

Analogiegestützter Unterricht zum Thema Strom

Marika Keck, Michael Haider, Thomas Haider und Maria Fölling-Albers

Jeder nutzt ihn, jeder braucht ihn. Doch was ist er? Strom ist in unserer zunehmend technisierten Welt ein Gut, auf das man ungern verzichten möchte. Doch wie viel Verständnis können Grundschulkinder bereits dafür aufbringen? Mit welchem Unterricht lernen sie am besten? Helfen didaktische Medien wie Analogiemodelle, das Lernen der Schüler zu unterstützen?

Diesen Fragen soll das von der DFG unterstützte Projekt zur „Nutzung von Analogiemodellen für den Aufbau flexibel anwendbarer physikalischer Konzepte bei Grundschüler/innen“ am Beispiel „Strom“ nachgehen. Dabei sollen zum einen die Effekte des Einsatzes von Analogiemodellen untersucht werden. Zum anderen wird erhoben, *wie* die Schüler/innen diese Analogiemodelle für ihre Verstehensprozesse nutzen. Die Forschungsfragen werden anhand des Lehrplanthemas „Strom“ untersucht, da es sich hierbei um abstrakte Konzepte handelt, die in der Regel den Alltagsvorstellungen widersprechen. Der Aufbau belastbarer Konzepte zum Thema Strom gestaltet sich oft schwierig: Begriffe in diesem Bereich werden in Alltags- und Fachsprache nicht nur unterschiedlich verwendet, sondern durch die Alltagssprache werden sogar fachlich falsche Vorstellungen unterstützt (z.B. „Stromverbrauch“).

Fragt man Kinder, was in einem Stromkreis abläuft, wird deutlich, wie unterschiedlich die vorunterrichtlichen Vorstellungen in diesem Bereich sind.

Veronika, 8 Jahre, erklärt den Stromkreis wie folgt:

Ich nehme ein Kabel und dann, glaube ich, geht die Kraft von der Batterie durch den Schlauch und fließt dann in die Lampe rein, und dann fängt die Lampe zum Leuchten an. Wenn die Batterie die ganze Nacht angeschlossen war, ist die Batterie alle, weil die Kraft verbraucht ist.

Danny, 9 Jahre, stellt es sich so vor:

Die Batterie schickt Strom zum Lämpchen. Ich brauche zwei Kabel, weil sonst kommt nur in einer Seite Strom und in der anderen Seite nicht und dann hat das Lämpchen nicht genug Strom. Bei drei Kabeln kommt vielleicht noch mehr

Strom. Der Strom wird durch die Kabel geleitet, und dann geht er da verloren. Wenn die Batterie leer ist, hat sie keinen Strom mehr.

Marvin, 9 Jahre, ist noch unsicher zwischen zwei Konzepten:
Der Strom fließt von der Batterie zur Lampe hin und dann denke ich, entweder, dass in dem andern Kabel auch noch Strom hinfließt oder dass irgendetwas anderes wieder zurückfließt. Mit einem Kabel funktioniert es nicht, weil es zu wenig Strom ist oder weil der Stromkreis unterbrochen ist.

Robert, 8 Jahre, erläutert bereits:
Die Elektronen fließen vom Pluspol der Batterie durch das Lämpchen und bringen den Bogen dort zum Glühen und gehen dann in dem anderen Kabel durch den Minuspol zurück zur Batterie. Vor dem Lämpchen fließt mehr Strom als nach dem Lämpchen, weil er frisch aus der Batterie kommt und dann praktisch hier verbraucht wird und dann da zurückgeht.

Die Schüleraussagen vor dem Unterricht lassen bereits erkennen, wie unterschiedlich die Vorstellungen zum Stromkreis sind und dass bei Kindern häufig noch ein Ein- bzw. Zwei-Wege-Zuführungskonzept anstelle einer korrekten Kreisvorstellung des Stromflusses vorherrscht (vgl. auch Haider 2010, Wiesner 1995). Damit einher geht die Fehlvorstellung vieler Kinder, dass Strom etwas Substanzartiges sei, das im Lämpchen verbraucht wird (vgl. Kircher 1995, Wiesner 1995).

