

Michael Haider

Analogien im Sachunterricht: Analogiemodelle im Elektrizitätslehreunterricht der Grundschule als Fördermöglichkeit physikalischen Lernens?

Das Thema „Strom/Stromkreis“ im Sachunterricht birgt Lernschwierigkeiten. Die Konzepte der Kinder darüber, was Strom „ist“ und wie Strom in einem geschlossenen Stromkreis fließt, unterscheiden sich deutlich vom physikalisch anschlussfähigen Konzept. Im Rahmen einer empirischen Untersuchung mit Pre- und Posttest-Design sowie einem Follow Up-Test wurde untersucht, inwiefern (verschiedene) Analogiemodelle geeignet sind, anschlussfähiges Wissen aufzubauen. Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Analogiemodellen die Lernprozesse begünstigt.

Schlüsselwörter: Analogiemodelle, Stromkreis, Sachunterricht, Kreiskonzept, anschlussfähiges Wissen

“Current/electric” circuit as subject of natural scientific education in primary school implies difficulties. The concepts of children, what current constitutes and what flow in an electric circuit means, differ distinct from physical concepts. Analogical models have been analysed within an experimental research with pre- and posttest and a follow up, in what way they are qualified for establishing stable concepts. It could be shown, that the assignment of analogical models benefits the learning process.

Keywords: analogical models, electric circuit, natural scientific education, circle concept, stable physical knowledge

1. Analogiebildung im naturwissenschaftlichen Lernprozess

Vergleiche anstellen, Analogien bilden und Analogieschlüsse ziehen spielen im Alltag eine wichtige Rolle. Speziell in der Physik gelingt es häufig, sich mit Hilfe von Analogiebildungen wichtige Dinge vorzustellen.

In der Elektrizitätslehre im Sachunterricht der Grundschule ergeben sich häufig Lernschwierigkeiten, die sich auch über die Sekundarstufe hinaus erstrecken. Grund hierfür kann u.a. sein, dass der Lerngegenstand abstrakt ist, dass Objekte des Mikrokosmos (z.B. Elektronen) nicht sichtbar sind und es in vielen Bereichen keine realen Anschauungsobjekte gibt: Kein Mensch hat je ein Elektron gesehen, niemand kann sich in elektrische Leitungen setzen und etwas strömen sehen. Warum sich geriebene Luftballone anziehen, ist ebenso „uneinsichtig“ (da nicht direkt beobachtbar) wie das Leuchten einer Lampe. Schüler/innen kommen auch nicht als tabula rasa in den Unterricht. Bei den meisten

Schülern/innen in der Primarstufe – aber nicht nur dort – ist beim Stromkreis eine „Einwegzuführungsvorstellung“ bzw. eine „Zweiwegzuführungsvorstellung“ feststellbar (vgl. Wiesner 1995). Mit beiden Vorstellungen geht eine „Stromverbrauchsvorstellung“ einher. Dass der Strom im (Gleich-)Stromkreis im Kreis fließen soll, erscheint Schülern/innen unplausibel – wohl auch deshalb, weil sich 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 der Strom zum Lämpchen und werde dort verbraucht. Dieses Konzept wird relativ leicht zugunsten der Zweiwegzuführung aufgegeben, wenn beim Erproben erkannt wird, dass das Lämpchen nur leuchtet, wenn zwei Drähte an der Batterie und am Lämpchen angeschlossen sind.

Bei der „Zweiwegzuführungsvorstellung“ ist den Schülern 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, 1995; Stork & Wiesner 1981; Wiesner 1995).

Hintergrund dieser Zuführungstheorien scheint auch zu sein, dass Strom als etwas Substanzartiges aufgefasst wird, nicht als Prozess. Schüler/innen kennen das Problem, wenn „der Nachschub“ fehlt und sie übertragen dies auf die Situation Lämpchen. Wenn die Substanz „Strom“ fehlt, die ihrer Meinung nach zu Licht verwandelt wird, dann kann diese Verwandlung nicht stattfinden. Da die Bewegung der Elektronen nicht durch Beobachtungen überprüft werden kann, ist der elektrische Stromkreis schwierig zu verstehen.

Analogien werden als Lernhilfen für solche thematischen Bereiche eingesetzt. Für die Schüler/innen geht es darum, tragfähige wissenschaftliche Konzepte aufzubauen oder bestehende Konzepte (Schülervorstellungen) zu wechseln. Duit und Glynn (1995) gehen davon aus, dass Analogien hilfreiche „Brücken“ sein können, die den Aufbau angemessener Konzepte unterstützen. Auch Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou und Papademetriou (2001, 393f.) ermittelten, dass mit Hilfe von Modellen Konzeptwechsel besser gelingen als ohne. Modelle können dazu beitragen, physikalische Aspekte zu veranschaulichen. Die visuelle Qualität der Modelle hilft entscheidend, um die Erklärungen verständlicher zu machen.

