegenstände sein, die leuchten ohne selbst Licht zu „erzeugen“.	Sekundäre Lichtquellen (Streuung) Voraussetzung für die physikalische Erklärung des Sehvorganges
Selbstleuchter und Fremdleuchter	Verschiedene Lichtquellen danach sortieren, ob sie Selbstleuchter oder Fremdleuchter sind (z.B. Katzenauge, phosphoreszierenden Klebestern, Glühwürmchen, Mond, Bekleidung, Reflektorstreifen, Sonne, Sterne, Kerze, Kaminfeuer, Wand...).	Licht kann man umlenken und weiterleiten. Die Spiegelstellung bestimmt, wo das Licht hingeht. Lichtwege sind vorhersagbar.	Streuung / Reflexion Unterscheidung Sterne vs. Planeten (Astronomie)	
Mit Spiegeln Licht umlenken	Genaue Beobachtungen anstellen und beschreiben (ggf. recherchieren). Mit Lichtreflexen auf einer Wand Fangen spielen. Mit (mehreren) Spiegeln Licht von einer Lichtquelle um ein Hindernis zu einem Zielort umleiten. Lichtwege verfolgen und nachzeichnen.	Für die Lichtwege am Spiegel gilt das Reflexionsgesetz (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel. Einfallender Lichtstrahl, ausfallender Lichtstrahl und Lot liegen in einer Ebene.	Reflexion(sgesetz)	

Schattenbild und Schattenraum			
Schattenraum	Schattenräume visualisieren, indem sie mit Bauklötzen, Papierklumpen „aufgefüllt“ werden. Größere Schattenräume (z.B. umgekippter Tisch im Licht des Overheadprojektors) können die Kinder mit ihren eigenen Körpern füllen. Grenzen zwischen Licht- und Schattenräumen finden/erkunden. Form und Größe des Schattenbildes mit Form und Größe des Originals vergleichen. Zweierlei Alltagsverständnisse von Schatten („in den Schatten gehen“, „auf den Schatten gucken“) zuordnen.	Schatten ist von Licht umgeben, Schatten zusätzlich als Raum denken, Schatten ist mehr als der sichtbare flächige (und oft figurliche) Schatten: der Raum in der Luft gehört zum Schatten dazu. Flächige Schatten in der Vorstellung zum Schattenraum ergänzen.	Deutung des zweidimensionalen Schattens als Projektion
Veränderung von Schattenbildern			
Richtung verändern	Lampen von Gegenständen weg und auf sie zu bewegen. Gegenstände im Lichtweg von Projektionsflächen weg und auf sie zu bewegen. Unterschiedlich große Gegenstände so positionieren, dass ihre Schattenbilder gleich groß sind. Lichtwege an den Schattengrenzen mit den Händen nachvollziehen und durch Fäden oder Stäbe visualisieren.	Regelmäßigkeiten der Veränderungen bemerken und als erklärbar erfahren. Form und Größe des Schattenbildes sind vorhersagbar. Lichtwege sind geradlinig.	Projektionen, optische Abbildungen, Abbildungsmaßstab
Mehrfachschatten	Mit mehreren Lichtquellen gleichzeitig mehrere Schatten desselben Gegenstandes erzeugen. „Fußballerschatten“ erklären. Eine Lichtquelle bewegen und Schatten beobachten. Schattenbilder zeichnen. Einzelne Lichtquellen aus- und anschalten, Helligkeitsveränderungen beobachten.	Anzahl der Schatten entspricht Anzahl der Lichtquellen. Schatten mit Lichtquellen (nicht nur mit Körpern) in Beziehung setzen. Richtungsbeziehung zwischen Lichtquelle und Schatten erkennen. Schatten können je nach Beleuchtung unterschiedlich dunkel sein.	Relative Lichtintensitäten (kontinuierliche Helligkeitsskala), Schatten als relative Abwesenheit von Licht.
Farbiges Licht			
Farbige Lichtquellen & farbige Schatten	Mit mehreren farbigen Lichtquellen weiße Flächen beleuchten. Mit zwei farbigen Lichtquellen farbige Schatten erzeugen. Eine Lichtquelle bewegen und Schatten beobachten. Schattenbilder zeichnen. Einzelne Lichtquellen aus- und anschalten, Helligkeits- und Farbveränderungen auch der Umgebung der Schatten beobachten.	Z. B. rote und grüne Beleuchtung zusammen erzeugen weiß-gelbliche Beleuchtung. Farbe des Schattens stimmt nicht mit der Farbe des Lichts überein, das den Schatten erzeugt. Auch farbiges Licht verursacht graue/schwarze Schatten.	Additive Farbmischung (s.o.)
Farbige Lichtspektren, Regenbogen	Mit Prismen, Wassersprengern, Glaskanten usw. farbige Effekte erzeugen. Eine weiße Fläche mit verschiedenen farbigen Lichtquellen beleuchten. (5/6)	Regenbogen gibt es nicht nur am Himmel. Regenbögen kann man auch mit Wassersprengern erzeugen. Regenbogen am Himmel entstehen durch Wassertropfen. Farbige Lichteffekte können durch verschiedene durchsichtige Hindernisse entstehen. Wenn man auf den Regenbogen blickt ist die Sonne immer im Rücken.	Spektren, Lichteigenschaften, Physiologie.

