

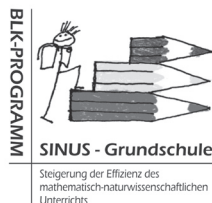
SINUS-Transfer Grundschule

NATURWISSENSCHAFTEN

Modul G 5: Talente entdecken und fördern

Ernst Kircher

Kiel, im Juni 2006



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung: Talente entdecken – Talente fördern.....	4
2. Naturwissenschaftliche Talente entdecken	5
2.1 Allgemeine Persönlichkeitsmerkmale.....	5
2.2 Merkmale besonders begabter Schulanfänger	6
2.3 Was ist ein naturwissenschaftliches Talent?	7
2.4 Weitere naturwissenschaftsspezifische Beobachtungsmerkmale.....	7
3. Talente fördern durch Vermittlung von Wissenschaftsverständnis	8
4. Weitere Aktivitäten für naturwissenschaftliche Talente in der Schule und außerhalb	10
5. Schluss	15
Literatur.....	16
Anhang.....	18
Wissenschaftsverständnis in der Grundschule – aber wie?	18
Beispiel: Der elektrische Strom – ein Elektronenstrom.....	26
Lehrer- und Schülerexperimente zum Thema »Elektronen gibt es überall«	34

1. Einführung: Talente entdecken – Talente fördern

Ein Kind mit naturwissenschaftlichem Talent ist besonders begabt für naturwissenschaftliche Rätsel und Fragen und für deren Lösung und Beantwortung. Urban (1996a) weist darauf hin, dass Begabung keine statische Eigenschaft, sondern ein lebenslanger Veränderungsprozess ist: »Begabungen sind nicht festgelegt, fixierte Größen, sondern Entwicklungsprozessen unterworfen«. Auch gibt es keinen Grund, »einen qualitativen Sprung zwischen begabt und besonders begabt anzunehmen« (zitiert nach der Internetversion: Urban (1996a)). Urban interpretierend kann ein naturwissenschaftliches Talent »abstrakt-intellektuelle Begabung« und/oder »praktisch-instrumentelle Begabung« aufweisen, gepaart mit Kreativität, Anstrengungs- und Leistungsbereitschaft.

Für das *Entdecken naturwissenschaftlicher Talente* in der Grundschule gibt es kein fertiges Analyseinstrument. Eine Lehrerin kann sich zwar bei der Beobachtung ihrer Schüler an allgemeinen Charakteristika wie den Ergebnissen eines IQ-Tests und der geistigen Beweglichkeit der Kinder orientieren. Dem Diagnoseinstrument IQ-Test ist jedoch stets mit Vorsicht zu begegnen, da es nie das einzige Argument für naturwissenschaftliche Begabung sein darf. Spezielle mit den Naturwissenschaften zusammenhängende Verhaltensmerkmale (Einstellungen, Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten) können Hinweise liefern, wer von den Grundschulern sich eventuell dauerhaft als ein naturwissenschaftliches Talent erweisen könnte. Solche Charakteristika und Verhaltensmerkmale sind in Kapitel 2 aufgeführt. Generell gilt: Die Diagnose »Naturwissenschaftliches Talent« sollte nie ausschließlich auf dem Ergebnis des IQ-Tests beruhen, sondern weitere Beobachtungen der Persönlichkeit des Kindes einbeziehen.

Die Kapitel 3 und 4 befassen sich mit der Förderung von Kindern im naturwissenschaftlichen Sachunterricht und außerhalb der Schule. Nach einem Überblick über methodisch-didaktische Möglichkeiten steht die Förderung sogenannter metakognitiver Kompetenzen im Mittelpunkt. Mit der Änderung entwicklungspsychologischer Auffassungen (der Piaget'schen Theorie) ist die frühzeitige Entwicklung metakognitiver Kompetenzen (holzschnittartig formuliert: das Nachdenken über das Denken) ein Gegenstand der Unterrichtsforschung in der Grundschule geworden. Dazu gehört auch, den philosophischen Hintergrund der Naturwissenschaften zu verstehen. Sodian et al. (2002) sprechen von Wissenschaftsverständnis. Der Ausdruck Wissenschaftsverständnis bedeutet, salopp formuliert, *hinter die Kulissen der Naturwissenschaften zu sehen*. Zur didaktischen Begründung dieses Leitziels und Unterrichtsinhalts kann das Argument Litts (1959) herangezogen werden, wonach die Naturwissenschaften nur dann *bildend* wirken, wenn sie philosophisch reflektiert werden. In der angelsächsischen Begründungstradition nennen Driver et al. (1996, S. 16 ff) unter anderem ein lernpsychologisches Argument, wonach das Lernen der Naturwissenschaften dadurch gefördert wird, dass die Schüler auch *über* die Natur der Naturwissenschaften etwas lernen (»learning about the nature of science«). Dazu gehören Fragen wie: Was ist ein Experiment? Was muss man beim Experimentieren beachten? Wie kommt man zu naturwissenschaftlichen Gesetzen? Ändern sich naturwissenschaftliche Theorien? Wie objektiv sind die Naturwissenschaften?

Naturwissenschaftliche Talente können auch durch außerschulische Aktivitäten gefördert werden. Möglichkeiten und Grenzen sind in Kapitel 4 skizziert.

Der Anhang liefert einige vertiefende Betrachtungen zum Wissenschaftsverständnis und zu dessen methodischer Umsetzung in der Grundschule und beschäftigt sich mit Alltagsvorstellungen der Kinder, Vergleichen (Analogien) und gespielten Analogien. »Der elektrische Strom – ein Elektronenstrom« als Unterrichtsbeispiel wird ausführlich beschrieben. Dieses Beispiel wurde ausgewählt, weil der elektrische Stromkreis in allen Bundesländern (im Allgemeinen) im 3. Schuljahr behandelt wird. Außerdem stellt die Fähigkeit zur Interpretation des elektrischen Stromkreises durch ein vereinfachtes Elektronenmodell wichtiges anschlussfähiges Wissen für die weiterführenden Schulen dar.

2. Naturwissenschaftliche Talente entdecken

2.1 Allgemeine Persönlichkeitsmerkmale

Naturwissenschaftliche Talente kann man vor allem an *allgemeinen kognitiven Kompetenzen von Schülern* entdecken. Trotz mancher Kritik ist der Intelligenzquotient (erhoben durch einen Test, der auf Worte bzw. Texte verzichtet) ein relevanter Anhaltspunkt, um kognitive Fähigkeiten zu prognostizieren, etwa im Hinblick auf den erfolgreichen Besuch einer weiterführenden Schule. Schulerfolg wird natürlich auch noch durch weitere Faktoren beeinflusst (siehe Kapitel 3).

Um Talente zu entdecken, sollte die Lehrkraft weitere allgemeine Persönlichkeitsmerkmale der Schüler im Blick behalten. Die von Käpnick (2001) vorgeschlagenen Aspekte (siehe nächste Seiten) können die Informationen eines geeigneten IQ-Tests ergänzen oder gegebenenfalls auch diese Testinformationen ersetzen. Beobachten Sie dabei, ob die folgenden acht allgemeinen Persönlichkeitsmerkmale für jedes *auffallende Kind* in Ihrer Klasse »sehr ausgeprägt«, »ausgeprägt«, »unentschieden«, »wenig ausgeprägt« oder »sehr wenig ausgeprägt« sind. Zur genauen Dokumentation Ihrer Beobachtungen im Unterricht vergeben Sie gemäß der folgenden Tabelle Punkte. Addieren Sie die Punkte und teilen Sie die Summe durch acht. Ist das Ergebnis größer als drei, so kommt das Kind als naturwissenschaftliches Talent in Frage.

	Sehr ausgeprägt = 5 Punkte	Ausgeprägt = 4 Punkte	Unentschieden = 3 Punkte	Wenig ausgeprägt = 2 Punkte	Sehr wenig ausgeprägt = 1 Punkt
Hohe geistige Aktivität					
Intellektuelle Neugier					
Anstrengungsbereitschaft					
Freude am Problemlösen					
Konzentrationsfähigkeit					
Beharrlichkeit					
Selbstständigkeit					
Kooperationsfähigkeit					

Die Stichworte Kämpnicks weisen darauf hin, dass ein Kind, um als ein naturwissenschaftliches Talent zu gelten, zu den kognitiven Merkmalen »Hohe geistige Aktivität« und »Intellektuelle Neugier« weitere allgemeine Merkmale, bestimmte Einstellungen zum Lernen und zur Schule (Dispositionen) aufweisen muss (weitere Merkmale siehe S. 8). Seitens der Lehrkräfte müssen besondere Fähigkeiten eines Kindes *erkannt, interpretiert und anerkannt* werden.

Urban (1996a, S. 5 ff) mahnt allerdings, dass bei einer zu starken Zentrierung auf die intellektuellen Fähigkeiten andere Persönlichkeitsbereiche vernachlässigt werden. Daher ist es wichtig »ein reichhaltiges Angebot an spielerischen, psychomotorischen und ›künstlerischen‹ oder musischen Tätigkeiten bereit zu halten. ... Wenn man nur die besondere Begabung fördert, schädigt man langfristig die Persönlichkeit.«

2.2 Merkmale besonders begabter Schulanfänger

In der Literatur lassen sich Hinweise auf charakteristische Gemeinsamkeiten besonders begabter Kinder finden, zumindest was die intellektuelle (geistige) Leistung betrifft. Besonders begabte Kinder, die in ihrer frühen Kindheit und Vorschulzeit unter anregenden und fördernden Bedingungen aufgewachsen sind, lassen sich in Bezug auf vorwiegend kognitiv bestimmte Merkmale zu Beginn der Schulzeit wie folgt beschreiben. Sie zeigen nach Urban (1996a) in der Regel:

- besonders ausgeprägtes Neugier- und selbständiges Erkundungsverhalten;
- schnelles und effektives Auffassungsvermögen, auch bei komplexeren Aufgaben;
- frühe Abstraktions- und Übertragungsleistungen;
- besonders frühes Interesse an Buchstaben, Zahlen und anderen Zeichen; Vorliebe für gliedernde und ordnende Tätigkeiten;
- besondere Flüssigkeit im Denken; Finden neuer, origineller Ideen (in Sprache oder mit Materialien);
- frühe Anzeichen für reflexives und logisches Denken, Perspektivenübernahme, Metakognitionen;
- hervorragende Gedächtnisleistungen;
- hohe Konzentrationsfähigkeit und außergewöhnliches Beharrungsvermögen bei selbstgestellten Aufgaben (meist im intellektuellen Bereich);
- selbstinitiiertes und häufig selbständig angeeignetes Lesen zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr;
- sehr (frühes) ausdrucksvolles, flüssiges Sprechen mit häufig altersunüblichem, umfangreichem Wortschatz; Entwicklungsvorsprung im sprachstrukturellen und metasprachlichen Bereich;
- ausgeprägte »Eigenwilligkeit«, starkes Bedürfnis nach Selbststeuerung und Selbstbestimmung von Tätigkeiten und Handlungsrichtungen sowie
- starken Gerechtigkeitssinn und hohe (kognitive) Sensibilität für soziale Beziehungen und moralische Fragen.

(Urban 1996a, S. 5, zitiert nach <http://www.erz.uni-hannover.de/~urban/beisp1.htm>)

2.3 Was ist ein naturwissenschaftliches Talent?

Spezifische Merkmale eines naturwissenschaftlichen Talents hängen mit Wissen, *Fähigkeiten, Fertigkeiten und Einstellungen (Disposition)* des Schülers zusammen. Diese sind für die Einschätzung als naturwissenschaftliches Talent relevant. Auf einer Fortbildungsveranstaltung (Halberstadt 2006) wurden von Lehrkräften folgende Merkmale genannt:

- Besonderes Interesse an naturwissenschaftlichen Themen,
- Transferfähigkeit von neuem, naturwissenschaftlichem Wissen,
- Fragehaltung gegenüber Phänomenen der Umwelt,
- Umgang mit Medien (Sach- und Experimentierbücher, Internet),
- Interesse, etwas auszuprobieren, zu konstruieren, »auszutüfteln«,
- besondere Freizeitaktivitäten (Interesse an naturwissenschaftlichen TV-Sendungen, Experimentieren, Besuch von naturwissenschaftlichen Förderkursen) sowie
- Spielverhalten.