Dass bereits bei Grundschulkindern (hier drittes Schuljahr) erfolgreich anspruchsvolle Konzeptwechsel möglich sind, zeigen die Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Möller zum Thema „Schwimmen und Sinken“ (vgl. Möller 2006).

Analogiemodelle werden im Physikunterricht – insbesondere in der Elektrizitätslehre – häufig eingesetzt, um den oft weniger anschaulichen physikalischen Sachverhalt verständlich zu machen und Konzeptwechselbedingungen zu unterstützen. Während Analogien in der Fachwissenschaft zur Erkenntnisgewinnung genutzt werden, werden sie in der Didaktik zur Erkenntnisvermittlung genutzt. Zweck ist zum einen die Vermittlung

von Inhalten, zum anderen die Vorstellungshilfe, die Analogien bei unanschaulichen Inhalten – weil diese zu groß, zu klein, zu schnell, zu langsam, etc. sind – bieten. Analogien können somit Medium, aber auch Lerngegenstand sein. In der Fachdidaktik bekommen Analogien hauptsächlich als Medium eine „Brückenfunktion“ (Duit & Glynn 1995, 4; vgl. auch Duit & Glynn 1992) zugeschrieben: Schüler/innen greifen auf ihr Wissen in einem sekundären Bereich zurück, um im primären Lernbereich bzw. auf den primären Lernbereich Analogieschlüsse zu ziehen (vgl. u.a. Gentner 1988; Kircher 1995; Spreckelsen 1997; Duit & Glynn 1995; Hesse 1991). Dieser Ansatz entspricht der Forderung Weinerts (2000), intelligentes Wissen aufzubauen, Wissen zu vernetzen. Auch in der internationalen Lehr-Lernforschung wird ein günstiger Erfolg durch den Einsatz von Analogiemodellen im naturwissenschaftlichen Unterricht bestätigt. Nach Vosniadou u.a. (2001) und Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982, 214ff.) unterstützen Analogiemodelle Konzeptwechsel. Caravita (2001) betont die komplementäre Funktion von kognitiven Konflikten und analogem Denken beim Wissensaufbau. Kurtz, Miao und Gentner (2001) ermittelten, dass Analogien dazu beitragen können, ein vertieftes Verständnis über komplexe Sachverhalte zu erlangen.

Analogien sind nicht per se lernförderlich. Daher müssen sie bestimmten Voraussetzungen genügen, um in Lernprozessen unterstützend wirken zu können. So darf nicht vergessen werden, dass Analogien immer einen Lernumweg darstellen, sie sind „Krücken auf dem Lernweg“ (Kircher 1989, 48; Kircher 1995, 195). Daher sollte beim Einsatz von Analogiemodellen die Lernökonomie nicht aus den Augen verloren werden. Dieser Aspekt wird beim Wechsel zwischen verschiedenen Ebenen (siehe Abb. 2) aufgegriffen. Durch den Einsatz verschiedener Modelle und den jeweiligen Wechseln zwischen der konkreten Ebene und der Modell-Ebene wird neben den Analogiemodellen immer auch direkt am primären Lerngegenstand gearbeitet. Wichtig ist dabei, auch die Grenzen der verwendeten Analogie zu thematisieren.

Beim Einsatz von Analogien ist allerdings auch zu bedenken, dass in ungünstigen Fällen Lernprobleme gerade durch ihren Einsatz verursacht werden können. So könnten Vereinfachungen, die Analogiemodellen zugrunde liegen, spätere Lernaktivitäten hemmen oder behindern, wenn der gewählte Analogiebereich so ungünstig gewählt ist, dass dadurch Entwicklungsmöglichkeiten eingeschränkt oder gar verhindert werden.

Ein möglicher Weg dies zu umgehen, ist der Einsatz verschiedener Analogiemodelle. Duit und Glynn (1995) bezeichnen dies als multiple Analogien, Spreckelsen (1997) als Phänomenkreise mit dem Grundgedanken des transduktiven Verstehens. Durch einen Wechsel zwischen Abstraktionsebenen und verschiedenen Modellen soll versucht werden, die Risiken und Grenzen einzelner Analogiemodelle zu minimieren, die Lerneffizienz beim Aufbau intelligenten Wissens jedoch zu maximieren.

In der fachdidaktischen Literatur wird Analogien eine motivierende Wirkung auf Schüler/innen zugesprochen. Als Grund dafür wird angegeben, dass auf Bekanntes zurückgegriffen werden kann und sich dadurch überraschende Perspektiven eröffnen (vgl. Duit & Glynn 1995, 48). Vor allem leistungsschwächeren Schülern ermöglicht der Gebrauch von Analogien bei abstrakten Lerninhalten ein schnelles erstes Verständnis von Neuem und wirkt sich so fördernd auf das Selbstvertrauen aus.