Licht und Auge			
Wechselnde Helligkeit	Gewöhnung des Auges an Helligkeit und Dunkelheit erkunden.	Auge als in Grenzen anpassungsfähig an die Umgebung erfahren.	Auge als Lichtsensor
Pupillengröße	Pupille eines anderen Kindes bei wechselnder Helligkeit beobachten.	Pupille reagiert auf Helligkeit, Pupillen sind Öffnungen im Auge. Sie weiten sich, wenn es dunkel ist und verengen sich, bei starker Helligkeit. Dadurch wird reguliert, wie viel Licht in das Auge kommt, sodass man bei stärkerer Helligkeit nicht geblendet ist und bei wenig Licht trotzdem etwas sieht. Wenn man geblendet wird, kommt zuviel Licht ins Auge.	Auge als Lichtsensor. Differenzierung zwischen Pupille und Augeninnerem (Pupille als Blende).
Lochkamera	Lochkamera bauen. Lochkamera mit anatomischem Augenmodell vergleichen.		Auge als Lichtsensor. Differenzierung zwischen Pupille und Augeninnerem (Pupille als Blende).
Farbiges Licht			
Farbige Lichtquellen & farbige Schatten	Mit mehreren farbigen Lichtquellen weiße Flächen beleuchten. Mit zwei farbigen Lichtquellen farbige Schatten erzeugen. Eine Lichtquelle bewegen und Schatten beobachten. Schattenbilder zeichnen. Einzelne Lichtquellen aus- und anschalten, Helligkeits- und Farbveränderungen auch der Umgebung der Schatten beobachten.	Z. B. rote und grüne Beleuchtung zusammen erzeugen weiß-gelbliche Beleuchtung. Farbe des Schattens stimmt nicht mit der Farbe des Lichts überein, das den Schatten erzeugt. Auch farbiges Licht verursacht graue/schwarze Schatten.	Additive Farbmischung (s.o.)
Farbige Lichtspektren, Regenbogen	Mit Prismen, Wassersprengern, Glaskanten usw. farbige Effekte erzeugen. Eine weiße Fläche mit verschiedenen farbigen Lichtquellen beleuchten. (5/6)	Regenbogen gibt es nicht nur am Himmel. Regenbögen kann man auch mit Wassersprengern erzeugen. Regenbogen am Himmel entstehen durch Wassertropfen. Farbige Lichteffekte können durch verschiedene durchsichtige Hindernisse entstehen. Wenn man auf den Regenbogen blickt ist die Sonne immer im Rücken.	Weißes Licht kann man aus verschiedenfarbigem Licht mischen. Aus weißem Licht kann man Regenbogenfarben erzeugen (z.B. mit einem Prisma). Regenbogenfarben kann man zu weißem Licht zusammenführen (mit einer Linse). Spektren, Lichteigenschaften, Physiologie.