Konkretes Ziel der Studie ist daher der Aufbau einer richtigen Stromflussvorstellung, verbunden mit dem Abbau von Stromverbrauchsvorstellungen zugunsten eines Energieumwandlungskonzepts.

Die Rolle von Modellen für den naturwissenschaftlichen Lernprozess am Beispiel elektrischer Strom

Beim Thema Strom im Sachunterricht ergeben sich häufig Lernschwierigkeiten, was neben der verwirrenden Alltagssprache (vgl. Haider 2009) darin begründet liegt, dass der primäre Lerngegenstand hier komplex und wenig anschaulich ist. Es genügt in diesem Bereich nicht, einen Versuch zu durchzuführen und zu interpretieren, denn ein Lämpchen leuchten zu lassen, zeigt noch nichts über die

Stromrichtung oder den Strom“verbrauch“. Die Elektronen oder der Strom als Fluss dieser Elektronen bleiben für die Schüler/innen zunächst unsichtbar und daher oft auch „uneinsichtig“.

Eine Perspektive zur Unterstützung der Lernprozesse im Bereich der Elektrizitätslehre stellt der Einsatz von Analogiemodellen als didaktisches Mittel im naturwissenschaftlichen Sachunterricht dar (vgl. Haider/ Keck/ Haider/ Fölling-Albers im Druck). Modelle werden immer dann benutzt, wenn der Bereich des „direkt Erfahrbaren“ verlassen wird, weil die Realität zu groß, zu klein, zu schnell oder zu komplex ist (vgl. Wünscher 2009).

Die Schüler/innen lernen in der hier vorgestellten Studie mit Hilfe von Wasser- bzw. mechanischen Modellen zunächst an einem sekundären, anschaulicheren Bereich, um dann über Analogiebildungen auch den abstrakteren primären Lernbereich des Stromkreises zu verstehen (vgl. Kircher 1989). Modelle erfüllen somit eine „Mittlerfunktion“ (vgl. Kircher 1995), sie bilden eine „Brücke“ im Lernprozess (vgl. Duit/ Glynn 1995) und können dazu beitragen, physikalische Aspekte zu veranschaulichen. In der internationalen Lehr-Lernforschung wird ein günstiger Effekt durch den Modelleinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht bestätigt. Modelle unterstützen Konzeptwechsel (Vosniadou et al. 2001) und führen zu einem höheren Lernniveau (Duit/ Treagust/ Widodo 2008), sie können dazu beitragen, ein vertieftes Verständnis über komplexe Sachverhalte zu erlangen (Kurtz/ Miao/ Gentner 2001) und sind somit essenziell für den Erwerb flexiblen, transferfähigen und anwendbaren Wissens (Clement 2000).

Studie zur Nutzung von Analogiemodellen im Lernbereich „Strom“

Um herauszufinden, ob und wie Schüler Analogiemodelle nutzen, wurden im Rahmen einer quasiexperimentellen Studie von März bis Juni 2012 16 Klassen der dritten Jahrgangsstufe in vier verschiedenen Versuchsgruppen untersucht. Hierzu wurde ein Unterricht zum Thema elektrischer Strom konzipiert und in allen Klassen von derselben Lehrkraft durchgeführt. Der Themenbereich findet sich im bayerischen Lehrplan in der 3. Jahrgangsstufe. Zu sechs Messzeitpunkten wurden mit Fragebögen und Interviews Daten zum Wissen und zu den Denkprozessen der Kinder vor, während und nach dem Unterricht erhoben.

Tab. 1: Interventionsdesign der Studie

EG 1 (4 Klassen)	EG 2 (4 Klassen)	KG (4 Klassen)	WG (4 Klassen)
analogiegestützter Unterricht mit Wassermodellen	Analogiegestützter Unterricht mit mechanischem Modell	Unterricht ohne Analogiemodelle	---

Die vier Klassen der Experimentalgruppe 1 (EG 1) erhielten einen analogiegestützten Unterricht mit Wassermodellen, die der Experimentalgruppe 2 (EG 2) mit mechanischen Modellen. Die vier Kontrollgruppenklassen (KG) hatten die gleiche Anzahl an Unterrichtseinheiten zum Thema Strom, jedoch ohne den Einsatz von Analogiemodellen. Eine Baselinegruppe (WG) nahm nur an den Fragebögen teil, so dass Effekte der Messinstrumente abgesichert werden können.

