

Michael Haider

Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse

Eine Untersuchung im Sachunterricht
der Grundschule am Beispiel
„Elektrischer Stromkreis“

forschung

KLINKHARDT

HAIDER
DER STELLENWERT VON ANALOGIEN
FÜR DEN ERWERB
NATURWISSENSCHAFTLICHER ERKENNTNISSE

**DER STELLENWERT VON ANALOGIEN
FÜR DEN ERWERB
NATURWISSENSCHAFTLICHER ERKENNTNISSE**
Eine Untersuchung im Sachunterricht
der Grundschule am Beispiel
„Elektrischer Stromkreis“

von
Michael Haider

VERLAG
JULIUS KLINKHARDT
BAD HEILBRUNN • 2010



KLINKHARDT

Die am Lehrstuhl für Grundschulpädagogik und -didaktik bei Prof. Dr. Maria Fölling-Albers entstandene Dissertation wurde von der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) 2009 mit dem Faradaypreis ausgezeichnet.

Die vorliegende Arbeit wurde von der Universität Regensburg im Wintersemester 2007/2008 als Dissertation angenommen. Tag der mündlichen Prüfung: 21. Mai 2008.

Dieser Titel wurde in das Programm des Verlages mittels eines Peer-Review-Verfahrens aufgenommen. Für weitere Informationen siehe www.klinkhardt.de.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>.

2010.3.I. © by Julius Klinkhardt.

Das Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten.

Printed in Germany 2010.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem alterungsbeständigem Papier.

ISBN: 978-3-7815-1726-4

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
Zusammenfassung.....	8
Einleitung.....	10

Theoretischer Teil: Wissenserwerb und Analogien

1. Theoretische Konzepte und Ansätze zum Lernen naturwissenschaftlicher Sachverhalte.....	13
1.1 Konstruktivistische Sichtweisen	13
1.2 Ausgangspunkt und Zentrum des Lernens: der Lernende.....	15
1.3 Konzeptwechsel – Conceptual Change.....	17
1.4 Interesse an physikalischen Inhalten im Sachunterricht.....	22
1.5 Erklärungsmuster physikalischer Phänomene.....	27
1.6 Probleme beim Wissenserwerb in der Elektrizitätslehre.....	28
1.7 Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Arbeit.....	31
2. Analogien	33
2.1 Modelle	34
2.2 Bedeutungen von Analogien in kognitionspsychologischen Kontexten	35
2.3 Fachdidaktische Nutzung des Analogiebegriffs.....	42
2.3.1 Der Analogiebegriff nach Bauer und Richter	42
2.3.2 Der Analogiebegriff nach Duit und Glynn	42
2.3.3 Der Analogiebegriff nach Kircher	43
2.3.4 Der Analogiebegriff nach Spreckelsen	44
2.3.5 Resümee	46
2.4 Funktionen von Analogien.....	48
2.4.1 Analogien – im wissenschaftlichen und fachdidaktischen Diskurs	48
2.4.2 Voraussetzungen, Probleme und Forderungen für die Nutzung von Analogien sowie Chancen einer Analogienutzung	49
2.4.3 Analogien in der Unterrichtsforschung.....	54
2.4.4 Resümee	54
2.5 Die Analogien zum Stromkreis.....	55
2.5.1 Verwendete Analogien und Modelle	56
2.5.2 Diskussion der verwendeten Analogien	66
2.5.3 Studien zu Wassermodellen.....	67
2.6 Folgen für die eigene Untersuchung	70

Empirischer Teil – Darstellung der Untersuchung

3. Forschungsfragen	75
3.1 Forschungsfragen im kognitiven Bereich	75
3.2 Forschungsfragen im Interessenbereich.....	77

4. Untersuchungsmethode.....	79
4.1 Untersuchungsprozedur – Design	79
4.1.1 Stichprobe.....	81
4.1.2 Die Intervention.....	83
4.2 Messinstrumente der vorliegenden Untersuchung	88
5. Alltagsvorstellungen und Lernzuwachs zu den Themen „Strom“ und „Stromkreis“.....	95
5.1 Alltagsvorstellungen, Vorerfahrungen und deren Veränderung durch die Intervention	95
5.1.1 Vorwissen.....	96
5.1.2 Allgemeines Wissen im Bereich Elektrizitätslehre.....	101
5.1.3 Auswirkungen verschiedener Interventionen und Subgruppenunterschiede.....	102
5.2 Vorstellungen von „Strom“ und „Stromfluss“	106
5.3 Entwicklung von der Ein-Weg-Verbrauchsvorstellung zur Kreisvorstellung.....	115
5.4 Das Konzept Stromverbrauch	135
5.5 Akzeptanz des Wassermodells.....	145
5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse	151
6. Interesse und Interessenentwicklung im Kontext von „Stromkreisen“.....	155
6.1 Interesse am Thema Strom.....	155
6.1.1 Interesse am Sachgebiet.....	156
6.1.2 Interesse am Thema Strom in verschiedenen Kontexten	158
6.1.3 Interesse an Tätigkeiten	160
6.2 Interessenentwicklung.....	162
6.2.1 Interesse an der Sache.....	165
6.2.2 Interesse am Thema Strom durch den Kontext.....	167
6.2.3 Interesse an Tätigkeiten	170
6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse	175
Zusammenfassung	
7. Zusammenfassung und Diskussion	181
7.1 Zusammenfassung	181
7.1.1 Die zentralen Forschungsfragen im kognitiven Bereich.....	181
7.1.2 Die zentralen Forschungsfragen im Interessenbereich	185
7.2 Diskussion.....	187
7.2.1 Zur Verwendung von Analogien	187
7.2.2 Konsequenzen für den Unterricht.....	188
7.2.3 Offene Fragen und Ausblick.....	189
Literaturverzeichnis.....	193

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit begleiteten. Die Dissertation wäre ohne ihre Unterstützung nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Maria Fölling-Albers, die unzählige Stunden aufwendete, um mir mit fachlichem und persönlichem Rat jederzeit zur Seite zu stehen. Herzlichen Dank für Ihr Interesse, die Betreuung und Begutachtung dieser Arbeit und für die Bereitschaft, sich immer Zeit für mich zu nehmen.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus-Peter Wild, Prof. Dr. Andreas Hartinger und PD Dr. Ernst Kircher, die mit ihrer konstruktiven Kritik einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit leisteten.

Ich bedanke mich bei den Leitern der Schulämter Regensburg, Kelheim, Schwandorf und Weiden, sowie den Rektoren der beteiligten Schulen dafür, dass sie die Befragungen genehmigten und damit zu einem reibungslosen Ablauf dieser Studie beitrugen.

Besonderer Dank geht an die Lehrerinnen und Lehrer, die sich bereit erklärten, an der Durchführung der Vor- oder Hauptuntersuchungen teilzunehmen – mein Dankeschön richtet sich damit auch an alle Schülerinnen und Schüler, die im Verlauf der Studie eine Vielzahl von Fragebögen bearbeiteten und ausfüllten.

Regensburg, im Mai 2008

Michael Haider

Zusammenfassung

Das Anstellen von Vergleichen, das Ziehen von Analogieschlüssen und Analogiebildung spielen im menschlichen Leben immer wieder eine wichtige Rolle. Speziell im Leben von Physikern gelingt es mit Hilfe von Analogiebildungen wichtige Erkenntnisse für die Menschheit zu erlangen. In der vorliegenden Arbeit wurde, ausgehend vom moderat konstruktivistischen Lernansatz, versucht, am Beispiel des elektrischen Stromkreises aufzuzeigen, welche Bedeutung Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse im Sachunterricht der Grundschule haben können.

Im Mittelpunkt der Interventionsstudie, die in 16 Klassen (N=403) Mitte der 3. Jahrgangsstufe durchgeführt wurde, stand die Frage, wie sich verschiedene Interventionen einerseits auf das Verständnis, andererseits auf das Interesse der Grundschul Kinder auswirken. Die Interventionsprogramme unterschieden sich dabei in der Art der eingesetzten analogen Modelle. In drei Experimentalgruppen wurde jeweils der Einsatz von a) Wassermodellen, b) mechanischen Modellen, c) Wassermodellen und mechanischen Modellen untersucht. Daneben wurden die Ergebnisse auch mit einer Kontrollgruppe verglichen, die im Unterricht ohne Analogiemodelle arbeitete. Der Lerngewinn, wie auch die Interessenentwicklung, wurde jeweils mit Hilfe von Pretest und Posttest erhoben. Daneben sollte eine Follow Up-Untersuchung zeigen, inwieweit die durchgeführten Interventionen längerfristig wirksam sind. Leitfadengestützte Interviews mit einzelnen Grundschulkindern sollten mögliche Denkformen und Denkwege abbilden und zur Illustration der quantitativen Daten beitragen. Die Fragebögen enthielten dabei im Bereich der kognitiven Entwicklung Fragen zu den Alltagserfahrungen und zum Alltagswissen im Bereich der Elektrizitätslehre, Fragen zu Stromflussvorstellungen und Fragen zu Stromverbrauchsvorstellungen. Im Bereich der Alltagsvorstellungen wurde ein Vorwissenindex für jedes Kind berechnet, für den Bereich Stromflussvorstellungen und Stromverbrauchsvorstellungen wurden Skalen berechnet (Stromkreisvorstellung, Ein- und Zweizegezuführenvorstellung, Stromverbrauch). Das Messinstrument zur Ermittlung des Interesses enthielt in Anlehnung an die IPN-Interessenstudie (Hoffmann, Häußler und Lehrke 1998) Fragen und Skalen zum Sachinteresse, zum Interesse am Kontext und zum Interesse an Tätigkeiten.

Es zeigte sich, dass die Experimentalgruppen ein höheres Verständnis für Stromflussvorstellungen entwickelten als die Kontrollgruppe. Innerhalb der Experimentalgruppen erwies es sich am sinnvollsten, nur mechanische Modelle einzusetzen. Wassermodelle tragen zur Ausbildung von Kreisvorstellungen zwar mehr bei als der „modelllose“ Unterricht, bringen aber nicht den erhofften Erfolg. Im additiven Einsatz zu mechanischen Modellen mildern sie deren Wirkung auf den Lernerfolg sogar ab. Es gibt keine (allen-

falls negative) Synergieeffekte der beiden Modelle. Wassermodelle sind bei den Schülern beliebt, jedoch scheint der spielerische Charakter, die Attraktivität und der Reiz, den das Material Wasser auf Grundschul Kinder ausübt, ein rasches Verstehen des Stromflusses über das Verstehen des Modells eher zu behindern. Erst im Follow Up-Test zeigt die Wassermodellgruppe einen Anstieg im Verständnis.

Im Bereich Interesse zeigte sich, dass das Interesse am Thema Strom allgemein sehr hoch ist. Das Interesse der Jungen ist höher als das der Mädchen, von einem reinen Jungenthema kann jedoch nicht die Rede sein. Unterricht zum Thema Strom lässt das Interesse der Schüler ansteigen. Jedoch fällt das Interesse nach Abschluss der Unterrichtssequenz in den einzelnen Interventionsgruppen unterschiedlich stark ab. Den stärksten Abfall des Interesses hat die Gruppe mit dem höchsten Lernerfolg. Das Interesse der Gruppe, die sich mit Wassermodellen beschäftigt hat, bleibt auch nach dem Unterricht erhalten. Der Unterricht, der beide Arten von Modellen beachtet, wirkt sich schon während des Unterrichts eher interessenhemmend aus.

Einleitung

In der vorliegenden Studie wurden verschiedene Interventionen (mechanische Modelle vs. Wassermodelle vs. beide Arten von Modellen) zur Entwicklung der Stromflussvorstellung in die Kreisvorstellung und zur Rückentwicklung der Stromverbrauchsvorstellung eingesetzt. Im Zentrum des Forschungsinteresses standen dabei zwei wesentliche Fragestellungen: Wie effektiv sind die eingesetzten Interventionen, das heißt wie groß ist die Möglichkeit der einzelnen Analogiemodelle, die Stromflussvorstellung der Kinder vom Einwegzuführungsmodell hin zum Stromkreismodell zu verändern, so dass sie nicht auf dem zunächst für Kinder naheliegenden Zweivegezuführungsmodell stehen bleiben? Wie wirken sich die verschiedenen Interventionen auf die Entwicklung des Interesses für das Thema Strom und Stromkreis aus?

In der Aufarbeitung des theoretischen Hintergrundes wird im ersten Kapitel die Einbettung der entwickelten Interventionen in den Ansatz der moderat konstruktivistischen Lernumgebungen und in die Conceptual Change Theorie vorgenommen. Ebenso werden grundlegende Fragen der naturwissenschaftlichen Interessenforschung aufgegriffen. Auf dieser theoretischen Grundlage werden im folgenden Kapitel theoretische Hintergründe zum Kernpunkt der Arbeit – zu Analogien – geklärt. Analogie- und Modellbildung sind zentrale physikalische Arbeitsweisen. Jedoch erkennen Kognitionspsychologen Analogien auch als grundlegende Funktion menschlichen Denkens an. Diese Positionen sowie die fachdidaktische Nutzung, Funktionen, Probleme und Chancen werden ebenfalls erörtert, bevor konkrete Analogien zum Stromkreis genauer betrachtet werden und Folgerungen für die eigene Untersuchung gezogen werden.

Der empirische Teil der vorliegenden Studie widmet sich zunächst – auf der Grundlage der theoretischen Ausführungen – den wesentlichen Forschungsfragen sowie der Darstellung des Untersuchungsdesigns und der verwendeten Skalen. Die Ergebnisse der Studie werden in zwei Teilen präsentiert: Der „kognitive“ Ergebnisteil (Kap. 5) präsentiert und diskutiert die Wirkungen der Interventionen bezüglich der Entwicklung von Wissen um den Stromkreis, Ausbildung richtiger Stromflussvorstellungen und den Abbau von Stromverbrauchsvorstellungen. Im Ergebnisteil zum Interesse (Kap. 6) werden die Interessen fördernden Wirkungen der Interventionen dargestellt und erörtert. Eine Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse schließt den empirischen Teil der vorliegenden Arbeit ab.

Im Rahmen der Arbeit wird anstelle der Form „Schülerinnen und Schüler“ aus Gründen der besseren Lesbarkeit die Form „Schüler“ verwendet. Diese bezieht sich ausdrücklich auf Jungen *und* Mädchen.

Theoretischer Teil: Wissenserwerb und Analogien

1 Theoretische Konzepte und Ansätze zum Lernen naturwissenschaftlicher Sachverhalte

In Kapitel 1 sollen theoretische Konzepte und Ansätze zum Erlernen naturwissenschaftlicher Sachverhalte vorgestellt werden, die die Basis der vorliegenden Arbeit bilden. Die Untersuchung entstand auf der Grundlage eines moderat konstruktivistischen Lernbegriffs (Kapitel 1.1). Der zentrale Ansatzpunkt für das Erlernen neuer Sachverhalte ist dabei der Lernende selbst mit seinen (Alltags-) Vorstellungen und Vorerfahrungen zum neuen Lerngegenstand (Kapitel 1.2). In der Regel passen diese Vorerfahrungen und Präkonzepte nur teilweise oder nicht zu den neu zu erlernenden wissenschaftlichen Konzepten. Neue Konzepte müssen vom Lernenden erworben, Konzeptwechsel vollzogen werden (Kapitel 1.3). Ein zentraler Aspekt beim Erlernen von naturwissenschaftlichen Inhalten ist das Interesse, das diesen Inhalten entgegen gebracht wird. Dem Interesse an speziell naturwissenschaftlichen Inhalten wird mit zunehmendem Alter ein zunehmendes Genderproblem nachgesagt. Die der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegende Meinung über den Einfluss des Interesses auf den Lernerfolg gilt es ebenfalls zu klären (Kapitel 1.4). Die Klärung physikalischer Phänomene ist eng verbunden mit Erklärungsmustern, die Lernende im Kopf haben. Kapitel 1.5 befasst sich damit, wie Lernende situationsspezifische Erklärungen physikalischer Phänomene aufbauen. Anschließend wird die Frage diskutiert, mit welchen Lernschwierigkeiten im physikalischen Sachunterricht zu rechnen ist (Kapitel 1.6) und wie sich Lernschwierigkeiten am Untersuchungsthema „Elektrischer Stromkreis“ konkretisieren lassen (Kapitel 1.7). Den Abschluss des Kapitels bildet eine Zusammenfassung mit kurzer Diskussion der Bedeutung dieser Grundlagen für die vorliegende Arbeit.

1.1 Konstruktivistische Sichtweisen

Der vorliegenden Untersuchung liegt ein Verständnis des Lehrens und Lernens nach dem moderat konstruktivistischen Ansatz, wie ihn Kornelia Möller verwendet, zugrunde. Mit ihrer Idee vom moderat konstruktivistischen Lernen der Naturwissenschaften lehnt sich Möller an den Positionen Gerstenmaiers und Mandlls (1995) an. Mit dem Titel „moderat konstruktivistisch“ distanziert sie sich vom radikalen Konstruktivismus, der bezweifelt, dass es eine objektiv erfassbare Wirklichkeit gibt. Die Auffassung vom Lernen als einer eigenständigen und aktiven Konstruktion des Wissens durch den Lerner ist dabei grundlegend. Entscheidend für den Lernprozess sind Vorerfahrungen und Alltagserfahrungen des Lernenden. Durch die Veränderung bestehender Verstehenskonzepte und Strukturen, durch Erweiterung, Differenzierung oder Umstrukturierung bestehender Strukturen bilden sich neue Wissensstrukturen. Diese werden wiederum mit bestehendem Wissen verknüpft und angewendet (vgl. Möller 1999, S. 130, 2007, S. 162). Das

impliziert, dass ein auf ein Verstehen von Zusammenhängen ausgerichteter Unterricht immer von Vorkenntnissen und Vorerfahrungen der Lernenden ausgehen muss (vgl. Haider 2005, S. 50).

Möller (1999, S. 132f.) nennt in Anlehnung an Reimann-Rothmeier und Mandl (1995), Dubs (1995) u.a. folgende Merkmale moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen:

- Konstruktives Lernen
- Situatives Lernen
- Aktives Lernen
- Soziales und kooperatives Lernen
- Selbstgesteuertes und unterstütztes Lernen

Moderat-konstruktivistische Lernumgebungen müssen eine anregungsreiche Möglichkeit zum selbstständigen Lernen und Konstruieren bieten. Die Einbettung in einen „sinnstiftenden Kontext“ (Muckenfuß 1995) ist dabei eine zentrale Forderung. Fragen, Aufgaben und Problemstellungen müssen in situative Kontexte eingebunden sein, Schlüsselqualifikationen wie Kommunikationsfähigkeit und Kooperationsfähigkeit gefördert werden. Zudem sollte die Möglichkeit bestehen, eigene Lernwege zu beschreiten und gleichzeitig andere mögliche Lösungswege anzuerkennen. Die Strukturierung der Lernumgebungen, die didaktische Aufbereitung von mehr offenen aber auch gleichzeitig gut strukturierten Phasen, eine begründete Methodenvielfalt sowie Metakognitionen und Reflexion des eigenen Lernweges sind geeignete Hilfsmittel, um ein eigenaktives Lernen zu fördern. Neben kognitiven Zielen verfolgt guter naturwissenschaftlicher Unterricht für Möller auch soziale, affektive und persönlichkeitsbildende Ziele (vgl. Möller 1999, S. 133f.). Qualität von Unterricht im Vorfeld der Naturwissenschaften hängt ihrer Meinung nach sehr stark von den fachlichen Voraussetzungen der betreffenden Lehrperson ab. Nur wenige Lehrer fühlen sich den Anforderungen, die ein naturwissenschaftlich-technischer Unterricht stellt, gewachsen. Dies gilt besonders für die in der Grundschule meist weiblichen Lehrkräfte (vgl. Möller, Tenberge, Ziemann 1996).

Möller et al. (1999, S. 128f.) sehen für den naturwissenschaftlichen Unterricht folgende Ziele:

- Erwerb von kategorialen Wissen
- Vorbereitung naturwissenschaftlichen Denkens
- Entwicklung von Haltungen und Einstellungen
- Entwicklung von Motivation und Interesse gegenüber Phänomenen der Natur
- Schaffung von Lernsituationen, die Kompetenzerfahrungen und das Erleben der Fruchtbarkeit eigenen Denkens ermöglichen

Ein zentraler Ansatzpunkt Möllers ist dabei die Beachtung der Präkonzepte der Kinder. Diese Präkonzepte sollen auch in der hier vorliegenden Arbeit als Ansatzpunkt dienen (Kap. 1.2). Konzepte sind nach Atkinson (1990) gedankliche Werkzeuge, die genutzt werden, um sinnvoll handeln zu können. „Präkonzepte entstehen durch primäre Alltagserfahrungen, durch alltagssprachliche Formulierungen“ (Möller 1999, S. 140f.).

Aufgrund von Untersuchungen zum Thema „Schwimmen und Sinken“ im 3. Schuljahr plädiert Möller für den Aufbau neuer Konzepte bzw. für die Differenzierung vorhandener Konzepte durch Anknüpfungsstrategien (siehe Kap. 1.2), im konkreten Fall

Schwimmen und Sinken z.B. durch Anknüpfung an sensomotorische Erfahrungen u.a. im Schwimmbad (Gegenstände sind im Wasser leichter) und Vollkörperversuche (auch Dinge, die keine Luft enthalten, können schwimmen). Ziel des Unterrichts soll der Aufbau von gesicherten Konzepten sein. Bei der Anwendung des gesicherten Konzeptes (hier: Auftriebs- und Gewichtskonzept) soll es zum kognitiven Konflikt kommen. („Wie kommt es, dass ein so schweres eisernes Schiff schwimmt?“)

Im Anschluss daran sollte das Konzept noch ausdifferenziert werden. Diese Ausdifferenzierung gelingt jedoch Untersuchungen zufolge nur noch wenigen Schülern (Möller 1999, S. 140f.; Haider 2005, S. 50 f.).

Schüler schätzen an der Bearbeitung eines Themas nach dem Ansatz Möllers, dass sie sich nicht mit vielen Themen oberflächlich, sondern mit einem Thema gründlich auseinandersetzen. Möller sieht daher Gründlichkeit und Geduld als Basis für naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule. Schüler müssen Gelegenheit haben, selbst Erfahrungen zu sammeln und diese mit Mitschülern und Lehrern auszutauschen.

Möllers Voruntersuchungen ergaben, dass moderat konstruktivistische Lernsituationen Zielsetzungen wie die Förderung von Motivation und Interesse, den Aufbau positiver Selbstkonzepte und das Schaffen von Lernzufriedenheit und Lernfreude erreichen. Dies wird durch das Zulassen und die Unterstützung individueller Lernwege, durch die Berücksichtigung von Vorerfahrung und Denkweisen der Schüler, durch die didaktische Strukturierung und durch den Wechsel zwischen problemorientierten hinführenden bzw. auswertenden Gesprächsphasen mit Werkstattcharakter und strukturierenden Lehrerhilfen ermöglicht (vgl. Möller 1999, S. 171f.).

„Für die auf die Grundschule bezogene, bereichsspezifische Lehr-Lernforschung besteht die Fruchtbarkeit dieses Ansatzes für mich in seiner Inklusivität“ (Möller 1999, S. 173). Die moderat konstruktivistische Sichtweise verknüpft die Bedeutung individuellen Lernens und der eigenen Aktivität mit der Bedeutung sozialen Lernens, geeigneter materieller Lernumgebungen und geeigneter Lehrinterventionen. Der von ihr geforderte Unterricht zielt auf Autonomie durch Unterstützung und betrachtet Lernen als kognitiven, sozialen und emotionalen Prozess. Er verfolgt immer auch Ziele im emotionalen Bereich und im Bereich der Persönlichkeitsentwicklung (vgl. Haider 2005, S. 54). Aus diesen Gründen kann der moderat konstruktivistische Ansatz nach Kornelia Möller für die vorliegende Untersuchung grundlegend sein.

1.2 Ausgangspunkt und Zentrum des Lernens: der Lernende

Für das Lernen kommt es in entscheidendem Maße darauf an, wie das Vorwissen von Kindern aussieht und welche »misconceptions« vorhanden sind. Neuere Untersuchungen, wie die Analysen zum Thema Schwimmen und Sinken von Möller, gehen von Präkonzepten aus, die Kinder bereits vor der Lerneinheit aufweisen. Man versucht diese zu erfassen, um auf deren Basis weitergehende, physikalisch korrekte(re) Konzepte aufzubauen. Möller führte auf der Grundlage von moderat konstruktivistischen Lernumgebungen Untersuchungen zu der Frage durch, ob bereits Grundschul Kinder in der Lage

sind, anspruchsvolle physikalische Konzepte, wie etwa den „Auftrieb“, fruchtbar anzuwenden.

„Präkonzepte entstehen durch primäre Alltagserfahrungen, durch alltagssprachliche Formulierungen (wie z.B. „der Strom wird verbraucht“), durch Denkschemata wie z.B. das Täter-Tat-Schema („Die Wärme drückt ...“, „Die Energie dreht ...“ etc.) oder das Geben-Nehmen-Schema (z.B. „Die Batterie gibt dem Lämpchen Strom“) und durch Informationen und Meinungen, die Einfluss auf das Individuum haben (durch Schule, Elternhaus, Medien, Freunde, ...)“ (Möller 1999, S. 140f.).

Schüler entwickeln zur Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene (z.B. „Warum schwimmt ein Schiff?“, „Warum geht die Sonne unter?“ etc.) meist Alltagsvorstellungen. Diese stimmen aber häufig nicht mit den wissenschaftlichen Erklärungen überein, behindern oftmals sogar das wissenschaftliche Verständnis.

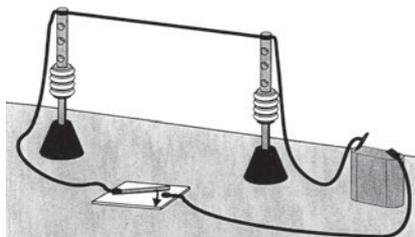


Abb. 1.1: Versuch von R. Duit zu Alltagsvorstellungen (Duit 1995)

Duit zeigte die Stabilität von Alltagsvorstellungen mit seinem Versuch des glühenden Drahtes bei Schülern einer 10. Jahrgangsstufe auf (siehe Abb. 1.1).

Er erhob deren Alltagsvorstellungen zu folgendem Versuch: Er ließ die Schüler vermuten und begründen, von wo aus der Draht zu glühen beginnt, wenn durch ihn Strom hindurch geschickt wird. Die Schüler sahen den Draht tatsächlich dort zuerst glühen, wo sie es erwarteten, was zu ihren Vorstellungen passte, unabhängig von der Realität (vgl. Duit 1995).

Welche Unterrichtsformen tragen nun zu einem adäquaten Konzeptwechsel bei? Gibt es Unterrichtsformen, die einen Konzeptwechsel eher begünstigen und solche, die ihn eher behindern?

Wiesner (1995) stellt heraus, dass die Effizienz des Unterrichts von der Unterrichtsform abhängt. Offener, handlungsorientierter Unterricht ist eher ungeeignet und führt nach seinen Ergebnissen eher zu unerwünschten als zu physikalisch akzeptablen Vorstellungen. Möller ergänzt um gut strukturierte Phasen zur Unterstützung.

Bei kognitiven Umstrukturierungen ist zwischen „Ad-hoc-Konstruktionen“, wie sie z.B. als Verlegenheitskonstruktionen in Untersuchungen gebildet werden und „deep structures“, tief verankerten Überzeugungen, zu unterscheiden (vgl. Möller 1999, S. 140f.).

Nicht nur bei kognitiven Umstrukturierungen arbeiten die einzelnen Schüler individuell. Auch bei der Wahrnehmung von Problemen sind individuelle Prozesse beteiligt. Dieselben Probleme eines Stoffgebietes werden von Menschen mit verschiedenem Vorwissen

unterschiedlich wahrgenommen. Je nach individuellem Vorwissen kommt es zu unterschiedlichen Einordnungen der einzelnen Problemelemente (Ziel, Ausgangslage und mögliche Operationen).

Experten abstrahieren ihre Verstehensprozesse stärker von den äußeren Merkmalen einer Situation. Sie nutzen ihre breite Wissensbasis, um allgemeine Konzepte und Relationen sowie spezifische Problemschemata geschickt einzusetzen.

Novizen dagegen beziehen sich auf die buchstäbliche Problemvorgabe und die Oberflächenstruktur der Problemstellung. Der wenig geübte Problemlöser kann durchaus ein umfangreiches deklaratives Wissen (Faktenwissen) besitzen. Um jedoch die Problemlösefertigkeiten des Experten zu erreichen, muss er lernen, die deklarativen und prozeduralen Aspekte (das sind die anwendungsbezogenen Aspekte) in der Wissensstruktur zu verknüpfen (vgl. Möller 1999, S. 140f.; Mandl 1986, S. 196f.).

Aus konstruktivistischer Sicht (siehe Kap. 1.1) wird Lernen als Veränderung von Präkonzepten interpretiert. „Echte“ Konzeptwechsel sind dabei eher selten (siehe Kap. 1.3). Meist kommt es zu weichen Umstrukturierungen des Wissens (nach Piaget: Assimilation), z.B. durch Wissensausdifferenzierung, Ergänzungen oder Ähnlichem. Radikale Umstrukturierungen (nach Piaget: Akkommodation) finden statt, wenn das eigene Wissen, die eigenen (Prä-)Konzepte zugunsten von neuen Erkenntnissen aufgegeben und neue adäquate Konzepte gebildet werden (s.u.).

Lernfortschritte lassen sich feststellen, wenn sich aus episodischem Wissen (einzelnen Wissensbruchstücken, Kenntnis von Phänomenen etc.) kategorisches oder hypothetisches Wissen bildet, wenn Schüler erste Gesetzmäßigkeiten (z.B. Wenn-Dann-Beziehungen) erkennen. Auch der Grad der Differenzierung, der Integration und der Hierarchisierung in semantischen Netzwerken gibt Auskunft über Lernfortschritte.

Strukturen und Konzepte der Schüler sollen tragfähiger und anschlussfähiger, konsistenter und robuster werden. Unterrichtlich gibt es hierzu verschiedene Strategien, wie etwa die Konfliktstrategie oder die Anknüpfungsstrategie.

Bei der Konfliktstrategie werden den Lernern Konzepte angeboten, die im Widerspruch zum Alltagswissen stehen. Ein Beispiel hierfür ist, wenn dem Schüler durch Hintereinanderschalten von Messgerät – „Verbraucher“ – Messgerät im Stromkreis gezeigt wird, dass nach dem „Verbraucher“ noch genauso viel Strom wie vorher fließt, dass also im „Verbraucher“ kein Strom verbraucht wird. Dies kann sich insbesondere bei jüngeren Schülern (z.B. für die Motivation, das Selbstkonzept, etc.) als problematisch erweisen. Bei der Anknüpfungsstrategie werden in den Alltagsvorstellungen der Schüler Anknüpfungs- oder Ankerpunkte gesucht, die Überschneidungen mit wissenschaftlichen Vorstellungen aufweisen. In diesen Bereich sind Konzepte des Analogielernens (z.B. Spreckelsens „Transduktives Lernen“ (1992, 1997, 2007, s.u.) einzuordnen.

1.3 Konzeptwechsel – Conceptual Change

Naturwissenschaftliches Lernen bedeutet für Kinder in der Regel, ihr Alltagswissen und damit alte, vertraute und bekannte Sichtweisen aufzugeben oder wenigstens zu verändern. Kinder haben bereits zu Beginn eines Lernprozesses eigene Vorstellungen, Kon-

zepte und Erklärungsmodelle. Diese stimmen nur sehr selten mit den wissenschaftlichen Konzepten überein.



Abb. 1.2: Konzeptwechsel bildlich dargestellt: als Regler, nicht als Schalter (erstellt vom Verfasser)

Viele Alltagskonzepte haben sich jedoch bestens bewährt. Das heißt, für den Lerner muss es einsichtig sein, dass sein Konzept an seine Grenzen stößt. Der Lerner muss sich Klarheit über sein Konzept und dessen Grenzen verschaffen. Für den Lehrenden heißt dies, dass es Ziel sein muss, aufzuzeigen, wann Alltagskonzepte nicht mehr ausreichen und naturwissenschaftliche Konzepte herangezogen werden müssen (vgl. Jung 1989, Wiesner 1994). Eine Stütze dieser Theorie sind deshalb Ansätze situierten Lernens, die genau hier ihren zentralen Angriffspunkt haben. Den Konzeptwechsel kann man sich nicht wie einen Schalter vorstellen, der beim Schüler für den Konzeptwechsel umzulegen ist, sondern eher wie einen Regler: Auf der einen Seite stehen die Alltagskonzepte, auf der anderen Seite die wissenschaftlichen Konzepte. Ziel ist es, im Verlauf des Lernprozesses die Alltagskonzepte zugunsten der wissenschaftlichen Konzepte zurückzufahren (vgl. Abb. 1.2).

Der gemeinsame Kern von Konzeptwechselltheorien ist im pragmatischen oder moderaten Konstruktivismus zu suchen (Bsp. hierfür: Gerstenmaier & Mandl 1995). Zum Lernen gibt es zwei mögliche Lernwege: einen kontinuierlichen und einen diskontinuierlichen Weg.

Der kontinuierliche Lernweg geht über den Einbau neuen Wissens ins bestehende Netzwerk, vergleichbar Piagets Assimilation. Duit spricht hier von conceptual growth. Beim diskontinuierlichen Lernweg kommt es zur Konfrontation alten und neuen Wissens (i. S. von Piagets Akkommodation). Hier spricht Duit dann von tatsächlichem conceptual change. Auch bei Alltagsvorstellungen, die nicht mit den wissenschaftlichen Konzepten vereinbar sind, gibt es Lernwege, die an den Alltagsvorstellungen vorbei zum Verständnis der wissenschaftlichen Sicht führen. D.h. es muss nicht zwangsweise von Alltagsvorstellungen ausgegangen werden. Duit schlägt hier einen Weg, ausgehend z.B. von allgemeinen Denkschemata über die Zuhilfenahme von Analogien vor. Häufig (in vielen konstruktivistisch orientierten Ansätzen) wird über den Unterrichtsinhalt hinaus ein Konzeptwechsel auf der Metaebene angestrebt. Hierbei sollen letztendlich „naive Alltagstheorien“ gegen wissenschaftstheoretische und metakognitive Vorstellungen getauscht werden. Metakognitive Konzeptwechsel spielen eine doppelte Rolle. Sie sind erstens Unterrichtsinhalt selbst und zweitens Hilfe beim Verstehen des Unterrichtsinhaltes (wissenschaftlicher Vorstellungen).

Um einen Konzeptwechsel von einem eigenen Präkonzept zu einem „wissenschaftlicheren“ Konzept zu erreichen, müssen nach Strike & Posner (1985) bzw. bereits Posner et al. (1982) verschiedene Bedingungen gegeben sein:

1. Die Lernenden müssen mit ihren bereits vorhandenen Vorstellungen unzufrieden sein. („There must be dissatisfaction with existing conception.” (Strike & Posner 1985, S. 216))
2. Die neue Vorstellung muss logisch verständlich sein bzw. minimal verstanden werden. („A new conception must be intelligible” (Posner et al. 1982, S. 214) bzw. „minimally understood” (Strike & Posner 1985, S. 216).)
3. Sie muss einleuchtend, also intuitiv plausibel, glaubwürdig sein. („A new conception must appear initially plausible.“ (Strike & Posner 1985, S. 216))
4. Sie muss fruchtbar, d.h. in neuen Situationen erfolgreich sein. („A new conception should suggest the possibility of a fruitful research program.“ (Strike & Posner 1985, S. 216))

Posner unterscheidet hierbei zwischen „large-scale change“ oder „accomodation“ und „small-scale change“ oder „assimilation“ (vgl. Posner et al. 1982). Diese Begriffe („assimilation“ und „accomodation“) entleiht sich zwar auch Posner bei Piaget, den Inhalt, mit dem er die Begriffe füllt, jedoch nicht ganz. Accomodation bedeutet für ihn „the process, by which people central organizing concepts change from one set of concepts to another set, incompatible with the first“ (Posner et al. 1982, S. 211). Hier geht es also um Zusammenstellungen von Konzepten, um Sets.

Die Art und Weise, wie Wissen in einer Situation aufgebaut oder aufgenommen wird, beeinflusst, wie das Wissen im Gedächtnis abgelegt wird und wie eine Mobilisierung in Anwendungs- oder Transfersituationen vonstatten geht. Unsere Wahrnehmung ist dabei bereits ein aktiver Prozess. Der Mensch selektiert und strukturiert das, was an Ereignissen und Informationen an ihn herangetragen wird, aufgrund seiner momentanen Situation, seiner Bedürfnisse und Interessen. Dabei spielt sein eigenes Vorwissen eine entscheidende Rolle. Probleme ein- und desselben Lernprozesses werden unterschiedlich wahrgenommen (vgl. Möller 1999, S. 140f.; Mandl 1986, S. 196f.).

Vom Wahrnehmen bis zum Verstehen einer Situation ist aber noch einiges von den Kindern zu leisten. Angesichts der Vielfalt an Reizen, die wahrgenommen werden, ist es – wie bei der Wahrnehmung selbst auch schon – für das Kind hilfreich, bei der Verarbeitung der Phänomene zusammenzufassen und Schemata zu bilden. Diese sind schließlich zu tragfähigen und anschlussfähigen Konzepten auszubauen. Aus punktuellm Wissen muss langfristig konzeptuelles Wissen werden. Wichtig hierbei ist, dass die Konzepte von den Kindern selbst konstruiert und nicht nur einfach übernommen werden (vgl. Max 1997, S. 66).

Kinder benötigen zur Umstrukturierung ihrer Theorien eine Ausdifferenzierung zentraler Begriffe und Einordnung der Begriffe in ihr System. Dabei ist es erforderlich, dass die Ebene, auf der diese Begriffsklärung geschieht, nicht zu hoch ist. Es darf keine Kommunikation in der Sprache der Erwachsenen sein. Die Sprache muss an die alltägliche (Umgangs-)Sprache anknüpfen (vgl. Sodian 1995). Die kindlichen Vorstellungen können weder durch Belehrung noch durch Auseinandersetzung mit einzelnen Wissensbeständen verändert werden. Das Wissen muss im gesamten Denken innerhalb der Disziplin oder

des Fachbereichs verändert werden (vgl. Carey 1985). Ansonsten übernehmen Kinder nur kleine Teilbereiche und passen sie ihren Erklärungen an. Die gesamte Veränderung des kindlichen Denkens kann sich über längere Zeiträume hinziehen. Das Übertragen von intuitiven physikalischen Vorstellungen in wissenschaftsnahe Sichtweisen erfolgt auch über den Erwerb von wissenschaftlichen Methoden selbst und Einsicht in den Prozess des Wissenserwerbs (vgl. Sodian 1995).

Zur Veränderung von Schülervorstellungen gibt es zwei wesentliche Methoden, die „Ausradierung“ und die „Konfrontation“ (vgl. Weil-Barais 1994). Bei der Methode der Ausradierung werden die Vorstellungen der Schüler als falsch betrachtet und die Schüler dazu „aufgefordert“, diese Misskonzepte aufzugeben. Die Methode der Konfrontation zielt darauf ab, dem Schüler ein tragfähigeres Konzept vorzustellen und beim Schüler zu erreichen, dass er das vorgestellte Konzept für „richtiger“ erachtet und damit sein altes Konzept ersetzt. Probleme können auftauchen, wenn Schüler ihre Alltags- und v.a. ihre Misskonzepte nicht aufgeben. Die Wissenskonstruktionen bestehen dann nebeneinander. Schülern selbst erscheint dieses Problem gar nicht. Sie nutzen dann Unterrichtswissen und Alltagswissen als zwei getrennte Bereiche. Die Literatur spricht bei diesem Phänomen vom Schisma des Wissens (vgl. Max, S. 69). Strike und Posner (1985, S. 221f.) sehen dieses Problem ebenfalls. Sie betrachten den Konzeptwechsel zwar als „radical change in a person’s conceptual system“, aber nicht als zeitlich abrupten Wechsel. Denn der Konzeptwechsel funktioniert nicht als „flash of insight“. Vielmehr ist er ein langwieriger Prozess. In diesem Prozess baut sich ein Alternativ-Konzept auf und zeitgleich kommt es zu einer Verunsicherung des ursprünglichen Konzeptes. Erst wenn das Alternativ-Konzept tragfähiger, plausibler, fruchtbarer ist als das ursprüngliche, kommt es zum Wechsel. Der langwierige Weg zum Wechsel verläuft dabei nicht immer „straight forward“ sondern „it involves much fumbling about and many false starts and mistakes“ (Strike & Posner 1985, S. 222).

Widerstände gegen einen Konzeptwechsel können verschiedene Ursachen haben. So sind vorunterrichtliche Vorstellungen dann schwer aufzugeben, wenn die Vorstellungen auf Sinneserfahrungen beruhen, wenn es sich um eingewurzelte Überzeugungen handelt oder aber, wenn es um Vorstellungen auf der Metaebene geht, wie Überzeugungen zum Wesen der Naturwissenschaften selbst (vgl. Duit 1996, S. 152). Es kann auch sein, dass wissenschaftliche Fehlkonzepte keine Auswirkungen auf die Alltagsbewältigung haben. Wenn sich diese im Alltag sogar als funktional erweisen und ausreichend Orientierung zur Alltagsbewältigung geben, so erweisen sich die alten Vorstellungen als relativ änderungsresistent (vgl. Schnotz 2001, S. 76).

Das Denken von Grundschulkindern unterscheidet sich wesentlich von dem älterer Schüler und Erwachsener. Die hierzu gemachten Aussagen Piagets erklären das aber nur unzureichend: Nach Piaget fällt das Denken der Kinder im Grundschulalter in die konkret-operationale Phase. Für naturwissenschaftliches Denken bedeutet das, dass Kinder nur gegebene Informationen verarbeiten und keine Testbedingungen aktiv herstellen können. Hypothesen können sie noch nicht systematisch prüfen. Kinder, die sich in dieser Phase befinden, können konkrete Operationen durchführen und am Übergang zur nächsten Stufe die Ergebnisse evtl. vorwegnehmen. Sie können mit Klassifikationen (z.B. Komposition, Austauschbarkeit, Reversibilität) umgehen, sind sich aber der Prinzi-

pien nicht voll bewusst. Nicht nur hervorstechende Merkmale ziehen das Kind in seinen Bann. Es kann eine Vielzahl von Problemen unabhängig von ihren Wahrnehmungsdimensionen durchdenken (vgl. Gage & Berliner 1986, S. 150f.). Das Kind ist jedoch häufig nicht in der Lage, eine neue Sichtweise zu verstehen, weil die vorhandenen Vorstellungen keine adäquaten Interpretationsschemata liefern. Oft kann der Lernende neue Sichtweisen erst dann verstehen, wenn er über genügend Wissen über sie verfügt (betrifft die Punkte 2 und 3 der Bedingungen Posners). Auch die von Schuhmacher et al. (1993) gefolgerte generelle Resistenz des Menschen gegen Veränderungen (nach Duit 1996, S. 153) erschwert einen Konzeptwechsel. Für den Menschen ist es ja von Vorteil, sich an stabilen Begriffen, Vorstellungen, Überzeugungen, Interessen und Einstellungen zu orientieren. Diese bilden sich in langen Adaptionsprozessen heraus und geben eine meist zufriedenstellende Ordnung und Sicherheit.

Duit bezieht sich mit einer Erklärung von Widerständen gegen Konzeptwechsel auf Chi (1994): Demnach treten Schwierigkeiten dort auf, wo Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftliche Vorstellungen unterschiedlichen ontologischen Kategorien („matter“, „process and mental states“) zuzuordnen sind. Die feinere Unterteilung in „natural kind“, „artifact“ etc. soll an dieser Stelle nicht erläutert werden. Als explizites Beispiel erwähnt Chi den elektrischen Strom. Hier handelt es sich um „constraint-based-interactions“ als Unterkategorie von „processes“. Dies sind abstrakte Prozesse und Interaktionen, die von Zwängen determiniert sind, die bekannt sind oder doch bekannt sein könnten (Duit 1996, S. 153). Es fehlen jegliche zeitliche Aspekte, d.h., die Prozesse haben keinen Anfang und kein Ende. Die größten Schwierigkeiten treten nach Chi dann auf, wenn es sich um den Wechsel von der Kategorie „matter“ – also um im Körper wohnende Eigenschaften in der Alltagsvorstellung – zur Kategorie „constraint-based-interactions“ geht. Ein Beispiel hierfür ist die Erlernung des Kraftbegriffs. Dieser wird zunächst einem Körper zugeschrieben. „Der Mensch hat Kraft, der Körper hat/besitzt Kraft.“ Die physikalische Sichtweise sieht Kraft aber als Interaktion zwischen Körpern.¹

Kinder rücken oft auch nach demonstrierter Evidenz nicht von ihrer Vorstellung ab. Dies zeigt u.a. eine Untersuchung von Tiberghien (1980). Dabei wurde ein 12-jähriges Mädchen gebeten, vorauszusagen, ob ein Eisblock schneller schmilzt, wenn man ihn in Wolle oder in Alufolie einwickelt. Das Mädchen meinte in Wolle, da diese warm macht und deshalb Wärme abgibt. Das gegenteilige Versuchsergebnis überzeugte sie nicht. Stattdessen suchte sich das Mädchen eine Menge Argumente, warum ihre Theorie in diesem speziellen Fall nicht stimme. Es gibt viele empirische Belege, dass die Überzeugungskraft empirischer Evidenz gering ist, bzw. empirische Belege einfach ignoriert oder zurückgewiesen werden, weil die dazugehörigen Daten als unzuverlässig oder nicht vertrauenswürdig erachtet werden. Die Charakteristik des Vorwissens (s.u.), die Verwurzelung in ontologischen Überzeugungen, epistemologische Standpunkte, und das

¹ Hingewiesen sei noch auf die Anmerkung Duits, dass diese Theorie nur syntaktische, aber keine semantischen Erklärungen liefern kann und für konkrete Unterrichtsplanung die entscheidenden Feinheiten verloren gehen. Dennoch stellt die Theorie meiner Meinung nach einen wichtigen Ansatzpunkt zur Erklärung von Lernschwierigkeiten beim Konzeptwechsel dar.

Hintergrundwissen des Lerners spielen eine entscheidende Rolle, ob sich der Lerner auf einen Konzeptwechsel einlässt (Duit 1996, S. 155).

1.4 Interesse an physikalischen Inhalten im Sachunterricht

In der Geschichte der Pädagogik gibt es eine lange Tradition der vielfältigsten Beschäftigung mit dem Thema „Interesse“.² Zur Klärung des Interessenbegriffs, der dieser Arbeit zu Grunde liegt, soll auf eine Wiederholung ähnlicher historischer Abrisse jedoch verzichtet werden.

Der hier grundlegende Interessenbegriff wird naturwissenschaftsdidaktischen Studien (IPN-Interessenstudie von Hoffmann, Lehrke und Häußler) entliehen. Dieser in naturwissenschaftsdidaktischen Studien verwendete Interessenbegriff findet seinen Ausgangspunkt in der „Pädagogischen Interessentheorie“, die in der Münchner Forschergruppe um Hans Schiefele entwickelt wurde und vor allem durch die Arbeiten von Andreas Krapp Einzug in die anglo-amerikanische Forschung erhielt (vgl. Hartinger 2007, S. 118). Als pädagogisch günstige Form von Motivation wird demnach Interesse bezeichnet, das durch folgende drei Merkmale gekennzeichnet ist (vgl. Krapp 2005, Hartinger 2007).

- Der Gegenstand, auf den sich das Interesse bezieht, erfährt eine hohe subjektive Wertschätzung.
- Die Beschäftigung mit dem Gegenstand erfährt zumindest überwiegend eine Bindung an positive Emotionen.
- Es besteht ein Wissensdurst im Gegenstandsbereich. Die Beschäftigung mit dem Gegenstand ist erkenntnisorientiert bei gleichzeitig bereits differenziertem Wissen über den Lerngegenstand.

In einschlägigen Physikdidaktiklehrbüchern wird Interesse sowohl als Fernziel eines jeden Physikunterrichts als auch als Nahziel einer jeden Unterrichtsstunde mit physikalischem Inhalt gesehen (siehe z.B. Willer 2003, S. 8). Hierin steckt die Unterscheidung des Interesses in Fachinteresse (hier als Fernziel) und Sachinteresse (als Nahziel). Ebenso kann man hierin die Förderung von individuellem Interesse (als Fernziel) und die Ausbildung von situativem Interesse (als Nahziel) sehen (vgl. Häußler et al. 1998, S. 119 in Anlehnung an Krapp 1998, S. 190ff.). Die Fachdidaktik versucht nun den Weg integrierter Modelle zu gehen. Ziel des Physikunterrichts soll es sein, beiden Interessenbegriffen zuzuarbeiten, sowohl situativem als auch individuellem Interesse (sozusagen einem „umfassenden Interessenbegriff“) gerecht zu werden und diese Art von integriertem Interesse zu fördern. Die pädagogische Interessentheorie³ macht „Selbstintentionalität des Handelns“, eine „emotionale Komponente“ sowie „kognitive Aspekte“ als Merkmale und Teilaspekte von Interesse ausfindig. Die pädagogische Interessentheorie beruft sich dabei auf ein konstruktivistisch geprägtes Menschenbild. Neben konkreten

² Nachzulesen z.B. bei Hartinger/Fölling-Albers 2002, S. 42; Willer 2003, S. 8; u.v.m.

³ Wesentliche Beiträge hierzu von Hans Schiefele, Andreas Krapp, Manfred Prenzel, Hartmut Kasten und Ulrich Schiefele

Dingen und Themenbereichen muss sich das Interesse auch aus Tätigkeiten jeweils individuell zusammensetzen. Nach Häußler (1998, S. 120) hat es sich nun in der Naturwissenschaftsdidaktik eingebürgert, eben diesen Unterschied im Interesse ausfindig zu machen.

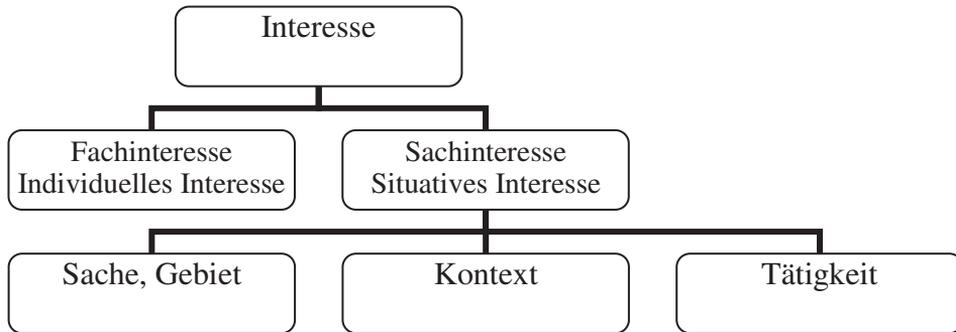


Abb. 1.3: Teilaspekte von Interesse (erstellt vom Verfasser)

Hier lassen sich auch Verknüpfungen zu anderen Forschungstraditionen finden (z.B. zur Selbstbestimmungstheorie von Deci & Ryan 1993), auf die an dieser Stelle jedoch nicht explizit eingegangen werden soll.

Unterschiedliches Interesse von Jungen und Mädchen

Es gibt einige empirische Untersuchungen, die belegen, dass Jungen und Mädchen in ihrer Schulzeit Interesse an unterschiedlichen Themen haben. Bereits in der Grundschule interessieren sich Jungen deutlich stärker für technische Sachverhalte als Mädchen (vgl. Fölling-Albers 1995). In der Sekundarstufe nimmt das Interesse der Mädchen an technischen Sachverhalten weiter ab (vgl. Hoffmann 1990). Mädchen reagieren in Untersuchungen sensibler auf den Wechsel des Anwendungsbereichs bei denselben Stoffgebieten. Die Bedeutung der Physik für den Alltag steht bei ihnen im Vordergrund. Bei Jungen kann dies auch ein Interesse um der Physik Willen sein. Das Fachinteresse an Physik ist bei Mädchen geringer als bei Jungen. Im Laufe der Jahre wird der Unterschied größer (vgl. Häußler et al. 1998, S. 125; vgl. Abb. 1.4).

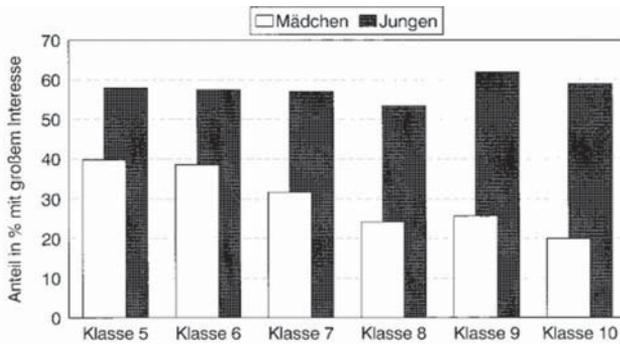


Abb. 1.4: Die Entwicklung des Interesses an Physik bei Jungen und Mädchen nach Häußler 1998, S. 124

Nach Häußler (1998) ist Physik am Ende der Sekundarstufe I für Mädchen eines der uninteressantesten, für Jungen eines der interessantesten Fächer. Wodzinski (2002, S. 27f.) beschreibt Physik in der Kollegstufe als „Horrorfach“ der Mädchen. In den Leistungskursen sind die Mädchen mit einem Anteil von 10 % unterrepräsentiert. Damit bekommen die Mädchen den Zugang zu Teilen unserer Kultur versagt. Bei gesellschaftlichen Fragen besteht die Gefahr, dass sie nicht mitreden können (vgl. Wodzinski 2002, S. 27f.). Differenzierte Untersuchungen (Hoffmann & Lehrke 1986, Häußler 1987, zusammenfassend Hoffmann, Häußler & Lehrke 1998) zeigten, dass sich auch hinsichtlich der Unterteilung des Sachinteresses in Gebiete, Kontexte und Tätigkeiten (siehe oben) Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen ergeben. So interessieren Mädchen zum Beispiel physikalische Sachverhalte im Kontext „Gefahren von technischen Geräten“ besonders, während Jungen eher die „Nützlichkeit“ oder die „technischen Geräte an sich“ interessieren. Im Bereich der Tätigkeiten interessieren sich Jungen eher für praktische konstruktive Tätigkeiten, während Mädchen (zumindest ab dem 14. Lebensjahr) sich eher für kritisches Urteilen und Bewerten von physikalischen Zusammenhängen interessieren (vgl. Hoffmann & Lehrke 1986, S. 200). Mädchen reagieren dabei auf einen Wechsel im Anwendungs- oder Tätigkeitsbereich viel sensibler. In der Physikdidaktik wurde u.a. der Schluss gezogen, dass ein Unterricht, der Mädchen zugutekommt, auch den Jungen zugutekommt, aber nicht umgekehrt. Jungen lassen sich auf Fragestellungen, die Mädchen interessieren, eher ein, als Mädchen auf „jungenspezifische“ Fragestellungen. Beispielsweise interessieren sich Jungen auch für die Gefahren des Stroms, Mädchen aber weniger für den Bau oder die Funktionsweise des Ottomotors (vgl. z.B. Wodzinski 2002, S. 27; Willer 2003, S. 8f.; Häußler u.a. 1998, S. 122).

Die Entstehung der verschiedenen Interessen von Jungen und Mädchen

Wodurch sich unterschiedliche Interessen von Mädchen und Jungen bilden, lässt sich nicht eindeutig erklären. Es existieren auch z.T. „konkurrierende Erklärungen“ (Hartinger und Roßberger 2001, S. 3). An dieser Stelle soll nur insoweit auf diese Entstehungsdiskussion eingegangen werden, als es für die vorliegende Arbeit von Bedeutung ist. Konsens ist in der wissenschaftlichen Diskussion, dass es keine physiologischen oder genetischen Erklärungen für unterschiedliche Interessen bei Mädchen und Jungen gibt,

insbesondere, dass keine kognitiven Unterschiede (z.B. im räumlichen Wahrnehmungsvermögen) existieren (vgl. Hartinger und Roßberger 2001, S. 3; Wodzinski 2002, S. 28).

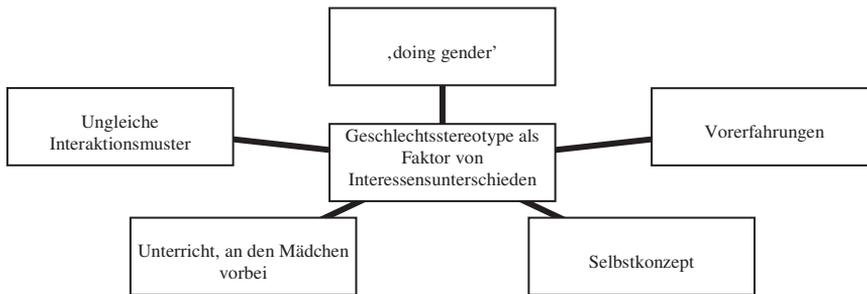


Abb. 1.5: Entstehung von unterschiedlichen Interessen, Grafik erstellt vom Verfasser nach Wodzinski 2002, S. 28ff.; Hartinger & Roßberger 2001, S. 3ff.

Als Hauptursachen für verschieden ausgeprägtes Interesse bei Jungen und Mädchen werden Geschlechtsstereotype genannt. Verschiedene Selbstkonzepte von Mädchen und Jungen, ein Unterricht, der an den Mädchen vorbei geplant und durchgeführt wird, ungleiche Interaktionsmuster von Lehrkräften zu Schülerinnen und Schülern, die aktive Konstruktion von geschlechtsstereotypem Verhalten (häufig als ‚doing gender‘ bezeichnet, Keuneke 2000, Hartinger & Roßberger 2001) sowie unterschiedliche Vorerfahrungen von Schülerinnen und Schülern sind die Hauptausprägungen dieser Stereotype (Abb. 1.5).

Mädchen und Jungen bringen aus dem Elternhaus unterschiedliche Vorerfahrungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen mit. Da in vielen Untersuchungen Vorwissen als eine der zentralen Einflussgrößen auf Lernen dargestellt wird, ist zu vermuten, dass sich auch unterschiedliches Vorwissen von Jungen und Mädchen auf den Lernprozess auswirkt. Dies lässt sich jedoch empirisch nicht eindeutig nachweisen (Baumert et al. 1998, Ziegler et al. 1997). Im Unterricht kommt es zu unterschiedlichen Interaktionen zwischen Lehrkräften und männlichen Schülern sowie Lehrkräften und weiblichen Schülern. So bekommen – wenn auch den Lehrkräften häufig nicht bewusst – Jungen im Physikunterricht bei gleichen Leistungen mehr Lob. Bei Mädchen wird eher soziales Wohlverhalten gelobt (vgl. Wodzinski 2002, S. 29).

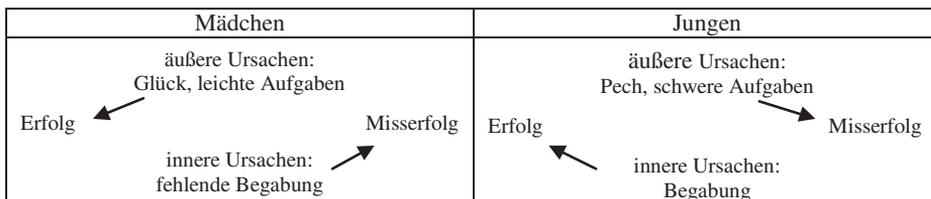


Abb. 1.6: Unterschiedliche Muster der Erfolgs- und Misserfolgszuweisung von Jungen und Mädchen (Wodzinski 2002, S. 30; Hartinger 2002)

Auch das Selbstkonzept und die Attribuierung von Erfolg bzw. Misserfolg ist bei Mädchen und Jungen unterschiedlich (vgl. Abb. 1.6). Selbstkonzept und Attribuierung spielen in der Interessenentwicklung zwar eine Rolle, jedoch speziell für das Sachinteresse eine eher untergeordnete.

Ein Unterricht, der die unterschiedlich ausgeprägten Interessen einseitig fördert (in Richtung des Interesses der Jungen) und an den Interessen der Mädchen vorbei geplant ist, führt auf Dauer dazu, dass Mädchen Fachinteresse verlieren. Sozialisationsgründe für die Distanz zu naturwissenschaftlichen Themen finden sich in der frühen Kindheit. Früheres Helfen bei technischen Reparaturen, technisches Spielzeug, Hantieren mit Werkzeugen anstelle von Spielen mit Puppen, erklärt die größere Offenheit gegenüber physikalischen und technischen Fragen aufseiten der Jungen (Hoffmann, Häubler & Lehrke 1998, Alfermann 1996, Hartinger & Roßberger 2001). Hartinger und Roßberger fassen 2001 zusammen: „Die Schule ist sicherlich nicht die primäre Auslöserin für Geschlechtsdifferenzen im Interesse.“ Gleichzeitig sehen sie jedoch mit Krapp (1998) die Notwendigkeit, aufgrund der Bedeutung von Schule als Sozialisationsinstanz Anregungen für Interessen zu schaffen und bei Mädchen *und* Jungen Interessen zu fördern.

Die Bedeutung von Interessen für den Lernprozess

Interesse wird in pädagogischen Kontexten häufig als selbstbestimmte Art der Lernmotivation verstanden (Prenzel 1997, Krapp 1999, Hartinger & Roßberger 2001). Für den Lernprozess oder den Unterricht wird dieser Art von Lernmotivation eine besondere Wirkungsweise oder Qualität zugeschrieben (vgl. Krapp & Prenzel 1992). Die Bedeutung von Interesse für das Lernen konnten Schiefele, Krapp & Schreyer (1993) in einer vergleichenden Metaanalyse von 21 Studien nachweisen. Sie konnten zeigen, dass in den Studien, in denen interessantere Themen im Unterricht behandelt wurden, besser gelernt wurde. Schiefele et al. bezeichnen das Interesse als wichtigen Indikator für Lernerfolg. Die Korrelation liegt bei .30 (ebd. S. 120). Für die hier vorliegende Untersuchung besonders wichtig ist die Tatsache, dass Interesse weniger eine Rolle spielt, wenn es um Auswendiglernen geht, dagegen aber bedeutsam für verstehendes Lernen ist (Prenzel & Lankes 1995, Hartinger & Roßberger 2001). So ist zum Beispiel das Erlernen des Stromkreises an manchen Stellen auch mit Auswendiglernen zu bewältigen: Es können Fallbeispiele gelernt werden, in welchen Fällen das Lämpchen, das an eine Batterie angeschlossen wird, leuchtet oder nicht leuchtet. Der sinnvollere Weg erscheint jedoch in einem verstehenden Lernen zu liegen. Verstehen die Schüler, warum dieses oder jenes Lämpchen leuchtet oder nicht leuchtet, so können sie das auf weitere Situationen transferieren. Bei interessanten Lerninhalten, so Schiefele (1996), werden häufiger tiefen- und verständnisorientierte Lernstrategien verwendet. Lernen mit Interesse beeinflusst also die Qualität des Lernprozesses und die Bereitschaft zum Weiterlernen (Hartinger & Roßberger 2001, S. 5). Für Hartinger und Roßberger ist es deshalb wichtig, über Interessen von Grundschulkindern genauere Daten zu erlangen und (in Anlehnung an die IPN-Interessenstudie) aus einer Differenzierung des Interesses – in Interesse an Inhalten, Interesse an Kontexten und Interesse an Tätigkeiten – bestimmte Ableitungen für ein interessanteres Gestalten von Unterrichtsinhalten ableiten zu können.

1.5 Erklärungsmuster physikalischer Phänomene

Auch in einem Gebiet wie der Physik, wo sich Inhalte oft durch mathematische Formeln ausdrücken lassen, ist das situationsspezifische Wissen zentral. Physikalisches Wissen kann auf folgenden drei Ebenen verfügbar sein (vgl. Larkin 1985):

1. Situationsrepräsentation
2. formal-mathematische Repräsentation
3. anschauliche Repräsentation

In der Situationsrepräsentation werden physikalische Phänomene verbal oder durch analoge Bilder gespeichert. (Ein Beispiel hierfür wäre: a) mit einem Schalter kann man den Stromkreis unterbrechen oder b) Speicherung als Bild eines offenen Schalters). In der formal-mathematischen Repräsentation liegt derselbe Sachverhalt dann als Formel vor (hier: der Widerstand R ist am Schalter unendlich, $R=\infty$). In der dritten Repräsentationsebene, der anschaulichen Repräsentation, werden symbolisch anschauliche Darstellungen (z.B. die Widerstandskurve am Schalter) oder anschauliche Modelle (z.B. der unterbrochene Wasserschlauch, in dem dann kein Wasser weiter fließen kann, oder das Bild vom Stadttor, das je nach seiner Breite als Symbol für mehr oder weniger Widerstand stehen soll) abgespeichert. Gerade Novizen fehlen oft Repräsentationen auf der anschaulichen Ebene. Experten und Novizen unterscheiden sich hier nicht im Grad des Abstraktionsvermögens, sondern in der Vernetzung und Strukturierung (vgl. Larkin 1985).

Ein weiteres Problem zu Erklärungen und verschiedenen Erklärungsmustern ist die Bereichsspezifität von Kompetenzen. Der Wissenserwerb in einem spezifischen Bereich ist nicht zwangsweise auf ein neues System übertragbar. So erbringen z.B. Menschen, die sich bis zu 80 Zahlen merken können, keine besseren Gedächtnisleistungen in anderen Domänen (vgl. Stern 2002).

Nach Spreckelsen erklären Kinder physikalische Phänomene zunächst animistisch. Viele Kinder benützen zur Erklärung von Phänomenen das Muster des deduktiven Denkens. Dabei reduzieren Schüler Erfahrungen auf die ihnen momentan begegnenden Einzelphänomene. Einer weiteren Variante von kindlichen Erklärungsmustern schreibt Spreckelsen einen enormen Stellenwert zu: der Analogiebildung oder dem transduktiven Verstehen (vgl. Spreckelsen 1997, S. 112f., s.u.). Eine genauere Ausführung der Erklärungsmuster nach Spreckelsen findet sich in Kapitel 2.3.4.

Diamond et al. stellten fest, dass Kinder keine Handlungspläne koordinieren können, da ihr Frontalhirn noch nicht so weit gereift ist (vgl. Diamond et al. 1997).

Lernschwierigkeiten im physikalischen Sachunterricht, Physikunterricht

Lernschwierigkeiten sind die Diskrepanz zwischen erwarteten Leistungen der Lernenden (Lehr- und Lernziele) und den tatsächlich erreichten Leistungen (vgl. Zielinski 1980, S. 19). Dabei können Lernschwierigkeiten entweder Ursachen im Lernprozess oder in den individuellen Prädispositionen der Lernenden haben. Zu Letzterem zählen u.a. Vorkenntnisse, Vorerfahrungen, Interesse für das jeweilige Fachgebiet sowie geistiger Entwicklungsstand. Diese wurden bereits als wichtige Einflussfaktoren auf positives Lernen erläutert. Zu unterteilen sind Lernschwierigkeiten in objektiv bedingte (z.B. durch Lern-

ziele und Lerninhalte von außen) und sowohl objektiv als auch subjektiv bedingte Lernschwierigkeiten (dominante Ursachen der Schüler, Grad der Bewusstheit, innere Faktoren) (vgl. Zielinski 1980, S. 19-21).

Ein Verursachungsfaktor für Lernschwierigkeiten, neben den Schülern und ihren Eigenschaften, ist der Unterricht.

Die häufigsten Lernschwierigkeiten im Physikunterricht können als Verständnisschwierigkeiten gedeutet werden. Diese Probleme hinsichtlich des Verständnisses können zu Abneigungen gegenüber dem Fach Physik und den Naturwissenschaften führen (vgl. Lewandowska 1993, S. 9; Kubli 1987, S. 36). Verständnisschwierigkeiten im Unterricht zu berücksichtigen, bedeutet daher, negative Einstellungen gegenüber dem Fach nicht in unnötiger Weise zu fördern. Empirisch feststellbare Erfahrungen der Schüler sind daher für den Unterricht als grundlegend anzusehen. Didaktiker unterteilen diese dabei in Präkonzepte und Fehl- oder Misskonzepte.

Diese Konzepte können sich auf Ziele, Inhalte, Methoden und Sprache im Unterricht beziehen (vgl. Muckenfuß 1995, Willer 2003, Kircher 1995a, u.a.).

Lernschwierigkeiten treten im physikalischen Sachunterricht bei speziellen Unterrichtsinhalten auf. Die Physikdidaktik kennt das Mittel der Elementarisierung. Ausgangspunkt bei der Elementarisierung ist das Ziel, dass komplizierte Zusammenhänge möglichst von allen Schülern in möglichst kurzer Zeit verstanden werden sollen. Die Sachstruktur des Physikunterrichts ist dabei nicht die gleiche wie die der Physik. Im Physikunterricht geht es darum, die Warum-Frage und die Wie-Frage zu klären.

1.6 Probleme beim Wissenserwerb in der Elektrizitätslehre

Das Ergebnis der Untersuchungen zum Wissenserwerb in der Elektrizitätslehre von Heinz Muckenfuß Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts war „ziemlich ernüchternd“. Gerade Schülerinnen, die im Unterricht mit hervorragenden Leistungen geblüht hatten, wussten ein Jahr später bereits die „elementarsten Zusammenhänge“ nicht. Die Untersuchung fand immerhin in einer 8. Jahrgangsstufe Realschule statt. Warum fallen gerade im Elektrizitätslehreunterricht die Ergebnisse so schlecht aus? Welche Lernschwierigkeiten treten hier auf?

Muckenfuß findet als einen möglichen Grund für Lernschwierigkeiten die Antwort der Schüler: „Aber das braucht doch keiner!“ Zum Betreiben der Lampe, zum Auswechseln der Glühbirne muss niemand verstehen, was eigentlich im Stromkreis vorgeht, wie Reihenschaltung und Parallelschaltung (Sek. I) zu berechnen sind, was der Unterschied zwischen Spannung und Stromstärke ist. Nur die wenigsten Schüler werden einmal Physiker und Elektroingenieure. Die Handlungskompetenz ist also nur bei wenigen Schülern eingeschränkt, wenn sie grundlegende Dinge nicht verstehen. Einen Stromkreis selbst aufzubauen ist leichter als zum Stromkreis wissenschaftlich tragbare Konzepte aufzubauen.

Der Unterricht muss hier also nicht nur punktuell lebensnahe und lebenspraktische Bedeutsamkeit zeigen, sondern seine Bedeutsamkeit jederzeit einsehbar machen – ein nach den oben erwähnten Problemen nicht zu niedrig gestecktes Ziel!

Ein weiteres großes Problem ist, dass das Verständnis in vielen Bereichen der Elektrizitätslehre allein durch Vorstellungen gestützt wird. Kein Mensch hat je ein Elektron gesehen. Niemand kann sich in Leitungen (ver-)setzen und etwas strömen sehen. Warum sich geriebene Luftballone anziehen, ist ebenso uneinsichtig wie das Leuchten einer Lampe. Auch (und vielleicht sogar besonders) der Zusammenhang zwischen den beiden Phänomenen ist äußerst kompliziert. Man kann sich die dazu vorgestellten Ladungen und Elektronen ja nicht ansehen. Der komplette Unterricht hierzu hat also die Schwierigkeit, bei den Schülern Vorstellungen zu etwas Komplexem aufzubauen, das vielleicht nur in den Vorstellungen der Physiker existiert. Eine weitere Schwierigkeit sind die bereits erwähnten Alltagsvorstellungen und die Alltagssprache. Vor allem die Sprache birgt hier Lernschwierigkeiten, weil die Elektrizität im Leben der Menschen eine große Rolle spielt. Die hierzu entwickelte Sprache hat sich im Laufe der Zeit an dieser Bedeutung orientiert. Muckenfuß (1995, S. 319) berichtet hierzu folgende Beispiele (Markierung vom Verfasser):

- „... Bislang wurden nur kleinere Windenergieanlagen gefördert, die in der Regel bis zu 250 Kilowatt Strom erzeugen ...“ (Pressemitteilung des BMFT)
- „... Mit Zinssubventionen für die Umstellung auf Stromheizung werben Fachverbände und Stromerzeuger dafür, *Strom* in Nachtspeicheröfen und Durchlauferhitzern zu *verheizen* ...“ (ap).
- „Das neue Umspannwerk sorgt dafür, dass immer *ausreichend Strom* in die Steckdosen der Haushalte und Betriebe ... *fließt*. Der Leiter der Abteilung Hochspannung betonte, dass der *Strombedarf* von 9200 Kilowatt im Jahr 1980 auf derzeit 13500 Kilowatt gestiegen sei.“ (Schwäbische Zeitung 16.5.92).
- „Strom steht immer für Sie bereit – sauber, vielseitig und genau in der Menge, die Sie benötigen ...“ (Werbung der IZE).

Ein weiteres Beispiel ist das Wort „Stromverbrauch“. Gemeint ist hier eigentlich die „verbrauchte“, besser die umgewandelte elektrische Energie.

Gegen diese lebendige Alltagssprache wendet sich die normierte physikalische Fachsprache. Es ist jedoch angesichts der Tatsache, dass wir mit der so entstandenen Alltagssprache durchs Leben kommen, nicht zu erwarten, dass die Alltagssprache sich ändert. Mit dieser Sichtweise ist die Beständigkeit und Hartnäckigkeit so mancher Fehlkonzepte der Elektrizitätslehre zu interpretieren. Der Unterricht muss zumindest versuchen, den Unterschied zwischen Alltags- und Fachsprache deutlich zu machen.