2. Forschungsfragen und Design

Schüler/innen haben Alltagsvorstellungen (Präkonzepte) über Strom und den Fluss im elektrischen Stromkreis. Ziel der Untersuchung war es, zu prüfen, ob sie ihre Stromflussvorstellungen zum Stromkreiskonzept hin verändern und unter welchen Lernbedingungen dies am ehesten gelingt. Daneben sollte untersucht werden, inwiefern sich Schüler/innen verschiedener Leistungsgruppen unterscheiden. Die Variation der Intervention bestand in der Variation der Modelle. Es sollte untersucht werden, ob sich ein Unterricht mit Modelleinsatz (Experimentalgruppen) lernförderlicher auswirkt als ein Unterricht, der auf Modelle verzichtet (Kontrollgruppe). Außerdem sollte untersucht werden, ob der Einsatz unterschiedlicher Modelle einen Effekt auf das Stromkreisverständnis ausmacht und ob der Einsatz mehrerer Modelle Synergieeffekte der Modelle nutzen kann. Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine Stichprobe mit Schüler/innen aus insgesamt 16 Klassen untersucht.

Zu drei Messzeitpunkten (direkt vor und nach dem Unterricht und 12 Wochen später) wurden jeweils mittels Fragebogen Daten zu Vorstellungen und Wissen sowie zum Interesse der Schüler/innen am Thema „Stromkreis“ erhoben.¹

Zur Unterstützung der Aussagekraft der Daten und um Denkvorgänge nachvollziehbarer zu machen, wurden mit ausgewählten Kindern leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Beginn der Untersuchung war Mitte des dritten Schuljahres². Die Untersuchung begann mit einer Fragebogenstudie zum Messzeitpunkt 1a und den Begleitinterviews am Messzeitpunkt 1b. Im Anschluss an die erste Erhebung folgte die Intervention. In drei unterschiedlichen Experimentalgruppen wurde Unterricht zum Thema Strom durchgeführt. In der Experimentalgruppe 1 wurde versucht, den Aufbau eines Stromkreiskonzeptes und den Abbau eines Stromverbrauchskonzeptes mit Hilfe von mechanischen Modellen³ und Wassermodellen⁴ zu unterstützen. In den Experimentalgruppen 2 und 3 wurde diese Unterstützungsleistung jeweils nur durch eine Modellart versucht, in der Experimentalgruppe 2 durch mechanische Modelle, in der Experimentalgruppe 3 durch Wassermodelle. Eine Kontrollgruppe erhielt ebenfalls Unterricht zum Thema Strom, allerdings ohne Analogien. Für alle Gruppen wurde für das Thema „Strom“ die Unterrichtszeit auf 10 Unterrichtsstunden festgesetzt.

Die Erhebung der weiteren Daten erfolgte zum einen direkt im Anschluss an den Unterricht (Posttest, Messzeitpunkt 2) sowie 12 Wochen nach dem Unterricht (Follow Up-Untersuchung, Messzeitpunkte 3a und 3b) um auch längerfristige Effekte der Intervention erfassen zu können.

Für die vorliegende Studie wurde eine Stichprobe von 403 Schüler/innen und Schülern (193 Mädchen und 210 Jungen) aus insgesamt 16 dritten Jahrgangsstufen analysiert.

¹ Im Rahmen dieses Artikels bleiben die ebenfalls untersuchten Fragen nach Verbrauchsvorstellungen und Interessenentwicklung unberücksichtigt.

² Das Thema Strom ist im Lehrplan für die Grundschulen in Bayern in der dritten Jahrgangsstufe enthalten.

³ Tischtennisballmodell, Modell mit Handkurbelgeneratoren (nach Muckenfuß), Riemenmodell (vgl. Haider 2008, 65ff.)

⁴ Doppelwassersäulenmodell (nach Schwedes u.a.), Pumpenmodell, Schülerdoppelwassersäule (vgl. Haider 2008, 72ff.)