Luft und Luftdruck

Thematischer Aspekt	Erfahrungs- und Handlungsmöglichkeiten	Erkenntnismöglichkeit für Kinder bis Klasse 4	Erkenntnismöglichkeit in Klasse 5/6	damit zusammenhängende physikalische Konzepte
Luft ist „überall“	Luft unter Wasser aus einer Flasche herausblubbern lassen.	Luft ist etwas.	Luft als Entität im Raum verstehen.	
Luftwiderstand	Den Luftwiderstand bei eigener Bewegung erfahren: Laufen mit und ohne Regenschirm, Fahrrad fahren mit Regencap und eng anliegender Kleidung, ein Schwungtuch bewegen, Fallschirme bauen.	Luft bremst. Luft bietet jeder Bewegung einen Widerstand.	Gegenstände bieten der bewegten Luft einen Widerstand. Der Luftwiderstand ist derselbe, ob ein Körper in ruhender Luft bewegt wird oder bewegte Luft auf einen ruhenden Körper trifft. (Relativität der Betrachtung). Luftwiderstand ist hinderlich bei Gegenwind aber förderlich bei Rückenwind. Die Größe des Luftwiderstands hängt von der Form und Ausrichtung des Körpers im Luftstrom ab.	Strömungswiderstand
Wind	Brise und Windzug, Sturmschäden. Wind selbst machen: Fächeln von Luft (Fächer selber bauen). Pusten, mit Luftpumpe blasen.	Wind ist bewegte Luft. Luft ist nicht dasselbe wie Wind. Luft ist auch da, wenn kein Wind weht.	Vergleich Fahrtwind, echter Wind.	
Antrieb durch bewegte Luft	Wind als Antrieb bei Segelboot, Windmühle, Windrotor.	Wind treibt an. Wind wird technisch genutzt.	Stromerzeugung durch Windkraft.	
Masse	Fußball leer und mit der Luftpumpe aufgepumpt wiegen.	Luft hat Gewicht. 1 l Luft wiegt etwa 1,3 g. Luft als Körper verstehen.	Luft hat eine Dichte von 1,3 g/l.	
Raumbedarf	Ein umgestülptes Glas in Wasser eintauchen, Versuche zur „Taucherglocke“. Luft unter Wasser von einem Gefäß in einen anderen umfüllen. Spritze zusammendrücken, Atemvolumen messen.	Luft braucht Platz.		

Kompressibilität	Fahrradreifen und Luftpumpe untersuchen, Spritze zusammendrücken, Luftpolster bei verschiedenen Gegenständen suchen. Fokus auf Eigenschaften der Luft	Luft lässt sich zusammendrücken. Ein Luftpolster kann Stöße abfedern, weil Luft sich zusammendrücken lässt.	Je stärker Luft zusammendrückt ist, desto größer ist der Druck in der Luft.	
Luftdruck	Wie zuvor mit gleichen Objekten. Diesmal mit Fokus auf das Drücken und die erforderliche Kraftanstrengung (lässt sich nicht zusammendrücken/ „drückt zurück“, hebt andere Objekte an).		Luft unter Druck drückt zurück. Zusammenhang zwischen Druck und Kraft: Je größer der Druck in der Luft, desto größer ist die Kraft, die die Luft auf eine Fläche bestimmter Größe ausübt. Luftdruck der Umgebungsluft.	Druck in Gasen
Druckänderungen, Druckunterschiede, Vakuum	Phänomene mit Über- und Unterdruck untersuchen: Saugnäpfe an der Wand befestigen, Ei in Flasche zaubern.		Bei Überdruck in einem Behälter drückt die Luft innen stärker als außen. Bei Unterdruck in einem Behälter drückt die Luft außen stärker als innen. Die Phänomene lassen sich mit der Vorstellung vom Druck als Maß für das Gespresstsein der Luft beschreiben.	
Saugphänomene, aktives Saugen	Mit Strohhalm trinken, Staubsauger, Spritze aufziehen.			
Ausdehnung von Luft bei Erwärmung, Volumenvergrößerung	Ball, Luftmatratze in der Sonne beobachten, Flaschengeist (Münze auf Flasche mit feuchtem Flaschenrand, Flasche mit Händen erwärmen). Einen Luftballon mit einem Haarföhn erwärmen und die Größe messen. Luftballon auf Flaschenhals durch Erwärmen aufrichten (Flasche auch waagrecht und kopfüber erwärmen).	Luft dehnt sich bei Erwärmung aus.	(Fast) alle Körper, egal ob fest, flüssig oder gasförmig dehnen sich bei Erwärmung aus.	Allgemeine Gasgleichung
warme Luft steigt auf	Weihnachtspyramide, Kerze, Heißluftballon	Warme Luft steigt auf. Mit warmer Luft kann man Gegenstände in Bewegung versetzen.	Der Auftrieb eines Heißluftballons in kalter Luft ist vergleichbar mit dem Auftrieb eines Korkens in Wasser: Zusammenhang Auftrieb in Luft und Auftrieb in Wasser über Dichteunterschiede.	Auftrieb