Ein weiteres Argument für das Bestehen von Lernschwierigkeiten in der E-Lehre ist in den Inhalten zu suchen.

Da die Elektrizitätslehre in weiten Teilen auf Vorstellungen basiert, kommt es im Bereich von Stromflussvorstellungen zu Fehlkonzepten (s.o.). Schülervorstellungen beim Stromkreis in der Grundschule sind eine „Einwegzuführungsvorstellung“ sowie eine „Zweiwegzuführungsvorstellung“. Mit beiden Vorstellungen geht eine „Stromverbrauchsvorstellung“ einher. Dass der Strom im (Gleich-)Stromkreis tatsächlich im Kreis fließt, erscheint Schülern extrem unplausibel, schon deshalb, weil sich auch viele Kinder unter „elektrischem Strom“ nichts vorstellen können.

Bei der Einwegverbrauchsvorstellung gehen Schüler/innen davon aus, dass nur ein Draht nötig ist, um ein Lämpchen mit einer Batterie zum Leuchten zu bringen. Durch diesen einen Draht fließt ihrer Meinung nach der Strom zum Lämpchen und wird dort verbraucht. Sehen sie z.B. durch Anwendung ein, dass ein Draht als Verbindung von Batte-

rie und Lämpchen nicht ausreicht, um dieses zum Leuchten zu bringen, generieren die Schüler häufig eine Zweiwegezuführungsvorstellung.

Bei der Zweiwegezuführungsvorstellung ist den Schüler/innen bewusst, dass ein Draht nicht ausreicht, um das Lämpchen zum Leuchten zu bringen. Sie gehen jedoch davon aus, dass der zweite Draht ebenfalls ein Zuführungsdraht sein muss und dass erst durch den zweiten Draht die vom Lämpchen benötigte Menge Strom geliefert werden kann. Hier existiert zum Teil auch noch die Vorstellung, dass ausgehend von Plus- und Minuspol, durch die beiden Drähte unterschiedliche Stoffe zum Lämpchen fließen. Die Stoffe (ob nun einer oder zwei verschiedene) werden im Lämpchen verbraucht (vgl. Kircher 1984, 1989, 1994, Stork & Wiesner 1981, Wiesner 1995).

Hintergrund dieser Zuführungstheorien scheint auch zu sein, dass Strom als etwas Substanzartiges aufgefasst wird, nicht als Prozess. Schüler kennen das Problem, wenn „der Nachschub“ fehlt und übertragen dies auf die Situation Lämpchen. Wenn die Versorgung mit der Substanz fehlt, die ihrer Meinung nach zu Licht verwandelt wird – Strom –, dann kann diese Verwandlung nicht stattfinden. Da die Prozesse allein an Vorstellungen gebunden sind und nicht in Realexperimenten überprüft werden können, stellen die Inhalte des Elektrizitätslehreunterrichts Schwierigkeiten dar. Auch der physikalische Energiebegriff ist ein solcher Inhalt, der Schwierigkeiten bereitet. Bei den Lehrern selbst existiert manchmal noch ein unzureichend verstandenes abstraktes Energiegebilde, das geprägt ist von den Erinnerungen an eine Energieeinführung über Arbeit und Leistung und viele Rechnungen in der eigenen Gymnasialzeit. Hinzu kommen für Schüler wie für Lehrer die Einflüsse der Werbung. Energiewerbung arbeitet zu einem Großteil mit Fehlkonzepthen. „Ein Pfund Energie“ oder „Ein Pfund Strom bitte“⁴. Derartige Sätze in der Werbung tagtäglich gehört, lösen Substanzvorstellungen von Energie aus. Firmen wie EON „liefern“ ja auch Energie, wie mit der Schubkarre und nennen sich „Energieversorger“. Energie als „Fähigkeit etwas zu bewirken“ zu sehen, ist nicht ganz so leicht. Ein Gewichtsstück, das in einer gewissen Höhe über der Erde gehalten wird, hat die Möglichkeit zu fallen. Strom hat die Möglichkeit, Wasser zu zersetzen, einen Draht zu erhitzen und zum Leuchten zu bringen. Diesen Inhalt an Grundschüler zu transportieren bedarf eines anderen Denkansatzes als zunächst Arbeit und Leistung zu definieren und darüber zu integrieren, um auf die Energie zu kommen.

Lernschwierigkeiten im Bereich der Elektrizitätslehre bereiten auch die Begriffe Stromstärke, Spannung und Widerstand. Naturwissenschaftliche Seminare im Bereich der Grundschullehrerbildung zeigen, dass auch angehende Grundschullehrerinnen oft Schwierigkeiten haben, die Begriffe zu verstehen und Spannung und Stromstärke auseinander zu halten. Auch hier müssen Lehrkräfte einen Inhalt vermitteln, mit dem sie selbst oft Verständnisschwierigkeiten haben: „Lehrkräfte im Primarbereich greifen auf vergleichbare Fehlkonzepthe wie ihre Schüler zurück und verfügen über unzureichendes fachspezifisch-pädagogisches Wissen. Dies ist vielfach empirisch belegt (vgl. z.B. Schoon 1995, Appleton 2003, De Jong, Korthagen & Wubbels 1998). Sie erleben sich als wenig kompetent in der unterrichtlichen Bearbeitung physikalisch-technischer Themen und meiden diese daher eher (vgl. Möller 2004)“ (Heran-Dörr & Kahlert 2007).

⁴ Werbungslogos der Firma EON Energie 2006

1.7 Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Arbeit

Die vorliegende Arbeit geht davon aus, dass sich der Lernende sein Wissen aktiv, in der Situation, konstruiert. Dass dieses Lernen unter dem Einfluss des sozialen Umfeldes und in kooperativen Formen leichter funktioniert, wird ebenso angenommen, wie der positive Einfluss der Selbststeuerung von Lernprozessen, guter Strukturierung des Materials und Interesse am Lerngegenstand. Da der Lerner sein Wissen selbst konstruiert, kommt es entscheidend darauf an, in welche bereits vorhandenen Wissensstrukturen er das neue Wissen einbetten soll und wie seine vorhandene Wissensstruktur mit Präkonzepten oder auch mit Fehlvorstellungen gefüllt ist. Als günstig für den Lernprozess erweist es sich, die erwarteten oder besser noch empirisch belegten Präkonzepte in der Planung des Unterrichts oder der Intervention mit einzubeziehen. In jedem Fall wird der Lernende auf seine Präkonzepte zurückgreifen, wenn er sich mit neuem Wissen beschäftigt. Sind die Konzepte, die neu zu erwerben sind, integrierbar, so kann der Aufbau neuer Konzepte beginnen. Existieren bereits Fehlkonzepte, so müssen die Konzepte gewechselt werden. Dieser Prozess ist für den Lernenden nicht ganz leicht. Es müssen Bedingungen erfüllt sein, so dass der Lernende bereit ist, sein altes Konzept aufzugeben. Um sich überhaupt auf die Erweiterung der bestehenden Wissensstruktur einzulassen, ist Interesse nötig. Interesse als selbstbestimmte Motivation kann dabei unterteilt werden in Interesse am Fach und Interesse an einer spezifischen Sache. Das Sachinteresse wiederum kann beeinflusst oder verursacht werden durch Interesse an einem bestimmten Sachgebiet, durch Interesse an einem Thema durch einen bestimmten Kontext oder durch Interesse an bestimmten Tätigkeiten, die im Rahmen der Beschäftigung mit dem Thema durchgeführt werden. Gerade im Bereich des physikalischen Lernens existieren (zumeist durch Sozialisation hervorgerufene) Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Diese nehmen (wie z.B. die IPN-Interessenstudie zeigt) im Laufe der Schulzeit zu. Interesse hat Auswirkungen auf einen auf Verstehen angelegten Lernprozess. Über Interesse lässt sich eine Anwendung tieferer und verständnisorientierterer Lernstrategien erreichen (Schiefele 1996). Der Aufbau physikalischen Wissens erfolgt eng verknüpft mit Erklärungsmustern physikalischer Phänomene. In den Bereich der Erklärungsmuster fallen auch Analogien sowie analoges und transduktives Denken. Diesem soll als zentraler Ansatzpunkt der Arbeit ein eigenes Kapitel (2) gewidmet werden. Wie bereits im Zusammenhang mit Präkonzepten, Alltagsvorstellungen und Konzeptwechseln angedeutet, treten im Prozess des physikalischen Lernens immer wieder Lernschwierigkeiten auf. Dies kann Ursachen im Lernprozess selber haben oder aber von den Präkonzepten verursacht werden. Besondere Lernschwierigkeiten gehen oft von den behandelten Unterrichtsinhalten aus. Hier treten sprachliche Schwierigkeiten auf, wenn sich die Alltagssprache von der Fachsprache unterscheidet oder die Alltagssprache vielmehr noch Fehlvorstellungen unterstützt. Speziell im Fall Stromkreis ist dies beim Stromverbrauch, Stromzähler und der Rechnung für den Stromverbrauch, die das Elektrizitätswerk stellt, der Fall. Selbst in Lehrplänen, an die doch die Forderung einer fachlichen Korrektheit des zu vermittelnden Stoffs gestellt werden könnte, fließen die sprachlichen Tücken der Alltagssprache ein. Ein weiterer Grund für Lernschwierigkeiten ist in den Inhalten selbst zu suchen. Inhalte, die allein auf der Vorstellungskraft beruhen (ob nun makro- oder mikrokosmisch), gestalten sich schwierig. Im Bereich des Stromkreises

beruht der gesamte Unterricht auf dem Vorstellungsvermögen des Schülers. Elektrizitätsteilchen sind nicht zu sehen. Auch sollte das zu erlernende Sachgebiet vom Gestalter der Lernumgebung „beherrscht“ werden. Eigene Lernschwierigkeiten des „Lernumgebungsmachers“ übertragen sich unter Umständen auf den Lerner. Im Falle des Stromkreises kann dies z.B. im Bereich Stromstärke – Spannung der Fall sein. Die Kenntnis dieser Ausgangslage bzw. dieser Grundannahmen ist fundamental und prägend bei der Gestaltung der Intervention, der inhaltlichen Ausgestaltung der Messinstrumente und beim Entwurf des Designs der Studie.

2 Analogien

Im folgenden Kapitel geht es um das Zentrum der vorliegenden Arbeit: um Analogien. Zunächst soll der Zusammenhang zwischen Analogien und Modellen geklärt werden (Kapitel 2.1). Im Anschluss daran stehen kognitionspsychologische Sichtweisen von Analogien im Mittelpunkt. Dabei wird zwischen analogem Zuordnen, analogem Verstehen und analogem Problemlösen unterschieden (Kapitel 2.2). Die fachdidaktische Nutzung des Analogiebegriffs steht danach an. Analogien sind in der Fachdidaktik Hilfsmittel zum Veranschaulichen schwieriger Sachverhalte. In unterschiedlicher Weise werden Objekt, Modell und Subjekt einbezogen (Kapitel 2.3). Im Anschluss sollen Funktionen von Analogien geklärt werden (Kapitel 2.4). In wissenschaftlichen Zusammenhängen dienen Analogien zur Erkenntnisgewinnung, in fachdidaktischen Zusammenhängen dienen sie hauptsächlich als Vermittlungs- und Vorstellungshilfe. Der Einsatz von Analogien ist aber auch mit Problemen verknüpft und muss deshalb an bestimmte Forderungen geknüpft werden. Nicht zuletzt bieten Analogien fachdidaktische Möglichkeiten und Chancen (Kapitel 2.4.1). Den Voraussetzungen für den Einsatz von Analogien ist Kapitel 2.4.2 gewidmet. Zunächst geht es um den Rückgriff von Analogien auf einen Basisbereich, bevor nach der Wahrnehmung eines Zielbereichs die Zuordnung Basis-Ziel umgesetzt wird. Im Anschluss daran werden die konkreten Analogien zum Stromkreis diskutiert (Kapitel 2.5). Dabei handelt es sich um verschiedene mechanische Modelle und Wasseranalogien (Kapitel 2.5.1). In Kapitel 2.5.2 werden die Probleme und Grenzen der konkreten Modelle aufgezeigt. Zur Wasseranalogie gibt es verschiedene Studien in den Sekundarstufen I und II. Diese sollen in Kapitel 2.5.3 in einem tabellarischen Überblick dargestellt werden. Auf die Bremer Studien der 1980er Jahre soll noch verwiesen sein. Abschließend werden Folgerungen für die eigene Untersuchung abgeleitet (Kapitel 2.6).

Sucht man in Enzyklopädiën nach dem Begriff Analogie, so kann man bereits hier vermuten, dass es mit einer Erklärung im Sinne einer knappen Definition schwierig wird. Analogien werden je nach ihrem Einsatzgebiet anders definiert.

Es soll trotz dieser Schwierigkeit versucht werden, Analogien kurz zu definieren:

Der Begriff Analogie kommt aus dem Griechischen von *αναλογον*, Ähnlichkeit. Die Ähnlichkeit zwischen analogen Gegenständen oder Vorgängen ermöglicht es, zwischen den analogen Dingen Beziehungen aufzubauen. Je nach Anwendung oder Anwendungsgebiet werden diese Beziehungen unterschiedlich genutzt. Die Ausweitung des Begriffes Analogie auf Analogiemodelle liegt deshalb nahe, weil die Verwendung von Modellen ebenfalls die Intention besitzt, Ähnlichkeiten abzubilden.

Es gilt zunächst drei Bereiche, in denen Analogien vorkommen, zu unterscheiden: Analogiebildung in der Wissenschaft, Analogiebildung in der Sekundarstufe und Analogiebildung beim Grundschulkind.

Der Physiker analogisiert. Hier ist zu bedenken, dass die Ausbildung zum Physiker eine bestimmte Methodik des Denkens favorisiert, nämlich das Herausfinden, welche Einflussgrößen in einem Phänomen die wesentlichen und welche vernachlässigbar sind. So kann zum Beispiel beim Betrachten des „freien Falls“ zunächst von der Luftreibung abgesehen werden. Dieses Vorgehen führt dazu, dass man sich auf die strukturell bedeutsamen Größen konzentriert und dann bei Analogiebildungen direkt auf die „strukturellen“ Analogien oder „genotypische Analogien“ (nach Spreckelsen, s.u.) zielen kann. Analogien, die den Schüler in der Sekundarstufe bzw. im Physikanfangsunterricht zu einem physikalischen Verständnis führen sollen: Hier werden Modelle eingebracht (z.B. das Wasser-Strom-Modell), die in möglichst vielen Eigenschaften dem zu erklärenden Vorgang (elektrischer Strom) entsprechen. Hier kommen durchaus auch Oberflächenanalogien oder „phänotypische Analogien“ (nach Spreckelsen, s.u.) mit ins Spiel. Dabei ist zu bemerken, dass sich die meisten empirischen Studien zu Analogien auf diese Altersstufe beziehen.

Analogien, die Grundschulern helfen sollen, zu einem physikalischen Vorverständnis zu gelangen: Hier ist es schwierig, bei den grundschulkind-typischen „Transduktionen“ (Stern, Spreckelsen, s.u.) präzise zwischen den genannten Formen des Analogisierens zu unterscheiden. Nach Befunden Spreckelsens (1997) liegt in den ersten beiden Schuljahren das Gewicht stärker im phänotypischen Bereich. Dies verschiebt sich im dritten und vierten Schuljahr auf die genotypische Seite.

Eine wichtige Rolle hierbei nimmt auch der Modellbegriff ein: Je nach Sicht findet man Analogien (in der Bedeutung von Analogiemodellen) als Spezialfall von Modellen oder das Modell (in der Bedeutung von Analogiemodellen) als Spezialfall von Analogien. Die Verbindung liegt jedoch immer bei den Analogiemodellen.

2.1 Modelle

In der Alltagssprache bezeichnen Modelle zum einen etwas Vorbildhaftes, sei es nun ein beispielhaftes ethisches Verhalten, oder vorbildhaftes Präsentieren von Objekten (z.B. Models, die Kleidung präsentieren). Zum anderen taucht der Begriff Modell im Zusammenhang mit Prototypen von Autos oder in der Architektur gehäuft auf. Hierbei wird der Begriff im Sinne einer gegenständlichen Abbildung von etwas Materialistischem verwendet (vgl. Grygier, Günter, Kircher 2004, S. 8ff.).

Modelle können aber nicht nur auf realer (gegenständlicher), sondern auch auf ikonischer (bildhafter) oder symbolischer Ebene repräsentiert werden. Gegenständliche Modelle sind dreidimensional und werden neben Architektur, bildender Kunst und Wissenschaft vor allem auch in der Lehre (z.B. Physik: Mäusefallenmodell als Modell einer Kernreaktion) verwendet. Oft findet man gegenständliche Modelle auch im Bereich des Spielzeugs wieder (z.B. das Modell eines Autos in Form eines Spielzeugautos). Ikonische Modelle sind zweidimensionale Darstellungen von Objekten, die versuchen, das

Objekt selbst möglichst gut graphisch darzustellen. Eine besondere Form von Modellen wird häufig in der Musik, der Mathematik und in den Naturwissenschaften benutzt: das symbolische Modell. Symbolische Modelle bestehen im Allgemeinen aus zweidimensionalen Zeichen für Sprache (oder Töne). In den Naturwissenschaften findet sich oft auch die abgewandelte Form „Modellvorstellungen“ wieder, die deutlich machen soll, dass hier nicht nur mehrdimensionale Modelle verwendet werden, sondern oftmals auch gedankliche Konstrukte, die uns als möglichst der Realität nahekommende Abbilder beim Verstehen der Welt behilflich sein sollen. Modellvorstellungen müssen dabei auch die Kommunikation über Dinge der Realität erleichtern. Um sie zu überprüfen, führen Wissenschaftler Experimente durch und generieren aus den Modellvorstellungen Hypothesen. Wissenschaftliche Hypothesen gelten so lange, bis sie durch ein Experiment falsifiziert wurden. Die symbolische Darstellung soll helfen, Begriffe, Sprache und die benötigte Mathematik möglichst knapp, aber dennoch umfassend darzustellen. Dabei soll jeder andere Naturwissenschaftler mit dem gleichen Symbol sofort gleiche Assoziationen haben, d.h. gute symbolische Modelle zeichnen sich durch ihre Eindeutigkeit aus. Andererseits sind Modelle nicht auf ewig und umfassend gültig. Die Formulierung des Wissenschaftsphilosophen Bunge bringt die Vorläufigkeit von Modellen schön zum Ausdruck: »Ein (naturwissenschaftliches) Modell ist eine hypothetische Skizze über etwas, von dem man annimmt es gäbe es da „draußen“.« (Bunge 1973, zitiert nach Grygier, Günter, Kircher 2004)

Es fällt auf, dass der Modellbegriff je nach Einsatzort verschieden zu verstehen ist. Vergleicht man den umgangssprachlichen Modellbegriff mit dem wissenschaftlichen Modellbegriff oder dem fachdidaktischen Modellbegriff, so ändert sich jeweils die Bedeutung. Am fachdidaktischen Modellbegriff ist auffallend, dass das Modell hier möglichst genaue Abbilder der Realität schaffen soll, um diese den Schülern lernbar, erklärbar und vergleichbar zu machen. Wissenschaftliche Modelle wie etwa das Bohr'sche Atommodell oder das Modell vom Lichtstrahl dienen einer Erklärung eines wissenschaftlichen Sachverhalts, zumindest so lange, bis die Wissenschaft bessere Modelle entwickelt hat, die den Sachverhalt noch treffender beschreiben. Insgesamt geht es also auch hier um ein möglichst genaues Abbild der Realität, allerdings zum besseren eigenen Verständnis der Wissenschaft(ler).

2.2 Bedeutungen von Analogien in kognitionspsychologischen Kontexten

Häufig werden Analogien in die Bereiche unterteilt, in denen sie genutzt werden. Je nach Autoren werden verschiedene Bereiche benannt.

Holyoak und Thagard (1989 nach Weber S.103) benennen z.B. folgende fünf Bereiche, in denen Analogien genutzt werden:

- Problemlösen
- Argumentation
- Erklärungen
- Formale Analogien

– Metaphern

Der Bereich des Problemlösens wird immer dann einen Ansatz des *analogen* Problemlösens fordern, wenn die Lösung eines Problems die (evtl. bereits bekannte) Lösung eines anderen Problems nahe legt. Beim Argumentieren werden Analogieschlüsse dann herangezogen, wenn Wahrheitsschlüsse von einer zur nächsten Situation möglich sind. Für Erklärungen sind Analogien hilfreich, wenn der Erkenntnisgewinn mithilfe bereits verstandener Bereiche erleichtert wird. Bereiche der Mathematik nutzen formale Analogien. Liegt der Schwerpunkt auf der sprachlichen Formulierung eines Vergleichs, so spricht die Literatur von Metaphern. Hierbei nutzt man die argumentative, die erklärende und die ästhetische Funktion von Analogien.

Hesse beschränkt sich bei seinem Klassifikationsansatz (vgl. F. Hesse 1991, S.13) auf drei wesentliche Säulen der Analogienutzung. Von der metaphorischen Beschreibung als vierte Möglichkeit nimmt er zwar Kenntnis, sie bleibt aber bei seinen Erläuterungen als sprachliche Sonderform außen vor. Als wesentliche Bereiche der Analogiebildung sieht er (hierarchisch aufsteigend) analoges Zuordnen, analoges Verstehen und analoges Problemlösen.

Diese drei Analogiebildungen seien im Folgenden kurz dargestellt:

Analoges Zuordnen

Im Bereich der Psychologie wird Analogiebildung als elementarer Mechanismus des Denkens angesehen (vgl. Dudeck 1997, S. 11). Hesse (1966) und Dreistadt (1968) sehen die Analogiebildung als ganz normalen Vorgang im Alltagsdenken wie auch im wissenschaftlichen Denken. Die Vervollständigung eines unvollständigen Begriffspaars (z.B. Wald: Bäume; Wiese: ?) bildete nach Sternberg (1977) die Basis für die ersten Beschreibungen der Analogiebildung als mentalen Prozess (vgl. Dudeck 1997, S. 11). Diese Art von Analogiebildung – von Hesse als analoges Zuordnen bezeichnet – ist dann gefordert, wenn Eigenschaften und Beziehungen eines Sachverhalts auf einen neuen Sachverhalt übertragen werden sollen. Dieses analoge Zuordnen wird zum Beispiel in Intelligenztests immer wieder gefordert.

Analoges Verstehen

Beim analogen Verstehen wird ein Verständnis eines neuen Sachverhalts über die Vorgabe eines bereits bekannten Sachverhalts vermittelt. Es geht dabei auch um die Bedingungen des analogen Erkennens und des Verknüpfens von Sachverhalten unterschiedlicher Erfahrungsbereiche (vgl. Genter 1988). In den Ausführungen von Genter wird Analogiebildung als elementare Funktion menschlicher Intelligenz gesehen. Hier wird von der Nomenklatur her nicht – wie später beim analogen Problemlösen – mit Quell- und Zielproblemen gearbeitet, sondern mit „Problemen im Alt- und Neubereich“. Genter versucht zu belegen, dass analoges Verstehen eines Neubereichs auf der Grundlage von Wissen im Altbereich nicht aufgrund von Eigenschaftsvergleichen, sondern aufgrund von Relationen funktioniert. Sie räumt jedoch ein, dass die Eigenschaften der Kinder noch relevanter als Relationen sind. Genters Analogieverständnis geht davon aus, dass Analogien dann vorliegen, wenn zwischen Alt- und Neubereich viele Relationen, aber wenige Eigenschaften übertragen werden. Werden zusätzlich viele Eigenschaften übertragen, so klassifiziert sie hier „literal similarity“, also „buchstäbliche Gleichheit“. Werden nur Eigenschaften übertragen (also Oberflächenanalogien nach Kircher, bzw. phäno-

typische Analogien nach Spreckelsen), so bezeichnet sie es als „mere appearance match“.

Analoges Problemlösen

Bereits die „Denkpsychologen“ Duncker (1926, 1935), Selz (1913, 1922) und Wertheimer (1959) widmeten sich in ersten Ansätzen den Analogien als Möglichkeiten des Problemlösens. Bei den genannten Autoren ging es aber vor allem um die Interaktion von altem und neuem Wissen. Sie erklärten nicht, warum es zu „Resonanz“ – so bezeichneten sie die geistige Brücke zwischen Basisbereich und Zielbereich – kommt.

Erst das Informationsverarbeitungsparadigma, als allgemeiner anerkannter Rahmen kognitionspsychologischer Forschung, brachte neue Impulse für die Denkpsychologie. Newell und Simon schrieben dem Problemlösen einen Problemraum zu. Probleme sind dann vorhanden, wenn es für ein Individuum ein Ziel zu erreichen gilt, von dem es nicht weiß, wie es zu erreichen ist und zu dem die eigene Wissensstruktur unzulänglich ist. Um Probleme zu lösen, sind Problemlöseprozeduren nötig. Hierzu zählen sowohl verfügbares Sachwissen und Umorganisation als auch situationsspezifischer Einsatz und neuartige Verknüpfung von Wissen. Diese Problemlösefertigkeiten werden als Strategien bezeichnet. Unterschieden werden allgemeine und inhaltsbereichsspezifische Problemlösestrategien. Allgemeine Problemlösestrategien sind auf unterschiedlichste Probleme anzuwenden. Beispiele hierfür wären die Zerlegung eines Problems in Unterprobleme oder das Zurückkehren zum Ausgangspunkt bei Misserfolg. Eine inhaltsbereichsspezifische Problemlösestrategie ist z.B. die Fehlereingrenzung bei der Reparatur einer spezifischen elektrischen Schaltung. Allgemeine Problemlösestrategien werden auch als Heuristiken bezeichnet. Sie machen ein erfolgreiches Vorgehen wahrscheinlich, garantieren aber – im Gegensatz zu Algorithmen – keinen Lösungserfolg (vgl. Mandl 1986, S. 191f.). Der Ausgangszustand ist ein Problem, eine unbefriedigende Situation. Gleichzeitig liegt ein erwünschter Zielzustand vor. Zwischen der unbefriedigenden Ausgangslage und dem Zielzustand erfordert eine Barriere eine besondere Anstrengung im Sinne einer neuartigen Verwendung von Wissen. Das Lösen des Problems ist die Suche in einem Problemraum. Dieser hat die Struktur eines Baumes. Strategien sollen diese Suche effektiver machen. Sie bewirken eine Konzentration auf mögliche Lösungswege, indem sie Äste des Baumes, die offensichtlich falsch sind, wegschneiden. Im Problemraum kann der Suchende vorwärts oder rückwärts laufen. Der am Anfang des Strategieerwerbs Stehende versucht die Probleme durch Rückwärtsinferieren zu lösen. Ausgehend vom Zielzustand durchläuft er den Problemraum in Richtung der vorgegebenen Daten. Der erfahrene Problemlöser hingegen versucht, aufgrund erkannter Problemmerkmale, vorwärts zu inferieren. Zwischen dem Novizen und dem erfahrenen Problemlöser steht ein Prozess des Strategieerwerbs, in dem sich die Person durch Diskriminationsprozesse und Wissensoptimierung besondere Merkmale von Situationen herausfiltert, anhand denen sie Situationen typisiert und dann bereits verinnerlichte Handlungsweisen anwendet. Strategien können sich aber auch aufgrund von Generalisationen bilden, indem Gemeinsamkeiten verschiedener Lösungsprozeduren erkannt werden. Auch Prozeduralisierung und Komposition können zu Strategiebildung führen. Hier werden einzelne zur Lösung beitragende Operationen aneinandergereiht und am Stück ausgeführt (vgl. Mandl 1986, S. 192ff.). Eine weitere Möglichkeit besteht in der Analogiebildung und im Ziehen

eines Analogieschlusses. Voraussetzungen des analogen Problemlösens sehen Reed et al. (1974) wie folgt:

- Eine Analogie zwischen zwei Problemen muss erkannt werden.
- Informationen bezüglich der „alten“ Lösung müssen erinnerbar sein.
- Die Operatoren müssen von der „alten“ in die „neue“ Situation übersetzbar sein.
- Durch die Übersetzung wird eine einzelne Operation definiert, oder aber sie führt mindestens zu einer Reduktion der ansonsten gefundenen Operationen.

Die Gesamtzeit, die für das Abrufen, Übersetzen und Benutzen der „analogen“ Informationen erforderlich ist, sollte kleiner sein als die Zeit, die sich aus dem Einsatz allgemeiner Strategien ergibt, die dann ohne einen Rückgriff auf eine vorherige Situation benutzt werden können (zitiert nach F. Hesse 1991, S. 25).

Diese Bedingungen sind empirisch schwer prüfbar. Sie sind abhängig vom Gegenstandsbereich und abhängig von der Ähnlichkeit bzw. von der Distanz des alten Bereichs (Basisbereich, Quellbereich) und des neuen Bereichs (Zielbereich).

Dörner (1976) fasst Analogieprozesse etwas weiter. Dies zeigt seine Sequenz von Teilschritten:

Abstraktion von bestimmten Merkmalen des gegebenen konkreten Sachverhalts, Suche nach einem Modell, d.h. Suche nach einem Sachverhalt, der eine andere Konkretisierung des abstrakten Sachverhalts darstellt,

Rückübertragung von Merkmalen des Modells auf den ursprünglichen Sachverhalt, dessen Bild dadurch bereichert wird und

Prüfung, ob die neuen, hypothetisch angenommenen Merkmale tatsächlich vorhanden sind (zitiert nach F. Hesse 1991, S. 28).

Kognitionspsychologen der 1980er Jahre versuchten, den Nutzen von Analogiemodellen in allgemeine Informationsverarbeitungsmodelle zu integrieren (Rumelhart 1989, Rumelhart u. Norman 1981). Rumelhart und Norman (1981) legen den Fokus ihres Interesses auf analoge Prozesse beim Lernen. Sie versuchen, eine Verbindung zwischen dem Analogiekonzept und dem Schemakonzept herzustellen. Sie trennen zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen, wobei sie Analogien bei der prozeduralen Gedächtnisorganisation mehr Bedeutung zuschreiben als bei der deklarativen. Lernen mit Hilfe von Analogien sehen sie als problematisch an, wenn in dem neu zu lernenden Gebiet Operationen enthalten sind, die beim Quellproblem nicht existieren oder wenn *Eigenschaften* aus dem Quellproblem häufig fälschlicherweise übertragen werden. Bei den Autoren geht es um Relationen, um Prozeduren. Sie schlagen vor, jegliches Wissen als prozedurales Wissen („knowledge how“) zu sehen, das gelegentlich genutzt wird, um deklaratives Wissen („knowledge that“) zu produzieren. Diesen Produktionsvorgang können nach Rumelhart und Norman Schemata übernehmen. Findet sich kein passendes Schema, soll das „nächstliegende“ Schema zum Aufbau eines neuen Schemas genutzt werden. Diesen Vorgang nennen die Autoren „learning by analogy“. Aspekte des alten Schemas (Quellbereich) werden auf neue Situationen transferiert und in ein neues Schema übernommen. Auf diese Weise entsteht schnell ein neues Schema. Dieses ist zwar fehleranfällig, jedoch erlaubt es schnell, Inferenzen über eine Situation zu ziehen, die noch unbekannt ist. Prinzipiell ist hier zu hinterfragen, ob Rumelhart und Norman berechtigterweise uneingeschränkt „Analogien“ meinen. Sie sprechen immer dann von Analogieprozessen,

wenn neue Schemata auf der Grundlage von alten Schemata gebildet werden. Eine Abstraktion von konkreten Problemsituationen und die Lösung von Zielproblemen durch Rückgriff auf ein Quellproblem scheinen hier jedoch nicht direkt gegeben zu sein. Die Zielprobleme werden ja mithilfe der neu aufgebauten Schemata gelöst.

Holyoak und Gick befassten sich 1983 mit Duncckers Strahlenproblem (1935). Dabei geht es vor allem um die Bewältigung komplexer Probleme unter Abwandlung des Transferparadigmas und die analoge Übertragung ganzer Lösungsprinzipien. Bei Dunccker bestand folgendes zu lösende Problem:

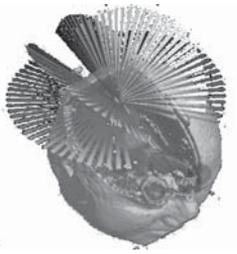


Abb. 2.1: Die Lösung von Duncckers Strahlenproblem: Mit aufgeteilten Röntgenstrahlen lässt sich ein Tumor ohne Schädigung des gesunden Gewebes behandeln (Grafik aus dem Internet, bearbeitet vom Verfasser).

Ein Patient mit einem bösartigen Tumor im Magenbereich sollte mit Hilfe von Röntgenstrahlen behandelt werden. Die Röntgenstrahlen können zwar den Tumor beseitigen, aber auch gesundes Gewebe zerstören. Die Lösung wäre ein Aufteilen des Röntgenstrahls in einzelne Strahlen, die sich beim Tumor treffen. Damit erreicht man die maximale Zerstörungskraft an der Stelle des Tumors, während die einzelnen Strahlen eine zu geringe Dosis haben, um gesundes Gewebe zu zerstören (Abb. 2.1).

Diese Lösung fanden nur wenige der Probanden eigenständig. (Bei Dunccker 5 % der Probanden, in der Replikation von Holyoak und Gick ca. 10 %.) Selbst diese wenigen Probanden benötigten Hinweise durch den Versuchsleiter. Bei Erarbeitung eines Quellproblems, das die Lösung zum Strahlenproblem bereits enthielt, konnten schließlich 30 % ohne Hinweis auf den analogen Fall selbständig die richtige Lösung finden, mit Hinweis auf den analogen Fall plötzlich 75 % der Probanden. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die Effektivität von Analogien beträchtlich gesteigert werden kann, wenn auf die Analogie als solche auch ausdrücklich hingewiesen wird. Holyoak und Mitarbeiter untersuchen das Strahlenproblem 1980 und 1983 mit jeweils unterschiedlichen theoretischen Zugängen. Während 1980 noch eine Konzeption des Textverstehens zugrunde gelegt wird, um die Analogieprozesse zu beschreiben und zu erklären, so arbeiten sie ab 1983 mit der Schematheorie.

Sie geben (1980) ein Quellproblem vor und prüfen die Lösungshäufigkeit.

Mit folgender Drei-Schritte-Sequenz versuchen sie, den Ablauf analogen Problemlösens zu beschreiben:

Konstruktion einer Repräsentation von Quell- und Zielproblem.

Durchführung der Übereinstimmungsprüfung. Liegen Quell- und Zielproblem vor (nur dieser Fall wird von Gick und Holyoak untersucht), beginnt der Prozess mit der Entdeckung ähnlicher Relationen. Lassen sich solche auffinden, kann der weitere Prozess stärker gezielt von „oben nach unten“ („top-down“) durchgeführt werden, da erwartet wird, dass es neben den bereits gefundenen übereinstimmenden Elementen auch weitere ähnliche Elemente zwischen Quell- und Zielproblem geben wird.

Entwicklung der Lösung. Abschließend werden die über die Übereinstimmungsprüfung als ähnlich herausgefundenen Elemente (Relationen) benutzt, um eine analoge Lösung für das Zielproblem zu generieren (F. Hesse 1991, S. 41).

1983 zählen sie zu den Kernbegriffen der prinzipiell gleichen Fragestellung das „Problemschema“ und die „Schemainduktion“. Das Problemschema soll dabei eine Abschätzung des Ziels, der vorhandenen Mittel und Bedingungen, einen Lösungsplan sowie eine Antizipation des Ergebnisses enthalten.

Analogien liegen den Autoren zufolge nur vor, wenn das Subjekt potentielle Gemeinsamkeiten in Quell- und Zielbereich erkennt. Da sie jedoch annehmen, dass bei dieser selbständigen Erkenntnis des Subjekts die Schwierigkeit liegt, gehen sie davon aus, dass die Bedingungen geschaffen werden müssen und auf die Analogien hingewiesen werden muss. Zur Induktion eines solchen Problemschemas nehmen sie an, dass Gemeinsamkeiten zwischen den analogen Problemen herausgefiltert und Unterschiede weggelassen werden sollten. Das übrigbleibende Schema soll helfen, für das Zielproblem eine konkrete Lösung zu konstruieren und einen Abrufhinweis („retrieval cue“) für zukünftige Zielprobleme zu erstellen.

Gick und Holyoak unterscheiden simple Analogien und tiefer gehende strukturelle Analogien. Je weniger Veränderungen am Problemschema vorgenommen werden müssen, umso wahrscheinlicher ist die Verwendung dieses Schemas. Müssen erst (strukturelle) Veränderungen vorgenommen werden, so führt dies evtl. dazu, dass das Schema abgelehnt wird. Die Schemata können auf unterschiedlichen Ebenen gebildet worden sein: Auf hohem Abstraktionsniveau finden sich strukturelle Analogien, auf niedrigem Abstraktionsniveau Oberflächenanalogien. Auch diese Autoren geben bekannte Probleme beider Analogieniveaus zu bedenken: Oberflächenanalogien sind inhaltlich oft nicht so wertvoll, strukturelle Analogien bergen die Gefahr, auf hohem Niveau für das Subjekt nicht einsichtig zu sein (s.u. Kap. 2.4.1 Probleme). Die Autoren gehen 1983 davon aus, dass mindestens zwei analoge Probleme bekannt sein müssen, um ein hinreichend gut nutzbares Problemschema erstellen zu können.⁵

Den Ablauf des Analogieprozesses beschreiben Gick und Holyoak wie folgt: Am Beginn des Analogieprozesses steht ein vorläufiges Modell des Zielproblems („initial target model“). Top-down werden zunächst auf abstrakter Ebene Übereinstimmungen geprüft, bevor die Analogie zur Lösung des bestehenden Problems herangezogen wird. Dieser letzte Schritt wird abgebrochen, sobald strukturell massive Abweichungen der beiden Probleme erkannt werden.

⁵ Spreckelsen verweist beim Verstehen und Lernen von Kindern auf dasselbe Problem: das transduktive Lernen und das Springen zwischen Phänomenen, s.u.

Resümee

Die Kognitionspsychologie unterteilt Analogien häufig nach der Art ihrer Nutzung. Analoges Zuordnen wird dabei als elementarer Mechanismus des Denkens, als ganz normaler Vorgang im Alltagsdenken, aber auch im wissenschaftlichen Denken verstanden. Demzufolge gilt Analogiebildung auch als mentaler Prozess. Analoges Zuordnen wird u.a. auch in Intelligenztests immer wieder abgefragt. Auch die nächste Stufe, das analoge Verstehen, wird von Kognitionspsychologen als elementare Funktion menschlicher Intelligenz gesehen. Die Grundlage des analogen Verstehens ist das Erkennen von Relationen zwischen Alt- und Neubereich. Hier kommt es weniger auf Eigenschaftsvergleiche oder Oberflächenähnlichkeit an. Das entscheidende Moment zum Verstehen ist der Schluss, dass sich etwas in der Struktur ähnlich ist. Unter bestimmten Voraussetzungen kann das Erkennen von Analogien sogar zum Lösen auftretender Probleme führen. Erkennt das Subjekt, dass eine Analogie zwischen zwei Problemen vorhanden ist und kann es sich an die Lösung des bereits bekannten Problems erinnern, so geht es um die Übersetzung der alten Operatoren in neue. Geht dieser gesamte Prozess in einer kürzeren Zeit vonstatten, als wenn sich das Subjekt andere Strategien zur Problemlösung sucht, so steht dem analogen Problemlösen, der Übertragung von einem Basis- in einen Zielbereich, nichts mehr im Wege.

Kognitionspsychologen der 1980er Jahre legen ihren Interessenschwerpunkt auf analoge Prozesse beim Lernen. Sie suchen Verbindungen zwischen Schematheorie und dem Analogiekonzept. Für sie ist jede Art von Lernen ein Bilden von Relationen, ein prozedurales Lernen, das manchmal deklaratives Wissen zur Folge hat. Beim Lernen werden Schemata angewendet. Findet sich kein passendes Schema, so wird vom nächstliegenden Schema „analogisiert“, Aspekte des Quellschemas auf eine neue Situation transferiert und so ein neues Schema gebildet. Analogien sind oft für den direkt betroffenen Anwender nicht so eindeutig zu erkennen, wie dies zu wünschen wäre. Wie Dunckers Strahlenproblem zeigte, konnte die Lösungshäufigkeit allein durch Lehren eines analogen Falles von 5 % auf 30 % angehoben werden. Nur bei explizitem Hinweis auf die Analogie des erlernten Falles zum vorliegenden Problem war eine Steigerung der Lösungshäufigkeit auf 75 % der Probanden möglich. Das Subjekt muss also erkennen, dass es sich um Analogien handelt und außerdem potentielle Gemeinsamkeiten in Quell- und Zielbereich erkennen. Die Anwendungswahrscheinlichkeit wächst aus psychologischer Sicht an, wenn die Analogien simpler zu erkennen sind (Oberflächenanalogien) und nicht allzu tiefgehende strukturelle Analogien vorliegen. Die Anwendung tiefgehender struktureller Analogien jedoch ist dem Verstehen – wie bereits erwähnt – zuträglicher. Kognitionspsychologen erkennen Analogien als ein wichtiges Forschungsgebiet an, gestehen jedoch gleichzeitig ein, dieses immer eingrenzen zu müssen. Analogien als Solches lassen sich nicht erforschen. Der Entscheidung, ob Analogien dem Erlernen eines Sachverhaltes dienen, muss in einer Einzelfallanalyse nachgegangen werden. Aus diesem Grund soll sich das Thema dieser Arbeit speziell auf Analogien zum Thema elektrischer Stromkreis zuspitzen.

2.3 Fachdidaktische Nutzung des Analogiebegriffs

Analogien werden in vielen Wissenschaften als Hilfsmittel gesehen. Ausgehend von der Alltagssprache sind Analogien Erkenntnisse durch Vergleiche oder Ähnlichkeiten. In der Fachdidaktik sieht Miller Analogien in einem der Mathematik sehr nahestehenden Kontext. Analogien sind demnach die Übereinstimmung von Proportionen. Abweichend von Zahlen benennt er dann folgendes Beispiel: „The toes are to the feet as the fingers to the hands“ (Miller 1979, S. 218). An diesem Beispiel wird sichtbar, dass Analogien offensichtlich nicht unabhängig von der Perspektive, dem Vorwissen, der Wahrnehmungs- und Denkfähigkeit und der Fantasie des Analogie bildenden kognitiven Systems sind. Bei der noch streng mathematischen Analogie $3:4 = 9:12$ gibt es eine eindeutige Zuordnungsvorschrift. Als Einschränkung des Analogiegebrauchs nach Miller gilt es zu beachten, dass Millers analoger Bereich derselbe Bereich ist wie der ursprüngliche Basisbereich.

2.3.1 Der Analogiebegriff nach Bauer und Richter

Für Bauer und Richter sind Analogien eine

„Ähnlichkeit oder Übereinstimmung unterschiedlichen Grades hinsichtlich bestimmter Beziehungen oder Eigenschaften materieller oder ideeller Objekte bzw. Prozesse“ (Bauer und Richter 1986, S. 384).

Diese Definition von Analogien scheint etwas weiter gefasst zu sein. Bauer und Richter beschränken sich hier nicht auf die Analogie im selben Basis- und Zielbereich. Sie lassen mit ihrer Definition auch offene komplexere Systemanalogien zu, da sie hier ausdrücklich von „unterschiedlichem Grad“ und von „Beziehungen“ und nicht nur von Eigenschaften sprechen. Unschärf bleibt die Definition durch die Begriffe „Beziehungen“ und „Eigenschaften“. Wie genau müssen Ähnlichkeiten sein? Welche Arten von Beziehungen und Eigenschaften sind entscheidend, um als Analogie gesehen zu werden?

2.3.2 Der Analogiebegriff nach Duit und Glynn

Duit und Glynn schränken diese Definition von Bauer und Richter weiter ein. Für sie handelt es sich bei Analogien

„um die Übereinstimmung kennzeichnender Merkmale zweier Bereiche, also um Ähnlichkeiten zweier Bereiche hinsichtlich gewisser Eigenschaften. Unter Bereich verstehen wir dabei eine klar abgegrenzte Menge von konkreten Aussagen (wie z.B. ein konkret aufgebautes Wassermodell) oder von Abstrakta (wie z.B. ein Begriffsnetz)“ (Duit & Glynn 1992, S. 225).

Auch hier ist die Art der Übereinstimmung noch nicht genauer gefasst. Jedoch unterscheiden Duit und Glynn im Folgenden zwischen Analogien im engeren und Analogien im weiteren Sinn. Unter Analogien im engeren Sinn verstehen sie dabei „die Übereinstimmung von Teilen der Struktur zweier Bereiche“ (Duit & Glynn 1992, S. 225). Die partielle Strukturübereinstimmung bildet nach Duit und Glynn das zentrale Merkmal für eine Analogie. Davon abgegrenzt stellen oberflächengleiche Strukturen oder Ähnlichkeit von Objekten und deren Eigenschaften Analogien im weiteren Sinne dar. Diese Unterscheidung wird auch von anderen Autoren (allerdings mit anderen Termini, s.u.) vorgenommen.

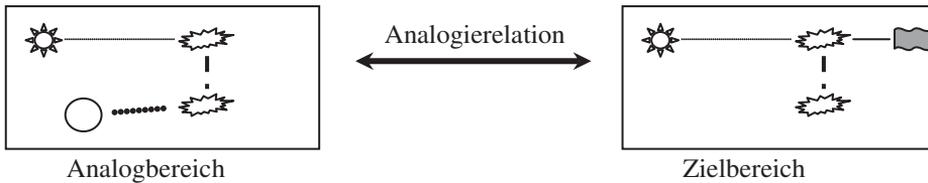


Abb. 2.2: Analogien nach Duit und Glynn (1992, S. 224)

Nach Duits und Glynn's Beschreibung stellt die obige Abbildung mit den identisch gezeichneten Symbolen Bereichsbeziehungen bzw. Bereichsstrukturen dar, ohne die Eigenschaften von Bereichen ganz auszuschließen. Dudeck kritisiert an dieser Abbildung, dass hierbei die Elemente vernachlässigt werden, „von deren bereichsübergreifender Ungleichheit bei der Analogiebildung zu abstrahieren ist und die dennoch in ihren Eigenschaften die Spezifika der Beziehungen konstituieren“ (Dudeck 1997, S. 8).

Bei den bisher dargestellten Definitionen von Analogie wird nicht erklärt, was die Begriffe „Struktur“ und „Beziehungen“ ausdrücken sollen. Sind damit „Teil-Ganzes-Beziehungen“ oder „Zahlenbeziehungen“ wie bei Miller gemeint? Oder geht es um die Positionierung in einem Gesamtsystem mit dem Verhältnis Zentrum – Peripherie und der dazugehörigen Netzwerkstruktur? Oder sind hier Funktionsbeziehungen eines solchen Systems oder Netzwerks gemeint?

Bisher konnte man den Eindruck gewinnen, Analogien bilden objektive Struktur- und Oberflächenübereinstimmungen ab. Das Subjekt, der Schüler, der sich diese Analogie zu Nutzen machen soll, der den Analogieschluss ziehen soll, kann nur diese eine Möglichkeit erkennen. Das Subjekt selbst scheint eine geringe Rolle zu spielen. Fokussiert man Analogien unter dem Aspekt ihres Entstehens und Wachsens, so kommt man wie auch die folgenden beiden Autoren zu dem Schluss, dass Analogien das Ergebnis von konstruktivistisch eigenaktiven Denkprozessen ist. Je nach Wahrnehmung und bereits vorhandenen (Denk-)Strukturen und Vorwissen des Analogie bildenden Subjekts werden gemeinsame Beziehungen und Strukturen in Basis- und Zielbereich entdeckt, konstruiert und verknüpft. Die beiden Ansätze von Ernst Kircher und Kay Spreckelsen werden für diese Arbeit als zentral angesehen und daher im Folgenden (Kapitel 2.3.3 und 2.3.4) etwas weiter ausgeführt als die bisherigen Ansätze.

2.3.3 Der Analogiebegriff nach Kircher

Für Kircher (1989) ist das Subjekt explizit in die Konstruktion von Analogien involviert. Das Subjekt hat auf der Grundlage von Erfahrungen über einen Realitätsausschnitt ein Modell dieses Ausschnitts entwickelt. Der Lernprozess vollzieht sich am Objekt, durch Experimente und Modelle. Auch von diesen Dingen werden Modelle entwickelt. Die Bildung von „Entsprechungen“ zwischen Modellen stellt die eigentliche Analogiebildung dar.

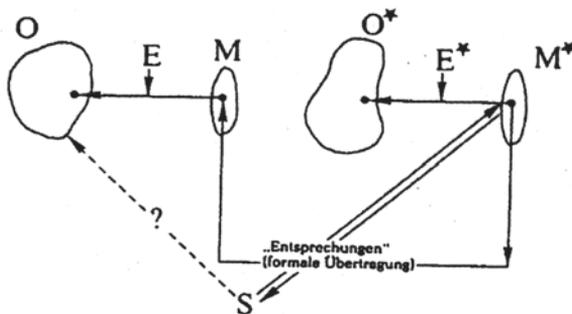


Abb. 2.3: Eigenschaften des Objekts O^* und Relationen im Modell M^* werden auf das primäre Lernobjekt O bzw. das Modell M formal übertragen (Kircher 1989, S.51)

Im primären Lernbereich Physikunterricht werden Lernobjekte O , theoretische Modelle M und die dazugehörigen Experimente E behandelt. Beim „Umweg“ (Kircher 1989, S. 51, s.u.) über den analogen Lernbereich lernen Schüler die Objekte O^* , die Modelle M^* und die Experimente E^* kennen. Wesentliche Begriffe des zu erlernenden Modells M finden im Modell M^* Entsprechungen. So entspricht z.B. der Druckunterschied im Wasserkreis der Spannung U im elektrischen Stromkreis. Die Begriffe aus M werden allein über den primären Lernbereich bestimmt. In M^* werden Zusammenhänge zum Modell M gesucht. Die erkannten Gesetzmäßigkeiten und physikalischen Gesetze im analogen Bereich müssen dann als Hypothesen auf den primären Lernbereich übertragen werden. Diese Übertragung muss der Schüler bzw. das Subjekt S kognitiv vornehmen. Aus diesem Grund werden auch Experimente im Primärbereich unerlässlich, um im analogen Bereich gefundene Hypothesen im Primärbereich bestätigen zu können. Die Schnittmenge von M und M^* ist jeweils kleiner als die Modelle M oder M^* selbst, da Kircher getrennte Realitätsbereiche für O und O^* annimmt (vgl. Kircher 1989). Die Folgen für die Handhabung von Modellen, die sich hieraus direkt ableiten lassen (z.B. dass Schüler auf das Modellhafte und auf die Grenzen des analogen Modells aufmerksam gemacht werden müssen), wird im Abschnitt „Forderungen an Analogien“ beschrieben.

Kircher unterscheidet zwei Arten von Analogiebildungen: Oberflächenanalogien und strukturelle Analogien. Bei Oberflächenanalogien handelt es sich um Ähnlichkeiten im äußeren Erscheinungsbild (Form, Farbe, ...), um (wörtlich) gleiche Oberflächeneigenschaften (viereckig bzw. rund) oder um Ähnlichkeiten in den Objekteigenschaften (z.B. hart/weich, klebrig, zerbrechlich, ...). Strukturelle Analogien sind Ähnlichkeiten in Funktion und Struktur, d.h. Übereinstimmung in den Beziehungen zwischen den Elementen eines jeden Systems. Strukturelle Analogien haben nach Kircher die „größere erklärende Potenz“ (vgl. Kircher 1995).

2.3.4 Der Analogiebegriff nach Spreckelsen

Kay Spreckelsen geht davon aus, dass physikalisches Verstehen im Sinne Wagenscheins abläuft. Für Wagenschein ist der Prozeß des „ursprünglichen Verstehens“ ein Verknüp-

fungsprozess mit bereits Verstandenem, eine Einwurzelung (Enracinement) in das bereits Bekannte oder Gewisse (Wagenschein 1965, S. 79ff., Wagenschein, Banholzer, Thiel 1973, S. 10ff.). Spreckelsen bezeichnet seinen Ansatz als transduktives Verstehen. Danach ist Verstehen die Relation zu bereits Verstandenem. Es gilt Vertrautes zu finden, das zugrunde liegt, einen Fremden als verkleideten Bekannten zu erkennen (vgl. Spreckelsen 1997, S. 111).

Erklärungsmuster physikalischer Phänomene

Kinder erklären physikalische Phänomene zunächst animistisch. Spreckelsen sieht darin den Ausdruck kindlicher Egozentrität. Kinder schreiben den Phänomenen Leben und Willen zu. So will die erwärmte Luft plötzlich aus der Flasche etc. Auf einer logogenen Interpretationsstufe stehen Kinder, die der Subjekt-Prädikat-Objekt-Stellung gemäß mit dem Täter-Tat-Schema argumentieren. Beispiele hierfür sind Sätze, wie: „Die Wärme drückt“, „Die Wärme macht“ usw. Es wird zwar schon der abstrakte Begriff Wärme verwendet, insgesamt jedoch steht dieses Erklärungsmuster dem animistischen sehr nahe. Die Wärme bekommt in diesem Fall einen Willen zugeschrieben.

Die zahlenmäßig größte Gruppe der Kinder benutzt zur Erklärung von Phänomenen das Muster des deduktiven Denkens. Dabei reduzieren Schüler allgemeine Erfahrungen auf die ihnen momentan begegnenden Einzelphänomene. Die Wagenschein'sche „Relation zu bereits Verstandenem“ bekommt hier ihren deutlichsten Sinn. Schüler wenden ihren Erfahrungshintergrund auf eine gerade aktuelle Sachlage an (Beispiel: „Die Luft da drinnen wird warm, ... *und warme Luft steigt nach oben*“). Da hier bereits andeutungsweise Bezug zu wissenschaftlicher Regelmäßigkeit genommen wird, bezeichnet Spreckelsen diese Art von Erklärungsmuster auch als „nomogene Interpretation“.

Einer weiteren Variante von kindlichen Erklärungsmustern schreibt er darüber hinaus einen enormen Stellenwert zu: der Analogiebildung oder dem transduktiven Verstehen (vgl. Spreckelsen 1997, S. 112f.).

Transduktives Verstehen

Geleitet von einer Erkenntnis William Sterns (1914) schließt Spreckelsen, dass das transduktive Verstehen wohl eine gute Variante für die Erklärung von naturwissenschaftlichem Lernen sein muss. Kindliche Urteile beruhen auf Einzelbewertungen und Einzelfällen, die aneinandergereiht werden. Es fehlt ihnen noch an Ableitungen von bzw. Hinleitungen zu allgemeinen Urteilen (Deduktion, Induktion). Daher benötigen Kinder Überleitungen von einem zum nächsten Phänomen, sog. Transduktionen. Spreckelsen stützt sich dabei auch auf Untersuchungen Piagets, der 1972 feststellte, dass Folgerungen vom Einzelnen auf Einzelnes ohne allgemeines Gesetz bei Kindern der Normalfall ist. Piaget schreibt Kindern mit einem Alter von 7-8 Jahren noch das „Stadium der reinen Transduktion“ zu. Zu unterscheiden sind hierbei zwei Arten von Analogiebildungen: die phänotypische Analogiebildung und die genotypische Analogiebildung (vgl. Spreckelsen 1997, S. 112f.).

Phänotypische Analogiebildung

Phänotypische Analogien vergleichen eine äußere Erscheinungsform mit bereits gemachten Alltagserfahrungen. Kinder schließen z.B. beim Thema Hebel: „Das ist wie bei der Wippe“. Zwei Objekte ähneln sich in der Oberfläche, im Aussehen et cetera. Tiefgreifende strukturelle Ähnlichkeiten fehlen hier. Phänotypische Oberflächenanalogien werden vom Schüler generell gut akzeptiert, sind aber physikalisch oft nur wenig angemessen (vgl. Spreckelsen 1997, S. 117, Kircher 2000).

Genotypische Analogiebildung

Genotypische Analogien beziehen sich nicht nur auf das äußere Erscheinungsbild. Hier werden Vergleiche in der Funktionsweise, im Wirkmechanismus, „unter der Oberfläche“ der Erscheinungen angestellt. Das Bedürfnis nach genotypischer Analogiebildung entsteht nach Spreckelsen ab dem 3. Schuljahr. Kennzeichnend sind sprachliche Wendungen wie „so“, „wie“, „genauso“, „so ähnlich wie“. Strukturelle, genotypische Analogien, sind physikalisch wertvoller, da sie eine größere erklärende Potenz aufweisen. Von Schülern werden sie jedoch nicht immer akzeptiert, da ihnen oft der Zusammenhang nicht deutlich genug ist (vgl. Spreckelsen 1997, S. 117f.).

Der Lehrer muss unterrichtliche Situationen schaffen, in denen genotypisch analoge Phänomene präsentiert sind. Spreckelsen schlägt hierzu die Gruppierung von Phänomenen zu Phänomenkreisen vor.

Die Idee der Phänomenkreise

Bei der Bildung von Phänomenkreisen werden mehrere genotypisch strukturierte analoge Versuche oder Phänomene in einer Lerneinheit angeboten. Damit soll ein genereller Systemcharakter beim Zugriff auf physikalische Phänomene deutlich werden. Erste Ordnungsaktivitäten sollen in den Phänomenkreisen ausgeführt werden, nicht nur Inhalte, sondern auch Verfahren erlernt werden. Der Unterricht zielt nicht auf die Erklärung eines einzelnen Phänomens ab. Entscheidend ist die Kreisbildung, d.h., die präsentierten Phänomene müssen sich gegenseitig stützen, am besten strukturell identisch sein. Spreckelsen legt Wert darauf, diese Phänomenkreise zunächst in die Alltagssprache der Kinder zu betten, sodass die naturwissenschaftliche Aktivität eine geistige „Einwurzelung“ bzw. „Enracinement“ nach Wagenschein erfährt (vgl. Spreckelsen 1997, S. 118ff.).

2.3.5 Resümee

Analogien dienen in der Fachdidaktik als Hilfsmittel, um schwierigere, unanschauliche Sachverhalte zu vermitteln. Auch hier findet sich die Unterteilung in einfache Analogien und tiefer gehende strukturelle Analogien. Je nach Autor bekommen diese unterschiedliche Namen, beschreiben aber annähernd das Gleiche. Folgende Tabelle soll dies noch einmal darstellen und zugleich den Bogen zu kognitionspsychologischen Erkenntnissen schlagen:

Autor:	Terminus Analogien 1. Art	Terminus Analogien 2. Art
Genter	mere appearance match	literal similarity
Hesse	analoges Zuordnen	analoges Verstehen
Gick & Holyoak	Simple Analogien	Tieferegehende strukturelle Analogien
Bauer & Richter	Analogien hinsichtlich der Eigenschaften	Analogien hinsichtlich der Beziehungen
Duit & Glynn	Analogien im weiteren Sinn	Analogien im engeren Sinn
Kircher	Oberflächenanalogien	Strukturelle Analogien
Spreckelsen	Phänotypische Analogien	Genotypische Analogien

Tab. 2.1: Übersicht über Termini von Analogien 1. und 2. Art

Für diese Arbeit sollen die Analogieauffassungen von Kircher und Spreckelsen entscheidend sein. Beide beziehen den Schüler, das analogiebildende Subjekt, ausdrücklich mit ein.

Kircher geht davon aus, dass das Subjekt die Übertragung vom Basisbereich in den Zielbereich bewerkstelligt, die Bildung von Entsprechungen die eigentliche Analogiebildung darstellt. Diese Übertragung muss der Schüler selbst kognitiv vornehmen. Deshalb sind auch Experimente im Zielbereich unerlässlich, um im analogen Bereich gefundene Hypothesen bestätigen zu können.

Der Ansatz von Kay Spreckelsen scheint zur naturwissenschaftlichen Grundbildung der Schüler insgesamt viel beizutragen und auch noch weiter ausbaufähig zu sein. Kinder lernen in ihrer Umgebung aufgrund von Einzelbewertungen und Einzelfällen, die sich – häufig ohne Zusammenhang – nacheinander erschlossen werden. Es fehlt ihnen noch an induktiver oder deduktiver Urteilskraft. Sie benötigen daher in besonderem Maße die durch die Lehrperson geführte Überleitung von einem Phänomen zum nächsten. Das transduktive Verfahren wurde jedoch im Bereich naturwissenschaftlicher Unterrichtsforschung in der Primarstufe noch selten erforscht, während es im Sekundarstufenbereich einige Untersuchungen gibt (Spreckelsen 1997). Der große Vorteil, den der Ansatz von Spreckelsen hier bietet: Transduktives Verständnis setzt ein Verstehen im analogen (bekannten) Bereich voraus. Dadurch wird die Gefahr minimiert, dass Alltagsvorstellungen der Schüler nicht ausreichend einbezogen und zur Sprache gebracht werden.

2.4 Funktionen von Analogien

Analogien werden, wie bereits erwähnt, von unterschiedlichen Perspektiven unterschiedlich gesehen und dementsprechend eingesetzt. In den Naturwissenschaften werden Analogien immer wieder – bewusst oder unbewusst – zur Findung neuer Erkenntnisse herangezogen. In der Fachdidaktik sollen Analogien bereits bekannte Kenntnisse vermitteln helfen.

2.4.1 Analogien – im wissenschaftlichen und fachdidaktischen Diskurs

Analogien als Denkhilfe und Instrument zur Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften

Die Analogienutzung für die Erkenntnisgewinnung in der Physik ist bereits seit Johannes Kepler (1571-1630) anerkannt. Seiner Auffassung nach mussten Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Realitätsbereichen bestehen, die seine „Harmonie der Welt“ ausmachten (vgl. Kircher 1989, S. 49). Wie zahlreiche autobiographische Berichte von Naturwissenschaftlern nachweisen, belebten Analogien die Vorstellungen und Vorstellungsbilder bei gemachten Erkenntnissen ganz erheblich. 1956 wird Analogiebildung von Oppenheimer als bedeutsam erklärt. Beispiele für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung sind die von Huygenschen Lichtwellen als Analogon zu den bekannten Schallwellen, das Periodensystem von Mendelejew, das aus einem Spielkartensystem entstand, der Traum des Herkules von einer sich in den Schwanz beißenden Schlange, der zur Entdeckung des Benzolrings geführt haben soll (vgl. Kircher 1989, S. 49), oder Alessandro Volta, der den elektrischen Begriff der Spannung mit analogen Vorgängen am Dampfdrucktopf deutete (vgl. Klinger 1987, S. 24).

Klinger sieht am Beispiel Voltas etwas Typisches für analogieorientierte Denkprozesse von Physikern: „Das Denken in Analogien spielt in der Interpretation physikalischer Sachverhalte und somit bei der Begriffsbildung eine ganz zentrale Rolle. Wird ein Physiker mit einem ihm unbekanntem Sachverhalt konfrontiert, so wird er in seinem Ringen um Verständnis nach Strukturen und Vorgängen suchen, die ihm bekannt erscheinen. Er greift dabei auf die vertrauten, in langjähriger Erfahrung bewährten Bilder und Vorstellungen zurück. Er versucht, im neuen Muster zu erkennen, die sich mit Mustern seines Erfahrungshintergrundes möglichst gut decken. Es werden also zur Deutung und zum Verständnis des unbekanntem Phänomens im Sinne einer Hypothesenbildung vertraute Vorstellungen und Bilder auf den noch unbekanntem, noch nicht erfassten Sachverhalt übertragen, es werden plausible Analogien zur bisherigen Erfahrungswelt hergestellt“ (Klinger 1987, S. 23f.).

Analogien als Vermittlungs- und Vorstellungshilfe in den Fachdidaktiken

In den Fachdidaktiken dienen Analogien dazu, den primären Lernbereich besser zu vermitteln, den Schülern eine Vorstellungshilfe anzubieten oder Lerngegenstände zu elementarisieren. Komplizierte Zusammenhänge sollen im Unterricht möglichst von allen Schülern in möglichst kurzer Zeit verstanden werden. Die dazu – v.a. in der Grundschule – nötigen Elementarisierungen und didaktischen Reduktionen sollen dazu dienen, die Inhalte zu vereinfachen, das Elementare des Lernbereichs ausfindig zu machen und

komplexe Elemente zu zerlegen, sei es in methodische Elemente (Pestalozzi) oder in elementare Sinneinheiten (Diesterweg: „Gib kleine Ganze“). Elementarisierungen sollten fachgerecht, schülergerecht und zielgerecht vonstatten gehen. Schülergerecht bedeutet in diesem Fall, dass kognitive Strukturen, Alltagssprache und Alltagsvorstellungen mit in den Unterricht einbezogen werden. Zielgerecht bedeutet nicht die Weiterentwicklung der Physik, sondern die Unterstützung der Entwicklung junger Menschen beim Physiklernen und die Bewegung im Spannungsfeld zwischen Lebenspropädeutik und Fächerpropädeutik. Fachgerecht bedeutet schließlich eine Relativierung des Gegensatzpaares „fachlich falsch“ – „fachlich richtig“. Damit sind auch Modellvorstellungen und Analogien möglich, die physikalische Sachverhalte nur teilweise widerspiegeln.

Analogieexperimente zählen zu den Medien des Physikunterrichts. Das Experiment nimmt dabei im Physikunterricht eine Sonderstellung ein. Es ist zugleich Medium und Unterrichtsgegenstand. Im Unterricht dürfte das Experiment selten die klassische Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess erlangen.⁶ Vielmehr sollen Experimente den Schülern helfen, primäre Erfahrungen zu machen, gemeinsame Erfahrungshintergründe zu schaffen, Phänomene zu veranschaulichen, Begriffsbildung zu fördern, und vieles mehr. Besonders Analogieexperimente haben die Aufgabe, unanschauliche Unterrichtsgegenstände zu vergrößern oder zu verkleinern, in jedem Fall aber anschaulich zu machen (z.B. Kernreaktionen, radioaktiver Zerfall, gekoppelte Oszillatoren, den Stromkreis, ...).

Analogien besitzen also Mittlerfunktion (Kircher 1995b, S. 175) und Brückenfunktion (Duit, Glynn 1995, S. 4) zwischen dem primären Lernbereich und dem Subjekt.

2.4.2 Voraussetzungen, Probleme und Forderungen für die Nutzung von Analogien sowie Chancen einer Analogienutzung

Um Analogien sinnvoll nutzen zu können, muss der Lernende auf ein Basiswissen zurückgreifen können. Es ist nötig, den Zielbereich als Analogon zu einem bestimmten Basisbereich wahrzunehmen. Erst dann kann die Suche im Problemraum beginnen: Der Quellbereich wird dem Zielbereich zugeordnet, es wird „analogisiert“.

Rückgriff auf ein Basiswissen

Das analogisierende Subjekt – oder im Spezialfall Schule: der Schüler – muss über Wissen im Basisbereich verfügen, um zwischen dem Basisbereich oder verschiedenen Basisbereichen analoge Schlüsse ziehen zu können. Die Verfügbarkeit des Basisbereichs variiert je nach Thema bei einzelnen Schülern in Form und Umfang. Hesse (1991, S. 157) untersuchte die Bereitschaft, sich auf ein Quellproblem zu beziehen, in Abhängigkeit von der Bekanntheit des Quellproblems. Er stellte fest, dass die Bereitschaft, ein Quellproblem als Basis und potentielles Modell für ein Zielproblem zu sehen, mit Zunahme der Bekanntheit des Quellproblems steigt, dass damit aber der Erfolg beim Lösen des Zielproblems nicht höher liegt. Der Rückgriff auf ein Quellproblem in einer bestimmten Situation sagt noch nichts darüber aus, wie mit dem Quellproblem umgegangen wird.

⁶ Vgl. auch die Diskussion Versuch vs. Experiment Hartinger 1995, Haider, Th. 2005.

Wahrnehmung des Zielbereichs als Analogon zu einem bestimmten Basisbereich

Der Rückgriff auf Basisbereiche wird bei Analogienutzung in Abhängigkeit von der Wahrnehmung des Zielbereichs erfolgen. Je nachdem, wie das Zielproblem gesehen und definiert wird, kann sich unter Umständen der zugehörige Basisbereich verschieben. Hier spielen – je nach Problemfeld – unter Umständen Wahrnehmungsfehler eine große Rolle. Die Wahrnehmung des eigentlichen Problems nennt Hesse die Repräsentation des Zielbereichs (vgl. F. Hesse 1991, S. 78). Diese beeinflusst den Rückgriff bzw. die Verfügbarkeit von Wissen des Quellbereichs. Dadurch entsteht möglicherweise jeweils eine andere Interaktion oder Schlussfolgerung beim Analogieschluss.

Zur Einschätzbarkeit des gezogenen Analogieschlusses ist es daher von Bedeutung, den Zielbereich und den Quellbereich gut zu kennen. Dies bedeutet entweder eine umfangreiche Diagnose oder eine Induktion einer gemeinsamen Ausgangsbasis. Bezüglich des Zielproblems müssen vom Quellproblem aus Beziehungen zu Oberflächeneigenschaften, Funktionalität und Tiefenstruktur erschlossen werden.

Hesse stellte in seiner Untersuchung fest, dass Probanden, die einen elaborierteren Text als Ausgangsbasis für analoges Problemlösen bekamen, die Bedeutung von „wichtigeren“ und „unwichtigeren“ Textpassagen als realistischer einstufen, als Probanden mit weniger elaboriertem Text. Die Kenntnis der Sachelemente war jedoch dieselbe (vgl. F. Hesse 1991, S. 97). Damit sind für ihn unterschiedliche Nutzungen des gleichen Sachwissens beim Anwenden gegeben. Dies bestätigte sich auch bei der Überprüfung von Lösungsvorschlägen der jeweiligen Probanden. Die Gruppe mit elaborierterem Text brachte in verstärktem Maße relevantes Wissen in den Lösungsvorschlag ein, die Probanden mit weniger elaboriertem Text dafür verstärkt Zusatzwissen, das nicht aus dem Text hervorging. D.h., diese Gruppe benutzte zum Ausgleich für nicht nutzbares Wissen eine Art Alltagswissen.

Hesse fasst seine Ergebnisse wie folgt zusammen:

„Wenn eine Textvorlage über einen Sachverhalt (z.B. ein Problem) wichtige Informationen ausführlicher darstellt und bereits zu Anfang offen legt, worauf es bei diesem Text vor allem ankommt, kann das so aufgenommene Wissen besser für eine Problemlösung genutzt werden.“ (vgl. F. Hesse 1991, S. 98)

Dies bedeutet für die Untersuchung am elektrischen Stromkreis, dass eine ausführliche Beschäftigung mit einem Analogmodell dem Lernen im Zielbereich positiv zuarbeiten müsste. Ledigliches Erwähnen von Modellen ist hier vergleichsweise zu wenig elaboriert. Die Schüler brauchen Zeit, um sich mit analogen Modellen elaboriert auseinander zu setzen. Sie müssen über das Modell mehr erfahren als nur, dass es Modell ist. Schüler müssen explizit die Möglichkeit bekommen, sich mit dem analogen Modell als *Unterrichtsgegenstand* auseinanderzusetzen, um das Modell ausreichend nutzen zu können. Konkret für das Wassermmodell bedeutet das, dass die Schüler nicht nur ein Wassermmodell gezeigt bekommen sollen, sondern dass es mehrere Modelle sind⁷ und dass die Schüler selbst mit wenigstens einem Modell reflektiert arbeiten⁸.

⁷ Siehe auch Spreckelsens Idee der Phänomenkreise (1994,1997)

⁸ Idee der Handlungsorientierung

Suche im Problemraum – Zuordnung Quellbereich-Zielbereich

Beim Ziehen von Analogieschlüssen kommt es zum einen darauf an, über ein bestimmtes Basiswissen zu verfügen, zum anderen, wie der Zielbereich von der den Analogieschluss ziehenden Person überhaupt wahrgenommen wird. Beim Ziehen eines Analogieschlusses kommt der Zuordnung Quellbereich-Zielbereich eine wichtige Funktion zu. Dies geschieht (in der Terminologie des „Problemraumes“ oder „Problembaumes“) durch eine Suche nach dem richtigen Quellbereich in diesem Raum oder durch Auffinden der richtigen „Äste“ des Baumes. Bei dieser Suche spielen Quelle und Ziel eine wichtige Rolle, jedoch auch die Erwartung, wie denn der Lösungsweg konkret auszusehen habe. Hesse nennt dies die „subjektive Repräsentation der gesamten Zielsituation“. Am Ende dieses Suchprozesses stehen möglicherweise mehrere Problemerkahrungen, die als Quellbereich in Betracht kommen. Die Person hat eine Entscheidung zu treffen, einen Bereich als Quellbereich für den Analogieschluss zu bestimmen und danach zu handeln. Im konkreten Fall Stromkreis ist dies z.B. in der Sekundarstufe I die Entscheidung, ob das Doppelwassersäulenmodell, ein Pumpenmodell oder ein Kurbelmodell für das Ohmsche Gesetz verwendet werden kann.