Darstellung der Unterrichtsplanung

Tab. 1: Unterrichtssequenz zum Thema „Strom“

	EG 1 (Wasser)	EG 2 (mechanisch)	KG (ohne)
UE 1	Arbeitsweise von Physikern; Einführung Modellbegriff		
UE 2	Einführung Energiebegriff; Sprache von Physikern		
UE 3	Bau eines einfachen Stromkreises		
UE 4	Wassermodell für den Stromkreis	Mechanisches Modell für den Stromkreis	Wirkungen des Stroms
UE 5	Vorteile und Grenzen des Wassermodells	Vorteile und Grenzen des mechanischen Modells	Stromkreise mit Schaltern
UE 6	Leiter und Nichtleiter (modellgestützt)	Leiter und Nichtleiter (modellgestützt)	Leiter und Nichtleiter
UE 7	Zusammenhang von Strom und Energie		

Der Unterricht beginnt in allen Versuchsgruppen identisch. In den ersten drei Unterrichtseinheiten erhalten die Schüler erste Einblicke in die Arbeitsweise und Sprache von Physikern. Sie lernen den Modell- und Energiebegriff sowie den Aufbau eines Stromkreises kennen. In den folgenden Einheiten besteht die Variation darin, ob bzw. welche Analogiemodelle eingesetzt werden. Die Experimentalgruppen arbeiten mit dem Wasser- bzw. mechanischen Modell und erfahren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen als Veranschaulichungshilfe. Die

Kontrollgruppe erhält einen an der klassischen Elektrizitätslehre orientierten Unterricht ohne Analogiemodelle. Die Schüler betrachten darüber hinaus den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern (mit Modellen bzw. ohne Modelle). Den Abschluss der Intervention bildet wieder eine Unterrichtseinheit, die in allen Gruppen gleich ist. Hier liegt der Fokus auf der Unterscheidung von Strom und Energie und der Frage, warum eine Batterie leer wird.

Im Folgenden sollen die konkreten Unterrichtseinheiten der Experimentalgruppen genauer dargestellt werden. Die Einheiten sind jeweils auf ca. 90 Minuten ausgelegt.

Unterrichtseinheit 1: Wie arbeiten Physiker?

Da der Fokus der ersten Unterrichtseinheit weniger auf konkreten naturwissenschaftlichen Inhalten als auf dem Kennenlernen der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen liegt, wird der Einstieg mit einem (nach bayerischem Lehrplan) aus der zweiten Jahrgangsstufe bereits bekannten Thema gestaltet (Lösen und Trennen). Nach einem Gruppengespräch zu den Begriffen Physiker, Forscher und Wissenschaftler sollen die Schüler/innen „typische“ naturwissenschaftliche Vorgehensweisen wie die Entwicklung einer Fragestellung, das Aufstellen von Vermutungen, die Durchführung eines Versuchs und das genaue Beobachten kennenlernen. Dieser „Forschungsprozess“ wird erweitert, indem das Modell als Möglichkeit zur Erklärung von Versuchsergebnissen erfahren wird. Um eine nachhaltige Entwicklung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen zu unterstützen, findet sich dieser Algorithmus (Frage – Vermutung – Versuch – Beobachtung – Modell – Erklärung) auch in den Anschlusseinheiten wieder.

Zur Erarbeitung des Modellbegriffs äußern die Schüler/innen zunächst eigene Vorstellungen und lernen dann ein beispielhaftes Modell zum durchgeführten Lösungs- und Trennungsversuch kennen. Es soll erkannt werden, dass es verschiedene Arten von Modellen (gegenständlich – bildlich – gedanklich) gibt und inwiefern sich Original und Modell unterscheiden lassen. Auch auf den Nutzen von Modellen als Erklärungs-, Veranschaulichungs- und Verständnishilfe sowie deren Grenzen wird eingegangen. Mit einem ersten Einblick in das Teilchenmodell soll der für den weiteren Unterrichtsverlauf elementare Begriff des Elektrons eingeführt werden.

