

Lernprozessstudie beim elektrischen Stromkreis

- Eine Laborstudie zu einem Unterricht mit Computerunterstützung -

vorgelegt von: Jörg Hirsch

Universität Bremen - Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik)

Bremen, 27. November 2000

Referent: Prof. Dr. Hans Niedderer
Korreferent: Prof. Dr. Stefan von Aufschnaiter

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort.....	3
2.	Plan der Untersuchung.....	4
2.1	Untersuchungsdesign.....	4
2.2	Das CPU-Projekt.....	5
2.3	Das Experimentiermaterial.....	6
2.4	Der CPU-Simulator.....	7
2.5	Concept Maps.....	10
3.	Schülervorstellungen im Allgemeinen.....	11
4.	Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis.....	16
4.1	Der Stromverbrauch.....	16
4.2	Differenzierung von Spannung und Strom.....	19
4.3	Lokales und sequenzielles Denken.....	20
4.4	Der Widerstand.....	22
5.	Ergebnisse.....	24
5.1	Präkonzepte und Lernprozesse der Schüler bei der Aufgabenkarte 2.1.....	26
5.2	Zusatzaufgabe am Ende der ersten Sitzung und zu Beginn der zweiten Sitzung.....	38
5.3	Präkonzepte und Lernprozesse der Schüler bei der Aufgabenkarte 4.3.....	41
5.4	Auswertung der Concept Maps.....	48
5.4.1	Dominik.....	48
5.4.2	Janine.....	50
5.4.3	Matthias.....	51
5.5	Zuordnung verschiedener Schichten.....	54
5.5.1	Dominik.....	54
5.5.2	Janine.....	55
5.5.3	Matthias.....	56
6.	Zusammenfassung und Schlussbemerkungen.....	58
7.	Literatur.....	59
8.	Anhang.....	61

1. Vorwort

[...] Das Kind ist nach seiner Natur und seiner vorschulischen Erziehung durch die Sprache und die Gesellschaft auf dem Wege zur Physik; man möchte sagen: es erwartet sie. Wir brauchen ihm also nur entgegenzukommen und es abzuholen da, wo es von sich aus gerade steht, und wir werden die Physik in ihm auslösen.

(Wagenschein, Die pädagogische Dimension der Physik, 1962, S. 66)

Das Kind da abholen, wo es von sich aus steht, war eine der wichtigsten Aussagen Martin Wagenscheins. Doch wie funktioniert dies? Wo stehen die Kinder?

Wagenschein war einer der ersten, der Schülervorstellungen sammelte und beachtete. Er klassifizierte die Theorien anhand verschiedener Komplexitäten und legte einen Zusammenhang zwischen Komplexität der Vorstellung und Alter des Schülers¹ nahe [24]. Durch die zentrale Aussage, „die Kinder dort abzuholen wo sie stehen“, machte sich Wagenschein zum geistigen Vater aller Nachfolgenden, die sich mit Schülervorstellungen - sogenannte Präkonzepte - beschäftigen. Aktuelle und wichtige Schülervorstellungen müssen Lehrern einfach bekannt sein, um mit den Schülern „genetisch“ vorgehen zu können.

Aus diesem Grunde lege ich großen Wert auf populäre Schülervorstellungen im allgemeinen und insbesondere zum elektrischen Stromkreis und werde den aktuellen Stand der Didaktik zu diesem Thema darlegen.

Im empirischen Teil meiner Arbeit werde ich Ergebnisse meiner Untersuchung, die im nächsten Abschnitt genauer beschrieben werden, mit dem theoretischen Teil vergleichen und Lernprozesse bei den einzelnen Schülern betrachten. Im letzten Teil dieser Arbeit werden Parallelen oder Abweichungen der von den Schülern erstellten Concept Maps zu Modellen und Vorstellungen in den Sitzungen gezogen.