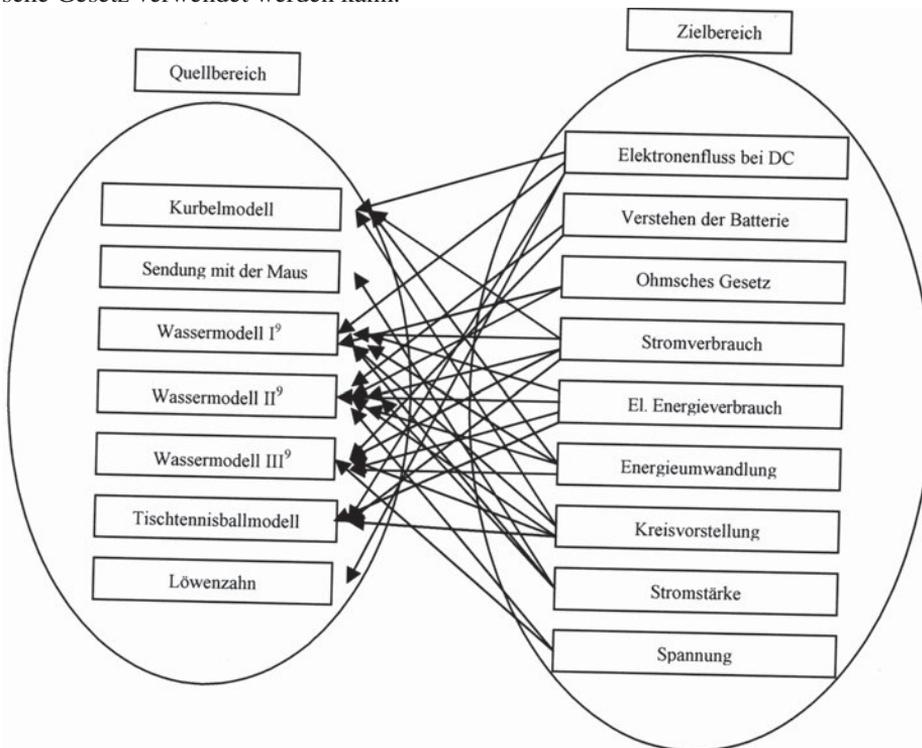


Abb. 2.4: Zuordnung analoger Bereiche in der E-Lehre

⁹ Wassermodell I: Modell mit Pumpe, Wassermodell II: Doppelwassersäule, Wassermodell III: Doppelwassersäulen-Schülermodell mit Plastikflaschen

Wie dieses Beispiel zeigt, ist die Zuordnung oft nicht eindeutig. Auf den Zuordnungsvorgang wirken wieder die Vergleichsfaktoren „Oberflächenähnlichkeit“, „strukturelle Ähnlichkeit“ und „Funktionalität“ bzw. „bekannte Grenzen und Fehler des Modells“.

Probleme

Analogien geben dem Lehrer die Möglichkeit, zusätzliche Hilfe im Lernprozess für Schüler anbieten zu können. Idealtypischerweise versteht der Schüler die Analogie sofort, stellt entsprechende Bezüge zum primären Lernbereich her und baut in diesem primären Bereich ein besseres Verständnis auf. Dies ist aber nicht zwangsläufig – nur weil ein Lehrer Analogien einsetzt – der Fall. Es gibt einige Kritik und Problempunkte, die an dieser Stelle betrachtet werden sollen.

Als einen Problem- und Kritikpunkt könnte man sehen, dass Analogien ja nicht der direkte Lernweg sind. Eigentlich geht es ja im Unterricht um das Erlernen und Verstehen des Primärbereichs. Die Zuhilfenahme des analogen Bereichs stellt lernökonomisch einen Umweg dar, den es zu rechtfertigen gilt – gerade, wenn die Analogie nicht nur kurz angesprochen wird, sondern durch Vertiefung mehr Unterrichtszeit kostet, als Lehrplan und Rahmenbedingungen von Schule zulassen. Somit können Analogien auch leicht zu „Lernkrücken“ (Kircher 1981, S. 158) werden.

Strukturelle Analogien sind physikalisch wertvoller, da sie eine größere erklärende Potenz aufweisen als Oberflächenanalogien (ebd.). Von Schülern werden sie jedoch nicht immer akzeptiert, da Schülern oft der Zusammenhang nicht deutlich genug ist. „Strom ist Strom und Wasser ist Wasser, aber warum soll der Strom gleich dem Wasser sein?“, so mögen sie sich fragen, wenn man ihnen den Stromkreis mithilfe des Wasserkreislaufes erklären will. Oberflächenanalogien dagegen werden vom Schüler generell gut akzeptiert, sind aber physikalisch wenig angemessen. Generell kostet der „Umweg“ über Analogien Zeit und kann daher zu Motivationsproblemen führen. Das analoge Objekt muss dem Schüler vertrauter sein als das originale Objekt. Modell und analoges Modell sollten daher ein hohes Maß an Strukturähnlichkeit besitzen (vgl. Reisinger 2000). Es wäre theoretisch auch denkbar, dass Vereinfachungen der Analogien spätere Lernaktivitäten hemmen oder behindern, da durch einen zu simpel ausgewählten Basisbereich die Entwicklungsmöglichkeit eingeschränkt ist. Ein möglicher Weg, dies zu umgehen wäre der Einsatz verschiedener Analogiemodelle. Duit und Glynn bezeichnen dies als multiple Analogien, Spreckelsen als Phänomenkreise mit dem Grundgedanken des transduktiven Verstehens (s.o.). Allerdings können dadurch auch neue Probleme (z.B. Verwirrung der Schüler) hervorgerufen werden.

Kircher (1989, S. 48) bezeichnet dieses bedeutsamere, weil tiefer liegende Problem als das „ontologische“. Danach müssen Schüler beim Denken und Arbeiten mit Analogien eine innere Hemmschwelle überwinden. Schülern scheint jedoch manchmal die Übertragung von einem auf einen anderen Lernbereich weder „logisch“ noch aufgrund der Lebenserfahrung plausibel. »Analogien können im Grunde ja auch nichts „erklären“« (Kircher 1989, S. 48).

Direkt hieraus erwächst ein weiteres Problem, das bei der Behandlung von Analogien entstehen kann: ein psychologisches Problem. Schüler, die nicht einsehen, warum sie sich mit dem Analogmodell auseinandersetzen sollen, werden auch wenig motiviert und motivierbar sein, dies zu tun.

Letztendlich sieht Kircher auch noch ein didaktisches Problem. Die Lernziele des Lehrplans sind vorrangig. Und Lernziele sind diejenigen, die im Primärbereich formuliert sind, nicht die analogen „Ersatzobjekte“. »Es muss dem Schüler stets klar sein, dass Analogmodelle eben nur Ersatzobjekte sind, „Krücken zum Laufen lernen“« (Kircher 1989, S. 48).

Forderungen an Analogien

Zum Teil erwachsen die Bedingungen, die an Analogien zu stellen sind, direkt aus den Problemen, so zum Beispiel die Lernökonomie. Wie in der Geschichte der Fachwissenschaft Physik Analogien und Analogiebetrachtungen zu wichtigen Erkenntnissen geführt haben, so können sie auch im Sachunterricht eine wichtige Rolle spielen, wenn es darum geht, Hypothesen zu formulieren. Der Einsatz von Analogieversuchen sollte dabei lernökonomisch in einem angemessenen Verhältnis zum tatsächlichen Lerngegenstand stehen. Es gibt auch Teilbereiche der Physik, in denen der Analogieversuch das einzige Anschauungsmittel bleiben kann. So werden Vorgänge in Mikro- und Makrokosmos, die zu schnell oder zu langsam ablaufen, die zu klein oder zu groß sind, womöglich durch Analogien gut dargestellt und können zum Verständnis und damit zum Lernen der Schüler Wesentliches beitragen.

Allerdings muss dann das analoge Lernobjekt dem Schüler vertrauter und zugänglicher sein als das Realobjekt und/oder anfassbar sein. Gestaltähnlichkeit oder Ähnlichkeiten auf sinnlich intuitiver Ebene sind für die Anerkennung des analogen Modells durch den Schüler sehr zweckdienlich.

Zwischen den theoretischen Modellen (bei Kircher M und M*) sollen in wesentlichen Bereichen Entsprechungen bestehen. Je größer die Schnittmenge der Objekte, desto leichter kann der Schüler zwischen den Modellen hin- und herwechseln und somit Erklärungen und Voraussagen von einem auf den anderen Bereich transferieren. Der Schüler hat dann die Aufgabe, die Verhältnisse im analogen Bereich zu klären. Es reicht aber nicht aus, vom Lehrer die Zusatzinformation zu erhalten, dass sich die Bereiche M und M* entsprechen. Vielmehr muss der Schüler selbst den formal denkenden Schritt machen und zwischen den beiden Bereichen hin- und her switchen.

Analogieversuche (nach Kircher „E**“) sollten gerade den oben angesprochenen Bereich mikro- und makrokosmischer Versuche abdecken. Dabei sollten sehr rasch oder sehr langsam ablaufende Vorgänge dem menschlichen Beobachtungsvermögen angepasst dargeboten werden.

Die Bedeutung von Analogieversuchen bleibt i.A. auf die eines Lernmediums beschränkt. Dazu sollte der Einsatz des Modells nicht zu lange dauern, für die Schüler attraktiv sein, keine überflüssigen Probleme in die Sicht der Schüler rücken und relevante Phänomene möglichst klar und deutlich herausstellen.

Didaktische Möglichkeiten und Chancen von Analogien

Analogien ermöglichen Anschaulichkeit (siehe Kap. 4.1.2 Analogien als Vermittlungs- und Vorstellungshilfe in den Fachdidaktiken) von unanschaulichen Dingen. Dies kann z.B. durch Vergrößerung (Bierschaumexperiment als Analogon zum radioaktiven Zerfall) oder Verkleinerung (z.B. Modell der Umlaufbahnen von Planeten) geschehen. Der Einsatz von Analogien zu diesem Zwecke wird umso erstrebenswerter, je abstrakter und unanschaulicher der primäre Lernbereich ist. Das analoge Modell dient dann durch Vi-

sualisierung und Verbildlichung einem Zugang zu abstrakten Bereichen. Durch diesen Zugang erhofft sich die Fachdidaktik nicht nur eine Verstehensleistung des Lernalers, sondern auch eine damit einhergehende Behaltensleistung.

Analogien wird in der fachdidaktischen Literatur zugesprochen, dass sie auf Schüler eine motivierende Wirkung haben. Als Grund hierfür wird angegeben, dass sie auf Bekanntes zurückgreifen und überraschende Perspektiven eröffnen (vgl. Duit & Glynn 1995, S. 48). Das dem Schüler bekannte Basiswissen eröffnet ihm einen leichten motivierenden Weg, sich neue Inhalte anzueignen (vgl. Aigner 2003, S. 14). Vor allem leistungsschwächere Schüler, die aufgrund ihrer Erfahrungen schnell kapitulieren, wenn es um schwierigere Aufgabenstellungen und Inhalte geht, ermöglicht der Gebrauch von Analogien ein schnelles erstes Verständnis von Neuem und wirkt sich so fördernd auf das Selbstvertrauen aus (Black & Salomon 1987, zitiert in Aigner 2003, S. 14).

2.4.3 Analogien in der Unterrichtsforschung

„Es gibt einige Studien über Analogien in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern und Studien zur Verwendung von Analogien im naturwissenschaftlichen Unterricht.“ (Duit 1992, S. 237). Im deutschsprachigen Raum gibt es jedoch anscheinend ganz wenige Studien zu Analogien im naturwissenschaftlichen Unterricht und wenn, dann in der Sekundarstufe I. An dieser Situation hat sich seit 1992 nichts verändert. Dieses knappe Kapitel (zur Forschung von Funktionen von Analogien in der Unterrichtsforschung) gibt zusammen mit Kapitel 2.5.3 (Studien zu Wasseranalogien) einen Überblick über den Stand der Forschung.

Treagust, Duit, Joslim und Lindauer (1990) untersuchten 40 Unterrichtsstunden mit Beobachtungen, Unterrichtsprotokollen und Interviews an einer australischen High-school in Perth. Dabei wurden von den insgesamt sieben Lehrern nur achtmal Analogien hergestellt, fünfmal davon, ohne die Analogien zur Erklärung zu nutzen. Die Analogien, die für Erklärungen nutzbar sind und die auch im Unterricht für Erklärungen verwendet wurden, waren ausschließlich folgende physikalische:

- Die Analogie zwischen elektrischen und Wasserstromkreisen
- Die Analogie zwischen radioaktivem Zerfall und Glücksspiel
- Die Analogie zwischen Gravitationsfeld, elektrischem Feld und Magnetfeld.

2.4.4 Resümee

Die Funktionen von Analogien sind in der Fachwissenschaft andere als in der Fachdidaktik. In der Fachwissenschaft erfüllen Analogien immer wieder die Funktion einer Denkhilfe oder eines Instruments zur Erkenntnisgewinnung. In der Fachdidaktik dagegen sind Analogien Vermittlungs- und Vorstellungshilfen. Analogien besitzen eine Mittlerfunktion zwischen dem zu erlernenden Inhalt und dem Lerner selbst (Kircher 1995). Dabei kann es zu Problemen kommen. Analogien stellen immer einen Umweg dar, den die Schüler auf ihrem Lernweg gehen. Dabei müssen sie sich im Basisbereich zielsicher bewegen können. Eine hohe Strukturähnlichkeit wirkt sich positiv auf den Prozess des Analogisierens aus. Eventuell kann auch der Einsatz mehrerer Modelle positive Effekte haben. Wenn es den Schülern nicht einsichtig ist, wozu die Beherrschung des analogen Modells dienen soll, kann es zu Motivationsproblemen kommen.

So sind an Analogien folgende Forderungen zu stellen:

Der zeitliche Aufwand muss in Relation zum tatsächlichen Lerngegenstand vertretbar sein.

Das analoge Lernobjekt muss dem Schüler vertrauter oder zugänglicher sein als das Realobjekt. Es gibt Teilbereiche der Physik, in denen Analogieversuche die einzigen Versuche und Veranschaulichungen sein können.

Zwischen Basis- und Zielbereich sollten möglichst viele Relationen bestehen.

Der Einsatz des Lernmediums „analoges Modell“ sollte nicht zu lange dauern, für die Schüler attraktiv sein, keine überflüssigen Probleme in die Sicht der Schüler rücken und relevante Phänomene möglichst klar und deutlich herausstellen.

Didaktisch gesehen bieten Analogien Möglichkeiten und Chancen. Es gibt Bereiche der Physik, in denen es keine Möglichkeit gibt, Physik anschaulich zu vermitteln. Dies trifft insbesondere alle Bereiche, die sich der menschlichen Wahrnehmung entziehen, sei es aus Gründen der Größe oder der Geschwindigkeit. Je abstrakter und unanschaulicher ein Lerngegenstand ist, umso sinnvoller ist der Einsatz von analogen Modellen. Es gibt auch Lerngegenstände, die sich der Wahrnehmung nicht nur entziehen, sondern die Modellvorstellungen sind und bei denen deshalb keine sinnliche Wahrnehmung möglich ist. Des Weiteren können sich Analogien fördernd auf die Motivation der Schüler, besonders der leistungsschwachen Schüler auswirken.

Um Analogien nutzen zu können, muss der gewünschte Basisbereich verfügbar sein. Es ist zumindest notwendig, dass dieser schnell und einfach erlernt werden kann. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Basisbereich leicht verständlich oder sehr anschaulich ist. Der nächste wichtige Schritt in der Nutzung von Analogien ist die Wahrnehmung des Zielbereichs als Analogon zum Basisbereich. Hier können Wahrnehmungseffekte, Strukturierungseffekte, Elaboration der beiden Bereiche und Schemabildung eine wichtige Rolle spielen. Erst wenn die Wahrnehmung der Analogie vollzogen wurde, kann die Suche im Problemraum beginnen, die Zuordnung von Basis und Ziel einsetzen und Relationen können bewusst gemacht werden. Relationen sind aber nicht immer eindeutig. Das analogisierende Subjekt oder der Lehrer, als „Bereitsteller“ der Analogie, muss sich dann für eine Analogie entscheiden oder im Sinne von Spreekelsens Phänomenkreisen mehrere Analogien anbieten. Die Unterrichtsforschung zeigt, dass Analogien noch zu wenig Einzug in die Klassenzimmer gefunden haben. Die Nutzung von Analogien mit (er-)klärender Potenz scheint defizitär, jedoch gerade im Bereich der E-Lehre gut zu funktionieren.

2.5 Die Analogien zum Stromkreis

Im folgenden Kapitel werden mögliche Analogiemodelle zum Stromkreis vorgestellt und diskutiert. Abschließend soll eine Zusammenstellung bereits existierender Studien einen Überblick über Forschungen zu Stromkreisanalogien geben.

2.5.1 Verwendete Analogien und Modelle

In Kapitel 2.5.1 werden zunächst die in dieser Untersuchung verwendeten Modelle vorgestellt. Dabei wird in mechanische Modelle und Wassermodele unterschieden. Zu den mechanischen Modellen zählen das Modell der Fahrradkette, das Modell der Tischtennisbälle und das mechanische Kurbelmodell (Modell eines umlaufenden Riemens), das in ein elektrisches Kurbelmodell (Modell mit Handkurbelgeneratoren, Muckenfuß 1995) überführt werden soll. Zu den Wassermodelele zählen das Modell eines mit Pumpe betriebenen geschlossenen Wasserkreises, das mit der Doppelwassersäule betriebene Wasserkreismodell und ein Schülerversuch zur Doppelwassersäule.

Mechanische Analogiemodelle

Für das Erlernen des Stromkreises gibt es verschiedene mechanische Modelle. Hierzu zählen u.a. das Modell der Fahrradkette, das Modell mit den Tischtennisbällen sowie das Kurbelmodell von Heinz Muckenfuß. Diese Modelle sollen im Folgenden kurz beschrieben werden:

Die Fahrradkette

Eine Fahrradkette kann als Modell der Elektronen in Körpern genommen werden. Die Kette hat die Eigenschaft, dass alle Glieder der Kette bereits vorhanden sind. Ein Glied reiht sich ans andere.



Abb. 2.6: Fahrradkette

Eingebaut im Fahrrad birgt die Kette die Möglichkeit, Energie von der Kurbel auf Seite der Treter zum angetriebenen Rad zu befördern. Die Glieder der Kette werden dabei im Kreis herumgeschoben bzw. gezogen. Erst wenn sich die Kette bewegt, kann Energie übertragen werden und das Rad in Schwung kommen. Wie die Elektronen im Stromkreis sind die Kettenglieder zu jeder Zeit vorhanden, sie werden nicht verbraucht. Man sieht hier auch, dass nicht das Elektron (Kettenglied), das gerade aus dem Energielieferanten (z.B. Batterie, oder hier Kurbel mit Pedalen) kommt, gerade das Leuchten bzw. Bewegen des Rades verursacht, sondern dasjenige Elektron (Kettenglied), das sich gerade zu diesem Zeitpunkt im Glühdraht (am Zahnrad des hinteren Rades beim Fahrrad) befindet. Dieses Elektron verschwindet nicht, wird nicht in Licht (oder im Modell Bewegung) umgewandelt. Es wird nur durchgeschoben. Mehr noch: Es wird mit derselben Geschwindigkeit wie alle anderen Elektronen (Kettenglieder) im Stromkreis (in der Kette) bewegt. Die Kettenglieder haben den gleichen Abstand. Es gibt deshalb keinen Stau, und die Kette kann nicht abreißen. Die Kette zeigt also auch, dass ein Stromfluss nur dann vorhanden ist, wenn sich wirklich etwas im Kreis bewegt.



Abb. 2.7: Das Fahrradkettenmodell, erstellt vom Verfasser

Das Tischtennisballmodell

Das Tischtennisballmodell dient ebenfalls dazu, zu zeigen, dass Elektronen beim Betätigen des Lichtschalters nicht erst vom Schalter zur Lampe fließen müssen, um dort ihre Energie abzuliefern. Reiht man Tischtennisbälle auf einem Tisch (oder in einer Röhre) hintereinander auf und schiebt auf einer Seite um einen Balldurchmesser an, so fällt auf der anderen Seite ein Ball vom Tisch (bzw. aus der Röhre). Genauso werden bereits vorhandene Elektronen in Leitern von Atom zu Atom weiter geschoben.

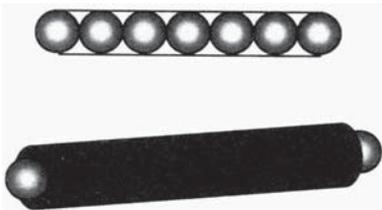


Abb. 2.8: Das Tischtennisballmodell, durchsichtige und geschlossene Röhre (Skizze erstellt vom Verfasser)

Die Energie zum „Anschieben“ liefert die Batterie, allerdings nur, wenn die Elektronen im Kreis fließen. Dies zeigt dieses Modell jedoch nicht. Das Modell beschränkt sich darauf, dass die Elektronengeschwindigkeit im Leiter nicht die Lichtgeschwindigkeit ist, sondern dass sich die Elektronen durchaus langsam durch den Leiter bewegen. Dennoch bewegen sich die Informationen mit Lichtgeschwindigkeit (z.B. in der Telefonleitung) dadurch vorwärts, dass hier nicht Materie durch die Leitung fließen muss, wie wenn ein Tischtennisball durch eine Röhre geschoben wird, sondern dadurch, dass die Röhre bereits mit Tischtennisbällen (Elektronen) gefüllt ist und dass der erste Ball sofort mit Anschieben des letzten sein Ziel erreicht hat.

Das Kurbelmodell

Mechanisches Modell – Riemenmodell – Kettenmodell

Das Kurbelmodell soll einer ersten Ausdifferenzierung des Energiebegriffs dienen und zugleich die Energieübertragung im elektrischen Stromkreis darstellen. Dazu kann zunächst am Beispiel eines hochgehaltenen Körpers verdeutlicht werden, dass in jedem Körper Energie steckt, auch wenn man es von außen nicht sieht. Der Körper hat die Möglichkeit nach unten zu fallen. Das Modell soll zeigen, dass im Stromkreis die Ener-

gie linear transportiert wird, der elektrische Strom aber zirkulär umläuft, die Energie übertragen wird und dabei kein Strom verbraucht wird.

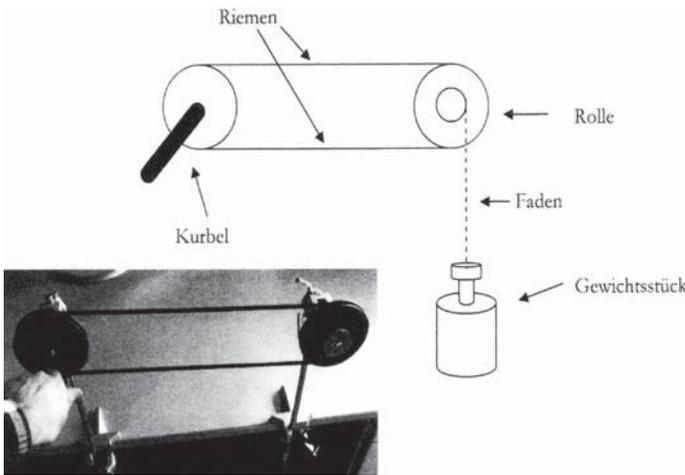


Abb.2.9: Mechanisches Riemenmodell

Im mechanischen Analogiemodell sieht dies wie folgt aus: Eine Kurbel wird durch einen Riemen mit einer festen Rolle verbunden. Diese Rolle ist durch einen Faden mit einem Gewichtsstück verbunden (siehe Abb. 2.9). Durch Drehen an der Kurbel wird so das Gewichtsstück hochgehoben. Ein analoger Sachverhalt taucht in der analogen Anordnung (s.u.) wieder auf.

Hier gelten folgende Entsprechungen:

	<u>Riemenmodell</u>	<u>Elektrischer Stromkreis</u>
Wahrnehmungsebene	Rolle, an der gekurbelt wird	Batterie
	Riemen	El. Leitungen
	Gewichtsstück, das gehoben wird	Lämpchen, das leuchtet
begriffliche, gegenständliche Ebene	Auf den Riemen aufgemalte weiße Punkte, die beim Kurbeln in Bewegung sind	Stromteilchen / Elektronen
	Riemen	Leiter
	Gerissener Riemen	Unterbrochener Stromkreis
	Riemengeschwindigkeit = in einer Ebene durchlaufende weiße Punkte, Zeit	Stromstärke $I = \text{Ladung, Zeit}$
	Kraft, mit der gedreht wird	Spannung U
	Gewichtsstück	Widerstand

Tab. 2.2: Entsprechungen auf der Wahrnehmungsebene und auf der begrifflichen Ebene in Riemenmodell und elektrischem Stromkreis

Die Übertragung des mechanischen Kurbelmodells: Elektrisches Kurbelmodell

An die Stelle der ersten Rolle tritt nun ein Handkurbelgenerator. Die zweite Rolle wird durch einen Motor ersetzt. Dieser kann (wiederum) ein Gewichtsstück heben. In diesem Fall ist allerdings die Beobachtung des Energietransportmittels (im Gegensatz zum Riemenmodell) nicht mehr möglich.

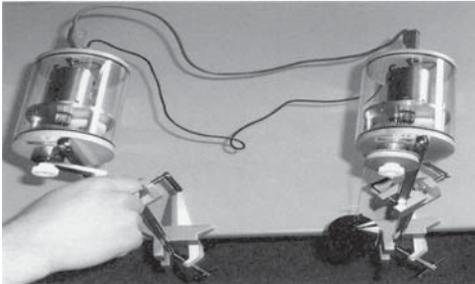


Abb. 2.10: Elektrisches Kurbelmodell

Es bedarf jedoch zweier Leitungen. Bereits die äußere Form erinnert an das mechanische Kurbelmodell. In den Leitungen – so könnte man sich vorstellen – läuft etwas rundum, genau wie der Riemen. Was hier jedoch umläuft, ist an dieser Stelle nicht ersichtlich. Schließlich kann in diesem Modell auch noch der Motor durch ein Lämpchen ersetzt werden. Damit kommt das Modell direkt auf sein Quellproblem, den einfachen Stromkreis zurück.

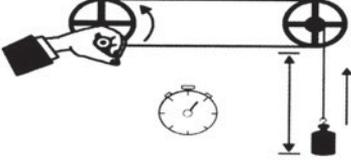
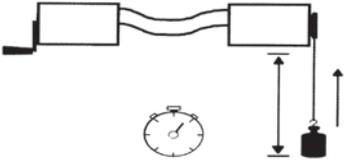
Es gelten hier folgende Entsprechungen:

	<u>el. Kurbelmodell</u>	<u>Elektrischer Stromkreis</u> Mit Batterie und Lämpchen
Wahrnehmungsebene	Dynamo	Batterie
	El. Leitungen	El. Leitungen
	Motor	Lämpchen
	Ausstecken und Einstecken der Kabel	Schalter
begriffliche, gegenständliche Ebene	Strom	Strom
	Leiter	Leiter
	Spannung U , erzeugt durch Kurbeln am Dynamo	Spannung U , erzeugt durch die Batterie
	Widerstand (durch die benötigte Kurbelkraft spürbar)	Widerstand

Tab. 2.3: Entsprechungen auf der Wahrnehmungsebene und auf der begrifflichen Ebene im elektrischen Kurbelmodell und im elektrischen Stromkreis

Mechanische Transmission und elektrische Energieübertragung im tabellarischen Vergleich

In der folgenden Tabelle wird ein Vergleich zwischen mechanischer Transmission und elektrischer Energieübertragung angestellt. Der Vergleich der beiden Anordnungen „liefert neben der Struktur eines kompletten elektrischen Energieübertragungssystems auch die Hypothese, dass im elektrischen Fall ein rundumlaufender Riemen für linearen Energietransport verantwortlich ist. Diese Hypothese muss natürlich in einem weiteren Unterrichtabschnitt zur tragfähigen Theorie des rundumlaufenden Elektronenstroms ausgebaut werden.“ (Muckenfuß 2004, S. 9)

 <p>Mechanische Transmission</p>	 <p>Elektrische Energieübertragung</p>
<p>Auf der „Verbraucherseite“ wird Hubarbeit verrichtet. (Die Leistung beträgt z.B. 10 J/s = 10 W.)</p>	<p>Auf der „Verbraucherseite“ wird vom Motor Hubarbeit verrichtet (Leistung z.B. 10W).</p>
<p>Auf der „Erzeugerseite“ wird mechanische Arbeit durch Drehen der Kurbel verrichtet (die Leistung beträgt z.B. mindestens 10W).</p>	<p>Auf der „Erzeugerseite“ wird mechanische Arbeit durch Drehen der Kurbel verrichtet. Der Generator verrichtet Arbeit.</p>
<p>Ein Riemen läuft im Kreis. Er überträgt die Energie von der „Erzeuger“- zur „Verbraucherseite“, indem er das Wellrad antreibt, an dem das Massestück befestigt ist.</p>	<p>Elektrizität läuft im Kreis. Es fließt ein Elektronenstrom. Er überträgt die Energie von der „Erzeuger“- zur „Verbraucherseite“, indem er den Motor antreibt, an dem das Massestück befestigt ist.</p>
<p>Von der „Erzeuger“- zur „Verbraucherseite“ fließt ein Energiestrom von ca. 10 W.</p>	<p>Von der „Erzeugerseite“ zur „Verbraucherseite“ fließt ein Energiestrom von ca. 10W.</p>
<p>Wenn nicht mehr angetrieben („erzeugt“) wird, so dreht das Massestück das Wellrad.</p>	<p>Wenn nicht mehr angetrieben wird, so dreht das Massestück den Motor und die ganze Anlage rückwärts. (Dazu ist allerdings ein Massestück von 2 kg erforderlich.)</p>
<p>Dreht man die Kurbel schneller, so wächst der Energiestrom, der durch die Anlage fließt.</p>	<p>Dreht man die Kurbel schneller, so wächst der Energiestrom, der durch die Anlage fließt.</p>
<p>Belastet man die „Verbraucherseite“ mit einem schwereren Massestück, so ist auf der „Erzeugerseite“ eine größere Kraft an der Kurbel erforderlich. Bei gleicher Geschwindigkeit der Kurbel auf der Antriebsseite wächst der Energiestrom durch die Anlage mit der Antriebskraft.</p>	<p>Belastet man die „Verbraucherseite“ mit einem schwereren Massestück, so ist auf der „Erzeugerseite“ eine größere Kraft an der Kurbel erforderlich. Bei gleicher Geschwindigkeit der Kurbel auf der Antriebsseite wächst der Energiestrom durch die Anlage mit der Antriebskraft.</p>

Tab. 2.4: Gegenüberstellung der mechanischen Transmission und der elektrischen Energieübertragung (Muckenfuß 2004, S. 9)

Am Vergleich der beiden Anordnungen lässt sich auch zeigen, dass die Energie, die auf der Erzeugerseite hineingesteckt wird, von der Belastung der Verbraucherseite abhängt. Im Rahmen der Erklärung des Stromkreises kommt man nicht umhin, eine erste Ausdifferenzierung eines Teilchenmodells vorzunehmen. Sichtbar wird im Analogieversuch „Zerreiben von Kreide zu Staub“, dass Körper aus kleineren Teilchen aufgebaut sind, von denen man sich zunächst nur eine Vorstellung bilden kann. Untersuchungen zu den Eigenschaften, Größen, Massen, Anziehungen usw. können erst mit zum Teil aufwendigen Apparaturen gemacht werden. Trotzdem ist die Einführung folgenden Modells für das Erlernen des Stromkreises sinnvoll und hilfreich:

Ein erstes (stromkreisbezogenes) Teilchenmodell

Ein Teilchenmodell mit folgenden Eigenschaften kann helfen, die Stromteilchen näher zu fassen:

Alle Körper sind aus kleinen Teilchen aufgebaut, die auch mit dem besten Mikroskop nicht sichtbar sind.

Von den kleinen Teilchen gibt es zweierlei:

„Größere“ (die natürlich auch so klein sind, dass man sie mit keinem Mikroskop sehen kann), die auf festen Plätzen sitzen und zwischen denen viel leerer Raum ist.

2000-mal kleinere, die sich in den Hohlräumen bewegen können. Bewegen sich diese kleinen Teilchen im Kreis herum, wie der laufende Riemen, so spricht man von Stromfluss.

Dieses Modell beschreibt den Aufbau von Materie aus Atomen, die Existenz von Elektronen, Neutronen und Protonen, und dass es die Elektronen sind, die für den Strom verantwortlich sind. (Eigentlich wird aus Gründen didaktischer Reduktion nur auf Atomkerne und freie Elektronen eingegangen.)

Von diesen „Elektrizitätsteilchen“ sollen die Schüler im Unterricht mithilfe kleiner Versuche zur Elektrostatik auf phänomenologischer Ebene auch einen Zugang erhalten. Auch der Sprachgebrauch der Physiker ist bei den Modellen wichtig: In einem Stromkreis fließen Elektrizitätsteilchen vom Minus-Pol durch die eine Leitung zum Lämpchen, durch die andere Leitung zurück zum Plus-Pol der Batterie. Es fließt elektrischer Strom. Der fließende elektrische Strom bewirkt den Energietransport von der Batterie zur Lampe. Von elektrischem Strom spricht man, wenn sich winzig kleine Stromteilchen in einer (Grob-)Richtung (z.B. entlang der Leitung) bewegen.

Die Wasseranalogie

Wassermodell I: Das Pumpenmodell



Abb. 2.11: Wassermodell für einen einfachen Stromkreis (schematische Darstellung)

In ein Röhrensystem sind eine Pumpe und ein Wasserrad eingebaut. Das System ist mit Wasser gefüllt. Die Pumpe sorgt für einen Druckunterschied zwischen Ansaugstutzen und Pumpenausgang. Aufgrund dieses Druckunterschiedes strömt das Wasser durch die Rohre und treibt das Wasserrad an. Die antreibende Kraft (im Stromkreis die Batterie, im Kurbelmodell die Rolle oder der Dynamo) liefert also hier eine Pumpe, das Lämpchen des Stromkreises wird hier durch ein Wasserrad oder eine Turbine dargestellt, die elektrischen Leitungen durch Wasserleitungen.

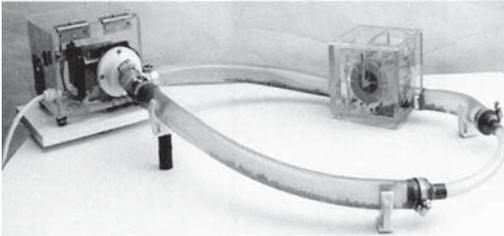


Abb. 2.12: Das Pumpenmodell (praktische Umsetzung)

In die Wasserleitungen kann man bei geeigneter Pumpe (z.B. unter Verwendung einer alten Waschmaschinenpumpe) Kügelchen geben, um so die fürs menschliche Auge nicht sichtbaren Elektronen zu veranschaulichen.

Wassermodell II: Das Doppelwassersäulenmodell

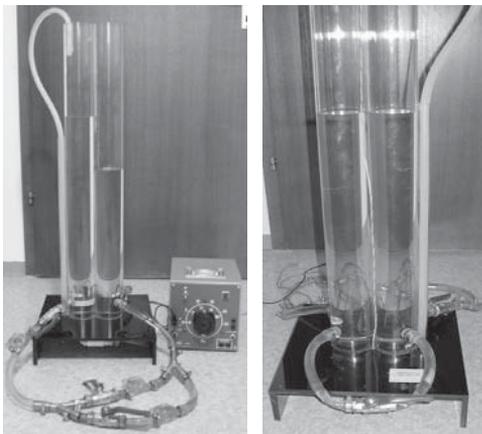


Abb. 2.13: Doppelwassersäule, Wassermodell II (links: für Serien und Parallelschaltung, rechts: Rückansicht: Kurzschlussbogen ohne „Verbraucher“)

Im Wassermodell II wird die Pumpe durch eine Doppelwassersäule ersetzt. Die Doppelwassersäule bildet das Analogon zur Batterie. Auch hier bilden die Schläuche wieder die

Leitungen ab. Wasserräder übernehmen die Funktion des Widerstands (ugs.: „des Verbrauchers“). Die Doppelwassersäule besteht aus zwei ca. 1 Meter langen senkrechten Plexiglaszylindern, die über eine Aquariumspumpe miteinander verbunden sind. Außerdem gibt es auf der Vorderseite (je nach Ausführung) einen verzweigten oder unverzweigten Wasserstromkreis mit Wasserhähnen zum Abriegeln (entspricht den Schaltern im elektrischen Stromkreis) und Wasserrädern. Auf der Rückseite verbindet ein sog. Kurzschlussbogen die beiden Glaszylinder, ohne den „Widerstand Wasserrad“. Die beiden Rohre werden zur Inbetriebnahme ca. zur Hälfte mit Wasser aufgefüllt. Beim Einschalten der Pumpe (mit Hilfe eines Leistungsnetzgerätes) wird so lange Wasser von Säule 2 nach Säule 1 gepumpt, bis hier über einen elektrischen Widerstand (Niveauregulierung) bei einem bestimmten Wasserstand in Säule 1 die Pumpe abgeschaltet wird. Zu diesem Zeitpunkt liegt eine Höhendifferenz in den beiden Glaszylindern vor, es herrscht ein Druckunterschied. Dieser Druckunterschied bildet das Analogon zur Kennzahl „Spannung der Batterie“. Schaltet man nun den vorderen Wasserkreis ein, „entlädt“ sich die Batterie ein wenig. Das Wasser beginnt über den Kreislauf, die Wasserräder in Bewegung zu setzen. In Säule 1 sinkt der Wasserstand, in Säule 2 steigt er. Infolge dessen signalisiert das Wasserpegelmessgerät wieder einen zu geringen Pegel und aktiviert die Pumpe. Auf diese Weise wird die Doppelwassersäule immer ein klein wenig „entladen“ und wieder „geladen“ (analog zu den chemischen Vorgängen in der Batterie des Stromkreises). Man kann die Pumpe auch so einstellen, dass gerade so viel Wasser zugepumpt wird, wie über den Wasserkreislauf von einem zum anderen Glaszylinder fließt. Öffnet man jetzt den Kurzschlusskreislauf, auf der Rückseite des Modells, so kann man demonstrieren, wie die Spannung an der Batterie (der Druckunterschied im Modell) zusammenbricht. Die Pumpe schafft es nicht mehr so viel Wasser hoch zu pumpen, wie über den Kurzschluss von einer zur anderen Säule fließt. In einer Ausführung des Modells (siehe Abb. 2.13) kann man durch Öffnen und Schließen bestimmter Wasserhähne auch Reihen und Parallelschaltung von Lämpchen analog bearbeiten.

In der Reihenschaltung verlangsamt sich mit jedem zusätzlich in Reihe geschalteten Wasserrad die Drehgeschwindigkeit der Wasserräder. Mit jedem in Reihe geschalteten Lämpchen werden die einzelnen Lämpchen dunkler leuchten. Im Zusammenhang mit den Fehlvorstellungen von Schülern ist hier darauf hinzuweisen, dass das System der Erhöhung des Widerstandes nicht dadurch entgegenwirkt, dass es mit mehr Anstrengung reagiert, um den erhöhten Widerstand auszugleichen. Die Pumpe läuft genauso ruhig weiter, wie vorher. (Die Batterie hat dieselbe Potentialdifferenz, dieselbe Spannung zwischen den Elektroden.) Die Folge ist einfach ein geringerer (Wasser-)Strom.

In der Parallelschaltung drehen sich die Wasserräder gleich schnell.

Wassermodell III: Ein Modell für die Schülerhand mit Plastikflaschen als Doppelwassersäulen



Abb. 2.14: Wassermodell für den Schülerversuch

Wassermodell III arbeitet nach dem Prinzip des Wassermodells II, wurde jedoch (vom Verfasser) für die Schülerhand entwickelt. Die Schüler sollen sich das analoge Modell selbst handelnd erarbeiten und verstehen lernen. Dazu werden zunächst zwei Gefäße mit Wasser über eine Wasserleitung verbunden. Dabei sollen die Schüler erkennen, dass das Wasser nur so lange fließt, bis kein Höhenunterschied mehr existiert. Um diesen wieder herzustellen, muss wieder Wasser zurückgeschüttet oder eine der beiden Flaschen angehoben werden. (Dies entspricht dem Ladevorgang der Batterie.)

Dieses Wissen sollen die Schüler dazu verwenden, ein Wasserrad zu betreiben. Der Schlauch ist hierfür in der Mitte bei einem Steckverbinder zu öffnen, um ein Wasserrad einzusetzen. Stülpt man nun über die beiden Flaschen einen Karton mit der Aufschrift „Batterie“, so ist ganz analog zum Stromkreis der Vorgang in der Batterie nicht mehr zu sehen. Einzig Sichtbares: das sich drehende Wasserrad, also analog zum Stromkreis der sich drehende Motor oder das leuchtende Lämpchen.

Das Wasser entspricht der Elektrizität bzw. den Elektronen, die Pumpe der Batterie und das Rad einem Motor oder einem Lämpchen. Die Wassermenge, die pro Sekunde durch einen Querschnitt strömt, entspricht der Stromstärke I . Sie ist überall gleich groß. Die Druckdifferenz zwischen den Pumpenanschlüssen entspricht der elektrischen Spannung U_{Ba} zwischen den Batterieanschlüssen.

Entsprechungen in den Wassermodellen

Die in dieser Untersuchung genutzte Analogie sieht dabei graphisch dargestellt wie folgt aus (Kircher 1995a, S. 193):

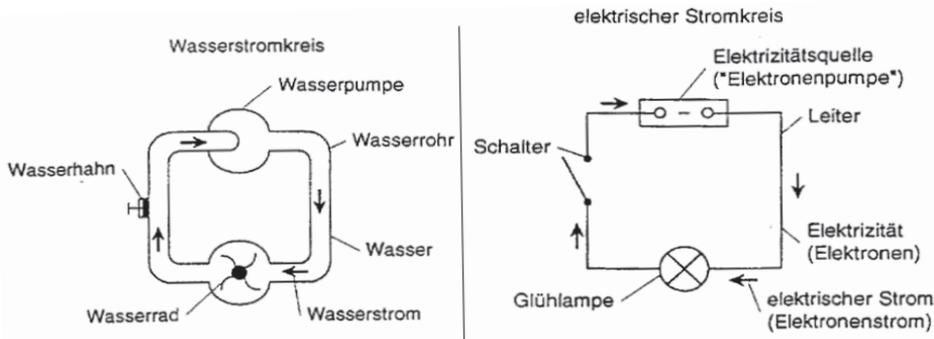


Abb. 2.15: Gegenüberstellung Stromkreis –Wasserkreis (aus Kircher 1995a, S. 193)

Dabei gelten folgende Entsprechungen (vgl. Kircher 1995a, S. 193, ergänzt vom Verfasser):

	<u>Wasserstromkreis</u>	<u>Elektrischer Stromkreis</u>
Wahrnehmungsebene	Pumpe	Batterie (besser: Dynamo od. Generator zum Kurbeln)
	Wasserleitung	El. Leitungen
	Wasserrad/Turbine	Lämpchen (besser Elektromotor)
	Wasserhahn	Schalter
begriffliche, gegenständliche Ebene	Wasserstrom	Strom
	Wasserrohr	Leiter
	Verstopftes Rohr	Nichtleiter
	Wasserstromstärke = Wassermenge / Zeit	Stromstärke $I = \text{Ladung} / \text{Zeit}$
	Wasserdruck	Spannung U
	Strömungswiderstand	Widerstand

Tab. 2.5: Entsprechungen auf der Wahrnehmungsebene und auf der begrifflichen Ebene in Wasserstromkreis und elektrischem Stromkreis

Der Wasserstromkreis weist wichtige Gesetzmäßigkeiten auf, die im elektrischen Stromkreis auch gelten. Folgende Beziehungen lassen sich hier z.B. übertragen:

<u>Wasserstromkreis</u>	<u>Elektrischer Stromkreis</u>
<u>Ohmsches Gesetz:</u> Wenn man den Wasserdruck im Wasserstromkreis verdoppelt, dann verdoppelt sich die Wasserstromstärke.	<u>Ohmsches Gesetz:</u> Wenn man die Spannung im Stromkreis verdoppelt, dann verdoppelt sich die Stromstärke. $U/I = \text{const.}$

Ist der Wasserstromkreis unterbrochen, fließt kein Wasser.	Ist der elektrische Stromkreis unterbrochen, fließt kein Strom.
Wird der Wasserdruck an der Pumpe größer, dann dreht sich das Wasserrad schneller.	Wird die Voltzahl (Spannung) an der Batterie größer, dann dreht sich der Elektromotor schneller /leuchtet das Lämpchen heller.
Wenn das Wasser durch das Wasserrad fließt, wird es nicht weniger, es wird nicht verbraucht. Nur die Energie der Pumpe wird in Reibung, Erwärmung der Rohre etc. verwandelt, aber auch nicht verbraucht.	Wenn der Strom durch das Lämpchen, den Elektromotor fließt, wird er nicht weniger. Auch hier wird nichts verbraucht. Die Energie der Batterie wird umgewandelt (in Reibung, Erwärmung der Stromleitungen etc., = „Leerwerden der Batterie“ in der Umgangssprache)

Tab. 2.6: Gegenüberstellung der Gesetzmäßigkeiten in Strom und Wasserkreis

2.5.2 Diskussion der verwendeten Analogien

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung ist die hohe Verfügbarkeit des Basiswissens. Da die Materialien im Basisbereich der mechanischen Modelle im Prinzip aus dem Alltag bekannt sind (Fahrradketten, Riemen und Seile, ...), ist der Basisbereich auch durch die inhaltliche Anforderung an die Schüler leicht generierbar. Im Bereich der Wassermodelle ist dies ähnlich. Zusätzlich hat das Material Wasser eine motivationsfördernde Wirkung. Das Wassermodell entstammt zwar nicht dem Alltag (niemand baut im Alltag geschlossene Wasserkreise auf, in der Regel sind Kindern aber offene Wasserläufe, Flüsse und Bäche bekannt) und stellt somit einen Lernumweg dar, es besitzt jedoch eine klärende Potenz bis in die gymnasiale Oberstufe. Sämtliche Gesetze für Gleichstrom (Maschenregel, Knotenregel, Ohmsches Gesetz, ...) sind mit dem Wassermodell erklärbar und auf dieser Ebene leicht verständlich. Dadurch ist der Lernumweg zu rechtfertigen. Auf der Ebene der in der Grundschule im Primärbereich Stromkreis verfolgten Lernziele, ist keine allzu lange Beschäftigung mit dem Wassermodell erforderlich. Die zwölf bzw. 20 Doppelstunden, die eine Bremer Gruppe dargestellt hat (Dudeck 1997, Häberlen 1999, s. Kap. 2.5.3) dürften deshalb bei Weitem nicht nötig sein. Es geht in der Grundschule auch nicht darum, den hydrostatischen Druck im Wasserkreislauf zu bestimmen, um dann Rückschlüsse auf den Stromkreis zu ziehen. Nach Dudeck können sich auch die Erfahrungen mit offenen Gewässern, Wasser-schläuchen und Gartenpumpen als für den Lernprozess negativ erweisen. Seiner Meinung nach können sich dadurch „Stau“-Vorstellungen, nichtsystemische-Vorstellungen, „Widerstands-Überwindungs“-Vorstellungen (der Fluss überwindet das Hindernis), „Konstantstrom“-Vorstellungen (der Fluss fließt letztlich unabhängig von der z.B. gebauten Mauer weiter), „sequentielles Denken“ (was weiter unten im Fluss passiert, wirkt nicht auf das, was oberhalb passiert, aber umgekehrt) usw. Im Fall Gartenschlauch lässt der angeschlossene Rasensprenger meist den Rasen wesentlich schwächer sprengen als der Wasserschlauch. Der Teilungsgedanke („die müssen sich jetzt das gepumpte Wasser teilen“) kann hier entstehen – und die Auffassung einer konstanten Wasserströmung („Konstantstrom-Vorstellung“).

Dudeck (1997) ist der Meinung, dass eine Analogiebildung, die sich auf Schülererfahrung stützt, und auf deren hydrodynamische Erfahrungshorizonte aufbaut, ein hohes Fehlkonzepualisierungspotential berge. Dieses könne die in der Literatur bekannten

misconceptions für elektrische Stromkreise hervorbringen. Es sei also sinnvoller, den Schülern den Aufbau eines adäquaten Erfahrungsbereichs Wasserstromkreise zu ermöglichen, indem sie einen mit den Vorteilen leichter Zugänglichkeit ausgestatteten alternativen Zugang zur eigenen Modellierung bekämen, sich also im Unterricht selbst mit dem neuen Phänomen Wasserkreise intensiv beschäftigen können (vgl. Dudeck 1997, S. 54). Dieser Gedankengang trifft auch auf die Verwendung der mechanischen Modelle im Unterricht zu. Hier sind wenige Erfahrungen der Schüler vorhanden. Die Fahrradkette ist aus dem Alltag gut bekannt, speziell das mechanische Kurbelmodell aber weniger. Allerdings ist das Modell leicht zugänglich, so dass der Aufbau eines adäquaten analogen Konzepts leicht möglich ist.

Das Modell Wasserkreislauf birgt noch ein weiteres Problem. Genauer gesagt stößt es in dem Moment an seine Grenzen, wenn untersucht wird, was denn passiert, wenn die Leitungen getrennt werden. Beim „Aufschneiden“ von Wasserleitungen läuft das Wasser aus. Beim Aufschneiden von elektrischen Leitungen bleiben die Elektronen jedoch in der Leitung. Dies ist eine unüberwindliche Grenze des Modells. Schülern sollte aber auch bewusst werden, dass Modelle Grenzen haben und wo die Grenzen eines speziellen Modells liegen. Der Umgang mit den Grenzen des Modells gehört mit zum Kernbereich des Modelllernens. Kircher sieht auch noch das Problem, dass Schüler äußern könnten: „Man kann Wasser im Rohr sehen, aber man weiß nicht, was Elektrizität tut.“ Zur Veranschaulichung von Elektronen kann im Pumpenmodell das Wasser als (unsichtbares) Transportmedium genutzt werden, und kleine Kügelchen können als Modell für Elektronen in den Kreis gegeben werden. Diese können dann beim Rundumlaufen beobachtet werden. Der Weg in der Pumpe bleibt unsichtbar. Zu beobachten bleibt: Aus der Pumpe werden Kügelchen in die Leitungen gedrückt. An „engeren“ Leitungsstellen, also in Leitungen mit höheren Widerständen, fließen die Elektronenmodelle stärker (schneller) als in Leitungen mit einem großen Querschnitt. Die Kügelchen treiben den „Verbraucher“, das Wasserrad oder die Turbine, an. Nach dem „Verbraucher“ fließen die Kügelchen unverbraucht, ganz und in derselben Geschwindigkeit wie vorher zum Batteriemodell Pumpe zurück.

Für den Vergleich des Wasserkreises mit dem Stromkreis sind keine schwerwiegenden hydrodynamischen Kenntnisse nötig. Auf dem Niveau von den in der Grundschule nutzbaren Analogien können diffizile hydrodynamische Probleme ausgeblendet werden. Es geht lediglich darum, dass das Wasser durch die Leitungen fließt. Ob die Fließgeschwindigkeit am Rand niedriger als in der Mitte des Rohres ist etc., ist für die Beobachtungen unerheblich.

2.5.3 Studien zu Wassermodellen

In der folgenden Tabelle soll ein kurzer gebündelter Überblick über Studien zu Stromkreis-analogiemodellen gegeben werden. Dabei wurde die Zusammenfassung von Dudeck (1997) als Basis verwendet und vom Verfasser erweitert. Viele der zusammengestellten Studien fanden in Bremen statt (s.u.). Es finden sich zudem nur Untersuchungen zu Wassermodellen. Empirische Untersuchungen zu mechanischen Modellen existieren nicht. Die Untersuchungen zu den Wassermodellen fanden hauptsächlich in der Sekundarstufe statt. Untersuchungen im Primärbereich fehlen, abgesehen von Staatsexamensarbeiten an der Universität Würzburg. Die zentralen Aussagen der Studien zeigen, dass die Wassermodelle nicht immer zu einem eindeutigen Ergebnis führten. Smith und Wilson zeigten bereits 1974, dass

der Einsatz von Wassermodellen eine höhere Motivation der Schüler nach sich zieht. Kircher und Duit bemerken 1975 eine Förderung der Anschaulichkeit durch Wassermodelle, jedoch zugleich eine negative Förderung adäquater Begriffsbildungen durch das Wassermodell. Einige Studien bescheinigen dem Wassermodell keine große Hilfe (z.B. Wilkenson 1972, Bullock 1979, Genter & Genter 1983, Tenny & Genter 1984). Andere Studien dagegen sprechen den Wassermodellen durchaus eine lernförderliche Wirkung zu (z.B. Schwedes 1984, Black & Solomon 1987, Prüm 1989).

Autoren	Adressatengruppe	Materielle Experimente	Art der Modellbehandlung	Unterrichtsinhalt	Zentrale Aussagen zu den Ergebnissen durch die Autoren
Wilkenson 1972	Schüler der Anfangsjahrgänge der Sec. School	Ja	Unterricht über das Modell	Stromstärke	Keine große Hilfe durch das Modell
Smith and Wilson 1974	Schüler der Highschool	Ja	Unterricht über das Modell	Rolle und Verhalten elektrischer Schaltungen, Vorstellungen von Spannung und Strom	Höhere Motivation, besseres Verständnis für grundlegende elektrische Phänomene
Kircher und Duit 1975	15-16jährige Schüler der Sek. I	Ja	Unterricht über das Modell	Stromstärke, Spannung, Widerstand, Stromkreisregeln	Wassermodell fördert anschauliche Stromvorstellung mehr, aber adäquate Begriffsbildungen weniger als das Elektronenmodell
Bullock 1979	10-14 jährige Schüler	Ja	Unterricht über das Modell	Grundlegende Vorstellungen von Strom, Spannung, Serien- und Parallelschaltung	Das Wassermodell ist weder besser noch schlechter als andere Modelle für die Schüler
Genter & Genter 1983	Schüler der Highschool und College- Studenten	Nein	Vorstellung von Modellen	Rolle und Verhalten von Batterie und Widerstandskombinationen	Keine richtige Differenzierung von Parallel- und Serienschaltungen a) von Widerständen b) von Batterien
Tenny & Genter 1984	Undergraduates (ohne vorherige Physikkurse)	Ja	Vorstellung des Modells	Batterie und Widerstände, einzeln, parallel und in Serie	Keine signifikante Erleichterung des Elektrizitätslehretests durch vorherigen analogen Wasserstromtest
Schwedes 1984	10-15 jährige Schüler der Sek. I	Ja	Unterricht über das Modell	Stromstärkebegriff und Stromverteilung in verzweigten Stromkreisen	Stromvorstellungen bilden sich anschaulicher und klarer heraus
Black und Solomon 1987	Schüler des dritten Jahrgangs der Comprehensive School	nein	Unterricht über das Modell	Stromstärke und Widerstand in unterschiedlichen Schaltungstypen	Die Analogie hilft den Schülern, sie lernten besser mit der Analogie
Prüm 1989					In Lernsituationen wirken kognitive, soziale u. situative Komponenten auf den Wissenserwerb einzelner Schüler.
Fischer 1989					Entwicklung und Struktur neu entstehender „subjektiver Erfahrungsbereiche“

Schmidt 1989	10. Jahrgangsstufe Realschule				Zeichnet den „Konzeptwechsel“ eines Schülers mit Hilfe forciert unterstützter analogiegeleiteter Überlegungen mit klinischen Interviews auf.
Menge 1993	15-16 jährige SchülerInnen der Sek.I	Ja	Unterricht über das Modell	Stromstärke, Widerstand, Stromverteilung in unterschiedlichen Schaltungstypen (Spannung)	Wassermodell kostete Zeit, aber fördert Auseinandersetzung mit und Verständnis von Stromkreisen
Dudeck 1997	10. Jahrgangsstufe Gymnasium	Ja	Unterricht über das Modell	20 Doppelstunden für den gesamten Bereich Elektrizitätslehre und Hydrodynamik (Stromkreis als System, Druckdifferenz, Stromstärke, Widerstand, Energieumsatz)	Analyse von Denk- und Lernprozessen zeigt: Durch die Nutzung des Analogiemodells bekommen Schüler ein „sicheres systematisches Stromverständnis“
Häberlen 1999	10. Jahrgangsstufe Realschule	Ja	Unterricht über das Modell	12 Doppelstunden zu Stromstärke, Widerstand, Druckdifferenz, in verschiedenen Schaltungen	Fallstudie in der Sekundarstufe mit konkreten Vorschlägen für die Arbeit mit dem Modell, die Frage nach dem Einsatz wird nicht diskutiert, Grundlage ist die Arbeit Dudecks 1997

Tab. 2.7: Übersicht über verfügbare Studien zum Lernen der Elektrizitätslehre mit Hilfe des Wassermodells.

Forschungen der Bremer Gruppe um Hannelore Schwedes

Der Erforschung von Analogien im speziellen Fall Stromkreis – Wasserkreis nahm sich in den 1980er und 1990er Jahren v.a. die Forschergruppe um Hannelore Schwedes an der Universität Bremen an. Prüm (1989) wies dabei in seiner Untersuchung nach, dass in Lernsituationen kognitive, soziale und situative Komponenten auf den Wissenserwerb einzelner Schüler einwirken. Fischer (1989) zeigte die Entwicklung und die Struktur neu entstehender „subjektiver Erfahrungsbereiche“ (Bauersfeld 1983). Schmidt (1989) zeichnete im selben Jahr den „Konzeptwechsel“ eines Schülers mithilfe forciert unterstützter analogiegeleiteter Überlegungen mit klinischen Interviews („Experimentalinterviews“) auf. Menge (1995) zeigte, dass der Konzeptwechsel der Schüler am Stromkreislauf keineswegs selbstverständlich ist. Schüler haben ihren Erkenntnissen nach Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Hydrodynamik und Elektrizitätslehre. Ihr Unterrichtskonzept setzte dabei große Hoffnungen auf den Transfer zwischen den beiden Teilgebieten der Physik. Dudecks Analyse von Denk- und Lernprozessen zeigte, dass Schüler der 10. Klasse Gymnasium durch die Nutzung des Analogiemodells ein „sicheres systematisches Stromverständnis“ bekommen (Dudeck 1997). Er stellt fest, dass Analogieverknüpfungen, die in diesem Kontext aufgebaut wurden, langfristig aktivierbar sind.

Alle genannten Forschungsarbeiten zum Thema Analogie Wasserkreislauf – Stromkreislauf wurden jedoch in den Sekundarstufen I und II durchgeführt. Forschungen im Bereich der Grundschule fehlen dagegen. Die Wasseranalogien sind, wie Tagungen zeigen (z.B. GDSU-Jahrestagung in Ludwigsburg 2005), weiterhin in der physikdidaktischen Diskussion. Mechanische Modelle dagegen werden nicht tiefgehend analysiert.

Auffallend ist, dass die Modelle sich als wirkungsvoller erweisen, wenn nicht nur die Vorstellung des Modells im Unterricht thematisiert wird, sondern wenn das Modell real im

Unterricht aufgebaut wird und materiale Versuche am Modell durchgeführt werden. Die reale Begegnung mit dem Modell scheint u. a. Aspekten eine zentrale Rolle zu spielen.

2.6 Folgen für die eigene Untersuchung

Analogien sind eng verknüpft mit einer Arbeitsweise von Physikern: mit der Modellbildung. Je nach Einsatzort der Modelle (ob umgangssprachlich, in der Wissenschaft oder in der Fachdidaktik) ändert sich die Bedeutung von Modellen. Für die vorliegende Arbeit ist der fachdidaktische Modellbegriff der entscheidende. Modelle und Analogiemodelle sollen helfen, schwierige Sachverhalte verständlicher zu machen.

Analogiebildung aus der Sichtweise einiger Kognitionspsychologen zu betrachten kann hilfreich sein, um den Blick für die Nutzung von Analogien zu weiten. Hierarchisch geordnet bilden analoges Zuordnen, analoges Verstehen und analoges Problemlösen Bereiche, in denen Analogiebildung nützlich für menschliche Denkprozesse sein kann. Analoges Zuordnen und analoges Verstehen können als Teile von Intelligenz betrachtet werden. Das entscheidende Moment im Verstehensprozess ist die Erkenntnis der Strukturähnlichkeit zweier Objekte. Der analoge Problemlösevorgang findet dann statt, wenn zum Zielbereich ein Basisbereich gefunden werden kann, der es ermöglicht, durch Schlüsse im Basisbereich, Probleme im Zielbereich zu lösen. Fasst man, wie einige Kognitionspsychologen der 1980er Jahre, Lernen als Bilden von Relationen auf, so kann man jede Art von Lernen als Analogisieren zwischen Wissensschemata auffassen.

Das erinnert an Fachdidaktiker wie Spreckelsen: Er sieht in Transduktionen die physikalische Denkweise von Kindern. Von einem Vorgang wird zum nächsten analogisiert. Von den fachdidaktischen Auffassungen zu Analogien scheinen für die vorliegende Arbeit die Ansätze von Ernst Kircher und Kay Spreckelsen am geeignetsten. Beide beziehen das Subjekt, also den Schüler, explizit mit in ihre Überlegungen ein. Der Schüler vollzieht den Analogieschluss zwischen Modell und Objekt, zwischen Basisbereich und Zielbereich.

Die Funktionsweise dieses fachdidaktischen Analogiebegriffs ist folgende: Analogien sollen helfen, schwierige Sachverhalte zu erklären. Davon abzugrenzen ist die Funktion von Analogien in der Fachwissenschaft. Hier sollen Analogien helfen, Erkenntnisse zu gewinnen. Meiner Meinung nach kann die Herausstellung dieses Unterschieds jedoch auch ein Lernziel von analogieorientiertem Unterricht sein. Analogien im Unterricht nehmen sowie so eine Sonderstellung ein, gerade dann, wenn es um Analogieexperimente geht. Diese sind zugleich Medium als auch Unterrichtsgegenstand.

Analogien haben Grenzen und bergen Probleme. Es gilt, die Grenzen von Analogien zu kennen und die Probleme möglichst zu minimieren. Dann besteht die Chance, Anschaulichkeit zu erreichen und sowohl Potentiale von Analogien als auch den motivierenden Aspekt von Analogien zu nutzen. Dazu muss dem Analogie bildenden Subjekt jedoch der Basisbereich vertraut sein. Das „Vertrautwerden“ mit dem Basisbereich muss deshalb ein zentraler Bereich der Intervention sein.

Als Basisbereiche werden die drei Wassermodelle, das mechanische und elektrische Kurbelmodell gewählt. Die besondere Stellung des elektrischen Kurbelmodells soll noch erwähnt werden. Einerseits bildet es einen einfachen Stromkreis mit Batterie und Lämpchen ab und gibt hierfür einen Basisbereich her. Andererseits ist es Zielbereich für den Basisbereich „mechanisches Kurbelmodell“. Der Analogieschluss vom mechanischen zum elektri-

schen Kurbelmodell ist der wichtigere, weil schwierigere. Die Übertragung elektrisches Kurbelmodell – einfacher Stromkreis findet leichter statt. Streng genommen ist das elektrische Kurbelmodell ja ein einfacher Stromkreis. Dies muss jedoch von den Schülern erst wahrgenommen werden.

Verschiedene Untersuchungen zu Wassermodellen existieren in der Sekundarstufe I und II. Diese beschäftigen sich meist mit Begriffen wie Stromstärke, Spannung und Widerstand. Untersuchungen zum Aufbau von Kreisvorstellungen, insbesondere in der Primarstufe, gibt es nur wenige (z.B. von Wiesner 1995, N=24). Replikationsstudien existieren nicht. Andererseits existieren Forschungen (z.B. zum Schwimmen und Sinken von Möller), die zeigen, dass Grundschulern ein tieferes Verständnis physikalischer Sachverhalte zugetraut werden kann.

Daher leitet sich die Frage ab, ob es mit Hilfe von Analogien möglich ist, ein tieferes Verständnis für Kreisprozesse und „Nicht-Verbrauch“ von Strom in Stromkreisen bereits bei Grundschulern zu erzeugen.

Analogien können hilfreich sein, Prozesse im Stromkreis zu verstehen, so zeigen verschiedene Untersuchungen. Noch offen ist jedoch, ob es bereits bei Grundschulern gelingt, mittels Analogien grundlegende Lernstrukturen zu entwickeln. Zusätzlich ist die Frage noch offen, ob es außer den bereits in der Sekundarstufe empirisch untersuchten Wasseranalogien noch weitere (z.B. mechanische) Analogien gibt, die einen positiven Einfluss auf die Lernentwicklung und das Interesse von Schülern haben können. Im Sinne der Phänomenkreise (Spreckelsen) stellt sich zudem die Frage, ob sich verschiedene Modellarten, die dasselbe zeigen sollen ergänzen und im Sinne von mehrperspektivischen Betrachtungsweisen synergetische Effekte auf ein Lernen von Kreiskonzepten bewirken, und ob sich durch eine derartig vielseitigere Beschäftigung mit dem Lerngegenstand Stromkreis ein vermehrtes Interesse feststellen lässt

Empirischer Teil – Darstellung der Untersuchung

In den folgenden beiden Kapiteln wird die vorliegende Untersuchung dargestellt. Kapitel 3 wird dazu aus den bisher gewonnenen Theorieeinsichten die Forschungsfragen ableiten. Zunächst werden dazu die Forschungsfragen im kognitiven Bereich hergeleitet (Kapitel 3.1). Im Anschluss daran werden die Forschungsfragen im Interessenbereich aufgeführt (Kapitel 3.2). Kapitel 4 widmet sich der Untersuchungsmethode. Nach der Darlegung der Untersuchungsprozedur und des Designs der Untersuchung, die im Wesentlichen eine Beschreibung der Stichprobe (durchführende Lehrer und Schüler, Kapitel 4.1.1) und der Intervention (Kapitel 4.1.2) enthalten, werden die Messinstrumente und die verwendeten Skalen beschrieben (Kapitel 4.2).

3 Forschungsfragen

Aus einer allgemeinen physikdidaktischen Analyse und den in den vorangehenden Kapiteln dargestellten Erkenntnissen zum naturwissenschaftlichen Lernen und Analogien sollen im folgenden Fragenkomplex Forschungsfragen zu den drei inhaltlichen Aspekten „Allgemeine Vorstellungen“, „Flussvorstellungen“ und „Verbrauchsvorstellungen“ dargelegt werden.

3.1 Forschungsfragen im kognitiven Bereich

Welche Vorstellungen haben Grundschüler der dritten Jahrgangsstufe?

1. Welche Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen haben Grundschüler der dritten Jahrgangsstufe im Bereich der Elektrizitätslehre **vor dem Unterricht**?
 - a. Welches allgemeine Wissen zu Strom existiert bei Schülern der dritten Jahrgangsstufe?
 - b. Welche *Stromflussvorstellung* herrscht bei Schülern der dritten Jahrgangsstufe vor? [Lassen sich typische Schülervorstellungen (z.B. aus den Untersuchungen Wiesners, Spreckelsens, ...) wie etwa die Einwegzuführungsvorstellung, die Zweiwegzuführungsvorstellung, die Geben-Nehmen-Vorstellung, die Zweistoffvorstellung oder die Kreisvorstellung nachweisen?]
 - c. Lässt sich eine *Stromverbrauchsvorstellung* in der vorliegenden Stichprobe nachweisen? (Welche Vorstellung haben Schüler, was mit dem Strom im Lämpchen passiert?)
2. Gibt es Subgruppenunterschiede?
 - a. Gibt es Unterschiede in den Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen hinsichtlich des *Geschlechts*?
 - b. Gibt es Unterschiede in den Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen zwischen Schülergruppen mit verschiedenen *Schulleistungen*?

Wie entwickeln sich diese Vorstellungen?

1. Wie entwickeln sich die Alltagsvorstellungen durch Unterricht? (Hier ganz allgemein, ohne Berücksichtigung der Intervention.)

Welche Effekte haben die verschiedenen Interventionen?

1. Wie verändern sich die *allgemeinen Kenntnisse*?
 - a. Verändern sich die allgemeinen Kenntnisse durch den Unterricht zu den *verschiedenen Modellen* unterschiedlich?
 - b. Wie verändern sich die allgemeinen Kenntnisse in den Experimentalgruppen im *Vergleich zur Kontrollgruppe*?
2. Wie verändern sich die *Vorstellungen zum Stromfluss*?

- a. Bewirkt der Einsatz verschiedener analoger Modelle im Unterricht Unterschiede in der Ausprägung von Stromflussvorstellungen bei den Schülern?
 - i. Wirkt ein Unterricht, der Modelle in den Fokus nimmt (Experimentalgruppen) anders, als ein Unterricht, der ohne Modelle abläuft (Kontrollgruppe)?
 - ii. Welches der eingesetzten Modelle bringt für die Stromflussvorstellungen bei Kindern die günstigsten Veränderungen (im Sinne von Veränderungen hin zur Kreisvorstellung)? Wirkt ein Unterricht, der mechanische Modelle in den Fokus nimmt anders, als ein Unterricht, der auf Wassermodele fokussiert?
 - iii. Lassen sich die Ergebnisse auf die (mangelnde) Akzeptanz des Wassermodells zurückführen?
 - b. Hat der Einsatz mehrerer verschiedener Modelle Synergieeffekte? (Hier ist speziell der kombinierte Einsatz von mechanischem und Wassermodelel gemeint.)
3. *Wie verändert sich die Stromverbrauchsvorstellung im Laufe der Untersuchung?*
- a. Wird das Stromverbrauchskonzept durch den Einsatz von Modellen, in denen offensichtlich das Analogon zu Strom nicht verbraucht wird, abgemildert?
 - b. Wie verändert sich die Vorstellung, Strom werde im Lämpchen verbraucht in Abhängigkeit vom Interventionsmodell?
 - c. Gibt es Synergieeffekte zwischen verschiedenen Modellen?
4. *Gibt es Subgruppenunterschiede?*
- a. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf *Mädchen oder Jungen*? Die Wassermodele begünstigen einen eher handelnden Zugang, während die mechanischen Modelle eher wenig Handlung am Modell zulassen. Gibt es daher einen positiveren Effekt der Wassermodele auf die Lernerfolge der Jungen?
 - i. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf allgemeine Kenntnisse zum Thema Strom von Mädchen oder Jungen?
 - ii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Stromflussvorstellungen von Mädchen oder Jungen?
 - iii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Verbrauchsvorstellungen von Mädchen oder Jungen?
 - b. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf verschiedene *Schulleistungsgruppen*?
 - i. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf allgemeine Kenntnisse zum Thema Strom von Schülern verschiedener Schulleistungen?
 - ii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Stromflussvorstellungen von Schülern verschiedener Schulleistungen?
 - iii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Verbrauchsvorstellungen des Stroms von Schülern verschiedener Schulleistungen?
 - c. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Schüler *mit verschiedenen Vorerfahrungen*?

- i. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf allgemeine Kenntnisse zum Thema Strom von Schülern verschiedener Vorerfahrungen?
- ii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Stromflussvorstellungen von Schülern verschiedener Vorerfahrungen?
- iii. Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Verbrauchsvorstellungen von Schülern verschiedener Vorerfahrungen?

3.2 Forschungsfragen im Interessenbereich

Interesse gilt als Einflussfaktor auf Lernen und Lernmotivation (Kapitel 1.4). Im Bereich naturwissenschaftlichen Lernens geht man davon aus, dass das Interesse von Jungen und Mädchen als unterschiedlich einzustufen ist.

1. *Interesse und Interessensunterschiede*

- a. Wie groß ist das Interesse am Thema Strom?
- b. Gibt es Interessensunterschiede zwischen Mädchen und Jungen?
- c. Gibt es Interessensunterschiede zwischen
 - i. verschiedenen Schulleistungsgruppen oder
 - ii. zwischen verschiedenen Interventionsgruppen?
- d. Gibt es – in Anlehnung an die IPN-Interessenstudie (Hoffmann, Häußler & Lehrke 1998) – Interessensunterschiede
 - i. in verschiedenen Sachgebieten,
 - ii. in verschiedenen Kontexten,
 - iii. bei verschiedenen Tätigkeiten?

2. *Interessensentwicklung*

Eine der Chancen der Analogienutzung im Unterricht ist die Motivationssteigerung speziell schwacher Schüler. Motivation und Interessenbildung ist über den Begriff der selbst gesteuerten Lernmotivation in der pädagogischen Interessentheorie eng verknüpft.

- a. Wie entwickelt sich das Interesse im Laufe der Intervention?
- b. Entwickelt sich das Interesse geschlechtsspezifisch?
- c. Ist die Interessensentwicklung abhängig von der Schulleistungsgruppe, in der sich Schüler befinden?
- d. Wirkt sich ein hohes Interesse am Analogiemodell positiv auf den Lernerfolg beim Thema Strom aus?
- e. Lassen einzelne Interventionsmodelle ein besonders starkes/schwaches Interesse entstehen?

4 Untersuchungsmethode

4.1 Untersuchungsprozedur – Design

Zur Beantwortung der in 3.1 und 3.2 entwickelten Forschungsfragen wurde eine Stichprobe mit Schülerinnen und Schülern aus insgesamt 16 Klassen der Oberpfalz analysiert (siehe 4.1.1 Stichprobe).

Zu drei Messzeitpunkten wurden jeweils mittels Fragebogen und mithilfe von *Leitfadenterviews* mit ausgewählten Kindern Daten zu Vorstellungen und Wissen sowie mittels der Fragebögen auch zum Interesse der Schüler erhoben.