Unterrichtseinheit 2: Was ist Energie?

Um durch eine angemessene Energievorstellung in den Folgestunden die Arbeit mit den Stromkreismodellen und um ein tieferes Verständnis des Stromkreises zu unterstützen, wird in der zweiten Unterrichtseinheit der Energiebegriff behandelt. Nach der Problemstellung, was Energie denn eigentlich sei, führen die Schüler/innen Versuche zur Wirkung von Energie (vgl. Abb. 1) durch und erfahren dabei die Energie als Fähigkeit eines Körpers, etwas zu tun (z.B. etwas zu bewegen, zu erwärmen, zum Leuchten zu bringen) (vgl. Soostmeyer 2001).



Abb. 1: Schülerversuche zur Energie

Die Kinder lernen anhand von Beispielen die verschiedenen Energieformen Bewegungs-, Licht-, Wärme- und Höhenenergie, chemische und elektrische Energie kennen. Zusätzlich sammeln sie Beispiele für erneuerbare sowie fossile Energiequellen (Sonne, Wind, Wasser; Kohle, Erdöl, Erdgas). Auch das Erkennen und Verbalisieren von Energieumwandlungsprozessen ist Inhalt der zweiten Unterrichtseinheit.

Durch die Wahrnehmung einer eigenen „Physikersprache“, die sich oft von der Sprache im Alltag unterscheidet (z.B. Energie vs. Kraft, spezielle Fachbegriffe), begeben sich die Schüler/innen auf eine Metaebene und fördern ihr Sprachbewusstsein im naturwissenschaftlichen Bereich.

Unterrichtseinheit 3: Wie bringen wir das Lämpchen zum Leuchten?




In der dritten Unterrichteinheit befassen sich die Schüler/innen mit der Frage, wie eine Beleuchtung in ein Spielhaus eingebaut werden kann. Hierzu erhalten einzelne Forschergruppen Material, um verschiedene einfache Stromkreise zu bauen und die Anschlussbedingungen selbst zu erfahren. Die Begriffe „Strom“ im Sinne von „strömenden“ (fließenden) Elektronen und „Stromkreis“ als kreisförmiger Aufbau, bei dem Strom bzw. Elektronen im Kreis zwischen Batterie

und Lämpchen fließen, werden eingeführt. Die Notwendigkeit von zwei Kabeln für den Kreisfluss soll den Kindern bewusst werden. Auch auf die Unterschiede zwischen offenen und geschlossenen Stromkreisen wird (z.B. mit Hilfe eines Schalters) eingegangen. Durch einen alternativen Aufbau mit Elektromotor und Propeller statt Batterie und Lämpchen vertiefen die Schüler/innen die Erfahrung, dass unterschiedliche Stromkreise möglich sind und erkennen möglicherweise bereits, dass jeweils eine Energiequelle und ein Energiewandler sowie zwei Kabel für den Stromfluss notwendig sind.

Unterrichtseinheit 4: Was passiert im Stromkreis? (Analogiemodelle)

In der vierten Unterrichtseinheit soll die Frage geklärt werden, *warum* das Lämpchen leuchtet bzw. was im Stromkreis passiert. Hier erkennen die Schüler, dass ein Modell als Erklärungshilfe dienen könnte. Die Problematik beim Aufbau des Stromkreisbegriffs liegt ja unter anderem darin, dass das, was gelernt werden soll, nicht direkt beobachtbar bzw. sinnlich erfahrbar ist. Durch den Einsatz von Analogiemodellen wird Lernen am konkret wahrnehmbaren Objekt ermöglicht. Die Schüler/innen erproben hierzu das Modell in der Forschergruppe und versuchen analoge Bezüge zwischen Modell und Stromkreis herzustellen. Dabei bestimmen sie zunächst Oberflächenanalogien (Analogien, die dem primären Lerngegenstand in der äußeren Form gleichen), indem Bauteile des Stromkreises und des Modells einander zugeordnet werden (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Oberflächenanalogien zwischen Modell und Stromkreis