¹ Aus stilistischen Gründen werde ich in dieser Arbeit die maskuline Form Schüler benutzen, weise aber darauf hin, dass hier und im Folgenden immer auch die weibliche Form Schülerin eingeschlossen ist.

2. Plan der Untersuchung

2.1 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung war eine Laborstudie, durchgeführt an der Universität Bremen. Für die Datenerhebung wurde eine Gruppe von drei Schülern, welche gerade den Realschulabschluss gemacht haben, in die Universität eingeladen. Die Untersuchung besteht aus 3 Sitzungen, welche zwischen 90 und 120 Minuten dauerten und im Wochenrhythmus über einen Zeitraum von 3 Wochen stattfanden.

Dabei waren die Aufgaben auf Karten geschrieben, auf denen die Schüler auch ihre Beobachtungen und Ergebnisse notieren konnten, ähnlich wie die aufgabenbasierte Lernumgebung der Arbeitsgruppe von Aufschnaiter [1] & [17]. Hintergedanke dafür war, den Schülern eigenständiges Arbeiten zu ermöglichen und unnötiges oder zu frühes Eingreifen meinerseits zu verhindern. Gerade der eigenständigen Auseinandersetzung der Lernenden mit der Aufgabe soll viel Aufmerksamkeit und Zeit gelassen werden, denn so kann das eigene Vorverständnis am besten und störungsfrei entfaltet und meinerseits auch am besten beobachtet werden.

Da ich bei meiner Untersuchung leider nicht auf einen schon mehrfach getesteten Satz an Aufgabenkarten zurückgreifen konnte, musste ich einen eigenen Satz erstellen. Dabei verlief nicht immer alles wie geplant, die Erstellung war von vielen Änderungen und Verwürfen gezeichnet, wollte ich doch einen roten Faden verfolgen. Darüber hinaus musste ich den Umfang auf drei Sitzungen beschränken, was sich als weiteres Problem offenbarte, da man immer zu viel planen möchte. Ob mir dies geglückt ist, möge der Leser entscheiden, zumindest konnte ich die Ergebnisse der Aufgabenkarten zu meiner Zufriedenheit verwenden.

Die nächste Hürde, die es zu nehmen galt, war das Transkribieren. Ob in den Transkribierräumen der Universität Bremen oder zu Hause, die nächsten Wochen verbrachte ich damit, die Aussagen der Schüler so exakt wie möglich in Schriftform zu bringen. Am Ende dieses Arbeitsschrittes standen mir dann etwa 50 Seiten Transkript zur Auswertung zu Verfügung. Dass ich gewisse, für mich uninteressant erscheinende Teile der Stunden nicht mit ins Transkript übernommen habe, ist mehr als verständlich.

Welche Grundlage ich für die Erstellung des Aufgabenkartensatzes benutzte, darauf werde ich in den nächsten Seiten etwas genauer eingehen.

2.2 Das CPU-Projekt

Bei der Herstellung der Aufgabenkarten habe ich mich an dem „The Constructing Physics Understanding in a Computer-Supported Learning Environment Project“ (oder auch CPU-Projekt) orientiert, dessen Schirmherr Fred Goldberg von der San Diego State University ist [21]. Dieses CPU-Projekt wird zum Teil durch die National Science Foundation und der San Diego State University finanziert und beinhaltet auch eine Simulatorsoftware, die CPU-Simulatoren, geschrieben in der Programmiersprache Java und somit mit fast jedem Internet-Browser abrufbar. Die CPU-Simulatoren wurden gemeinsam mit Physicon, Ltd., einem Mitglied der OpenTeach-Gruppe und MetaMind-Software Inc. entwickelt.

Das CPU-Projekt teilt sich in folgende Themengebiete der Physik (Abbildung 2-3): Wellen & Akustik, Elektrodynamik, Elektrostatik & Magnetismus, Licht & Farbe, Teilchenmodelle und Kraft & Bewegung.