Beginn der Untersuchung war im März 2005 bzw. März 2006, also Mitte des dritten Schuljahres. Das Thema Strom ist im Lehrplan für die Grundschulen in Bayern in der dritten Jahrgangsstufe enthalten.¹⁰ Die Untersuchung beginnt mit dem Ausfüllen der Fragebögen zum Messzeitpunkt 1a und den Interviews (Messzeitpunkt 1b). Die Auswahl der Interviewkinder wird von den Lehrkräften nach dem Kriterium „drei Kinder mit unterschiedlichen Schulleistungen, leistungsstark, mittlere Schulleistung, leistungsschwach“ durchgeführt. Die genaue Beschreibung der Fragebögen sowie des Interviewleitfadens erfolgt in Kapitel 4.2.

Im Anschluss an die erste Erhebung wird die Intervention durchgeführt. In drei unterschiedlichen Experimentalgruppen wird Unterricht zum Thema Strom gehalten. In der Experimentalgruppe 1 wird versucht, den Aufbau eines Stromkreiskonzeptes und den Abbau eines Stromverbrauchskonzeptes mit Hilfe von mechanischen Modellen und Wassermodellen zu unterstützen. In den Experimentalgruppen 2 und 3 wird diese Unterstützungsleistung jeweils nur durch eine Modellart versucht, in der Experimentalgruppe 2 durch mechanische Modelle, in der Experimentalgruppe 3 durch Wassermodelle. Die genaue Beschreibung der Intervention erfolgt in Kapitel 4.1.2. Eine Kontrollgruppe bekommt von ihren (erfahrenen) Lehrern den üblichen lehrplankonformen Unterricht zum Thema Strom. Für alle Gruppen wurde für das Thema Strom die Unterrichtszeit auf 10 Unterrichtsstunden festgesetzt.

Direkt im Anschluss an den Unterricht findet Messzeitpunkt 2 statt. 12 Wochen nach dem Unterricht wird in einer Follow Up-Untersuchung (Messzeitpunkte 3a und 3b) versucht, längerfristige Effekte der Intervention zu erfassen.

¹⁰ Ob eine Durchführung des Unterrichts früher oder später im Laufe der Grundschulzeit sinnvoller wäre, soll in dieser Arbeit nicht untersucht oder diskutiert werden.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über das gesamte Design der Untersuchung:

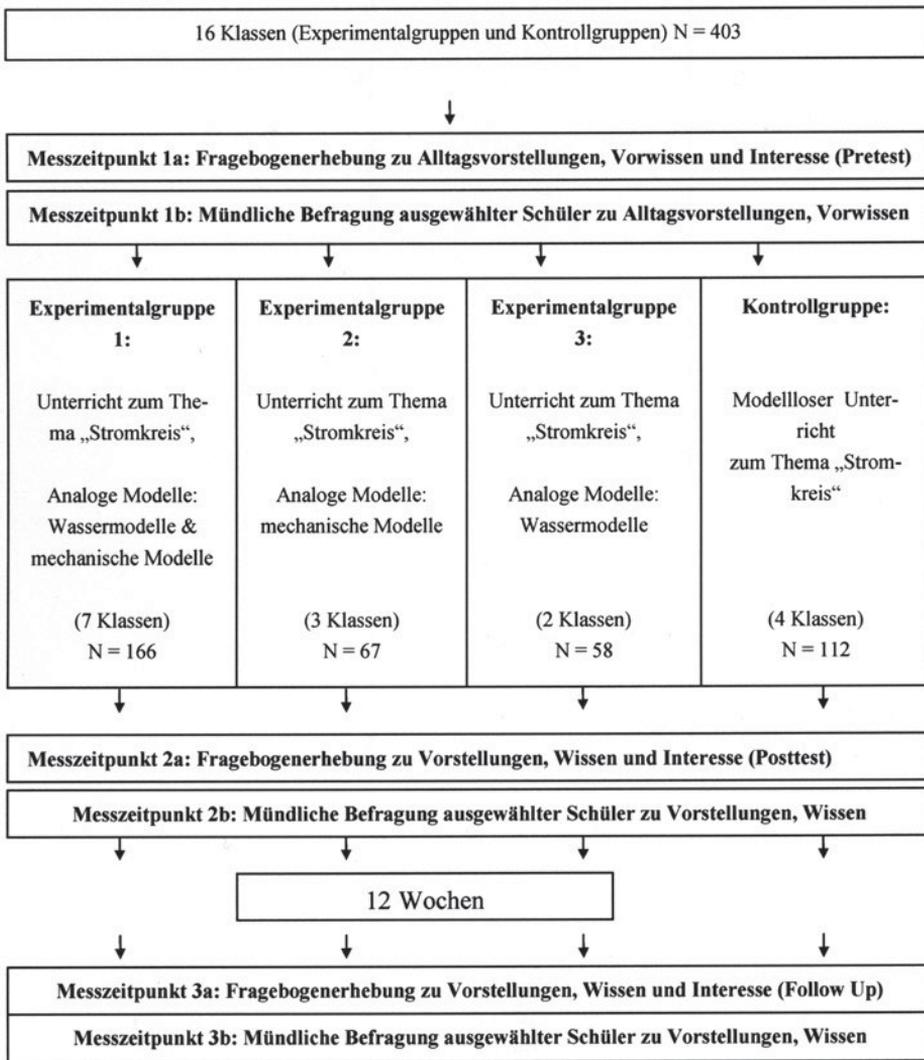


Abb. 4.1: Design der Untersuchung

4.1.1 Stichprobe

An der Studie beteiligte Schülerinnen und Schüler

Für die vorliegende Studie wurde eine Stichprobe aus 403 Schülerinnen und Schülern (193 Mädchen und 210 Jungen) aus insgesamt 16 dritten Jahrgangsstufen in den Schulamtsbezirken Weiden, Schwandorf, Regensburg und Kelheim analysiert. Davon entfielen 166 Schülerinnen und Schüler (79 Mädchen und 87 Jungen) auf die 7 Klassen der Experimentalgruppe 1 (Experimentalgruppe mit Wasser- und mechanischen Modellen), 67 Schülerinnen und Schüler (36 Mädchen und 31 Jungen) auf die 3 Klassen der Experimentalgruppe 2 (Experimentalgruppe mit mechanischem Modell) 58 Schülerinnen und Schüler (25 Mädchen und 31 Jungen) auf die 2 Klassen der Experimentalgruppe 3 (Experimentalgruppe mit Wassermodellen) und 112 Schülerinnen und Schüler (53 Mädchen und 59 Jungen) auf die 4 Kontrollgruppenklassen (Tab. 6.1).

In Bezug auf die soziale Schicht stuften alle Lehrkräfte ihre Schülerinnen und Schüler als Mittelschichtkinder ein. Für die Interviews wurden jeweils Schüler ausgewählt, die nach Einschätzung der Lehrkräfte leistungsstark oder leistungsschwach waren oder zur mittleren Leistungsgruppe gehörten.

		Geschlecht		Gesamt
		W	M	
EG 1	Mechanisch und Wasser	79	87	166
EG 2	Mechanisch	36	31	67
EG 3	Wasser	25	33	58
KG	Vergleich	53	59	112
Gesamt		193	210	403

Tab. 4.1: Stichprobe der Schülerinnen und Schüler

Die Einteilung der Schülerinnen und Schüler in Leistungsgruppen erfolgte nach Grenzen, die sich an der bayerischen Übertrittsregelung orientieren (vgl. dazu Fölling-Albers, Haider, Haider im Druck; Hartinger, Graumann, Grittner 2004). Demnach wurden Schülerinnen und Schüler mit einem Notendurchschnitt (aus den Fächernoten Deutsch, Mathematik und Heimat- und Sachunterricht) kleiner als 1,7 als leistungsstark, zwischen 1,7 und 2,7 als zur mittleren Leistungsgruppe gehörend und mit einem Notendurchschnitt größer als 2,7 zu den leistungsschwachen Schülern gezählt.

105 von 347 gaben die Noten nicht oder nur unvollständig an, so dass diese Schülerinnen und Schüler nicht in die Auswertung nach Leistungsklassen eingehen konnten.

		Notendurchschnitt (In Bereiche eingeteilt)				
			Leistungs- schwach	mittlere Leistung	Leistungs- stark	Gesamt
Gruppe	Experimentalgruppe 1	Anzahl	49	51	24	124
		% von Gruppe	39,5 %	41,1 %	19,4 %	100,0 %
	Experimentalgruppe 2	Anzahl	12	34	13	59
		% von Gruppe	20,3 %	57,6 %	22,0 %	100,0 %
	Experimentalgruppe 3	Anzahl	21	14	7	42
		% von Gruppe	50,0 %	33,3 %	16,7 %	100,0 %
	Kontrollgruppe	Anzahl	27	35	11	73
		% von Gruppe	37,0 %	47,9 %	15,1 %	100,0 %
Gesamt		Anzahl	109	134	55	298
		% von Gruppe	36,6 %	45,0 %	18,5 %	100,0 %

Tab. 4.2: Leistungsverteilung der Stichprobe

An der Studie beteiligte Lehrkräfte

Der Unterricht in den Experimentalklassen und in den Vergleichsklassen wurde von den jeweiligen Klassenlehrkräften bzw. den Fachlehrkräften selbst durchgeführt. In den Klassen der Experimentalgruppe 1 unterrichteten fünf Lehrerinnen und zwei Lehrer, Experimentalgruppe 2 führten zwei Lehrerinnen und ein Lehrer, Experimentalgruppe 3 zwei Lehrerinnen durch. Der Vergleichsunterricht wurde von drei Lehrerinnen und einem Lehrer gehalten.

Die Lehrkräfte der Experimentalgruppen wurden vorher eingehend in den entsprechenden Unterrichtseinheiten geschult. Bei der Schulung wurden sowohl fachliche Fragen als auch der genau Ablauf der Unterrichtseinheiten geklärt. Ziel der Lehrertrainingseinheiten war es, die Lehrkräfte für eine adäquate Unterrichtsdurchführung mit den theoretischen Hintergrundinformationen zu versorgen. Außerdem erhielten die Lehrkräfte die Sachinformationen sowie eine ausführliche Unterrichtsskizze (methodische Verlaufsplanung), Kopiervorlagen für Arbeitsblätter sowie das gesamte Unterrichtsmaterial gestellt. Die einzelnen Unterrichtseinheiten wurden abgesprochen. Zudem konnten sich die einzelnen Lehrkräfte während der gesamten Untersuchungsdurchführung mit auftretenden Fragen an mich wenden. Eine Hospitation der durchgeführten Unterrichtseinheiten war nur in wenigen Fällen möglich.

Die Vergleichsklassen erhielten ihren „herkömmlichen“ lehrplankonformen Unterricht ohne den Einsatz von Modellen. Die (erfahrenen) Lehrkräfte planten dabei ihre Einheiten, wie in vergangenen Jahren, in einer Weise, wie sie es zur Erfüllung des Lehrplans als angemessen erachteten, jedoch, nach ihren Aussagen, ohne Analogien zu verwenden.

Berechnungen mit den Stichproben

Soweit nicht anders angegeben, sind die Berechnungen mit der vollen Stichprobe gerechnet. Wenn nur wenige Datensätze fehlen (z.B. durch Krankheit, Vergessen der Frage etc.), wurde die Stichprobengröße (aus Gründen der besseren Lesbarkeit) nicht angegeben. Eine Besonderheit ergibt sich bei den Rechnungen mit Schulleistungen: hier liegt

eine eingeschränkte Stichprobenzahl vor, da nicht alle Schüler alle Noten angaben. Auch bei Rechnungen mit Messzeitwiederholungen wird mit einer eingeschränkten Stichprobengröße gerechnet. Eine Schätzung der Missing Values wurde nicht vorgenommen.

4.1.2 Die Intervention

Im Folgenden wird eine genaue Beschreibung der Intervention gegeben. Grund hierfür ist, dass es beim Erlernen von naturwissenschaftlichen Themen und analogiegestütztem Unterricht ganz entscheidend darauf ankommen dürfte, wie die Intervention aussieht.

Im Unterricht soll zunächst geklärt werden, warum das Thema Strom im alltäglichen Leben eine Rolle spielt, worauf wir Menschen verzichten müssen, wenn der Strom ausfällt, und dass die Menschen in vielen Bereichen sogar vom Strom abhängig sind. Die Schüler sollen dabei eigene Anknüpfungspunkte an das Thema finden. Das Interesse soll geweckt werden. Auch der Begriff der Energie wird als Begriff bereits fallen.

In der *zweiten Unterrichtseinheit* sollen die Schüler lernen, einen einfachen Stromkreis aufzubauen. Auch ohne zu wissen, was denn im Stromkreis genau abläuft, kann auf einer Handlungsebene mit Strom umgegangen werden. Ausgangspunkt des Unterrichts ist ein Puppenhaus, das eine Beleuchtung benötigt. Hier können auch schon Anschlussbedingungen (je ein Pol der Batterie muss mit je einem Anschluss des Lämpchens verbunden sein) geklärt werden. Auf der Handlungsebene sollen die Schüler hier auch den Umgang mit Schraubenziehern üben, Drähte abisolieren lernen etc. Schließlich sollen die Schüler auch noch die Funktionsweise des Schalters und den Aufbau eines Lämpchens kennen lernen. Beim Letzteren gilt es für die Schüler zu erkennen, dass auch über das Lämpchen der Stromkreis geschlossen ist.

Für die Experimentalgruppen 2 und 3 geht es jetzt weiter mit einer Unterrichtseinheit, in der das Geschicklichkeitsspiel „Der heiße Draht“ gebastelt werden soll. Die Schüler sollen dieses Spiel bauen und die Funktionsweise (Herstellen eines Stromkreises) erkennen. Damit geschieht im Wesentlichen nicht viel Neues, die Schüler erhalten aber dennoch dieselbe Menge an physikalischem Unterricht wie die Experimentalgruppen.

Unterrichtseinheit 3 – die für die Experimentalgruppen 1 und 2 auf dem Programm steht – stellt eine der schwierigsten für die Schüler dar. Der Anknüpfungspunkt der Stunde ist der Energiebegriff, der bereits in Unterrichtseinheit 1 vorkam, jedoch meist noch durch alltags-sprachliche Fehlvorstellungen gefüllt ist. In der Unterrichtseinheit soll eine erste Ausdifferenzierung des Begriffs stattfinden. Dazu soll zunächst am Beispiel eines hochgehaltenen Körpers verdeutlicht werden, dass in jedem Körper Energie steckt, auch wenn man es von außen nicht sieht. Je höher ein Körper sich befindet, desto größer ist seine Energie. Ziel der ersten Hälfte der Einheit ist es, die Schüler zu der Erkenntnis zu führen, dass im Stromkreis die Energie linear von der Quelle zum Verbraucher transportiert wird und dass dies dadurch geschieht, dass Ladungsträger (meist Elektronen) zirkulär umlaufen und dabei nicht verbraucht werden.

Bereits in dieser Einheit soll auf das methodische Mittel der Analogie zurückgegriffen werden. Zunächst lernen Schüler ein mechanisches Analogiemodell kennen: Mit Hilfe einer Kurbel wird eine Rolle angetrieben und mittels eines Riemens eine zweite Rolle in Bewegung gesetzt. Mit dieser zweiten Rolle wird dann ein Gewichtsstück gehoben, also die potentielle Energie dieses Gewichtsstückes erhöht. Dieser doch bereits komplexe Zusammenhang wird für die Schüler in ihrer Sprache formuliert und vereinfacht auch mit Hilfe des Mediums Experiment dargestellt.

Die Sicherung erfolgt mit Hilfe folgenden Tafelbildes:

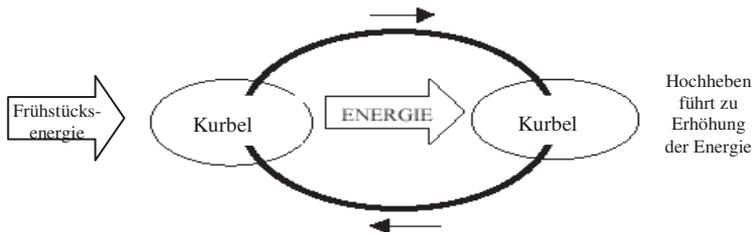


Abb. 4.2: Tafelbild zur mechanischen Kurbelanalgie

Im nächsten Schritt wird der analoge Sachverhalt in einer elektrischen Anordnung wieder aufgenommen. Im Sinne der Phänomenkreise nach Spreckelsen soll den Schülern immer wieder auf verschiedene Arten dasselbe Phänomen (Energietransport linear, bei zirkulärem Fluss des Energieträgers) präsentiert werden. An die Stelle der ersten Rolle tritt nun ein Handkurbelgenerator, der, um in der Sprache der Schüler zu bleiben, als Dynamo bezeichnet wird. Die zweite Rolle wird durch einen Motor ersetzt. Dieser kann wieder ein Gewichtsstück heben. In diesem Fall ist allerdings die Beobachtung des Energietransportmittels (im Gegensatz zum Riemenmodell) nicht mehr möglich. Einzig erkennbar (und aus der vorhergegangenen Unterrichtseinheit bereits bekannt): Es bedarf zweier Leitungen. Dies soll im Sinne einer Förderung des Wissenschaftsverständnisses auch genutzt werden, die Arbeitsweise der Physik deutlich zu machen. Physiker stellen sich hier vor, dass auch in den Leitungen etwas rundum läuft, genau wie der Riemen. Wiederum kann das Tafelbild die Vorstellung stützen:

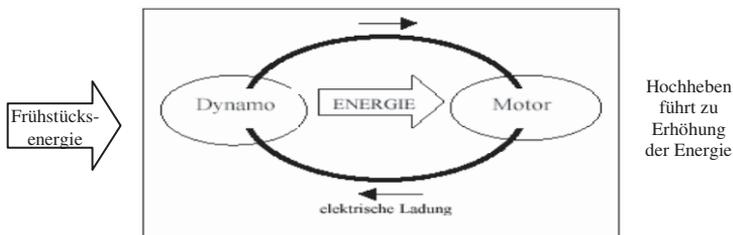


Abb. 4.3: Tafelbild zum Handkurbelgeneratormodell

Als nächstes soll der Motor durch das Lämpchen ersetzt werden. Damit kommt der Unterricht auf das ursprüngliche Problem, den einfachen Stromkreis, zurück. Bei den Schülern bisher bekannte Punkte sollen noch einmal versprochen werden: Der Stromkreis muss geschlossen sein.

Das Kurbeln liefert die Energie an das Lämpchen. Das Lämpchen leuchtet.

Die Schüler wissen noch nicht, warum das Lämpchen leuchtet und was in den Leitungen passiert.

Physiker stellen sich hier – gemeinsam mit den Schülern – vor, dass auch hier etwas umläuft, wissen aber noch nicht was.

An dieser Stelle soll den Schülern ein erstes Teilchenmodell vermittelt werden. Dazu wird ihnen Folgendes erläutert:

Physiker haben folgende Vorstellung entwickelt:

Alle Körper sind aus kleinen Teilchen aufgebaut, die auch mit dem besten Mikroskop nicht sichtbar sind. Das sehen wir z.B. wenn wir Kreide zu Staub zermalmen.

Von den kleinen Teilchen gibt es zweierlei:

„größere“, die auf festen Plätzen sitzen und zwischen denen viel leerer Raum ist.

2000-mal kleinere, die sich in den Hohlräumen bewegen können.

Beim Stromfluss bewegen sich diese kleinen Teilchen im Stromkreis herum, wie der laufende Riemen.

Hierbei wird der Aufbau aus Atomen, die Existenz von Elektronen, Neutronen und Protonen erzählt und den Schülern mitgeteilt, dass es die Elektronen sind, die der Physiker für den Strom verantwortlich macht. Von diesen „Elektrizitätsteilchen“ sollen die Schüler im zweiten Teil der Unterrichtseinheit mit Hilfe kleiner Versuche zur Elektrostatik auf phänomenologischer Ebene einen Zugang erhalten. Wichtig ist dabei, zu erkennen, dass die Teilchen etwas zum Leuchten bringen vermögen, kleine Funken und Blitze schlagen können u.ä. Auch der Sprachgebrauch der Physiker soll hier bei der Zusammenfassung wieder ins Spiel kommen:

Physiker stellen sich vor: In einem Stromkreis fließen Elektrizitätsteilchen vom Minus-Pol durch die eine Leitung zum Lämpchen, durch die andere Leitung zurück zum Plus-Pol der Batterie. Sie sagen dazu: Es fließt elektrischer Strom. Der fließende elektrische Strom bewirkt den Energietransport von der Batterie zur Lampe.

In der *Unterrichtseinheit 4* beschäftigen sich die Experimentalgruppen 1 und 3 mit der Frage: „Wie kommen Physiker auf solche Vorstellungen?“ Mittelpunkt der Stunde sollen hier Wassermodelle sein. Nach einer kurzen Wiederholung der Modelle aus der Unterrichtseinheit 3 sollen die Schüler zunächst folgendes weitere analoge Modell kennen lernen: Der Dynamo wird durch eine Pumpe ersetzt, das Lämpchen durch ein Wasserrad oder eine Turbine und die elektrischen Leitungen durch Wasserleitungen. Wie in Unterrichtseinheit 3 bekommt auch hier die Turbine die Energie von der Pumpe, während das Wasser als Träger rundum läuft.

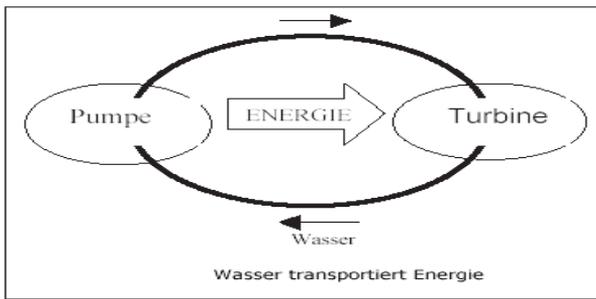


Abb. 4.4: Tafelbild zum Wassermodell

Als nächstes sollen die Schüler sich das analoge Modell selbst handelnd erarbeiten und verstehen lernen. Dazu werden zunächst zwei Gefäße mit Wasser über eine Wasserleitung verbunden. Die daraus zu gewinnende Erkenntnis ist: Solange ein Höhenunterschied besteht, fließt das Wasser. Wenn kein Höhenunterschied mehr vorhanden ist, muss das Wasser wieder angehoben werden. (Wie bei der Batterie, das entspricht dem Ladevorgang.)

Mit diesem Höhenunterschied sollen die Schüler dann ein Wasserrad betreiben. Der Schlauch ist hierfür in der Mitte bei einem Steckverbinder zu öffnen und ein Wasserrad einzusetzen. Stülpt man nun über die beiden Flaschen einen Karton mit der Aufschrift „Batterie“, so ist ganz analog zum Stromkreis der Vorgang der Entladung der Batterie nicht mehr zu sehen. Einzig Sichtbares: das sich drehende Wasserrad, also analog zum Stromkreis der sich drehende Motor oder das leuchtende Lämpchen.

Um einerseits die ständigen „Umschütt-Aufladevorgänge“ zu erleichtern und andererseits um physikalische Arbeitsweisen (hier: technische Verbesserung von Versuchsanordnungen und Modellen) sichtbar zu machen, wird im Anschluss daran ein großes Doppelwassersäulenmodell (nach Hannelore Schwedes 1985) eingesetzt, das selbständig von einer in die andere Säule umpumpt, d.h. hier liegt ein Modell einer „immer vollen Batterie“ vor. So können die wichtigsten Punkte des Modells besprochen werden:

Das Wasser wird im „Verbraucherkreis“ auf Grund des Druckunterschieds in der Doppelwassersäule rundum gedrückt.

Das Wasserrad bekommt seine Energie von der Doppelwassersäule.

Es wird kein Wasser verbraucht, wie man es sich auch im analogen Stromkreis vorstellt. Entwertet wird nur die in der Doppelwassersäule steckende Energie.

Nach dem Doppelwassersäulenmodell wird noch einmal auf das Anfangsmodell (Pumpe-Wasserrad) eingegangen. In den Leitungen befinden sich rote Kügelchen, die die Elektronen darstellen sollen. Es soll geklärt werden, dass Modelle bzw. gegenständliche Realisierungen von Modellen dem Menschen helfen sollen, etwas zu verstehen. Dabei sollen die Schüler erkennen, dass jedes Modell Grenzen hat. Die Grenzen des Wassersäulenmodells liegen z.B. darin, dass die Leitungen beim Aufschneiden Wasser verlieren, die Stromleitungen jedoch keine Elektronen. Zum Abschluss der Stunde sollen die Schüler wieder je nach Experimentalgruppe sich noch einmal selbst oder mit Hilfe der Lehrkraft Gedanken zur Analogie machen.

Den *Abschluss der Sequenz* bildet eine Unterrichtseinheit, die viele noch fehlende Aspekte zum Thema Strom aufgreifen soll. Hier werden an Stationen verschiedene Wirkungen und Gefahren des elektrischen Stromes erarbeitet.

Die Schüler sollen z.B. durch den Bau eines einfachen Elektromagneten die magnetische Wirkung des Stroms kennen lernen.

Mit Hilfe des Zitronenbatteriemodells und einer Apfelbatterie lernen die Kinder die chemische Wirkung kennen. Vom Lämpchen her kennen sie bereits die Leucht- und die Wärmewirkung.

Eine Lesestation, die sicherlich eine Nachbesprechung mit der Lehrkraft erfordert, erörtert Gefahren des Stroms. Verschiedene Stoffe werden auf Leitfähigkeit untersucht.

Ein Lerntagebuch soll die Ergebnisse sichern.

Didaktisch-methodischer Kommentar

Der Stromkreis als Kreis beinhaltet zwei Aspekte, die äußere Form und den Stromfluss. Der Stromfluss wird dabei von Schülern selten bzw. erst nach dem Unterricht bedacht.

Für die Unterrichtseinheiten wurde der Weg über die Energie gewählt, nicht über den Magnetismus. Auch mit Hilfe von Magnetnadeln könnte man nachweisen, dass vor und nach dem Lämpchen gleich viel Strom vorhanden ist. Dazu müsste aber zunächst nachgewiesen werden, dass die gleiche Menge Strom dieselbe Auslenkung der Magnetnadeln hervorruft. Zudem stellt sich hier die Frage, was denn dann verbraucht wird, bzw. warum unsere Alltagssprache vom Verbrauch spricht. Beim Weg über die Energie kann gezeigt werden, dass die für den Menschen nutzbare Energie in Form von Licht und Wärme im Lämpchen verloren geht. Wenn man die Glühbirne nicht gerade zum Heizen von Wasser etc. verwendet, geht die Energie tatsächlich aus dem Bereich des Nutzbaren. In diesem Sinne könnte man hier von einem Energieverbrauch sprechen, auch wenn es physikalisch gesehen eine Energieumwandlung ist. Eines der Ziele, die das Unterrichtskonzept mitverfolgt, ist es, immer wieder auf physikalische Arbeitsweisen aufmerksam zu machen. Zu Unterrichtseinheit 1 bleibt zu sagen, dass Jungen in Vorstudien in einem Brainstorming eher die Begriffe Energie, Volt, „stärker als Feuer“, Mädchen dagegen häufig Geräte, die mit Strom betrieben werden, aufzählen. In Unterrichtseinheit 2 wird zunächst der Weg über die Kabel gegangen.

Für diesen Weg spricht:

Kindern fällt es in Interviews (in Vorstudien) leichter, Stromkreise mit Kabeln zu bauen. Dies liefert ihnen bereits zu Beginn des Unterrichts ein Kompetenzerleben anstelle eines Misserfolgs.

Der mit Kabeln aufgebaute Stromkreis macht den Begriff „Stromkreis“ deutlicher. Im Anschluss daran stellt sich dann die Frage: „Wenn es ein Kreis sein soll, dann muss der Strom wohl auch durch das Lämpchen, ins Lämpchen hinein, und wieder heraus. Wo sind die Stellen am Lämpchen, wo der Strom ein- und austritt?“ An dieser Stelle kann dann der Anschluss ohne Kabel erfolgen und der Weg durch das Lämpchen untersucht werden.

4.2 Messinstrumente der vorliegenden Untersuchung

Quantitative Erhebung

Im Rahmen einer Fragebogenerhebung wurden verschiedene Aspekte des kognitiven Bereichs (Alltagswissen, Stromflussvorstellungen, Stromverbrauchsvorstellungen, Wissen über das Wassermmodell) und Interessenfragen erhoben.

Die Erfassung des kognitiven Lernzuwachses

Im Rahmen der Alltagsfragen wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Items mit Fragen zu Erfahrungswissen (z.B. Einlegen von Batterien, Existenz von Elektroautos, aufladbaren Batterien etc.)
- Items mit Fragen zur Leitfähigkeit von Stoffen
- Items zur Begründung der Leitfähigkeit
- Items zu Stromvorstellungen
- Items mit Fragen zu verschiedenen Stromflussvorstellungen
- Items zu Erfahrungswissen und Vorstellungen zum Stromkreis

Aus den richtigen Antworten auf die Alltagsfragen wird ein „Vorwissenindex I_{Pre} “ berechnet (siehe Kap. 5.1).

Kreisvorstellung

Die Vorstellung, wie Schüler sich den Aufbau eines Stromkreises (Material) vorstellen, wurde auf zwei Arten erfasst. Zum einen sollten die Schüler anhand vorgegebener Skizzen erkennen, ob Stromkreise richtig aufgebaut sind und ob das jeweilige Lämpchen leuchtet. Hieraus können Rückschlüsse darauf gezogen werden, ob Schüler in der Lage sind, auf der Handlungsebene mit Stromkreisen umzugehen. Schüler, die die Einwegzuführungsvorstellung haben, müssten demnach bei den entsprechenden Stromkreisaufbauten angeben, dass das Lämpchen leuchtet. Hier wurden zwei verschiedene Arten von Zeichnungen verwendet: Zeichnungen mit Kabeln und Zeichnungen ohne Kabeln. Hintergrund ist die in Voruntersuchungen festgestellte Differenz im Handlungswissen beim Aufbau von Stromkreisen mit und ohne Kabel.

Zum anderen sollten die Schülerinnen und Schüler zeichnen, wie ein Lämpchen an eine Batterie angeschlossen werden muss, um zu leuchten. Im Anschluss daran sollen Pfeile eingezeichnet werden, in welche Richtung der Strom fließt. Aus dieser Frage soll ein direktes Verständnis des Kreislaufmodells abgeleitet werden. Um durch spätere geschlossene Antwortitems Korrekturen der Zeichnung erkennen zu können, wird als Kontrolle noch die Frage nach der Anzahl der eingezeichneten Leitungen gestellt. Durch das Eintragen der Anschlussart des Lämpchens kann überprüft werden, ob dem Schüler auch der Weg durch das Lämpchen klar ist. Bei einer Kreisvorstellung muss der Strom ja durch das Lämpchen hindurch und durch eine zweite Leitung zurück zur Batterie gelangen. Schließlich werden von den Kindern noch Begründungen für die Zeichnung eingefordert, die wiederum die Flussvorstellung abbilden sollen. In weiteren Items sollen Zustimmung oder Ablehnung zu den einzelnen Vorstellungen (Einweg-, Zweiwege-, Zweistoffzuführungs-, Kreisvorstellung) abgebildet werden.

Skala Einwegzuführung

Die Zeichenaufgabe war eines von zwei Items, die ein Einwegkonzept in verschiedenen Kontexten abbilden sollten. Aus den beiden Items wurde mittels Faktorenanalyse und Reliabilitätsanalyse eine Skala gebildet. Für die Skala Einwegzuführung wurde der dichotomisierte Wert für das Einwegkonzept der Zeichenaufgabe sowie ein Item der Begründung für diese Zeichnung (Aufgabe 16) herangezogen (siehe Tab. 4.1)

	Cronbachs Alpha		
	Pretest	Posttest	Follow Up
	.63	-.--	-.--

- Zeichne Drähte ein, wie du das Lämpchen mit der Batterie verbinden musst, damit es leuchtet. Zeichne mit Pfeilen ein, in welcher Richtung der Strom fließt.
 - Warum hast du so gezeichnet? – Strom aus einem Draht reicht dem Lämpchen aus.

Tab. 4.3: Skala Einwegzuführung

Es ergab sich ein Cronbachs Alpha von .63. Für Posttest und Follow Up-Test ergibt sich kein vernünftiger Wert, da hier das Konzept nicht mehr auftaucht.

Skala Zweiwegekonzept

Die Faktorenanalyse und die Reliabilitätsanalyse ergaben, dass sich die in Tabelle 4.4 dargestellten Items sehr gut zu einer Skala zusammenfassen lassen. Diese Items sollen ein Zweiwegekonzept der Schüler abbilden. Die Items „Das Lämpchen leuchtet, weil durch die Leitungen zwei verschiedene Stoffe zum Lämpchen fließen“, „das Lämpchen nimmt sich den Strom, den es zum Leuchten braucht, aus der Batterie“ sowie „die Batterie gibt dem Lämpchen Strom zum Leuchten“ sind zwar eng gekoppelt mit der Zweistoffzuführungsvorstellung, sind jedoch nicht mit ihr identisch.

	Cronbachs Alpha		
	Pretest	Posttest	Follow Up
	.54	.68	.67

- Zeichne Drähte ein, wie du das Lämpchen mit der Batterie verbinden musst, damit es leuchtet. Zeichne mit Pfeilen ein, in welcher Richtung der Strom fließt.
 - Warum hast du so gezeichnet? – Strom aus einem Draht reicht dem Lämpchen nicht aus, das Lämpchen braucht aus zwei Drähten etwas, damit es genügend Strom bekommt. Strom aus zwei Drähten reicht dem Lämpchen aus.
 - Das Lämpchen leuchtet, weil durch beide Drähte etwas zum Lämpchen fließt.

Tab. 4.4: Skala Zweiwegezuführung

Die Reliabilitätswerte der Skala liegen in allen drei Tests über .50¹¹.

¹¹ Bei Feldforschungen mit Gruppenvergleichen „reicht in der Regel $r = .50$ “; Reliabilitätswerte über .85 sind nur bei Einzelfalldiagnostik entscheidend, vgl. Wellenreuther 2000, S. 280f.

Skala Kreisvorstellung

Zur Erkenntnis der Kreisvorstellung wurden alle Items (Tab. 4.5), die sich physikalisch auf die Kreisvorstellung bezogen, zu einer Skala zusammengefasst.

Die Items ergaben im Pretest ein Cronbachs Alpha von .53, im Posttest und in der Follow Up-Erhebung ein Cronbachs Alpha von .63 (siehe Tab. 4.5).

	Cronbachs Alpha		
	Pretest	Posttest	Follow Up
	.53	.63	.63

- Zeichne Drähte ein, wie du das Lämpchen mit der Batterie verbinden musst, damit es leuchtet. Zeichne mit Pfeilen ein, in welcher Richtung der Strom fließt.
- Warum hast du so gezeichnet? – Der Strom fließt durch das Lämpchen und wieder zur Batterie zurück.
- Strom fließt durch das Lämpchen hindurch und bringt den Glühdraht zum Leuchten.
- Der Strom fließt vor und nach dem Lämpchen gleich schnell.

Tab. 4.5: Skala Kreisvorstellung

Auch für den Aufbau der Kreisvorstellung ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Interventionsgruppen.

Skala Stromverbrauch

Verteilt über den Fragebogen wird immer wieder als Item angeboten, dass der Strom zum Lämpchen fließt und dort verbraucht wird (Frage 7, 12, 17). In Frage 7 lauten die Alternativen „Das Lämpchen behindert den Strom“ und „Das Lämpchen treibt den Strom an.“ Bei den Fragen 12 und 17 ist jeweils die Frage nach der Verifikation bzw. Falsifikation des Satzes „der Strom wird im Lämpchen verbraucht“.

Aus den 3 Items, die im Fragebogen das Verbrauchskonzept abbilden, wird eine Skala gebildet. Die Reliabilität erreicht im Pretest ein Cronbachs Alpha von .46. Hochgerechnet auf 10 Items derselben Trennschärfe ergibt sich ein α_{10} von .74. Der Wortlaut der Items ist folgender:

Das Lämpchen verbraucht Strom.

Der Strom fließt nur zum Lämpchen und wird dort verbraucht.

Das Lämpchen leuchtet, weil Strom aus der Batterie verbraucht wird.

Im Posttest ergibt sich bei den gleichen Items eine Reliabilität von $\alpha=.55$ bzw. $\alpha=.86$

Da der Wortlaut der Items doch sehr ähnlich ist, ließe sich darauf schließen, dass das Verbrauchs- oder Nichtverbrauchskonzept bei den Kindern noch nicht gefestigt ist und je nach Situation anders eingesetzt wird.

Trotzdem wird versucht, einen Tendenzwert für die Verbrauchsvorstellung der einzelnen Kinder zu berechnen. Dazu wurde die Summe aus den Itemwerten gebildet und durch die Anzahl der Items dividiert.

$$VK = \frac{\sum \text{Verbrauchsitems}}{\text{Anzahl(Verbrauchsitems)}}$$

Die Items werden vorher mit 0: „kein Verbrauchskonzept“ und 1: „Verbrauchskonzept“ kodiert. Damit ergibt sich für die inhaltliche Interpretation ein Wert zwischen 0 und 1. Die

Ausprägung 1 besagt, dass die betreffende Person in jeder der 3 Situationen sofort an den Stromverbrauch dachte. Die Ausprägung 0 besagt, dass in jedem der Fälle ein Stromverbrauch ausgeschlossen wurde. Je höher also der Wert, umso mehr glauben die Schülerinnen und Schüler, dass Strom verbraucht wird und umso sicherer sind sie sich des Stromverbrauchs.

Fragen zum Wassermodell

Zum Wassermodell werden nach dem Unterricht (also wenn die Schüler das Modell auch kennen) in den Gruppen, in denen das Modell auch im Unterricht behandelt wurde (Experimentalgruppen 1 und 3) in einem Zusatzfragebogen „Wasser“ zunächst Fragen zum Wissen über das Wassermodell gestellt. Schließlich sollen die Schüler Stromkreis und Wasserkreis vergleichen, Gemeinsamkeiten von Stromkreis und Wasserkreis feststellen und darüber urteilen, wie gut das Modell Wasserkreis ihrer Meinung nach den Stromkreis abbildet.

Skala Akzeptanz des Wassermodells

Um eine Skala für die Akzeptanz des Modells zu erstellen, wurde die Frage, ob Wasserkreis und Stromkreis etwas gemeinsam haben, in „ja“ und „nein“ unterteilt (Ausprägung 1 entspricht ja, Ausprägung 2 entspricht nein). Die vierstufige Skala der Frage „Wie gut stellt das Modell Wasserkreis den Stromkreis dar?“ wurde auf das Intervall [0,1] normiert. Die Reliabilität der Skala ist mit .25 (bzw. .63 auf 10 Items hochgerechnet) nicht besonders gut.

Durch Summenbildung und Normierung wurde ein Index für die Akzeptanz für jeden Schüler berechnet. Dieser Wert liegt, in Folge der Normierungen, zwischen 0 und 1, wobei 0 hier für die Ablehnung des Modells und 1 für die „völlige“ Akzeptanz des Modells stehen soll.

Die Erfassung des Interesses am Thema Strom und der Interessenveränderung

Der Fragebogen zur Erhebung des Interesses am Thema Strom entstand in Anlehnung an die Regensburger Interessenstudie „Interessen von Mädchen und Jungen im Sachunterricht der Grundschule“ (Hartinger, Roßberger 2001, Fragenblock 1) und an die Dissertation „Die Bedeutung von Lehrer- und Unterrichtsvariablen für den Wissenserwerb und die Interessenförderung im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts“ (Franz 2006, Fragenblöcke 2-9).

Der erste Fragenblock soll allgemein das Interesse am Unterrichtsthema Strom erfassen. Fragenblock 2 erfasst das spezifische Sachinteresse an Unterthemen des Themas Strom. Die Fragenblöcke 3 und 4 gehen speziell auf den Kontext Schule bzw. zu Hause ein. Die Fragenblöcke 5-9 erfassen das Interesse an Medien und Spielsachen zum Thema Strom. Die einzelnen Items besitzen verschiedene Anteile am Interesse zu Strom (vgl. Hoffmann & Lehrke 1998, Hartinger & Roßberger 2001). Sie können jeweils unterschiedlich zu Skalen verschiedener Sachgebiete, Kontexte oder Tätigkeiten zusammengefasst werden. Die nachfolgende Übersicht zeigt die Bündelung der Items zu Skalen, die der Auswertung des Fragebogens in Kapitel 6 zugrunde liegt.

		Sache	Kontext	Tätigkeit	
		A: Allgemeines B: Bauteil E: Experiment R: Reparatur S: Spielzeug WG: Wirkungen & Gefahren	A: alltags- bezogen T: Theorie- bezogen	S: Schule HF: Heim und Freizeit	
				r: rezeptiv pk: praktisch konstruktiv m: medialer Umgang mit dem Thema s: spielen	
allg_1	schon immer lernen	A	T	S	r
allg_2	interessiert mich sehr	A	T	S	r
allg_3	noch mehr wissen	A	T	S	r
allg_4	zu Hause beschäftigen	A	T	S	pk
allg_5	interessante Sachen	A	T	S	r
allg_6	mit anderen sprechen	A	T	S	r
th_1	Welche Teile hat eine Glühbirne	B	A	S	r
th_2	Wie bringe ich Glühbirne zum Leuchten	B	A	S	pk
th_3	Wie baue ich einen Stromkreis	B	A	S	pk
th_4	Beleuchtung bauen	B	A	S	pk
th_5	wie funktioniert ein Schalter	B	A	S	r
th_6	elektrische Türglocke	B	A	S	r
th_7	Spielzeugauto	S	A	S	
th_8	Was kann Strom bewirken	WG	A	S	r
th_9	welche Gegenstände leiten Strom	B	A	S	r
th_10	Warum gefährlich	WG	A	S	r
th_11	Wie vor Gefahren schützen	WG	A	S	r
schul_1	Lehrerin Versuche	E	--	S	r
schul_2	Überprüfen durch welche Gegenstände	B	A	S	pk
schul_3	Untersuchen wie Stromkreis funktioniert	B	A	S	pk
schul_4	Schalter	B	A	S	pk
schul_5	Beleuchtung bauen	B	A	S	pk
schul_6	Gerät bauen, z.B. Türglocke	B	A	S	pk
haus_1	Batterien wechseln	R	A	HF	pk
haus_2	Beleuchtung bauen	B	A	HF	pk
haus_3	bei Reparaturen zusehen	R	A	HF	r
haus_4	Beleuchtung reparieren	R	A	HF	pk
le_1	spannende Experimente	E	T	HF	m
le_2	Wissenswertes	A	T	HF	m
tv_1	Peter Lustig	A	--	HF	m
tv_2	Christoph	A	--	HF	m
web_1	Informationen	A	T	HF	m
web_2	Experimentieranleitungen	E	T	HF	m
spiel_1	Baukasten	S	A	HF	s
spiel_2	Experimentierkasten	S	A	HF	s
spiel_3	Modelleisenbahn	S	A	HF	s
spiel_4	Ferngesteuertes Auto...	S	A	HF	s
expert	Stromexperten zusehen	A	T	HF	r

Tab. 4.6: Aufteilung der Interesentems auf Skalen

Zur Prüfung der Reliabilität der Skalen Reliabilität am Sachgebiet wurde jeweils für Pretest, Posttest und Follow Up-Erhebung Cronbachs Alpha bestimmt (siehe Tab. 4.7).

	Cronbachs Alpha		
	Pretest	Posttest	Follow Up- Erhebung
Interesse an „Strom“ allgemein(11 Items)	.76	.85	.85
Interesse an elektrischen Bauteilen (13 Items)	.86	.88	.90
Interesse an technischem Spielzeug (5 Items)	.68	.75	.77
Interesse an Experimenten zum Thema Strom (4 Items)	.49	.63	.65
Interesse an Reparaturen von elektrischen Geräten (3 Items)	.62	.67	.68
Interesse an Wirkungen und Gefahren des Stroms (3 Items)	.49	.70	.76

Tab. 4.7: Skalen Interesse am Sachgebiet mit Reliabilitätswerten Cronbachs Alphas (in Klammern: Anzahl der Items)

Die Werte sind meist deutlich über .50. Die Cronbachs Alphas der beiden Ausnahmen („Interesse an Experimenten zum Thema Strom“ und „Interesse an Wirkungen und Gefahren des Stroms“) werden im Posttest und in der Follow Up-Erhebung ebenfalls deutlich höher. Die Skalen für Interesse durch den Kontext weisen gute bis sehr gute Reliabilitäten¹² auf (vgl. Tab. 4.8).

	Cronbachs Alpha Pretest	Cronbachs Alpha Posttest	Cronbachs Alpha Follow Up- Erhebung
Interesse durch einen anwendungsorientierten Kontext (24 Items)	.88	.90	.92
Interesse durch einen theorieorientierten Kontext (10 Items)	.79	.87	.86
Interesse durch einen schulischen Kontext (23 Items)	.88	.92	.93
Interesse durch den Kontext „Heim- und Freizeit“ (14 Items)	.81	.86	.87

Tab. 4.8: Skalen Interesse durch den Kontext mit Reliabilitätswerten Cronbachs Alpha (in Klammern: Anzahl der Items)

Die Skalen zum Interesse an Tätigkeiten weisen ebenfalls gute bis sehr gute Reliabilitätswerte auf (vgl. Tab. 4.9).

¹² Bei Feldforschungen mit Gruppenvergleichen „reicht in der Regel $r=.50$ “; Reliabilitätswerte über .85 sind nur bei Einzelfalldiagnostik entscheidend, vgl. Wellenreuther 2000, S. 280f.

	Cronbachs Alpha Pretest	Cronbachs Alpha Posttest	Cronbachs Alpha Follow Up- Erhebung
Interesse an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene (14 Items)	.82	.87	.89
Interesse an Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene (12 Items)	.81	.84	.86
Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom (6 Items)	.73	.81	.76
Interesse am Spielen mit technischen Geräten (4 Items)	.68	.75	.77

Tab. 4.9: Skalen Interesse an Tätigkeiten mit Reliabilitätswerten Cronbachs Alpha (in Klammern: Anzahl der Items)

Qualitative Erhebung

Zur inhaltlichen Auseinandersetzung der Schüler mit dem Thema Strom wurden mit Kindern der Experimentalgruppen 1 und 2 leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Ein Teil der geführten Interviews bediente sich dabei der Methode der Akzeptanzbefragung (Wiesner 1995). Die Interviews sollten unter anderem auch Denkvorgänge der Kinder genauer aufzeigen, als dies Fragebögen können. Außerdem können die Interviews zeigen, inwieweit Wissen und Handlung z.B. beim Aufbau eines Stromkreises übereinstimmen.

In den Interviews sollten Schüler vor dem Unterricht zunächst ihre Vorerfahrungen zum Thema Strom berichten. Nach dem Unterricht wurde die Frage nach den Vorerfahrungen nicht mehr gestellt.

Im Interview sollten die Schüler dann Ihre Vorstellung von elektrischem Strom beschreiben und erläutern, was sie sich unter einer Stromquelle vorstellen. Danach sollte der praktisch-handelnde Aufbau eines Stromkreises Stromflussvorstellungen der Schüler aufzeigen. Eventuell korrigierte Fehlvorstellungen sollten begründet werden. Dadurch sollte, z.B. bei einem sich zeigenden Einwegmodell und dem daraus folgenden Übergang zu zwei Kabeln, deutlich gemacht werden, ob es sich um ein Zweiwegmodell oder um ein Kreiskonzept handelte.

Der Hinweis auf den Begriff „Stromkreis“ sollte die Abrufbarkeit der beiden Deutungen „Formähnlichkeit“ oder „strukturelle Ähnlichkeit“ dieses Begriffes untersuchen. Weiter sollte die Frage nach der Vorstellung des Stromverbrauchs zur Sprache kommen. Mittels einer Akzeptanzbefragung sollte den Schülern die physikalisch korrekte Erklärung für den Stromfluss geliefert werden. Die Schüler sollten diese mit ihren eigenen Worten wiederholen und anschließend auf eine andere Situation anwenden. Nach dem Unterricht wurden Fragen zur Ähnlichkeit der Modelle mit dem Stromkreis gestellt. Die Schüler wurden dabei mit Abbildungen der Modelle und Schemazeichnungen unterstützt.

ERGEBNISSE

5 Alltagsvorstellungen und Lernzuwachs zu den Themen „Strom“ und „Stromkreis“

5.1 Alltagsvorstellungen, Vorerfahrungen und deren Veränderung durch die Intervention

Das folgende Kapitel soll zunächst vor der Intervention vorhandene Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen aufzeigen. Die Beschreibung der Messinstrumente, Skalen und der Items finden sich in Kapitel 4.2 (Messinstrumente der vorliegenden Untersuchung). Aus den Items wird ein Vorwissensindex berechnet. Anschließend werden die Daten auf der Ebene von Einzelitems ausgewertet. Die einzelnen Items werden hinsichtlich Ihrer Häufigkeiten im Antwortverhalten ausgewertet. Zusätzlich wird mittels Varianzanalysen ermittelt, inwiefern sich bestimmte Schülergruppen (Jungen – Mädchen, leistungsstarke – leistungsschwache Schüler (Einteilung siehe Kapitel 4.1.1 Stichprobe), Schüler der verschiedenen Experimental- bzw. Kontrollgruppe) bereits zu Beginn der Untersuchung unterscheiden. Mit dem Begriff Gruppe ist im Folgenden die Aufteilung in die einzelnen Experimentalgruppen oder die Kontrollgruppe gemeint.

Die Items wurden zur Auswertung in bestimmte Themenkomplexe sortiert:

Nach Erfahrungswissen und Alltagswissen zur Leitfähigkeit von Stoffen und deren Begründungen werden Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler von Strom betrachtet.

Jeweils im Anschluss an die einzelnen Themenkomplexe werden Veränderungen der aufgezeigten Vorstellungen durch die Intervention aufgezeigt. Mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messzeitwiederholung (Lösungsansatz: allgemeines lineares Modell nach Cohen) wurden Veränderungen untersucht. Besonders bemerkenswerte Ergebnisse wurden graphisch veranschaulicht. Andere Ergebnisse wurden nur im Fließtext beschrieben. Die insgesamt recht ausführliche Darstellung der Ergebnisse dient dem Ziel, eine gründliche und umfassende Zusammenschau der Ergebnisse zu präsentieren. Es wurden jedoch nicht alle berechneten Grafiken dargestellt. Eine knappere Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Kapitel 5.6.

Für die Darstellung der Grafiken gilt zu beachten: Um Effekte besser darstellen zu können, wurde als Skalierung nicht die ganze Skala, sondern jeweils nur der Ausschnitt, in dem die Ergebnisse lagen, berücksichtigt.

5.1.1 Vorwissen

Welche Erfahrungen im Kontext von elektrischem Strom haben Schülerinnen und Schüler der 3. Jahrgangsstufe? Welche Vorstellungen zu Strom und Stromkreis haben sie entwickelt?

„Wenn Schülerinnen und Schüler in den Sachunterricht oder in den Physikunterricht hinein kommen, so haben sie in der Regel bereits in vielfältigen Alltagserfahrungen tief verankerte Vorstellungen zu Begriffen und Phänomenen und Prinzipien entwickelt, um die es im Unterricht gehen soll. Die meisten dieser Vorstellungen stimmen mit den zu lernenden wissenschaftlichen Vorstellungen nicht überein.“ (Duit. In: Kircher und Schneider, S. 1). So soll zunächst in einem Vorwissenindex der Umfang dieser Vorstellungen festgestellt werden, bevor, auf der Ebene von Einzelitems, die Art der Vorstellungen genauer untersucht wird.

Berechnung eines „Vorwissenindex“ I_{Pre}

Zunächst wurde aus folgenden Variablen ein Vorwissenindex I_{Pre} berechnet (siehe Kap. 4.2):

„Erfahrungen mit dem Einlegen von Taschenlampenbatterien“

„Leitfähigkeit von Eisen, Aluminium, Porzellan, Wasser, Plastik“ (insgesamt 5 Items)

„Begründung der Leitfähigkeit (mit Hilfe der Eigenschaften fest, länglich, metallisch, glänzend“ (insgesamt 4 Items)

„Es gibt Autos, die mit Strom fahren.“

„Ein Stromkreis muss rund sein.“

„Es gibt aufladbare Batterien.“

„Aus dem Pluspol einer Batterie kommt mehr Strom als aus dem Minuspol.“

Vorstellungen von „Strom“

„Fließt bei geöffnetem Schalter Strom?“

„Der Stromkreis ist richtig aufgebaut aber das Lämpchen leuchtet nicht. Woran könnte es liegen?“ (insgesamt 5 Items: Lämpchen zu klein, Lämpchen kaputt, Batterie „leer“, Drähte zu lang, das Stehen auf einem Holztisch)

Die 21 Items wurden dabei gleich gewichtet, da die inhaltlichen Schwerpunkte gleichermaßen berücksichtigt werden sollen. Die Anzahl richtiger Items wurde anschließend durch die Gesamtzahl der Items geteilt.

$$I_{Pre} = \frac{\sum_i rA_i}{i}$$

Damit ergibt sich für jeden Schüler ein Index, dessen Wert zwischen 0 und 1 liegt.

Der Gesamtmittelwert liegt bei 0,70 (SD=0,12).

Mittels Varianzanalyse (ANOVA) wurde berechnet, dass sich die Indizes der Gruppen signifikant unterscheiden ($p < 0,01$). Das Vorwissen und die Vorerfahrungen der Kontrollgruppe sind im Mittel höher als die der Experimentalgruppen (siehe Abb. 5.1).

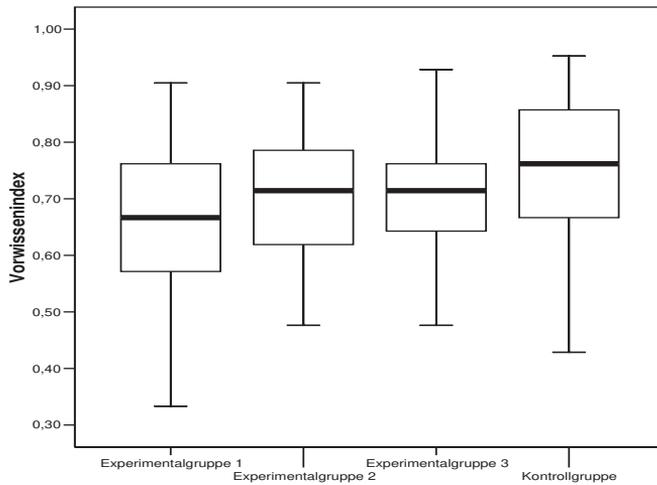


Abb. 5.1: Streuung des Vorwissens in den Experimentalgruppen

Deshalb wurden für spätere Berechnungen, beim Vergleich der Kontrollgruppe mit den Experimentalgruppen, auch die Werte des Pretests berücksichtigt und Messwiederholungen gerechnet.

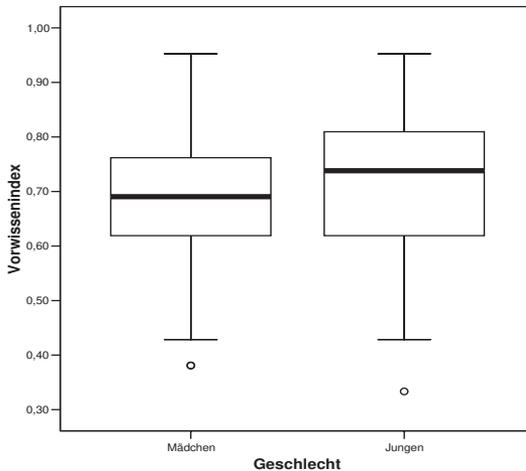


Abb. 5.2: Abhängigkeit des Vorwissens vom Geschlecht

Neben den genannten Unterschieden zwischen den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe lassen sich Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen feststellen ($p < 0,05$). Jungen haben im skizzierten Bereich erwartungsgemäß höhere Erfahrungswerte und ein höheres Vorwissen (siehe Abb. 5.2).

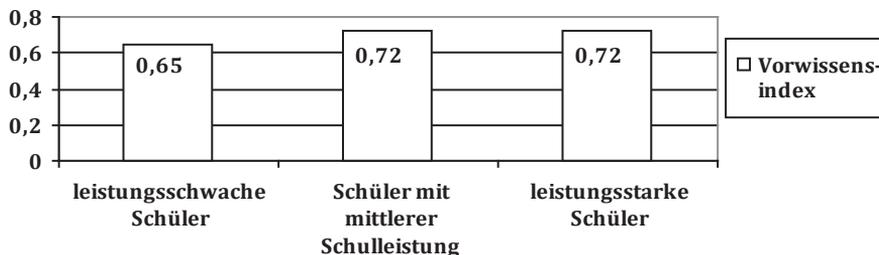


Abb. 5.3: Abhängigkeit des Vorwissenindex von der Schulleistung

Der errechnete Vorwissenindex korreliert nicht mit der HSU-Note allein, jedoch positiv mit der Schulleistung (in Bereiche eingeteilte Notendurchschnitte) der Schüler ($p < 0,01$) (siehe Abb. 5.3). Dabei ist der Unterschied zwischen der mittleren und der guten Leistungsgruppe sehr gering, die leistungsschwachen Schüler liegen jedoch eine halbe Standardabweichung (0,066) unter dem Wert der mittleren Gruppe.

Auswirkungen der Intervention auf Vorerfahrungen und Vorwissen der Schüler – Die Entwicklung des Wissensindex

Nach dem oben angegebenen Verfahren wurde für die beiden weiteren Messzeitpunkte ebenso Indizes (I_{Post} und I_{FU}) berechnet.

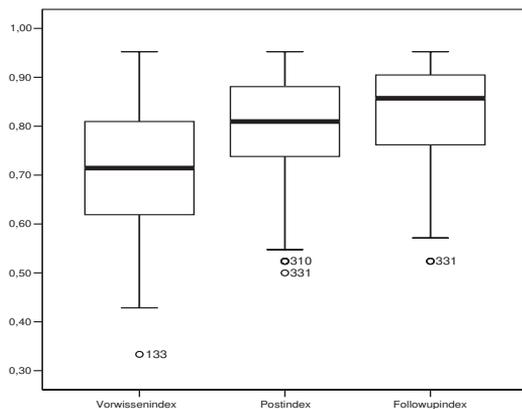


Abb. 5.4: Die Entwicklung des Wissensindex der gesamten Stichprobe

Es ergab sich von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt ein signifikanter Lernzuwachs bei allen teilnehmenden Schülerinnen und Schülern ($p < 0,01$, siehe Abb. 5.4). Diese Wissensentwicklung fand bei Mädchen und Jungen gleichermaßen statt. Abhängig jedoch ist die Entwicklung des Index von der Gruppe, in der sich die Schüler befanden ($p = 0,05$, Abb. 5.5). Die Kontrollgruppe wies bereits ein hohes Ausgangsniveau auf. Die steilsten Kurven zeigen an, dass der Lernzuwachs in den Experimentalgruppen 1 und 2 am größten war. Experimentalgruppe 2 fällt zur Follow Up-Untersuchung hin wieder ab. Experimentalgruppe 3 hat von allen Gruppen einen mittleren Lernzuwachs. Die beiden Gruppen, die das Wassermmodell im Unterricht behandelten (EG 1, EG 3), erzielen ebenso wie die Kontrollgruppe vom Posttest zur Follow Up-Erhebung noch bessere Ergebnisse. Bei der Experimentalgruppe 2 fällt der Index im Follow Up-Test ab. Die Kontrollgruppe zeigt den geringsten Anstieg von Pretest zu Posttest, also in dem Zeitraum, der durch den Unterricht beeinflusst wurde. Ansonsten ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge.

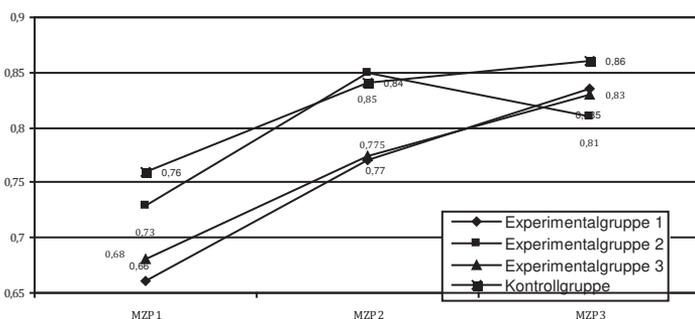


Abb. 5.5: Die Entwicklung des Wissensindex in Abhängigkeit von der Gruppe

Tendenziell weisen Mädchen in EG 2 direkt nach dem Unterricht einen um 0,2 höheren Index auf als Jungen (obwohl dieser vor dem Unterricht um 0,05 niedriger war). Das heißt, es könnte das mechanische Modell für die Mädchen einen höheren Lerneffekt für Fragen haben, die auch im Alltag entstehendes Wissen behandeln. Dies müsste in einer Replikationsstudie überprüft werden. Langfristig nivelliert sich der Effekt jedoch wieder (siehe Abb. 5.6).

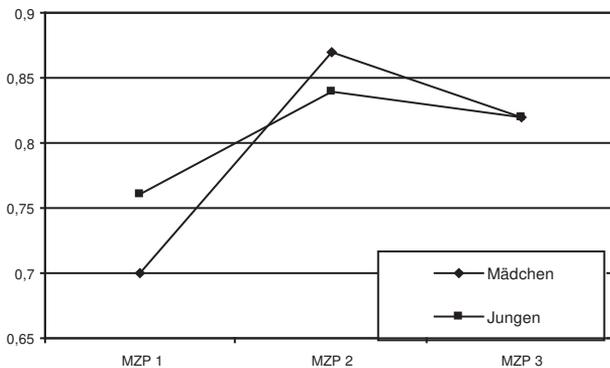


Abb. 5.6: Tendenzen in EG 2: Mädchen profitieren im Bezug auf Alltagsfragen stärker vom mechanischen Modell

Vorerfahrungen der Schüler in den Interviews

Wie die Interviews zeigten, sind Vorerfahrungen, die die Schüler vor der Schule mit Strom machen, eher selten bewusst, systematisch oder so, dass sie von den Schülern selbst für erwähnenswert gehalten werden. Der tägliche Umgang mit Strom, den jedes Kind beim Einschalten des Lichtes, Toasters, E-Herds, Fernsehgerätes, Computers etc. hat, wird in den Interviews von keinem Kind erwähnt. Als Vorerfahrungen finden besondere Ereignisse (z.B. das Anfassen eines Elektrozauns), dem Vater bei Reparaturarbeiten helfen, oder mit dem Vater experimentieren, bei den Kindern Beachtung. Als weitere Vorerfahrungen berichten einige Schüler über Fernsehsendungen zum Thema Strom (vgl. Abb. 5.7).

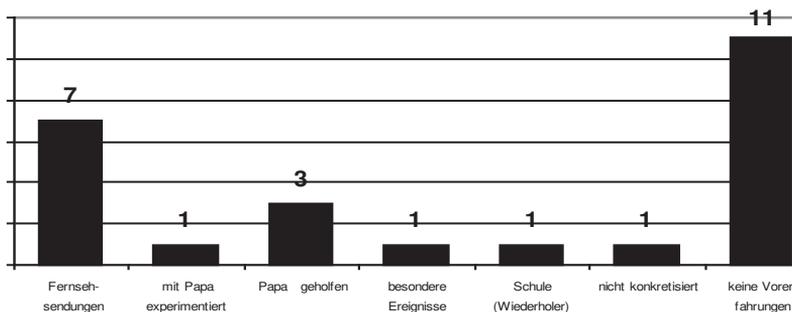


Abb. 5.7: Im Interview berichtete Vorerfahrungen

5.1.2 Allgemeines Wissen im Bereich Elektrizitätslehre

Auswertung von Einzelitems

Im Folgenden sollen nun Einzelitems genauer analysiert werden. Dabei stehen Fragen der Alltags- und Vorerfahrungen im Mittelpunkt.

71 % der Schülerinnen und Schüler wissen, wie Batterien in eine Taschenlampe einzulegen sind. Hier existieren vor dem Unterricht signifikante Gruppenunterschiede ($p=0,013$). 61 % der Experimentalgruppe 1, 66 % der Experimentalgruppe 2, 78 % der Experimentalgruppe 3 und 80 % der Kontrollgruppe erzielten die richtige Lösung.

„Leitet (Eisen, Porzellan, Wasser, Plastik, Aluminium) den Strom?“ (Richtige Antworten)			
(in %)	Pretest	Posttest	Follow up
Eisen	73,3	92,7	95,8
Porzellan	87,1	92,5	94,0
Wasser	60,8	85,3	80,3
Plastik	86,1	95,6	94,6
Aluminium	47,4	52,8	55,6

Tab. 5.1: Schülerwissen zur Leitfähigkeit von Stoffen, umkodierte Antworten

59 % aller beteiligten Schülerinnen und Schüler kennen Autos, die mit Strom fahren. Hier gibt es einen Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,02$). Während in der Experimentalgruppe 1 und Kontrollgruppe mit 52 % bzw. 55 % nur etwa die Hälfte die richtige Antwort gibt, sind es in EG2 und EG3 69 % bzw. 72 %. Außerdem findet sich hier ein Unterschied zwischen den Geschlechtern (Mädchen 55 %, Jungen 66 %, $p=0,015$). Es ist eine tendenzielle Beziehung der richtigen Antworten zu den Schulleistungen festzustellen ($p=0,09$). Je höher die Schulleistung, umso bekannter sind z.B. Autos, die mit Strom fahren. Die Gruppen unterscheiden sich auch hier signifikant auf 10 % Niveau ($p=0,08$). EG 1 und EG 3 weisen mit 89 % bzw. 84 % die geringeren Werte auf, als EG 2 (95 %) und KG (94 %). Jungen geben tendenziell häufiger an, dass es aufladbare Batterien gibt, als Mädchen (Richtige Antworten_{(Mädchen)}}=89 %, $RA_{(Jungen)}$ =92 %). Die Kenntnis korreliert auch signifikant mit der Schulleistung ($p=0,03$). Je höher die Schulleistung, umso bekannter sind den Schülern schon vor dem Unterricht aufladbare Batterien.

Die Untersuchung des (Vor-)Wissens in Bezug auf die Leitfähigkeit der Materialien ergibt folgendes Bild (siehe auch Tabelle 5.1): 73,3 % der Schüler wissen vor dem Unterricht, dass Eisen Strom leitet. 87,1 % kennen die isolierende Wirkung von Porzellan, 86,1 % die von Plastik. 60,8 % der Schüler und Schülerinnen wissen, dass Wasser den Strom leitet, jedoch kennen nur 47,4 % die Leitfähigkeit von Aluminium.

Die Kenntnis der Leitfähigkeit verschiedener Materialien ist nicht einheitlich bei den Schülerinnen und Schülern. Es finden sich z.T. signifikante Unterschiede. So differiert die Leitfähigkeitsvorstellung von Eisen z.B. in Abhängigkeit von der Gruppe ($p<0,01$), vom Geschlecht ($p=0,03$) und von den Schulleistungen ($p=0,03$). Bei Porzellan ist ebenfalls ein Zusammenhang mit Gruppe, Geschlecht und Leistung festzustellen ($p_{\text{Gruppe}}=0,01$, $p_{\text{Geschlecht}}=0,06$, $p_{\text{Leistung}}=0,04$). Das Vorwissen in Bezug auf die Leitfähigkeit von Wasser

unterscheidet sich nur in den verschiedenen Gruppen ($p < 0,01$). Das Wissen um die Leitfähigkeit von Porzellan und Aluminium ist bei allen Schülern gleichermaßen ausgeprägt. Die Abhängigkeit vom Geschlecht weist die Besonderheit auf, dass Jungen insbesondere die gute Leitfähigkeit von Eisen kennen, Mädchen jedoch die schlechte Leitfähigkeit von Porzellan. Zu den Zusammenhängen zu Schulleistungen ist zu vermerken, dass die Schulleistungen positiv mit dem Vorwissen um die Leitfähigkeit von Eisen und Porzellan korrelieren. Genaue Angaben einzelner Werte der Items im Kontext mit den Faktoren Gruppe, Geschlecht und Leistung finden sich im Zusammenhang mit Veränderungen in der zweiten Hälfte dieses Kapitels.

Stoffe leiten Strom, weil sie (fest, aus Metall, länglich) sind, oder glänzen.			
(in %)	Pretest	Posttest	Follow up
Unabhängig von der Eigenschaft Feststoff	72,6	84,9	82,6
Metall	87,0	91,8	92,0
Unabhängigkeit vom Glanz	90,8	95,0	96,8
Unabhängigkeit von der Form (länglich)	76,9	89,9	90,6

Tab. 5.2: Schülerbegründungen zur Leitfähigkeit von Stoffen, umkodierte Antworten (Richtige Antworten)

Als Begründungen für die Leitfähigkeit geben 87,0 % der Schülerinnen und Schüler die metallische Eigenschaft als Ursache an, während sie zu 72,6 % die Eigenschaft Festkörper, zu 90,8 % den Glanz und die längliche Form des Drahtes zu 76,9 % als Ursache der Leitfähigkeit korrekterweise ablehnen (siehe Tabelle 5.2).

Die metallische Eigenschaft wird dabei von ca. 10 % mehr Jungen als Mädchen für die Leitfähigkeit verantwortlich gemacht ($p = 0,09$). Die Eigenschaft „Festkörper“ wird von 10 % mehr Jungen als Mädchen für nicht verantwortlich für die Leitfähigkeit befunden ($p = 0,02$). Auch zur Schulleistung besteht ein signifikanter Zusammenhang ($p = 0,01$). Dabei wissen 83 % der Schüler der mittleren Leistungsgruppe, dass die Leitfähigkeit nicht von der Eigenschaft „fest“ abhängt, während dies bei den leistungsschwachen Schülern nur 65 % und bei den leistungsstarken Schülern 70 % wissen. Es findet sich auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Form des Stoffes als Leitfähigkeitsbegründung und den verschiedenen Interventionsgruppen ($p = 0,04$).

5.1.3 Auswirkungen verschiedener Interventionen und Subgruppenunterschiede

Auswirkungen der Intervention auf Vorerfahrungen und Vorwissen der Schüler

Mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung lässt sich nachweisen, dass die Kenntnis über richtig eingelegte Batterien in eine Taschenlampe zwar signifikant vom Messzeitpunkt abhängt, dass jedoch hier die Gruppen- und Geschlechtszugehörigkeit keinen Einfluss haben. Die Anzahl richtiger Antworten steigt von 71 % im Pretest auf 80 % im Posttest und 85 % in der Follow Up-Untersuchung.

Die befragten Schüler geben nach dem Unterricht stärker als vor dem Unterricht an, dass es Autos gibt, die mit Strom fahren ($H_{\text{Post}}=66,8\%$; $H_{\text{FU}}=73,8\%$; $p=0,06$). Hier treten erwartungsgemäß keine signifikanten Unterschiede im Wissenszuwachs der Gruppen auf, wobei im Unterricht auf den Punkt Elektroautos auch in keiner der Gruppen explizit eingegangen wurde. Die geschlechtsabhängigen sowie die Gruppenunterschiede bleiben erhalten. Auch das Wissen im Leistungsgefälle der Klassen verändert sich nicht.

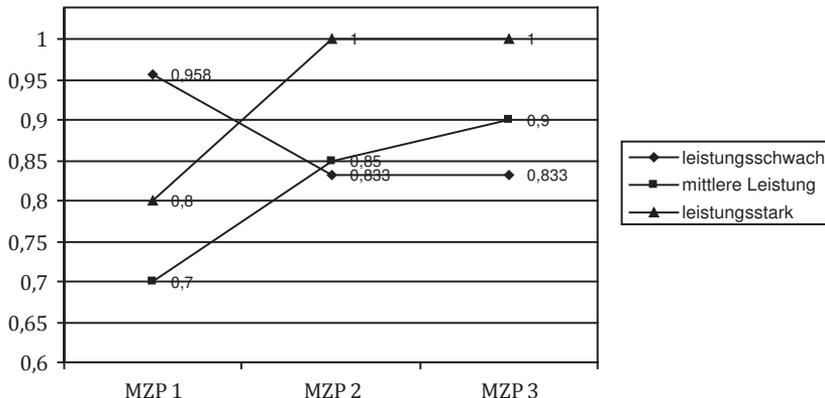


Abb. 5.8: Kenntnis von aufladbaren Batterien nach Leistungsgruppen in der Experimentalgruppe 3 (Messzeitwiederholung)

Die Kenntnis von der Existenz aufladbarer Batterien nimmt zu. Die erzielten Werte richtiger Antworten steigern sich mit Ausnahme der leistungsschwachen Schüler der Experimentalgruppe 3 signifikant von Untersuchungszeitpunkt zu Untersuchungszeitpunkt ($p=0,07$). Die Schüler profitieren signifikant vom Vorwissen ($p_{(\text{Zeit}*\text{Vorwissensgruppe})}=0,08$). Im Posttest und in der Follow Up-Untersuchung wird die tendenzielle Überlegenheit der Jungen in Bezug auf richtige Antworten bei dieser Frage signifikant ($p_{\text{Post}}<0,01$, $p_{\text{FU}}=0,07$, Richtige Antworten_(Mädchen, Post)=83 %, $RA_{(M, \text{FU})}=91\%$, $RA_{(\text{Jungen, Post})}=96\%$, $RA_{(J, \text{FU})}=95\%$).

Die positive Korrelation zwischen Schulleistung und Kenntnis von aufladbaren Batterien des Pretests bleibt erhalten, die genaue Veränderung der Werte ist aber abhängig von der Gruppe ($p_{(\text{Zeit}*Gruppe*Leistung)}=0,04$). Auffällig ist auch, dass in der Experimentalgruppe 3 die Kenntnis von aufladbaren Batterien bei den Leistungsschwachen sinkt (siehe Abb. 5.8), während sie in allen anderen Gruppen steigt. Gerade Experimentalgruppe 3 lernte jedoch im Rahmen von Umschüttvorgängen beim (Schüler-)Wassermodell Aufladevorgänge der Batterie kennen.