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

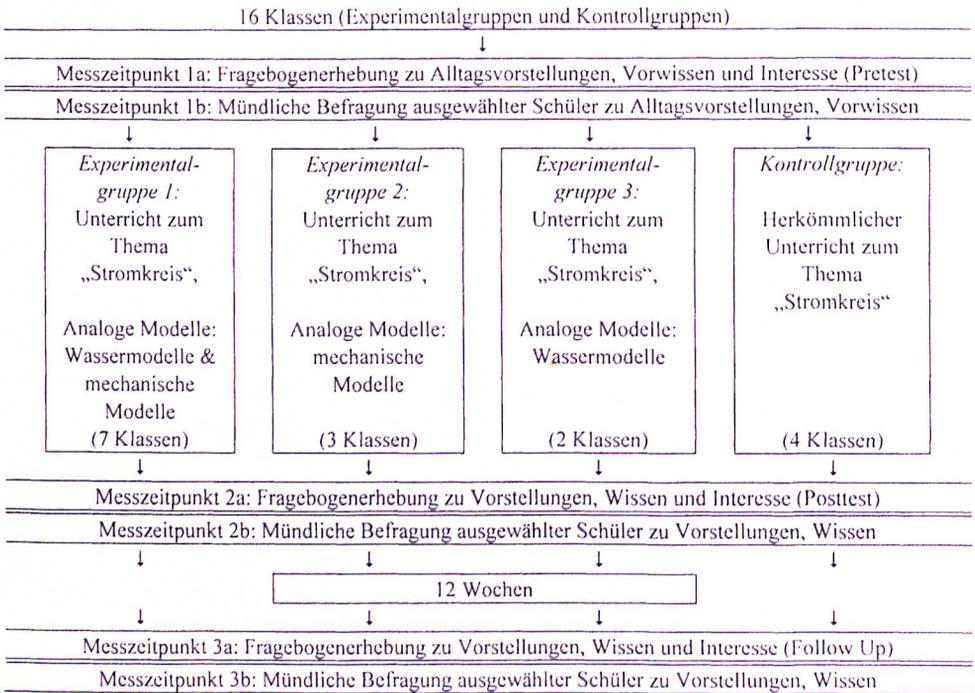


Abb. 1: Design der Untersuchung

3. Darstellung der Ergebnisse

3.1 Entwicklung von der Einwegvorstellung zur Kreisvorstellung

Zur Erfassung der Kreisvorstellung wurden alle Items, die sich physikalisch auf dieses Konzept bezogen, zu einer Skala zusammengefasst. Aus den Werten der Items wurde für jede/n Schüler/in ein Skalenwert berechnet.

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 ist jedoch in den beiden Experimentalgruppen 1 und 2 signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Die Experimentalgruppen 1 und 2 weisen im Posttest Werte von 0,49 bzw. 0,55 auf.

In der Follow Up-Erhebung hat die Experimentalgruppe 2 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 in der Follow Up-Erhebung ebenfalls signifikant. Die 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 (s. Abb. 2).

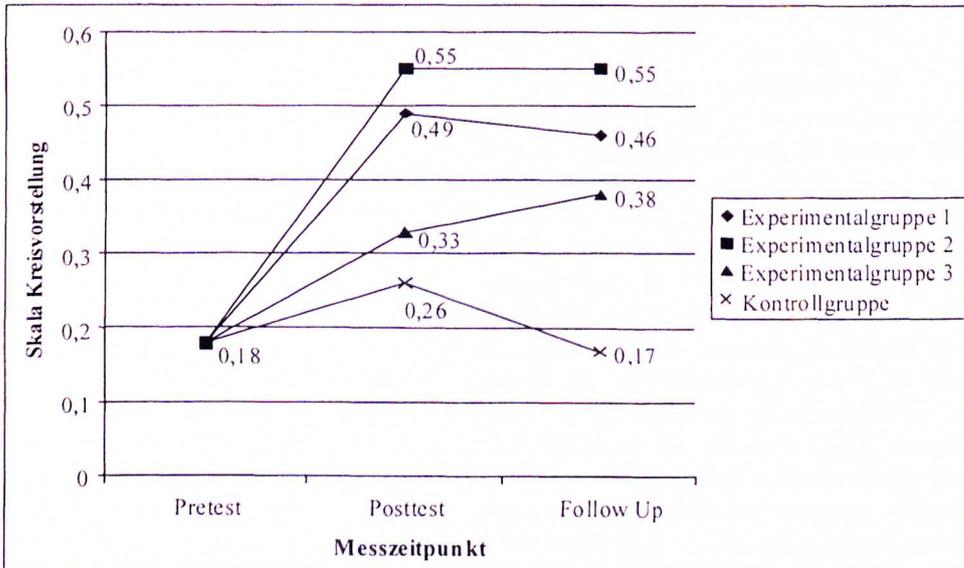


Abb. 2: Skala Kreisvorstellung in den Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe

Als Beispiel, wie Kinder die Stromkreisvorstellung im Interview äußern, sei folgender Ausschnitt aus einem Interview mit Paul (Posttest; Experimentalgruppe 1) dargestellt:

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.

3.2 Vorstellungen von „Strom“ und „Stromfluss“

Vor dem Unterricht findet sich eine Vielzahl an Vorstellungen, was Strom ist. Das Antwortformat im Fragebogen ist im Wesentlichen geschlossen, einige offene Fragen bieten

die Möglichkeit, eigene Vorstellungen einzubringen. Die Schüler/innen nutzen diese Möglichkeit in hohem Maße, ihre Vorstellung frei zu formulieren. Unter Strom stellen sich die Schüler/innen vor: Tröpfchen, dünnen Draht, Männchen, Feuer, Blitze, Kügelchen, Wasser, Dreck, etc. Insgesamt kommen 28 verschiedene Antworten oder Antwortkombinationen vor. 16,3% der Schüler/innen sind noch unentschlossen und geben an, dass sie noch keine Vorstellung von Strom haben.