Die für meine Arbeit wichtige zweite Einheit konzentriert sich auf Entwickeln und Ausarbeiten von Modellen für das Verstehen der elektrischen Stromkreise des Gleichstroms. Gruppen benutzen Batterien, Glühlampen, Kompass und andere einfache Einheiten zum Experimentieren und Erfassen von Informationen. Daneben verwenden die Gruppen auch häufig die leistungsfähige Simulationssoftware, um experimentelle Resultate mit ihrem eigenen, sich entwickelnden Verständnis von Elektrizität zu vergleichen.

Dabei wurde die Einheit in mehrere Arbeitsgänge (AG), den sogenannten „cycles“, mit folgendem Inhalt aufgeteilt:

AG I	Die Gruppen sammeln Basisinformationen: Sie untersuchen hauptsächlich, wie eine Lampe an eine Batterie angeschlossen werden muss, um sie zum Leuchten zu bringen.
AG II	Weitere Beobachtungen bei speziellen Stromkreisen, die helfen sollen, die Natur des Stromflusses in Stromkreisen zu verstehen.
AG III	Einführung von Kondensatoren, welche den Gruppen helfen sollen zu bestimmen, woher das „Zeug“ kommt, welches in einem Stromkreis fließt.
AG IV + V	Hier haben die Schüler die Möglichkeit, ein besseres Verständnis der Beziehung zwischen Elementen des Stromkreises und dem Tempo des Stroms und der Funktion des Stroms im Bezug auf das Leuchten der Lampen.

Die verschiedenen Arbeitsgänge sind nach dem Prinzip in Abbildung 2-1 nochmals in drei Phasen unterteilt:

1. Elicitation Phase

Jeder AG fängt mit einer Aktivität an, die Schüler ermutigt, sich in einer Diskussion zu beteiligen, die um irgendein interessantes Phänomen zentriert wird. Die Schüler werden normalerweise gebeten, Vorhersagen zu bilden, diese mit ihrem Wissensstand zu erklären und das Resultat des Experimentes zu beobachten. Der Lehrer übernimmt die Rolle eines Lenkers und Mentors.

2. Development Phase

In dieser Phase arbeiten die Schüler in kleinen Gruppen und prüfen dabei ihre Ideen aus der ersten Phase mit einer Vielzahl von Experimenten. Sie gebrauchen ebenfalls die Computersimulatoren, um ein Feedback zu empfangen. Am Ende stehen Klassendiskussionen

3. Application Phase

Der Zweck der dritten Phase ist es, den Schülern anhand von Aufgaben (auch aus dem Alltag) die „fruitfulness“ (sich in neuen Situationen als erfolgreich erweisen) und vielleicht auch die Beschränkung ihrer Ideen und Modelle zu zeigen.

Ähnlich dazu wäre das Modell „Anknüpfen-Konfrontieren-Umdeuten“ von Duit [3] (S. 4ff).

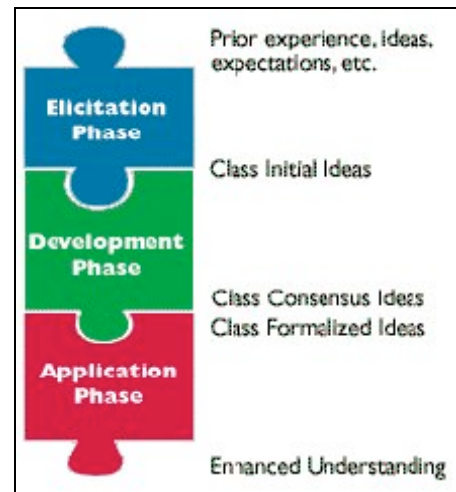


Abbildung 2-1: Drei-Phasen-Modell

2.3 Das Experimentiermaterial

Den Schülern standen zum Experimentieren folgende Materialien zur Verfügung:

- Drei Batterien mit je 1,5 V
- Sechs Lampen (2,2 V; 0,25 A)
- Eine Lampe (3,8 V; 0,07 A)
- Eine Lampe (4,8 V; 0,3 A)
- Ein Kondensator
- Mehrere Kabel mit und ohne Fassung

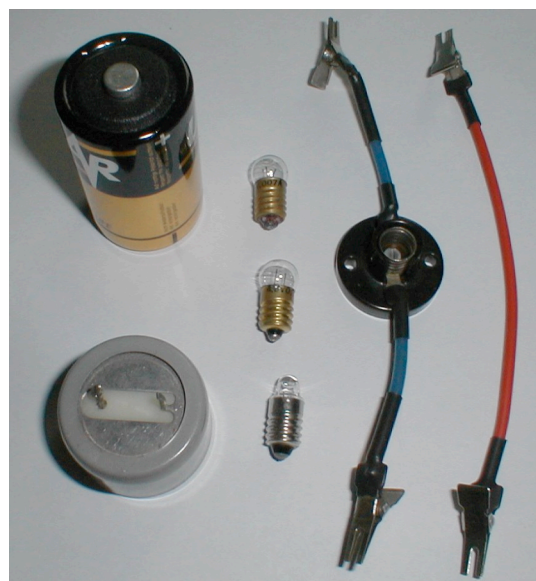


Abbildung 2-2: Experimentiermaterial

2.4 Der CPU-Simulator

Wie schon erwähnt, unterteilt sich die Simulatorsoftware in mehrere Gebiete der Physik (Abbildung 2-3). Durch Hyperlinks geht es dann zu dem entsprechenden Simulator des gewünschten Gebietes. Für diese Arbeit ist der Current Electricity Simulator von Bedeutung, da dieser von mir für die Herstellung der Aufgabenkarten und auch von den Schülern zur Bearbeitung dieser Karten benutzt wurde. Die Simulatoren sind vom Grundgerüst gleich aufgebaut, und zwar so, dass nach einer kurzer Einarbeitung jeder gleich anfangen kann zu experimentieren. Klickt man nun eben diesen Current Electricity Simulator an, so erscheint die Arbeitsfläche dieses Simulators (siehe Abbildung 2-4), welche sich in vier verschiedene Teile gliedert: Zum einen sticht die leere, rot umrandete visuelle Experimentierfläche I hervor, in die man die Bauteile aus der Auswahl II importieren kann. Die Symbole in Abschnitt III sind für individuelle Skizzen, die - wie auch die fertig aufgebauten Experimente - mit Hilfe der Befehle aus IV weiter genutzt werden können, zum Beispiel in anderen Anwendungen wie einer Textverarbeitungssoftware, einem Bildbearbeitungsprogramm oder ähnlichem.