Das Wissen zum Thema Leitfähigkeit steigt nach dem Unterricht. 92,7 % gehen im Posttest davon aus, dass Eisen den Strom leitet. Bei der Follow Up-Erhebung sind es sogar 95,8 %. Die isolierende Wirkung von Porzellan und Plastik kennen im Posttest 92,5 % bzw. 95,6 %, im Follow Up-Test 94,0 % bzw. 94,6 %. Die Leitfähigkeit von Wasser und Aluminium ist 85,3 % bzw. 52,8 % der Schüler nach dem Unterricht bekannt, längerfristig 80,3 % bzw. 55,6 % aller Schüler (siehe Tab. 5.1).

Differenziert ergibt sich für das Wissen zur *Leitfähigkeit von Eisen* Folgendes: Auch nach dem Unterricht bleiben die signifikanten Unterschiede bezüglich Gruppe ($p_{\text{post}} < 0,01$, $p_{\text{FU}} = 0,08$), Geschlecht ($p_{\text{Post}} = 0,04$, $p_{\text{FU}} = 0,01$) und Leistung ($p_{\text{Post}} = 0,01$, $p_{\text{FU}} = 0,08$) erhalten. Die Veränderung hängt signifikant vom Messzeitpunkt ($p_{\text{Zeit}} < 0,01$) und von der Gruppe ($p_{\text{Zeit} * \text{Gruppe}} = 0,03$) ab. Den größten Lernzuwachs haben die Experimentalgruppen 1 und 3, gefolgt von Experimentalgruppe 2.

Den geringsten Lernzuwachs hat die Kontrollgruppe, die jedoch vom höchsten Ausgangsniveau startet (siehe Abb. 5.9).

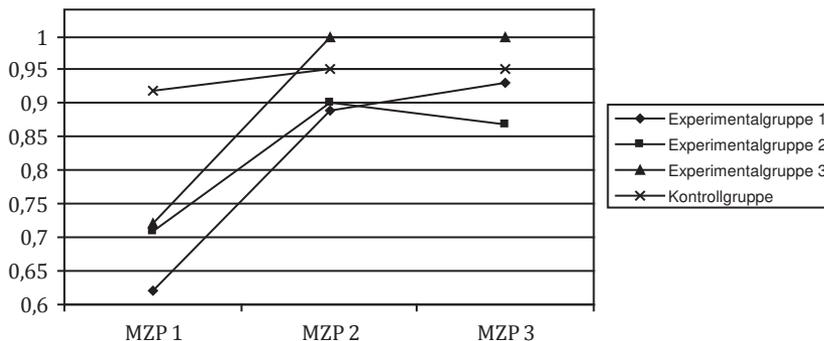


Abb. 5.9: Veränderung des Wissens zu „Leitfähigkeit von Eisen“ über die Messzeitpunkte in Abhängigkeit von der Gruppe

Bei *Porzellan* findet sich nach dem Unterricht nur noch ein signifikanter Unterschied zwischen den Leistungsgruppen ($p_{\text{Post}} = 0,05$, $p_{\text{FU}} = 0,08$). Es gibt keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Messzeitpunkte.

Der signifikante Unterschied im Wissen um die *Leitfähigkeit von Wasser* zwischen den Gruppen bleibt durch den Unterricht unverändert ($p_{\text{Post}} = 0,03$, $p_{\text{FU}} < 0,01$). Zusätzlich unterscheiden sich verschiedene Leistungsgruppen nach dem Unterricht signifikant ($p_{\text{Post}} < 0,01$, $p_{\text{FU}} < 0,01$). Die Veränderung des Wissens hängt signifikant vom Messzeitpunkt ($p_{\text{Zeit}} < 0,01$), sowie von der Gruppe ab ($p_{\text{Zeit} * \text{Gruppe}} = 0,03$). Die richtigen Antworten der beiden Experimentalgruppen 1 und 2 steigen nach dem Unterricht stärker an, als die richtigen Antworten von Experimentalgruppe 3 und der Kontrollgruppe. Allerdings wiesen die beiden letzteren auch bereits im Pretest höhere Werte auf. Leistungsstarke und -schwache Jungen haben einen größeren Wissenszuwachs als die Mädchen dieser Gruppe; bei der mittleren Leistungsgruppe ist der Wissenszuwachs der Mädchen stärker als der der Jungen ($p_{\text{Zeit} * \text{Geschlecht} * \text{Leistung}} = 0,06$). Insgesamt wissen Jungen direkt nach dem Unterricht besser über Leitfähigkeit von Wasser Bescheid als Mädchen obwohl beim Pretest noch keine Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen vorhanden waren. Diese Veränderung mit der Zeit ist auf 10 %- Niveau signifikant ($p_{\text{Zeit} * \text{Geschlecht}} = 0,1$). Bis zur Follow Up-Befragung gleicht sich der Unterschied (durch ein Absinken der Jungen) wieder auf annähernd 0 aus.

Bei der Leitfähigkeit von Plastik ergeben sich direkt nach dem Unterricht sowie langfristig signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p_{\text{post}} = 0,05$, $p_{\text{FU}} = 0,076$). Der Lernzuwachs ist signifikant abhängig von der Zeit bzw. von den Interventionen ($p_{\text{Zeit}} = 0,01$). Es gibt je-

doch keine signifikanten Gruppen-, Geschlechts- und Leistungseffekte. Im Bereich Aluminium finden sich nach dem Unterricht Unterschiede zwischen den Gruppen ($p_{\text{post}} < 0,01$, $p_{\text{FU}} < 0,01$). Je nach Gruppe veränderte sich das Wissen. Den größten Wissenszuwachs hat die Experimentalgruppe 2. Bis zur Follow Up-Erhebung sinkt die Wissenskurve jedoch wieder. Bei Kontrollgruppe und Experimentalgruppe 1 steigt das Wissen um die Leitfähigkeit von Aluminium. In der Experimentalgruppe 3 sinkt der Prozentsatz richtiger Antworten zunächst, steigt dann aber wieder leicht an (vgl. Abb. 7.10).

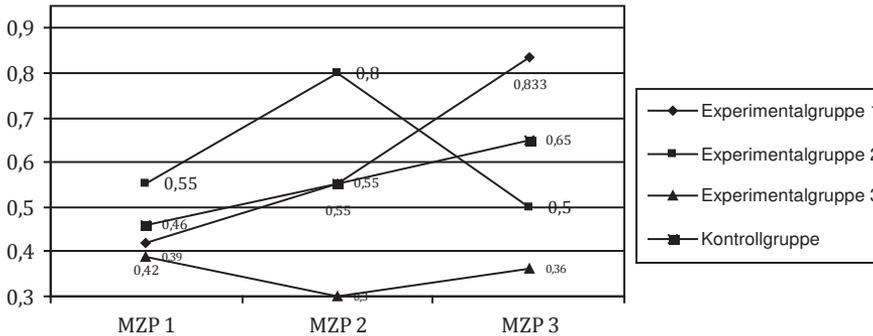


Abb. 5.10: Veränderung des Wissens zu „Leitfähigkeit von Aluminium“ über die Messzeitpunkte in Abhängigkeit von der Gruppe

Begründet wird die Leitfähigkeit im Posttest von 91,8 % der Schüler mit der metallischen Eigenschaft der Leiter. In der Follow Up-Erhebung sind es 92,0 %. 84,0 % der Befragten (FU: 82,6 %) lehnen die Eigenschaft „fest“ als Begründung ab, 95,0 % (FU: 96,8 %) lehnen „glänzen“ als relevante Eigenschaft ab, ebenso 89,9 % (FU: 90,6 %) die „längliche Form“ (siehe Tab. 5.2).

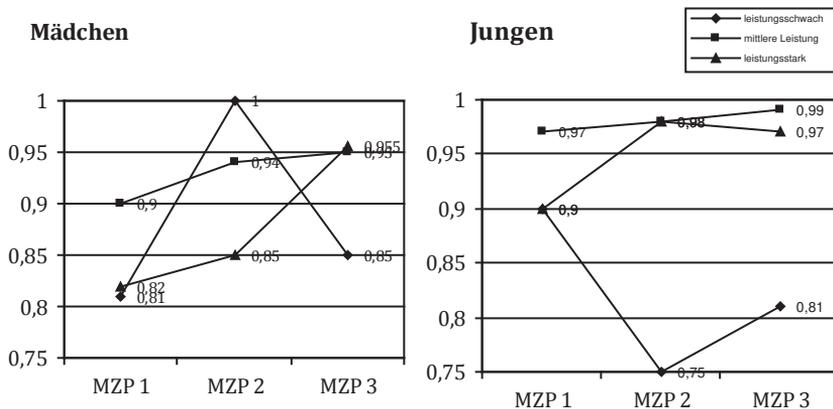


Abb. 5.11: Veränderung der Begründung der Leitfähigkeit mit „metallisch“ in Abhängigkeit von Leistung und Geschlecht

Der metallische Charakter des Leiters als Begründung ist nach dem Unterricht nicht mehr mit dem Geschlecht gekoppelt. Jungen und Mädchen geben gleichermaßen an, dass die Eigenschaft „metallisch“ für die Leitfähigkeit verantwortlich ist. Alle anderen Items werden sowohl von Mädchen als auch von Jungen abgelehnt. Hinsichtlich der metallischen Eigenschaft zeigt sich, dass sich verschiedene Leistungsgruppen verschiedenen Geschlechts über die Zeit hinweg anders verhalten ($p_{\text{Zeit} \times \text{Geschlecht} \times \text{Leistung}} = 0,01$). Während z.B. leistungsschwache Mädchen nach dem Unterricht besser darüber Bescheid wissen, dass die Leitfähigkeit mit der Eigenschaft metallisch zu erklären ist, ist es bei den Jungen genau umgekehrt: leistungsschwache Jungen sind nach dem Unterricht weniger davon überzeugt als vor dem Unterricht (Abb. 5.11).

Leistungsschwache Mädchen begründen nach dem Unterricht stärker als leistungsschwache Jungen, dass das Metall die leitende Eigenschaft trägt. Bei Jungen sinkt hier die Kurve um 15 % ab. Diese Effekte relativieren sich jedoch in der Follow Up-Untersuchung wieder etwas. Wie es sich so häufig in dieser Untersuchung in Bezug auf Alltagsvorstellungen zur Elektrizitätslehre zeigt, ist die Gruppe mit mittlerer Schulleistung der Gruppe der leistungsstarken Schüler nicht unterlegen. Die Unterschiede zu den Leistungsschwachen sind jedoch signifikant ($p_{\text{pot}} = 0,1$, $p_{\text{FU}} = 0,09$). Die Begründungen „fest“, „glänzend“ und „länglich“ verändern sich signifikant mit der Zeit ($p_{\text{Zeit, fest}} < 0,01$, $p_{\text{Zeit, glänzend}} = 0,02$, $p_{\text{Zeit, länglich}} < 0,01$).

5.2 Vorstellungen von „Strom“ und „Stromfluss“

Vor dem Unterricht findet sich eine Vielzahl an Vorstellungen, was Strom ist. Das Antwortformat ist geschlossen, bietet jedoch auch eine offene Möglichkeit, um eigene Vorstellungen, die in den geschlossenen Antworten nicht vorhanden sind, einzubringen. Die Schüler nutzen in hohem Maße die Möglichkeit, ihre Vorstellung frei zu formulieren. Hier stellen sich Schüler Tröpfchen, dünnen Draht, Männchen, Feuer, Blitze, Kügelchen, Wasser, Dreck

etc. vor. Insgesamt kommen 28 verschiedene Antworten oder Antwortkombinationen (Mehrfachantworten waren hier möglich) vor. 16,3 % der Schüler sind noch unentschlussen und geben an, dass sie noch keine Vorstellung von Strom haben (siehe Abbildung 5.12).

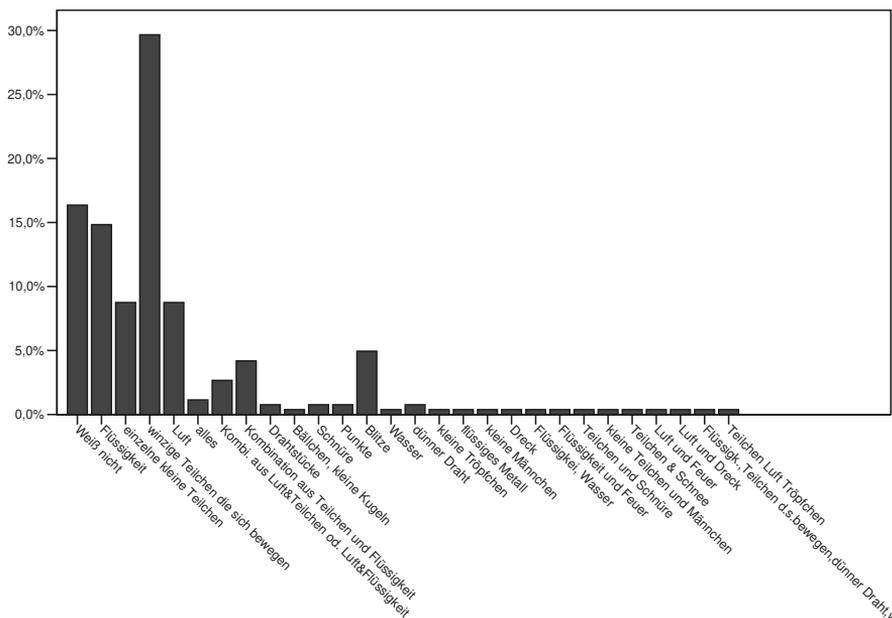


Abb. 5.12: Verschiedene Vorstellungen von „elektrischem Strom“ (Pretest)

Von Strom spricht man in der Physik dann, wenn sich Elektronen bewegen, wenn also etwas fließt oder „strömt“. Die Frage, ob auch Strom fließt, wenn in einem Stromkreis ein geöffneter Schalter eingebaut ist, beantworten 30,3 % aller Schüler bereits vor dem Unterricht mit nein, 15,8 % sind unentschlussen, 53,9 % vermuten in der Batterie, im Draht oder in beiden Strom (siehe Abb. 5.13).

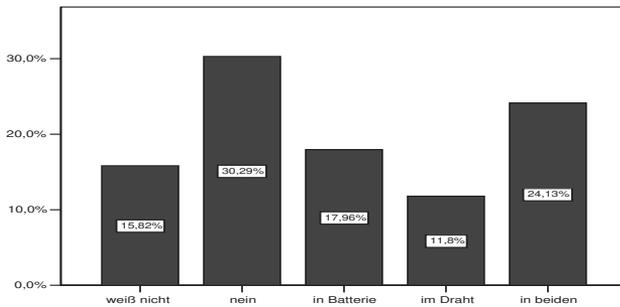


Abb. 5.13: Antworten auf die Frage „Fließt bei offenem Schalter Strom?“ (Pretest)

Für 26 % der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler deutet das Wort „Stromkreis“ darauf hin, dass die räumliche Anordnung rund sein muss, 43 % glauben, dass aus dem Pluspol mehr Strom als aus dem Minuspol kommt.

Bei der (geschlossenen) Frage, woran es liegen könnte, dass in einem korrekt aufgebauten Stromkreis das Glühlämpchen nicht leuchtet, beantworten 83 % der Schülerinnen und Schüler korrekt mit einem kaputten Lämpchen oder einer (alltagssprachlich) leeren Batterie. 21 % geben an, das Lämpchen könnte zu klein sein; 21 % meinen, die Drähte könnten zu lang sein und für 24 % ist der Holztisch, auf dem die Anordnung steht, eine mögliche Begründung (siehe Abb. 5.14).

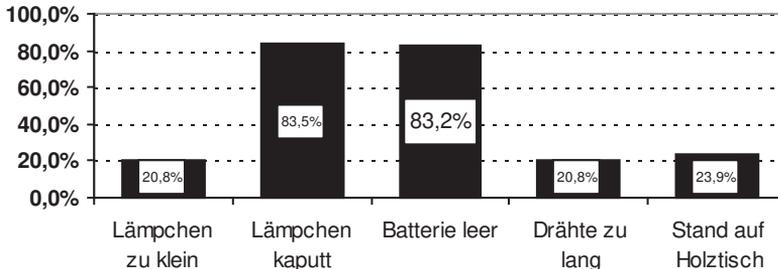


Abb. 5.14: „Woran könnte es liegen, dass ein Glühlämpchen im richtig aufgebauten Stromkreis nicht leuchtet?“ (Pretest) (Mehrfachantworten möglich)

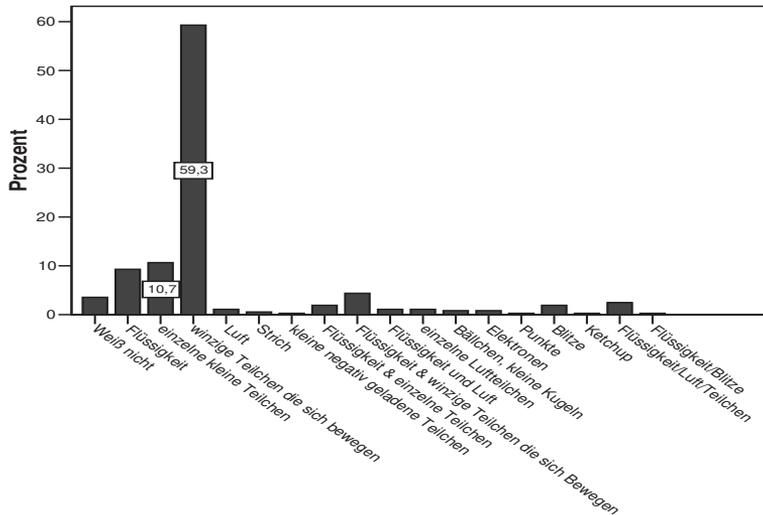


Abb. 5.15: Wie stellst du dir elektrischen Strom vor? (Posttest)

Die Vielzahl an Antworten auf die Frage „Was ist Strom?“ verschwindet nach dem Unterricht. Nach dem Unterricht werden hauptsächlich die geschlossenen Antwortformate und Kombinationen daraus genutzt. Mit wenigen Ausnahmen (z.B. Ketchup) verschwinden auch abstruse Ideen. Zu nahezu 60 % geben Schüler an, Strom seien winzig kleine Teilchen, die sich bewegen. Weitere 10 % verweisen zumindest auf kleine Teilchen. Ein Teil der Schüler kombiniert das „Teilchenkonzept“ von Strom mit einer Flüssigkeitsvorstellung (vgl. Abb. 5.15). In Kapitel 5.4 (Akzeptanz des Wassermodells) soll untersucht werden, ob es gerade die Schüler sind, die mit Wassermodellen gearbeitet haben, die sich Strom als Flüssigkeit vorstellen. Weiterhin fällt auf, dass sich die Gruppe der Unentschlossenen („weiß nicht“) im Vergleich zur Voruntersuchung stark verkleinert hat. Betrachtet man die richtigen Antworten („winzige Teilchen, die sich bewegen“) gruppenweise, so fällt auf, dass die Experimentalgruppe 2, also die Gruppe mit den mechanischen Modellen, direkt nach dem Unterricht den größten Lernzuwachs zu verzeichnen hat. Die richtigen Antworten verdoppeln sich. Auch der Abfall in der Follow Up-Untersuchung hält sich mit ca. 5 % in Grenzen. Die beiden Gruppen, die Wassermodelle im Unterricht thematisiert haben, weisen in der Follow-up-Erhebung einen Anstieg an richtigen Antworten zur Frage „Was ist Strom?“ auf. Der Rückgang der richtigen Antworten bei der Kontrollgruppe, in diesem Zusammenhang um 50 % des Zuwachses, ist ebenso auffällig. Die Veränderung der richtigen Antworten ist signifikant von der Zeit abhängig ($p=0,005$). Nicht signifikant, aber tendenziell steigen die richtigen Antworten in allen Experimentalgruppen vom Pretest zum Posttest und fallen dann wieder leicht ab. In der Kontrollgruppe ist der Anstieg weitaus weniger deutlich (vgl. Abb. 5.15). Zieht man in die Berechnung nur jene Schüler ein, die zu allen drei Messzeitpunkten anwesend waren, so ergibt sich, dass die Prozentzahlen richtiger

Antworten bei den Schülern der Kontrollgruppe vom Pretest zum Posttest hin abfallen, bis zum Follow-up-Test einmal ansteigen, aber das Ausgangsniveau nicht mehr erreichen¹³ (siehe Abb. 5.16).

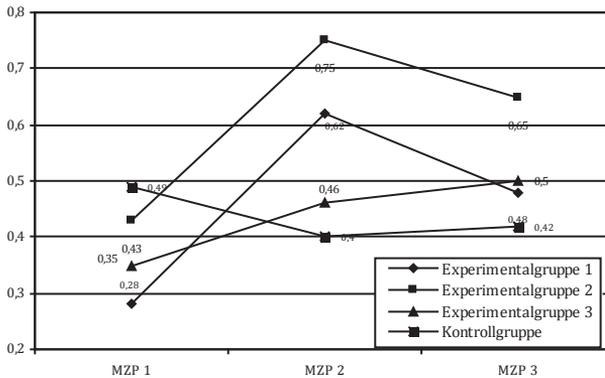


Abb. 5.16: „Strom sind winzige Teilchen, die sich bewegen“ (Richtige Antworten, Messzeitwiederholung, nicht sign.)

Außerdem fällt bei den Berechnungen auf, dass 12 Wochen nach dem Unterricht 10 % mehr Mädchen als Jungen, Strom als „winzige Teilchen, die sich bewegen“ erklären, während dies direkt nach dem Unterricht 2 % mehr Jungen als Mädchen, und vor dem Unterricht gleich große Anteile an Jungen und Mädchen erklären. Auch dieses Ergebnis ist nicht signifikant, zeigt aber eine interessante Tendenz auf (siehe Abb. 5.17).

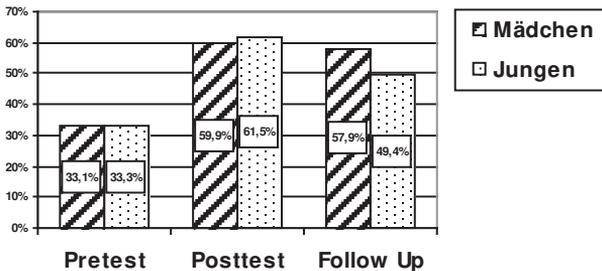


Abb. 5.17: Tendenzielle Veränderung der Vorstellung von Strom als winzige sich bewegende Teilchen in Abhängigkeit vom Geschlecht

¹³ In Abb. 5.15 sind die Antworten aller Schüler eingeflossen, auch wenn Sie zu einem der Messzeitpunkte gefehlt haben.

Vorstellungen von Strom in den Interviews

In den Interviews werden vor dem Unterricht auf die Frage, wie sich die teilnehmenden Schüler Strom vorstellen, häufig Anwendungen (z.B. Geräte, die mit Strom funktionieren, etc.) genannt. Eine beliebte Assoziation mit Strom sind auch Blitze. Nach der Intervention werden Teilchenvorstellungen und Flussvorstellungen geäußert. Strom sind dann „kleine Teilchen“ oder ist „etwas, was fließt“ (vgl. Abb. 5.18).

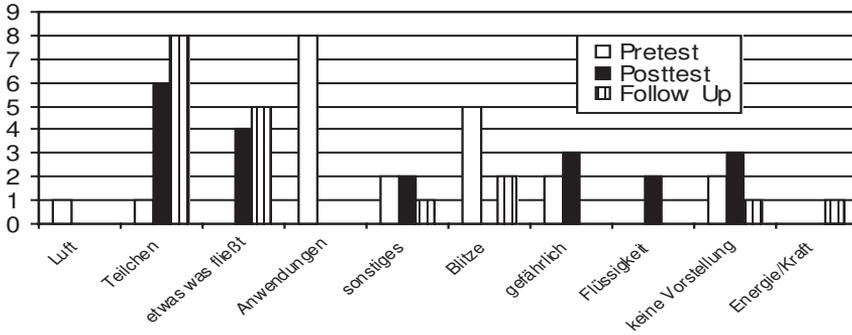


Abb. 5.18 Auswertung der Interviewfrage „Was stellst du dir unter elektrischem Strom vor?“

Auf die Frage, was sie sich unter einer Stromquelle vorstellen, verteilen sich die Antworten vor dem Unterricht auf Stromentstehung, Nennen von Beispielen für Stromquellen oder Stromquellen als Sammelbehälter und Lieferanten von Strom. Ein hoher Anteil gibt auch an, keine Ahnung zu haben, was denn eine Stromquelle sei. Nach dem Unterricht wird eine Stromquelle verstärkt als eine Art Sammelbehälter gesehen (siehe Abb. 5.19). Typisch hierfür sind Antworten wie folgende: „Ah! Ja, weil da kommt der Strom raus, und dann fließt das da durch, wenn man einen Stromkreis macht und dann wieder zurück und ... aus der Batterie kommt der Strom her.“ Hier wird deutlich, dass sich zwei Konzepte mischen: Zum einen wird Strom als etwas im Kreisfließendes betrachtet, zum anderen die Batterie aber noch als Quelle des „Materials Strom“ verstanden. Ein Beispiel für ein Kind, das noch den reinen Materialpoolaspekt sieht: „Damit genügend Strom in das Lämpchen kommt. Wenn die Batterien nicht mehr viel Strom enthalten, dann ist auch die Taschenlampe nicht mehr so hell.“

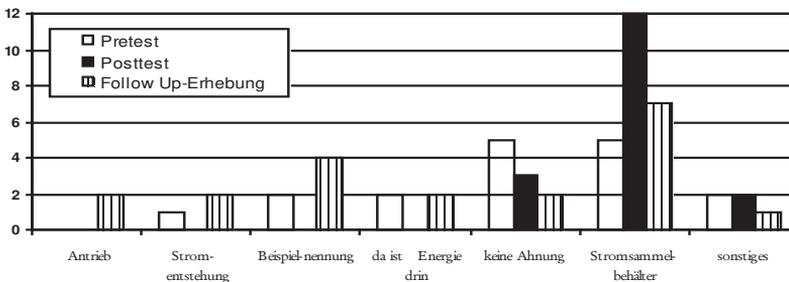


Abb. 5.19: Auswertung der Interviewfrage „Was stellst du dir unter einer Stromquelle vor?“

Andreas, 9 Jahre, äußert auf die Frage nach der Stromquelle: „Eine Sache, wo was raus kommt, in diesem Fall der Strom. Mit der Energie könnte man beispielsweise die Kamera betreiben.“

Die Frage, ob bei geöffnetem Schalter Strom fließt, beantworten im Pretest signifikant weniger Schüler richtig ($p=0,02$). Alle Gruppen haben einen Kenntniszugewinn. Die richtigen Antworten steigen von 32 % auf 54 % (Posttest) und 57 % (Follow-up, siehe Abb. 5.18).

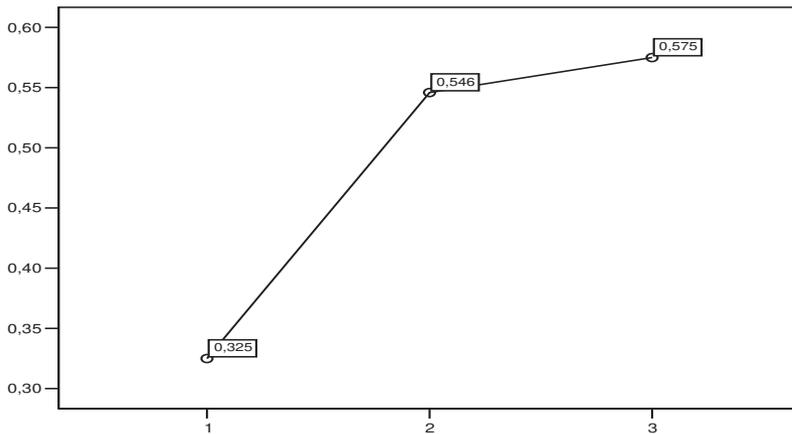


Abb. 5.18: Richtige Antworten auf die Frage: „Fließt bei geöffnetem Schalter Strom?“

Die Veränderungen in Abhängigkeit von der Zeit sind gruppenabhängig. Die Gruppen unterscheiden sich bereits im Pretest signifikant voneinander. Während die Experimentalgruppen nahe beieinander liegen, weist die Kontrollgruppe bereits zu Beginn einen wesentlich höheren Wert auf. Bei den Gruppen mit mechanischem Modell (EG 1 und EG 2) steigen vom Pretest zum Posttest die richtigen Antworten von 26 % auf 48 % bzw. von 19 % auf 40 %. Die Wassermodeillgruppe (EG 3) zeigt einen Anstieg von 20 % auf 52 %. Die Kontrollgruppe weist bereits im Pretest einen Wert von 62 % richtiger Antworten auf. Dieser steigt direkt nach dem Unterricht auf 77 % und fällt dann aber mit 61 % unter das Ausgangsniveau zurück. EG3 weist in der Follow Up-Erhebung wieder einen leichten Rückgang an richtigen Antworten auf. Einen sehr hohen Anstieg im Prozentsatz an richtigen Antworten zeigt auch die Kontrollgruppe. Allerdings fällt diese Gruppe bis zur Follow Up-Erhebung auch wieder auf ein Niveau ab, das von allen Gruppen das niedrigste ist. Von der Untersuchung nach dem Unterricht bis zur Follow Up-Erhebung steigen die richtigen Antworten in allen Experimentalgruppen, während sie in der Kontrollgruppe abfallen (siehe Abb. 5.19).

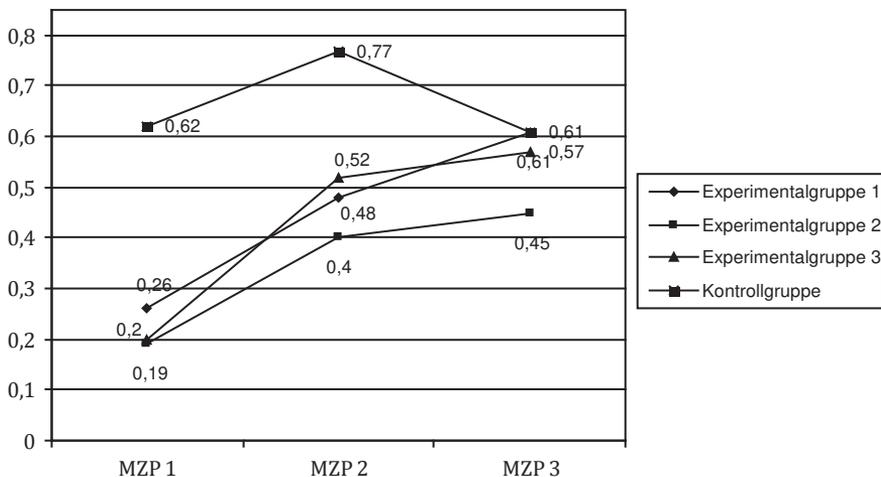


Abb. 5.19: Richtige Antworten auf die Frage: „Fließt bei geöffnetem Schalter Strom?“ in Abhängigkeit von der Gruppe

Die Vorstellung, dass ein Stromkreis rund sein muss, verändert sich signifikant mit der Zeit in Abhängigkeit von der Gruppe (siehe Abb. 5.20, $p=0,001$). Während in den Gruppen mit mechanischem Modell die Vorstellung abgebaut wird, baut sich die Vorstellung in der reinen Wassergruppe und in der Kontrollgruppe bis nach dem Unterricht sogar auf. Bis zur Follow Up-Erhebung relativiert sich das Bild wieder etwas.

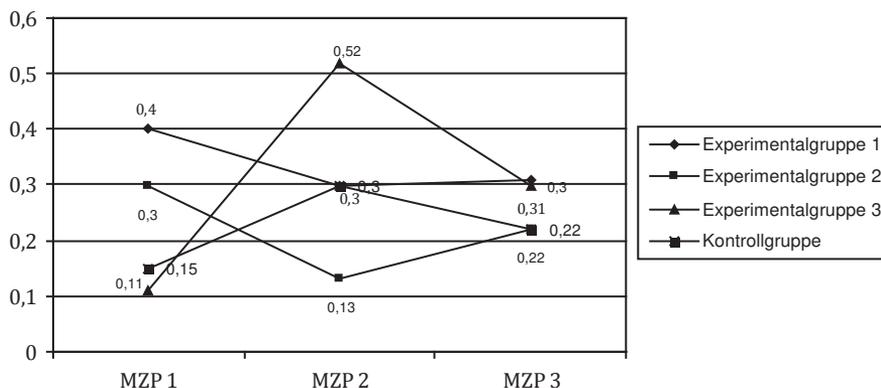


Abb. 5.20: Die Veränderung der Vorstellung, dass ein Stromkreis rund sein muss in Abhängigkeit von der Gruppe

Die Frage, ob aus dem Pluspol mehr Strom als aus dem Minuspol komme, beantworten nach dem Unterricht signifikant weniger Schüler mit „ja“ (siehe Abb. 5.21, $p=0,021$).

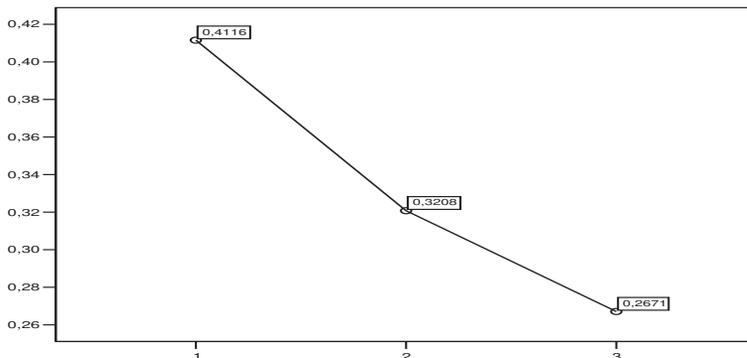


Abb. 5.21: Rückgang der Vorstellung, dass aus dem Pluspol mehr Strom komme als aus dem Minuspol

Die Frage, *woran es liegen könnte, dass in einem korrekt aufgebauten Stromkreis das Glühlämpchen nicht leuchtet*, beantworten nach dem Unterricht 93 % der Schülerinnen und Schüler korrekt mit einem kaputten Lämpchen. Die (alltagssprachlich) leere Batterie wird nach dem Unterricht von 96 % der Schüler angegeben. Falsche Vorstellungen wie etwa ein zu kleines Lämpchen, zu lange Drähte oder der Holztisch gehen weiter zurück (siehe Abb. 5.22).

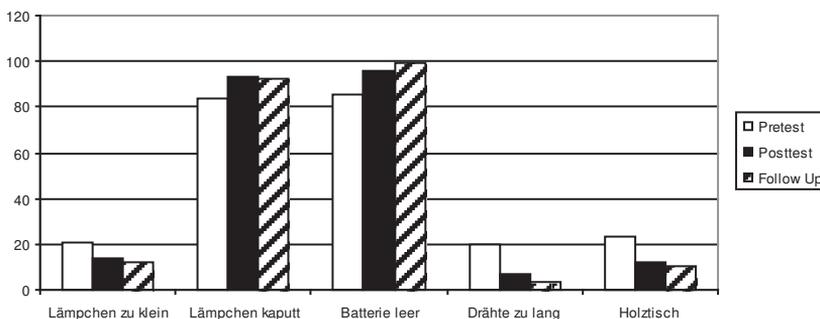


Abb. 5.22: Die Veränderung der Begründungen zur Frage, warum ein korrekt angeschlossenes Lämpchen nicht leuchte

(Die Balken zeigen von links nach rechts jeweils bei einer Antwort Pretest, Posttest und Follow Up.)

5.3 Entwicklung von der Ein-Weg-Verbrauchsvorstellung zur Kreisvorstellung

Im folgenden Kapitel werden zu den Skalen Einwegkonzept, Zweiwegekonzept und Kreisvorstellung verschiedene Items des Fragebogens mittels Faktoren- und Reliabilitätsanalyse gebündelt und deren Entwicklung im Verlauf der Untersuchung dargestellt. Besondere Beachtung soll die Entwicklung des Stromkreisconceptes aus Sicht einzelner Schulleistungsgruppen in den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe finden.

Im Anschluss daran wird anhand der Auswertung einer Stromkreiszeichnung (Aufgabe 13 des Fragebogens) die Entwicklung von Vorstellungen des Stromflusses in der Anordnung Stromkreis beschrieben. Diese Zeichnungen sollen maßgeblich zur Aufklärung der Frage nach Stromflussvorstellungen von Kindern beitragen.

Die folgenden Skalen sollen untersuchen, inwieweit sich Stromflussvorstellungen abbilden lassen.

Die Kreisvorstellung

Zur Erfassung der Kreisvorstellung wurden alle Items, die sich physikalisch auf die Kreisvorstellung bezogen, zu einer Skala zusammengefasst (vgl. Kap. 4.2, Tab. 4.5). Aus den Werten der Items wird für jeden Schüler ein Skalenwert berechnet (I_{KV} =Summe der Einzelitems, Anzahl der Items).

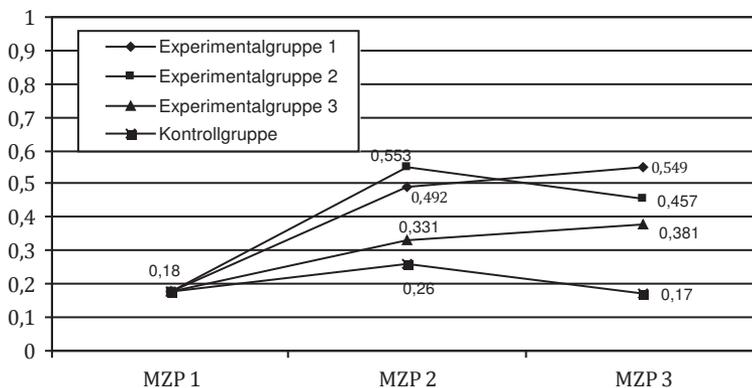


Abb. 5.23: Skala Kreisvorstellung in den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe

Beim Pretest ist das Ausgangsniveau des Skalenwertes in allen Gruppen gleich (ca. 0,18). In allen Gruppen steigt der Wert im Posttest an. Der Anstieg des Wertes ist jedoch in den beiden Experimentalgruppen 1 und 2 signifikant höher als in der Kontrollgruppe ($p_{\text{Scheffé, KG-EG1}} = 0,004$; $p_{\text{Scheffé, KG-EG2}} < 0,001$). Die Experimentalgruppen 1 und 2 weisen im Posttest Werte von 0,49 bzw. 0,55 auf. Experimentalgruppe 2 hat in der Follow Up-Erhebung annähernd denselben Wert wie im Posttest, der Wert von Experimentalgruppe 1 fällt leicht auf 0,46. Der Anstieg des Wertes von Experimentalgruppe 2 im Vergleich zu Experimentalgruppe 3 ist ebenfalls signifikant ($p_{\text{Scheffé, EG2-EG3}}=0,048$). Experimentalgruppe 3 erreicht im Posttest nur einen Wert von 0,33, der jedoch in der Follow Up-Erhebung noch auf 0,38

ansteigt. Der Wert der Kontrollgruppe steigt im Posttest nur auf 0,26 an und fällt im Follow Up-Test wieder auf 0,17, also auf das Ausgangsniveau des Pretestes ab (siehe Abb. 5.23).

Im Interview äußern Kinder die Stromkreisvorstellung folgendermaßen:¹⁴

Beispiel 1: Hanna (Posttest)

I: Hab ich das richtig verstanden? Durch beide Kabel geht etwas zum Lämpchen?

H: Nein. Nur durch eins. Durch ein Kabel geht der Strom, der nimmt die Energie mit. Die Energie lässt er beim Lämpchen, dass es leuchtet. Dann geht der Strom wieder zurück und nimmt die Energie mit.

Beispiel 2: Paul (Posttest)

I: Reicht da ein Kabel auch aus?

P: Nein. Weil der Stromkreis dann nur ein halber ist, also nicht ganz.

I: Was stellst du dir unter einem „Stromkreis“ vor?

P: Der Strom fließt immer entlang, die Energie bleibt beim Lämpchen. Der Strom nimmt die Energie mit, die bleibt dann beim Lämpchen und der Strom geht weiter.

I: Ist vor und nach dem Lämpchen gleich viel Strom?

P: Ja.

I: Was fließt in diesem Kreis?

P: Strom und Energie.

I: Und wie fließen die?

P: Der Strom fließt zum Lämpchen und dann wieder zurück (durch das andere Kabel, zeigt er). Die Energie bleibt beim Lämpchen.

I: In welcher Form bleibt die Energie denn im Lämpchen? Wie sieht man denn, dass die Energie im Lämpchen bleibt?

P: Wenn das Lämpchen brennt.

Die beiden Beispiele sind typische Äußerungen der Kreisvorstellung nach dem Unterricht. Vor dem Unterricht ist diese Vorstellung in den Interviews mit einer einzigen Ausnahme nicht zu finden. In den Interviews wird die Kreisvorstellung durch einen korrekten Aufbau eines Stromkreises mit der dazugehörigen Erklärung abgebildet. Offensichtlich besteht ein Unterschied zwischen der Äußerung von Stromflussvorstellungen in praktischen Handlungen und der Zeichnung von Stromkreisen. Bei reinen Zeichnungen taucht auch im Pretest die Stromkreisvorstellung schon auf (s.u.).

¹⁴ I: Interviewer

Ausbildung der Kreisvorstellung bei verschiedenen Schulleistungsgruppen

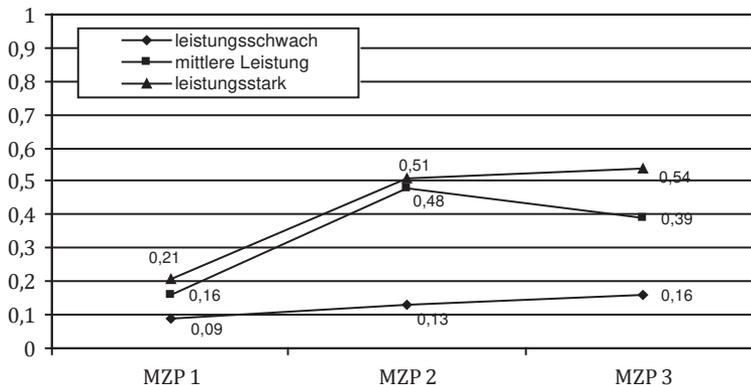


Abb. 5.24: Skala Kreisvorstellung in verschiedenen Schulleistungsgruppen

Untersucht man die Ausbildung des Kreiskonzeptes nach Schulleistungsgruppen, so findet sich, dass sich die Leistungsschwachen signifikant von den beiden anderen Gruppen unterscheiden ($p=0,038$; $p_{\text{Scheffé}} \text{ leistungsschwach-mittlere Leistungsgruppe} < 0,001$; $p_{\text{Scheffé}} \text{ leistungsschwach-leistungsstark} < 0,001$). Die Werte der oberen beiden Leistungsgruppen steigen im Posttest von 0,21 auf 0,51 (leistungsstarke Schüler) bzw. von 0,16 auf 0,48 (Schüler mit mittlerer Schulleistung). In der Follow Up-Erhebung weisen die leistungsstarken Schüler mit 0,54 einen noch höheren Wert auf. Der Wert der mittleren Leistungsgruppe fällt auf 0,39. Die Leistungsschwachen verbessern ihren Skalenwert von 0,09 im Pretest über einen Posttestwert von 0,13 zu 0,15 im Follow Up-Test nur wenig (siehe Abb. 5.24).

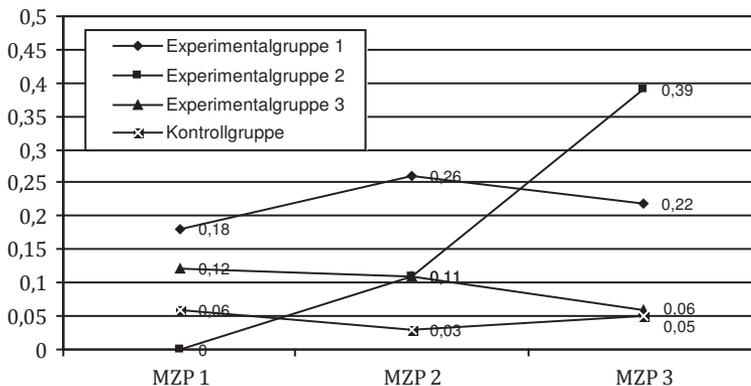


Abb. 5.25: Skala Kreisvorstellung bei den leistungsschwachen Schülern

Betrachtet man nur die *leistungsschwachen Schüler*, so fällt auf, dass sie insgesamt ein Stromkreiskonzept nur sehr schwer aufbauen. Bei den leistungsschwachen Schülern ergeben sich signifikante Abhängigkeiten der Kurvenverläufe von den Interventionsgruppen ($p_{\text{Meßzeitpunkt} \times \text{Gruppe}} = 0,042$). Durch die Datenauswahl reduziert sich die Stichprobe auf $N=32$ (siehe Tab. 5.3).

	N
Experimentalgruppe 1	16
Experimentalgruppe 2	4
Experimentalgruppe 3	4
Kontrollgruppe	8

Tab. 5.3: Skala Zweizegezuführung, leistungsschwache Schüler

In der Experimentalgruppe 2 gelingt der Aufbau des Stromkreiskonzeptes am ehesten. Hier haben die leistungsschwachen Schüler im Pretest keine Stromkreisvorstellung. Im Posttest sind die Werte für die Stromkreisvorstellung auf 0,13 angestiegen und im Follow Up-Test erreichen sie sogar 0,38. Die Experimentalgruppe 1 erreicht auch einen leichten Anstieg von 0,17 im Pretest auf 0,27 im Posttest. Bis zur Follow Up-Erhebung fällt der Wert auf 0,23. Die Experimentalgruppe 3 baut bis zum Posttest keine Stromkreisvorstellung auf. Der Pretestwert von 0,13 ist auch im Posttest stabil und fällt in der Follow Up-Erhebung zu 0,03 ab. Der Wert der Kontrollgruppe nimmt vom Pretest (0,05) zum Posttest (0,02) sogar ab. Bis zur Follow Up-Erhebung steigt der Wert dann auf 0,06 an (siehe Abb. 5.25).

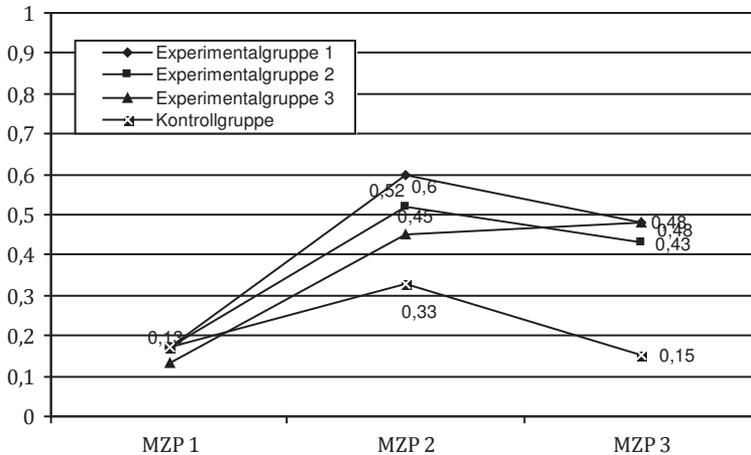


Abb. 5.26: Skala Kreisvorstellung bei Schülern mit mittlerer Schulleistung (N=79)

Mit Blick auf die Schüler *mit mittlerer Schulleistung* ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gruppenzugehörigkeit und dem Verlauf der Skalenwerte über die drei Messzeitpunkte ($p < 0,001$).

	N
Experimentalgruppe 1	26
Experimentalgruppe 2	22
Experimentalgruppe 3	10
Kontrollgruppe	21

Tab. 5.4: Skala Zweizegzuführen, Schüler mit mittlerer Schulleistung

Es ergibt sich ein starker Anstieg des Kreiskonzeptes in den Experimentalgruppen. Die Gruppenwerte haben in etwa den selben Ausgangswert (EG 1, EG 2, KG: 0,17; EG 3: 0,13). Den stärksten Anstieg vom Pretest zum Posttest kann Experimentalgruppe 1 verzeichnen ($I_{KV, Posttest} = 0,60$). Experimentalgruppe 2 und Experimentalgruppe 3 haben parallele Kurvenverläufe ($I_{KV(EG2), Posttest} = 0,52$; $I_{KV(EG3), Posttest} = 0,45$). Die mittlere Leistungsgruppe der Kontrollgruppe bildet die Vorstellung vom zirkulären Stromfluss am wenigsten aus. Ihr Wert steigt auf 0,33, also nur auf ca. die Hälfte des Wertes der anderen Gruppen. In der Follow Up-Erhebung fallen die Werte der Experimentalgruppen 1 und 2 und der Wert der Kontrollgruppe wieder ab. Der Wert der Experimentalgruppe 3 steigt im Follow Up-Test weiter (auf 0,48) an (siehe Abb. 5.26).

Gruppen	Gruppen	Mittlere Differenz	Standardfehler	Signifikanz	95 % Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1 EG 1	2 Experimentalgruppe 2	,04	,06	,934	-,13	,21
	3 Experimentalgruppe 3	,15	,07	,255	-,06	,37
	4 Kontrollgruppe	,23(*)	,06	,004	,06	,39
2 EG 2	1 Experimentalgruppe 1	-,04	,06	,934	-,21	,13
	3 Experimentalgruppe 3	,11	,08	,532	-,11	,33
	4 Kontrollgruppe	,19(*)	,06	,032	,01	,36
3 EG 3	1 Experimentalgruppe 1	-,15	,07	,255	-,37	,06
	2 Experimentalgruppe 2	-,11	,08	,532	-,33	,11
	4 Kontrollgruppe	,07	,08	,828	-,15	,29
4 KG	1 Experimentalgruppe 1	-,23(*)	,06	,004	-,39	-,06
	2 Experimentalgruppe 2	-,19(*)	,06	,032	-,36	-,01
	3 Experimentalgruppe 3	-,07	,08	,828	-,29	,15

Basiert auf beobachteten Mittelwerten. * Die mittlere Differenz ist auf der Stufe,05 signifikant.

Tab. 5.5: Post Hoc-Test nach Scheffé

Post Hoc-Tests (wie z.B. nach Scheffé oder Bonferroni) zeigen, dass sich ausschließlich die Werte der beiden Experimentalgruppen 1 und 2 signifikant von den Werten der Kontrollgruppe unterscheiden ($p_{EG1-KG}=0,004$; $p_{EG2-KG}=0,032$, siehe Tab. 5.5).

Berücksichtigt man nur *leistungsstarke Schüler* in den Berechnungen, so reduziert sich die Anzahl an Fällen auf 34 (Verteilung auf die Gruppen siehe Tab. 5.6).

	N
Experimentalgruppe 1	10
Experimentalgruppe 2	11
Experimentalgruppe 3	5
Kontrollgruppe	8

Tab. 5.6: Skala Zweiwegezuführung, leistungsstarke Schüler

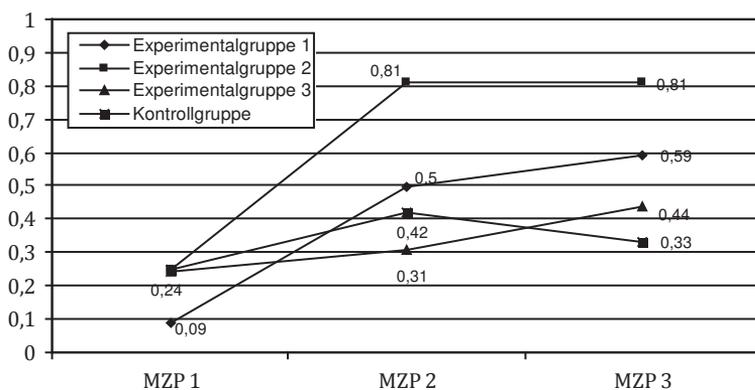


Abb. 5.27: Skala Kreisvorstellung bei den leistungsstarken Schülern

Im Pretest liegen auch bei den leistungsstarken Schülern die Werte für die Skala Kreisvorstellung nahe beieinander. Die Werte der Experimentalgruppen 2 und 3 sowie der Kontrollgruppe liegen bei ca. 0,25. Der Wert der Experimentalgruppe 1 liegt mit 0,09 darunter. Bis zum Posttest steigt der Wert der Experimentalgruppe 2 am meisten (auf 0,81), gefolgt von Experimentalgruppe 1 (auf 0,50). Die Kontrollgruppe und die Experimentalgruppe 3 haben einen schwächeren Anstieg des Skalenwertes Kreisvorstellung (KG auf 0,42; EG 3 auf 0,31) zu verzeichnen. Bis zur Follow Up-Erhebung steigen die Werte der Experimentalgruppen 1 und 3 weiter an (EG 2 auf 0,59; EG 3 auf 0,44). Der Wert der Experimentalgruppe 2 bleibt auf dem Wert des Posttests stabil. Der Wert der Kontrollgruppe fällt beim Follow Up-Test wieder auf 0,33 ab. Diese Daten sind auf 10 %-Niveau mit 0,067 signifikant. Auf die kleinen Stichproben sei an dieser Stelle noch einmal verwiesen (siehe Abb. 5.27).

Das Einwegkonzept

Wiesner bemerkte 1994 (S. 15): „Vor 15 Jahren führten wir erste Befragungen in zwei dritten Klassen durch. (...) Etwa $\frac{3}{4}$ der befragten Schüler waren der Meinung, dass das Lämpchen leuchten würde, wenn die Verbindung zwischen Batterie und Lämpchen mit einem Kabel hergestellt würde. (...) Von den Schülern, die vorher keine Stromkreisvorstellung geäußert hatten, erklärt niemand nun den Erfolg mit zwei Kabeln mit einer Stromkreisvorstellung. Diese ist offensichtlich extrem unplausibel, die Zweiführungsvorstellung – in allen möglichen Varianten – als spontane Erklärung dagegen sehr einleuchtend.“ Anders als bei den mündlich durchgeführten Befragungen Wiesners zeichneten in der vorliegenden Untersuchung im Pretest nur 17 % ein Einwegmodell. Aus zwei Items wurde hierzu mittels Faktorenanalyse und Reliabilitätsanalyse eine Skala Einwegkonzept gebildet (siehe Kap. 4.2, Tab. 4.3).

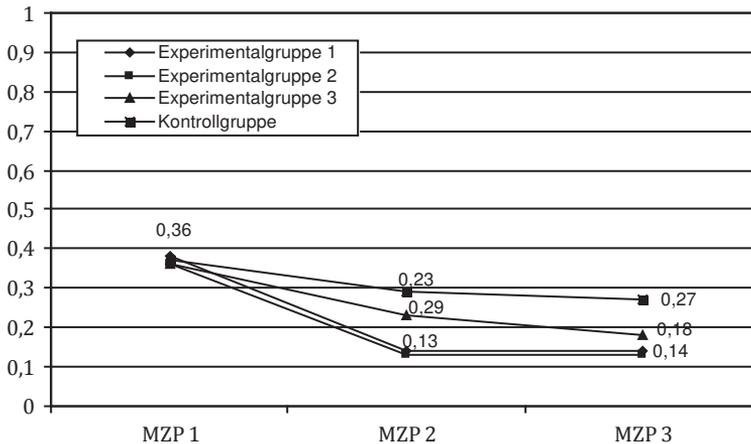


Abb. 5.28: Skala Einwegkonzept in den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe

Aus den Werten der Items wird für jeden Schüler ein Skalenwert berechnet (I_{1W} =Summe der Einzelitems, Anzahl der Items). Im Pretest liegen die Mittelwerte der einzelnen Interventionsgruppen nahe beieinander. Sie unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Im Posttest sind die Mittelwerte der Skalen signifikant abgefallen ($p < 0,001$). Der Post Hoc-Test (nach Scheffé) ergibt signifikante Unterschiede zwischen der Experimentalgruppe 2 und der Kontrollgruppe ($p = 0,022$) (siehe Abb. 5.28).

Ebenso ergeben sich im Scheffé-Test signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Leistungsgruppen: Leistungsstarke Schüler ($p = 0,017$) und Schüler der mittleren Leistungsgruppe ($p = 0,088$) bauen das Einwegkonzept signifikant stärker ab, als leistungsschwache Schüler. Dies findet sich in allen Interventionsgruppen wieder. In der Kontrollgruppe baut die Gruppe der leistungsschwachen Schüler das Einwegkonzept nicht ab, sondern sogar (um 0,05) leicht auf. Vorerfahrungen oder Vorwissen im Umgang mit Elektrizität (I_{pre}) haben dagegen keinen signifikanten Einfluss auf den Abbau des Einwegkonzeptes.

Das Zweivegekonzept

Die Skala für das Zweivegekonzept wurde, wie in Kapitel 4.2, Tabelle 4.4 beschrieben, gebildet, die Skalenwerte wie beim Einwegkonzept beschrieben berechnet.

Das Zweivegekonzept nimmt in den beiden Experimentalgruppen, die das mechanische Modell behandelt haben, auf ca. die Hälfte ihres Skalenwertes ab. Die gruppenabhängige Ab- bzw. Zunahme des Konzeptes ist signifikant ($p=0,08$). Der Unterschied zwischen den Experimentalgruppen 1 und 2 und der Kontrollgruppe ist ebenso signifikant ($p_{\text{Scheffé, EG 1-KG}} < 0,001$; $p_{\text{Scheffé, EG 2-KG}} < 0,001$), wie der Unterschied zwischen der Experimentalgruppe 2 und der Experimentalgruppe 3 ($p_{\text{Scheffé}}=0,049$). Im Posttest hat die Experimentalgruppe 3 ihr Zweivegekonzept behalten, die Kontrollgruppe das Konzept sogar noch ausgebaut. Zur Follow Up-Erhebung fallen die Werte der Skala Zweivegezuführung in der Experimentalgruppe 3 und Kontrollgruppe wieder ein wenig (siehe Abb. 5.29). Im Kurvenverlauf gibt es wie auch bei der Skala der Einwegzuführung keinen Unterschied zwischen Jungen und Mädchen.

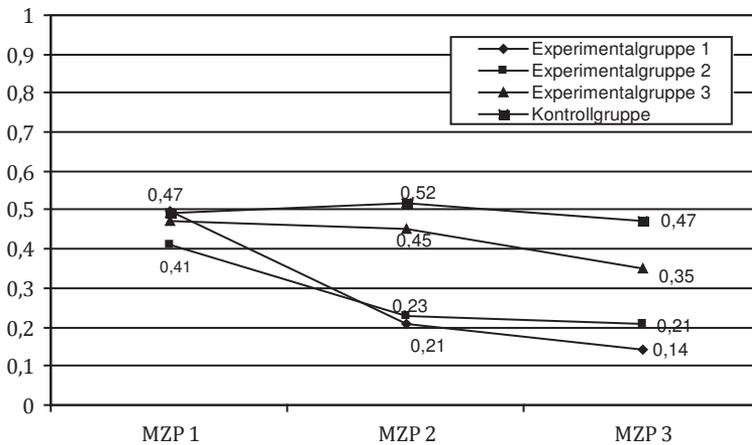


Abb. 5.29: Skala Zweivegekonzept in den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe

Zweistoffzuführungstheorie

Die These, dass durch die beiden Drähte unterschiedliche Stoffe zum Lämpchen transportiert werden, sollte als Folgerung nur bei Schülern zu finden sein, die das Zweivegekonzept vertreten. So betrachtet bildet die Zweistoffzuführungstheorie eine Unterkategorie des Zweivegekonzeptes.

Korrelationen		Zweiwege- zuführungs- theorie (Pretest)	Zweiwegezu- führungstheo- rie (Posttest)	Zweiwege- zuführungs- theorie (Follow Up)
Zweistoffzuführungs- theorie Pretest	Korrelation nach Pearson	,061		
	Signifikanz (2-seitig)	,342		
	N	241		
Zweistoffzufüh- rungs-theorie Post- test	Korrelation nach Pearson		,211(**)	
	Signifikanz (2-seitig)		,000	
	N		271	
Zweistoffzufüh- rungs-theorie Follow Up	Korrelation nach Pearson			,167(**)
	Signifikanz (2-seitig)			,007
	N			259

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 5.7: Korrelationsmatrix, Zweiwegezuführung * Zweistoffzuführung“

Die Korrelationsmatrix zeigt, dass zwischen der Zweistoffzuführungstheorie und der Zweiwegezuführungstheorie im Pretest kein Zusammenhang besteht. Im Posttest und in der Follow Up-Erhebung existiert ein signifikanter, wenn auch nicht besonders starker Zusammenhang zwischen den Items, die die beiden Theorien vertreten (siehe Tab. 5.7).

Geben-Nehmen-Theorie

In den verschiedenen Mustern für Begründungen und Erklärungen für physikalische Sachverhalte beschreibt Spreckelsen das Täter-Tat-Schema als häufig auftretendes Muster (siehe Kapitel 2.3.4). Die Geben-Nehmen-Theorie der Schülerinnen und Schüler fällt genau in das Täter-Tat-Schema. Die Batterie gibt den Strom, das Lämpchen nimmt sich den Strom. Diese Theorie passt aber als Begründung nur dann ins Bild, wenn die Schüler keine Stromkreisvorstellung haben. Solange Einweg- und Zweiwegezuführungstheorien verfolgt werden, kann die Batterie abgeben, das Lämpchen aufnehmen. Um dies zu überprüfen, wurde die Fragebogenfrage 11 so kodiert, dass die Items „Das Lämpchen nimmt sich den Strom, den es zum Leuchten braucht, aus der Batterie“, „Die Batterie gibt dem Lämpchen Strom zum Leuchten“, sowie alle Kombinationen mit diesen Items in eine Variable „Geben-Nehmen“ mit 1 kodiert wurden, alle anderen mit 0.

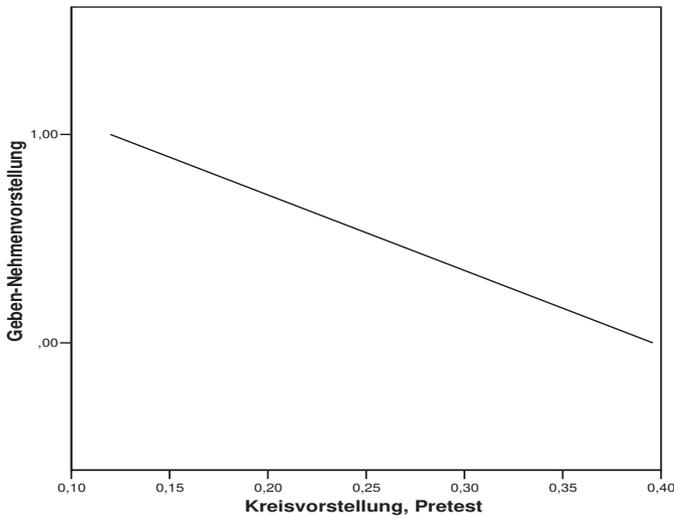


Abb. 5.30: Geben-Nehmen-Vorstellung, aufgetragen im Verhältnis zum Index Kreisvorstellung (Pretest)

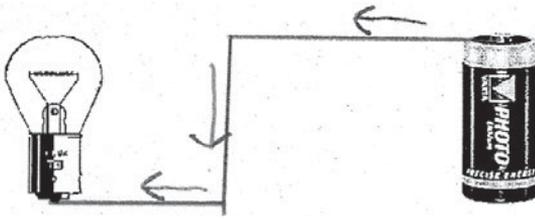
Zur Auswertung wurde eine einfaktorielle ANOVA gerechnet. Das Ergebnis: Zu allen drei Messzeitpunkten zeigt sich signifikant ($p < 0,001$), dass der vermutete Zusammenhang tatsächlich besteht: Je weniger bei den Schülern das Stromkreiskonzept gefestigt ist (d.h. je kleiner der Wert für I_{Kr}), umso eher geben die teilnehmenden Schüler an, dass der Strom gegeben oder genommen wird. Als Beispiel soll das Diagramm des Pretests aufgeführt sein (Abb. 5.30). Die Diagramme in Posttest und Follow Up-Erhebung sehen ähnlich aus, der Kurvenverlauf ist stark fallend (bzw. streng monoton abnehmend).

Als zentrale Aufgabe beim Abbilden der Stromflussvorstellungen diente eine Zeichenaufgabe. Der Auswertung dieser Aufgabe soll im Folgenden besondere Beachtung zukommen.

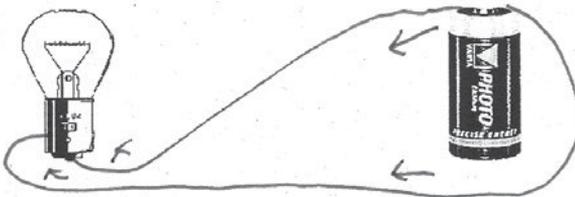
Die Zeichenaufgabe

Das Einzeichnen von Pfeilen in eine selbst gezeichnete Anordnung mit Drähten, Lämpchen und Batterie soll das konzeptuelle Verständnis des Stromkreises abbilden. Ein einzelner eingezeichneter Draht in Verbindung mit einem Pfeil zeigt an, dass ein Einwegzuführungsmodell vorliegt. Zwei eingezeichnete Drähte und zwei Pfeile, die von der Batterie in Richtung Lämpchen gehen, zeigen, dass der betreffende Schüler eine Zweiwegzuführungsvorstellung hat. Zwei eingezeichnete Drähte und zwei Pfeile in unterschiedlicher Richtung bedeuten eine Kreisvorstellung bei den Schülern (siehe Abb. 5.31). Nachfolgend werden anhand von Schülerzeichnungen aus Fragebögen die verschiedenen Konzepte dargestellt. Zur Anfertigung dieser Zeichnung gibt es zwei Aufgabenstellungen: Die Schüler sollen zunächst die Batterie mit dem Lämpchen so verbinden, dass dieses ihrer Meinung nach leuchtet. Im Anschluss daran sollen sie einzeichnen, wie hier etwas fließt, so dass das Lämpchen leuchten kann.

Einwegzuführungskonzept



- a)
- Zweiwegzuführungskonzept
- b)



- c)



Stromkreisconcept



- d)

Abb. 5.31: Beispiele für Zeichnungen, die verschiedene Konzepte verdeutlichen

Wie die Beispiele (Abb. 5.31) zeigen, muss bei den Zeichnungen nicht alles sofort korrekt sein, um der Zeichnung eine Stromflussvorstellung entnehmen zu können. Auch wenn zum Beispiel in Abbildung 5.31 c) das Verständnis für den Anschluss an der Batterie fehlt, so

wird eindeutig durch die Pfeile ersichtlich, dass sich die Schülerin vorstellt, dass durch zwei Drähte Strom zum Lämpchen fließt.
Für die Auswertung dieser Aufgabe wurde die Variable dichotomisiert. Es entstanden so pro Messzeitpunkt drei Variablen mit jeweils den Ausprägungen ja und nein:
Einwegzuführungskonzept (1-0-0)
Zweiwegzuführungskonzept (0-1-0)
Stromkreisconcept (0-0-1)

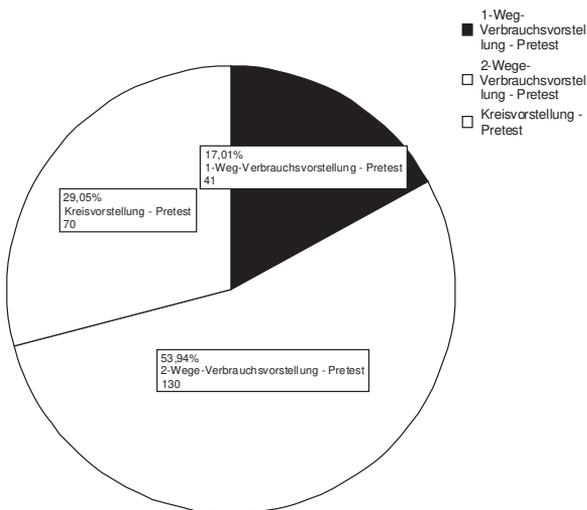


Abb. 5.32: Stromflussvorstellungen, Pretest, alle teilnehmenden Schüler

Die Auswertung ergibt folgendes Ergebnis: Im Pretest haben 17,0 % der Schüler die Vorstellung, dass ein Draht ausreicht, um das Lämpchen zum Leuchten zu bringen. 53,9 % der befragten Schülerinnen und Schüler gehen davon aus, dass durch zwei Drähte etwas zum Lämpchen fließen muss. 29,1 % der Schüler glauben, dass etwas zum Lämpchen hin, aber auch etwas vom Lämpchen weg fließt (siehe Abb. 5.32).

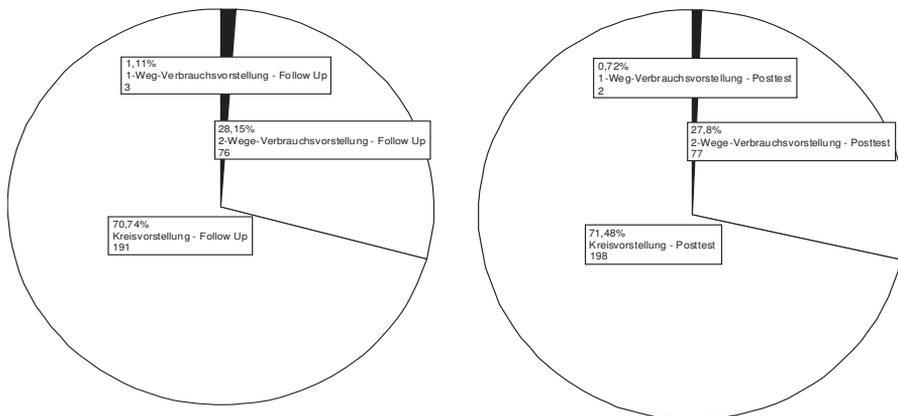


Abb. 5.33 a): Stromflussvorstellungen, Posttest (links), **Abb. 5.33 b):** Stromflussvorstellungen, Follow Up-Erhebung (rechts)

Nach dem Unterricht ist die Einwegvorstellung nur noch bei einem sehr geringen Prozentsatz der Schüler anzutreffen. Fast alle Schüler haben im Unterricht gelernt, dass es zweier Drähte bedarf, um das Leuchten des Lämpchens zu erreichen. Auch der Anteil der Zweiwegzuführung als Konzept des Stromflusses ist auf 28 % zurückgegangen. 71 % favorisieren nach dem Unterricht die Kreisvorstellung (siehe Abb. 5.33 a). Diese Werte der Stromflussvorstellungen aller teilnehmenden Schülerinnen und Schüler ändern sich in der Follow Up-Erhebung nicht (siehe Abb. 5.33 b).

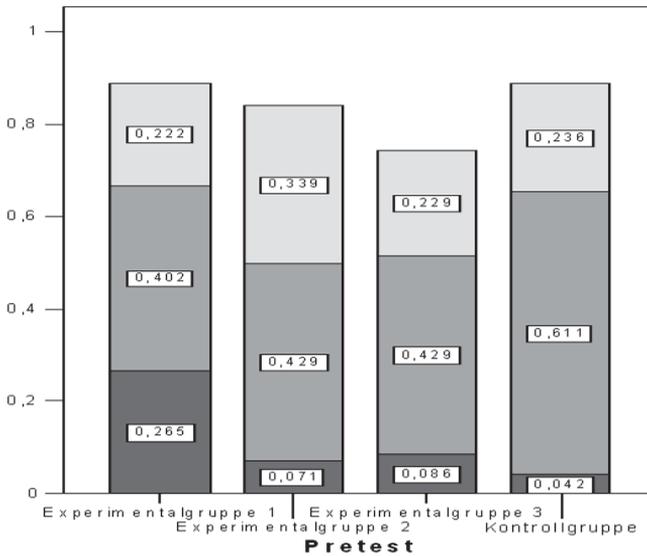


Abb. 5.34: Stromflussvorstellungen in den einzelnen Gruppen, Pretest

Vergleicht man die *verschiedenen Flussvorstellungen in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit der Schülerinnen und Schüler*, so fällt auf, dass im Pretest in der Experimentalgruppe 1 die Vorstellung vom Einwegverbrauchs-konzept am stärksten ausgeprägt ist. 27 % der Schüler in dieser Gruppe glauben, dass ein Draht ausreicht, um das Lämpchen zum Leuchten zu bringen. 40 % der Schüler der Experimentalgruppe 1 zeichnen ein, dass durch zwei Drähte etwas zum Lämpchen hin fließen muss. 22 % zeichnen eine richtige Kreisvorstellung ein. (Die zur Ergänzung auf 100 fehlenden Prozente entsprechen Zeichnungen von Schülerinnen und Schülern, die entweder nichts oder nicht zuordnungsfähige Zeichnungen abliefern.) In den Experimentalgruppen 2 und 3 ergibt sich ein ähnliches Bild: 7 bzw. 9 % der Schüler sind im Pretest der Meinung, dass ein Draht ausreicht, um zum Ziel zu gelangen. 43 % zeichnen bei diesem Item den Hinweis auf ein Zweiwege-zuführungskonzept ein. 34 % der Schüler in der Experimentalgruppe 2 bzw. 23 % der Schüler in der Experimentalgruppe 3 zeichnen bereits im Pretest die Kreisvorstellung ein. In der Kontrollgruppe gibt es im Pretest 4 % der teilnehmenden Schüler, die eine Einwegzufuhr abbilden und 24 % der Schüler, die die Kreisvorstellung zeichnen. Die größte Menge (61 %) zeichnet auch hier eine Zweiwege-zuführungsvorstellung ein (siehe Abb. 5.34).