Vor dem Hintergrund physikdidaktischer Erfahrungen an Schulen und Hochschulen sind im Abschnitt 2.4 weitere Merkmale aufgeführt, die die obigen Aspekte zum Teil wiederholen, zum Teil ergänzen. Wie bei den allgemeinen Merkmalen (Abschnitt 2.1) können diese Aspekte durch die *Intensität der Ausprägung* (sehr ausgeprägt ... nicht ausgeprägt) charakterisiert werden und zu einer recht zuverlässigen Talentbeurteilung beitragen. Dabei versteht sich, dass diese Aspekte nicht alle sehr ausgeprägt sein müssen, damit ein Kind als naturwissenschaftliches Talent gelten kann. Sie können die für Sie relevantesten aus der Liste des Abschnitts 2.4 auswählen, um mögliche Talente daraufhin zu beobachten. Diese Beispiele sind auch im Zusammenhang mit den Kompetenzstufen I bis V zu sehen, die in der IGLU-Studie zugrunde gelegt wurden (Bos et al. 2003, S. 155 ff):

- I Einfache Wissensreproduktion,
- II Anwendung alltagsnaher Begriffe,
- III Anwendung naturwissenschaftsnaher Begriffe,
- IV beginnendes naturwissenschaftliches Verständnis,
- V naturwissenschaftliches Denken und Lösungsstrategien.

Die Diagnose »naturwissenschaftliches Talent« ist das Ergebnis eines über längere Zeit dauernden Beobachtungsprozesses, an dem nicht nur die Klassenlehrerin, sondern auch weitere Kollegen und die Eltern beteiligt sind. Bei der Zulassung zu besonderen begabungsfördernden Aktivitäten ist es ratsam, großzügig zu verfahren. Naturwissenschaftliche Talente sollten am Ende der vierten Klasse die Kompetenzstufen IV oder V erreicht haben.

2.4 Weitere naturwissenschaftsspezifische Beobachtungsmerkmale

Wie die vorangegangenen Merkmallisten zeigten, darf man nicht erwarten, die Diagnose »naturwissenschaftliches Talent« durch Beobachtung eines einzigen, klar erkennbaren Charakteristikums stellen zu können. Talente äußern sich im komplexen Zusammenspiel verschiedener Persönlichkeitszüge, Interessen und Geschicklichkeiten. Untersuchen Sie zum Beispiel auch, ob das Kind, das Sie als naturwissenschaftliches Talent einschätzen, die folgenden Merkmale aufweist:

- Interesse und Freude an naturwissenschaftlichen Themen;
- Fähigkeit zur genauen Beobachtung und Beschreibung von Phänomenen;
- Fähigkeit zur Analyse der Beobachtungen (Was ist Ursache, was ist Wirkung?);
- Bedürfnis nach Erklärungen (Modellvorstellungen) von naturwissenschaftlichen Phänomenen (Warum kann ein Ballon/ein Heißluftballon fliegen?);
- Bedürfnis nach experimenteller Überprüfung von Erklärungen (Modellvorstellungen);
- Phantasie für Erklärungen (Modellvorstellungen) auf der Grundlage von Erfahrung;
- Phantasie für experimentelle Anordnungen zur Überprüfung von Erklärungen (Modellvorstellungen);
- Fähigkeit zum Skizzieren von Ideen für Experimente;
- Fähigkeit zum Finden und Auswählen geeigneter Geräte für ein Experiment;
- Fertigkeit beim Aufbau von Experimenten;
- Bereitschaft zur sorgfältigen Durchführung der Experimente;
- Fähigkeit zur Kritik von Erklärungen (Modellvorstellungen) auf der Grundlage von eigener Erfahrung oder durch Verweisen auf schriftliche Belege;
- Fähigkeit zur Kritik an Erklärungen (Modellvorstellungen) durch das Aufspüren innerer (logischer) Widersprüche;
- Fähigkeit zur Bildung von Kausalketten über komplexe Phänomene (Warum ist die Temperatur in einem schwarzen, mit einer Glasplatte überdeckten Schuhkarton höher als in der Umgebung?);
- Bedürfnis nach und Fähigkeit zur Beschaffung von naturwissenschaftliche Informationen aus anderen Medien (Lexika, Internet ...);
- Fähigkeit zur Entdeckung und Behebung von Fehlern beim Experimentieren;
- Fähigkeit zur Verallgemeinerung experimenteller Tatsachen und Zusammenhänge;
- Fähigkeit, sich aus experimentellen Tatsachen und Zusammenhängen technische Anwendungen (Erfindungen) zu überlegen, zu beschreiben, zu skizzieren und (falls möglich) zu realisieren;
- Fähigkeit, sich über experimentelle Tatsachen und technische Anwendungen im Hinblick auf ihre gesellschaftlichen Auswirkungen Gedanken zu machen (Wie wäre das Leben eines Kindes, eines Erwachsenen ohne Elektrizität?);
- Fähigkeit zum Auffinden von sinnvollen Vergleichen für ein Phänomen oder eine Modellvorstellung (Ein Hohlspiegel funktioniert wie ein Brennglas; ein Elektron bewegt sich im Stromkreis so langsam wie eine Schnecke.);
- Fähigkeit zum Erfinden von Spielen im Zusammenhang mit einem Phänomen (z. B. Geschicklichkeitsspiele mit Magneten (Magnetangel) und elektrischen Stromkreisen).

3. Talente fördern durch Vermittlung von Wissenschaftsverständnis

»Wissenschaftsverständnis« ist eine *ergänzende Leitidee* des Sachunterrichts: Beginnend mit einfachen Beispielen im ersten Schuljahr (»Warum messen wir mit dem Meterstab?«) sollen Schülerinnen und Schüler über das Wesen der Naturwissenschaften nachdenken und Ergebnisse und Methoden der Naturwissenschaften kennen lernen und auch kritisch betrachten. Das führt zu folgenden didaktisch-methodischen Schritten des Sachunterrichts:

1. Schritt: *Vertraut werden mit Sachverhalten und Phänomenen* der natürlichen und technischen Umwelt
2. Schritt: »Hinter« die Phänomene sehen: Erklärung der Phänomene durch *elementare*

naturwissenschaftliche Modellvorstellungen

3. Schritt: »Hinter« die Naturwissenschaften sehen: Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule

Es versteht sich, dass nicht alle Themen des Sachunterrichts für diese Schrittfolge geeignet sind. Wenn die Sachstruktur mit sehr schwierigen physikalischen Modellvorstellungen verknüpft ist, kann schon der erste Schritt genügen, d. h. didaktisch-methodisch sinnvoll sein. Im Rahmen des DFG-Projekts »Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule« haben sich Lehrerinnen und Hochschullehrer mit pädagogischen und fachdidaktischen Problemen dieser für die Grundschule neuen Thematik befasst und ihre Erfahrungen in einem Buch beschrieben (Grygier et al. 2004). Im Anhang sind die didaktisch-methodischen Grundlagen für den Unterricht genauer dargestellt: Alltagsvorstellungen, Modelle, Analogien, Spiele, metatheoretische Reflexionen über die Natur der Naturwissenschaften.

Talente werden auch durch den Erwerb metakognitiver Kompetenzen gefördert; »Wissenschaftsverständnis« ist eine solche metakognitive Kompetenz und beeinflusst den Lernerfolg eines Schülers. Untersuchungen durch Erziehungswissenschaftler (Wang, Haertel & Walberg 1993) haben folgende Rangfolge des Einflusses auf den Lernerfolg auf den ersten vier Plätzen festgestellt:

- die kognitiven Kompetenzen der Schüler,
- die Klassenführung durch den Lehrer,
- die häusliche Umwelt und Unterstützung durch die Eltern und
- die metakognitiven Kompetenzen der Schüler.

Naive Vorstellungen von Schülern, deren Alltagsvorstellungen über das Zustandekommen und die Bedeutung von naturwissenschaftlichem Wissen, gelten hingegen als ein Hindernis beim Erwerb von naturwissenschaftlichem Wissen (Carey et al., 1989).

Mit der Förderung von Wissenschaftsverständnis werden folgende Ziele verfolgt (z. B. nach Collins et al., 2001, S. 23): Schüler

- lernen naturwissenschaftliche Methoden und kritisches Testen,
- wissen, dass Kreativität und Phantasie ein grundlegender Anteil des naturwissenschaftlichen Arbeitens sind,
- kennen die historische Entwicklung des naturwissenschaftlichen Wissens,
- wissen um die Bedeutung des Fragenstellens in den Naturwissenschaften
- lernen Daten zu analysieren und zu interpretieren,
- wissen um die prinzipielle Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Theorien,
- bilden Hypothesen und prüfen Voraussagen über Naturphänomene.

Dieses sind heute auch allgemeine Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Vermittelt man Wissenschaftsverständnis, so fördert man gleichzeitig den Erwerb metakognitiver Kompetenzen, um besonders physikalische und chemische Inhalte besser als bisher schon in der Grundschule zu verstehen. Dass Wissenschaftsverständnis für Grundschulkindern interessant und kindgemäß vermittelt werden kann, zeigten in Deutschland Grygier et al. (2004). Schrempf & Sodian (1999) und Sodian et al. (2002) haben hierzu empirische Untersuchungen durchgeführt.

4. Aktivitäten für naturwissenschaftliche Talente in der Schule und außerhalb

Voraussetzung für schulische und außerschulische Fördermaßnahmen ist ein flexibles Schulsystem sowie Lehrkräfte, die gelernt haben, die Interessen und Stärken der Schülerinnen und Schüler wahrzunehmen und einzuschätzen. Als Beispiel für eine schulische Fördermaßnahme sei hier die Methodische Großform »Offener Unterricht« genannt.

Urban (1996b) hält die Öffnung von Schule und Unterricht auch im Hinblick auf die Förderung besonders begabter Kinder für notwendig. Als Orientierung für Lehrer hat er »10 Qualitätskriterien Offenen Unterrichts« formuliert (siehe unten). Ich gehe im Folgenden auf einige der zahlreichen Anregungen Urbans speziell zum naturwissenschaftlichen Sachunterricht ein (auch wenn dies für viele Kolleginnen und Kollegen bereits Selbstverständlichkeiten sind):

- Die Klassenbibliothek beinhaltet gut ausgewählte naturwissenschaftliche Kinder- und Jugendbücher (z.B. »Was ist was?«). Die selbstständige Informationsbeschaffung und die Interpretation der Informationen ist schon in der Grundschule ein wichtiges Lernziel, ein relevanter Aspekt naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen. Der Hinweis auf die Klassenbibliothek ist also keinesfalls ein Ausweg, um den naturwissenschaftlichen Fragen neugieriger und wissbegieriger Kinder auszuweichen.
- Mit einer gewissen Vorsicht sind die mindestens genauso häufig angebotenen Bastel- und Experimentierbücher (z. B. zu einer Kinderfernsehsendung) zu betrachten. Die Erfahrung zeigt, dass häufig *nur unter fachkundiger Anleitung* die selbstgebaute Geräte (z. B. ein Elektromotor) funktionieren beziehungsweise die selbst durchgeführten Experimente die erwarteten Phänomene auch zeigen. Außerdem sind häufig Sicherheitsmaßnahmen einzuhalten, die begeisterte Schüler übergehen oder übersehen.
- Wünschenswert sind freiwillige naturwissenschaftliche Arbeitsgemeinschaften an Grundschulen, in denen Schülerinnen und Schüler in *Lernwerkstätten* ihren naturwissenschaftlichen Interessen nachgehen können, gegebenenfalls auch außerhalb der Schulzeit, gegebenenfalls auch unter Anleitung von geeigneten außerschulischen Lehrpersonen.

Zehn Qualitätskriterien eines begabungsentwickelnden Offenen Unterrichts

Offenheit des Unterrichts ist keineswegs mit Beliebigkeit in Thematik und Methodik gleichzusetzen. Soll der offene Unterricht den Ansprüchen der Begabungsförderung genügen, so ist es wichtig, in der Unterrichtsgestaltung auf die folgenden Punkte einzugehen. (Die Reihenfolge versteht sich nicht als Prioritätenabstufung, da die einzelnen Punkte im Unterricht parallel laufen. Klar ist auch, dass nicht jedes dieser Stichworte in jeder Stunde in gleichem Umfang berücksichtigt werden kann.)

1. Methodenvielfalt

Gibt es (in welchem Umfang?) mehrere unterschiedliche Methoden wie Freie Arbeit, Projekte, Kreisgespräche, Kleingruppenarbeit, Partner- und Gruppenarbeit, (längerfristige) Einzelprojekte, Berichte, Ausstellungen oder Vorführungen von SchülerInnen? Wieweit werden diese Methoden zur Lehr-Lernorganisation von Kindern als hilfreich, vielfältig und transparent erfahren?

2. Freiräume

Gibt die Klasse/Schule den Kindern definitiv in ihrem Organisationsrahmen Freiräume

zum vertiefenden, spielerischen, selbständigen, entdeckenden Lernen? Wochenplanarbeit, Freie Arbeitszeit, Projekte, Projektwochen, -tage? Teilbefreiung vom obligatorischen Unterricht zugunsten spezifischer Tätigkeiten im Interessen- bzw. Fähigkeitsbereich? Wie groß sind die inhaltlichen Freiräume? Gibt es Möglichkeiten, an anderen »Lernorten« zu arbeiten? Wie groß ist die unterrichtsorganisatorische Flexibilität?