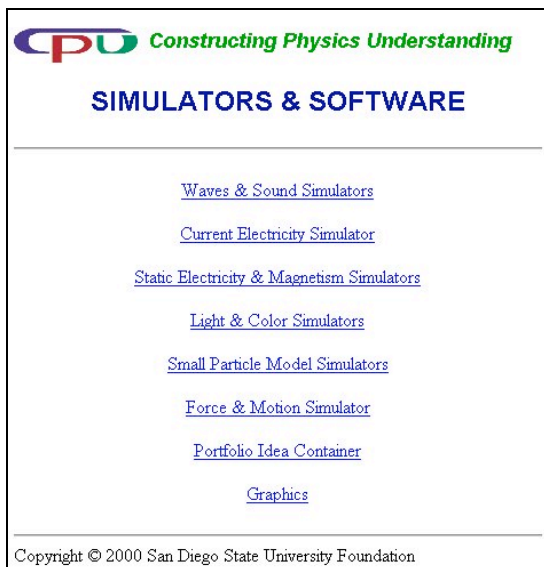


Abbildung 2-3: Eröffnungsbildschirm der Software

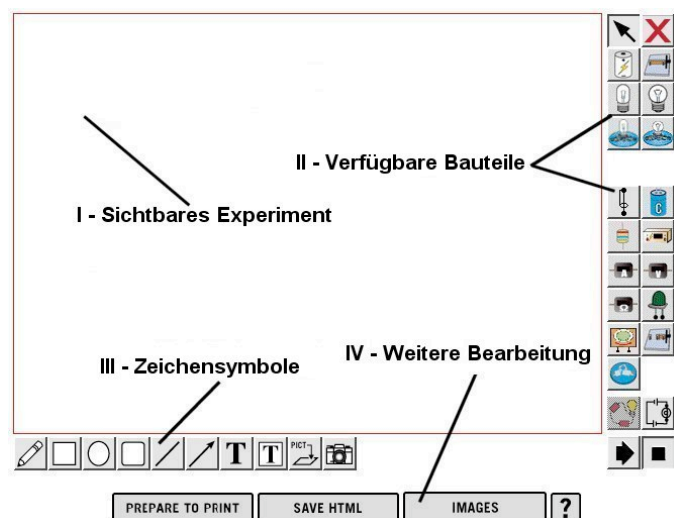


Abbildung 2-4: Grundgerüst des Simulators

Die Erklärung der **vorhandenen Bauteile** erfolgt in der Tabelle auf der nächsten Seite.

	Widerstand	Anschlüsse: schwarze Punkte oben und unten
	Batterie	Anschlüsse: oben und unten. Konstante Spannung: 1,5 V
	Variable Stromquelle	Anschlüsse: + und - Spannungsänderung durch Doppelklick
	Langes Lämpchen	Anschlüsse: Mitte des Gewindes und unten. Leuchtet je nach Stromstärke verschieden hell.
	Kurzes Lämpchen	Anschlüsse: Mitte des Gewindes und unten. Leuchtet je nach Stromstärke verschieden hell.
	Langes Lämpchen + Fassung	siehe oben
	Rundes Lämpchen + Fassung	siehe oben
	Amperemeter	Anschlüsse links und rechts
	Voltmeter	Anschlüsse links und rechts
	Ohmmeter	Anschlüsse links und rechts
	Diode	Beide Anschlüsse unten
	Kondensator	Beide Anschlüsse oben
	Schalter	Anschlüsse an den beiden Enden des Schalters
	Variabler Widerstand	Anschlüsse unterhalb des Widerstandes. Änderung des Widerstandes in der Properties-Box.

Diese Bauteile können in die Arbeitsfläche gebracht werden, indem man das Bauteil auf der rechten Seite markiert und danach an die gewünschte Stelle in der Fläche klickt. Um die Bauteile zu „verkabeln“ geht man folgendermaßen vor:

1. Bringe ein paar Bauteile in das Simulationsfenster.
2. Gehe in den Auswahlmodus durch Anklicken des Pfeilsymbols 
3. Klicke nun auf einen Anschluss eines Bauteils (Abbildung 2-5 a), lasse die Maustaste gedrückt und ziehe die Maus zu einem Anschluss eines anderen Bauteils (Abbildung 2-5 b). So wird ein Kabel gelegt.
4. Kurz vor einem anderen Bauteil leuchtet eine gelbe Box um einen der beiden Anschlüsse dieses Bauteils auf (Abbildung 2-5 c). Bewege die Maus in die gelbe Box und lasse die Taste los (Abbildung 2-5 d).