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/innen bereits vor dem Unterricht mit nein, 15,8% sind unentschlossen, 53,9% vermuten, dass in der Batterie, im Draht oder in beiden Bauteilen Strom fließe.

Die Vielfalt an Antworten auf die Frage „Was ist Strom?“ verschwindet nach dem Unterricht. Es werden hauptsächlich die geschlossenen Antwortformate genutzt. Zu nahezu 60% geben Schüler/innen an, Strom seien winzig kleine Teilchen, die sich bewegen. Weitere 10% verweisen zumindest auf kleine Teilchen. Die Gruppe der Unentschlossenen verkleinert sich im Vergleich zur Voruntersuchung stark. Betrachtet man die Antworten „winzige Teilchen, die sich bewegen“ gruppenweise, so fällt auf, dass sich bei der Experimentalgruppe 2 (die Gruppe mit den mechanischen Analogiemodellen) direkt nach dem Unterricht die Anzahl dieser Antworten verdoppelt. Die beiden Gruppen, die Wassermodelle im Unterricht thematisiert haben, weisen erst in der Follow Up-Erhebung einen Anstieg an richtigen Antworten zur Frage „Was ist Strom?“ auf. Der Rückgang der richtigen Antworten bei der Kontrollgruppe um 50% ist ebenso auffällig.

In den Interviews werden vor dem Unterricht auf die Frage, wie sich die teilnehmenden Schüler/innen 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 wird beschrieben als „kleine Teilchen“ oder als „etwas, was fließt“. Ein Beispiel, das zur Klärung des Verständnisses des Begriffs Strom beiträgt, ist die Frage, was sich Schüler/innen unter dem in Schulbüchern häufig genannten Wort „Stromquelle“ vorstellen. Vor dem Unterricht wird eine Stromquelle verstärkt als eine Art Sammelbehälter gesehen. Typisch hierfür sind Antworten wie folgende: „weil da kommt der Strom raus, ...aus der Batterie kommt der Strom her.“ Die Batterie wird als Quelle des „Materials Strom“ verstanden. Im Folgenden 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.“

a) Ausbildung der Kreisvorstellung bei verschiedenen Schulleistungsgruppen

Untersucht man die Ausbildung des Kreiskonzeptes nach Schulleistungsgruppen, so zeigt sich, dass sich die Leistungsschwachen signifikant von der Gruppe mit mittlerer Leistung und der der Leistungsstarken unterscheiden.

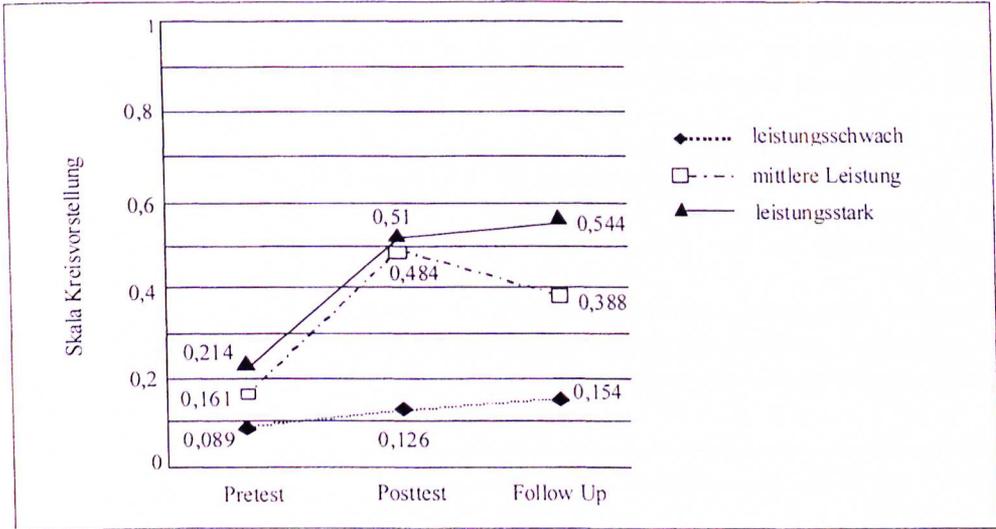


Abb. 3: Skala Kreisvorstellung in verschiedenen Schulleistungsgruppen

Die Werte der oberen beiden Leistungsgruppen (aller Experimentalgruppen im Durchschnitt) steigen im Posttest von 0,21 auf 0,51 (leistungsstarke Schüler) bzw. von 0,16 auf 0,48 (Schüler/innen mit mittlerer Schulleistung). In der Follow Up-Erhebung weisen die leistungsstarken Schüler/innen 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. 3).