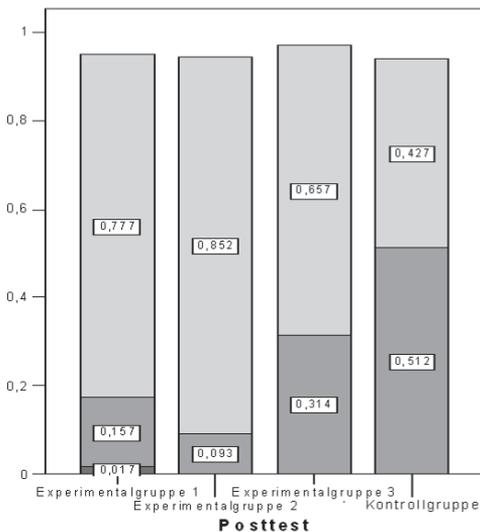


Abb. 5.35: Stromflussvorstellungen in den einzelnen Gruppen, Posttest

Im Posttest bleibt eine kleine Gruppe (2 Schüler) in der Experimentalgruppe 1 bestehen, die eine Einwegzuführung abbilden. In allen anderen Gruppen verschwindet das Konzept vollständig. Alle Schüler haben im Unterricht erkannt, dass ein Draht nicht ausreicht, um beim Lämpchen Licht zu erzeugen. Es fällt auf, dass nach dem Unterricht das Zweiwegemodell in der Kontrollgruppe (mit 51,2 %) am häufigsten angewandt wird. Die Häufigkeit des Gebrauchs dieses Konzeptes nimmt von der Wassermodellgruppe (31,4 %) über die gemischte Gruppe (15,7 %) bis hin zur mechanischen Modellgruppe (9,3 %) ab. Die Stromkreisvorstellung nimmt dementsprechend in umgekehrter Reihenfolge zu. In der Kontrollgruppe bilden beim Posttest 41 % der Schüler ein Kreiskonzept ab. In der Experimentalgruppe 3 sind es 66 %, in der Experimentalgruppe 1 78 % und in der Experimentalgruppe 2 sogar 85 % der Schüler, die das korrekte Konzept zeichnen (siehe Abb. 5.35).

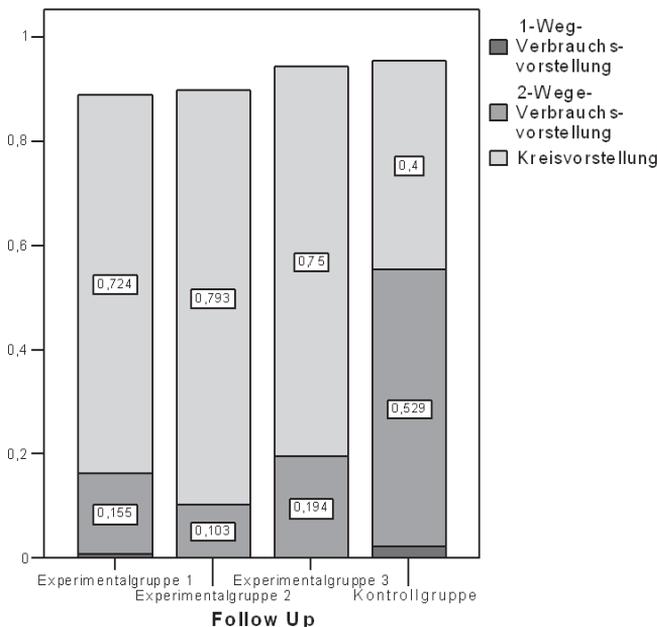


Abb. 5.36: Stromflussvorstellungen in den einzelnen Gruppen, Follow Up-Erhebung

Bis zur Follow Up-Untersuchung gibt es wenige Schüler in der Kontrollgruppe, die zur Einwegverbrauchsvorstellung zurückkehren. Die Zweiwegzuführenvorstellung bleibt in den Experimentalgruppen 1 und 2 stabil bei 16 bzw. 10 % der Schüler. Auch in der Kontrollgruppe bleibt die Anzahl der Schüler, die zwei zuführende Drähte zeichnen, nahezu konstant bei 53 %. In der Experimentalgruppe 3 zeichnen im Follow Up-Test nur noch 19 % (im Vergleich dazu Posttest: 31 %) zwei zuführende Drähte. Die Kreisvorstellung geht in den Experimentalgruppen 1 und 2 sowie in der Kontrollgruppe um 2-5 % zurück. In der Experimentalgruppe 3, also in der Gruppe, die das Wassermodell im Unterricht behandelt hat, steigt die Stromkreisvorstellung von Posttest zu Follow Up-Erhebung um 9 % auf 75 % an (siehe Abb. 5.36).

Die Entwicklung der Kreisvorstellung in den Interviews

Die Interviews zeigen, dass es für die Schüler vor dem Unterricht sehr schwer ist, ohne Kabel, nur mit Hilfe einer Batterie und eines Lämpchens einen Stromkreis aufzubauen. Die gängige Lehrmethode in vielen Schulen setzt aber genau hier an. In den Lehrerfortbildungen zur Vorbereitung der Experimentalgruppen wurde in der Diskussion als Kritikpunkt angemerkt, dass im vorliegenden Konzept mit Kabeln und nicht wie in der Unterrichtspraxis der Lehrkräfte in den letzten Jahren üblich ohne Kabel begonnen wurde. Die aus Voruntersuchungen vermuteten Schwierigkeiten ließen sich hier bestätigen. Elf Schüler, die die Herstellung des Stromkreises zunächst ohne Kabel versuchten, scheiterten daran, zwei Schülern schafften es. Von diesen Schülern gelang es einem der beiden durch Ausprobieren; der andere gab an, als Sohn eines Elektroingenieurs mit dem Vater bereits experimentiert zu haben.

Auffällig sind auch die Ideen von sechs Schülern, die beim Aufbau des Stromkreises die Batterie außer Acht lassen. Eine Schülerin äußert dazu dann auch, warum die Batterie nicht nötig sei: „Das Birnchen braucht Strom. Der kommt aus einer Stromleitung.“ Offensichtlich hat die Schülerin den flapsigen Satz „der Strom kommt aus der Leitung“ internalisiert. In den Interviews zeigen alle Schüler in der praktischen Anwendung die Einwegvorstellung. Ausnahme ist hier der Schüler, dessen Vater Elektroingenieur ist und der nach seinen Aussagen verschiedenste Vorerfahrungen und Wissen hat. Die Schüler probieren meist mit einem Kabel nacheinander an beiden Polen der Batterie anzuschließen. Bei Einsicht, dass ein Kabel nicht ausreicht, wechseln alle Schüler auf eine Zweizegzuführen. Auf Nachfrage des Interviewers, warum denn das Lämpchen mit einem Draht nicht leuchte, geben elf von 15 Schülern an, dass der eine Draht zu wenig Strom liefere, vier Schüler nennen zwei unterschiedliche Inhaltsstoffe der Batterie in den beiden Polen – im Sinne einer Zweistofftheorie – als Grund.

Die Kreisvorstellung als Erklärung des Stromflusses im Stromkreis wird in den Interviews im Pretest nur zweimal genannt: Der bereits erwähnte Schüler, der seine Vorerfahrungen und sein Experimentierwissen offensichtlich dem Berufsfeld seines Vaters verdankt, erklärt sicher und souverän den Stromfluss als Kreis: „Ich weiß, dass Elektronen rauskommen. Vom einen (Pol) kommt es raus, zum anderen rein.“

Der zweite Schüler, der im Pretest die Kreisvorstellung anspricht („Von einem Kabel geht's rein, zum anderen geht's raus.“) erwähnt diese Begründung nach einigen Versuchen (Einwegzuführen, Zweistofftheorie). Es könnte deshalb sein, dass er diese Formulierung zwar irgendwo aufgenommen hat, aber noch nicht sicher in deren Anwendung ist.

Anschluss ohne Batterie	Einwegzuführungsvorstellung	ein Draht liefert zu wenig		Zweistofftheorie	Zweiwegezuführungsvorstellung		Kreiskonzept	
	Fabian	Fabian						Fabian
Patrick	Patrick	Patrick		Patrick		Patrick	Patrick	
	Alexander	Alexander				Alexander		
Christina	Christina	Christina						Christina
	Katja	Katja		Katja				Katja
	Clarissa							
	Jakob	Jakob	Jakob	Jakob	Jakob	Jakob	Jakob	Jakob
	Julia	Julia				Julia		Julia
	Lea	Lea						Lea
Lukas								
	Tobias			Tobias			Tobias	Tobias
							Andreas	Andreas
Julia	Julia	Julia			Julia		Julia	
	Lukas		Lukas		Lukas	Lukas	Lukas	
Theresa	Theresa	Theresa			Theresa	Theresa		
Aurelia	Aurelia							
	Dominik	Dominik						
					Hanna		Hanna	
							Julian	Julian
							Paul	Paul
							Laura	
					Verena			
							Sophia	Sophia
								Sara
							Theresa	Theresa

Tab. 5.8: Übersicht über Zuführungsvorstellungen der an den Interviews teilnehmenden Schüler

□: Pretest, ◻: Posttest, ■: Follow Up-Erhebung

Im Posttest taucht die Einwegzuführung gar nicht mehr auf. Die am Interview teilnehmenden Schüler äußern zum Teil die Zweiwegezuführung. Ein Großteil erklärt den Stromfluss mit einer Kreisvorstellung. Ein Teil der Schüler erklärt den Stromkreis in einer Interviewsituation noch mit der Zweiwegezuführungsvorstellung, in der nächsten mit der Kreisvorstellung. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich die Vorstellungen bei diesen Schülern noch nicht gefestigt hatten.

Bis auf zwei haben alle an der Follow Up-Untersuchung teilnehmenden Schüler die Kreisvorstellung.

Ein typisches Beispiel für den Wandel der Vorstellung liefert Jakob. Jakob ist eines der Kinder, deren Stromflussvorstellung im Posttest noch nicht gefestigt ist. Dadurch werden verschiedene Sprünge zwischen den Konzepten besonders deutlich:

Pretest:

Jakob hat nach eigenen Aussagen bereits praktische Erfahrungen mit dem Einlegen von Batterien und dem Bau von Dingen, die mit Strom laufen.

Jakobs erste Versuche, einen Stromkreis ohne Kabel aufzubauen, scheitern deswegen, weil Jakob versucht, nur einen Pol der Batterie mit dem Lämpchen in Berührung zu bringen. Nach einem erfolgreichen Anschluss glaubt Jakob, die Kabel dürften nicht mehr umgesteckt werden, Plus und Minuspol müssen in einer bestimmten Weise mit dem Lämpchen verbunden sein. Wahrscheinlich begründet sich dies aus seiner Erfahrung mit dem Einlegen von Batterien. Offiziell springt er wieder zu einer allgemeinen Zweiwegezuführungsvorstellung:

J: Weil auf allen beiden Seiten Strom drin ist.

I: Ja. Und was ist, wenn du es nur an eine hältst? Da ging's ja gerade bei dir nicht. Warum muss ich das an beide halten?

J: Weil... weil eines hat zu wenig Strom.

I: Ach so. Kannst du das auch mal mit *der* Lampe bauen? Du kannst ja dafür ein Kabel nehmen, wenn du eines brauchst. Ja, wenn jetzt das Lämpchen leuchten würde, was würde uns das dann zeigen?

J: Licht.

I: Licht, wenn da Licht ist, was könnten wir daraus sehen? Ich meine, wenn du das ansteckst und Licht leuchtet, dann heißt das eigentlich, dass Strom fließt. Jetzt leuchtet das Lämpchen nicht - was heißt das dann?

J: Es ist kein Strom da.

I: Und warum? Wo kommt denn der Strom her?

J: Aus der Steckdose.

I: Eine Steckdose haben wir jetzt nicht. Wo käme er bei uns her?

J: Aus der Batterie.

I: Ach so. Vielleicht solltest du dann die Batterie auch mit anstecken. Wieso nimmst du jetzt ein zweites Kabel?

J: Ich muss mal was ausprobieren, ob es so geht.

I: Ach so. ... Ja, funktioniert. Ja, wieso braucht man jetzt da wieder zwei Kabel?

J: Weil eines hat sonst wieder zu wenig Strom.

Dieser Teil des Interviews zeigt, dass Jakob jetzt die Zweiwegezuführungsvorstellung gefestigt hat. Allerdings ist er zwischendurch nicht in der Lage diese Vorstellung in praktisches Handeln zu übersetzen. Beim Aufbau des Stromkreises vergisst er die Batterie. Der Schritt von der Einwegzuführung zur Zweiwegezuführung zeigte sich bei (fast) allen Schülern in den Interviews als der für sie nächstliegende und logische.

Posttest:

Im Posttest ist sich Jakob sicher, dass er zwei Kabel benötigt. Er beginnt mit einer Zweiwegeerklärung: „Mit einem geht es nicht. Der Strom ist sonst zu wenig. Weil nur auf einer Seite der Strom ist; er ist zu wenig.“ Später, auf die Frage, wie denn der Strom fließe: „Im Kreis. Von der Batterie durch den Draht, ins Lämpchen, durch den Draht zurück.“ Aber auch mit dieser Vorstellung scheint er bei der Umsetzung in die Praxis Schwierigkeiten zu

haben. Er nimmt zunächst drei Kabel, auf Nachfrage des Interviewers nimmt er nur noch zwei. Ein Kabel davon steckt er in die zwei Fassungen des Lämpchens. Der Interviewer fragt Jakob, wie ein Stromkreis auszusehen hat. Jakob probiert, ein Kabel an das Birnchen zu halten, weiß jedoch nicht, wie man einen Stromkreis zusammensteckt.

I: (Erklärt den Ablauf, gibt Hilfestellung). Wie viele Anschlüsse hast du für das Birnchen gebraucht?

J: Zwei.

I: Wie viele Anschlüsse brauchst du dann für den größeren Stromkreis?

J: Vier.

I: Wie kommst du auf vier?

J: Zwei.

I: Wie könnte man auf den Begriff Stromkreis kommen?

J: Weil der Strom im Kreis fließt.

I: Was heißt das, der Strom fließt im Kreis? Ist in der Leitung genauso viel Strom wie in dieser?

J: Ja.

Follow Up-Test:

Im Follow Up-Interview baut Jakob den Stromkreis zügig und richtig auf. Auf die Nachfrage, wieso er jetzt zwei Kabel genommen hat, erklärt er, dass es doch ein Stromkreis werden müsse: „Nein, sonst ist kein Stromkreis da.“ Auf die Nachfrage des Interviewers, ob das mit drei oder vier Kabeln auch funktioniert, wehrt er bestimmt ab. Bis hierhin könnte man meinen, Jakob analogisiert von der Form des Stromkreises her. Auf Rückfrage, wieso der Stromkreis Kreis heißt, äußert er jedoch die strukturelle Analogie:

J: Weil der Strom fließt von da.....der fließt immer so im Kreis.

I: Und was fließt da in dem Stromkreis?

J: Die kleinen Elektronen.

I: Fließt außerdem noch was?

J: Ja, Energie!

I: Und wie fließt das jetzt? Wenn Du mir das an den Kabeln zeigst? Die Elektronen sind ja in der Batterie, hast Du am Anfang gesagt.

J: Ja.

I: Und wo fließen die dann hin?

J: Da durch und da hin und da wieder rauf. Dann wieder da durch und da wieder rauf.

I: Also von der Batterie zum Lämpchen, durchs Lämpchen hindurch und wieder zur Batterie zurück.

J: Ja.

I: Dann hast Du noch gesagt, es fließt Energie. Wie fließt die Energie?

J: (überlegt)

I: Fließt die auch rundum?

J: Nein.

I: Sondern?

J: Die hört da auf. (deutet auf das Lämpchen)

I: Ja. Und was passiert mit der Energie da drin? In dem Lämpchen?

J: Das erzeugt, dass da ein Licht kommt.

I: Die wird in Lichtenergie verwandelt. Genau.

Und was passiert mit dem Strom im Lämpchen, also mit den Teilchen, die Du gesagt hast?

J: Die werden verbraucht.

Jakob hat nun das Stromkreiskonzept gefestigt. Allerdings stellt er sich immer noch vor, dass der Strom im Lämpchen verbraucht wird. Um den Stromverbrauch und den Abbau dieser Vorstellung soll es im nächsten Kapitel gehen.

5.4 Das Konzept Stromverbrauch

Im folgenden Kapitel werden aus den Fragebogenitems, die ein Stromverbrauchskonzept messen sollen, Skalenwerte gebildet. Die Auswertung erfolgt dann anhand dieser Skalenwerte. Betrachtet wird dazu die Veränderung der Skalenwerte für die Verbrauchsvorstellung bei Jungen und Mädchen. Auch die Veränderung der einzelnen Werte bei Schulleistungsgruppen aus der Sicht der einzelnen Interventionsgruppen wird untersucht. Im Anschluss daran soll der mittlere Skalenwert aus der Sichtweise von diesen Leistungsgruppen im Hinblick auf die verschiedenen Modelle beschrieben werden. Schließlich soll untersucht werden, ob zwischen dem Verbrauchskonzept und der vorherrschenden Stromflussvorstellung ein Zusammenhang besteht.

Oft geht mit den Konzepten einer Einwegzuführung oder einer Zweiwegzuführung die Fehlvorstellung des Stromverbrauchs einher. „Das wohl am häufigsten anzutreffende Präkonzept von Schülern beim elektrischen Stromkreis enthält als zentrale Kategorie den Verbrauch, in der Regel den Stromverbrauch. Die Verbrauchsvorstellung bezieht sich auf alle Komponenten des Stromkreises. Ihre Grundidee besagt: Der Strom fließt von der Batterie (Quelle) zur Lampe (Verbraucher) und wird dort verbraucht (Quelle-Verbraucher-Modell). Der Strom wird als Substanz gesehen.“(Schwedes & Dudeck 1993, S. 16) Dies verwundert nicht, wenn man die Verwendung von Begriffen im Alltag berücksichtigt. Die Alltagssprache verweist oft auf „Stromverbrauch“, auf „Strom sparen“ etc. Selbst in Lehrplänen lassen sich Zitate wie folgende finden:

„Strom sparen als Notwendigkeit begreifen“¹⁵

„Möglichkeiten der Einsparung von Strom finden, (...) Sensibilisierung für notwendigen und unnötigen Verbrauch, z.B. Stand-by-Schaltung“¹⁶

Aus den drei Items, die im Fragebogen das Verbrauchskonzept abbilden, wird eine Skala gebildet und ein Skalenwert VK berechnet (siehe Kap. 4.2). Die Skalenwerte liegen zwischen 0 und 1. Je höher der Wert, umso mehr glauben die Schülerinnen und Schüler, dass Strom verbraucht wird und umso sicherer sind sie sich des Stromverbrauchs. Bereits zu Beginn der Untersuchung zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,08$). In Abbildung 5.37 wird der Mittelwert aller VK-Werte der Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe gebildet und im Diagramm aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Kontrollgruppe bereits zu Beginn die höchsten Werte der Verbrauchsvorstellung aufweist.

¹⁵ Siehe Lehrplan für die Grundschulen in Bayern, Rahmenplan Sachunterricht Hamburg etc.

¹⁶ Siehe Lehrplan für die Grundschulen in Bayern, LPZ HSU 3.7.3

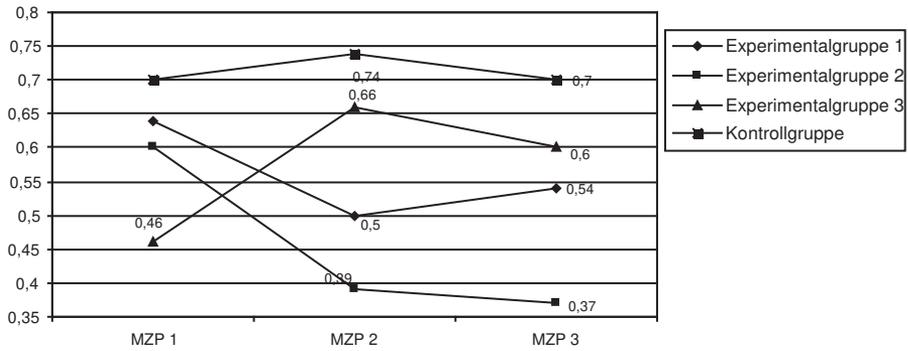


Abb. 5.37: Mittelwert der VK-Werte der in den Interventionsgruppen

Es zeigt sich weiter, dass das Konzept „Stromverbrauch“ durch den Einsatz von Analogiemodellen im Unterricht beeinflusst werden kann. Allerdings tragen nicht alle Modelle in gleicher Weise zu einem Abbau des Verbrauchskonzeptes bei. Den größten Abbau des Verbrauchskonzeptes im Posttest zeigt Experimentalgruppe 2, d.h. die Gruppe, deren Modell ein mechanisch umlaufender Riemen war. Hier scheint offensichtlich am stärksten deutlich zu werden, dass kein Glied der Kette verloren gehen darf, dass der Riemen nicht reißen darf, um das System am Laufen zu halten. Die Kontrollgruppe baut durch den Unterricht eher ein Verbrauchskonzept auf, statt ab. Erstaunlicherweise baut auch die Experimentalgruppe 3, die nur die Wassermodelle als Medien zur Veranschaulichung im Unterricht erarbeitete, das Konzept Verbrauch bis zum Posttest stark auf – schließlich wurde aus dem geschlossenen Wasserkreis im Unterricht offensichtlich kein Wasser verbraucht! Allerdings wird das aufgebaute Verbrauchskonzept mit der Zeit teilweise wieder abgebaut. Es scheint, dass die Schüler zur Verarbeitung des Wassermodells eine längere Zeit benötigen (siehe Abb. 5.37).

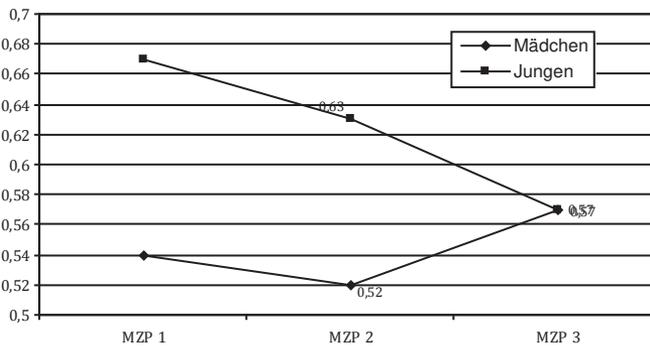


Abb. 5.38: Vorstellung Stromverbrauch bei Mädchen und Jungen

Zwischen Mädchen und Jungen besteht bezüglich des Verbrauchskonzeptes ein signifikanter Unterschied ($p=0,01$). Mädchen und Jungen unterscheiden sich im Pretest um über 0,1. Bei Jungen ist das Verbrauchskonzept dabei ausgeprägter. Am Ende der Untersuchung ist der Unterschied ausgeglichen. Jungen bauen das Konzept – wie Mädchen – nach dem Unterricht ab. In den Wochen nach dem Unterricht baut sich bei den Mädchen jedoch das Verbrauchskonzept wieder auf, während es sich bei den Jungen noch weiter abbaut (siehe Abb. 5.38)

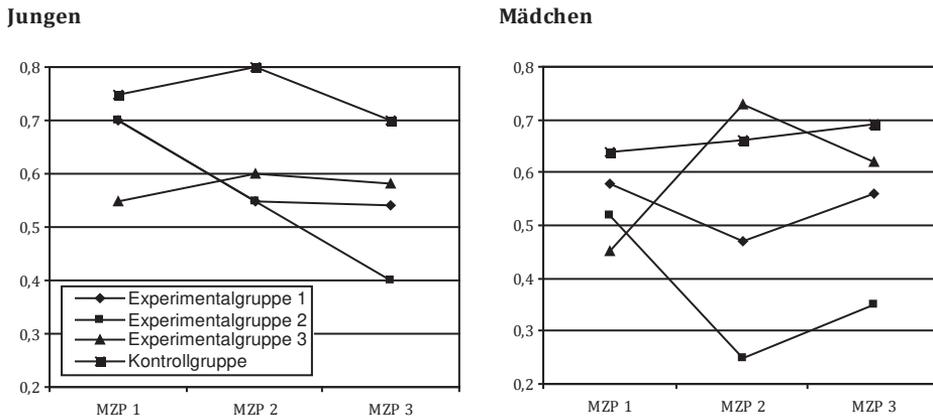


Abb. 5.39: Vorstellung Stromverbrauch bei Mädchen und Jungen in den Interventionsgruppen

Untersucht man die Abhängigkeit des Verbrauchskonzeptes bei Mädchen und Jungen in den verschiedenen Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe, so ergibt sich, dass sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen der Kontrollgruppe und der Experimentalgruppe 3 das Verbrauchskonzept von Pre- zu Posttest verstärkt wird. Der Aufbau des Verbrauchskonzeptes durch die Wassermodelle tritt in besonderem Maß bei Mädchen auf. Die Vorstellung, dass Strom verbraucht wird, wird in den Gruppen, die das mechanische Modell als Unterrichtsinhalt hatten, abgebaut; bei den Jungen auch nach dem Unterricht, bei Mädchen nur bis zum Posttest, dann wächst die Vorstellung wieder an. Die beiden Experimentalgruppen 1 und 2, also die Gruppen, die im Unterricht mit dem mechanischen Modell konfrontiert wurden, profitieren in Bezug auf den Abbau des Verbrauchskonzeptes am meisten von der Intervention. Sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen findet ein Rückgang des Konzeptes im Posttest statt. Mädchen bauen allerdings teilweise bis zur Follow Up-Erhebung das Konzept wieder auf. In der Experimentalgruppe 1 scheint das WassermodeLL den positiven Effekt des mechanischen Modells abzuschwächen. Die Effekte sind von Pre- zu Posttest bei den Jungen identisch. Vom Posttest zur Follow Up-Erhebung findet in der Experimentalgruppe 2 ein stärkerer Abbau des Konzeptes bei den Jungen statt als in der Experimentalgruppe 1. Mädchen der Experimentalgruppe 2 zeigen bereits im Posttest einen stärkeren Abbau des Konzeptes als Mädchen der Experimentalgruppe 1. Der Wiederaufbau des Konzeptes findet in der Experimentalgruppe 1 bei den Mädchen fast vollständig statt, während er in der Experimentalgruppe 2 nur teilweise erfolgt (siehe Abb. 5.39).

Die Veränderung der Verbrauchsvorstellung bzw. deren Beständigkeit über verschiedene Items hinweg ist signifikant abhängig von der Gruppe (siehe oben). Doch auch die Schulleistung wirkt sich signifikant innerhalb dieser Gruppen aus ($p < 0,01$).

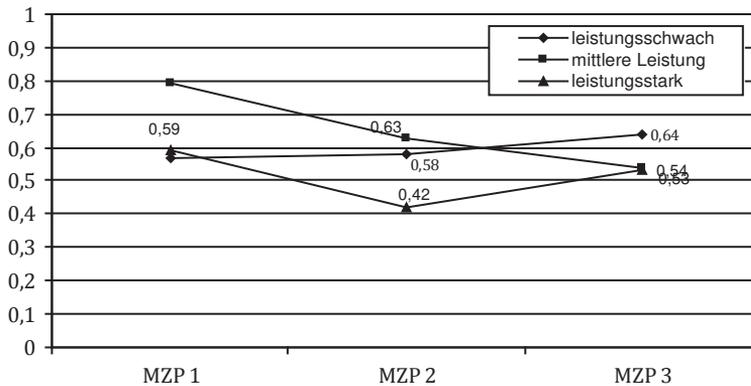


Abb. 5.40: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes bei verschiedenen Schulleistungsgruppen in der Experimentalgruppe

In der *Experimentalgruppe 1* liegen leistungsstarke und leistungsschwache Schüler im Pretest mit ihrer Stromverbrauchsvorstellung nahe beieinander. Die Gruppe mit mittlerer Schulleistung geht sehr viel stärker davon aus, dass der Strom verbraucht wird (VK ist um ca. 0,2 höher als bei den anderen Gruppen.). Bis zum Messzeitpunkt 2 sinkt das Stromverbrauchskonzept bei den leistungsstarken Schülern und den Schülern der mittleren Leistungsgruppe in etwa gleich stark (Parallelität der Kurven). Die leistungsschwachen Schüler dagegen bleiben auf ihrem Niveau. Die Kurve steigt minimal an. In der Follow Up-Untersuchung steigt die Vorstellung des Stromverbrauchs bei den leistungsstarken und bei den leistungsschwachen Schülern wieder an, die der mittleren Leistungsgruppe fällt weiter ab. Letztendlich haben nun die mittlere Leistungsgruppe und die leistungsstarken Schüler beim Follow Up-Test im Mittel dieselbe Verbrauchsvorstellung, in geringerem Ausmaß als die Vorstellung im Pretest. Die Leistungsschwachen dagegen bauen im Anschluss an den Unterricht die Verbrauchsvorstellung wieder auf. Ihr Endniveau des errechneten Mittels ist sogar (um 0,07) höher als der Wert des Pretests (siehe Abb. 5.40).

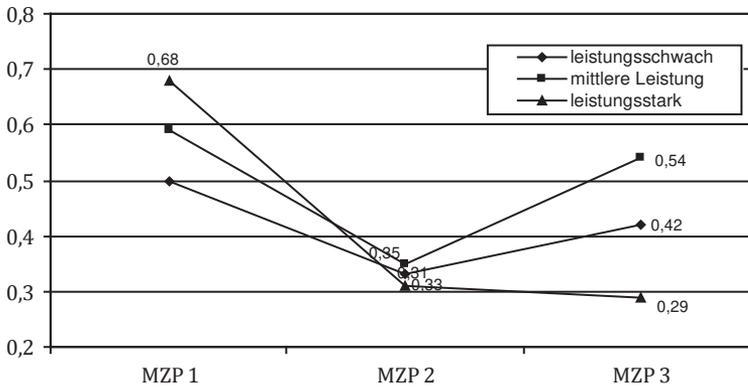


Abb. 5.41: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes bei verschiedenen Schulleistungsgruppen in der Experimentalgruppe 2

In der *Experimentalgruppe 2* liegen die VK-Werte der drei Schulleistungsgruppen zu Beginn nicht signifikant auseinander. Die Verbrauchsvorstellung ist bei den Leistungsstarken am ausgeprägtesten, gefolgt von der mittleren Leistungsgruppe und den Leistungsschwachen. Bis zum Posttest sind alle Werte auf etwa das gleiche Niveau gefallen, ca. die Hälfte des Anfangswertes der leistungsstarken Gruppe. Bis zum Follow Up-Test steigt die Vorstellung vom Stromverbrauch bei der Gruppe mit mittleren Schulleistungen und bei der Gruppe der leistungsschwachen Schüler wieder um 0,1 an. Bei der leistungsstarken Gruppe steigt die Stromverbrauchsvorstellung in der Follow Up-Erhebung nicht an (Der VK-Wert fällt sogar um 0,02, siehe Abb. 5.41.)

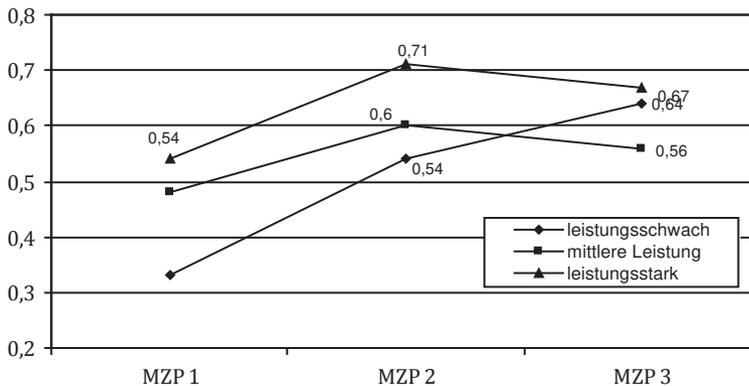


Abb. 5.42: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes bei verschiedenen Schulleistungsgruppen in der Experimentalgruppe 3

In der *Experimentalgruppe 3* ergibt sich im Pretest ein ähnliches Bild wie in der *Experimentalgruppe 2*. Auch hier haben Leistungsstarke die höchste Verbrauchsvorstellung (VK=0,54), gefolgt von der Gruppe mittlerer Schulleistungen (VK=0,47) und den Leistungsschwachen (VK=0,33). Hier steigt die Vorstellung vom Stromverbrauch in allen Leistungsgruppen nahezu gleich an (um ca. 0,2). Während sie bei den leistungsstarken Schülern und bei Schülern mit mittlerer Schulleistung zur Follow Up-Erhebung hin um 0,04 Punkte abfällt, steigt die Vorstellung bei den Leistungsschwachen noch um weitere 0,1 Punkte (siehe Abb. 5.42).

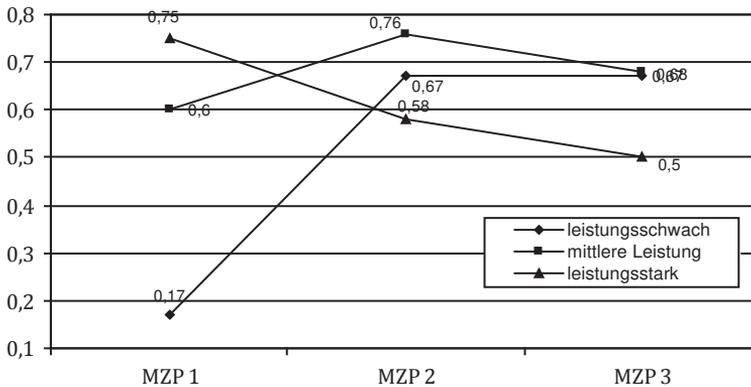


Abb. 5.43: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes bei verschiedenen Schulleistungsgruppen in der Kontrollgruppe

In der *Kontrollgruppe* gibt es im Pretest große Unterschiede zwischen den Leistungsschwachen und den beiden anderen Gruppen. Die Leistungsschwachen haben einen um ca. 0,5 niedrigeren VW-Wert, d.h. sie glauben im Pretest wesentlich weniger, dass Strom verbraucht wird. Im Posttest und in der Follow Up-Erhebung ist der Wert konstant auf 0,66 angestiegen. Der VK-Wert der Gruppe mit mittlerer Schulleistung liegt im Pretest bei 0,6. Auch er steigt zum Posttest hin an (um 0,16), fällt dann zur Follow Up-Untersuchung wieder auf 0,68. D.h. auch die Gruppe mittlerer Schulleistungen baut im Laufe der Intervention ein Verbrauchskonzept auf, das sich langfristig zumindest bei einem Teil der Schüler festigt. (Der VK-Wert ist in der Follow Up-Erhebung um 0,1 höher als im Pretest.) Die leistungsstarken Schüler der Kontrollgruppe bilden die einzige Schülergruppe, die das Verbrauchskonzept vom Pretest zum Posttest und vom Posttest zur Follow Up-Erhebung ein Stück weit aufgeben bzw. unsicherer werden (siehe Abb. 5.43).

Die Verbrauchsvorstellung in einzelnen Schulleistungsgruppen

Interessante Ergebnisse ergeben sich auch, wenn man die Untersuchung der Verbrauchsvorstellung aus Sicht der einzelnen Schulleistungsgruppen betrachtet:

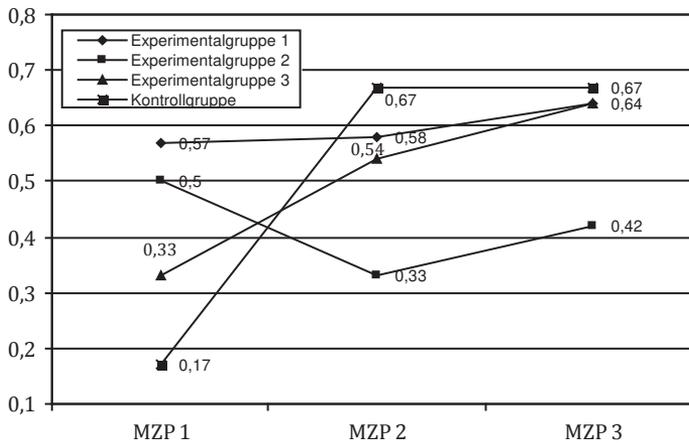


Abb. 5.44: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes in der Gruppe leistungsschwacher Schüler bei den Experimental-/Kontrollgruppen

Beim Pretest weist die Gruppe der *leistungsschwachen Schüler* den niedrigsten VK-Wert (0,17) auf. Experimentalgruppe 1 und 2 unterscheiden sich wenig (0,57 und 0,5). Experimentalgruppe 3 weist einen VK-Wert von 0,33 für die leistungsschwachen Schüler auf. Leistungsschwache Schüler bauen das Konzept des Stromverbrauchs am stärksten ab, wenn sie das mechanische Modell im Unterricht behandelt haben (Experimentalgruppe 2). Im Posttest hat ihr Konzept des Stromverbrauchs auf 0,33 abgenommen. Mit dem Anstieg auf 0,4 liegen sie in der Follow Up-Erhebung im Vergleich zu allen anderen Gruppen am niedrigsten und unter ihrem eigenen Anfangsniveau. Bei Experimentalgruppe 3 verdoppelt sich der VK-Wert von Pretest zu Follow Up. Der Wert beim Posttest (0,54) liegt deutlich über dem Pretestwert. Die Wassermodellgruppe hat also ein Verbrauchskonzept in der Zeit der Intervention aufgebaut. Experimentalgruppe 1, die ja im Unterricht beide Modelle kennen gelernt hat, liegt im Pretest mit 0,56 am höchsten. Dieser VK-Wert ändert sich aber im Verlauf der Intervention nicht. Im Posttest zeigt die Gruppe den gleichen Wert wie im Pretest. Auch bei der Experimentalgruppe 1 ist vom Posttest zur Follow Up-Erhebung (wie bei der Experimentalgruppe 2 und der Experimentalgruppe 3) ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Alle Experimentalgruppen bauen nach dem Unterricht bis zum Follow Up-Test das Stromverbrauchskonzept teilweise wieder oder noch stärker auf. Der geringe Wert der Kontrollgruppe im Pretest steigt im Posttest um 0,5 erheblich an und stabilisiert sich zur Follow Up-Erhebung (siehe Abb. 5.44).

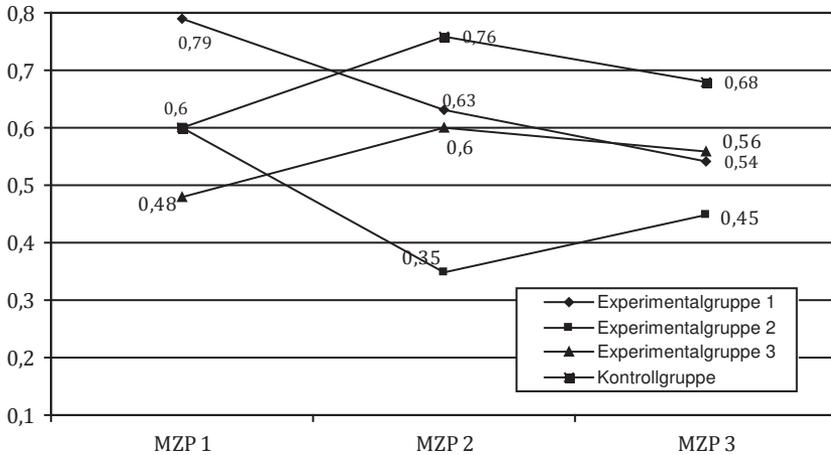


Abb. 5.45: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes in der Gruppe der Schüler mit mittlerer Schulleistung bei den Experimental-/Kontrollgruppen

Bei Schülern mit *mittlerer Schulleistung* zeigt sich ebenfalls bereits im Pretest ein Unterschied zwischen den verschiedenen Experimentalgruppen bzw. der Kontrollgruppe. Den höchsten VK-Wert hat im Pretest die Experimentalgruppe 1 (0,79), gefolgt von der Experimentalgruppe 2 und der Kontrollgruppe (beide 0,60). Den niedrigsten Wert zeigt die Experimentalgruppe 3. Im Posttest steigen die Werte von der Experimentalgruppe 3 und der Kontrollgruppe um ca. 0,15 an, d.h. nach dem Unterricht glauben die Schüler mittlerer Schulleistung in diesen beiden Gruppen in verstärktem Maße, dass Strom verbraucht wird. Die beiden Gruppen, die im Unterricht das mechanische Modell kennen lernten, bauen das Konzept dagegen im Posttest ab, die Experimentalgruppe 2 am stärksten von 0,60 auf 0,35, die Experimentalgruppe 1 von 0,79 auf 0,63. Zum Follow Up-Test bauen Schüler mittlerer Schulleistung in allen Gruppen (mit Ausnahme der Experimentalgruppe 2) das Verbrauchskonzept leicht ab. Die Experimentalgruppe 2 hat jedoch trotz eines leichten Anstiegs des Konzeptes zum Zeitpunkt der Follow Up-Erhebung den niedrigsten VK-Wert (um 0,1 kleiner, siehe Abb. 5.45).

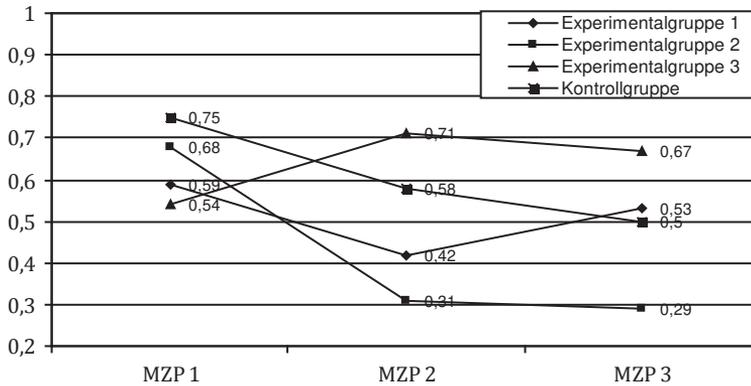


Abb. 5.46: Ab- bzw. Aufbau des Verbrauchskonzeptes in der Gruppe leistungsstarker Schüler bei den Experimental-/Kontrollgruppen

Schüler, die *gute Schulleistungen* erbringen, unterscheiden sich beim Pretest nicht signifikant voneinander. Die VK-Werte aller Interventionsgruppen liegen zwischen 0,54 und 0,75 (EG 1: 0,59; EG 2: 0,67; EG 3: 0,54; KG: 0,75). Leistungsstarke Schüler zeigen das Stromverbrauchskonzept teilweise im Posttest nicht mehr (KG: 0,58; EG 1: 0,41; EG 2: 0,31), einzige Ausnahme: Die Wassergruppe zeigt einen VK-Anstieg um 0,16 auf 0,70. Im Follow Up-Test sind die VK-Werte von der Experimentalgruppe 3 und der Experimentalgruppe 2 annähernd stabil bzw. fallen um 0,03 bzw. 0,02 (EG 3: 0,67; EG 2: 0,29). Der Wert der leistungsstarken Schüler der Kontrollgruppe fällt um 0,08 auf 0,50. Die leistungsstarken Schüler der Experimentalgruppe 1 bauen das Stromverbrauchskonzept fast vollständig wieder so auf, wie es im Pretest vorlag (0,53, siehe Abb. 5.46).

Der Zusammenhang zwischen der Stromflussvorstellung und der Verbrauchsvorstellung
Die Stromflussvorstellung als Stromkreis schließt an sich aus, dass Strom verbraucht wird. Die Vorstellung dagegen, dass nur durch einen Draht oder durch zwei Drähte etwas zum Lämpchen hin fließt, könnte eine Stromverbrauchsvorstellung sogar unterstützen: Irgendetwas muss mit dem Strom passiert sein. Vielleicht, so könnte man meinen, ist er in Wärme verwandelt worden etc. Die Untersuchung zeigt nun, dass es tatsächlich zu allen Zeitpunkten eine signifikante (negative) Korrelation zwischen dem Verbrauchskonzept und der Vorstellung des zirkulären Stromflusses gibt: Je gefestigter die Kreisvorstellung des Stromflusses ist (je höher I_{Kr}), um so weniger ausgeprägt ist das Verbrauchskonzept und um so niedriger ist der Wert der Verbrauchsvorstellung (siehe Tab. 5.9).

		Stromkreis- vorstellung Pretest	Stromkreis- vorstellung Posttest	Stromkreis- vorstellung Follow Up
Verbrauchskonzept Pretest	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N	-,188(**) ,003 242		
Verbrauchskonzept Posttest	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N		-,487(**) ,000 265	
Verbrauchskonzept Follow Up	Korrelation nach Pearson Signifikanz (2-seitig) N			-,436(**) ,000 260

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 5.9: Zusammenhang zwischen Verbrauchsvorstellung und Kreisvorstellung

Die Verbrauchsvorstellung in Interviews

Auch in den Interviews wurde die Verbrauchsvorstellung mehrfach offensichtlich (z.B. im Follow Up-Interview mit Jakob, s.o.).

Katja äußert den Stromverbrauch (im Pretest) in Form einer Stromumwandlung in Licht:

- K: Der wird dann zu Licht im Lämpchen umgewandelt.
I: Ist der Strom hinterher noch da?
K: Nein, den verbraucht man ja fürs Licht.

Jakob äußerte im Pretest zum Stromverbrauch folgendes:

- J: Das wird verbraucht.
I: Also wenn ich das Lämpchen da reinbaue, das verbraucht dann Strom?
J: Ja.
I: Und woran sehe ich das?
J: Wenn die Batterie leer ist, dann geht das Licht wieder aus.
I: Ach so, dann ist praktisch alles verbraucht.
J: Ja.

Im Posttest lässt sich vereinzelt auch ein Mischen des Verbrauchskonzeptes mit einem Wasserverbrauchskonzept des Alltags feststellen. Das im Alltag beim Händewaschen „verbraachte“ Wasser ist schmutzig, läuft weiter und in den Abfluss. Julia äußert dies nach dem Unterricht für den Strom ähnlich:

- I: Wäre das mit einem Kabel auch gegangen?
J: Nein. Bei einem fließt der Strom rein, der verbrauchte Strom läuft durchs andere zurück.

Dominik kombiniert ebenfalls eine korrekte Kreisvorstellung mit einer Stromverbrauchsvorstellung:

- D: Normalerweise schon. Der Rest, der nicht verbraucht wird vom Strom, wird zurückgeleitet.

Tobias äußert die gleiche Vorstellung:

- I: Du sagst jetzt, das muss zur Lampe und der Strom, der übrig bleibt, muss zur Batterie.
T: Ja.
I: Was heißt jetzt der Strom der übrig bleibt? Ist das weniger als vorher?
T: Ja
I: Ja? Und warum? Was passiert mit dem Strom?
T: Der hat die ...äh das hat das Lämpchen schon gebraucht.

Im Folgenden sollen noch ein paar Kinder zu Wort kommen, die nach dem Unterricht keinen Stromverbrauch mehr annehmen.

Mit der „Denkhilfe Modell“ fällt es Lukas leichter:

- I: Und jetzt überlegen wir, ob der Strom verbraucht wird? Was müsste dann hier im Modell verbraucht werden?
L: Die Kügelchen.
I: Und werden die verbraucht?
L: Nein.
I: Und wird der Strom verbraucht?
L: Nein.

Paul, Sophia und Andreas gehen von einem Energieverbrauch, aber nicht von einem Stromverbrauch aus:

- I: Wird im Stromkreis Strom verbraucht?
P: Nein, nur die Energie.

S: Ja, ich weiß. Aber es wird ja nur die Energie verbraucht.

A: Nein, wird nicht verbraucht, der ist nachher immer noch da.
I: Warum müssen wir dann Stromrechnung bezahlen, wenn kein Strom verbraucht wird?
A: Weil die Energie verbraucht wird.

5.5 Akzeptanz des Wassermodells

Im folgenden Kapitel werden Fragen zum Wassermodell ausgewertet. Von den vorliegenden Fragen wurden nur Posttest und Follow Up-Test in den Experimentalgruppen 1 und 3 erhoben, da es ohne Kenntnis des Modells nicht sinnvoll ist, zur Vertrautheit oder zur Akzeptanz dessen befragt zu werden. Die Fragen gehen deswegen explizit auf das Wassermodell ein, da hier die Akzeptanz besonders umstritten scheint. Zunächst werden die Fragen nach der Akzeptanz des Modells beantwortet. Anschließend sollen Zusammenhänge mit der Skala „Vertrautheit mit dem Modell“ und Einzelitems zum Wissen über das Wassermodell dargestellt werden.

Skala Akzeptanz des Wassermodells

Das Wassermodell ist nicht unumstritten. „Nur wenn die Schüler mit dem analogen Bereich vertraut sind, ist seitens der Kinder eine Bereitschaft da, vorgegebene Analogien zu verwenden. Bei der Wasseranalogie ist dieser Aspekt indifferent. Wasser wird zwar als vertraut empfunden, nicht aber Wasserstromkreise. (...) Fehlt die Vertrautheit, ist nicht nur mit analogen Zuordnungs- und Verständnisschwierigkeiten zu rechnen, sondern auch damit, dass die Analogie gar nicht erst verwendet, weil nicht akzeptiert wird.“ (Kircher 1995a) Gerade die Nicht-Akzeptanz des Wassermodells durch die Schüler ist nicht unproblematisch. Deshalb soll ihr an dieser Stelle die Aufmerksamkeit gelten.

Durch Summenbildung und Normierung wurde ein Index für die Akzeptanz für jeden Schüler berechnet. Die Skalenbildung und die Reliabilitätswerte sind in Kap. 4.2 beschrieben. Der berechnete Wert liegt in Folge der Normierungen zwischen 0 und 1, wobei 0 hier für die Ablehnung des Modells und 1 für die „völlige“ Akzeptanz des Modells stehen soll (siehe Kap. 4.2).

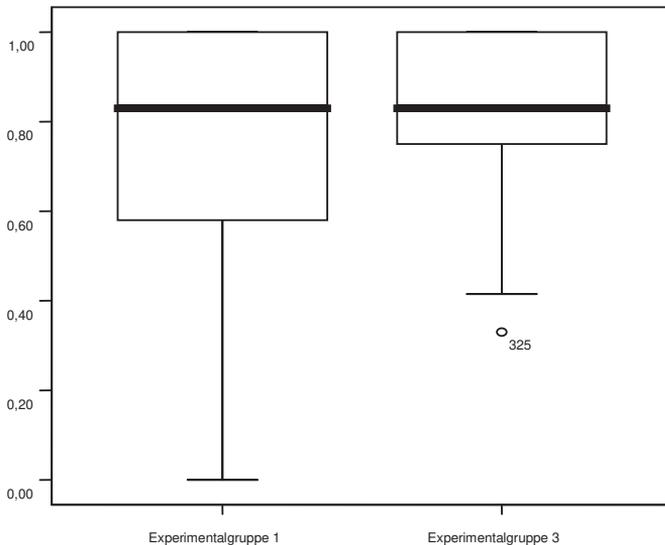


Abb. 5.47: Akzeptanz des Wassermodells in den Experimentalgruppen 1 und 3

Zwar mit $p=0,13$ nicht signifikant, aber richtungweisend liegt der Akzeptanzindex in der Experimentalgruppe 3 höher als in der Experimentalgruppe 1. Dies liegt vor allem daran, dass in der Experimentalgruppe 1 diejenigen 25 % der Schüler, die unter dem Median bei gleichem Medianwert liegen, weiter nach unten streuen als in der Experimentalgruppe 3 (siehe Abb. 7.47). Das bedeutet, dass die Experimentalgruppe (3), die nur das Wassermodell behandelt hat, im Durchschnitt das Wassermodell besser akzeptiert als die Gruppe, die auch das mechanische Modell kennen gelernt hat.

Der Akzeptanzindex ist in der vorliegenden Untersuchung weder vom Geschlecht, noch von der Schulleistung oder dem Vorwissen abhängig. Aufgrund der nicht optimalen Reliabilität müsste jedoch in einer Folgeuntersuchung ein wesentlich ausdifferenzierteres Messinstrument für die Untersuchung der Akzeptanz entwickelt werden (vgl. Bortz S. 13). Die Untersuchung der Akzeptanz des Modells bildet jedoch nicht das zentrale Anliegen dieser Arbeit.

Skala „Vertrautheit mit dem Modell“

Zur Bildung eines Wertes Vertrautheit mit dem Modell (im Sinne von Wissen um das Modell) wurden bei allen elf Fragen richtige Antworten ausgezählt und auf 1 normiert.

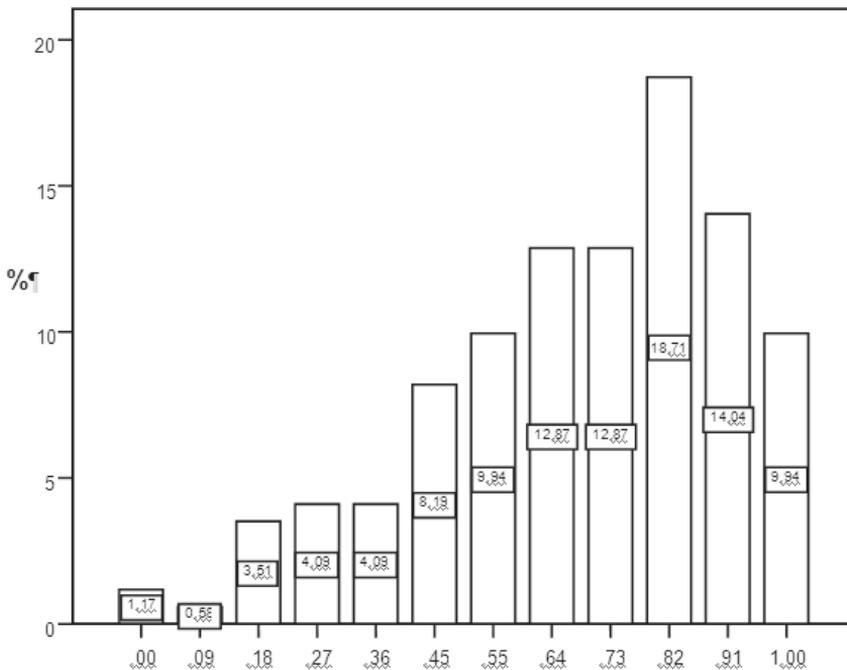


Abb. 5.48: Verteilung des Wissens über das Wassermodell

Die Verteilung der normierten Vertrauheitswerte zeigt, dass ein großer Teil der befragten Schüler sich Wissen um das Modell angeeignet hat. 10 % der Schüler beantworten alle 11 Fragen richtig. Weitere 45 % haben immerhin noch über drei Viertel der Fragen richtig. Nur 22 % liegen unter 50 % der richtigen Lösungen (siehe Abb. 5.48).

Allerdings zeigen Varianzanalysen Unterschiede zwischen den Gruppen: Der Skalenwert der Experimentalgruppe 3 ist um 0,07 höher als der Wert der Experimentalgruppe 1 ($p=0,07$). Jungen und Mädchen unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich der Vertrautheit mit dem Wassermodell. Die Werte der Jungen sind tendenziell aber höher als die der Mädchen. Bezüglich der Schulleistung und dem Vorwissen im Bereich der Elektrizitätslehre lassen sich signifikante Unterschiede feststellen. So sind die Werte der leistungsschwachen Schüler signifikant um ca. 0,2 niedriger als in den beiden anderen Gruppen ($p_{\text{Scheffé}} < 0,001$). Die Schüler mittlerer Schulleistung unterscheiden sich von den leistungsstarken nicht.

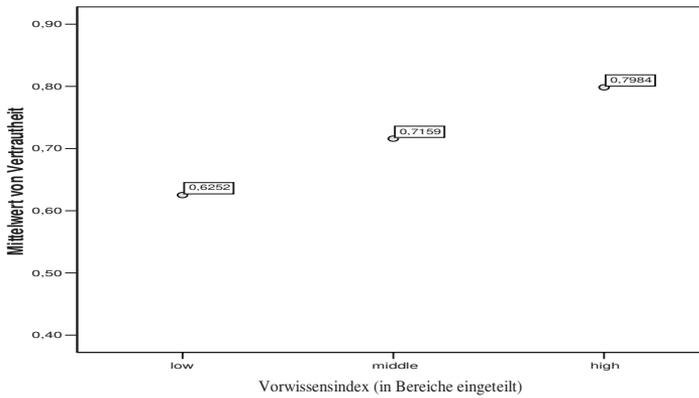


Abb. 5.49: Zusammenhang zwischen dem Vorwissen zum Stromkreis und Wissen zum Wasserkreis

Schüler mit geringem Vorwissen im Bereich der Elektrizitätslehre unterscheiden sich von Schülern mit hohem Vorwissen in diesem Bereich im aufgebauten Wissen um das Wassermmodell signifikant ($p_{\text{Scheffé}}=0,007$). Schüler mit hohem Vorwissen in der E-Lehre haben einen Vertrautheitswert, der um 0,17 höher ist als der Wert der Gruppe mit niedrigem Vorwissen. Schüler mit mittlerem Vorwissen haben einen Wert, der auf der Interpolationsgeraden zwischen den beiden Werten der anderen Gruppen liegt (siehe Abb. 5.49). Man könnte also formulieren, je höher das Vorwissen im Bereich Elektrizitätslehre, umso mehr baut sich im Unterricht Wissen über das Wassermmodell auf. Der Wert der mittleren Gruppe unterscheidet sich nicht signifikant von den beiden anderen Werten ($p_{\text{Scheffé,low-middle}}=0,13$; $p_{\text{Scheffé,middle-high}}=0,36$).

Zusammenhang Vertrautheit – Akzeptanz

Der theoretisch begründbare Zusammenhang zwischen Wissen um das Wassermmodell, das Vertrautsein mit dem Wassermmodell und der Akzeptanz des Wassermmodells kann mit den vorliegenden Messinstrumenten nicht nachgewiesen werden. Es ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Skala Akzeptanz und der Skala Vertrautheit (siehe Tab. 5.10).

Korrelationen		VERTRAUTHEIT	AKZEPTANZ
Vertrautheit	Korrelation nach Pearson	1	,054
	Signifikanz (1-seitig)		,235
	N	195	185
Akzeptanz	Korrelation nach Pearson	,054	1
	Signifikanz (1-seitig)	,235	
	N	185	215

Tab. 5.10: Zusammenhang zwischen Vertrautheit und Akzeptanz

Zusammenhang Vertrautheit oder Akzeptanz Wassermodell – Lernerfolg am Stromkreis

Es zeigt sich, dass die erfasste Akzeptanz des Modells weder mit dem errechneten Verbrauchskonzept noch mit dem Kreiskonzept signifikant korreliert. Die Skala Vertrautheit des Modells korreliert dagegen mit dem Kreiskonzept mit .30 ($p=0,001$). Das Verbrauchskonzept korreliert jedoch nicht mit der Skala Vertrautheit des Modells (siehe Tab. 5.11).

Korrelationen		Verbrauchskonzept	Kreiskonzept
Vertrautheit des Modells	Korrelation nach Pearson	-,035	,300(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,660	,001
	N	160	130
Akzeptanz des Modells	Korrelation nach Pearson	-,022	-,031
	Signifikanz (2-seitig)	,775	,717
	N	175	142

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab. 5.11: Zusammenhang Akzeptanz, Vertrautheit, Verbrauchskonzept, Kreiskonzept

Einzelitems zur Akzeptanz des Wassermodells

Das Item im Fragebogen lautete, ob Wasserkreis und Stromkreis etwas gemeinsam haben. 35,9 % der Schülerinnen und Schüler sahen im Posttest die Gemeinsamkeit der beiden Kreise in der Anordnung, 24,6 % nahmen den Wasserkreis explizit als Modell für den Stromkreis war. D.h. nur 60,5 % der Schüler akzeptieren bei dieser Frage Gemeinsamkeiten oder den Modellcharakter des Wasserkreises. Aber auch nur 10,8 % lehnen den Modellcharakter direkt ab oder stellen ihn in Frage. Daneben gibt es 28,7 % die sowohl „ja“ als auch „nein“ ankreuzen (vgl. Tab. 5.12).

	Posttest			Follow-up-Erhebung		
	Häufigkeit	Gültige Prozen-te	Kumulier-te Prozen-te	Häufigkeit	Gültige Prozen-te	Kumulier-te Prozen-te
1 Ja, selbe Anordnung	70	35,9	35,9	70	35,7	35,7
2 Wasserkreis als Modell	48	24,6	60,5	61	31,1	66,8
3 Nein, nichts miteinander zu tun	15	7,7	68,2	23	11,7	78,6
4 Wo soll Zusammenhang sein?	6	3,1	71,3	6	3,1	81,6
5 Unentschlossen	56	28,7	100,0	36	18,4	100,0
Gesamt	195	100,0		196	100,0	

Tab. 5.12: Frage „Haben Stromkreis und Wasserkreis etwas gemeinsam?“

In der Follow Up-Erhebung sind nur noch 18,4 % unentschlossen. Ein Teil hat sich für den Wasserkreis als Modell entschieden, so dass jetzt 31,1 % dieses Item ankreuzen. Ein Teil hat sich aber auch dafür entschieden, dass Stromkreis und Wasserkreis nichts miteinander

zu tun haben, so dass hier in der Follow Up-Erhebung 11,7 % ihr Kreuz machen. Die Anzahl derer die „Ja, der Stromkreis hat dieselbe Anordnung wie der Wasserkreis“ und „Nein, Strom ist Strom und Wasser ist Wasser, aber wo soll der Zusammenhang sein?“ angekreuzt haben, ist exakt gleich geblieben.

Die Frage, „Wie gut stellt das Modell Wasserkreis den Strom dar?“ beantworteten im Posttest 53,2 % der Schüler mit „sehr gut“, 38,3 % mit „gut“. Nur 5,5 % hielten das Wassermmodell für „weniger gut“ und 3,0 % für „gar nicht gut“. D.h. insgesamt wurde das Modell von 91,5 % mindestens für gut befunden. In der Follow Up-Erhebung ergeben sich keine signifikanten Veränderungen.

Einzelitems zum Wissen über das Wassermmodell

Um zu kontrollieren, wie vertraut das Wassermmodell den Schülern im Laufe der Arbeit wurde, sollen im Folgenden fünf Fragen bezüglich des Wissens um das Modell ausgewertet werden.

Bei der ersten Frage zum Wassermmodell sollten die Schüler entscheiden, was passiert, wenn zwei Wassergefäße über eine Wasserleitung miteinander verbunden sind. In einem Gefäß befindet sich viel Wasser, im zweiten noch kein Wasser. 62,0 % der Schülerinnen und Schüler beantworten im Posttest die Frage richtig: Das Wasser steigt, bis es in beiden Gläsern gleich hoch steht. Bei 12,5 % befindet sich das Antwortkreuz im Feld „Wasser steigt bis zur Höhe der Leitung“, 6,0 % glauben, das Wasser steige, bis es überläuft; 6,0 % sind der Meinung, es passiere gar nichts, und 14,5 % wissen nicht, was passieren könnte.

Bei der nächsten Frage sollten die Befragten zwei Wassergefäße so mit Schläuchen und einem Wasserrad verbinden, dass sich das Wasserrad dreht. 85,1 % der Schüler konnten im Posttest das Modell richtig zeichnen. 14,9 % konnten die Aufgabe nicht oder nur falsch beantworten.

Im Anschluss daran sollte geklärt werden, wie lange sich das Wasserrad bei richtigem Anschluss der Wassersäulen dreht. 66,0 % beantworten die Frage richtig. Das Wasserrad dreht sich, bis in beiden Wassersäulen die gleiche Wasserhöhe erreicht wurde. 21,7 % gehen davon aus, dass sich das Wasserrad dreht, bis das gesamte Wasser im anderen Glas ist, 6,9 % gehen davon aus, dass das System als Perpetuum Mobile ständig hin und her läuft. 5,4 % haben keine Vorstellung, wie lange das Rad am Laufen gehalten werden kann.

Die Auswertung der folgenden drei Items bezieht sich auf die Akzeptanz oder Ablehnung dreier Sätze. Die Sätze beziehen sich auf einen Wasserstromkreis, der mit Hilfe einer Pumpe betrieben wird.

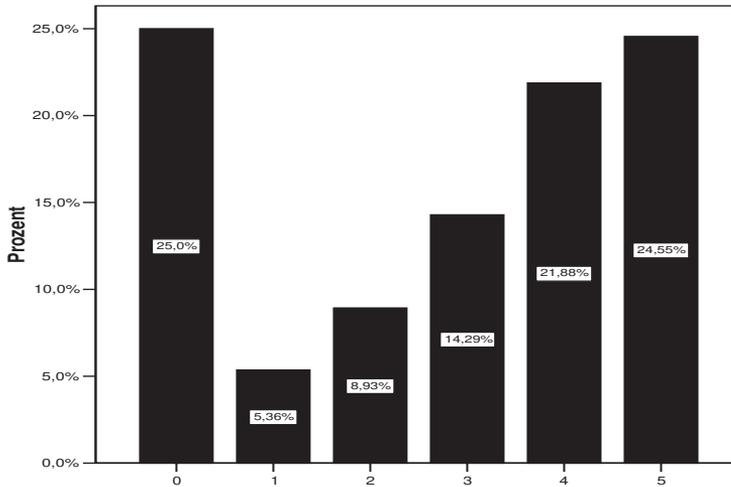
	„Das Wasserrad dreht sich, weil durch beide Leitungen etwas zum Rad fließt.“		„Das Wasserrad verbraucht Wasser“		„Das Wasser fließt von der Pumpe zum Wasserrad und wieder zur Pumpe zurück“	
	Häufigkeit	Gültige Prozepte	Häufigkeit	Gültige Prozepte	Häufigkeit	Gültige Prozepte
Ablehnung	109	58,0	155	85,2	43	21,7
Akzeptanz	79	42,0	27	14,8	155	78,3
Gesamt	188	100,0	182	100,0	198	100,0

Tab. 5.13: Akzeptanz oder Ablehnung von Sätzen

Zunächst sollten die Schüler die Richtigkeit des Satzes „Das Wasserrad dreht sich, weil durch beide Leitungen etwas zum Rad fließt.“ bestimmen. 58,0 % der befragten Schüler

erkannten den Satz als falsch. 42,0 % waren der Meinung, der Satz stimme so. 85,2 % der befragten Schüler waren zudem der Auffassung, dass das Wasserrad kein Wasser verbraucht, während 14,8 % den Wasserverbrauch bejahten. Die Richtigkeit des Satzes „Das Wasser fließt von der Pumpe zum Wasserrad und wieder zur Pumpe zurück“ erkannten 78,3 % (siehe Tab. 5.13).

Schließlich sollte noch der Wasserkreis mit dem Stromkreis verglichen werden. In Wortpaaren (Schläuche – Drähte, Wasser – Elektrizitätsteilchen, Elektronen, Pumpe, Doppelwassersäule, Flaschen – Batterie, Wasserrad – Lämpchen, Elektromotor und Wasserstrom – Elektronenstrom, elektrischer Strom) sollten die Schüler jeweils das entsprechende Wort aus dem anderen Kreis angeben.



Vergleich Wasserkreis – Stromkreis, Anzahl an richtigen Antworten

Abb. 5.50: Richtige Antworten beim Vergleich Wasserkreis – Stromkreis (Posttest)

Bei den insgesamt fünf Antworten gaben 24,6 % der befragten Schüler in allen Fällen die richtige Antwort, 21,9 % gab viermal die richtige Antwort, 14,3 % dreimal. Der Anteil derer, die keine richtige Antwort geben konnten, liegt bei 25 % (vgl. Abb. 5.50).

Die richtigen Antworten bei diesen Vergleichsfragen unterscheiden sich bei verschiedenen Schülergruppen. So beantworten leistungsschwache im Schnitt 1,5 Fragen weniger richtig als Schüler der mittleren Leistungsgruppe oder leistungsstarke Schüler ($p < 0,001$). Jungen haben im Schnitt 0,7 mehr richtige Antworten als Mädchen ($p = 0,007$). Die Experimentalgruppe 3 erzielt einen um 0,8 signifikant höheren Mittelwert als Experimentalgruppe 1 ($p = 0,006$).

5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Kapitel 5 wurden die Ergebnisse der Erhebung dargestellt. Dazu wurde zunächst untersucht, welches Vorwissen und welche Vorerfahrungen Schüler der 3. Jahrgangsstufe bereits

mit in den Unterricht bringen und wie sich dieses Wissen durch den Unterricht und darüber hinaus verändert.

Ein Großteil der Schüler besitzt ein sachliches Vorwissen zur Leitfähigkeit von Stoffen und kann dies dementsprechend begründen. Der Prozentsatz richtiger Antworten liegt zwischen 70 % und 90 %. Schwierigkeiten für die Schüler stellen in diesem Zusammenhang die Elemente Wasser und Aluminium dar. In vielen Antworten auf die Frage, was elektrischer Strom sei, wird deutlich, dass Strom als etwas Substanzartiges gesehen wird. Der Prozesscharakter des Stroms wird von den Schülern in freien Antworten gar nicht bedacht. Der errechnete Vorwissensindex zeigt, dass das Vorwissen mit einem Durchschnitt von 0,7 auf einer Skala von 0 bis 1 relativ hoch, die Streuung mit 0,12 nicht all zu groß ist. Dennoch zeigen sich zwischen den willkürlich gewählten Gruppen vor dem Unterricht bereits signifikante Unterschiede. Das Vorwissen und die Vorerfahrungen der Kontrollgruppe sind höher als in den Experimentalgruppen. Außerdem lassen sich signifikante Unterschiede im Vorwissen und den Vorerfahrungen von Jungen und Mädchen nachweisen. Das Vorwissen der Mädchen ist erwartungsgemäß im Bereich der Elektrizitätslehre geringer. Der errechnete Vorwissensindex hat einen Zusammenhang mit der Leistung der Schüler. Leistungsschwächere Schüler haben weniger Vorwissen als leistungsstärkere Schüler. Die Unterschiede zwischen der leistungsstarken Gruppe und der Gruppe mit mittlerer Schulleistung entsprechen einer halben Standardabweichung. Nach der Intervention geht die Vielzahl an Stromvorstellungen deutlich zurück. Die (richtige) Vorstellung, dass man von Strom dann spricht, wenn etwas strömt, wenn sich die winzigen kleinen Teilchen bewegen, ist nach der Intervention in allen Experimentalgruppen ausgeprägter als vor dem Unterricht. Die Kontrollgruppe dagegen baut diese Vorstellung nach dem Unterricht ab. Zwischen den Experimentalgruppen gibt es deutliche Abstufungen. Die Gruppen, die das mechanische Modell kennen gelernt haben (Experimentalgruppe 1 und Experimentalgruppe 2), bauen das Konzept „Bewegung von kleinen Teilchen“ stärker auf, als die Gruppe (Experimentalgruppe 3), die nur die Wassermodelle kennen lernte. Allerdings findet bei der Experimentalgruppe 3 auch nach dem Unterricht (bis zur Follow Up-Erhebung) noch ein Konzeptaufbau statt, während in der Experimentalgruppe 1 und der Experimentalgruppe 2 bereits wieder ein Konzeptabbau oder möglicherweise ein Vergessenseffekt einsetzt (Abb. 5.12). Außerdem fällt auf, dass die Stromvorstellung direkt nach der Intervention bei Jungen und Mädchen gleich ist. In der Follow Up-Erhebung liefern die Mädchen 10 % mehr richtige Antworten als die Jungen. Die Berechnung des Vorwissensindex und eines Wissensindex zu elementaren Vorstellungen in Posttest und Follow Up-Untersuchung zeigt, dass das Wissen vom Pretest bis zur Follow Up-Erhebung im Durchschnitt ansteigt (Abb. 5.19). Die Aufteilung in die einzelnen Interventionsgruppen zeigt, dass die Kontrollgruppe den niedrigsten Anstieg im Wissen hat, die Experimentalgruppe 1 und die Experimentalgruppe 2, also die Gruppen, die das mechanische Modell kennen gelernt haben, den größten Wissenszuwachs haben. Es zeigen sich sogar Tendenzen, wonach das mechanische Modell einen besonders hohen Lerneffekt für die Mädchen erzielt (Abb. 5.21). Dies müsste jedoch in einer Replikationsstudie überprüft werden.

Die Untersuchung stellte sich als Aufgabe, Stromflussvorstellungen von Schülern zu untersuchen. Der Pretest ergab, dass etwa ein Drittel der Schüler bereits vor dem Unterricht eine (mehr oder weniger belastbare) Kreisvorstellung zeigt. 54 % äußern eine Zweiwegzuführensvorstellung, 17 % eine Einwegzuführensvorstellung. Nach der Intervention (Posttest und Follow Up-Erhebung) verschwindet die Einwegzuführensvorstellung fast vollständig.