3. Umgangsformen

Gibt es klare, gemeinsam ausgehandelte Regeln, die von beiden Seiten eingehalten werden? Wieweit sind Lehrerinnen und Lehrer bereit, Kinder in ihrer emotionalen Befindlichkeit und in ihren Abweichungen von (imaginären) Durchschnittserwartungen anzunehmen? Werden Konflikte gemeinsam bearbeitet? Gibt es eindeutige Interpunktionen (Gewichtungen) im Sinne sozialen Lernens? Toleranz und Akzeptanz des Andersseins? Lob? Ermutigung? Humor?

4. Selbständigkeit und Inhalt

Werden Kindern/SchülerInnen aktive Rollen bei der Steuerung von Lernprozessen ermöglicht? Welche Wahl- und Entscheidungsmöglichkeiten haben die Kinder, z. B. bezüglich Inhalts- oder Zeitgestaltung? Gehen die Kinder wirklich ihren eigenen, auch extra-curricularen Fragen nach? Gibt es ein Helfersystem?

5. Lernberatung

Gibt es Beratungssituationen im/neben dem Unterricht? Ist der Unterricht (begabungs-)förderungsorientiert? Werden Umwege, Irrwege, Fehler als notwendige Bestandteile des Lernprozesses akzeptiert, und wird entsprechend beraten? Werden eigenständige, abweichende Lösungswege aufgegriffen und unterstützt? Beschäftigung mit leistungsschwachen *und* hochleistungsfähigen SchülerInnen? Diagnosekompetenz für Leistungsversagen und für besondere Begabungen? Schulische BeratungslehrerInnen für Fragen besonderer Begabung?

6. Öffnung zur Umwelt

Bietet der Unterricht/die Schule neue Erfahrungen in direkter Begegnung mit der Umwelt? Erkundungsgänge? Exkursionen? Experten in der Klasse? Tutoren oder Mentoren für einzelne Kinder mit spezifischen Interessen und Fähigkeiten? Ständige oder projektbezogene Kooperationen mit außerschulischen »Lernorten«?

7. Sprachkultur

Bietet der Unterricht Möglichkeiten zur direkten Koppelung von Sprache an sinnlich-konkrete Erfahrungen? Gesprächskultur? Schriftkultur? Freier Ausdruck in Texten? Sprachspiele? Narrative Kultur? Kreisgespräche? Drucken und Gestalten? Zusammenhang von Sprache und Sache (Kulturtechniken – Sachunterricht)? Kreatives Schreiben?

8. Lehrerrolle

Wird der Beziehungsarbeit Raum gegeben? Verständnis für die Vielfältigkeit der »Lehrerrolle« (nicht nur be-lehren, sondern anregen, moderieren, initiieren, teilnehmen, beobachten, instruieren, stabilisieren, herausfordern, helfen, vermitteln, be-raten, organisieren, Experte, Vorbild und Freund sein u. a. m.)? Geduld, Gelassenheit und Toleranz für langsame Schüler? Keine Angst und Verunsicherung bei intellektuell hochbegabten SchülerInnen? Sind Lehrerfragen anspruchsvoll (problemlösungsorientiert und anwendungsorientiert)? Verfügbarkeit über Bearbeitungsinstrumente zur Klärung von Störungen und Konflikten? Umgang mit pädagogischen »Imperativen« (Bewußtsein über die eigene Rolle, Umgang mit den Zwängen, »guten« Unterricht zu machen)? Teamarbeit oder Supervision mit Kollegen?

9. Akzeptanz des Unterrichts

Wieweit wird der Unterricht als gemeinsame Arbeit verstanden? Wie gut wird die Un-

terrichtszeit genutzt? Stoffbewältigung im Unterricht und nicht über Hausarbeiten? Erfahrbarkeit von Person und Unterricht als positiver Zusammenhang? Akzeptanz durch die Eltern, Mitarbeit von Eltern?

10. Lernumgebung

Gibt es handlungsorientierte Materialien? Offene Lernflächen? Variable und lernfunktionelle Raumaufgliederung? Karteien, Differenzierungsmaterial, Spiele, Bücher, Druckerei, Computer, Experimentierecke, Lesecke usw.? Hat die Schule eine Bücherei, einen Werkraum, Lerngarten oder eine Lernwerkstatt, »Forschungskabinett« (resource-room)? Austausch von Spiel- und Lernmaterialien? Zusammenarbeit mit anderen Schulen oder Institutionen? Offene Klassentür?

(Wallrabenstein 1991, S. 170f, hier zitiert nach Urban 1996b, S. 1-3,
<http://www.erz.uni-hannover.de/~urban/beisp2.htm>)

Innere Differenzierung

Für den Sachunterricht ist eine über die gegenwärtigen Lehrpläne hinausgehende innere Differenzierung in verschiedenen Ausprägungen empfohlen: Schüler, die den Schulbuchstoff rascher bewältigen als der Durchschnitt der Klasse, erhalten zusätzliche Aufgaben (z. B. zu den Kompetenzstufen IV und V der IGLU-Studie) oder experimentelle Arbeitsaufträge oder Interpretationsaufgaben (Erklärungen) zu beobachteten Phänomenen.

Differenzierung und schulische Organisation

Unterschiedliche Schüler individuell zu fördern ist nicht nur eine rein pädagogische, sondern auch eine organisatorische Aufgabe. Wie muss die Schule organisiert sein, um dies zu übernehmen? Verschiedene Modelle sind hier denkbar (siehe Liste). Ihre Grenzen sind teilweise fließend, da sich einige Organisationsformen überschneiden und/oder gegenseitig ergänzen können. Von unten nach oben gelesen, zeigt sich hier die zunehmende soziale Trennung der begabten Schüler von den »normalen«.

1. Private individuelle Erziehung
2. Spezial(internats)schule
3. Spezialklassen an Regelschulen
4. Teilzeitspezialklassen an Regelschulen
5. »Express«-Klasse mit akzeleriertem Curriculum
6. »Pullout«-Programme, einmal o. mehrmals wöchentlich
7. Teilzeit-Spezialklasse (eine o. mehr Stunden/Tage pro Woche)
8. Reguläre Klasse mit zusätzlichem »Resource Room«-Programm
9. Äußere Differenzierung nach Niveaugruppen in einem o. mehreren Fächern
10. Reguläre Klasse mit zusätzlichen Kursen oder Arbeitsgemeinschaften
11. Reguläre Klasse mit zusätzlicher Lehrkraft zur zeitweisen Individualisierung
12. Fach- oder zeitweise Teilnahme am Unterricht in höheren Klassen
13. Reguläre Klasse mit (teilweise) binnendifferenziertem (Gruppen-)Unterricht
14. Reguläre Klasse, nur bei (Begabungs-)Problemen spezielle Maßnahmen (oder nicht)
15. Reguläre Klasse ohne spezifische Binnendifferenzierung mit zusätzlicher außerschulischer individueller Mentorenbetreuung

16. Reguläre Klasse, zusätzliche außerschulische Aktivitäten, wie Nachmittags- u. Wochenendkurse, Sommerschulen, -camps, Exkursionen, Korrespondenzzirkel, Wettbewerbe

Organisationsformen eines (differenzierten) Unterrichts für besonders Begabte, klassifiziert nach dem Ausmaß allgemeiner sozialer Separation/Integration. Urban 1996, S. 8 f., zitiert nach:
<http://www.erz.uni-hannover.de/~urban/beisp1.htm>)

Besondere schulische Aktivitäten

Projekte

Naturwissenschaftliche Projekte werden im Sachunterricht durchgeführt, vor allem seit der Umweltschutz ein wichtiges Thema wurde. Projekte wie »Die Sonne schickt uns keine Rechnung«, »Geht der Luft die Puste aus?«, »Der Main soll sauber werden!« ermöglichen Binnendifferenzierung sowohl im experimentellen, sprachlich-analytischen und darstellerisch-kreativen Bereich. Die Aktivitäten können selbstverständlich über die Schule hinaus reichen. Die für das Projekt eigens geführte Sammelmappe (Portfolio) lässt sich auch als Indiz für das Entdecken eines naturwissenschaftlichen Talents heranziehen.

Der Forschertag

Grundschulen mehrerer Bundesländer führen Forschertage durch (auch an Samstagen), vor allem mit experimentellen Aktivitäten. Diese sind unterschiedlich vorstrukturiert, je nach Alter und Fähigkeiten der Schüler, wie dies auch bei naturwissenschaftlichen Lernzirkeln und Projekten üblich ist (siehe Kircher, Girwidz & Häußler 2002). Jede »Forscherstation« muss kompetent betreut werden. Natürlich müssen die Schüler die Forschertage im Sachunterricht und zu Hause individuell nacharbeiten und im »Forscherbuch« dokumentieren.

Besichtigung kommunaler Werke und der Vortrag von Experten

Die Besichtigung von Elektrizitätswerken, Abwasserwerken, Müllverbrennungsanlagen gehören schon lange zum Standardprogramm für Exkursionen im Sachunterricht. Schwierig ist für Grundschulklassen jedoch oft der Umgang mit der Fachsprache, die von den Experten vor Ort verwendet und selbst von begabten Kindern nicht immer verstanden wird. Das heißt, die Exkursion muss, ähnlich wie ein Museumsbesuch, vorbereitet werden, wobei die Lehrkraft auf jeden Fall auf die Erfahrung des Experten vor Ort zurückgreift. Andererseits muss sie diesen auf die pädagogischen Ziele und mögliche Verständigungsprobleme aufmerksam machen, wenn Fachsprache verwendet wird. Für diese Verständigungsprobleme sollten schon im Vorfeld Lösungswege besprochen werden.

Besuch eines naturwissenschaftlichen Museums

Der Besuch eines naturwissenschaftlichen Museums ermöglicht innere Differenzierung und fördert nicht nur die Talente. Innere Differenzierung kann durch die Auswahl der Exponate erfolgen: Es gibt komplexe Exponate (mit schwierigem physikalisch-technischen Hintergrund) und einfachere. Entsprechendes gilt für Experimente (z. B. im Deutschen Museum). Weniger

begabte Kinder beschäftigen sich mit einfacheren Experimenten und Exponaten. Eine gute Vorbereitung des Museumsbesuchs ist in jedem Fall wichtig. Die Lehrkraft

- wählt beim vorherigen, eigenen Besuch des Museums geeignete Exponate für die Klasse aus,
- erstellt einen klaren Zeitplan mit Phasen für die gemeinsame Betrachtung der Museumshöhepunkte, für individuelle »Forschungs«aufgaben und freies Betrachten, sowie für ausreichende Pausen,
- bringt Informationsmaterial über das Museum und geeignete Exponate in den vorbereitenden Unterricht mit,
- diskutiert mit den Schülern, welche Exponate genau betrachtet und erforscht werden sollen,
- formuliert mit den Schülern Beobachtungsaufgaben und die Auswertung und
- überlegt mit den Schülern, wie die Ausarbeitungen in der Sammelmappe/in der Schule/in der Lokalzeitung (z. B. als Projekt) präsentiert werden können.

Äußere Differenzierung

Neuerdings ist auch die *äußere Differenzierung* für die staatlichen Schulen wieder in der Diskussion (Urban 1996b; Rogalla 2005): Hochbegabte und früh geförderte Kinder können nicht nur wie bisher eine Jahrgangsstufe überspringen, sondern z. B. naturwissenschaftliche Talente können themenspezifisch am (Sach-)Unterricht einer höheren Jahrgangsstufe teilnehmen. Als weitere so genannte Akzelerationsmaßnahme wird auch die frühe Einschulung in der Literatur (Rogalla 2005) aufgeführt.

Außerschulische Aktivitäten

Außerschulische Aktivitäten sollten im Idealfall zwischen Schule und engagierten Eltern, Hochschulen, Unternehmen thematisiert und koordiniert werden.

Engagierte Eltern bemühen sich außerschulisch, freiwillige Arbeitsgemeinschaften zu organisieren (und zu finanzieren). Der Anlass dafür ist häufig ein »hochbegabtes Kind«, das nach ihrer Meinung in der Regelschule nicht hinreichend gefördert wird, beziehungsweise zusätzlich gefördert werden soll. Zu den von Eltern initiierten Aktivitäten kommen (bisher in Einzelfällen) freiwillige Förderangebote von Hochschulen und Unternehmen hinzu.

Für diese außerschulischen Aktivitäten im naturwissenschaftlichen Sachunterricht gelten die oben dargestellten Ratschläge für Besichtigungen und Expertenvorträge. Da auch die hochbegabten Schüler keine homogene Gruppe darstellen (sondern nur eine weniger heterogene Gruppe), hat auch in diesen außerschulischen Lernaktivitäten innere Differenzierung einen Sinn. Die Lehrer sind diesbezüglich die Experten für die Umsetzung der Differenzierung.