Wasser-Modell	Stromkreis	Mechanisches Modell
		
Flaschen	Batterie	Kurbel
Wasserrad	Lämpchen	Propeller
Schläuche	Kabel	Gummiringen
Wasserteilchen	Elektronen	Gummiteilchen

Im Anschluss werden auch strukturelle Analogien (Analogien, die die Struktur und die Relationen zwischen primärem Lernbereich und Modellbereich zeigen) herausgearbeitet. Diese lassen sich zum einen in Bezug auf die *Energiequelle*

finden: Beim mechanischen Modell ist Energie beim Kurbeln nötig, um den Gummiringen anzutreiben, beim Wassermodell wird das Wasser durch die Lageenergie (Höhenunterschied der Wassersäulen in den Flaschen) in den Schläuchen angetrieben. Analog ist chemische Energie aus der Batterie nötig, um Elektronen in den Kabeln „anzutreiben“. In den Modellen wird Energie zum Wasserrad bzw. Propeller transportiert und dort in Bewegungsenergie umgewandelt – das Wasserrad bzw. der Propeller dreht sich. Die Analogie liegt also auch im *Energiewandler*, da beim Stromkreis im Lämpchen die ankommende Energie in Lichtenergie umgewandelt wird. Bei der Betrachtung der Modelle wird vorstellbar, dass Strom analog zum rundumfließenden Wasser bzw. Gummiringen im *Kreis* fließt und *nicht verbraucht* wird.

Unterrichtseinheit 5: Vorteile und Grenzen von Modellen

Die fünfte Unterrichtseinheit beinhaltet zunächst eine Wiederholung der Analogiebeziehungen aus der vorangegangenen Stunde mit Hilfe von groß aufgebauten Modellen. Hier haben die Schüler die Möglichkeit, die Erkenntnisse zu Analogien (kreisförmige Anordnung, Entsprechung der Bauteile, Kreisfluss/kein Verbrauch, Energieübertragung/-umwandlung) noch einmal zu verbalisieren und zu vertiefen.

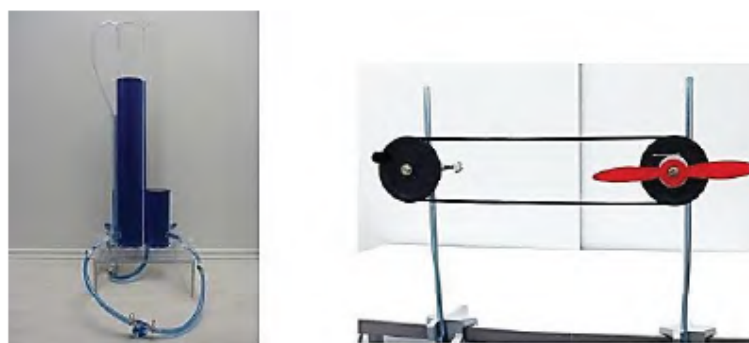


Abb. 2: Großes Wasser- und Riemenmodell für den Stromkreis

Im weiteren Verlauf werden in einem Rollenspiel Vorteile und Grenzen des behandelten Modells diskutiert. Die Schüler/innen erkennen einerseits, dass das Wasser- bzw. mechanische Modell hilfreich zum Verständnis des Stromkreises sein kann, da vorstellbar wird, dass sich Strom im Kreis bewegt und nicht verbraucht wird. Auch die Notwendigkeit von *zwei* Kabeln und die Funktion von Energiequelle bzw. Energiewandler werden mit den Modellen verständlicher.

Andererseits werden die Stromkreis-Modelle auch kritisch beleuchtet. Die Erklärungsmacht der Modelle hat Grenzen, wie folgende Beispiele zeigen: Öffnet man den Kreis beim Wassermodell durch Zerschneiden eines Schlauches, fließt das ganze Wasser heraus. In diesem Fall funktioniert der Stromkreis aber nicht analog, da beim Öffnen des Stromkreises keine Elektronen aus dem Kabel fließen! Beim Riemenmodell dreht sich der ganze Gummiriemen rundherum, im Stromkreis bewegt sich aber nicht das ganze Kabel, sondern es bewegen sich lediglich die Elektronen im Inneren.