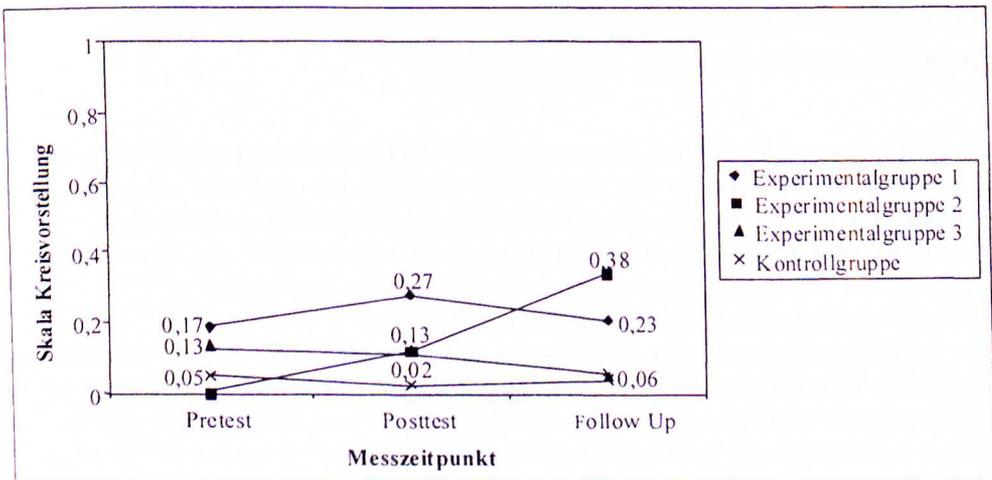


Abb. 4: Skala Kreisvorstellung bei den leistungsschwachen Schülern

Betrachtet man nur die leistungsschwachen Schüler, so fällt auf, dass sie sich insgesamt sehr schwer tun, ein Stromkreisconcept aufzubauen. Bei den leistungsschwachen Schülern ergeben sich signifikante Abhängigkeiten der Kurvenverläufe von den Interventionsgruppen ($p_{\text{Messzeitpunkt} \cdot \text{Gruppe}} = 0,042$). In der Experimentalgruppe 2 gelingt der Aufbau des Stromkreisconceptes am ehesten. Hier haben die leistungsschwachen Schüler/innen im Pretest keine Stromkreisvorstellung. Die Experimentalgruppe 1 erreicht ebenfalls einen leichten Anstieg. Die Experimentalgruppe 3 baut bis zum Posttest keine Stromkreisvorstellung auf. Der Wert der Kontrollgruppe nimmt vom Pretest zum Posttest sogar ab.

Post Hoc-Tests (Scheffé, Bonferroni) zeigen, dass sich in der mittleren Leistungsgruppe ausschließlich die Werte der beiden Experimentalgruppen 1 und 2 signifikant von den Werten der Kontrollgruppe unterscheiden ($p_{\text{EG1-KG}} = 0,004$; $p_{\text{EG2-KG}} = 0,032$).

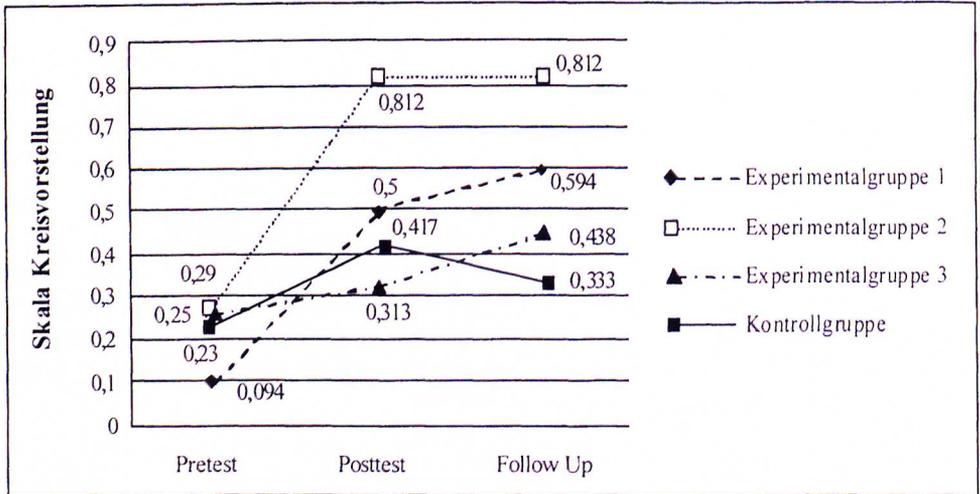


Abb. 5: Skala Kreisvorstellung bei den leistungsstarken Schülern

Im Pretest liegen auch bei den leistungsstarken Schülern die Werte für die Skala Kreisvorstellung nahe beieinander. Die Lernentwicklung zeigt jedoch wieder, dass die Gruppen, die sich mit dem mechanischen Analogiemodell auseinander gesetzt hatten, leichter ein Kreisconcept aufbauten als die Gruppen mit den Wassermodellen oder ohne Modelle.