Außerschulische Aktivitäten können für die Sachunterrichtslehrkraft gewisse Probleme mit sich bringen: Die »hochbegabten« Kinder langweilen sich oder geben diese Langeweile vor, sind voreilig bei den Antworten, vielleicht arrogant gegenüber Mitschülern, in Ausnahmefällen sogar gegenüber dem Lehrer. Die Lehrkräfte sollten die oben genannten Elternaktivitäten trotz dieser angesprochenen Probleme unterstützen. Zum einen können diese konkurrierenden Lern-

aktivitäten gerade in den Naturwissenschaften den Unterricht durchaus bereichern, da viele interessante Themen im Grundschullehrplan fehlen oder nicht behandelt werden. Zum anderen muss auch hier darauf geachtet werden, unangemessenes Verhalten der begabten Kinder zu tadeln und zu unterbinden. Beispielsweise ließe sich eine pädagogische Wendung des hochbegabten Problemkindes anstreben, indem dieses gebeten wird, leistungsschwächere Schüler zu unterstützen. Diese Unterstützung kann sich auch umkehren, wenn es um praktische Fähigkeiten geht, über die möglicherweise das leistungsschwächere Kind in höherem Maße verfügt.

5. Schluss

Ein wichtiges Anliegen dieser Modulbeschreibung war zu zeigen, dass sich hinter einem Talent ein vielschichtiges Zusammenspiel verschiedener Persönlichkeitsmerkmale und Begabungen verbirgt. Folglich muss derjenige, der Talente aufspüren will, stets in mehrere Richtungen schauen und auf verschiedene Merkmale bei einem Kind achten – auf Merkmale, die durchaus unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Will man ein speziell naturwissenschaftliches Talent ausfindig machen, so kommen zu den allgemeinen Persönlichkeitseigenschaften begabter Kinder noch weitere zu beobachtende Kriterien hinzu. Geht es um die Frage, ob ein vermutlich begabtes Kind besonders zu fördern ist, so sollte nicht restriktiv über die Vergabe von Fördermöglichkeiten entschieden werden. Im Zweifel für den Schüler, könnte man hier formulieren.

Ähnlich wie die Ausprägungen von Talenten individuell verschieden sind, so verhält es sich auch mit den Fördermaßnahmen. Die Lehrkraft ist zunächst einmal gefordert, erkannte Begabungen eines Kindes auszubauen. Ihr Augenmerk muss aber auch der Suche nach Schwächen zum Beispiel im Sozialverhalten eines Schülers oder einer Schülerin gelten, die unter Umständen mit einer schnellen Auffassungsgabe, einer auffallenden Abstraktionsfähigkeit oder einer ausgeprägten Fragehaltung einhergehen.

Als eine spezielle Möglichkeit zur Förderung naturwissenschaftlicher Talente ging diese Modulbeschreibung auf die Schulung des Wissenschaftsverständnisses bei Kindern ein. Diese metakognitive Kompetenz kann das Erlernen von Inhalten der so genannten harten Naturwissenschaften wie Chemie und Physik unterstützen. Zielt der Unterricht darauf ab, zum einen die verständnishindernden Alltagsvorstellungen der Schüler abzubauen und zum anderen das Nachdenken über das Wesen der Naturwissenschaft anzuregen, so entsteht ein nachhaltiges, ausbaufähiges Wissen über naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten. Der Anhang lädt dazu ein, sich mit einem Lernbeispiel hierzu, nämlich dem Thema Elektrischer Stromkreis, ausführlicher zu beschäftigen.

Literatur

- Aigner, M. (2004). Empirische Untersuchung über den Gebrauch von Analogien am Beispiel »Elektrischer Stromkreis«. Zulassungsarbeit zum 1. Staatsexamen, Universität Würzburg.
- Blasio, B. (2004). Entwicklungstendenzen der Inhalte des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Bos, W., Lankes, E.-M., Prenzel, M., Schwippert, K., Walther, G., Valtin, R. (2003). Erste Ergebnisse aus IGLU – Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. Münster: Waxmann.
- Bunge, M. (1973). *Method, Model and Matter*. Dordrecht/Holland.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., Unger, C. (1989). An experiment is when you try it and see if it works. *International Journal of Science Education*, 11, S. 514-529.
- Collins, S., Osborne, J., Ratcliffe, M., Millar, R., Duschl, R. (2001). What ideas about science should be taught in school science? *International Journal of Science Education*, 11, S. 514-529.
- Drechsler, B., Gerlach, S. (2001). Naturwissenschaftliche Bildung im Sachunterricht. In: Kahler, J., Inckemann, E. (Hrsg.): *Wissen, Können und Verstehen – über die Herstellung ihrer Zusammenhänge im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., Scott, P. (1996). *Young peoples images of science*. Bristol: Open University Press.
- Duit, R. (2003). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Kircher, E., Schneider, W. (Hrsg.). *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 1-26.
- Einsiedler, W. (1991). *Das Spiel der Kinder*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Grygier, P., Günther, J., Kircher, E. (2004). Über Naturwissenschaften lernen – Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Günther, J., Grygier, P., Kircher, E., Sodian, B., Thörmer, C. (2004). Studien zum Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. In: Doll, J., Prenzel, M. (Hrsg.). *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung*. Münster: Waxmann, S. 93-113.
- Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W., Mayer, J. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Käpnick, F. (2001). *Mathe für kleine Asse (Handbuch für die Förderung mathematisch interessierter und begabter Dritt- und Viertklässler)*. Berlin: Volk und Wissen.
- Käpnick, F., Nolte, M., Walther, G. (2005). *Mathematik Modul G 5: Talente entdecken und unterstützen*. Kiel: IPN
- Kircher, E. (1998). *Humanes Lernen in den Naturwissenschaften? Über den Umgang mit Schülervorstellungen im Sachunterricht*. In: Marquardt-Mau, B., Schreier, H. (Hrsg.). *Grundlegende Bildung im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 142-154.
- Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (2001²). *Physikdidaktik – Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Kircher, E., Werner, H. (1994). *Anthropomorphe Modelle im Sachunterricht der Grundschule – am Beispiel elektrischer Stromkreis*. SMP 22, S. 144-151.
- Labudde, P. (2003). *Gespielte Physik – Spielerische Physik*. In: Kircher, E., Schneider, W. (Hrsg.). *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 266-282.

- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Meyling, H. (1997). How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6, S. 397-416.
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Berlin: Logos-Verlag.
- Petersen, P. (1971). *Führungslehre des Unterrichts*. Weinheim: Beltz.
- Rogalla, M. (2005). Förderung frühreifer und potenziell begabter Kinder. In: Guldiman, T., Hauser, B. (Hrsg.) *Bildung 4- bis 8-jähriger Kinder*. Münster: Waxmann, S. 247-267.
- Sodian, B., Thörmer, C., Kircher, E., Grygier, P., Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 192-206.
- Schrempp, I., Sodian, B. (1999). Wissenschaftliches Denken im Grundschulalter. Die Fähigkeit zur Hypothesenprüfung und Evidenzevaluation im Kontext der Attribution von Leistungsergebnissen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31, S. 67-77.
- Sundermann, B., Selter, C. (2006). *Beurteilen und fördern im Mathematikunterricht*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Urban, K. (1996a). Besondere Begabungen in der Schule. Beispiele, Heft 1, S. 21-27.
- Urban, K. (1996b). Methodisch-didaktische Möglichkeiten der (integrativen) schulischen Förderung von besonders begabten Kindern. Beispiele, Heft 1, S. 29-35.
- Wallrabenstein, W. (1991). *Offene Schule – Offener Unterricht*. Ratgeber für Eltern und Lehrer. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Wang, M.E., Haertel, G.D., Walberg, H.J. (1993). Towards a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, Vol. 63, S. 249-294.
- Wellman, H.M., Lagattuta, K.H. (2000). Developing understandings of mind. In: Baron-Cohen, S., Tager-Flusberg, H., Cohen, D.J. (Eds.). *Understanding other minds. Perspectives from developmental cognitive neuroscience* (S. 21-49), Oxford: Oxford University Press.

Anhang

Wissenschaftsverständnis in der Grundschule – aber wie?

Dieser Abschnitt liefert didaktisch-methodische Grundlagen des Sachunterrichts über »Wissenschaftsverständnis«: Alltagsvorstellungen, relevante naturwissenschaftliche Modellvorstellungen, Analogien und gespielte Analogien, metatheoretische Reflexionen.

Überblick über das »Wissenschaftsverständnis«

Pädagogen und Naturwissenschaftsdidaktiker verstanden ursprünglich unter der »Natur der Naturwissenschaften« (»nature of science«) vor allem *erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Aspekte* der Naturwissenschaften. Neuerdings wird dieses »Lernen über« ausgeweitet, d.h. es wird gefordert, außerdem noch gesellschaftliche, *politische und ethische Implikationen von Naturwissenschaften und Technik* zu thematisieren. In dieser Modulbeschreibung bleibt »Wissenschaftsverständnis« allerdings eingeschränkt auf erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Aspekte, doch der Vollständigkeit halber sind im folgenden Überblick sind ebenfalls wissenschaftsethische Aspekte aufgeführt:



Alltagsvorstellungen kennen und über Naturwissenschaften lernen¹

Alltagsvorstellungen haben sich als beträchtliche Hemmnisse beim Lernen der Naturwissenschaften herausgestellt; sie sind hemmende Lernvoraussetzungen, die man als Lehrkraft dringend kennen und im Unterricht berücksichtigen muss.

Was versteht man unter Alltagsvorstellungen?

Wenn Schülerinnen und Schüler in den Sachunterricht kommen, haben sie bereits vielfältige Erfahrungen in ihrem Alltag gemacht und tief verankerte Vorstellungen über Phänomene, Begriffe und Prinzipien entwickelt, um die es im Unterricht geht. Viele dieser Vorstellungen stimmen mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen nicht überein. Hier liegt eine Ursache vieler und grundsätzlicher Lernschwierigkeiten. Die Schüler verstehen häufig gar nicht, was sie im Unterricht hören oder sehen und was sie im Lehrbuch lesen. »Lernen« bedeutet ja, Wissen auf der Basis der *vorhandenen Vorstellungen selbst aufzubauen*. Der Unterricht muss also an den Vorstellungen der Kinder anknüpfen. Er muss darüber hinaus für die wissenschaftliche Sicht »werben«, d.h. die Schüler davon überzeugen, dass diese Sicht fruchtbare neue und interessante Einsichten bietet.

Neben *Alltagserfahrungen* im Umgang mit Phänomenen wie Licht, Wärme, Schall und Bewegung, beeinflusst auch die *Alltagssprache* das Bild, das sich die Schüler von der Welt machen. Zunächst bewahrt die Alltagssprache Vorstellungen wie »Die Sonne geht auf«, die dem alten geozentrischen Weltbild näher steht als der heutigen Auffassung. Außerdem stellt *die Struktur der Sprache* ein Ordnungssystem bereit, um Beobachtungen und Erfahrungen zu deuten. Die Art, wie im Alltag (beim Gespräch, in den Medien) von Erscheinungen wie Elektrizität, Strom, Wärme, Energie oder Kraft die Rede ist, fördert ebenfalls die Bildung bestimmter Alltagsvorstellungen. Die Vorstellungen sind in aller Regel fest verankert, weil sie sich in Alltagssituationen bestens bewährt haben und tagtäglich durch weitere sinnliche oder sprachliche Erfahrungen verstärkt werden.