Auf allgemeiner Ebene sollen die Schüler in dieser Unterrichtseinheit zum einen für Grenzen von Modellen sensibilisiert werden, indem sie erkennen, dass diese nicht die Wirklichkeit abbilden, d.h. in Aussehen und Funktion nicht identisch mit dem Original sind und jeweils nur *Teilbereiche* darstellen. Zum anderen soll jedoch das Bewusstsein für die positiven Effekte des Einsatzes von Modellen als Verständnis- und Veranschaulichungshilfe gestärkt werden.

Unterrichtseinheit 6: Welche Stoffe leiten den Strom?

Den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern bearbeiten die Schüler/innen in der sechsten Unterrichtseinheit. Nach der Problemstellung, wodurch ein Kabel ersetzt werden könnte, erkunden die Kinder die Leitfähigkeit verschiedener Materialien. Im Anschluss sollen die Kinder selbstständig erarbeiten, *warum* das untersuchte Material ein Leiter bzw. Nichtleiter ist. Als Erklärungshilfe betrachten die Schüler dazu Modelle, die die Elektronen im Inneren des entsprechenden Materials veranschaulichen. Anhand von Pappröhren mit beweglichen oder fixierten Tischtennisbällen können die Kinder den Analogieschluss ziehen, dass die Elektronen in Leitern wie Metallen oder Salzwasser frei beweglich sind und Strom fließt, wenn diese in eine Richtung fließen. In Nichtleitern wie Holz, Glas oder Plastik hingegen sind die Elektronen (wie die Tischtennisbälle im Modell) festgebunden und können nicht „strömen“.

Unterrichtseinheit 7: Warum wird die Batterie leer?

Die letzte Unterrichtseinheit soll folgenden kognitiven Konflikt auflösen: Im Unterricht wird immer wieder besprochen, dass Strom im Kreis fließt und nicht verbraucht wird – dem entgegen steht aber die Alltagserfahrung, dass eine Batterie nicht mehr funktioniert, wenn sie lange angeschlossen war. Die zu klärende Frage lautet also, warum eine Batterie mit der Zeit „leer“ wird. Durch Abwiegen

einer „vollen“ und einer „leeren“ Batterie erkennen die Schüler, dass kein Strom bzw. Elektronen aus einer Batterie herausgeflossen sein können, da die Waage für beide Batterien das gleiche Gewicht anzeigt. Im geschlossenen Stromkreis wird aber Energie aus der Batterie aufs Lämpchen übertragen. Da diese Energie nicht zurück fließt, sondern im Lämpchen umgewandelt wird, ist nach einiger Zeit in der Batterie keine chemische Energie mehr zum Antreiben der Elektronen vorhanden.

Der Abbau des durch die Alltagssprache implizierten Stromverbrauchskonzepts soll abschließend noch einmal durch die bewusste Reflexion und Gegenüberstellung von wissenschaftlich falschen Alltagsbegriffen und physikalischer Fachsprache unterstützt werden. Wenn Strom nicht verbraucht werden kann, müsste die „Stromrechnung“ eigentlich „Energiebereitstellungsrechnung“ heißen und Kinder sollten nicht zum „Strom sparen“, sondern eher zum bewussten Umgang mit Energie angehalten werden. Als Beispiel wird die Verwendung von Energiesparlampen genannt und untersucht: Durch den Temperaturvergleich einer angeschlossenen Glühbirne und Energiesparlampe erkennen die Schüler, dass bei der Glühlampe ein Großteil der elektrischen Energie (für die Beleuchtung) in nicht nutzbare Wärmeenergie umgewandelt wird, was man sich bei der Energiesparlampe „sparen“ kann, da hier der größte Anteil in die gewünschte Lichtenergie umgewandelt wird.