b) Die Entwicklung der Kreisvorstellung in den Interviews

Die Interviews zeigen, dass es Schülern vor dem Unterricht sehr schwer fällt, nur mit Hilfe einer 4,5V Flachbatterie und eines Lämpchens (also ohne Kabel) 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 bestäti-

gen. Elf Schüler, die die Herstellung des Stromkreises zunächst ohne Kabel versuchten, scheiterten daran, zwei Schüler 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.“

In den Interviews zeigten alle Schüler/innen in der praktischen Anwendung die Einwegvorstellung. Ausnahme ist hier der Schüler – dessen Vater Elektroingenieur ist –, der nach seinen Aussagen verschiedenste Vorerfahrungen und Wissen hat. Die Schüler/innen probieren meist, das Lämpchen mit einem Kabel an der Batterie anzuschließen. Bei Einsicht, dass ein Kabel nicht ausreicht, wechseln alle Schüler/innen auf eine Zweigezuführung. Auf Nachfrage des Interviewers, warum denn das Lämpchen mit einem Draht nicht leuchte, geben 11 von 15 Schülern an, dass der eine Draht zu wenig Strom liefere; vier Schüler/innen 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 (Einwegzuführung, Zweistofftheorie). Es könnte deshalb sein, dass er diese Formulierung zwar irgendwo aufgenommen hat, aber noch nicht sicher in ihrer Anwendung ist. Im Posttest taucht die Einwegzuführung gar nicht mehr auf. Die am Interview teilnehmenden Schüler/innen äußern zum Teil die Zweigezuführung. Ein Großteil erklärt den Stromfluss mit einer Kreisvorstellung. Ein Teil der Schüler/innen erklärt den Stromkreis in einer Interviewsituation noch mit der Zweigezuführungsvorstellung, in der nächsten mit der Kreisvorstellung. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich die Vorstellungen bei diesen Schülern noch nicht gefestigt hatten.

4. Zusammenfassung und Diskussion

4.1 Zusammenfassung

In der Elektrizitätslehre treten Probleme bei Stromflussvorstellungen auf. Schülern ist – so scheint es – ein *Stromkreis*konzept nicht sehr einleuchtend. Die Stromflussvorstellungen verändern sich durch die Interventionen. Die Modelle unterstützen dabei, 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, denn erst in der Follow Up-Erhebung steigt der Prozentsatz der Kreisvorstellung auf 75%. Die Wassermodelle scheinen 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.

Die Vorstellungen dazu, was Strom jedoch ist, sind zu Beginn des Unterrichts noch sehr unterschiedlich. Es findet sich eine Vielzahl an Vorstellungen wieder, die im Laufe der Intervention zugunsten anschlussfähigerer Beschreibungen ausgetauscht werden. Das Vorwissen wird durch die Intervention in den Experimentalgruppen positiv beeinflusst. Die berechneten Indizes steigen vom Pretest zum Posttest signifikant an. Auch in der Follow Up-Erhebung lässt sich noch ein Wissenszuwachs feststellen. Zudem wirkt sich die Art des Modelleinsatzes auf die Entwicklung des Wissens aus. Den größten Lernzuwachs gibt es in den Experimentalgruppen 1 und 2, deren Gemeinsamkeit im Einsatz mechanischer Modelle liegt. 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 positiv auf weitere Lernbereiche der Elektrizitätslehre aus. 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 von Strom steigt auch – wenn auch weniger – in den Gruppen, die sich mit WassermodeLLen beschäftigt haben. In der Kontrollgruppe gehen die richtigen Antworten im Posttest jedoch sogar um 50% zurück.

4.2 Diskussion

Die Untersuchung zeigt, dass es in der Primarstufe sinnvoll ist, Analogien einzusetzen, um mit Schülern ein Stromkreisverständnis anzubahnen. Analogiemodelle führen den Lerner zu einem erhöhten Lernfortschritt. Die hier untersuchten unterschiedlichen Modelle bewirken einen unterschiedlichen Lernzuwachs und eine unterschiedliche Entwicklung des Interesses am Thema „Strom“. Es kann gefolgert werden, dass viele Schüler/innen durch die Nutzung der Analogiemodelle ein sicheres, systematisches Stromverständnis haben und dass Analogieverknüpfungen und somit Relationen, die zwischen primärem und sekundärem Lernbereich, die in diesem Kontext aufgebaut wurden, langfristig aktivierbar sind. Im Falle der WassermodeLLen sind es sogar vorwiegend langfristig aktivierbare Verknüpfungen. Die Begründungsmuster von Schülern entsprachen den Mustern aus den Untersuchungen Wiesners (1995). Schüler/innen 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/innen 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 in jedem Falle eine Analogie zum Erlernen des Stromkreises herangezogen werden. Die Wasseranalogien verbessern die Möglichkeit für Schüler, abstrakte Vorgänge im Stromkreis anschaulicher werden zu lassen. Dies ermöglicht ein leichteres und tiefer gehendes Lernen. Es werden bereits mikrokosmische