Fast alle Schüler haben erkannt, dass ein Kabel, ein Draht oder allgemein eine Verbindung nicht ausreicht, um ein Lämpchen zum Leuchten zu bringen. Etwa ein Drittel der Schüler gibt an, dass durch zwei Drähte etwas zum Birnchen fließen muss. Zwei Drittel der Schüler haben das Kreiskonzept übernommen (Abb. 5.24/5.25). Eine getrennte Untersuchung nach Interventionsgruppen zeigt, dass sich die Flussvorstellungen, abhängig von den Interventionen und damit abhängig von den verwendeten Analogien, verändern lassen. Die Kontrollgruppe, die keine Analogiemodelle kennen gelernt hat, baut zu einem geringeren Anteil eine Stromkreisvorstellung auf, zeigt jedoch zu einem größeren Anteil die Zweizegezuführungsvorstellung. Die Experimentalgruppe 1 und die Experimentalgruppe 2 bauen die Stromkreisvorstellung anteilmäßig am höchsten auf. Bei der Experimentalgruppe 3 ist wiederum festzustellen, dass in der Zeit nach dem Unterricht bis zur Follow Up-Erhebung die adäquaten Vorstellungen des Stromflusses im Stromkreis weiter ansteigen (vgl. Abb. 5.28). Die Kreisvorstellung bildet sich bei Schülern der mittleren Leistungsgruppe und bei leistungsstarken Schülern gleich au

Bei Schülern mit mittlerer Schulleistung zeigt sich, dass Wassermodelle in gleicher Weise wie mechanische Modelle wirken, dass nach Abschluss der Intervention jedoch die Wassermodelle nachwirken. Vom Posttest zur Follow Up-Erhebung baut sich in der Experimentalgruppe 3 ein Stromkreisverständnis weiter auf, während es in allen anderen Gruppen abgebaut wird. Die Kontrollgruppe hat durch die Intervention (ohne Analogiemodelle) den geringsten Aufbau von Kreisvorstellungen (Abb. 5.35). Leistungsstarke Schüler profitieren von allen Analogiemodellen und bauen die durch die Intervention aufgebaute Stromkreisvorstellung auch nicht wieder ab. Die leistungsstarken Schüler der Kontrollgruppe dagegen bauen ihre gewonnene Stromkreisvorstellung fast wieder vollständig ab (Abb. 5.36).

Bei den leistungsschwachen Schülern ist es schwieriger, eine Kreisvorstellung zu erreichen. Bei der Untersuchung der Leistungsschwachen, aufgeteilt nach Interventionsgruppen, ergibt sich, dass in den Gruppen mit mechanischem Modell (Experimentalgruppen 1 und 2) durch die Intervention die Kreisvorstellung bei einigen Schülern aufgebaut wird, während sie in der Kontrollgruppe und in der Experimentalgruppe 3, die nur das Wassermodell im Unterricht behandelt haben, sogar abgebaut wird. Bei den leistungsschwachen Schülern der Experimentalgruppe 2 findet sich sogar im Anschluss an die Intervention (vom Posttest zur Follow Up-Erhebung) ein sehr starken Anstieg wieder. Insgesamt lässt sich also festhalten, dass insbesondere die leistungsschwachen Schüler von mechanischen Analogiemodellen des Stromkreises profitieren, um eine *Kreisvorstellung* aufzubauen.

Mit der Einwegzuführungsvorstellung und der Zweizegezuführungsvorstellung geht häufig ein Stromverbrauchskonzept einher. Es zeigt sich, dass diejenigen Gruppen, die durch die Intervention am stärksten die Kreisvorstellung aufgebaut haben, auch am stärksten die Verbrauchsvorstellung abgebaut haben. In der Kontrollgruppe wird das Verbrauchskonzept nicht abgebaut, sondern sogar aufgebaut. Auch das Ergebnis der Follow Up-Erhebung weist noch eine höhere Verbrauchsvorstellung als der Pretest nach. Erstaunlicherweise steigt die Verbrauchsvorstellung auch in der Wassergruppe (Experimentalgruppe 3) sehr stark an. Auch die Wassermodelle sollten verdeutlichen, dass kein Wasser verbraucht wird. Möglicherweise schlägt sich auch hier die Alltagssprache nieder: Die Alltagssprache kennt ja auch das Wort Wasserverbrauch. Beim Händewaschen z.B. wird das Wasser ja auch nicht wirklich verbraucht, sondern nur schmutzig und ist dann nicht mehr für alle Dinge und Tätigkeiten (z.B. zum Trinken) brauchbar. Es existiert aber prinzipiell noch.

Beim Abbau der Verbrauchsvorstellung gibt es Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen. Jungen bauen das Verbrauchskonzept von Pretest über Posttest zur Follow Up-Erhebung ab, während man bei den Mädchen zwar nach der Intervention einen Abbau feststellen kann, dann aber das Konzept wieder aufgebaut wird. Ob dies daran liegt, dass im Anschluss an die Intervention Gelerntes gut wiedergegeben wird und sich nur dann langfristig hält, wenn es zuvor nicht nur gelernt, sondern verstanden wurde, kann hier nur vermutet werden. Es zeigt sich, dass die Intervention mit mechanischen Modellen einen positiven Effekt auf das Ablegen der Verbrauchsvorstellungen hat. Die Wassermodelle wirken auch hier wieder erst verspätet, insbesondere bei den Mädchen. Im einzelnen Gruppenvergleich ergibt sich Folgendes: Während bei der Experimentalgruppe 2 (mechanische Modelle) alle Schulleistungsgruppen von der Intervention profitieren, sind die profitierenden Gruppen in der kombinierten Experimentalgruppe 1 (mechanische Modelle und Wassermodelle) nur die leistungsstarken Schüler und die Schüler mit mittlerer Schulleistung. In der Experimentalgruppe 3 bauen alle Schulleistungsgruppen zunächst ein Verbrauchskonzept auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass mechanische Modelle für die Vorstellung nützlich sind, dass Strom nicht verbraucht wird. Zusätzliche Wassermodelle behindern den Lernprozess bei schwachen Schülern. Wassermodelle alleine sind kontraproduktiv. In der Kontrollgruppe steigt die Verbrauchsvorstellung bei den leistungsschwachen Schülern und bei den Schülern der mittleren Leistungsgruppe stark an.

Betrachtet man die Akzeptanz der Wassermodelle (in den Experimentalgruppen 1 und 3), so sieht man, dass die Akzeptanz der Wassermodelle generell sehr hoch ist. Auch das Wissen um die Modelle und die Vertrautheit mit den Modellen erweist sich als sehr groß. Es ergibt sich jedoch ein Zusammenhang zwischen dem Vorwissen im Bereich Elektrizitätslehre und dem Wissen zum Wasserkreis. Je höher das Vorwissen im Bereich Elektrizitätslehre, umso mehr Wissen wurde über den analogen Bereich Wasser aufgebaut. Während sich ein Zusammenhang zwischen der Akzeptanz des Wassermodells und der Kreisvorstellung oder der Verbrauchsvorstellung nicht nachweisen lässt, korreliert die Skala Vertrautheit positiv mit dem Aufbau eines Kreiskonzeptes. Je vertrauter die Wassermodelle den Schülern sind, umso höher sind auch die Werte der Skala Kreiskonzept. Ein Zusammenhang zwischen Vertrautheit und Verbrauchskonzept lässt sich in der vorliegenden Arbeit nicht nachweisen.

6 Interesse und Interessenentwicklung im Kontext von „Stromkreisen“

Im folgenden Abschnitt sollen Interessenunterschiede zwischen verschiedenen Schülergruppen der vorliegenden Stichprobe (Jungen – Mädchen, leistungsstarke Schüler – Schüler mittlerer Schulleistung – leistungsschwache Schüler, Schüler mit unterschiedlichem Vorwissen) anhand verschiedener Ausprägungen von Interesse dargestellt werden (Kapitel 6.1). Die Auswertung erfolgt dabei in Anlehnung an die Kategorien der IPN-Interessenstudie von Hoffmann, Häußler und Lehrke (zusammenfassend 1998). In Kapitel 6.1 werden Ergebnisse des Pretests dargestellt. Die Darstellung der Veränderungen dieser Werte erfolgt in Kapitel 6.2

6.1 Interesse am Thema Strom

Interesse am Thema Strom allgemein

Betrachtet man alle Items, die das Interesse am Thema Strom ganz allgemein abbilden sollen, so findet sich ein insgesamt sehr hohes Interesse bei den Schülerinnen und Schülern. Auf einer Skala von 0 bis 3 ergibt sich ein Mittelwert von 2,25 (SD=0,45).

Interesse, alle Variablen (Pretest)	N	Mittelwert	Standardabweichung
1 Mädchen	145	2,17	,43
2 Jungen	150	2,33	,46
Gesamt	295	2,25	,45

Tab. 6.1: Interesse am Thema Strom

Die Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen sind zwar nicht allzu groß (0,16), jedoch signifikant ($F=9,43$; $df=1$; $p=0,002$). Das heißt, obwohl man sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen von hohem Interesse am Thema Strom allgemein sprechen kann, ist das Interesse der Jungen stärker ausgeprägt (siehe Tab. 6.1).

Es zeigt sich weiter, dass weder zwischen Schülern verschiedener Schulleistungsgruppen noch zwischen Schülern mit verschiedenem Vorwissen signifikante Unterschiede in der Ausprägung des Interesses feststellbar sind. Eine genauere Analyse des Sachinteresses (vgl. Kap. 1.4) soll zeigen, ob es Unterschiede im Interesse zwischen Mädchen und Jungen gibt und ob sich evtl. Unterschiede zwischen Schulleistungsgruppen oder Interventionsgruppen nivellieren.

Besondere Berücksichtigung finden

- das Interesse an den Gebieten
 - Allgemeines
 - Bauteile
 - Spiel
 - Experiment
 - Reparatur
 - Wirkungen und Gefahren
- das Interesse an den Kontexten
 - Alltagsbezug vs. Theoriebezug
 - schulischer Kontext vs. häuslicher Kontext
 - das Interesse an den Tätigkeiten
 - Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene vs. Tätigkeiten auf praktisch konstruktiver Ebene
- Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom
- Interesse am Spielen mit technischen Geräten und speziell einem Experimentierkasten Strom

6.1.1 Interesse am Sachgebiet

Die erstellten Skalen (siehe Kap. 4.2, Tab. 4.7) werden im Folgenden durch die Berechnung von einfaktorischen Varianzanalysen und von nach Bonferroni und Scheffé adjustierten Post Hoc-Tests auf Unterschiede zwischen Schülergruppen hin analysiert.

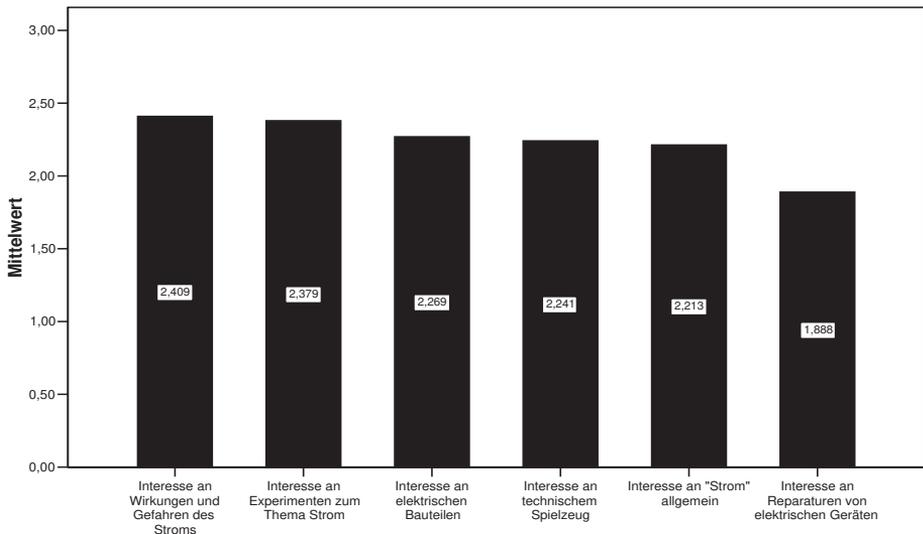


Abb. 6.1: Sachinteresse an verschiedenen Themen (nach Mittelwerten geordnet)

Das Interesse am Sachgebiet variiert in den einzelnen Gebieten. Den höchsten Mittelwert weist die Skala „Interesse an Wirkungen und Gefahren des Stroms“ auf (MW=2,37; 156

SD=0,63; MD=2,67), gefolgt vom „Interesse an Experimenten zum Thema Strom“ (MW=2,33; SD=0,72; MD=2,50). Aus dem Median dieser beiden Skalen ist ablesbar, dass bei diesen beiden Skalen der Mittelwert der Hälfte aller befragten Schüler über 2,5 liegt. Das Mittelfeld der Skalen bilden „Interesse an elektrischen Bauteilen“ (MW=2,26; SD=0,57; MD=2,38), „Interesse an technischem Spielzeug“ (MW=2,23; SD=0,67; MD=2,40) und „Interesse an Strom allgemein“ (MW=2,19; SD=0,52; MD=2,18). Das niedrigste Interesse zeigen die teilnehmenden Schüler an Reparaturen (MW= 1,93; SD= 0,82; MD=2,00) (Tab. 6.2).

Unterschiede im Sachinteresse zwischen Jungen und Mädchen

Beim Sachinteresse bzw. beim Interesse an einem bestimmten Schwerpunkt eines Sachgebietes unterscheiden sich Mädchen und Jungen signifikant in drei von sechs erfragten Bereichen. Wenn es um Strom allgemein geht, um Experimente oder um Wirkungen und Gefahren, so unterscheiden sich Mädchen und Jungen nicht signifikant voneinander. Anders ist das beim Interesse an Bauteilen ($F=4,53$; $df=1$; $p=0,043$). Hier liegt der Mittelwert bei 2,27 (SD=0,57). Mädchen erreichen einen Mittelwert von 2,19 (SD=0,55), Jungen einen Mittelwert von 2,32 (SD=0,58). Beim Interesse an technischem Spielzeug gibt es ähnliche Unterschiede. Der Gesamtmittelwert liegt bei 2,23 (SD=0,67), der Mittelwert der Mädchen bei 1,92 (SD=0,66), der Mittelwert der Jungen sogar bei 2,52 (SD=0,53). Dieser Unterschied ist hoch signifikant ($F=90,8$; $df=1$; $p<0,001$). Ebenso hoch signifikant ist der Interessenunterschied an Reparaturen von elektrischen Geräten ($F=24,4$; $df=1$; $p<0,001$). Der Mittelwert im Bereich Interesse an Reparaturen liegt bei 1,93 (SD=0,82). Jungen erreichen hier einen Mittelwert von 2,13 (SD=0,77), der Mittelwert der Mädchen liegt bei 1,72 (SD=0,81).

Unterschiede zwischen den Gruppen

Bereits zu Beginn der Untersuchung existieren in Teilen des Sachinteresses Unterschiede zwischen den verschiedenen Interventionsgruppen. Im Bereich „Interesse an elektrischen Bauteilen“ weist die Experimentalgruppe 2 einen signifikant ($F=2,32$; $df=3$; $p=0,075$) höheren Mittelwert auf als Experimentalgruppe 1, Experimentalgruppe 3 und die Kontrollgruppe. Auch im Bereich „Interesse an technischem Spielzeug“ zeigt die Experimentalgruppe 2 ein signifikant höheres Interesse ($F=3,65$; $df=3$; $p=0,013$). Der Mittelwert liegt deutlich über den Werten der anderen Gruppen. Beim „Interesse an Strom allgemein“ sind die Mittelwerte der Experimentalgruppe 2 und der Experimentalgruppe 3 signifikant ($F=2,56$; $df=3$; $p=0,055$) höher, als bei Experimentalgruppe 1 und Kontrollgruppe. Beim Interesse an Gefahren und Wirkungen, an Experimenten und Reparaturen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Unterschiede im Interesse von Schülern mit unterschiedlicher Schulleistung

Beim Interesse an elektrischen Bauteilen findet sich ein signifikanter Unterschied zwischen Schülern mit verschiedenen Schulleistungen ($F=4,05$; $df=2$; $p=0,019$). Post Hoc-Tests (z.B. nach Scheffé oder Bonferroni) ergeben, dass sich insbesondere die leistungsschwachen Schüler von den leistungsstarken Schülern signifikant unterscheiden ($p_{\text{Bonferroni}}=0,05$). Die leistungsstarken Schüler haben in Bezug auf elektrische Bauteile das größte Interesse (MW=2,40; SD=0,54; MD=2,54). Schüler mit mittleren Schulleistungen (MW=2,32; SD=0,56; MD=2,46) haben tendenziell mehr Interesse an Bauteilen als leistungsschwache Schüler (MW=2,14; SD=0,58; MD=2,23).

Beim Interesse an Experimenten zum Thema Strom lassen sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen Schülern mit verschiedenen Schulleistungen ausfindig machen

($F=3,48$; $df= 2$; $p=0,032$). Hier unterscheiden sich besonders die Leistungsstarken von den beiden anderen Gruppen signifikant ($p<0,05$). Leistungsschwache Schüler liegen beim Mittelwert des Interesses an Experimenten ($MW=2,32$; $SD=0,67$; $MD=2,50$) nicht signifikant niedriger als Schüler mit mittlerer Schulleistung ($MW=2,33$; $SD=0,75$; $MD=2,50$). Leistungsstarke dagegen erzielen einen um 0,3 höheren Mittelwert ($MW=2,60$; $SD=0,51$; $MD=3,00$). Der Median zeigt, dass die Hälfte der leistungsstarken Schüler angibt, dass sie an Experimenten zum Thema Strom sehr interessiert sind.

6.1.2 Interesse am Thema Strom in verschiedenen Kontexten

Das Interesse am Thema Strom in verschiedenen Kontexten wird im Folgenden ebenfalls mittels Varianzanalysen und nach Bonferroni und Scheffé adjustierten Post Hoc-Tests untersucht. Besondere Berücksichtigung findet zunächst eine Einteilung in alltags- bzw. anwendungsbezogene und theorieorientierte Kontexte, im Anschluss daran die Aufteilung in schulische und häusliche Kontexte.

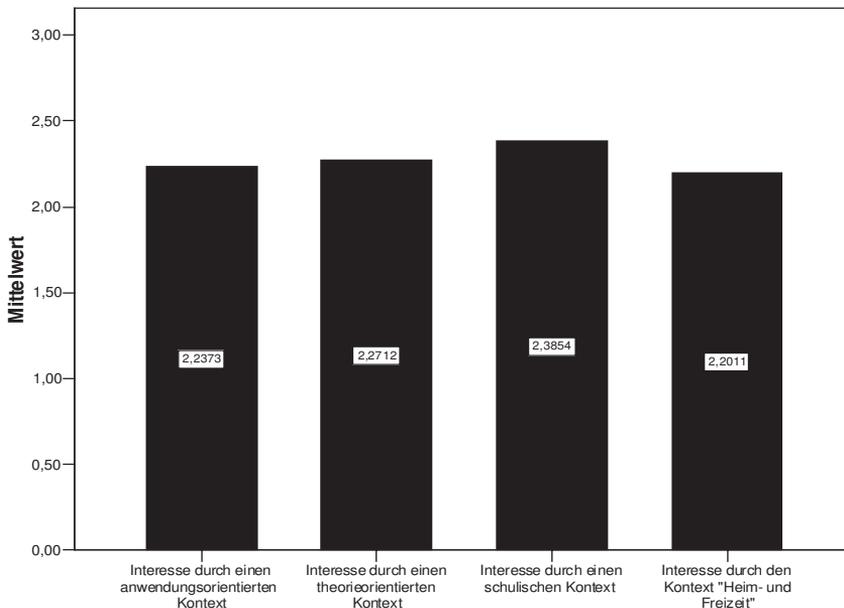


Abb. 6.2: Interesse durch verschiedene Kontexte

Die beiden Skalen „anwendungsorientierter Kontext“ und „theoriebezogener Kontext“ unterscheiden sich kaum (anwendungsorientiert: $MW=2,23$; $SD=0,49$; $MD=2,25$; theorieorientiert: $MW=2,25$; $SD=0,50$; $MD=2,36$).

Die höchsten Werte erreichen Items der Skala „Interesse durch einen schulischen Kontext“ ($MW=2,38$; $SD=0,50$; $MD=2,43$). Das Interesse am Thema Strom im Kontext Heim- und Freizeit ist in der vorliegenden Untersuchung geringer ($MW=2,18$; $SD=0,52$; $MD=2,27$).

	Interesse durch einen anwendungsorientierten Kontext	Interesse durch einen theorieorientierten Kontext	Interesse durch einen schulischen Kontext	Interesse durch den Kontext „Heim- und Freizeit“
N	326	344	314	353
Mittelwert	2,23	2,25	2,38	2,19
Standardabweichung	,49	,50	,50	,52
Median	2,25	2,36	2,43	2,27

Tab. 6.6: Interesse am Thema Strom in unterschiedlichen Kontexten

Unterschiedliches Interesse bei Jungen und Mädchen in verschiedenen Kontexten

Jungen und Mädchen unterscheiden sich beim Interesse am Thema Strom in unterschiedlichen Kontexten signifikant. Jungen haben in allen hier ausgewerteten Kontexten ein höheres Interesse am Thema Strom. Der geringste Unterschied besteht für den schulischen Kontext. Hier haben Jungen einen Mittelwert von 2,42 (SD=0,53; MD=2,55), Mädchen einen Mittelwert von 2,32 (SD=0,47; MD=2,34) ($F=3,58$; $df=1$; $p=0,06$). Die Interessenskalen im Kontext „Heim- und Freizeit“ unterscheiden sich bei Jungen und Mädchen signifikant ($F=23,28$; $df=1$; $p<0,001$). Mädchen bringen auch in diesem Kontext weniger Interesse für das Thema Strom auf als Jungen.

Im anwendungsorientierten Kontext unterscheiden sich Jungen und Mädchen höchst signifikant ($F=19,70$; $df=1$; $p<0,001$). Jungen haben hier einen Mittelwert von 2,35, Mädchen haben einen Mittelwert von 2,11. Im theorieorientierten Kontext gibt es eine ähnliche Datenlage. Mädchen und Jungen unterscheiden sich hier in ihren Interessen signifikant ($F=3,72$; $df=1$; $p=0,055$). Der Mittelwert der Mädchen liegt auch hier unter dem der Jungen. Eine genaue Aufstellung der Mittelwerte und Streuwerte ist in Tabelle 6.7 dargestellt.

Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen

Zwischen den Interventionsgruppen bestehen signifikante Unterschiede ($F=2,70$; $df=3$; $p=0,046$) hinsichtlich des Interesses durch einen anwendungsorientierten Kontext.

		Experimentalgruppe 1	Experimentalgruppe 2	Experimentalgruppe 3	Kontrollgruppe	Insgesamt
Interesse durch einen anwendungsorientierten Kontext	N	126	63	50	87	326
	Mittelwert	2,18	2,39	2,19	2,22	2,23
	Standardabweichung	,51	,47	,47	,48	,49
	Median	2,19	2,42	2,13	2,25	2,25

Tab. 6.8: Signifikante Unterschiede am Thema Strom in anwendungsorientierten Kontexten in den Interventionsgruppen

Insbesondere unterscheiden sich die beiden Experimentalgruppen 1 und 2 signifikant voneinander ($p_{\text{Bonferroni}}=0,039$, $p_{\text{Scheffé}}=0,059$). Das meiste Interesse in anwendungsorientierten Kontexten zeigt Experimentalgruppe 2, gefolgt von der Kontrollgruppe, Experimentalgruppe 3 und Experimentalgruppe 1 (vgl. Tab. 6.8).

Das Interesse in theorieorientierten Kontexten, in schulischen oder häuslichen Kontexten unterscheidet sich in den Interventionsgruppen nicht signifikant.

Unterschiede im Interesse von Schülern mit unterschiedlicher Schulleistung

Das Interesse von Schülern mit unterschiedlichen Schulleistungen unterscheidet sich nicht signifikant voneinander, wenn es um anwendungs- oder theorieorientierte Kontexte geht. Ebenso wenig sind signifikante Unterschiede in Bezug auf den Kontext Heim und Freizeit ausfindig zu machen.

Das Interesse von Schülern mit unterschiedlicher Schulleistung am Thema Strom unterscheidet sich aber im Kontext von Schule signifikant ($F=2,49$; $df=2$; $p=0,085$).

		Leistungs- schwache Schüler	Schüler mit mittlerer Schulleistung	leistungs- starke Schüler	Insgesamt
Interesse durch einen schulischen Kontext	N	89	109	48	246
	Mittelwert	2,30	2,42	2,49	2,39
	Standardabweichung	,52	,49	,48	,50
	Median	2,36	2,50	2,59	2,45

Tab. 6.9: Signifikante Unterschiede hinsichtlich des Interesses an Strom bei Schulleistungsgruppen im Kontext Schule

Je leistungsstärker Schüler sind, umso höher ist das im Mittel angegebene Interesse am Thema Strom. Leistungsschwache Schüler bringen dem Thema Strom weniger Interesse als Schüler mit mittlerer Schulleistung und leistungsstarke Schüler entgegen (siehe Tab. 6.9).

6.1.3 Interesse an Tätigkeiten

Hinsichtlich der Tätigkeiten wird im Folgenden untersucht, inwieweit sich das Interesse bei verschiedenen Schülergruppen an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene oder Tätigkeiten auf praktisch konstruktiver Ebene, Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom oder Interesse am Spielen mit technischen Geräten und speziell einem Experimentierkasten Strom unterscheidet.

Das Interesse an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene ist im Mittel bei allen Schülern am stärksten ausgeprägt, gefolgt vom Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom. Das Interesse am Spielen mit technischen Geräten folgt vor dem Interesse an Tätigkeiten auf praktisch konstruktiver Ebene. Das heißt die teilnehmenden Schüler interessiert es stärker etwas rezipierend über den Strom zu erfahren, als selbst aktiv zu handeln und zu experimentieren (vgl. Abb. 6.3, Tab. 6.10).

	Interesse an Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene	Interesse an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene	Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom	Interesse am Spielen mit technischen Geräten
N	343	327	370	365
Mittelwert	2,18	2,27	2,25	2,23
Standardabweichung	,54	,49	,60	,67
Median	2,25	2,33	2,33	2,40

Tab. 6.10: Interesse an Tätigkeiten rund um das Thema Strom

Unterschiedliches Interesse von Mädchen und Jungen an verschiedenen Tätigkeiten

In den verschiedenen Tätigkeitsfeldern bestehen durchaus Unterschiede zwischen den Interessen von Jungen und Mädchen. So unterscheidet sich z.B. das Interesse an Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene bei Jungen und Mädchen signifikant ($F=6,34$; $df=1$; $p=0,012$). Mädchen geben hier weniger Interesse an als Jungen. Auch beim Interesse an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene geben Jungen ein signifikant höheres Interesse an ($F=4,47$; $df=1$; $p=0,035$). Mädchen erreichen einen Mittelwert von 2,21 ($SD=0,47$; $MD=2,27$), Jungen einen Mittelwert von 2,33 ($SD=0,50$; $MD=2,40$). Den größten Unterschied zwischen Jungen und Mädchen gibt es beim Spielen mit technischen Geräten ($F=90,81$; $df=1$; $p<0,001$). Hier liegt der Mittelwert der Mädchen um 0,6 unter dem Mittelwert der Jungen. Das einzige Tätigkeitsfeld, in dem es keine signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen im Interesse gibt, ist der mediale Umgang mit dem Thema Strom.

Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen

		Interesse an Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene	Interesse am Spielen mit technischen Geräten
Experimentalgruppe 1	N	133	145
	Mittelwert	2,11	2,17
	Standardabweichung	,57	,69
	Median	2,17	2,40
Experimentalgruppe 2	N	66	65
	Mittelwert	2,38	2,43
	Standardabweichung	,48	,59
	Median	2,50	2,60
Experimentalgruppe 3	N	48	54
	Mittelwert	2,13	2,16
	Standardabweichung	,53	,66
	Median	2,08	2,20
Kontrollgruppe	N	96	101
	Mittelwert	2,17	2,20
	Standardabweichung	,53	,67
	Median	2,17	2,20
Insgesamt	N	343	365
	Mittelwert	2,18	2,23
	Standardabweichung	,54	,67
	Median	2,25	2,40

Tab. 6.12: Signifikante Unterschiede im Interesse an Tätigkeiten in den verschiedenen Interventionsgruppen

Beim Interesse an Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene existieren bereits vor dem Unterricht signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen ($F=3,39$; $df=3$; $p=0,009$). Besonders unterscheidet sich die Experimentalgruppe 2 signifikant von allen anderen ($p_{\text{Bonferroni EG2-EG1}}=0,006$; $p_{\text{Bonferroni EG2-EG3}}=0,097$; $p_{\text{Bonferroni EG2-KG}}=0,098$). Experimen-

talgruppe 2 interessiert sich fast um einen Skalenwert von 0,3 mehr für praktisch-konstruktive Tätigkeiten zum Thema Strom als die anderen Gruppen (siehe Tab. 6.12).

Auch das Interesse am Spielen mit technischen Geräten unterscheidet sich bei den verschiedenen Interventionsgruppen signifikant ($F=2,56$; $df=3$, $p=0,055$). Hier unterscheidet sich v.a. Experimentalgruppe 1 von Experimentalgruppe 2 ($p_{\text{Bonferroni}}=0,056$). Auch hier zeigt die Experimentalgruppe 2 ein (um 0,26) höheres Interesse.

Keine signifikanten Unterschiede gibt es zwischen den Interventionsgruppen hinsichtlich des Interesses an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene und hinsichtlich des Interesses am medialen Umgang mit dem Thema Strom.

Unterschiede im Interesse von Schülern mit unterschiedlicher Schulleistung

Das Interesse von Schülergruppen mit unterschiedlichen Schulleistungen weicht nicht signifikant voneinander ab, wenn es um Interesse an Tätigkeiten auf rezeptiver Ebene, Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom oder Interesse am Spielen mit technischen Geräten geht. Das Interesse von Schülern mit unterschiedlicher Schulleistung am Thema Strom unterscheidet sich aber bei Tätigkeiten auf praktisch-konstruktiver Ebene ($F=3,44$; $df=2$; $p=0,034$).

		leistungs- schwache Schüler	Schüler mit mittlerer Schul- leistung	leistungs- starke Schüler	Insgesamt
Interesse an Tätig- keiten auf prak- tisch-konstruktiver Ebene	N	96	120	52	268
	Mittelwert	2,0981	2,2243	2,3317	2,1999
	Standardabweichung	,55974	,52691	,50850	,54036
	Median	2,1667	2,3333	2,5000	2,2500

Tab. 6.13: Signifikante Unterschiede hinsichtlich des Interesses an Strom bei Schulleistungsgruppen bei praktisch-konstruktiven Tätigkeiten

Ein signifikanter Unterschied ergibt sich vor allem zwischen den leistungsschwachen und den leistungsstarken Schülern ($p_{\text{Scheffé}}=0,042$).

Je leistungsstärker Schüler sind, umso höher ist das im Mittel angegebene Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten rund um das Thema Strom. Leistungsschwache Schüler bringen dem Thema Strom weniger Interesse als Schüler mit mittlerer Schulleistung und leistungsstarke Schüler entgegen (siehe Tab. 6.13).

6.2 Interessenentwicklung

Im folgenden Kapitel soll mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung ermittelt werden, ob sich durch die Intervention das Interesse der Schüler am Thema Strom verändert hat. Dabei soll auch speziell untersucht werden, ob verschiedene Interventionen ausschlaggebend dafür sein können, in welcher Richtung sich das Interesse verändert. Im Verlauf der Unterrichtseinheiten zum Thema Strom und Stromkreis werden die Schüler mit insgesamt

zehn Unterrichtsstunden physikalischen Inhalts konfrontiert. Es besteht deshalb ein Grund zur Annahme, dass sich die Interessen am Thema Strom verändert haben.

Interesse am Thema Strom allgemein

Das Interesse am Thema Strom allgemein steigt vom Pretest (2,32) zum Posttest (2,38) leicht an und fällt bis zur Follow Up-Erhebung (2,21) wieder ab (vgl. Abb. 6.4). Die Veränderung des Interesses über die Zeit ist signifikant ($F=5,545$; $df=2$; $p=0,005$).

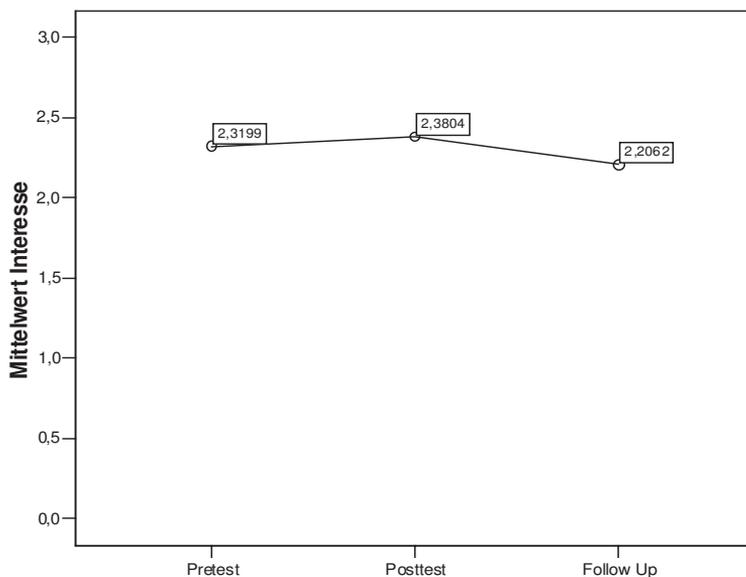


Abb. 6.4: Veränderung des Interesses am Thema Strom (alle Items)

Im zeitlichen Verlauf unterscheiden sich Jungen und Mädchen nicht signifikant. Signifikant unterschiedlich sind jedoch die Interessenentwicklungen in den verschiedenen Interventionsgruppen ($F=3,43$; $df=6$; $p=0,003$) und in verschiedenen Schulleistungsgruppen ($F=2,16$; $df=4$; $p=0,074$).

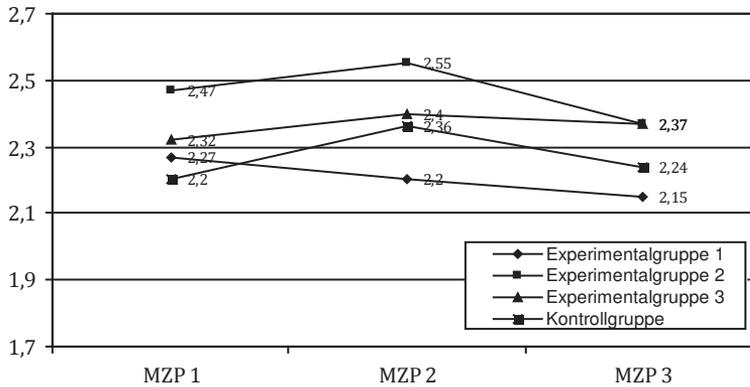


Abb. 6.5: Unterschiedliche Interessenentwicklungen in den Interventionsgruppen

Das Interesse am Thema Strom sinkt in der Experimentalgruppe 1 im Laufe der Untersuchung leicht ab. Im Pretest liegt der Wert bei 2,27, im Posttest bei 2,20 und in der Follow Up-Untersuchung bei 2,15. In der Experimentalgruppe 2 steigt der Skalenwert vom Pretest (2,47) zum Posttest auf 2,55 an und fällt anschließend stark ab (auf 2,08). In der Experimentalgruppe 3 steigt der Wert der gesamten Interessenskala von 2,32 (Pretest) zunächst auf 2,40 (Posttest) und fällt schließlich leicht auf 2,37 (Follow Up-Erhebung) ab. In der Kontrollgruppe steigt das Interesse vom Pretest zum Posttest von 2,20 auf 2,36 und fällt bis zur Follow Up-Erhebung auf 2,24 ab (Abb. 6.5).

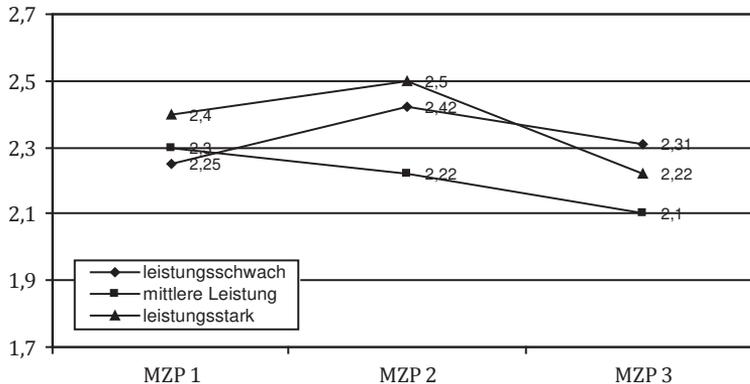


Abb. 6.6: Unterschiedliche Interessenentwicklung in verschiedenen Schulleistungsgruppen

Während das Interesse der leistungsschwachen und der leistungsstarken Schüler vom Pretest zum Posttest ansteigt (bei den leistungsschwachen Schülern von 2,25 auf 2,42; bei den leistungsstarken Schülern von 2,40 auf 2,50), fällt das Interesse bei Schülern der mittle-

ren Leistungsgruppe von 2,30 auf 2,22. Bis zum Follow Up-Test sinkt das Interesse dieser Schülergruppe weiter (auf 2,10). Das gleiche gilt allerdings auch für die beiden anderen Gruppen vom Posttest zum Follow Up-Test (die leistungsstarken Schüler auf 2,22; die leistungsschwachen Schüler auf 2,31) (vgl. Abb. 6.6).

6.2.1 Interesse an der Sache

Interesse an	Pretest	Posttest	Follow Up
der Sache allgemein	2,32	2,31	2,09
elektrischen Bauteilen	2,34	2,42	2,24
Wirkungen und Gefahren	2,39	2,44	2,25
Elektrischen Reparaturen	1,90	1,95	1,74

Tab. 6.14: Entwicklung des Interesses an Sachgebieten im Themenbereich Strom (Mittelwerte)

Das allgemeine Sachinteresse bleibt vom Pretest zum Posttest ungefähr gleich. Bis zur Follow Up-Erhebung fällt der Skalenwert jedoch signifikant ($F=12,80$; $df=2$; $p<0,001$) ab. Das Interesse an elektrischen Bauteilen steigt in der Gesamtstichprobe vom Pretest zum Posttest an und fällt zur Follow Up-Erhebung ab. Die zeitliche Veränderung des Wertes ist signifikant ($F=4,64$; $df=2$; $p=0,011$). Das Interesse an Wirkungen und Gefahren des Stroms verändert sich im Laufe der Untersuchung ebenfalls signifikant ($F=3,29$; $df=2$; $p=0,039$). Im Pretest liegt der Skalenwert des Interesses für Wirkungen und Gefahren bei 2,39. Bis zum Posttest steigt der Wert auf 2,44. In der Follow Up-Erhebung ist der Wert auf 2,25 gefallen. Auch das Interesse an elektrischen Reparaturen verändert sich über die Messzeitpunkte hinweg signifikant ($F=5,09$; $df=2$; $p=0,007$). Vom Pretest zum Posttest steigt der Mittelwert dieser Skala von 1,90 auf 1,95 an und fällt im Follow Up-Test auf 1,74 ab (siehe Tab. 6.14). Beim Interesse für Spiel mit technischem Spielzeug, insbesondere mit einem „Baukasten Strom“ und beim Interesse an Experimenten ergaben sich im Laufe der Untersuchung keine signifikanten Veränderungen.

Unterschiedliche Interessenentwicklungen in unterschiedlichen Interventionsgruppen

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,27	2,32	2,23
Experimentalgruppe 2	2,56	2,63	2,17
Experimentalgruppe 3	2,24	2,32	2,26
Kontrollgruppe	2,24	2,41	2,30

Tab. 6.15: Interesse an elektrischen Bauteilen (Mittelwerte)

Das Interesse für elektrische Bauteile veränderte sich im Laufe der Untersuchung abhängig von der Interventionsgruppe. Das gängige Signifikanzniveau wird dabei knapp verpasst ($F=1,88$; $df=6$; $p=0,08$). Vom Pretest zum Posttest steigen die Interessenwerte in allen Gruppen leicht an (siehe Tab. 6.17). Vom Posttest zur Follow Up-Erhebung fällt der Mittelwert der Experimentalgruppen 1 und 3 und der Mittelwert der Kontrollgruppe um ca. 0,1

ab. In der Experimentalgruppe 2 jedoch fällt der Mittelwert vom Posttest zum Follow Up-Test um 0,4 (Tab. 6.15).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	1,90	1,88	1,87
Experimentalgruppe 2	2,17	2,22	1,53
Experimentalgruppe 3	1,73	1,92	1,84
Kontrollgruppe	1,80	1,75	1,70

Tab. 6.16: Interesse für Reparaturen (Mittelwerte)

Beim Interesse für Reparaturen lassen sich hoch signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen nachweisen ($F=4,83$; $df=6$; $p<0,001$). Während die Experimentalgruppe 1 und die Kontrollgruppe im Interesse vom Pretest zum Posttest um 0,02 bzw. 0,05 leicht sinken, steigt das Interesse in den Experimentalgruppen 2 und 3 um 0,05 und 0,19 an. Vom Posttest zur Follow Up-Untersuchung fällt das Interesse in allen Gruppen. In der Experimentalgruppe 1 liegt der Interessenwert mit 0,01 nur ganz gering unter dem Wert des Posttests. In der Experimentalgruppe 3 beträgt der Unterschied 0,08. Auch der Wert der Kontrollgruppe sinkt nur um 0,05. Der Wert der Experimentalgruppe 2 jedoch sinkt um 0,69 (siehe Tab. 6.16).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,48	2,33	2,35
Experimentalgruppe 2	2,42	2,57	2,03
Experimentalgruppe 3	2,41	2,50	2,36
Kontrollgruppe	2,25	2,37	2,26

Tab. 6.17: Interesse für Wirkungen und Gefahren (Interventionsgruppen, Mittelwerte)

Die verschiedenen Interventionsgruppen unterscheiden sich auch hinsichtlich ihres Interesses für Wirkungen und Gefahren signifikant ($F=2,44$; $df=6$; $p=0,025$). In den Experimentalgruppen 2 und 3 und in der Kontrollgruppe steigt das Interesse vom Pretest zum Posttest an, während es in der Experimentalgruppe 1 sinkt. Bis zur Follow Up-Erhebung steigt das Interesse in der Experimentalgruppe 1 wieder leicht an. In der Experimentalgruppe 3 und in der Kontrollgruppe sinkt das Interesse um ca. 0,15. In der Experimentalgruppe 2 sinkt das Interesse im Follow Up-Test um 0,54 ab (siehe Tab. 6.17).

Unterschiedliche Interessenentwicklungen in unterschiedlichen Schulleistungsgruppen

	Pretest	Posttest	Follow Up
Leistungsstark	2,52	2,56	2,30
Mittlere Schulleistung	2,46	2,33	2,13
Leistungsschwach	2,18	2,43	2,30

Tab. 6.18: Interesse für Wirkungen und Gefahren (Schulleistungsgruppen, Mittelwerte)

Unterschiedliche Schulleistungsgruppen interessieren sich signifikant verschieden stark für Wirkungen und Gefahren des Stroms ($F=1,99$; $df=4$; $p=0,09$). Das Interesse der Schülergruppe mit mittleren Schulleistungen fällt vom Pretest (2,46) zum Posttest (2,33) und weiter zur Follow Up-Erhebung (2,13). Das Interesse der leistungsstarken Schüler dagegen steigt vom Pretest (2,52) zum Posttest (2,56) und fällt anschließend auf 2,30 im Follow Up-Test. Das Interesse der Leistungsschwachen an den Wirkungen und Gefahren des Stroms steigt vom Pretest (2,18) noch stärker an (auf 2,43) und fällt im Follow Up-Test wieder auf 2,30 ab (Tab. 6.18).

Bei der Entwicklung des Interesses von Jungen und Mädchen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

6.2.2 Interesse am Thema Strom durch den Kontext

Interesse durch einen	Pretest	Posttest	Follow Up
anwendungsorientierten Kontext	2,28	2,35	2,20
theorieorientierten Kontext	2,37	2,36	2,19
Kontext Schule	2,45	2,51	2,31
Kontext Heim und Freizeit	2,27	2,27	2,14

Tab. 6.19: Interesse am Thema Strom in verschiedenen Kontexten (Mittelwerte)

Das Interesse im anwendungsorientierten Kontext steigt vom Pretest zum Posttest um 0,07 auf 2,35 an und fällt bis zur Follow Up-Erhebung auf 2,20 ab ($F=4,21$; $df=2$; $p=0,017$). Das Interesse am theorieorientierten Kontext dagegen ändert sich vom Pretest zum Posttest minimal und fällt im Follow Up-Test um 0,17 auf 2,19 ($F=6,40$; $df=2$; $p=0,002$). Im Kontext Schule nimmt das Interesse vom Pretest zum Posttest um 0,05 auf 2,50 zu und beim Follow Up-Test um 0,2 auf 2,30 ab ($F=6,47$; $df=2$; $p=0,002$). Im Kontext Heim und Freizeit bleibt das Interesse in Pre- und Posttest konstant auf 2,27 und sinkt zum Follow Up-Test signifikant auf 2,14 ab ($F=3,53$; $df=2$; $p=0,031$) (siehe Tab. 6.19).

Unterschiedliche Kontextabhängigkeiten in den einzelnen Gruppen

Im anwendungsorientierten Kontext hängt der Verlauf des Interesses für das Thema Strom signifikant von der Gruppenzugehörigkeit ab ($F=3,30$; $df=6$; $p=0,004$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,25	2,25	2,23
Experimentalgruppe 2	2,49	2,57	2,08
Experimentalgruppe 3	2,20	2,29	2,28
Kontrollgruppe	2,15	2,30	2,21

Tab. 6.20: Interesse in anwendungsorientierten Kontexten (Mittelwerte)

Experimentalgruppe 1 hat in anwendungsorientierten Kontexten ein nahezu konstantes Interesse am Thema Strom (mit einem Skalenwert von 2,25 in Pre- und Posttest und 2,23 in der Follow Up-Erhebung). In den Experimentalgruppen 2 und 3 und in der Kontrollgruppe steigt das Interesse vom Pretest zum Posttest um ca. 0,1 an. In der Experimentalgruppe 3 bleibt dieser Wert in der Follow Up-Untersuchung konstant, in der Kontrollgruppe sinkt er wieder um 0,1. In der Experimentalgruppe 2 sinkt das Interesse vom Posttest zur Follow Up-Erhebung um 0,5 auf 2,08 ab (vgl. Tab. 6.20).

Auch im theorieorientierten Kontext gibt es signifikante Unterschiede zwischen dem Interesse in den verschiedenen Interventionsgruppen ($F=1,81$; $df=6$; $p=0,096$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,31	2,21	2,09
Experimentalgruppe 2	2,42	2,50	2,08
Experimentalgruppe 3	2,36	2,40	2,30
Kontrollgruppe	2,40	2,33	2,30

Tab. 6.21: Interesse in theorieorientierten Kontexten (Mittelwerte)

In der Experimentalgruppe 1 nimmt das Interesse in theorieorientierten Kontexten ab. Im Pretest liegt der Wert dieser Skala noch bei 2,31. Im Posttest geht der Wert auf 2,21 und im Follow Up-Test auf 2,09 zurück. Die Kontrollgruppe hat vom Pretest (2,40) zum Posttest (2,33) und Follow Up-Test (2,30) ein ähnliches Absinken des Interesses in diesem Kontext zu verzeichnen. Die beiden Gruppen, die jeweils nur ein Modell behandelt haben, verzeichnen vom Pretest zum Posttest einen Anstieg des Interesses im theorieorientierten Kontext. Bei Experimentalgruppe 2 steigt der Wert von 2,42 auf 2,50; bei Experimentalgruppe 3 steigt der Wert von 2,36 auf 2,40. Vom Posttest zur Follow Up-Erhebung fällt der Wert der Experimentalgruppe 3 wieder auf 2,30. Der Skalenwert der Experimentalgruppe 2 fällt um 0,42 auf 2,08 (siehe Tab. 6.21).

Auch das Interesse im Kontext Schule ist in den Interventionsgruppen signifikant verschieden ($F=2,55$; $df=6$; $p=0,020$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,41	2,37	2,29
Experimentalgruppe 2	2,61	2,71	2,21
Experimentalgruppe 3	2,48	2,48	2,44
Kontrollgruppe	2,31	2,47	2,29

Tab. 6.22: Interesse im Kontext Schule (Mittelwerte)

Das Interesse im Kontext Schule bleibt in der Experimentalgruppe 3 über alle drei Messzeitpunkte hinweg annähernd konstant bei 2,48. In der Experimentalgruppe 1 sinkt das Interesse im Kontext Schule von 2,41 (Pretest) zunächst auf 2,37 (Posttest) und dann auf 2,29 (Follow Up-Untersuchung). In der Kontrollgruppe steigt das Interesse am Thema Strom im schulischen Kontext vom Pretest (2,31) zum Posttest (2,47) an und fällt in der Follow Up-Untersuchung wieder (auf 2,29) ab. Auch in der Experimentalgruppe 2 steigt das Interesse von Pretest (2,61) zum Posttest (2,71) an. In der Follow Up-Erhebung fällt der Wert um 0,5 auf 2,21 ab (siehe Tab. 6.22).

Das Interesse am Thema Strom im Kontext Heim und Freizeit unterscheidet sich wie alle kontextabhängigen Skalen bei einzelnen Interventionsgruppen signifikant ($F=3,90$; $df=6$; $p=0,001$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,22	2,15	2,13
Experimentalgruppe 2	2,43	2,45	2,03
Experimentalgruppe 3	2,13	2,30	2,21
Kontrollgruppe	2,27	2,18	2,21

Tab. 6.23: Interesse im Kontext Heim und Freizeit (Mittelwerte)

Das Interesse am Thema Strom im Kontext Heim und Freizeit sinkt in der Experimentalgruppe 1 und in der Kontrollgruppe vom Pretest zum Posttest um ca. 0,8 ab und steigt bis zur Follow Up-Untersuchung wieder um ca. 0,4. Die Experimentalgruppe 2 behält von Pretest zu Posttest ihr hohes Interesse von 2,43, im Follow Up-Test fällt der Skalenwert jedoch um 0,4 auf 2,03. Im Bereich des Interesses im Kontext Heim und Freizeit steigt das Interesse in der Experimentalgruppe 3 von 2,13 (Pretest) auf 2,30 (Posttest) an und fällt anschließend nur wenig ab (2,21 im Follow Up-Test) (siehe Tab. 6.23).

Das Interesse in unterschiedlichen Kontexten hängt nicht signifikant vom Geschlecht oder von der Schulleistung ab.

6.2.3 Interesse an Tätigkeiten

Interesse	Pretest	Posttest	Follow Up
an praktisch konstruktiven Tätigkeiten	2,29	2,35	2,19
an rezeptiven Tätigkeiten	2,34	2,34	2,13
am medialen Umgang mit dem Thema	2,34	2,36	2,23

Tab. 6.24: Interesse am Thema Strom durch Tätigkeiten (Mittelwerte)

Das Interesse an praktisch konstruktiven Tätigkeiten unterscheidet sich an den verschiedenen Messzeitpunkten signifikant voneinander ($F=4,20$; $df=2$; $p=0,017$). Der Skalenwert für das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten steigt vom Pretest zum Posttest von 2,29 auf 2,35 und fällt zum Follow Up-Test wieder auf 2,19. Beim Interesse an rezeptiven Tätigkeiten im Lernfeld Elektrizitätslehre ergibt sich ein ähnlicher Interessenkurvenverlauf. Auch hier verändert sich das Interesse signifikant ($F=10,88$; $df=2$; $p<0,001$). Bei Pre- und Posttest ergibt sich noch derselbe Interessenwert auf dieser Skala (2,34). In der Follow Up-Untersuchung ist der Wert mit 2,13 signifikant niedriger als in den beiden anderen Erhebungen. Das Interesse am medialen Umgang mit dem Thema Strom ist ebenfalls zu den verschiedenen Messzeitpunkten signifikant unterschiedlich ($F=2,87$; $df=2$; $p=0,059$). Das Interesse steigt vom Pretest zum Posttest leicht an und fällt bis zur Follow Up-Erhebung ab (siehe Tab. 6.27). Das Interesse am Spielen mit technischen Medien – insbesondere mit einem Strombaukasten – erfährt keine signifikanten Veränderungen zu verschiedenen Messzeitpunkten.

Unterschiedliche Interessenentwicklung von Mädchen und Jungen an verschiedenen Tätigkeiten

Hinsichtlich praktisch-konstruktiver Tätigkeiten ergaben sich in der vorliegenden Untersuchung signifikante Unterschiede ($F=2,63$; $df=2$; $p=0,076$) in der Interessenentwicklung vom Pretest zum Posttest.

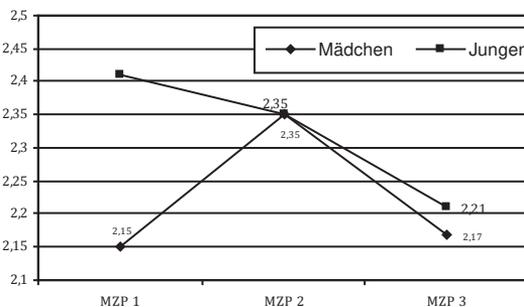


Abb. 6.15: Unterschiedliche Interessenentwicklung bei Jungen und Mädchen für praktisch-konstruktive Tätigkeiten im Lernfeld Strom

Das Interesse der Jungen nimmt vom Pretest (2,41) zum Posttest ab, während es bei den Mädchen von 2,15 auf 2,35 ansteigt. Beim Posttest zeigen Jungen und Mädchen gleiches Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten. Sowohl bei Jungen (2,21) als auch bei Mädchen (2,17) fällt das Interesse für diese Tätigkeiten im Follow Up-Test ab (siehe Abb. 6.15).

Bei allen anderen Tätigkeiten (rezeptiv, medialer Umgang, Spielen) ergeben sich keine signifikant verschiedenen Interessenentwicklungen.

Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen

Es bestehen Unterschiede hinsichtlich der Interessenentwicklung an verschiedenen Tätigkeiten in den verschiedenen Interventionsgruppen.

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,20	2,21	2,16
Experimentalgruppe 2	2,49	2,57	2,05
Experimentalgruppe 3	2,27	2,27	2,27
Kontrollgruppe	2,20	2,36	2,29

Tab. 6.25: Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten (Mittelwerte)

Die verschiedenen Interventionsgruppen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich des Interesses von praktisch-konstruktiven Tätigkeiten ($F=3,09$; $df=6$; $p=0,006$).

In der Experimentalgruppe 3 ist das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten während der gesamten Untersuchung konstant (bei 2,27). In den restlichen Gruppen steigt das Interesse von Pretest zu Posttest, wenn auch unterschiedlich stark. In der Experimentalgruppe 1 stagniert der Skalenwert von 2,20. In der Experimentalgruppe 2 steigt der Wert von 2,49 auf 2,57. Den stärksten Anstieg hat die Kontrollgruppe zu verzeichnen. Hier erhöht sich der Wert von 2,20 auf 2,36. Bis zur Follow Up-Erhebung bildet sich das Interesse in den Experimentalgruppen 1 und 2 und in der Kontrollgruppe zurück. Experimentalgruppe 1 hat einen Abfall von 0,05 auf 2,16 zu verzeichnen, die Kontrollgruppe fällt um 0,07 auf 2,29. Den stärksten Interessenverlust zeigt die Experimentalgruppe 2 mit 0,52 auf 2,05 (Tab. 6.25).

Bei rezeptiven Tätigkeiten unterscheidet sich der Verlauf der Interessenkurven der einzelnen Interventionsgruppen ebenfalls signifikant ($F=2,50$; $df=6$; $p=0,023$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,29	2,26	2,16
Experimentalgruppe 2	2,43	2,52	2,04
Experimentalgruppe 3	2,29	2,30	2,19
Kontrollgruppe	2,36	2,30	2,13

Tab. 6.26: Interesse an rezeptiven Tätigkeiten (Mittelwerte)

Auch hier fällt auf, dass die Experimentalgruppe 2 etwas aus dem Rahmen fällt. Experimentalgruppe 2 hat von Pretest zu Posttest einen Interessenzuwachs von 2,43 auf 2,52 und

in der Follow Up-Erhebung ein Absinken des Interesses für rezeptive Tätigkeiten auf 2,04 zu verzeichnen. Die Experimentalgruppe 3 behält von Pretest zu Posttest ihr Interesse an rezeptiven Tätigkeiten. Die Experimentalgruppe 1 und die Kontrollgruppe fallen nur minimal ab (die Kontrollgruppe um 0,6, die Experimentalgruppe 1 um 0,7). Im Posttest fallen die Experimentalgruppen 1 und 3 und die Kontrollgruppe weiter um ca. 0,1, so dass der Endwert dieser Interessenskala bei ca. 2,18 liegt (siehe Tab. 6.26).

Während sich beim medialen Umgang mit dem Thema Strom zwischen den Interventionsgruppen keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung des Interesses ausfindig machen lassen, lassen sich bei der Tätigkeit Spielen mit technischem Spielzeug, insbesondere mit einem „Baukasten Strom“ schon signifikante Unterschiede finden ($F=1,92$; $df=6$; $p=0,76$).

	Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	2,22	2,20	2,32
Experimentalgruppe 2	2,52	2,54	2,30
Experimentalgruppe 3	2,20	2,30	2,33
Kontrollgruppe	2,06	2,15	2,30

Tab. 6.27: Interesse an technischem Spielen (Mittelwerte)

In der Experimentalgruppe 1 sinkt das Interesse von Pretest (2,22) zu Posttest (2,20) am Spielen mit technischem Spielzeug kaum. Vom Posttest zum Follow Up-Test steigt das Interesse um 0,12 auf 2,32 an. In der Experimentalgruppe 3 und in der Kontrollgruppe steigt das Interesse vom Pretest zum Posttest um 0,1 (in der Experimentalgruppe 3 von 2,20 auf 2,30; in der Kontrollgruppe von 2,06 auf 2,15). Auch in diesen beiden Gruppen steigt das Interesse am Spielen im Follow Up-Test noch einmal. Die Kontrollgruppe erreicht einen Wert von 2,30, die Experimentalgruppe 3 einen Wert von 2,33. Die Experimentalgruppe 2 hat ein minimal ansteigendes Interesse zwischen Pretest und Posttest (um 0,02 auf 2,54), das im Follow Up-Test um 0,24 auf 2,30 absinkt (siehe Tab. 6.27).

Unterschiede in der Interessenentwicklung an Tätigkeiten von verschiedenen Schulleistungsgruppen in den Interventionsgruppen

Beim Interesse für praktisch-konstruktive Tätigkeiten ergeben sich zusätzlich signifikante Unterschiede in der Interessenentwicklung verschiedener Schulleistungsgruppen in den einzelnen Interventionsgruppen ($F=1,63$; $df=12$; $p=0,084$).

		Pretest	Posttest	Follow Up
Experimentalgruppe 1	leistungsstark	2,28	2,25	2,23
	mittlere Schulleistung	2,19	2,18	2,07
	leistungsschwach	2,06	2,21	2,18
Experimentalgruppe 2	leistungsstark	2,39	2,60	1,53
	mittlere Schulleistung	2,34	2,39	2,15
	leistungsschwach	2,74	2,72	2,46
Experimentalgruppe 3	leistungsstark	2,57	2,44	2,44
	mittlere Schulleistung	2,24	2,23	2,12
	leistungsschwach	1,98	2,15	2,30

Kontroll- gruppe	leistungsstark	2,28	2,79	2,53
	mittlere Schulleistung	2,16	2,11	2,25
	leistungsschwach	2,13	2,00	1,79

Tab. 6.28: Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten (Mittelwerte)

In der Experimentalgruppe 1 zeigen die *leistungsstarken Schüler* einen leichten Rückgang des Interesses für praktisch-konstruktive Tätigkeiten vom Pretest (2,28) über Posttest (2,25) zur Follow Up-Erhebung (2,23). In der Experimentalgruppe 2 steigt diese Interessenskala zunächst von 2,39 nach 2,60. In der Follow Up-Erhebung vermindert sich das Interesse der Leistungsstarken jedoch auf 1,53. In der Experimentalgruppe 3 sinkt das Interesse der Leistungsstarken vom Pretest (2,57) zum Posttest (2,44) ab und bleibt dann stabil. In der Kontrollgruppe steigt das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten von 2,28 im Pretest auf 2,79 im Posttest an und fällt im Follow Up-Test auf 2,53 ab.

Die Schülergruppe mit *mittlerer Schulleistung* der Experimentalgruppe 1 hat im Pre- und Posttest keine Veränderung im Interesse für praktisch-konstruktive Tätigkeiten (2,19). Im Follow Up-Test fällt der Wert auf 2,07. In der Experimentalgruppe 2 steigt der Wert zunächst von 2,34 auf 2,39 an und fällt anschließend auf 2,15 ab. Experimentalgruppe 3 hat bei den Schülern mit mittlerer Schulleistung im Follow Up-Ergebnis einen Rückgang von 2,24 (Pretest) bzw. 2,23 (Posttest) auf 2,12 zu verzeichnen. In der Kontrollgruppe sinkt das Interesse dieser Leistungsgruppe vom Pretest zum Posttest von 2,16 auf 2,11 und steigt in der Follow Up-Untersuchung wieder auf 2,25.

Die *leistungsschwachen Schüler* bauen in der Experimentalgruppe 1 Interesse für praktisch-konstruktive Tätigkeiten auf. Der Skalen Wert steigt von 2,06 (Pretest) auf 2,21 (Posttest) und pendelt sich im Follow Up-Test bei 2,18 ein. In der Experimentalgruppe 2 verändert sich der Wert parallel zu den Interessenwerten der mittleren Gruppe. Vom Pretest zum Posttest kommt es zu fast keiner Veränderung. Der Wert sinkt um nur 0,02 von 2,74 nach 2,72. Im Follow Up-Test hat die Gruppe der Leistungsschwachen mit 2,46 den höchsten Interessenwert dieser Gruppe. In der Experimentalgruppe 3 steigt das Interesse für praktisch-konstruktive Tätigkeiten bei den Leistungsschwachen vom Pretest (1,98) zum Posttest (2,15) und zur Follow Up-Erhebung (2,30) an (siehe Tab. 6.28, Abb. 6.19).

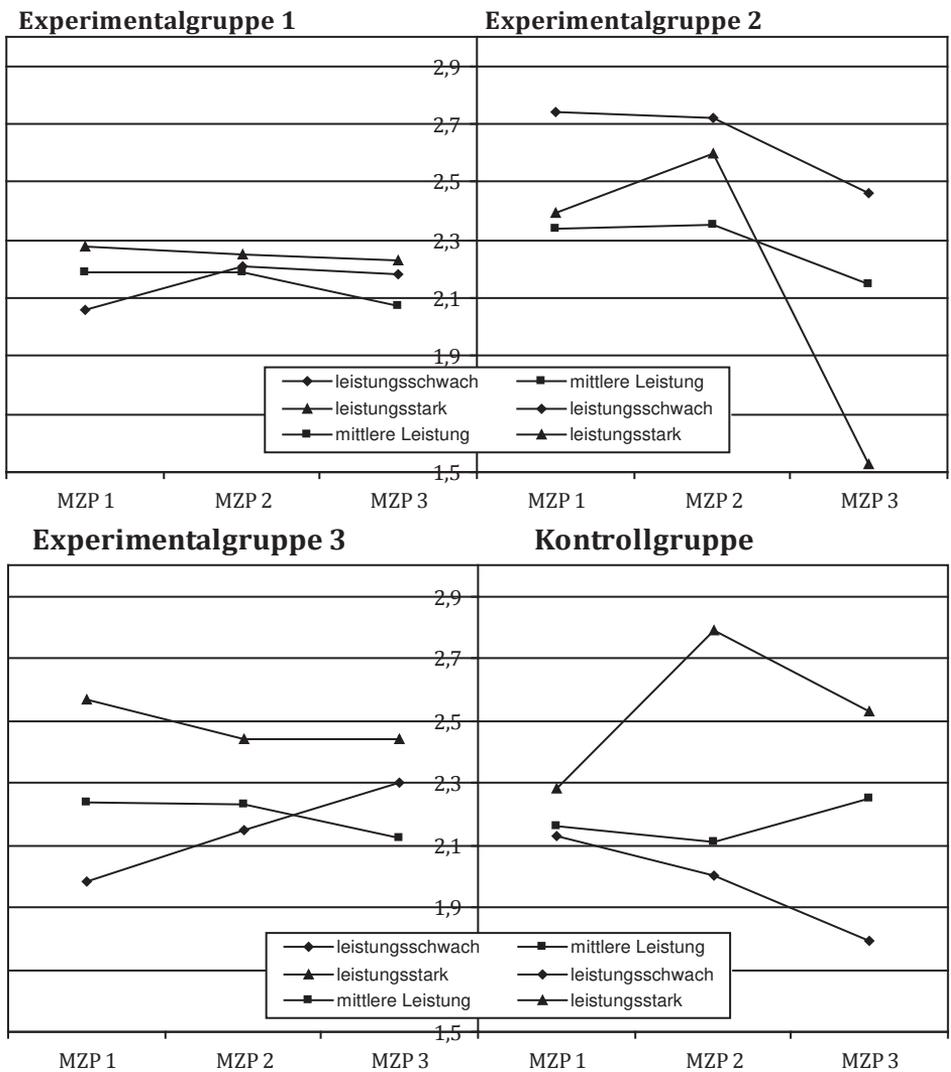


Abb. 6.19: Unterschiedliche Interessenentwicklung für praktisch-konstruktive Tätigkeiten im Lernfeld Strom bei verschiedenen Schulleistungsgruppen in den einzelnen Interventionsgruppen

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Kapitel wurden die Ergebnisse dargestellt, die sich aus Berechnungen hinsichtlich des Interesses und der Interessenentwicklung der Schüler zum Thema Strom und Stromkreis ergaben. Ausgangspunkt war die Frage, ob es innerhalb des Themas Strom oder allgemeiner Elektrizitätslehre in der Grundschule Unterschiede zwischen einzelnen Schülergruppen (Mädchen – Jungen, leistungsstarke – leistungsschwache Schüler, verschiedene Interventionsgruppen) gibt und inwieweit sich das Interesse durch den Unterricht verändert.

Interesse am Thema Strom

Zunächst ist noch einmal festzuhalten, dass das Interesse für das Thema Strom insgesamt sehr hoch ist. Das hohe Niveau zeigt, dass es sich hier nicht – wie aufgrund von Untersuchungen von Hoffmann, Häußler und Lehrke (1998) vermutet werden könnte – um ein reines Jungenthema handelt. Dies deckt sich auch mit Untersuchungen von Hartinger & Roßberger (2001), die ebenfalls ergeben, dass „von einem typischen Jungenthema [...] also nicht die Rede sein“ kann (Hartinger & Roßberger 2001, S. 12).

Der von Hoffmann, Häußler & Lehrke festgestellte, besonders ausgeprägte Interessenunterschied zwischen Mädchen und Jungen an der Elektrizität und Elektronik (siehe Hoffmann, Häußler & Lehrke 1998, S. 50) ist zwar bereits als Unterschied zwischen Jungen und Mädchen zu sehen, jedoch anscheinend in der 3. Jahrgangsstufe noch nicht so ausgeprägt, wie in deren Stichprobe (7.-10. Schuljahr).

Die Frage, ob sich das Interesse am Thema Strom durch den Unterricht ändert, kann bejaht werden. Wie auch schon die Untersuchungen Hartingers zeigen, beeinflusst Unterricht die Entwicklung von Interesse (vgl. Hartinger 1997, S. 216). Auch in der hier vorliegenden Untersuchung sind signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Unterrichtsmodellen feststellbar. Das Interesse für das Thema Strom insgesamt steigt vom Pretest zum Posttest an. Das zeigt, dass der Unterricht sich zunächst positiv auf das Interesse der Schüler auswirkt. Auch das Interesse der Kontrollgruppe am Thema Strom steigt durch den Unterricht stark an. Aber auch in den Interventionsgruppen, in denen nur eine Art von Modellen (mechanische Modelle oder Wassermodelle) zum Stromkreis im Unterricht behandelt wurde, wirkt sich der Unterricht interessenfördernd aus. Zwischen Posttest und Follow up-Erhebung fällt das Interesse für das Thema Strom in allen Gruppen wieder ab. Auffallend ist hier das starke Sinken des Interesses in der Experimentalgruppe 2, also der Gruppe mit dem mechanischen Modell und dem größten Leistungszuwachs.

In Anlehnung an das Interessenmodell der IPN-Interessenstudie Physik wurde der Frage nachgegangen, ob sich im Bereich verschiedener Sachgebiete, verschiedener Kontexte oder verschiedener Tätigkeiten Interessenunterschiede oder verschiedene Interessenentwicklungen ausfindig machen lassen.

Interesse am Sachgebiet

Das höchste Sach-(gebiets)interesse (Kap. 6.1.1) zeigen die Subskalen „Wirkungen und Gefahren des Stroms“ und Interesse an „Experimenten zum Thema Strom“. Dies deckt sich mit den Untersuchungen (z.B. von Hoffmann, Häußler & Lehrke 1998), die belegen, dass Physikunterricht dann für Jungen interessant ist, wenn er für Mädchen interessant ist, und dass das der Fall ist, wenn es um Gefahren der Physik für die Menschen und Auswirkungen auf die Menschen geht. In der vorliegenden Studie gibt es signifikante Unterschiede im Interesse zwischen Jungen und Mädchen speziell beim Interesse an Bauteilen, technischem Spielzeug und der Reparatur von elektrischen Geräten, während Wirkungen und Gefahren,

Experimente und Allgemeines zum Thema Strom für Mädchen und Jungen gleichermaßen interessant sind.

Elektrische Bauteile, technisches Spielzeug und der Strom allgemein liegen im Interesse in etwa gleich hoch. Schlusslicht bei den Subskalen „Interesse am Sachgebiet“ bildet das Interesse an Reparaturen von elektrischen Geräten. Dies scheint, obwohl lebenspraktisch bedeutsam, in der dritten Jahrgangsstufe noch nicht interessant (speziell für die Mädchen, s.u.) zu sein. Es wäre denkbar, dass diese Subskala in der Sekundarstufe einen (relativ gesehen) höheren Interessenwert aufweist, evtl. sogar schulartspezifisch unterschiedlich.

Der Median der schwächsten Subskala (Reparaturen) liegt immerhin aber noch bei 2,00 (auf einer Skala von 0 bis 3), d.h. die Hälfte aller Schüler hat einen Wert, der höher liegt als 2,00.

Beim Interesse an verschiedenen Gebieten der Elektrizitätslehre zeigt sich, dass leistungsstarke Schüler ein signifikant höheres Interesse an einigen Teilgebieten aufbauen als leistungsschwache Schüler (z.B. in Bezug auf elektrische Bauteile oder Experimente).

Das Sachinteresse steigt in vier von sechs Gebieten von Pretest zu Posttest leicht an oder bleibt zumindest gleich hoch (Kap. 6.2.1). In der Follow Up-Erhebung fällt das Interesse an diesen Sachgebieten signifikant ab. Nur in den Gebieten Experimentieren und Spielen gibt es keine signifikanten Veränderungen des Interesses.

Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen gibt es im Bereich der Interessenentwicklung bei Bauteilen und Reparaturen sowie bei Wirkungen und Gefahren. Auffallend ist, dass sich in den Einzeluntersuchungen zum Sachgebietsinteresse in einzelnen Interventionsgruppen immer wieder die Experimentalgruppe 2 (Gruppe mit mechanischen Modellen) abhebt. Diese gewinnt vom Pretest zum Posttest, also vermutlich durch den Unterricht, Interesse und baut bis zur Follow Up-Erhebung Interesse stark ab. Im Bereich von Wirkungen und Gefahren kommt es zudem zu verschiedenen Interessenentwicklungen bei unterschiedlichen Schulleistungsgruppen. Leistungsstarke entwickeln hier durch den Unterricht (Pretest – Posttest) Interesse, Schüler mit mittlerer Schulleistung bauen das Interesse ab und leistungsstarke Schüler behalten ihr hohes Interesse.

Interesse am Kontext

Im Bereich des Interesses durch oder am Kontext (Kap. 6.1.2) wurde zunächst die Unterscheidung des Kontextes in „anwendungsorientiert“ vs. „theorieorientiert“ vorgenommen, anschließend wurden die Variablen nach den Kontexten „Schule“ und „Heim und Freizeit“ unterschieden. Die Kontexte „anwendungsorientiert“ und „theorieorientiert“ hielten sich hierbei die Waage, während sich bei den Kontexten „Schule“ und „Heim und Freizeit“ ein erhöhtes Interesse im Kontext Schule abzeichnete. Mädchen unterscheiden sich in allen Kontexten signifikant von Jungen. Im Kontext Schule ist der Unterschied zwischen Jungen und Mädchen am geringsten. Hier bestehen auch signifikante Unterschiede zwischen den Interessen der verschiedenen Schulleistungsgruppen. Je höher die Schulleistung, umso höher das Interesse, das dem Thema im schulischen Kontext entgegengebracht wird. Das Interesse im anwendungsorientierten Kontext steigt vom Pretest zum Posttest leicht an (Kap. 6.2.2). Im theorieorientierten Kontext bleibt das Interesse gleich. Vom Posttest zur Follow Up-Erhebung fallen beide Skalenwerte ab. In den Kontexten Schule und Heim und Freizeit steigen die Interessenwerte von Pretest zu Posttest minimal und fallen zum Follow Up-Test wieder ab.