Wärme und Temperatur

Thematischer Aspekt	Erfahrungs- und Handlungsmöglichkeiten	Erkenntnismöglichkeit für Kinder bis Klasse 4	Erkenntnismöglichkeit in Klasse 5/6	damit zusammenhängende physikalische Konzepte
Temperaturmessung	subjektives Temperaturempfinden: Verschiedene Gegenstände berühren (z.B. Metall vs. Holz oder Kunststoff), Wärmeempfinden vergleichen (Drei-Schalen-Versuch, Erfahrungen beim Schwimmen: kaltes Abtauchen suggeriert höhere Temperatur des Wassers im Schwimmbad). Typische Temperaturen messen (Badewasser, Tee, Milch aus dem Kühlschrank, Lufttemperaturen zu unterschiedlichen Zeiten, an unterschiedlichen Orten etc.) und vergleichen. Verschiedene Thermometer kennen lernen und nach verschiedenen Kriterien vergleichen und ordnen (z.B. Messbereich, digital vs. analog, Einsatzbereiche, Oberflächen- und Einstechthermometer)	Verschiedene Gegenstände fühlen sich unterschiedlich warm an (bei Zimmertemperatur fühlt sich Metall kälter an als Holz). Wie warm sich ein Gegenstand oder eine Flüssigkeit anfühlt hängt davon ab, wie warm die Hand/der Körper vorher war. Weil das Wärmeempfinden uneindeutig ist, braucht man Thermometer. Ein Thermometer macht es möglich, sich eindeutig über Temperaturen zu verständigen. (Die Temperatur ist ein objektives Maß). Es gibt viele unterschiedliche Thermometer. Das benutzte Thermometer muss für die Messung geeignet sein.	Gegenstände und Flüssigkeiten, die lange beieinander liegen haben die gleiche Temperatur. Instrumente wie das Thermometer machen Sinneseindrücke vergleichbar. Bei Temperaturmessungen entstehen Fehler durch zu kurze Messdauer, unterschiedliche Genauigkeiten der Skalen oder ungenaue Eichung.	Unterscheidung Wärme – Temperatur, thermisches Gleichgewicht (nullter Hauptsatz)
Aufbau Flüssigkeitsthermometer	Vorversuch zum Flaschenthermometer: Flüssigkeit durch Erwärmung in einem Steigrohr aufsteigen lassen. Flaschenthermometer bauen, Thermometerskala eichen.	Flüssigkeiten dehnen sich beim Erwärmen aus (brauchen mehr Platz). Ein Alltagsgerät durchschauen: Das Flüssigkeitsthermometer basiert auf der Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten. Die Skala erhält man durch Vergleichsmessungen. Unterschiedliche Thermometer haben unterschiedliche Skalen.	Verschiedene Thermometerskalen (°C, R, F) vergleichen: Skalen lassen sich unterschiedlich festlegen. Verschiedene Funktionsprinzipien von Thermometern unterscheiden (Bimetallthermometer, Gasthermometer, elektr. Thermometer, Flüssigkristallthermometer).	Entwicklung von Messverfahren
unterschiedliche Ausdehnung von Flüssigkeiten bei Erwärmung	verschiedene Flüssigkeiten im Hinblick auf ihr Ausdehnungsverhalten untersuchen		Die Ausdehnung hängt u.a. vom Material ab.	Ausdehnungskoeffizient
Erwärmen	Gegenstände/Körperteile durch Reiben erwärmen. Gegenstände unterschiedlichen Materials (Löffel, Stäbe) zur Hälfte im Wasser stehend erwärmen. Erwärmung vor Heizkörpern oder offenem Ofen/Feuer fühlen. Die Erwärmung von Körpern bei Bestrahlung mit Sonne und Rotlicht fühlen. Vergleich der Aufheizung von weißen und schwarzen Flächen. Verschiedene Möglichkeiten, etwas zu erwärmen, vergleichen und ordnen (auch ungewöhnliche Dinge benennen wie Videorecorder, Kühlschrank, Computer...).	Gegenstände kann man mithilfe von wärmeren Gegenständen erwärmen aber auch dadurch, dass man sie aneinander reibt. Manche Gegenstände werden schneller warm als andere (z.B. Holz/Plastik vs. Metall). Gegenstände mit schwarzer Oberfläche werden in der Sonne wärmer als weiße. Sonne als wichtige Wärmequelle begreifen	Wärme wird vom Körper höherer Temperatur auf den Körper mit niedrigerer Temperatur übertragen. Unterschiedliches Material leitet die Wärme unterschiedlich gut. Unterscheidung gute und schlechte Wärmeleiter. Wärme wird durch Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion übertragen. Wärmequellen können entsprechend unterschieden werden.	Wärmetransport: Wärmeleitung, Wärmestrahlung, Konvektion