Das Beispiel: »Strom wird verbraucht.«

Vorstellungen zum einfachen elektrischen Stromkreis sind weltweit am häufigsten untersucht worden. Dabei zeigt sich folgendes (Shipstone et al. 1988): Manche Schülerinnen und Schüler meinen, dass man keine zwei Zuleitungen benötigt, damit ein Lämpchen leuchtet. Schließlich sind elektrische Verbraucher im Haushalt auch nur (so scheint es jedenfalls) mit einer Leitung an die Steckdose angeschlossen. Andere sind der Auffassung, es fließe Strom von beiden Anschlussstellen der Batterie (oder einer anderen Quelle) zum Lämpchen, manchmal »Plus- und Minusstrom« genannt. Wieder andere haben die Idee, der Strom fließe von einem Pol der Batterie hin zum Lämpchen, durch das Lämpchen hindurch, werde dort teilweise verbraucht, der Rest fließe zur Batterie zurück. Diese Verbrauchsvorstellung findet sich bei den meisten Schülerinnen und Schülern nicht nur in der Grundschule, sondern sogar manchmal noch bei Studie-

¹ Der Text beruht auf dem Aufsatz »Alltagsvorstellungen und Physik lernen« (Duit 2003).

renden. Dass die Verbrauchsvorstellung in vielen Fällen selbst den intensiven Unterrichtsbe-
mühungen des Gymnasiums widersteht, hat sicher damit zu tun, wie im Alltag über Strom ge-
redet (und damit gedacht) wird. Strom steht im Alltag eher für elektrische Energie als für die
Bewegung von elektrischen Ladungen. In der Tat wird – im umgangssprachlichen Sinne – im
Lämpchen etwas »verbraucht«. Gemeint ist damit, dass etwas benutzt, dabei auch abgenutzt
wird und damit gebraucht ist. Stromverbrauch ist also aus der Schülerperspektive eine durch-
aus vernünftige Vorstellung – da von ihnen der Ausdruck »Strom« im alltagsprachlichen Sinne
aufgefasst und auch im Unterricht so verwendet wird. (Näheres siehe Beispiel »Der elektrische
Strom – ein Elektronenstrom«)

Unterricht auf der Basis von vorunterrichtlichen Vorstellungen

Wie kann Unterricht die Alltagsvorstellungen berücksichtigen? Die Forschung zeigt, dass zwei
gut bekannte Faktoren eine entscheidende Rolle spielen: *Zeit und Geduld* für ständige Bemü-
hungen, das Verständnis Schritt für Schritt zu entwickeln. Unterricht muss drei selbstverständ-
liche pädagogische Grundsätze beachten (Häußler et al. 1998):

- *Die vorunterrichtlichen Vorstellungen ernst nehmen.* Die vorunterrichtlichen Vorstel-
lungen müssen beim gesamten Planungsprozess berücksichtigt werden. Bei den Medien
(z. B. Illustrationen, Bilder, Experimente) muss beachtet werden, dass die Schüler sie
aus ihrer Perspektive möglicherweise ganz anders interpretieren, als es beabsichtigt war.
Unterrichtsmethoden müssen so gewählt werden, dass die Schüler Gelegenheit haben,
sich mit den neu zu lernenden Vorstellungen intensiv auseinanderzusetzen.
- *Wissen nicht übergeben wollen, sondern aktive Auseinandersetzung mit dem Lernstoff*
anregen und fördern. Es gilt, die Schülerinnen und Schüler zum eigenständigen Aufbau
ihres Wissens anzuregen. Dies schließt auch die Reflexion über das erworbene und das
alte Wissen, also über den durchlaufenden Lernprozess ein.
- *Unterrichtsbewertung im Dienste der Lernberatung:* Unterrichtsbewertung sollte nicht
auf eine abschließende Einordnung der Schülerinnen und Schüler auf Skalen, die in die
Zensur eingehen, fokussiert sein, sondern auf die Lernberatung.

Modelle im Sachunterricht

Naturwissenschaftliche Modelle erklären Teile der Wirklichkeit, prognostizieren das Verhalten
naturwissenschaftlicher Objekte, ordnen die Vielfalt naturwissenschaftlicher Forschung. Doch
naturwissenschaftliche Modelle haben Grenzen.

1. Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftsdidaktiker sind sich darüber einig, dass der
Modellbegriff eine zentrale Rolle in den Naturwissenschaften und bei dem Lernen der Natur-
wissenschaften spielt. Mit Modellen sind in erster Linie theoretische Konstrukte (Ideen, Vor-
stellungen, vorläufige Theorien) gemeint. Wenn ein solches theoretisches Modell ausgearbeitet
ist und sich bewährt hat, spricht man von einer *Theorie*. Naturwissenschaftliche Modelle wer-
den im Unterricht *gegenständlich oder bildhaft oder symbolisch* dargestellt.

2. Empirische Untersuchungsergebnisse in der Sekundarstufe I (Mikelskis-Seifert 2002) zeigen,
dass das Verständnis des Modellbegriffs wesentlich ist für das Verständnis *der für die Natur-*

wissenschaften fundamentalen Kleinste-Teilchen-(Atom-)Hypothese (siehe Modulbeschreibung G2). Bestimmte Erkenntnis- und Wissenschaftstheorien wirken sich auf den Modellbegriff aus; dieser beeinflusst auch das Verständnis der Naturwissenschaften. Mikelskis-Seiferts (2002), Meylings (1997) und unsere Untersuchungen in der Primarstufe (z. B. Sodian et al. 2002) beziehungsweise in der Lehrerfortbildung (siehe Günther et al. 2004) ergeben:

- Nur explizite Darstellungen über die Natur der Naturwissenschaften führen zu relevanten Änderungen des anfangs naiven Wissenschaftsverständnisses.
- Der Modellbegriff kann an geeigneten Beispielen sinnvoll, das heißt auch erfolgreich, in der Grundschule eingeführt werden.
- Wir folgern, dass metatheoretische Inhalte (Wissenschaftsverständnis) ein unverzichtbarer Bestandteil des künftigen Sachunterrichts sind (sein sollen).

Analogien im Sachunterricht

Lernen durch Analogien bedeutet, dass ein bis dahin unbekannter Sachverhalt aufgrund von *Ähnlichkeiten* oder durch einen *Vergleich* erkannt und verstanden wird.

Welche Voraussetzungen und Schwierigkeiten gibt es bei der Analogienutzung?

Man weiß, dass Vergleiche hinken und dass man nicht Äpfel mit Birnen vergleichen kann. Der Wissenschaftsphilosoph Bunge (1972) mahnt zur Vorsicht, denn nach seiner Meinung gebären Analogien genau so viele Monster wie gesunde Babys. Wir betrachten die Verwendung, den Nutzen und die Probleme von Analogien, um sie angemessen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht einsetzen zu können. *Analogien zu verwenden bedeutet allerdings immer, einen (Lern-)Umweg zu machen.* Denn anstatt den ursprünglichen (primären) Lernbereich (z. B. den elektrischen Stromkreis) direkt zu lernen, wird zunächst ein *analoger Lernbereich* thematisiert und dann diese Erkenntnisse *probeweise* auf den primären Lernbereich übertragen. Außerdem muss untersucht werden, ob und wie weit die Analogien tragen.

Die Grundvoraussetzung ist, dass die Lernenden mit dem analogen Lernbereich vertraut sind. Vertraut sein kann sich auf das *Aussehen* (»Oberflächenähnlichkeit«) oder auf die *Gesetzmäßigkeiten* (»Tiefenstrukturähnlichkeit«) beziehen. Kinder und erwachsene Laien orientieren sich bei der Analogienutzung zuerst an der Oberflächenähnlichkeit. Ohne Ähnlichkeiten im Aussehen werden Analogien häufig abgelehnt. Man nennt diese Reaktion das »Akzeptanzproblem«. Ein weiteres Problem hängt mit dem recht ungenauen Ausdruck »ähnlich« zusammen. Was bedeutet die Forderung, der primäre und der analoge Lernbereich sollen »ähnlich« sein? Welche Zusammenhänge bestehen, welche Schlüsse kann man ziehen?

1. Aufgrund von Ähnlichkeiten lassen sich *keine genauen Schlüsse* ziehen: Wenn Alex ähnlich groß ist wie Bernd, weiß man nicht, ob Alex größer oder kleiner ist als Bernd.
2. Aufgrund von Ähnlichkeiten lassen sich *keine weiterreichenden Schlüsse* ziehen: Wenn Alex ähnlich groß ist wie Bernd, Bernd ähnlich groß wie Chris, kann man nicht schließen, dass Chris ähnlich groß wie Alex ist (aber auch nicht, dass Chris unähnlich groß wie Alex ist).
3. Die Zusammenhänge im analogen Lernbereich können die Zusammenhänge im primä-

ren Lernbereich *nicht erklären, sondern nur veranschaulichen, illustrieren.*

4. Physikalische Gesetze aus dem analogen Lernbereich sind nur Hypothesen über den primären Lernbereich.
5. Wie alle Hypothesen müssen auch die des analogen Lernbereichs *auf jeden Fall experimentell überprüft* werden.

Welche Analogie würden Sie im Unterricht verwenden?

Die Anzahl der Analogien (der Vergleiche) zu einem Thema ist *beliebig groß*. Zum Beispiel können zum elektrischen Widerstand eine »Baustelle auf der Autobahn« oder die »Schultüre« sinnvolle Vergleiche sein; letztere, wenn die Pause zu Ende ist und die Schüler durch die Türe ins Schulhaus strömen. Beide Situationen kommen in der Lebenswelt der Schüler vor, ist diesen vertraut. Der Vergleich mit der Schultüre kann wiederholt, experimentell überprüft und gezielt beobachtet werden. Aus diesen Gründen wird man dieser Analogie den Vorzug geben. In dieser Situation des Schulalltags wird auch physikalisch Wesentliches des elektrischen Stromkreises dargestellt: Eine Engstelle beeinflusst den »Schülerstrom« und ebenso den Elektronenstrom. Der Glühdraht des Lämpchens ist eine Engstelle für die Elektronen. Die Schüler wissen, dass sich die Kinder im Bereich der Tür langsamer vorwärts bewegen und dass häufig ein Gedränge oder ein Stau entsteht. Auch die Elektronen müssen durch die Engstelle »Lämpchen« hindurch. Aber: Bei Elektronen entsteht kein Gedränge oder Stau!

Das Beispiel soll deutlich machen: *Analogien haben Grenzen*. Diese Grenzen und auch die *Probleme der Analogienutzung* müssen selbstverständlich mit den Schülern diskutiert werden. Beides sind Aspekte von Wissenschaftsverständnis.

Analogien schon im Sachunterricht der Grundschule einsetzen?

Manche Probleme der Analogienutzung lassen sich vermeiden, wenn die Analogien, *von den Schülern selbst erfunden und gespielt werden*. Solche gespielten Analogien werden nicht nur für Grundschulkinder vorgeschlagen (siehe Kircher et al. 2001², Labudde 2002).

Gespielte Analogien berücksichtigen individuelle kognitive Strukturen, die Lernvoraussetzungen der Kinder, tragen zum besseren Verständnis eines Sachverhalts bei, weil Bezüge zu Vertrautem hergestellt werden, sie motivieren und führen schließlich zwanglos zum Nachdenken über Nutzen und Probleme von Analogien. Gespielte Analogien sind Brücken zur Lebenswelt der Schüler und keine »Krücken«, die man beiseite legt, wenn der primäre Lernbereich verstanden ist. Sie sind die mentalen Begleiter eines naturwissenschaftlichen Sachverhalts unter Umständen bis über die Schule hinaus, weil beim Lernen Kopf, Herz, Hand (oder Fuß) beteiligt sind.

Black Boxes als Analogien für die naturwissenschaftliche Forschung

Black Boxes (»Schwarzen Kästen«) wurden bisher gelegentlich im Sachunterricht eingesetzt: Film Dosen enthalten verschiedene kleine Objekte (Sandkörner, Apfelkerne, kleine Kieselsteine). Die Kinder schütteln die Black Boxes und treffen aufgrund der unterschiedlichen Ge-

räusche Schlussfolgerungen über die Dinge in der Filmdose. Wir öffnen allerdings die Black Boxes nicht, auch dann nicht, wenn die Schüler Hypothesen (Vermutungen) über das Innere aufgestellt haben! Denn alle Vermutungen, die mit den *beobachteten Tatsachen* übereinstimmen, sind *sinnvolle, »richtige« Modelle* des Inneren der Black Box. So ist es auch in der Wissenschaft: Die Black Box der Wissenschaftler sind die Forschungsgegenstände auf der Erde und im Weltall. Die Wissenschaftler beobachten Tatsachen und entwerfen Modelle, die mit den Tatsachen übereinstimmen. Vor allem, wenn es Unterschiede zwischen Tatsachen und den Modellen gibt, wird nach weiteren Modellen und weiteren beobachtbaren Tatsachen geforscht.

Stichwortartige Zusammenfassungen über Analogien im Unterricht

- Die Verwendung von Analogien als Lernhilfen ist grundsätzlich ambivalent.
- Analogien *erklären* nicht, sondern machen einen Sachverhalt »nur« *verständlich*.
- Analogien wirken eher individuell als global, weil nicht alle Schüler eine bestimmte Analogie akzeptieren.
- Schüler orientieren sich eher an Äußerlichkeiten der Analogie (»Oberflächenstruktur«) als an physikalischen Gesetzmäßigkeiten (»Tiefenstruktur«) der Analogie.
- Im Unterricht wird die »Tiefenstruktur« (z. B. der elektrische Stromkreis) zuerst thematisiert und gelernt und erst dann durch die gespielte Analogie illustriert.
- Eine Reflexion der Analogienutzung im Unterricht ist unbedingt notwendig.

Spiele im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Auch naturwissenschaftliche Talente spielen gerne. Im Konzept des Jena-Plans von Petersen findet man auch das *Spiel* als eine »*Urform der Bildung*« (Petersen 1971). Nicht nur Petersen, sondern auch andere Vertreter der Arbeitsschulpädagogik entwickelten didaktische Materialien, die für die Hand des Schülers bestimmt waren und selbsttätiges Lernen ermöglichten. Ein Teil dieser Arbeitsmittel wurde mit einer spielerischen Struktur unterlegt und als »Lernspiel« bezeichnet. Von ihrer äußeren Form her sind Lernspiele ähnlich wie Lotto-, Domino-, Puzzle-, Memory- oder Quizspiele aufgebaut. Ihre Inhalte stammen aus dem Sprach-, Rechen- oder Sachunterricht. Mit Hilfe von Lernspielen lassen sich Wissen vermitteln, Kenntnisse einprägen und Fertigkeiten üben.