Ausblick

Erste Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass es mit dem vorgestellten Unterricht gelingt, bei den Schüler/innen einen Lernzuwachs hinsichtlich einer richtigen Stromflussvorstellung hervorzurufen und Stromverbrauchsvorstellungen zugunsten von Energieumwandlungskonzepten aufzugeben.

So ist Veronika, die vor dem Unterricht noch von einem Ein-Weg-Verbrauchskonzept ausging (siehe oben), nach der Intervention in der Lage, den Stromkreis wie folgt zu erklären:

Also die Batterie, da steckt Energie drin. Dann hab ich die zwei Kabel an den Polen und beim Lämpchen unten angeschlossen. Dann bewegen sich die Elektronen im Kabel, die Elektronen leiten dann die Energie weiter. Und wenn sich die Elektronen im Kreis bewegen, dann ist das Strom. Und beim Pluspol geht es rein und beim Minuspol wieder raus und das nennt man dann Stromkreis. Vor

dem Lämpchen ist genauso viel Strom wie hinterm Lämpchen, weil da fließt's rein und da wieder raus.

Und auch am Beispiel von Danny, der anfangs die Vorstellung hatte, dass Strom von zwei Seiten zum Lämpchen fließen muss und dort verloren geht, wird deutlich, dass bereits Grundschüler mit zunächst wissenschaftlich falschen Alltagskonzepten ein fachlich angemessenes Stromkreis- und Energiekonzept aufbauen können:

Ich nehme zwei Kabel, weil sonst könnte es ja nicht im Kreis fließen. Der Strom fließt von der Batterie zum Lämpchen und wieder zurück zur Batterie. Beim Lämpchen wird nichts verbraucht, weil das läuft ja immer im Kreis, und dann geht ja nichts verloren. Wenn die Batterie voll ist, hat sie so ganz viel Energie, dann treibt sie dann die Elektronen an und dann leuchtet das Lämpchen.

Literatur:

- Clement, J. (2000): Model based learning as a key research area for science education. In: International Journal of Science Education, 22, 9, pp. 1041-1053.
- Duit, R.; Glynn, S. (1995). Analogien – Brücken zum Verständnis. Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 6, (43), 27, S. 4-10.
- Duit, R.; Treagust, D.; Widodo, A. (2008): Teaching science for conceptual change: theory and practice. In: Vosniadou, S.: International Handbook of research on conceptual change. New York, pp. 629-646.
- Haider, M. (2009): Analogien im Sachunterricht: Analogiemodelle im Elektrizitätslehreunterricht der Grundschule als Fördermöglichkeit physikalischen Lernens? In: Zeitschrift für Grundschulforschung, 2, 1, S. 104-117.
- Haider, M. (2010): Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Bad Heilbrunn.
- Haider, M.; Keck, M.; Haider, Th.; Fölling-Albers, M. (im Druck): Analogiemodelle als Perspektive in der Planung naturwissenschaftlicher Lernprozesse.
- Kircher, E. (1989): Analogien im Physikunterricht. In: Schneider, W. (Hrsg.): Wege in der Physikdidaktik. Erlangen, S. 47-57.
- Kircher, E. (1995): Analogien im Sachunterricht der Primarstufe. Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe, 23, 5, S. 192-197.
- Kurtz, K.J.; Miao, C.-H.; Gentner, D. (2001): Learning by analogical bootstrapping. In: The Journal of the Learning Sciences, 10, pp. 417-446.
- Soostmeyer, M. (2001): Energie – eine Einführung für den Grundschulunterricht. In: Sache, Wort, Zahl, 29, 39, S. 4-9.

- Vosniadou, S.; Ioannides, C.; Dimitrakopoulou, A.; Papademetriou, E. (2001): Designing learning environments to promote conceptual change in science. In: *Learning and Instruction*, 11, pp. 381-419.
- Wiesner, H. (1995): Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten von Grundschulern in der Elektrizitätslehre. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe*, 23, 2, S. 50-58.
- Wünscher, Th. (2009): Das Wesen von Modellen – ein Thema für den Physikunterricht? In: *Praxis der Naturwissenschaften. Modellierung und Modellbildung*, 58, 8, S. 5-8.