Abkühlen und Erwärmen in der Umgebung	Badewasser kühlt ab, Tee wird kalt. Speiseeis schmilzt, und zwar im Sommer schneller als im Winter. Abkühlen durch Messen von Temperaturen nachvollziehen. Schmelzen genau beobachten.	Gegenstände, die wärmer oder kälter sind als die Umgebung (und die nicht erwärmt werden), haben nach einer gewissen Zeit die gleiche Temperatur wie die Umgebung.	Die Umgebung ist auch eine Wärmequelle. Je größer die Temperaturdifferenz, umso schneller nähern sich die Temperaturen an.	nullter Hauptsatz
Isolieren	Verschiedene Möglichkeiten erproben oder untersuchen, wie man die Abkühlung von Körpern behindern kann. (z.B. verschiedene Gefäße, geschlossen-offen, einwickeln, ...). Verschiedene Möglichkeiten erproben oder untersuchen, wie man die Abkühlung von Körpern beschleunigen kann (z.B. verschiedene Gefäße, Material und Form, mehrfach Urmfüllen, Pusten, ...). Verschiedene Möglichkeiten erproben oder untersuchen, wie man die Erwärmung von Körpern behindern kann. (z.B. Isoliertaschen, geschlossene und offene Gefäße, Gefäße einwickeln)	Mit manchen Materialien kann man besser warm halten als mit anderen. Mit manchen Materialien kann man besser kalt halten als mit anderen. Materialien, die Warmes warm halten, halten auch Kaltes kalt. Solche Stoffe nennt man Wärmeisolatoren. Das Behindern von Erwärmung oder Abkühlung nennt man Isolieren.	Wärmeisolatoren sind schlechte Wärmeleiter. Wärmeisolation bedeutet Verhindern des Wärmetransports. Notwendigkeit der Festlegung einheitlicher Randbedingungen für einen fairen Vergleich.	Druck in Gasen
Sonnenkollektor	Einen Sonnenkollektor nachbauen (Wasser fließt durch einen schwarzen Schlauch im luftdicht abgeschlossenen, durchsichtigen Kasten)	Ein Sonnenkollektor nutzt die Wärmestrahlung zum Erwärmen von Wasser.	Bei Überdruck in einem Behälter drückt die Luft innen stärker als außen. Bei Unterdruck in einem Behälter drückt die Luft außen stärker als innen. Die Phänomene lassen sich mit der Vorstellung vom Druck als Maß für das Gespresstsein der Luft beschreiben.	
warme Luft steigt auf	Weihnachtspyramide, Kerze, Heißluftballon	Warme Luft steigt auf. Mit warmer Luft kann man Gegenstände in Bewegung versetzen.	Der Auftrieb eines Heißluftballons in kalter Luft ist vergleichbar mit dem Auftrieb eines Korkens in Wasser. Zusammenhang Auftrieb in Luft und Auftrieb in Wasser über Dichteunterschiede.	Auftrieb



Programmträger: IPN, Kiel
Projektleitung: Prof. Dr. Olaf Köller
www.ipn.uni-kiel.de



SINUS an Grundschulen
Projektkoordination am IPN: Dr. Claudia Fischer
Tel. +49(0)431/880-3136
cfischer@ipn.uni-kiel.de
www.sinus-an-grundschulen.de

Ministerium
für Bildung und Kultur
des Landes Schleswig-Holstein



Programmkoordination für die Länder durch das
Ministerium für Bildung und Kultur
des Landes Schleswig-Holstein (MBK)
Dr. Kai Niemann
www.schleswig-holstein.de/MBK/DE/MBK_node.html



Serverbetreuung: Deutsches Institut für Internationale
Pädagogische Forschung (DIPF)
www.dipf.de

ISBN für diese Handreichung
ISBN: 978-3-89088-211-6