Während für das Kind das Spielen im Vordergrund steht, erwartet die Lehrkraft als »Nebenprodukt« dieser Spieltätigkeit auch einen Lerneffekt. Spielerisches Lernen erschöpft sich natürlich nicht im Umgang mit vorgefertigten Lernspielen. Im Unterricht werden Dinge des Alltags bei spielerischen Versuchen und Konstruktionen benutzt. Bei Rollen- und Ratespielen wird vor allem auf das Medium Sprache und auf manuelle Tätigkeiten (Schreiben, Malen, Ankreuzen usw.) zurückgegriffen.

Übungsspiele

Übungsspiele gehören zu den im Unterricht am häufigsten vertretenen Spielen. Auf spielerische Weise sichern sie die erlernten Inhalte und üben sie ein, vor allem im Wochenplan oder in Phasen der freien Arbeit. So gehören Würfelspiele mit Ereignis- und Fragekarten ebenso

wie Memory, Domino, Frage-/Antwortspiele zu den Spielen, die im Unterricht als motivierendes Übungsmaterial Einzug erhalten haben. Ab der dritten Jahrgangstufe können Schüler solche Spiele selbst herstellen (z. B. in einem Spielprojekt). Beispiele finden sich in Grygier et al. (2004).

Geschicklichkeitsspiele

Geschicklichkeitsspiele lassen sich der großen Gruppe der psychomotorischen Spiele zuordnen. Bei ihnen wird eine Bewegung mit dem Körper ausgeführt oder ein Gegenstand bewegt, wobei die Freude an der Bewegung das Hauptziel ist und Erfahrungen über Ursache-Wirkung-Zusammenhänge beteiligt sind (Einsiedler 1992, S. 62). Geschicklichkeitsspiele erfordern und fördern zudem feinmotorische Fähigkeiten des Spielers. Bei den Geschicklichkeitsspielen steht die Freude an der eigenen Geschicklichkeit im Vordergrund. Durch das Einbetten in einen physikalischen Hintergrund können die Schüler zusätzlich neue Erfahrungen zu einem physikalischen Themenbereich sammeln.

Geschicklichkeitsspiele lassen sich sowohl am Beginn, als auch am Ende einer neuen Unterrichtseinheit einsetzen. So kann das Geschicklichkeitsspiel »Heißer Draht« (siehe Unterrichtsmaterialien S. 33) den Ausgangspunkt für ein Unterrichtsgespräch zum Thema »Wann leuchtet das Lämpchen?« bilden. Es ist jedoch auch möglich, das Spiel erst einzusetzen, nachdem geklärt wurde, unter welchen Bedingungen ein Lämpchen leuchtet. Handwerklich geschickte Schülerinnen und Schüler können das Spiel auch selbst herstellen.

Gespielte Analogien

Abstrakte Begriffe und (theoretische) Modelle vor allem aus der Physik werden durch gespielte Analogien dargestellt. Das »Stromkreisspiel«, in dem sich ein Teil der Kinder so wie die Elektronen im Stromkreis verhalten, ist eine solche Analogie. Die anderen Kinder fungieren als Batterie, Lämpchen und Schalter im Stromkreis. Den physikalischen Inhalt sollen die Schüler *vor* dem Spiel lernen, denn sie müssen erst über das notwendige Wissen verfügen, um ein naturwissenschaftliches Modell spielerisch darzustellen.

Bei der Erarbeitung der spielerischen Umsetzungsmöglichkeit setzen sich die Schüler nochmals intensiv mit der Thematik auseinander. Sie bringen bei der Entwicklung einer gespielten Analogie eigene Ideen mit ein und aktivieren ihr Vorwissen. Flexibles Denken wird gefördert und gefordert. Der Lehrer hält sich mit seinen eigenen Beiträgen in dieser Phase weitgehend zurück und übernimmt die Rolle des Moderators. Die Schüler tauschen untereinander ihre Darstellungsvorschläge aus. Auf diese Weise gehen inhaltliches und sozial-kommunikatives Lernen Hand in Hand. Der Lehrer erkennt dabei auch, ob ein Kind den physikalischen Inhalt verstanden hat. Für schwächere Schüler kann die spielerische Darstellung eine Hilfe sein, die Thematik zu erfassen und eine angemessene Vorstellung über die physikalischen Vorgänge nachträglich zu entwickeln.

Im Anschluss an das Spiel beschreiben und erklären die Schüler die gespielte Analogie. Sie re-

flektieren die Darstellung, erläutern Probleme bei der Durchführung und diskutieren Verbesserungsvorschläge. Sehr wichtig ist die Erörterung von Sinn und Zweck und von Grenzen der gespielten Analogien. Darüber hinaus ist es unverzichtbar, im Unterricht auch einen wirklichen Stromkreis vorzuführen.

Metatheoretische Reflexionen

Hinter die »Kulissen der Naturwissenschaften« sehen kann und soll man in jeder Unterrichtseinheit, möglichst in jeder Sachunterrichtsstunde. Metatheoretische Reflexionen bilden den roten Faden, der sich durch den Sachunterricht mit dem Ziel »Wissenschaftsverständnis« zieht. Wie erwähnt, gehören dazu auch erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Probleme, zum Beispiel:

- »Was bedeutet *Experiment* beziehungsweise *experimentieren*?«
- »Gelten physikalische Theorien immer und überall?«
- »Warum müssen Beobachtungen sorgfältig aufgeschrieben werden, warum manchmal in Tabellen?«
- »Was ist der Vorteil einer graphischen Darstellung?«
- »Warum ist messen nützlich?«
- »Gibt es auch sinnlose Messungen?«
- »Warum macht man auch Experimente, bei denen nicht gemessen wird (Qualitative Experimente)?«
- »Warum muss man bei der Verwendung von Analogien aufpassen?«
- »Was nützen Analogien?«
- »Was bedeutet *erklären*? Was bedeutet *verstehen*?«

Im weiteren Sinne gehört zu den metatheoretischen Reflexionen auch die bewusste pädagogische Arbeit an der Sprache, die Sensibilisierung der Kinder für sprachliche Differenzierungen, für Unterschiede zwischen Fachsprache und Umgangssprache. Wann genügt die Umgangssprache, wann sollen Fachausdrücke verwendet werden? Sollen wir eigene »Namen« für etwas Neues erfinden? Was steckt hinter dem Begriff »wahr-nehmen«?

Beispiel: Der elektrische Strom – ein Elektronenstrom

Vorbemerkungen

Alltagsvorstellungen über den elektrischen Stromkreis sind für die Schüler Lernhindernisse während der ganzen Schulzeit, wenn sie nicht schon in der Grundschule durch angemessene physikalische Vorstellungen ersetzt werden. Physikalische Vorstellungen sollen erweiterbar sein, d.h. dass die in der Grundschule erworbenen Modellvorstellungen auch noch in der Sekundarstufe relevant sind. Dort werden sie so differenziert und ergänzt, dass möglichst *kein Umlernen* der Physik erfordert wird, sondern Wissen und Verständnis erweitert werden.

Der Einzug der Elektrizität auch in die Lebenswelt der Kinder wird als *eine* Begründung dafür genommen, den elektrischen Stromkreis bereits im Grundschulsachunterricht zu thematisieren, *wichtige Wirkungen des elektrischen Stromes* kennen zu lernen, *Grundbegriffe zur Beschreibung des Stromkreises* zu vermitteln und die *Funktion einfacher Geräte* zu verstehen. Aber was strömt da in den Kupferdrähten? Was passiert mit dem »Strom« im Lämpchen? Welche Rolle spielt die Batterie im Stromkreis?

Viele empirische Untersuchungen aus den vergangenen 30 Jahren verdeutlichten die Lernschwierigkeiten, die mit dem elektrischen Stromkreis verbunden sind und die nicht nur bei Grundschulern auftreten. Eine Ursache für Lernschwierigkeiten ist die *Sprache der Physik*, die Ausdrücke der Umgangssprache verwendet, damit aber in der Regel etwas anderes meint als in der Lebenswelt. »Die Batterie ist leer« bedeutet nicht, dass etwas Dinghaftes aus der Batterie »ausgelaufen« ist, was sich bei einer »vollen« Batterie im Inneren befindet. Viele Kinder meinen, dass dieses »Ding« in der Batterie der elektrische Strom sei; sie stellen sich den Strom als eine *Substanz* vor anstatt als einen *Vorgang* (Bewegung der Elektrizitätsträger, der Elektronen). Der elektrische Strom ist ein Elektronenstrom, der z. B. durch eine funktionsfähige Batterie in Gang gehalten werden kann.

Wir schlagen vor, das Elektronenmodell im Sachunterricht der Grundschule einzuführen. Mehrfache wissenschaftliche Unterrichtserprobungen in der dritten und vierten Jahrgangsstufe unterstützen diese didaktische Entscheidung. Das Elektronenmodell

- ist fachlich relevant,
- kann verhindern, dass Grundschülerinnen und Grundschüler im Sachunterricht inadäquate Alltagsvorstellungen über den elektrischen Stromkreis entwickeln, und
- verhindert, dass die Sachkundendidaktik späte »Eigentore schießt«.

Die Einführung eines Elektronenmodells bedeutet nicht, dass wir die Physik der Sekundarstufe I in die Primarstufe vorziehen!

- Es wird wie bisher im Sachunterricht darauf verzichtet, die physikalische Realität quantitativ zu beschreiben.
- Wie bisher beginnen wir bei den Bauteilen und den Phänomenen des Stromkreises.
- Wie bisher wird auf quantitative Experimente und in diesem Zusammenhang auch auf die Einführung der Begriffe »elektrische Stromstärke« und »elektrische Spannung« verzichtet.

Es kommen mit der Einführung eines Elektronenmodells allerdings Phänomene der »ruhenden Elektrizität« (Elektrostatik) hinzu, um »elektrische Ladung« und damit zusammenhängend »Elektronen« als Träger der elektrischen Ladungen in einem größeren Kontext über den einfachen Stromkreis hinaus zu thematisieren.

Um die Bewegung der Elektronen im Stromkreis verständlich zu machen, spielen die Kinder den Elektronenstrom: Die »Batterie« schiebt die »Elektronen« an, das »Lämpchen« behindert den Lauf der »Elektronen«, der »offene Schalter« bewirkt, dass sich die »Elektronen« im »Stromkreis« nicht mehr bewegen. Die *gespielte Analogie* (Kircher & Werner 1994) veranschaulicht eine grundlegende Lernschwierigkeit nicht nur in der Primarstufe: *Der elektrische Stromkreis ist ein geschlossenes System*. Elektronen können nicht aus ihm verschwinden; sie bewegen sich wie eine Fahrradkette »im Kreis« (siehe Abbildung auf Seite 31). In einer vergleichenden Studie stellte Aigner (2004) fest, dass Grundschüler nach einem Jahr noch wichtige Einzelheiten des Stromkreises kennen, wenn sie die Vorgänge im Stromkreis selbst gespielt hatten. Dagegen waren die Ergebnisse der Schüler der Parallelklasse, die die gespielte Analogie nicht kannten, schlechter, auch beim Experimentieren (Aufbau eines funktionsfähigen Stromkreises mit Lämpchen).

Im Sinne der Vermittlung von Wissenschaftsverständnis wird die Anwendung und Bedeutung von Analogien reflektiert, hier von gespielten Analogien (siehe Kircher et al. 2001). Dazu gehört auch, die *Grenzen von Analogien* zu diskutieren. Für die gespielte Analogie des elektrischen Stromkreises schlagen wir folgende Schritte vor:

1. Die Schüler lernen charakteristische Bauteile und Phänomene des elektrischen Stromkreises kennen, die sie anhand ihrer Alltagsvorstellungen interpretieren.
2. Die Alltagsvorstellungen werden durch Experimente bestätigt oder widerlegt, so dass die wichtigen Tatsachen des elektrischen Stromkreises allen bekannt sind, auch irrtümlich angenommene »Tatsachen« (z. B. die »leere« Batterie sei leichter als die »volle«).
3. Der Lehrer führt das Elektronenmodell ein, um gemeinsam mit den Schülern *die Bauteile und die Tatsachen* im für die Schüler neuen physikalischen Modell zu interpretieren.
4. Die Schüler entwickeln eine gespielte Analogie, um die Modellvorstellung des elektrischen Stromkreises zu veranschaulichen.
5. Die Schüler spielen die Analogie und vergleichen die Tatsachen des elektrischen Stromkreises mit den gespielten Tatsachen der Analogie.
6. Metatheoretische Reflexion: Grenzen der gespielten Analogie im Vergleich mit der Wirklichkeit (elektrischer Stromkreis), Bedeutung von Analogien für das Lernen.