Im Zusammenhang mit den Kontexten ergeben sich ähnliche Interessenkurven wie bei den Sachgebieten. Die Experimentalgruppe 2 hat immer vom Pretest zum Posttest leicht stei-

gende Werte, die vom Posttest zur Follow Up-Erhebung stark fallen. Experimentalgruppe 1 hat tendenziell häufig fallende Interessenwerte. Dies könnte durch eine Sättigung an Erklärungen für ein Phänomen (Stromkreis) hervorgerufen werden. Experimentalgruppe 3 dagegen baut meist vom Pretest zum Posttest Interesse auf. Diese Gruppe bekam in den Versuchen zum Wassermodell eindrucksvolle, schöne Versuche, die sie auch selbst ausprobieren durften. Das Element Wasser fasziniert Kinder von Haus aus zudem noch zusätzlich.

Interesse an Tätigkeiten

Das Interesse an verschiedenen Tätigkeiten (Kap. 6.1.3) rund um das Thema Strom wurde unter den Gesichtspunkten praktisch-konstruktiver Tätigkeiten, rezeptive Tätigkeiten, medialer Umgang mit dem Thema und der Tätigkeit Spielen untersucht. Die Mittelwerte aller vier Bereiche sind in etwa gleich hoch, wobei die rezeptiven Tätigkeiten überraschenderweise etwas höhere Werte als die praktisch-konstruktiven Tätigkeiten erzielen. Der mediale Umgang ist – nicht weiter verwunderlich – etwas interessanter als das Spielen mit technischen Geräten und Bausätzen. Zwischen Mädchen und Jungen bestehen signifikante Unterschiede zwischen dem Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten und rezeptiven Tätigkeiten. Bei beiden Skalen haben die Jungen die signifikant höheren Werte. Beim Interesse am medialen Umgang gibt es keine signifikanten Unterschiede. Die deutlichsten Unterschiede existieren beim Spielen mit technischen Bausätzen. Hier liegt die Differenz zwischen Jungen und Mädchen bei 0,6. Schüler mit verschiedenen Schulleistungen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, wenn es um rezeptive Tätigkeiten, medialen Umgang oder Spielen geht. Signifikante Unterschiede gibt es jedoch, bei praktisch-konstruktiven Tätigkeiten. Je leistungsstärker die Schüler, umso mehr Interesse geben sie an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten zum Thema Strom an. Das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten und am medialen Umgang steigt vom Pretest zum Posttest und fällt anschließend wieder (Kap. 6.2.3). Das Interesse an rezeptiven Tätigkeiten bleibt vom Pretest zum Posttest erhalten und sinkt anschließend stärker als das Interesse an den anderen beiden Tätigkeiten. Das Interesse am Spielen erfährt keine signifikanten Änderungen. Das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten ändert sich durch den Unterricht bei Mädchen und Jungen signifikant unterschiedlich. Während es bei den Jungen sinkt, steigt das Interesse der Mädchen in diesem Zeitraum. Bei allen anderen Tätigkeiten gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung des Interesses. In den verschiedenen Interventionsgruppen gibt es unterschiedliche Interessenentwicklungen. Im Bereich der praktisch-konstruktiven Tätigkeiten ist das Interesse der Experimentalgruppe 3 konstant. Das heißt, der Umgang mit den Wassermodellen scheint Interessen zu erhalten. Beim medialen Umgang gibt es im Gegensatz zum Spielen keine signifikanten Unterschiede bei den Interessensentwicklungen zwischen den Interventionsgruppen. Der größte Unterschied zwischen den Gruppen ist hier, dass das Interesse vom Posttest zur Follow Up-Erhebung in allen Gruppen ansteigt, nur in der Experimentalgruppe 2 fällt das Interesse stark ab.

Zusammenfassende Bemerkungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie ergeben ein eindeutiges Bild. Sachunterricht zum Thema Strom trifft in der Grundschule auf großes Interesse – nicht nur bei Jungen, sondern auch bei Mädchen. Ein Unterricht, der bei der Bearbeitung eines Themas zu sehr auf multiperspektivische Betrachtung verstehensfördernder Modelle setzt (Experimentalgruppe 1), scheint Interesse eher abzubauen, während die Bearbeitung des Themas anhand eines Modells das Interesse zu fördern scheint (Experimentalgruppen 2 und 3). Das Unterrichtsmodell, das den größten kognitiven Lernzuwachs erzeugt, wirkt sich zunächst (Posttest) interessenfördernd aus. 12 Wochen nach dem Unterricht sinkt in dieser Gruppe das Interesse stärker als in den anderen Gruppen ab. Über die Ursachen für den Interessenrückgang können hier keine belegbaren Aussagen gemacht werden. Es könnte zum einen daran liegen – und das gilt dann für alle Gruppen –, dass in der Zwischenzeit verschiedene weitere, vielleicht auch interessante Themen im Unterricht erarbeitet wurden, die das Interesse am Thema Strom überlagerten. Speziell für die Experimentalgruppe 2, in der der Rückgang des Interesses besonders stark war, könnte aber auch zutreffen, dass diese Schüler den Eindruck hatten, das Thema Strom erschöpfend bearbeitet zu haben, weil sie die Lernziele erreicht hatten. Weitergehende offene Fragen zum Thema Strom wurden auch in dieser Gruppe nicht angestoßen. Es wäre zu untersuchen, ob ein Unterricht, der explizit zu weitergehenden Fragestellungen an einem Thema anregt, auch das Interesse an diesem Thema längerfristig aufrechterhält.

Zusammenfassung

7 Zusammenfassung und Diskussion

7.1 Zusammenfassung

7.1.1 Die zentralen Forschungsfragen im kognitiven Bereich

Da es im Bereich der Grundschule nur wenige Studien zu naturwissenschaftlichem Unterricht und speziell zum Thema Stromkreis gibt, sollten die Untersuchung und damit auch die entwickelten Fragen einen exploratorischen Charakter haben.

Alltagswissen und Vorerfahrungen der Lerner sind ein zentraler Ausgangspunkt heutiger Erklärungen und konstruktivistischer Ansätze von Lernen. Naturwissenschaftlicher Unterricht soll insbesondere dazu beitragen, kategoriales Wissen zu erwerben, naturwissenschaftliches Denken vorzubereiten, positive Haltungen und Einstellungen gegenüber Naturwissenschaften auszubilden, Motivation und Interesse gegenüber Phänomenen der Natur zu wecken und Lernsituationen zu schaffen, die Kompetenzerfahrungen ermöglichen (vgl. Möller 1999, S. 128f.). Manche Alltagskonzepte der Lernenden haben sich im Alltag bewährt. Für den Lerner bedeutet das, um das alte Konzept aufzugeben oder zu verändern, muss es einsichtig sein, dass das Konzept an Grenzen stößt (Kapitel 1.3). Der Lernende muss mit seinen eigenen Vorstellungen unzufrieden sein (Strike & Posner 1985). Für den Lehrenden bedeutet dies auf der anderen Seite, er muss die Vorstellungen und Vorerfahrungen des Lernenden kennen und mögliche Kenntnisse oder Kenntnisstufen voraussehen können. Nur dadurch kann er aufzeigen, an welchen Stellen die vorhandenen Konzepte nicht ausreichen, nur dadurch kann er Lernumgebungen schaffen, die neue Vorstellungen logisch und verständlich präsentieren. Die neuen Vorstellungen müssen schließlich vom Lerner fruchtbar in neuen Situationen angewendet werden können. Dazu muss er sich die Vorstellungen vorher als einleuchtend und plausibel angeeignet haben (vgl. Strike & Posner 1985).

Welche Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre haben nun Grundschüler der dritten Jahrgangsstufe? Gibt es Unterschiede in den Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen bei Jungen und Mädchen, bei Schülergruppen mit verschiedenen Schulleistungen, bei Interventionsgruppen?

Die Alltagserfahrungen und Vorstellungen sind sehr unterschiedlich. Die wenigsten Kinder haben sich in diesem Alter – so zeigen die Interviews – bewusst mit Strom auseinandergesetzt, mit elektrischen Anlagen gebastelt oder eigene Versuche durchgeführt. Erfahrungen im täglichen Umgang mit Elektrogeräten machen aber alle Kinder. Die Vorstellungen dazu, was Strom jedoch ist, ist zu Beginn des Unterrichts noch sehr unterschiedlich. Es findet sich eine Vielzahl an Vorstellungen wieder. Allen freien Äußerungen der Schüler in den Fragebögen und vielen Äußerungen in den Interviews ist jedoch gemeinsam, dass Strom als Sub-

stanz betrachtet wird, die in der Batterie gespeichert ist. Die Nachfrage nach der Batterie als Stromquelle in den Interviews bestätigt, dass die Batterie als Stromspeicher gesehen wird, aus der Strom sozusagen „hervorquillt“. Aus den Fragebogendaten wurde ein Vorwissensindex für alle Schüler berechnet. Dieser zeigt, dass das Vorwissen bezüglich Alltagserfahrungen und Alltagswissen im Bereich Elektrizitätslehre relativ hoch ist, jedoch zeigt sich auch, dass Jungen und Mädchen signifikant unterschiedlich viel Vorwissen besitzen. Das Vorwissen der Mädchen ist geringer. Ebenso ist das Vorwissen leistungsschwächerer Schüler geringer als das leistungstärkerer Schüler.

Wie entwickeln sich die Alltagsvorstellungen durch die Untersuchung? Gibt es unterschiedliche Entwicklungen bei Jungen und Mädchen, bei Schülern verschiedener Schulleistungsgruppen, bei Schülern unterschiedlichen Vorwissens? Haben die Interventionsgruppen einen Effekt auf die Entwicklung der Vorstellungen von Schülern?

Das Vorwissen wurde durch die Intervention positiv beeinflusst. Die berechneten Indizes wuchsen vom Pretest zum Posttest signifikant an. Auch in der Follow Up-Erhebung lässt sich noch ein Wissenszuwachs feststellen (Abb. 5.4). Die Entwicklung des Vorwissensindex ist unabhängig vom Geschlecht. Mädchen und Jungen entwickeln ihr Wissen zum Thema Elektrizitätslehre gleichermaßen. Dagegen wirkt sich die Art des Modelleinsatzes auf die Entwicklung des Wissens aus. Den größten Lernzuwachs gibt es in den Experimentalgruppen 1 und 2. (Die Gemeinsamkeit der beiden Gruppen ist der Einsatz von mechanischen Modellen.) Der Lernzuwachs ist dabei in beiden Gruppen gleich groß. Auch die Wassermodellgruppe (Experimentalgruppe 3) erzielt einen höheren Lernzuwachs als die Kontrollgruppe.

Das Erlernen des Stromkreises mit Hilfe von Modellen wirkt sich also positiv auf den Lernbereich der Elektrizitätslehre aus.

Tendenziell zeigt sich, dass das mechanische Modell einen besonders großen Effekt auf den Lernzuwachs der Mädchen haben könnte. Dies müsste jedoch in einer Replikationsstudie noch untersucht werden.

Beim Aufbau der Stromvorstellung zeigt sich, dass die Vielzahl an Vorstellungen, die vor dem Unterricht vorhanden war, im Posttest und in der Follow Up-Erhebung verschwindet. Die Anzahl der frei formulierten Antworten nimmt nach dem Unterricht ab. Die freien Antworten bezogen sich im Pretest meist auf eine Substanzvorstellung des Stroms. Auch die Interviews zeigen, dass bei den Schülern **vor dem Unterricht der Substanzcharakter** im Vordergrund stand. Nach dem Unterricht herrscht vermehrt (bei 60 % aller Schüler) die Vorstellung, dass elektrischer Strom aus sich bewegenden kleinen Teilchen besteht. Diese Schüler sehen **nach dem Unterricht den Prozesscharakter** des Stroms. Die Bewegung der Teilchen als „Strom“ wird erst nach dem Unterricht eingeräumt. Dies ist **in besonderem Maß in der Experimentalgruppe 2 (mechanische Modelle)** der Fall. Die Betonung des Prozesscharakters steigt auch – wenn auch weniger – in den Gruppen, die sich mit Wassermodellen beschäftigt haben. In der Kontrollgruppe gehen die richtigen Antworten jedoch sogar um 50 % zurück!

Daraus ist abzulesen, dass ohne Modelle Strom nach dem Unterricht sogar verstärkt als Substanz gesehen wird, die irgendwo gelagert wird und dann an den Ort transportiert wird, an dem sie gebraucht oder verbraucht wird.

Da die substanzartige Vorstellung thematisch sehr nahe bei der Stromverbrauchsvorstellung liegt, ist es auch nicht verwunderlich, dass der Abbau der Verbrauchsvorstellung in den Interventionsgruppen ähnliche Ausprägungen hat wie der Abbau der Substanzvorstellungen

von Strom. Zwischen Jungen und Mädchen ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in der Entwicklung der Stromvorstellung. Allerdings gibt es Tendenzen, dass Mädchen prozessbetonende Antworten nach dem Unterricht in verstärktem Maße und längerfristig für richtig erachten. Direkt nach dem Unterricht sind die Ergebnisse von Jungen und Mädchen in etwa gleich. Zwölf Wochen später jedoch fallen 10 % der Jungen zu ihren alten Vorstellungen zurück, während die Mädchen bei den durch den Unterricht vermittelten Vorstellungen bleiben.

In der Elektrizitätslehre treten Probleme bei Stromflussvorstellungen auf (Kapitel 1.6 und 1.7). Schülern ist – so scheint es – ein Stromkreiskonzept nicht sehr einleuchtend. So stellt sich die Frage:

Welche Stromflussvorstellung herrscht bei Schülern der dritten Jahrgangsstufe? Lassen sich typische Schülervorstellungen (z.B. aus den Untersuchungen Wiesners, Spreckelsens, ...), wie etwa die Einwegzuführungsvorstellung, die Zweiwegzuführungsvorstellung, die Geben-Nehmen-Vorstellung, die Zweistoffvorstellung oder die Kreisvorstellung nachweisen?

In der Zeichenaufgabe zeigt sich, dass ein Drittel der befragten Schüler zu Beginn der Untersuchung bereits eine Kreisvorstellung zu haben scheint. 17 % zeichnen eine Einwegzuführungsvorstellung, 55 % eine Zweiwegzuführungsvorstellung. Dieses Ergebnis stimmt mit den handelnd praktischen Versuchen der Kinder, die Interviews gaben, nicht überein. Fast alle Kinder versuchten vor dem Unterricht, das Lämpchen mit nur einem Kabel zum Leuchten zu bringen. Die Skalen zu den Stromflussvorstellungen zeigen, dass diese im Pretest nahezu unabhängig von der Interventionsgruppe, von Geschlecht und Schulleistung und vom Vorwissen sind.

Analogien sind als fachdidaktisches Mittel zur Veranschaulichung abstrakter Thematiken geeignet. Einzelne Analogien sind zu betrachten und zu untersuchen (Kapitel 2). So stellt sich die Frage:

Wie verändern sich die Stromflussvorstellungen im Verlauf der Intervention?

Bewirkt der Einsatz verschiedener analoger Modelle im Unterricht Unterschiede in der Ausprägung von Stromflussvorstellungen bei den Schülern? Wirkt ein Unterricht, der mechanische Modelle in den Fokus nimmt, anders als ein Unterricht, der auf Wassermodelle fokussiert? Welche Effekte haben die verschiedenen Interventionen auf die Entwicklung der Stromflussvorstellungen der Schüler? Welches der eingesetzten Modelle bringt für die Stromflussvorstellungen bei Kindern die günstigsten Veränderungen (im Sinne von Veränderungen hin zur Kreisvorstellung)? Hat der Einsatz mehrerer verschiedener Modelle Synergieeffekte?

Die Stromflussvorstellungen verändern sich durch die Interventionen. Die Einwegzuführungsvorstellung verschwindet nach der Intervention in der Fragebogenstudie vollständig. Die Zweiwegvorstellung wird bei der Hälfte der Schüler abgebaut, die Kreisvorstellung nach dem Unterricht von 70 % aller Schüler geäußert. Diese Entwicklung ist unabhängig vom Geschlecht, jedoch abhängig von der Intervention. In der Experimentalgruppe 2 und auch in der Experimentalgruppe 1 (aber etwas geringer) wird die Kreisvorstellung deutlich ausgeprägt – in der Experimentalgruppe 2 (mechanische Modelle) sogar von 85 % aller Schüler, in der Experimentalgruppe 1 (mechanische Modelle und Wassermodelle) immerhin von 78 %. In der Experimentalgruppe 3 (Wasser) bauen zwei Drittel der Schüler eine Kreisvorstellung auf. In der Kontrollgruppe dagegen bauen sehr viel weniger Schüler die Kreisvorstellung auf. Hier überwiegt die Zweiwegzuführungsvorstellung.

Die Modelle unterstützen, eine Kreisvorstellung aufzubauen. Insbesondere das mechanische Modell trägt dazu bei, auch langfristig, die Vorstellung vom im Kreis fließenden elektrischen Strom zu festigen. Die Wassermodelle scheinen eine Vorstellung eines Kreisflusses „verzögert“ zu sichern.

(Erst in der Follow Up-Erhebung steigt der Prozentsatz der Kreisvorstellung auf 75 %.) Die Wassermodelle scheinen direkt nach dem Unterricht noch nicht sofort zu greifen. Hierfür könnten möglicherweise der spielerische Charakter oder die Attraktivität und der Reiz, den das Material Wasser auf Kinder ausübt, verantwortlich sein.

Bestimmte Stromflussvorstellungen (Einweg-/Zweiwegemodell) gehen häufig einher mit der Alltagsvorstellung des Stromverbrauchs (vgl. Kapitel 1.7). Da in hohem Maße mit Zuführungstheorien zu rechnen ist, liegt eine auch von der Alltagssprache induzierte Verbrauchsvorstellung nahe.

Lässt sich eine Stromverbrauchsvorstellung auch in der vorliegenden Stichprobe nachweisen? Welche Vorstellung haben Schüler, was mit dem Strom im Lämpchen passiert? Gibt es Unterschiede zwischen den Schülergruppen?

Aus den abgefragten Items zum Thema „Stromverbrauch“ wurde ein Index errechnet. Bereits zu Beginn der Untersuchung ergeben sich Unterschiede zwischen den Gruppen, aber auch zwischen Jungen und Mädchen. Jungen haben ein stärker ausgeprägtes Verbrauchskonzept. Am stärksten ist das Verbrauchskonzept zu Beginn der Untersuchung in der Kontrollgruppe ausgeprägt. Etwas niedriger ist die Ausprägung in den Experimentalgruppen 1 und 2. Deutlich niedriger ist die Verbrauchsvorstellung in der Experimentalgruppe 3.

Wie verändert sich die Stromverbrauchsvorstellung im Laufe der Untersuchung?

Welche Effekte haben die verschiedenen Interventionen auf die Entwicklung des Stromverbrauchskonzeptes? Wird das Stromverbrauchskonzept durch den Einsatz von Modellen, in denen (offensichtlich) das Analogon zu Strom nicht verbraucht wird, abgemildert? Wie verändert sich die Vorstellung, Strom werde im Lämpchen verbraucht, in Abhängigkeit vom Interventionsmodell? Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf Mädchen oder Jungen? Gibt es unterschiedliche Auswirkungen der eingesetzten Modelle auf verschiedene Schulleistungsgruppen? Steigert der Einsatz verschiedener Modelle in einer Interventionsgruppe (i. S. v. Spreckelsens Phänomenkreisen) den kognitiven Lernzuwachs besonders bei schwachen oder starken Schülern? Gibt es Synergieeffekte zwischen verschiedenen Modellen?

Die Untersuchung zeigt, dass in der Kontrollgruppe, ohne den Einsatz von Modellen, die Vorstellung, dass Strom im Lämpchen verbraucht wird, nicht abgebaut wird; bei den Mädchen wird sie sogar eher tendenziell aufgebaut. Besonders die leistungsschwachen Schüler, aber auch die Schüler mit mittlerer Schulleistung, bauen eher eine Verbrauchsvorstellung auf. Einzige „Gewinner“ in der Kontrollgruppe sind die leistungsstarken Schüler.

Auf Grund der Untersuchung kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass der Einsatz von Modellen generell hilft, diese Vorstellung zu verändern. In der Gruppe, in der dies mit Hilfe der Wassermodelle versucht wurde, gelang dies nicht. Hier wurde direkt nach dem Unterricht verstärkt eine Verbrauchsvorstellung gefunden. Der Grund hierfür könnte die Alltagssprache sein, die ja auch den „Wasserverbrauch“ kennt. In den Interviews sprechen einzelne Schüler auch vom „gebrauchten“ Strom, der in die Batterie zurückfließt. Insbesondere leistungsschwache Schüler bauen die Verbrauchsvorstellung stark auf.

Der Abbau der Verbrauchsvorstellung gelingt am Besten in der Gruppe, die mechanische Modelle kennen gelernt hat. Hier wurde offensichtlich deutlich, dass es keinen Verbrauch

des Energietransportmittels gibt. In dieser Gruppe profitieren Schüler verschiedener Schulleistungsgruppen gleichermaßen.

Die Gruppe, die sowohl Wassermodelle als auch mechanische Modelle behandelt hat, profitiert zwar insgesamt vom Modelleinsatz, jedoch nicht so stark wie die Experimentalgruppe 2, die nur das mechanische Modell kennen lernte. Die Wassermodelle scheinen den „Erfolg“ des mechanischen Modells zu relativieren. Für die mittleren und leistungsstarken Schüler bleiben positive Effekte. Die leistungsschwachen Schüler dagegen sind die „Verlierer“ eines doppelten Modelleinsatzes. Für sie überwiegen die „negativen“ Effekte der Wassermodelle bezüglich der Veränderung der Verbrauchsvorstellung. So kann hinsichtlich der Stromverbrauchsvorstellung nur zum Einsatz von mechanischen Modellen geraten werden, da diese Interventionsart die einzige ist, die auch die leistungsschwachen Schüler zu einem Abbau von Verbrauchsvorstellungen führt – auch wenn dieser Abbau der Vorstellungen nicht in vollem Umfang langfristig erhalten bleibt. Synergieeffekte ergeben sich hinsichtlich der Verbrauchsvorstellung nicht, weder bei lernschwachen noch bei lernstarken Schülern.

Die Wassermodelle behindern den Abbau von Verbrauchsvorstellungen.

Der Einsatz von Wassermodellen ist – wie bisherige Analysen auch zeigten, mit Recht – in der Literatur häufig umstritten (Kapitel 2.4). Ein wesentlicher Punkt in der Literatur ist die Akzeptanz des Modells. Aus diesem Grund wird hier eigens der Frage nachgegangen:

Akzeptieren Schüler das Wassermodell? Wie viel wissen Schüler über das Wassermodell? Steigert sich die Akzeptanz mit einem höheren Wissen über das Modell?

Die Akzeptanz des Wassermodells ist generell sehr hoch, tendenziell jedoch in der „reinen Wassergruppe“ (Experimentalgruppe 3) höher. Beim Vergleich Stromkreis – Wasserkreis fällt auf, dass leistungsschwache Schüler im Mittel 30 % der Fragen weniger richtig beantworten als leistungsstarke Schüler. Da es gerade auf diesen Vergleich von Stromkreis und Wasserkreis ankommt, kann gefolgert werden, dass die Wassermodelle für leistungsschwache Schüler nicht so gut geeignet sind wie für leistungsstarke Schüler. Auffällig ist hier auch, dass die Vertrautheit mit den Wassermodellen bei Schülern mit steigendem Vorwissen im Bereich der Elektrizitätslehre allgemein durch den Unterricht steigt. Kinder, die also bereits vor dem Unterricht ein ausgebautes semantisches Netzwerk im Zielbereich besitzen, verarbeiten auch im Basisbereich anders (und zwar besser). Andersherum: Die fehlende Vertrautheit des Basisbereichs „geschlossener Wasserkreis“ kann nicht dadurch von allen Schülern gleich aufgeholt werden, dass die Wassermodelle im Unterricht behandelt werden, sondern die Schüler, die im Zielbereich ein ansehnliches Vorwissen haben, profitieren vom Einsatz und von der Erarbeitung der Wassermodelle. (Dies ist sozusagen ein doppelter Matthäuseffekt: Wer viel Vorwissen im Bereich Elektrizitätslehre allgemein hat, dem wird viel Wissen um den Basisbereich Wasserkreise zuteil und er lernt dadurch mehr im Zielbereich Stromkreise.)

7.1.2 Die zentralen Forschungsfragen im Interessenbereich

Interesse gilt als Einflussfaktor auf Lernen und Lernmotivation (Kapitel 1.4). Im Bereich naturwissenschaftlichen Lernens geht man davon aus, dass das Interesse von Jungen und Mädchen als unterschiedlich einzustufen ist. Daher erwächst konkret beim Thema Strom die Frage:

Wie groß ist das Interesse am Thema Strom? Gibt es Interessensunterschiede bei Jungen und Mädchen? Gibt es Unterschiede zwischen verschiedenen Schülergruppen (Schulleistungsgruppen, Interventionsgruppen)? Gibt es in Anlehnung an die IPN-Interessenstudie

(Hoffmann & Lehrke 1998) in verschiedenen Sachgebieten, in verschiedenen Kontexten und bei verschiedenen Tätigkeiten Interessensunterschiede?

Das Interesse am Thema Strom ist bei den teilnehmenden Schülern sehr hoch.

Das Interesse der Jungen am Thema ist zwar höher als das Interesse der Mädchen, jedoch kann man aufgrund des hohen Niveaus der Mädchen – in Übereinstimmung mit Hartinger und Roßberger 2001 – nicht von einem typischen Jungenthema sprechen. Zwischen den einzelnen Leistungsgruppen und Interventionsgruppen und auch zwischen Schülergruppen, die unterschiedliches Vorwissen zum Thema Strom haben, gibt es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Interesses, das sie dem Thema entgegenbringen. Die Aufteilung des Sachinteresses auf verschiedene Sachgebiete ergibt, dass das Interesse an Wirkungen und Gefahren sowie das Interesse an Experimenten zum Thema Strom am höchsten ist. Am geringsten ausgeprägt ist das Interesse an der Reparatur elektrischer Geräte. Während es keinen Unterschied im Interesse an Wirkungen und Gefahren und an Experimenten zwischen Jungen und Mädchen gibt, existieren beim Interesse an Bauteilen, an technischem Spielzeug und an der Reparatur von elektrischen Geräten signifikante Unterschiede. Das Interesse der Jungen ist in diesen Bereichen höher als das Interesse der Mädchen. Verschiedene Kontexte bewirken in der hier vorliegenden Untersuchung nicht immer eine unterschiedliche Ausprägung des Interesses. So ist das Interesse unabhängig von anwendungsorientierten Kontexten. Im Bereich Schule, Heim und Freizeit ist dies anders: Das Thema Strom scheint im Bereich schulische Lernumgebung interessanter zu sein als zu Hause oder in der Freizeit. Im Kontext Schule gibt es keinen Interessensunterschied zwischen Jungen und Mädchen. In allen anderen Kontexten zeigen die Jungen mehr Interesse am Thema. Im Zusammenhang mit dem schulischen Kontext sei hier noch angemerkt, dass das Interesse am Schulthema Strom umso höher ist, je höher das Schulleistungsvermögen der Schüler ist – eigentlich kein erstaunliches Ergebnis. In den anderen Kontexten dagegen gibt es keine Unterschiede zwischen Gruppen mit verschiedenen Schulleistungen. Betrachtet man das Interesse an Tätigkeiten im Lernfeld Strom, so fällt auf, dass, obwohl ein an Experimenten besonders ausgeprägtes Sachinteresse besteht, das Interesse an praktisch-konstruktiven Tätigkeiten am geringsten ist. Experimente mit Strom scheinen interessant zu sein, die Ausführung derselben wird jedoch nicht immer von den Schülern eingefordert. Dies passt auch gut zu dem Ergebnis, dass die Gefahren des Stroms für sehr interessant und wichtig erachtet werden. Möglicherweise sehen manche Schüler „gefährliche“ Stromexperimente gerne vom Lehrer durchgeführt.

Eine der Chancen der Analogienutzung im Unterricht ist die Motivationssteigerung bei schwachen Schülern. Motivation und Interessensbildung ist über den Begriff der selbstgesteuerten Lernmotivation in der pädagogischen Interessentheorie eng verknüpft. Daher erwächst die Frage:

Wie entwickelt sich das Interesse im Laufe der Intervention? Wovon ist die Interessensentwicklung abhängig (Jungen – Mädchen, Schulleistungsgruppen)? Wirkt sich ein hohes Interesse am Analogiemodell positiv auf den Lernerfolg beim Thema Strom aus? Lassen einzelne Interventionsmodelle ein besonders starkes/schwaches Interesse entstehen?

Das Interesse am Thema insgesamt steigt durch den Unterricht an.

Dies trifft auf alle Interventionsgruppen zu – mit Ausnahme der Experimentalgruppe 1. Vielleicht wirkt sich **der doppelte Modelleinsatz eher interessenhemmend** aus. In der Zeit nach dem Unterricht fällt das Interesse in allen Gruppen mit Ausnahme der Experimentalgruppe 3.

Die Wassermodelle steigern das Interesse am Thema Strom.

Auffallend ist auch, dass nach dem Unterricht das Interesse der leistungsstarken Schüler besonders stark fällt. Der Unterricht scheint das Bedürfnis nach neuem Wissen zum Thema bereits gestillt zu haben. Dagegen steigt das Interesse der leistungsschwachen Schüler durch die Intervention. Das Interesse an verschiedenen Sachgebieten steigt durch die Intervention leicht an (Interesse an elektrischen Bauteilen, Wirkungen und Gefahren) oder bleibt gleich (allgemeines Interesse, Interesse für Reparaturen). Nach dem Unterricht sinkt das Interesse wieder leicht ab. Ausnahme ist die Experimentalgruppe 2: hier fällt das Interesse an Bauteilen, Reparaturen, Wirkungen und Gefahren bis zur Follow Up-Erhebung stark ab. Das Interesse an Wirkungen und Gefahren bleibt bei leistungsstarken Schülern konstant, sinkt bei Schülern der mittleren Leistungsgruppe leicht und steigt bei den leistungsschwachen Schülern. Leistungsschwache Schüler sind also im Bereich Wirkungen und Gefahren des Stroms durch die Behandlung des Themas im Unterricht besonders zu motivieren. Kontextabhängig ergibt sich, dass in allen Gruppen das Interesse an anwendungsorientierten Kontexten durch die Intervention etwas steigt und sich anschließend leicht (Ausnahme: Experimentalgruppe 2: stark) zurückbildet. Im theorieorientierten Kontext sinkt das Interesse (Experimentalgruppe 1 und Kontrollgruppe) oder bleibt konstant (Experimentalgruppe 3). Ausnahme hier ist wieder die Experimentalgruppe 2. Hier steigt das Interesse im theoriebezogenen Kontext. Die Experimentalgruppe 2 konnte mit dem mechanischen Kurbelmodell weniger selbst experimentieren als es z.B. die Wassergruppe konnte. Das Modell wurde stärker theoretisch erklärt und weniger mit eigener Handlung verknüpft. Im Kontext Schule baut sich nach dem Unterricht in fast allen Gruppen Interesse auf. Die Experimentalgruppe 1 scheint durch den doppelten Modelleinsatz schon im Unterricht Interesse abzubauen. Möglicherweise werden den Schülern zu viele Modelle geboten, so dass das Interesse abnimmt. Nach dem Unterricht wird in allen Gruppen Interesse abgebaut. Dass Schüler evtl. – angeregt durch den Unterricht – zu Hause oder in ihrer Freizeit sich weiter mit dem Thema auseinandersetzen wollen oder sich dies auch zutrauen, ist nur in den Gruppen der Fall, die nur eine Art von Modell kennen lernten. Bei der Experimentalgruppe 1 – aber auch in der Kontrollgruppe – sinkt das Interesse an außerschulischen Tätigkeiten bereits durch den Unterricht.

Auch für die Interessensentwicklung zeigte sich, dass der Einsatz beider Modellarten sich als nicht günstig erweist. Generell gilt jedoch auch bei nur einer Modellart, dass das Interesse nach Abschluss des Themas im Unterricht sinken kann (siehe mechanisches Modell). Das Wassermodell ist ein Unterrichtsinhalt, der auch nach dem Unterricht noch Interesse am Thema Stromkreis entwickeln kann.

7.2 Diskussion

7.2.1 Zur Verwendung von Analogien

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass es in der Primarstufe sinnvoll ist, Analogien einzusetzen, um mit Schülern ein Stromkreisverständnis anzubahnen. Analogiemodelle führen den Lerner dazu, einen erhöhten Lernfortschritt zu zeigen. Die hier untersuchten unterschiedlichen Modelle bewirken einen unterschiedlichen Lernzuwachs und eine unterschiedliche Entwicklung des Interesses am Thema „Strom“. Übereinstimmend mit den Ergebnissen Dudecks kann gefolgert werden, dass Schüler durch die Nutzung der Analogiemodelle ein „sicheres systematisches Stromverständnis“ bekommen und dass Analo-

gieverknüpfungen, die in diesem Kontext aufgebaut wurden, langfristig aktivierbar sind (Dudeck 1997). Im Falle der Wassermodelle sind es sogar vorwiegend langfristig aktivierbare Verknüpfungen. Die Begründungsmuster von Schülern entsprachen den Mustern aus den Untersuchungen Wiesners (1995). Schüler argumentieren zunächst mit einer Einwegzuführungsvorstellung, dann mit einer Zweiwegzuführungsvorstellung. Kommen Modelle zum Einsatz, so zeigt die Untersuchung, dass verstärkt eine Kreisvorstellung erreicht werden kann. Die eingesetzten Modelle geben dabei alle eine strukturelle Analogie vor und beschränken sich nicht auf einfache Oberflächenanalogien. Bei allen verwendeten Analogien kann die Struktur der Energieübertragung auf den Stromkreis übertragen werden. Die Oberfläche „Aufbau eines Kreises“ ist gegeben. Schüler glauben auch – so zeigten die Interviews – aus dem Wort Stromkreis den Aufbau in Kreisform herauszuhören. Der Fluss im Kreis wurde erst nach der Analogiebildung nachvollziehbar. Daher sollte eine Analogie in jedem Falle zum Lernen herangezogen werden. Die Ergebnisse der verschiedenen Modelle scheinen jedoch in sich und zueinander widersprüchlich zu sein. Während die mechanischen Modelle einen kognitiven Lernzuwachs stark fördern, hemmen sie jedoch eine Stärkung des Interesses. Bei den Wassermodellen dagegen werden stark Interessen gefördert, jedoch entspricht der Lernzuwachs nicht dem erwünschten. Die stark motivierende Wirkung, die in der vorliegenden Untersuchung auf Seiten der Wassermodelle für Grundschüler nachgewiesen werden konnte, konnten Smith und Wilson 1974 bereits für Highschoolschüler nachweisen. Auch die Ergebnisse von Schwedes (1984) und Black und Salomon (1989) ließen sich bei Grundschulern zeigen. Die Wasseranalogien verbessern die Möglichkeit für Schüler, abstrakte Vorgänge im Stromkreis anschaulicher werden zu lassen. Dies ermöglicht ein leichteres und tiefergehendes Lernen. Es werden bereits mikrokosmische Erklärungen gewagt, Strom auf „sich bewegende Elektrizitätsteilchen“, auf Elektronen, die in Bewegung sind, bezogen. Auch der geschlossene Kreis wird nicht nur auf Schalter offen – Schalter geschlossen bezogen. Vielmehr wird deutlich, dass die Elektrizitätsteilchen im Kreis herumlaufen, ohne durch den Verbraucher (Wasserrad oder zweite Rolle) verbraucht zu werden. Die Ebene des Lernens bleibt nicht bei beobachtbaren Vorstellungen (wie das Lämpchen leuchtet oder das Lämpchen leuchtet nicht) stehen. Modelle wie der geschlossene Wasserkreis drängen dazu, Vergleiche anzustellen und nach Erklärungen zu suchen.

Dies beschreiben Kircher und Duit (1975) als eine „Förderung der Anschaulichkeit durch Wassermodelle“.

Als Resümee bleibt ein eindeutiges Votum für den Modelleinsatz zu ziehen.

7.2.2 Konsequenzen für den Unterricht

Als Resümee aus Kapitel 7.2.1 entstand das Votum für den Modelleinsatz. Doch welche Modelle sollen nun im Unterricht eingesetzt werden? Sollen die Modelle verstärkt Interesse oder Verstehen fördern? Die Ergebnisse der beiden Modellarten scheinen sich hier zu widersprechen. Auch die Synthese der beiden Modelle führt nicht ans Ziel, da durch den doppelten Modelleinsatz Lerneffekte der mechanischen Modelle abgebaut werden und gleichzeitig die Interessensentwicklung abgebaut wird. Für den Unterricht bedeutet dies, dass auf den Einsatz der mechanischen Modelle auf keinen Fall verzichtet werden sollte. Die Grundlegung von Lernstrukturen durch die mechanischen Modelle ist für das Erlernen von Kreis-konzepten und Nicht-Verbrauchs-Vorstellungen wesentlich. Deshalb sollte auf diese Lernstrukturen zugunsten einer positiveren Interessensentwicklung auf keinen Fall verzichtet

werden. Die Langzeitwirkung der Wassermodelle mit ihrem motivierenden Charakter könnte darauf hindeuten, dass bereits Wochen vor dem Unterricht zum Thema Stromkreis das Anbahnen für Verständnis geschehen könnte. Vielleicht ergeben sich Synergieeffekte, wenn die zeitliche Abfolge dementsprechend konzipiert ist. Der Unterricht zu den Wassermodellen war im Vergleich zu den mechanischen Modellen wesentlich stärker durch selbsttätiges Handeln geprägt. Die sichtbaren Auswirkungen waren eine deutliche Interessenssteigerung beim stärker durch eigenes Handeln begleitetem Modell, ein stärkerer Lernzuwachs bei dem Modell, das mehr durch Mitdenken durchdrungen werden sollte. Möglicherweise müsste bei einem Einsatz der Wassermodelle auch noch ein stärkerer Akzent auf die geistige Durchdringung des Modells gelegt werden. Möglicherweise müssten noch mehr Denkanstöße die Schüler dazu führen, vom Handeln zum Abstrahieren überzugehen. Vielleicht könnte dies auch dadurch erreicht werden, wenn den Schülern genügend Zeit gegeben wird, sich erst einmal „auszuspielen“, um dann tiefer über den Sinn der Versuche nachzudenken (Köster 2006).

Umgekehrt müsste der Unterricht zum mechanischen Modell eventuell um anregende Schülerversuche erweitert werden, so dass auch hier noch eine stärkere positive Interessensbeeinflussung stattfinden kann. Denkbar wären hier Versuche zur Fahrradkette, zu Tischtennisbällen in Röhren, zum Umlaufen von Riemen etc.

Insgesamt müsste also für das Thema elektrischer Strom ein noch wesentlich höherer Stundenanteil zur Verfügung gestellt werden, um nicht nur ein Lernen, sondern ein Verstehen zu erreichen. Leider kommen jedoch naturwissenschaftliche Themen im Unterricht der Grundschule eher zu kurz (vgl. Heran-Dörr/Kahlert 2007). Für den Unterricht ließe sich aus Untersuchungen wie dieser auf struktureller verwaltungstechnischer Ebene die Forderung nach einem erhöhten Anteil an Unterricht in Naturwissenschaft/Technik im Sachunterricht ableiten. In dieser Richtung geschieht auch bereits mit der Einrichtung des Studienganges Naturwissenschaft/Technik für den Lehramtsstudiengang für Grundschulen an der Universität Regensburg etwas. Lehramtsstudenten/innen soll so gezielt die von Heran-Dörr und Kahlert (2007) beschriebene Angst und Unsicherheit genommen werden. Auf Schülerebene könnte durch den Einsatz mechanischer Modelle ein stärkeres Tiefenverständnis für Physik erreicht werden.

7.2.3 Offene Fragen und Ausblick

Ziel der Arbeit war es, eine Untersuchung zum Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse im Sachunterricht der Grundschule durchzuführen. Dabei ergab sich, dass das Themenfeld für Analogien weiter einzuschränken war. Analogien können nicht als Abstraktum untersucht werden. Daher wurde am Beispiel des elektrischen Stromkreises als konkreten Einzelfall ein Design entworfen, mit dem verschiedene Analogien zu diesem Primärbereich untersucht wurden. Die positiven Ergebnisse der untersuchten Analogien legen den Schluss nahe, dass sich ein Einsatz von Analogien auch in anderen Bereichen verständnisfördernd auf den Lernprozess von Grundschulkindern auswirken kann.

Im Fokus der Lernentwicklungsuntersuchung standen der Aufbau einer Kreisvorstellung als Stromflussvorstellung und der Abbau einer Stromverbrauchsvorstellung. Beides wurde durch den Einsatz von Analogien begünstigt. Allerdings führten die verwendeten Analogien zu unterschiedlichen Ergebnissen im Bereich der kognitiven Konzepte und der Interessensförderung, eine (zeitnahe) Kombination i.S.v. Phänomenkreisen (Spreckelsen) erweist sich

für beide Bereiche in diesem speziellen Fall als wenig sinnvoll. Zu überprüfen wäre, ob sich die Kombination der Modelle als solches hinderlich erweist (im Sinne der Ranschburgschen Hemmung), oder ob nur der zeitnahe Einsatz ausschlaggebend ist. Es wäre mit Blick auf die gewünschte/erhoffte Langzeitwirkung des mechanischen Modells zu überlegen, ob sich aus einem vorgezogenen Lernen am Wassermodell mit einem späteren Lernen des Stromkreises und des mechanischen Modells Synergieeffekte ergeben. Denkbar wären ein Kennenlernen der Wassermodelle im zweiten oder dritten Schuljahr und eine intensive Behandlung des Themas „Stromkreis“ und der mechanischen Modelle im dritten oder vierten Schuljahr.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass Analogien durchaus ein großes Potential haben, Lernprozesse positiv zu beeinflussen. Ein verstärkter Analogieeinsatz würde vor allem auch den leistungsschwachen Schülern zugute kommen: Die leistungsschwächeren Schüler zeigten in der vorliegenden Untersuchung einen stärkeren Lernzuwachs, wenn im Unterricht Modelle verwendet wurden. Allerdings muss die Frage offen bleiben, in wie weit Analogien im Sachunterricht der Grundschule sinnvoll eingesetzt werden. Dies könnte durch eine repräsentative Felduntersuchung geklärt werden. Die eigenen unsystematischen Beobachtungen legen allerdings die Vermutung nahe, dass der Stellenwert, den Analogien im Sachunterricht der Grundschule in der Realität haben, verschwindend gering sein dürfte.

Die Bedeutung dieser Arbeit zu Analogien im Rahmen von Untersuchungen im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts dürfte schwer einzuschätzen sein. An der Universität Regensburg entsteht zumindest hieraus eine Folgearbeit im Bereich des physikalischen Lernens im Sachunterricht. Bei der Vermittlung des Konzeptes „linearer Energiefluss bei zirkulär laufendem (Energieträger) Strom“ stießen wir auf die Frage, ob Grundschulkindern bereits ein physikalisch angemessener Energiebegriff zu vermitteln sei. Denn sollte für Kinder das Konzept der „Energieumwandlung“ anstelle des „Energieverbrauchs“ plausibel genug sein, könnte evtl. die Stromverbrauchsvorstellung als „Nebenprodukt“ abgebaut werden. Die beiden hier verwendeten Analogiemodelle lassen sich in dieses Energieumwandlungskonzept einbauen. Die verwendeten Schemazeichnungen bilden dies ja bereits ab. Damit kann den untersuchten Analogien eine Anschlussfähigkeit an ein umfassenderes Energiekonzept ebenso bescheinigt werden, wie eine fachliche Anschlussfähigkeit an das Wissen, das Schüler aber auch Studenten der klassischen Experimentalphysik benötigen. Der Einsatz und die empirische Untersuchung weiterer Analogien (z.B. im Bereich Lösen und Trennen von Stoffen) für andere naturwissenschaftliche Themen der Grundschule wären wünschenswert. Ebenso wünschenswert wären weitere Studien zum fachdidaktischen Einsatz mechanischer Modelle beim Erlernen des Stromkreises. Weitere qualitative Arbeiten könnten interessante Hinweise darauf geben, welche Denkprozesse bei Kindern ablaufen, wenn sie mit Modellen wie den mechanischen Modellen oder verschiedenen Wassermodellen konfrontiert werden. Schließlich besteht die Leistung des Einzelnen auch darin, dass das Wissen um den Prozess des Flusses und das Wissen über den nicht vorhandenen Verbrauch des Stroms, das in der Situation „Modell“ erworben wird, aus dem Kontext gelöst und auf den Primärbereich des Analogielernens (elektrischer Stromkreis) angewendet wird, wie es derzeit beispielsweise in der Kommission Drittmittelforschung der GDSU diskutiert wird. Dabei könnten unter anderem auch Scriptbildung bzw. das Bilden von mentalen Modellen eine Rolle spielen. Vielleicht existiert auch im Bereich Stromkreisverständnis eine Art naturwissenschaftlicher Modellierungsfähigkeit (in Anlehnung an Barwanietz 2005), nach der der Lerner von einem Phänomen auf andere Rückschlüsse ziehen kann, indem er auf geistige Modelle zurückgreift. Im Bereich Stromkreis müsste dann nachgewie-

sen werden, dass Schüler über Analogiebildungen Modelle von Kreisläufen im Kopf haben und diese Kreislaufprozesse auf den Stromkreis übertragen. Eventuell könnte hier mit der Methode des lauten Denkens und mit weiteren Interviewstudien gearbeitet werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Aigner, M. (2003). *Empirische Untersuchung über den Gebrauch von Analogien im Sachunterricht der Primarstufe*. Julius-Maximilians-Universität Würzburg: Schriftliche Hausarbeit.
- Alfermann, D. (1996). *Geschlechterrollen und geschlechtstypisches Verhalten*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Barwanietz, T. (2005). *Die Förderung der Modellierungsfähigkeit im Mathematikunterricht der Grundschule – Der Einfluss alltagsnaher und abstrakt-symbolischer Handlungsorientierung auf die Lernmotivation von Grundschulern*. Von http://www.opus-bayern.de/uni-regensburg/volltexte/2005/608/pdf/diss_gesamt_endfassung_neu.pdf abgerufen
- Bauer, F. & Richter, V. (1986). Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Analogien und Analogie-Schlüssen. *Physik in der Schule, Jg. 24, H. 10*, S. 384-389.
- Bauersfeld, H. (1983). Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens und -lehrens. *Untersuchungen zum Mathematikunterricht, IDM-Reihe*.
- Baumert, J., Bos, W. & Watermann, R. (1998). *TIMSS/III: Schülerleistungen in Mathematik und den Naturwissenschaften am Ende der Sekundarstufe II im internationalen Vergleich. Zusammenfassung deskriptiver Ergebnisse*. Berlin: MPI für Bildungsforschung.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge: MA (MIT Press).
- Deci, E. & Ryan, R. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik, 39*, S. 223-238.
- Deisler, S. (2003). Der Strom macht's! Vorstellungen 9-11Jähriger zum Thema Strom. In *Studium und Forschung Heft 5*. Zentrum für Lehrerbildung der Universität Kassel (Hrsg.), Kassel: University Press.
- Diamond, A., Prevor, M., Callender, G. & Druin, D. (1997). Prefrontal cortex cognitive deficits in children treated early and continuously for PKU. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 62* (4), S. 1-205.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dreistadt, R. (1968). An analysis of the use of analogies and metaphors in science. *The Journal of Psychology, 86*, S. 97-116.
- Dubs, R. (1995). Konstruktivismus. Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. *Zeitschrift für Pädagogik, 41*, S. 449-454.
- Dudeck, W.-G. (1997). *Analyse von Denkprozessen in einem analogieorientierten Elektrizitätslehreunterricht – Fallstudie in einer 10. Gymnasialklasse*. Aachen: Mainz.
- Dudeck, W.-G. & Schwedes, H. (. (1990). Der elektrische Stromkreis als System. In W. Kuhn (Hrsg.), *Beiträge zur Physikdidaktik auf der Frühjahrstagung der DPG*. Gießen.
- Dudeck, W.-G. & Schwedes, H. (. (1992). Die Rolle von Analogien beim Erwerb eines Begriffssystems für elektrische Stromkreise. Fallbeispiele aus einem analogieorientierten Physikunterricht zur Elektrizitätslehre der SEK 1. In GDGP (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Perspektiven und Probleme*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Dudeck, W.-G. & Schwedes, H. (1993). Und sie lernen doch, was Spannung ist! Fallbeispiele aus einem analogieorientierten Physikunterricht der SEK 1. In GDGP (Hrsg.), *Beiträge zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Dudeck, W.-G., Menge, S. & Schwedes, H. (1990). Von Alltagsvorstellungen zu physikalischen Konzepten. Konstruktion von Unterrichtselementen in der Elektrizitätslehre. In GDGP (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Duit, R. (1995a). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik, 41*, S. 889-903.
- Duit, R. (1992). Analogien und Lernen naturwissenschaftlicher Begriffe und Prinzipien. In GDGP (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.

- Duit, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero, *New Perspectives on Conceptual Change (Advances in Learning and Instruction Series)*. London.
- Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. (R. Duit & C. v. Rhöneck, Hrsg.) *Lernen in den Naturwissenschaften*, S. 145-162.
- Duit, R. (1988). *On the Roles of Analogies, Similes and Metaphors in Learning Science*. Kiel: Paper IPN.
- Duit, R. (1995b). Schülervorstellungen von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik 4*, 16.
- Duit, R. (1981). Übersicht über einige allgemeine Probleme der Erfassung von Vorstellungen. In R. Duit, W. Jung & H. Pfundt (Hrsg.), *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Köln.
- Duit, R. & Glynn, S. (1995). Analogien – Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 6 (27), S. 4-10.
- Duit, R. & Glynn, S. (1992). Analogien und Metaphern, Brücken zum Verständnis im schülergerechten Physikunterricht. In P. Häußler (Hrsg.), *Physikunterricht und Menschenbildung* (S. 223-250). Kiel.
- Duit, R. & v. Rhöneck, C. (Hrsg.). (1996). *Lernen in den Naturwissenschaften*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (1992). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991*. Kiel: IPN.
- Duit, R., Jung, W. & v. Rhöneck, C. (1985). *Aspects of Understanding Electricity. Proceedings of an International workshop*. Kiel.
- Fischer, H. E. (1989). *Lernprozesse im Physikunterricht*. Dissertation an der Universität Bremen, Fachbereich 1.
- Fölling-Albers, M. (1995). Interessen von Grundschulkindern. Ein Überblick über Schwerpunkte und Auslöser. *Grundschule*, 27 (6), S. 8-9.
- Fölling-Albers, M., Haider, M. & Haider, T. (in Druck). Wie rekonstruieren Grundschüler/innen ihren Unterricht? *Unterrichtswissenschaft*.
- Fölling-Albers, M., Haider, M., Haider, T. & Meidenbauer, K. (2007). Wie rekonstruieren Grundschüler/innen den Unterricht? *Grundschule Aktuell – VERA und die Unterrichtskultur – Kinder Vermessen?*, 99.
- Franz, U. (2006). *Die Bedeutung von Lehrer- und Unterrichtsvariablen für den Wissenserwerb und die Interessenförderung im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts*. Diss. Universität Erlangen Nürnberg.
- Gage, N. L. & Berliner, D. C. (1986, 4.Auflage). *Pädagogische Psychologie*. Weinheim und Basel: Psychologie Verlags Union Beltz.
- Gentner, D. (1988). Analogical inference and analogical access. In A. Prieditis, *Analogica* (S. 63-88). Los Altos.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D. (1980). *The structure of analogical models in science*. Cambridge: Mass.
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters and teaming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 99-129). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), S. 867-888.
- Gerthsen, C. & Vogel, H. (1999, 20. Auflage). *Gerthsen Physik*. Berlin-Heidelberg : Springer.
- Gick, M. & Holyoak, K. (1983). Schema induction and analogical transfer. In *Cognitive psychology*, 15 (S. 1-38).
- Glynn, S. (1989). The teaching with analogies model. In K. Muth (Hrsg.), *Children's comprehension of text* (S. 185-204). Newark: International Reading Association.
- Glynn, S., Britton, B., Semrud-Clikeman, M. & Muth, D. (1987). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In J. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Hrsg.), *A handbook of creativity. Assessment research and theory* (S. 383-398). New York: Plenum.
- Göbel, R. B. (1976). Der Analogieschluss. *Physik in der Schule*, 14 (3).

- Grygier, P., Günther, J. & Kircher, E. (2004). *Über Naturwissenschaften lernen – Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Haider, M. (2003). *Strategiespiele im Mathematikunterricht der Primarstufe. Unveröffentlichte Examensarbeit an der Universität Regensburg*.
- Haider, M. (2007a). Der Stellenwert von Analogien für den Aufbau naturwissenschaftlicher Konzepte im Sachunterricht am Beispiel „elektrischer Stromkreis“. In D. Höttecke, *Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP)* (Bd. 27, S. 283-285). Berlin: Lit-Verlag Dr. W. Hopf.
- Haider, M. (2005). Naturwissenschaftlicher Kompetenzerwerb. Neuere Konzepte. *Sache, Wort, Zahl*, 33 (74), S. 50-54.
- Haider, M. (2009). Themenheft „Elektrischer Strom“. In *Praxis Grundschule 4/2009*. Westermann.
- Haider, M. (2007b). Verbesserung der Unterrichtsqualität im physikalischen Bereich des Sachunterrichts durch den Einsatz von Modellen. In K. Möller, P. Hanke, C. Beinbrech, A. K. Hein, T. Kleickmann & R. Schages (Hrsg.), *Qualität von Grundschulunterricht entwickeln, erfassen und bewerten*. Bonn: Verlag für Sozialwissenschaften (= Jahrbuch Grundschulforschung Bd. 11).
- Haider, T. (2004). *Chemieexperimente in der Grundschule. Unveröffentlichte Examensarbeit an der Universität Regensburg*.
- Härtel, H. (1985). The electric voltage. In R. Duit, W. Jung & C. v. Rhöneck, *Aspects of Understanding Electricity. Proceedings of an International workshop*. (S. 353-373). Kiel.
- Hartinger, A. (1997). *Interessenförderung. Eine Studie zum Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hartinger, A. (2007). Interesse entwickeln. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch des Sachunterrichts* (S. 118-122). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hartinger, A. & Fölling-Albers, M. (2002). *Schüler motivieren und interessieren. Ergebnisse aus der Forschung, Anregungen für die Praxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hartinger, A. & Roßberger, E. (2001). *Interessen von Mädchen und Jungen im Sachunterricht der Grundschule. Eine Studie zu den Themen Haustiere und Strom*. Regensburg: Regensburger Beiträge zur Lehr-Lern-Forschung. Bd. 9.
- Hartinger, A., Graumann, O. & Grittner, F. (2004). „Grundschul-Numerus Clausus“ oder Orientierungsstufe? Auswirkungen verschiedener Übertrittsbedingungen auf Motivationsstile und Leistungsängstlichkeit von Grundschulkindern. *Empirische Pädagogik*, 18.
- Hasselhorn, M. & Mähler, C. (1998). Wissen, das auf Wissen baut: Entwicklungspsychologische Erkenntnisse zum Wissenserwerb und zum Erschließen von Wirklichkeit im Grundschulalter. In J. Kahlert (Hrsg.), *Wissenserwerb in der Grundschule. Perspektiven erfahren, vergleichen, gestalten*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Häußler, P. (1987). Measuring students interest in physics design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education*, 9, S. 79-92.
- Häußler, P. (1998). *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel: IPN.
- Heran-Dörr, E. & Kahlert, J. (2007). „Eigentlich kann ich mir das doch nicht erklären ...“ – Die Interpretation einfacher naturwissenschaftlicher Versuche als forschungs-orientierte Lehrmethode in der Ausbildung von Sachunterrichtsstudierenden. In R. Lauterbach, A. Hartinger, B. Feige & D. Cech (Hrsg.), *Kompetenzerwerb im Sachunterricht fördern und erfassen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hesse, F. W. (1991). *Analoges Problemlösen: eine Analyse kognitiver Prozesse beim analogen Problemlösen*. Weinheim: Psychologie-Verlags Union.
- Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. Notre Dame: The University of Notre Dame Press.
- Hoffmann, L. (1990). Mädchen und Physik – ein aktuelles drängendes Thema. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 1, S. 4-11.
- Hoffmann, L. & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, S. 189-204.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN Interessenstudie Physik*. Kiel: IPN.
- Holyoak, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. (G. Brower, Hrsg.) *The psychological of learning and motivation*, 19, S. 59-87.

- Holyoak, K. J. & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogy transfer. *Memory and Cognition*, 15 (4), S. 332-240.
- Holyoak, K. J. & Thagard, D. (1989). A computational model of analogical problem solving. In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Höttecke, D. (2007). Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. In *Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDPCP)* (Bd. 27). Berlin: Lit-Verlag Dr. W. Hopf.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht*; 13.
- Jung, W. (1989). Und er bewegt sich doch – oder doch nicht? In P. Kriesel & M. Lichtfeld (Hrsg.), *Physikunterricht im Spannungsfeld zwischen Natur- und Erziehungswissenschaften*. (S. 50-56). Berlin: Zentralinstitut für Fachdidaktiken der Freien Universität Berlin.
- Kahlert, J., Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., von Reeken, D. & Wittkowske, S. (Hrsg.). (2007). *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Keuneke, S. (2000). *Geschlechterswerb und Medienrezeption. Zur Rolle von Bilderbüchern im Prozeß der frühen Geschlechtersozialisation*. Opladen: Leske u. Budrich.
- Kircher, E. (2000). *Physikdidaktik*. Braunschweig: Vieweg.
- Kircher, E. (1989). Analogien im Physikunterricht. In W. Schneider (Hrsg.), *Wege in der Physikdidaktik*. Erlangen: Palm und Enke.
- Kircher, E. (1995a). Analogien im Sachunterricht der Primarstufe. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23 (5).
- Kircher, E. (1985). Analogies for the electric circuits? In R. Duit, W. Jung & C. v. Rhöneck (Hrsg.), *Aspects of Understanding Electricity* (S. 299-311). Kiel: IPN.
- Kircher, E. (1984). Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. *Der Physikunterricht*, 2 (84).
- Kircher, E. (2007). Physikalische Aspekte. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 129-135). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kircher, E. (1995b). *Studien zur Physikdidaktik. Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Kiel: IPN.
- Kircher, E. & Duit, R. (1975). Modelle des elektrischen Stromkreises in der Sekundarstufe 1. Das Wassermodell und das Elektronenmodell. *Physikunterricht*, 9, (4), S. 17-42.
- Kircher, E. & Schneider, W. B. (Hrsg.). (2003). *Physikdidaktik in der Praxis*. Berlin: Springer .
- Kircher, E. & Werner, H. (1994). Anthropomorphe Modelle im Sachunterricht der Grundschule am Beispiel „Elektrischer Stromkreis“. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 22 (4).
- Klinger, W. (1987). Die Rolle der Analogiebildung bei der Deutung physikalischer Phänomene. In W. Kuhn (Hrsg.), *Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung in Berlin 1987* (S. 326-333). Gießen: DPG-Fachausschuss Didaktik der Physik.
- Köster, H. (2006). Freies Explorieren und Experimentieren – eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht. In *Studien zum Physik- und Chemielernen Bd. 55*. Berlin: Logos.
- Krapp, A. (2005). Die Bedeutung von Interesse für den Grundschulunterricht. *Grundschulunterricht*, 52 (10), S. 4-8.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 44, S. 185-201.
- Krapp, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45 (3), S. 387-406.
- Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung*. (S. 297-329). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.). (1992). *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*. Münster: Aschendorff.
- Kubli, F. (1987). *Interesse und Verstehen in Physik und Chemie*. Köln: Aulis.
- Kümmel, W. F. (1989). Analogien in den Wissenschaften. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, 12, S. 1-6.

- Landwehr, B. Lernvoraussetzungen für das Verstehen von naturwissenschaftlichem Sachunterricht. In A. Kaiser & D. Pech, *Basiswissen Sachunterricht. Lernvoraussetzungen und Lernen im Sachunterricht* (Bd. 4).
- Larkin, J. H. (1985). Understanding, problem representation, and skill in physics. In S. Chipman, J. Segal & R. Glaser (Hrsg.), *Thinking and Learning Skills: Research on open questions (Vol.2)*. Hillsdale: NJ Erlbaum.
- Lewandowska, D. (1993). *Untersuchung zu Lernschwierigkeiten bei der Behandlung elektrischer Stromkreise*. Dissertation an der TU Chemnitz-Zwickau.
- Maichle, U. (1980). *Die Bedeutung von Schülervorstellungen für den Elektrizitätslehreunterricht in der Sekundarstufe I*. Vortrag DPG-Tagung, Gießen.
- Maichle, U. (1982). Schülervorstellungen zu Stromstärke und Spannung. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 30 (11), S. 383-387.
- Mandl, H. & Reimann-Rothmeier, G. (1995). *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*. München: Institut für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik der Universität München (Hrsg.).
- Mandl, H., Felix, H. & Hron, A. (1986). Psychologie des Wissenserwerbs. In B. Weidenmann & A. Krapp, *Pädagogische Psychologie* (S. 143-218). München: Urban und Schwarzenberg.
- Martschinke, S. & Hartinger, A. (2007). Öffnung von Unterricht. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 421-426). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Martschinke, S. & Kopp, B. (2007). Heterogene Lernvoraussetzungen. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 367-371). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Max, C. (1997). Verstehen heißt verändern. In R. Meier, H. Unglaube & G. Faust-Siehl, *Sachunterricht in der Grundschule* (Bd. AK GS 101). Weinheim: Beltz.
- Menge, S. (1996). *Rekonstruktion und Interpretation von individuellen Lernprozessen unter dem Gesichtspunkt des Transfers bei einzelnen Schülern der Sekundarstufe I im Unterricht zur Elektrizitätslehre*. Universität Bremen: Unveröffentlichtes Manuskript.
- Menge, S., Schwedes, H. & Dudeck, W.-G. (1990). Fallbeispiele von Schülern in der Auseinandersetzung mit Alltagsvorstellungen im Unterricht zur Elektrizitätslehre. In *GDCP (Hrsg.) Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Möller, K. (1997). „Geht dir ein Licht auf?“ Entdeckendes Lernen am Beispiel „Elektrischer Strom“. *Die Grundschulzeitschrift*, 11 (108), S. 12-16.
- Möller, K. (2007a). Genetisches Lernen und Conceptual Change. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. (S. 258-265). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (2007b). Handlungsorientierung im Sachunterricht. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 411-415). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In W. Köhnlein, *Vielperspektives Denken im Sachunterricht* (S. 125-191). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (2001b). Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In H. Rossbach, K. Nölle & K. Czerwenka (Hrsg.), *Forschungen zu Lehr- und Lernkonzepten für die Grundschule* (S. 16-32). Opladen: Leske + Budrich.
- Möller, K. (2001a). Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften – Zielsetzungen und Forschungsergebnisse. In W. Köhnlein & H. Schreier (Hrsg.), *Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen* (S. 275-298). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K., Hardy, I., Jonen, A. & Kleickmann, T. (2006). Naturwissenschaften in der Primarstufe – Zur Förderung konzeptuellen Verständnisses durch Unterricht und zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms BiQua* (S. 161-193). Münster: Waxmann.

- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. *Zeitschrift für Pädagogik* 45 (Beiheft 2002), S. 176-191.
- Möller, K., Tenberge, C. & Ziemann, U. (1996). *Technische Bildung im Sachunterricht. Eine quantitative Studie zur Situation an nordrhein-westfälischen Grundschulen*. Münster: Selbstverlag.
- Montada, L. & Oerter, R. (Hrsg.). (1993). *Entwicklungspsychologie*. Heidelberg: Beltz.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer Zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.
- Muckenfuß, H. (2004). *DynaMot. Lehrerhandreichung zum handgetriebenen Generator als Energiequelle für Schüler- und Lehrerversuche*. Berlin: Cornelsen Experimenta.
- Muckenfuß, H. (1980). Wie können Schüler die Grundbegriffe und Gesetze der Elektrizitätslehren „verstehen“? *Der Physikunterricht*, 14 (4).
- Niedderer, H. (1987a). A teaching strategy based on students' alternative frameworks – theoretical conceptions and examples. In *Proceedings of the Second International Seminar. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics 2* (S. 360-367). Cornell University.
- Niedderer, H. (1987). Schülerverständnis und historisch-genetisches Lernen mit Beispielen aus dem Physikunterricht. In *GDCP (Hrsg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach/Bergstraße.: Leuchtturm.
- Oppenheimer, R. (1956). Analogy in Science. *American Psychologist*, 11, S. 127-135.
- Palmer, S. (1989). Levels of description in information-processing theories of analogy. In S. Vosniadou & A. Ortony, *Similarity and Analogical Reasoning* (S. 332-345). New York: Cambridge University Press.
- Pfundt, H. & Duit, R. (1994). *Bibliographie. Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Kiel: IPN-Kurzberichte.
- Piaget, J. (1972). *Die Entwicklung des Erkennens (Bd. 1. Das mathematische Denken)*. Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1973). *Die Entwicklung des Erkennens (Bd. 2. Das physikalische Denken)*. Stuttgart: Klett.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, S. 211-227.
- Prenzel, M. (1997). Selbstbestimmt motiviertes und interessiertes Lernen bei angehenden Bürokauffleuten: Eine Längsschnittstudie. In H. Krüger & J. Olbertz, *Bildung zwischen Staat und Markt* (S. 47-50). Opladen: Leske & Budrich.
- Prenzel, M. (1997). Sechs Möglichkeiten, Lernende zu demotivieren. In H. Gruber & A. Renkl (Hrsg.), *Wege zum Können. Determinanten des Kompetenzerwerbs* (S. 32-44). Bern: Huber.
- Prenzel, M. & Doll, J. (Hrsg.). (2002). *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft November 2002. Weinheim und Basel: Beltz.
- Prenzel, M. & Lankes, E.-M. (1995). Anregungen aus der pädagogischen Interessenforschung. *Grundschule*, 6, S. 12-13.
- Prüm, R. (1989). *Rekonstruktion von Lernprozessen einzelner Schüler in der Orientierungsstufe zu Themen der Elektrizitätslehre*. Dissertation an der Universität Bremen, Fachbereich 1.
- Reisinger, J. (2000). *Skript: Didaktik der Physik I*. Universität Regensburg Wintersemester.
- Rhöneck, C. v. (1980). *Schüleräußerungen zum Begriff der elektrischen Spannung beim Erklären realer Experimente*. Ludwigsburg: Vortrag GDCP-Tagung.
- Rhöneck, C. v. (1988). Wege zum Spannungsbegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 36 (1).
- Rhöneck, C. v. & Grob, K. (1989). Schülervorstellungen im Zusammenhang mit dem elektrischen Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 37 (10).
- Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1981). Analogical Processes in Learning. In J. R. Anderson (Hrsg.), *Cognitive Skills and their acquisition* (S. 335-359). Hillsdale: Erlbaum.
- Rumelhart, D. (1989). The architecture of mind: A connectionist approach. In M. Posner (Hrsg.), *Foundations of Cognitive Science*. MIT Press.
- Schiefele, U. (1996). Topic interest, text representation, and quality of experience. *Contemporary Educational Psychology*, 21, S. 3-18.
- Schiefele, U. & Wild, K. P. (Hrsg.). (2000). *Interesse und Lernmotivation*. Münster: Waxmann.

- Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25, S. 120-148.
- Schnotz, W. (2001). Conceptual Change. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 75-81). Weinheim: PVU.
- Schnotz, W., Vosniadou, S. & Carretero, M. (Hrsg.). (1999). *New Perspectives on Conceptual Change (Advances in Learning and Instruction Series)*. London: Pergamon.
- Schwedes, H. (1985). The importance of water circuits in teaching electric circuits. In R. Duit, W. Jung & C. v. Rhöneck (Hrsg.), *Aspects of understanding electricity* (S. 319-330). Kiel: IPN.
- Schwedes, H. (1992a). Ziele und Perspektiven einer Lernprozeßforschung unter konstruktivistischem Paradigma. In K. Wiebel (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Schwedes, H. & Dudeck, W.-G. (1993). Lernen mit der Wasseranalogie. Eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 4 (16).
- Schwedes, H. & Schilling, P. (1984). Wasser und Strom. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie*, 32 (8).
- Schwedes, H. & Schmidt, D. (1992b). Conceptual change: A case study and theoretical comments. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop*. Kiel: IPN.
- Seibel, C., Schwedes, H. & Dudeck, W.-G. (1993). Der Einfluß unterschiedlicher Wasserkreismodelle auf die Konzeptualisierung von Wasserstromkreisen. In *GDCP, Kiel (Hrsg.) Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm.
- Sodian, B. (1995). Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch* (S. 622-655). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Spreckelsen, K. (2007a). Anschlussfähiges Wissen und Können grundlegen. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 123-129). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Spreckelsen, K. (1992). Die Bedeutung des Analogischen für das physikalische Verstehen im Grundschulalter. *Physik in der Schule*, 30 (7-8), S. 256-258.
- Spreckelsen, K. (2007b). Modelle. In *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 491-494). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Spreckelsen, K. (1997). Wie Grundschulkinder physikalische Phänomene verstehen. *Grundschule*, 29 (10), S. 18-19.
- Stern, E., Hardy, I. & Körber, S. (2000). Die Nutzung graphisch – visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht. In K. Spreckelsen, A. Hartinger & K. Möller, *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stern, E., Möller, K., Hardy, I. & Jonen, A. (2002). Warum schwimmt ein Baumstamm. *Zeitschrift Physik Journal I* (3).
- Sternberg, R. J. (1977). *Intelligence, information processing, and analogical reasoning: The componential analysis of human abilities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stöcker, H. (2004). *Taschenbuch der Physik*. Frankfurt am Main: Harry Deutsch.
- Storck, E. & Wiesner, H. (1981). Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre und Sachunterricht. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 9. Jahrgang, S. 218-230.
- Strike, K. & Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. West & A. Pines, *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press: New York.
- Treagust, D. F., Duit, R., Joslin, P. & Lindauer, I. (1990). *Science teachers use of analogies: observations from classroom practise and explanations from a constructivistic perspective. Paper represented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association in Boston*.
- Vosniadou, S. & Ortony, A. (Hrsg.). (1989). *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Wagenschein, M. (1965). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig: Westermann.
- Wagenschein, M., Banholzer, A. & Thiel, S. (1973). *Kinder auf dem Weg zur Physik*. Stuttgart: Klett.

- Weber, G. (1994). *Fallbasiertes Lernen und Analogien. Unterstützung von Problemlöse- und Lernprozessen in einem adaptiven Lernsystem*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Weidenmann, B., Krapp, A., Hofer, M., Huber, G. & Mandl, H. (Hrsg.). (1986). *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. München: Urban und Schwarzenberg.
- Weil-Barais, A. (Hrsg.). (1994). *Les approches comparatives en psychologie du développement*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Wellenreuther, M. (2000). *Quantitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft. Eine Einführung (Grundlagentexte Pädagogik)*. Weinheim u.a.: Juventa.
- Wertheimer, M. (1959). On discrimination experiments. (L. Wertheimer, Hrsg.) *Psychological Review*, 66, S. 252-266.
- Wiesner, H. (1994). Elektrizitätslehre im Sachunterricht. *Grundschulunterricht*, 41 (3), S. 15-19.
- Wiesner, H. (1995). Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23 (2).
- Willer, J. (2003). *Didaktik des Physikunterrichts*. Frankfurt am Main: Deutsch.
- Wodzinski, R. (2002). Mädchen im Physikunterricht. In E. Kircher & W. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 27-46). Heidelberg: Springer.
- Ziegler, A., Dresel, M., Broome, P. & Heller, K. (1997). Geschlechtsunterschiede im Fach Physik: Das Janusgesicht physikalischen Vorwissens. *Physik in der Schule*, 35, S. 252-256.
- Zielinski, W. (1980). *Lernschwierigkeiten: Verursachungsbedingungen, Diagnose, Behandlungsansätze*. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer.

Das Anstellen von Vergleichen, das Ziehen von Analogieschlüssen und Analogiebildung spielen im menschlichen Leben und speziell in den Naturwissenschaften immer wieder eine wichtige Rolle. Die vorliegende Interventionsstudie versucht am Beispiel des elektrischen Stromkreises aufzuzeigen, welche Bedeutung Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse im Sachunterricht der Grundschule haben können. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie sich verschiedene Interventionen einerseits auf das Verständnis, andererseits auf das Interesse der Grundschul Kinder am Thema „Elektrischer Strom“ auswirken. Die Interventionsprogramme unterschieden sich dabei in der Art der eingesetzten analogen Modelle: Wassermodule, mechanische Modelle, sowie die Kombination aus beiden Modellen wurden im Hinblick auf Lernzuwachs sowie die Entwicklung des Interesses untersucht, die Ergebnisse mit einer ohne Analogie arbeitenden Kontrollgruppe verglichen. Die beiden Modellarten wirken unterschiedlich hinsichtlich der Steigerung von Lernerfolg, Zeitpunkt des Lernerfolgs und Interesse. Synergieeffekte der beiden Modelle ließen sich nicht feststellen.

Die am Lehrstuhl für Grundschulpädagogik und -didaktik bei Prof. Dr. Maria Fölling-Albers entstandene Dissertation wurde von der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) 2009 mit dem Faradaypreis ausgezeichnet.

Dr. Michael Haider studierte Lehramt für Grundschulen mit Unterrichtsfach Physik an der Universität Regensburg und schloss 2009 das Referendariat mit dem zweiten Staatsexamen ab. Zurzeit ist Michael Haider Akademischer Rat im Modellstudiengang Naturwissenschaft und Technik an der Universität Regensburg.



forschung

978-3-7815-1726-4



9 783781 517264