Erklärungen von den Schüler/innen gewagt, Strom auf „sich bewegende Elektrizitätsteilchen“, auf Elektronen, die in Bewegung sind, bezogen und es wird deutlich, dass die Elektrizitätsteilchen im Kreis umlaufen, ohne durch den „Verbraucher“ (Wasserrad oder zweite Rolle) verbraucht zu werden. Die Ebene des Lernens bleibt nicht bei beobachtbaren Tatsachen, wie beispielsweise ob das Lämpchen leuchtet oder das Lämpchen leuchtet oder nicht, stehen. Modelle wie der geschlossene Wasserkreis drängen dazu, Vergleiche anzustellen und nach Erklärungen zu suchen. Als Resümee bleibt ein eindeutiges Votum für den Modelleinsatz zu ziehen.

Die Ergebnisse der beiden Modellarten decken sich jedoch dennoch nicht. Die Wassermodelle wirken sich erst Wochen nach dem Unterricht auf das Konzept der Schüler/innen aus. Dies könnte darauf hindeuten, dass bereits Wochen vor dem Unterricht zum Thema „Stromkreis“ das Anbahnen für Verständnis geschehen könnte, wenn das Wassermodell dementsprechend vorgezogen würde. Auf das mechanische Modell sollte auf keinen Fall verzichtet werden. Auf Schülerebene könnte durch den Einsatz mechanischer Modelle ein stärkeres Tiefenverständnis für Physik erreicht werden.

Literatur

- Caravita, S. (2001): A re-framed conceptual change theory? *Learning and Instruction*, 11, 421-429.
- Duit, R., & Glynn, S. (1992): Analogien und Metaphern. Brücken zum Verständnis im schülergerechten Physikunterricht. In P. Häußler (Hrsg.): *Physikunterricht und Menschenbildung*. Kiel, 223-250.
- Duit, R. & Glynn, S. (1995): Analogien – Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 43, II.27, 4-10.
- Gentner, D. (1988): Analogical inference and analogical access. In: Prieditis, A.: *Analoga*. Los Altos, 63-88.
- Haider, M. (2008): Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Regensburg: Dissertation an der Philosophischen Fakultät II.
- Hesse, F. W. (1991): *Analoges Problemlösen: eine Analyse kognitiver Prozesse beim analogen Problemlösen*. Weinheim.
- Kircher, E. (1984): Analogmodelle für den elektrischen Stromkreis. In: *Der Physikunterricht*, 18, II.2, 46-60.
- Kircher, E. (1989): Analogien im Physikunterricht. In: Schneider, W. (Hrsg.): *Wege in der Physikdidaktik*. Erlangen, 47-57.
- Kircher, E. (1995): Analogien im Sachunterricht der Primarstufe. *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23, H.5, 192-197.
- Kircher, E., & Werner, H. (1994): Anthropomorphe Modelle im Sachunterricht der Grundschule am Beispiel „Elektrischer Stromkreis“. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 22, II.4, 53-57.
- Kurtz, K.J., Miao C.-H. & Gentner, D.(2001): Learning by analogical bootstrapping. In: *The Journal of the Learning Sciences*, 10, 417- 446.
- Möller, K. (2006): Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule: Eine (neue) Herausforderung für den Sachunterricht? In: Hanke, P. (Hrsg.): *Grundschule in Entwicklung. Herausforderungen und Perspektiven für die Grundschule heute*. Münster, 107-127.
- Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Lehrke, M. & Seidel, T. (Hrsg.). (2001). *Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lernprozesse im Physikunterricht: Eine Videostudie“*. Kiel: IPN.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P., & Gertzog, W. A. (1982): Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education*, 66, 211-227.
- Speckelsen, K. (1997): Wie Grundschulkinder physikalische Phänomene verstehen. In: *Grundschule*, 29, H.10, 18-19.
- Storck, E., & Wiesner, H. (1981): Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre und Sachunterricht. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 9, 218-230.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. & Papademetriou, E. (2001): Designing learning

- environments to promote conceptual change in science. In: *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Weinert, F. E. (2000): Lehren und Lernen für die Zukunft – Ansprüche an das Lernen in der Schule. In: *Pädagogische Nachrichten Rheinland-Pfalz*, o.J., H.2, 1–17.
- Wiesner, H. (1995): Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23, H.2, 50-58.

Michael Haider, Lehrstuhl für Grundschulpädagogik und -didaktik, Universität Regensburg;
E-Mail: michael.haider@paedagogik.uni-regensburg.de