Alltagsvorstellungen über den elektrischen Stromkreis

Alltagsvorstellungen über Batterie und Lämpchen sind von der Umgangssprache beeinflusst. Man sagt, die Batterie sei »voll« beziehungsweise »leer«. Schüler interpretieren diese Ausdrucksweise so: In der »vollen« Batterie ist »Strom«, in der »leeren« Batterie ist kein »Strom«. Durch diese Ausdrucksweise wird zusätzlich suggeriert, dass Strom eine Substanz sei. Aber

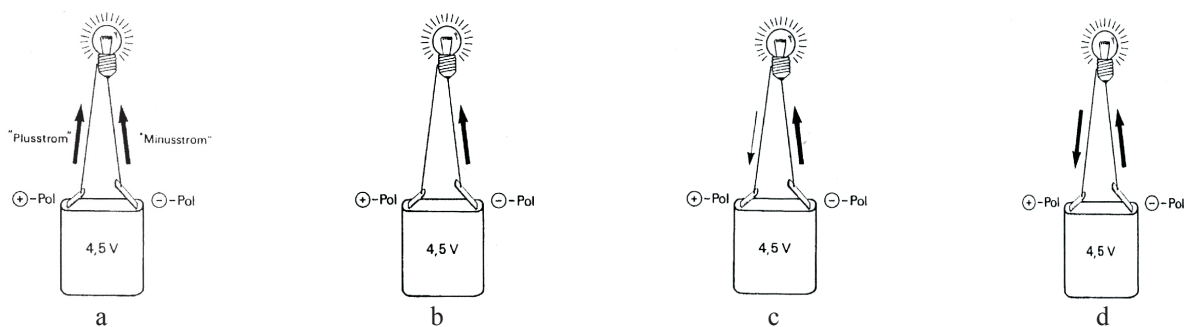
»Strom«, sprachlich richtig aufgefasst, ist mit »Bewegung« oder einem Vorgang (Prozess) gleichzusetzen, wie bei einem Wasserstrom. Auch der elektrische Strom ist ein Vorgang, nämlich die Bewegung von Elektronen – ein Elektronenstrom. Ist dann die »volle« Batterie voll von Elektronen, ist sie ein Elektronenspeicher? Dieser naheliegende Schluss ist leider falsch. Elektronenspeicher sind die Kondensatoren, Bauteile der Elektrotechnik. *Batterien hingegen sind Energiespeicher*. Genauer: In Batterien ist *chemische Energie* gespeichert, die in *elektrische Energie* umgewandelt werden kann.

Die Batterie wird als eine *Black Box* betrachtet, durch die *Elektronen in Bewegung* gesetzt werden. Eine »leere« oder »verbrauchte« Batterie kann die Elektronen nicht mehr in Bewegung setzen (die chemische Energie ist aufgebraucht, bereits in elektrische Energie umgewandelt). Der »Stromverbrauch« unseres Haushaltes, den wir bezahlen müssen, führt ebenfalls zu unpassenden Vorstellungen der Schüler. Dabei ist die Vorstellung von einer »Vernichtung« des Stromes im Lämpchen vorherrschend. Aber auch hier gibt es in den Äußerungen der Schüler feine Unterschiede (s. Kircher 1998, S. 148 f):

- »Der ›Saft‹ wird in der Lampe verbraucht.«
- »In der Lampe wird der Strom entleert.«
- »Der wird dann hier (im Lämpchen) ausgenutzt und dann ist er weg.«
- »Da wird der Strom verbraucht. Weil der sich abnutzt im Metall.«

Alltagserfahrungen führen zu unzutreffenden physikalischen Schlussfolgerungen. Soziale Erfahrungen des Alltags werden auch auf die Vorgänge im elektrischen Stromkreis übertragen: Die Batterie »gibt« dem Lämpchen den Strom, den dieses braucht, so wie die Großmutter dem Enkelkind Süßigkeiten gibt, die es (angeblich) braucht. Oder: Das Lämpchen »nimmt« sich den Strom, den es braucht, so wie sich ein unartiges Kind einfach das Eis aus dem Kühlschrank nimmt, ohne Erwachsene zu fragen. Man spricht hier vom »Geben-« bzw. »Nehmen-Schema« der Schüler.

Alltagserfahrungen über Ursache und Wirkung führen zu Fehlschlüssen über die Auswirkung eines zweiten Lämpchens, das in einen Stromkreis eingebaut wird: Schüler mit der richtigen Vorstellung eines *gleich gerichteten Stromflusses* vom Minuspol der Batterie zum Pluspol (Abbildungen c, d). machen eine falsche Vorhersage, nämlich dass jenes Lämpchen, durch das der Strom *zuerst* fließt, heller leuchtet. Ihre Begründung: Dem zweiten Lämpchen steht wegen des »Stromverbrauchs« im ersten Lämpchen weniger Strom zur Verfügung.



Schülervorstellungen vom elektrischen Stromkreis (Erläuterung nächste Seite)

- a) Die Substanz Strom wird im Lämpchen vernichtet und es entsteht Licht.
- b) Strom aus einem Pol und vollständige Vernichtung im Lämpchen
- c) Partielle Vernichtung des Stroms im Lämpchen
- d) Vereinfachte physikalische Vorstellung des elektrischen Stromkreises. Die Batterie ist eine »Elektropumpe«, die die Elektronen im Kreis bewegt.

Auch über die Geschwindigkeit des »Stromes« (der Elektronen) in Leitungen gibt es Fehlvorstellungen. Viele Schüler sind der Meinung, der »Strom« in der Leitung sei »so schnell wie der Blitz«, weil das Licht »blitzschnell« angeht, wenn der Schalter betätigt wird. Tatsächlich bewegen sich die Elektronen in einem Draht (z. B. von der elektrischen Spannung einer Flachbatterie bewegt) sehr langsam mit sprichwörtlichem Schneckentempo. Wenn die Schüler als »Elektronen« den Stromkreis spielen, sind sie viel schneller als die wirklichen Elektronen im geschlossenen Stromkreis (mit Gleichspannung)!

Der elektrische Stromkreis und das Elektronenmodell

Das Elektron

Schon seit dem Altertum ist bekannt, dass manche Stoffe (zum Beispiel Bernstein; altgriechisch: electron) durch Reiben elektrisch geladen und dann von anderen Stoffen angezogen werden. Mit der Entwicklung der Atom-Modelle wurde das »Elektron« als »Teilchen«, dem Träger der negativen elektrischen Ladung eingeführt (Georg J. Stoney, 1891). Der elektrische Strom wurde bis ins 19. Jahrhundert hinein mit einer bewegten, unsichtbaren (elektrischen) Flüssigkeit erklärt. Ein Elektron trägt immer eine gleich große elektrische Ladung; es ist die kleinste elektrische Ladung, die bisher gemessen wurde ($e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ As [Amperesekunden]). Auch die Masse des Elektrons wurde durch verschiedene Experimente genau bestimmt ($m_e \approx 10^{-30}$ kg). Das ist viel genauer als eine herkömmliche Waage einen Gegenstand wiegen kann. Die Zahl der bewegten Elektronen ist »unvorstellbar und unzählbar groß«: Wenn die Stromstärke 1 Ampere ist, bewegen sich ca. 10^{18} Elektronen im Stromkreis. (Wegen der fehlenden mathematischen Voraussetzungen wird im Unterricht natürlich auf diese Zahlenangaben verzichtet.) Die Tatsachen sprechen dafür, dass ein »Elektron« mehr als eine bloße Modellvorstellung ist, sondern dass zu diesem Begriff auch ein »Ding« in der Wirklichkeit existiert. Aus dem Strömen der »elektrischen Ladung« wurde nach der Entdeckung des Elektrons die Vorstellung eines Elektronenstromes, der »im Kreis« fließt.

Der einfache Stromkreis: Stromstärke – Spannung – Widerstand – Kurzschluss

Der einfache Stromkreis besteht im Sachunterricht aus Batterie, Leitungen, Schalter und »Verbraucher« (Lämpchen oder Elektromotor). Der *Schalter unterbricht den Elektronenstrom*; die Elektronen können nicht mehr fließen. Die Stromstärke ist nach dem Öffnen des Schalters sofort im ganzen Stromkreis null. Im einfachen Stromkreis wird meistens ein Lämpchen als »Verbraucher« verwendet, mit einem dünnen Glühdraht als *einzigere Engstelle*.

In der Umgangssprache werden »elektrischer Strom« und »elektrische Stromstärke« im Allge-

meinen in gleicher Bedeutung benutzt. Auch in der Grundschule wird der *qualitative* Begriff »elektrischer Strom« und nicht der *quantitative* Begriff »elektrische Stromstärke« verwendet. Die *elektrische Stromstärke* ist »bewegte elektrische Ladung« pro Zeiteinheit beziehungsweise die Anzahl der Elektronen, die pro Zeiteinheit durch einen Leiter fließen.

Die »elektrische Spannung« der Batterie übt auf die Elektronen eine Kraft aus und setzt dadurch die Elektronen in Bewegung. Bei gesunden Erwachsenen sind erst Spannungen oberhalb von 50 Volt gefährlich. Daher sind Experimente mit Batterien (4,5 Volt) für den Menschen ungefährlich. Das bedeutet nicht, dass bei dieser Voltzahl kein Elektronenstrom durch den Menschen fließt, sondern nur, dass dieser zu klein ist, um gesundheitliche Schäden zu verursachen. In der Grundschule wird der Begriff »elektrische Spannung« nicht eingeführt, sondern gegebenenfalls von der »Voltzahl der Batterie« gesprochen².

Der elektrische *Widerstand* (z. B. ein Lämpchen) wird im Elektronenmodell zu einer Engstelle, welche die Elektronen am Fließen behindert. Der Elektronenstrom im einfachen Stromkreis hängt von zwei (physikalischen) Größen ab, von der *Spannung der Batterie (oder eines Netzteils mit Niederspannung)*, die die Elektronen antreibt, und vom elektrischen Widerstand des »Verbrauchers«, der den Elektronenfluss behindert. Die Voltzahl der Batterie beeinflusst die Geschwindigkeit der Elektronen.

Ist *kein Verbraucher* (z. B. ein Lämpchen) im Stromkreis, so entsteht ein *Kurzschluss*. Nun müssten die Elektronen eigentlich ungehindert fließen können, die Stromstärke müsste beliebig groß werden. Das ist aber bei unseren Experimenten nicht der Fall, weil eine Batterie nur verhältnismäßig kleine Stromstärken (wenige sich langsam bewegende Elektronen) liefern kann. Der Kurzschlussstrom einer handelsüblichen Batterie kann kaum Schaden anrichten. Allerdings ist die Batterie durch einen Kurzschluss nach spätestens einer Stunde »leer«!

Vorsicht: Verwenden Sie im Unterricht keine Autoakkus! Werden Autoakkus versehentlich durch ein Kabel kurzgeschlossen, ist die Stromstärke so groß, dass sich das Kabel stark erhitzt, die Isolation und sogar der Kupferdrähte des Kabels schmelzen. Vorsichtshalber sollten auch aufladbare »Batterien« (Taschenlampenakkus) nicht für Schülerversuche verwendet werden, auch wenn dies ökologisch und ökonomisch sinnvoll wäre.

Die Glühlampe als elektrischer Widerstand³

Eine Glühlampe leuchtet, weil Elektronen auf Atome stoßen und dabei Photonen (Lichtteilchen) aussenden. Eine Glühlampe leuchtet umso heller, je mehr Elektronen pro Zeiteinheit durch die Glühwendel fließen, d. h. je größer die Stromstärke ist. Allerdings führt ein zu hoher Strom zur Zerstörung der Glühwendel, da sie zu heiß wird und verglüht. Es gibt also einen idealen Betriebsstrom, bei dem das Lämpchen hell genug leuchtet, aber der Glühdraht nicht zu

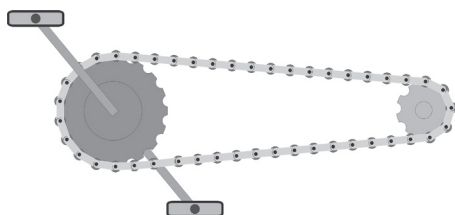
² Das bedeutet auch, dass keine Messgeräte für die »Stromstärke« und »Spannung« benötigt werden. Für den Lehrer ist allerdings ein Vielfachmessinstrument sinnvoll, um die Funktionsfähigkeit von Batterien und Lämpchen zu überprüfen.

³ Der Ausdruck »elektrischer Widerstand« kann sowohl einen *Gegenstand* bezeichnen (z. B. ein Lämpchen *ist* ein Widerstand) als auch einen *Begriff der Elektrizitätslehre* bedeuten (ein Lämpchen *hat* einen Widerstand).

stark belastet wird. Verwenden Sie im Unterricht die im Handel erhältlichen 4,0-Volt- bzw. 3,8 Volt-Lämpchen für die 4,5-Volt-Flachbatterien. Es gibt auch Lämpchen für 1,5-Volt-Batterien und 6-Volt-Lämpchen für die Fahrradbeleuchtung. Wenn man ein 1,5-Volt-Lämpchen an eine 4,5-Volt-Batterie anschließt, verglüht die Glühwendel; dagegen leuchten die 6-Volt-Lämpchen nur schwach oder gar nicht. Die maximale Spannung und die Stromstärke sind meistens auf den Lämpchen aufgedruckt. Es genügt dabei, die Spannung zu berücksichtigen, da sich durch den vorgegebenen elektrischen Widerstand der Glühwendel die entsprechende Stromstärke von selbst einstellt.

Der Stromkreis als abgeschlossenes System

Die Stromstärke ist im einfachen Stromkreis überall gleich groß. Da keine Elektronen verschwinden und keine Elektronen in Licht umgewandelt werden, muss die Anzahl der Elektronen, die an einer beliebigen Stelle des Stromkreises in einer bestimmten Zeit vorbeifließen, immer gleich groß sein. Man kann dies gut mit einer Fahrradkette verdeutlichen: Hier haben alle Kettenglieder immer den gleichen Abstand und immer die gleiche Geschwindigkeit, unabhängig davon, wie schnell man die Pedale und damit die Kette bewegt. Der Kettengliederstrom reißt nicht ab und erzeugt auch keinen Stau.



Die Fahrradkette als Vergleich, wie sich die Elektronen im Kreis bewegen

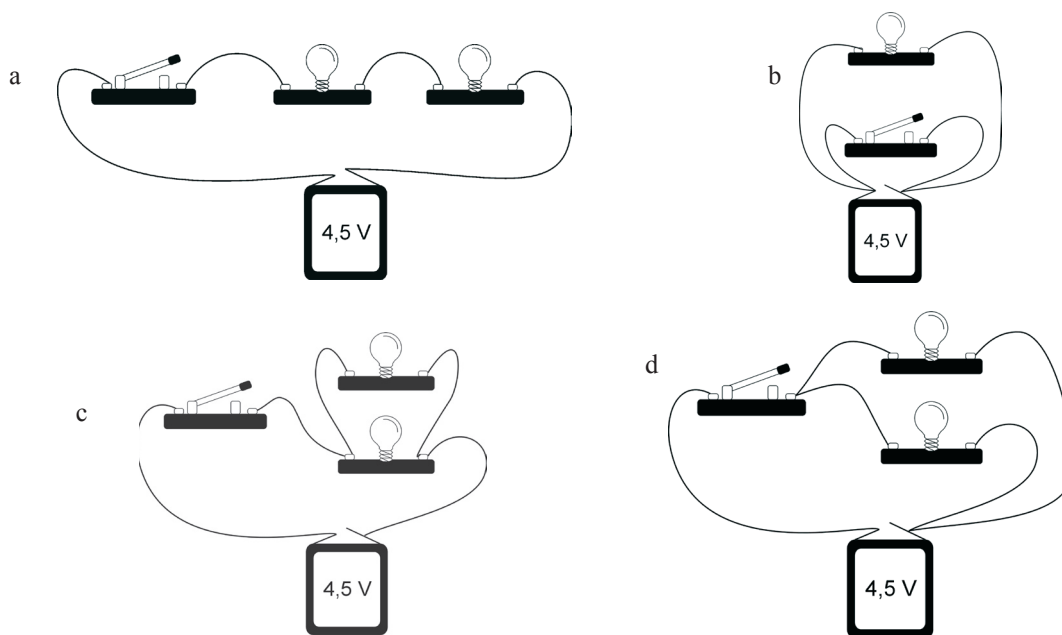
Verwenden Sie doch diesen Analogversuch im Klassenzimmer oder auf dem Schulhof: Am umgedrehten Fahrrad greifen Sie (mit Arbeitshandschuhen) in die (nicht kraftvoll!) bewegte Kette an einer oder an zwei Stellen. Diese Analogie verdeutlicht, warum der Schalter oder ein Widerstand im elektrischen Stromkreis *sofort auf alle Elektronen* wirkt. Wird die Fahrradkette an einer Stelle behindert oder gestoppt, so reagieren alle Kettenglieder gleichzeitig. Wird der Stromkreis verändert, z. B. durch den Einbau eines zweiten Widerstands, so wirkt sich auch diese Änderung auf den ganzen Stromkreis aus. In diesem Fall verlangsamen sich *alle Kettenglieder* (Elektronen) durch die zweite »Behinderung« im Stromkreis. Auf diese Eigenschaft des Stromkreises geht die gespielte Analogie gezielt ein: Alle »Schüler-Elektronen« müssen sich mit ungefähr gleichem Abstand bewegen und *beim Öffnen des Schalters sofort gemeinsam stehen bleiben*. Nur so kommt es nicht zum Stau bei der gespielten Analogie und der »Schüler-Strom« kann gleichmäßig fließen.

Reihen- und Parallelschaltung

Im Sachunterricht wird zwar nur der einfache Stromkreis behandelt, aber die Experimentierfreude der Schüler führt oft zu unterschiedlichen Schaltungen, daher werden die Reihen- und Parallelschaltung ebenfalls diskutiert:

1. *Reihenschaltung* (Abbildung a): Zur Vereinfachung verwenden wir *gleiche* Lämpchen (gleiche Voltzahl, gleiche Amperezahl). Die Stromstärke ist dann (bei gleicher Batteriespannung) im Stromkreis nur halb so groß wie bei *einem* Lämpchen.

Überall im Stromkreis fließt (durch die Batterie, durch beide Lämpchen und durch den Schalter) nur ein halb so großer Elektronenstrom wie bei *einem* Lämpchen. Wir beobachten: Jedes Lämpchen leuchtet deutlich schwächer; man kann vereinfachend sagen, »halb so hell«.



Verschiedene Schaltungen: a) Reihenschaltung, b) Kurzschluss-Schaltung, c) u. d) Parallelschaltung

2. *Parallelschaltung* (Abbildungen c, d): Durch den Schalter und durch die Batterie fließt ein Elektronenstrom, der doppelt so groß ist wie der, der durch jedes der Lämpchen fließt. Wir beobachten: Jedes Lämpchen leuchtet so hell wie ein Lämpchen im einfachen Stromkreis. Im Stromkreis fließt durch *beide* Lämpchen ein doppelt so großer Elektronenstrom (doppelt so große Stromstärke) wie in einem einfachen Stromkreis mit *einem* (gleichartigen) Lämpchen. Wir vergleichen die Situation mit einem Menschenstrom aus dem Stadion: Durch zwei Ausgänge können doppelt so viele Leute in gleicher Zeit das Stadion verlassen wie durch einen. Ein häufiger Schaltfehler nicht nur von Grundschulern: *Der Kurzschluss in Parallelschaltungen*. Wird ein *Schalter parallel geschaltet* (Abbildung b), fließt (nahezu) der gesamte Strom durch den Schalter, weil dieser für die Elektronen keine Engstelle, kein elektrischer Widerstand ist. Man nennt auch diesen Fall einen Kurzschluss, denn durch das Lämpchen bewegen sich keine oder nur ganz wenige Elektronen; das Lämpchen leuchtet nicht. Nur wenn der Schalter (Abbildung b) *offen* ist, d. h. wenn kein Kurzschlussstrom fließt, leuchtet das Lämpchen. Wegen der höheren Spannungen können Kurzschlüsse im Haushalt große Schäden anrichten: Die Leitungen werden durch große elektrische Ströme glühend heiß; dadurch können Brände entstehen. Funktionieren die Sicherungssysteme im Haushalt, kommt dies nicht vor.

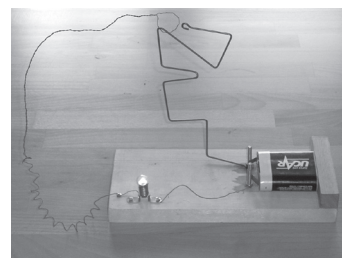
Lehrer- und Schülerexperimente zum Thema »Elektronen gibt es überall«

Geschicklichkeitsspiel »Heißer Draht«

Bei diesem Spiel handelt es sich um eine spielerische Anwendung des elektrischen Stromkreises. Für die Schüler besteht die Geschicklichkeitsaufgabe darin, den Stromkreis nicht zu schließen. Die Klingeldrahtschleife wird vom einen Ende des »heißen Drahtes« zum anderen geführt. Je enger sie ist, desto schwieriger ist es, den dicken gewundenen Draht nicht zu berühren. Geschieht dies doch, so wird der Stromkreis geschlossen und das Lämpchen leuchtet auf.

Können die Schüler den »heißen Draht« selbst im Unterricht herstellen (fächerübergreifend im Werkunterricht), so wird ihnen der Aufbau und die Funktionsweise besonders gut bewusst.

Material: Ein Holzbrett als Unterlage mit vorgebohrten Löchern, ein nicht isolierter, steifer Draht, der von Hand oder mit einer Zange gebogen werden kann, weicher, flexibler Klingeldraht, Lämpchen mit Fassung, Flachbatterie.



Das Glimmlämpchen

Das Glimmlämpchen macht auch kleine, kurzzeitige Ströme sichtbar, wie sie bei elektrostatischen Entladungen fließen. Das Glimmlämpchen ist keine normale Glühlampe mit Wendel. Im Inneren des Lämpchens sind zwei Metallenden mit geringem Abstand montiert. Außerdem ist es mit Neon gefüllt. Kommt es zu einer Entladung, leuchtet dieses Gas im Lämpchen. An einer Batterie kann das Glimmlämpchen nicht leuchten, da die Spannung der Batterie zu klein ist, um die Elektronen »überspringen« zu lassen.



Der »klebende« Luftballon

Material: Verschiedene Luftballons, Tücher zum Reiben (Geschirrtücher aus Baumwolle, Synthetiktücher, Papiertaschentücher), Glimmlämpchen

Durchführung: Die Schüler reiben mit den Tüchern an den Luftballons. Anschließend überprüfen sie, an welchen Flächen im Klassenzimmer der Ballon »klebt« und wie gut (und wie oft) man das Leuchten des Glimmlämpchens am Ballon beobachten kann. Bei den Versuchen sollen die Schüler herausfinden, welche Versuchsmaterialien sich am besten eignen.



Merkwürdige Folienstreifen

Material: Overheadprojektor-Folien (vorher ausprobieren! nicht alle eignen sich gleich gut), Lineal, Schere, verschiedene Tücher zum Reiben (Wolle, Seide, Papiertaschentücher ...)

Durchführung: Die Schüler schneiden sich zwei Streifen in Linealbreite von einer Folie ab. Diese Streifen werden kräftig mit den Tüchern gerieben und anschließend paarweise zwischen zwei Fingern hoch gehalten.

Ergebnis: Die Streifen ziehen sich entweder an oder stoßen sich voneinander ab. Im letzteren Fall kann man noch eine Hand zwischen die Streifen schieben. Sie klappen sofort zusammen und stoßen sich wieder ab, wenn man die Hand herausnimmt. Die physikalische Erklärung dieses Phänomens führt allerdings zu weit.



Tanzende Papierschnitzel

Material: Overheadprojektor-Folien (handliche Größe, ca. 10 x 10 cm), Tücher zum Reiben, winzige Papier- und/oder Papiertaschentuch-schnipsel

Durchführung: Auch in diesem Versuch werden die Folienstücke kräftig mit den Tüchern gerieben. Anschließend werden sie über die Papierschnitzel gehalten.

Ergebnis: Sobald die geladene Folie nahe genug an die Papierschnitzel herankommt, beginnen sie sich aufzurichten. Teilweise werden sie von der Folie so stark angezogen, dass sie zur Folie »springen« und an ihr hängen bleiben. Wenn man mit zwei geladenen Folien gleichzeitig experimentiert, vollführen die Papierschnitzel die unterschiedlichsten Bewegungen.



Elektrisches Licht durch Folien

Material: Folienplatten (z.B. stärkere Window-Colour-Folien), Tücher zum Reiben, Glimmlämpchen

Durchführung: Die Folienplatten werden gerieben und hoch gehalten. Dann wird das Lämpchen mit einer Kontaktfläche dicht an die Folie geführt.

Ergebnis: Es kommt zu Entladungen, die als Lichtblitze im Lämpchen sichtbar werden. Dabei kann die Entladung schon durch die Luft stattfinden, bevor das Lämpchen die Folie berührt. Im abgedunkelten Raum sieht man diese Lichtblitze und man hört ein Knistern.