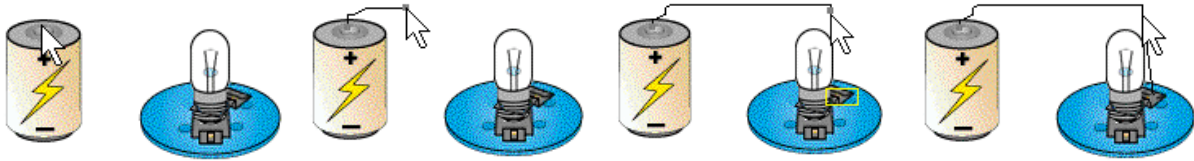


Abbildung 2-5 a

Abbildung 2-5 b

Abbildung 2-5 c

Abbildung 2-5 d

In dem Simulator gibt es zwei Betrachtungsweisen des „virtuellen“ elektrischen Stromkreises. Man kann sich diesen entweder in der realistischen Sicht darstellen lassen, wie er einem (meist) auch im Experiment erscheint, oder in der schematischen Sicht das Schaltbild des elektrischen Stromkreises mit den Standardsymbolen für die verschiedenen Bauteile zeigen lassen. Dabei sind folgende Symbole verantwortlich:



realistische Sicht



schematische Sicht

Um den Schaltkreis zu aktivieren, muss das Run-Symbol  angeklickt werden. Erst dann funktionieren die Messgeräte oder leuchten die Lämpchen. Mit Stop  hält man die Simulation wieder an.

Ein fertiges Experiment könnte demnach in etwa so aussehen:

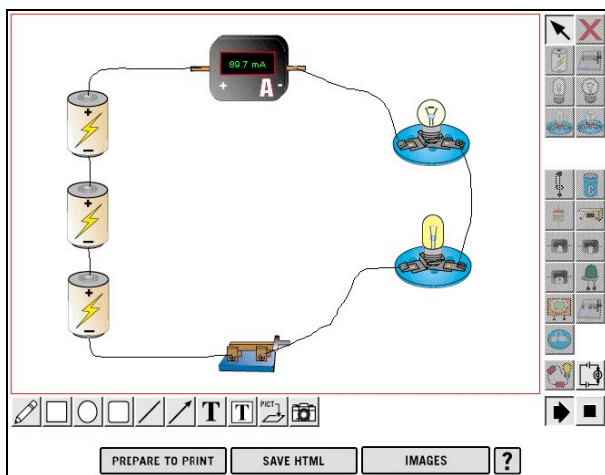


Abbildung 2-6 a: Beispiel in der realistischen Sicht
und im Run-Modus

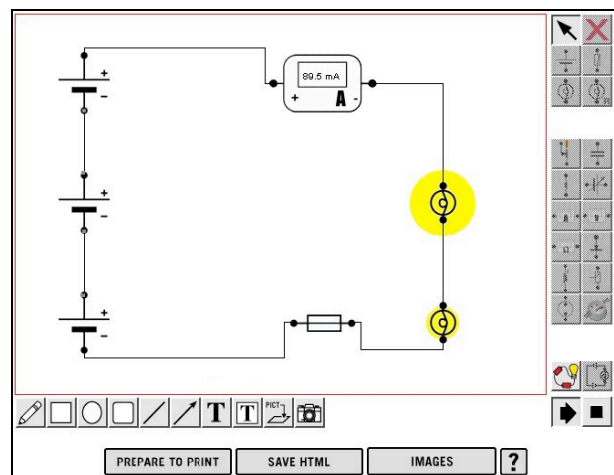


Abbildung 2-6 b: Beispiel in der schematischen Sicht
und im Run-Modus

2.5 Concept Maps

Hinter dem Begriff Concept Mapping verbirgt sich ein recht einfaches Prinzip. Man gibt den Schülern Begriffe eines bestimmten Sachgebietes auf Kärtchen vor, welche die Schüler an der Tafel oder auf einem Blatt Papier ordnen müssen. Zwischen diesen Begriffen müssen die Schüler Verbindungen ziehen und diese auch benennen. Dadurch entsteht ein Netzwerk aus diesen Begriffen, eine sogenannte „Begriffs-Landkarte“ (Concept Maps). Behrendt, Häußler & Reger führen in [2] (S. 18f) auf, dass man mit Hilfe dieser Begriffsnetze unter anderem

- Informationen über das strukturelle Wissen eines einzelnen Schülers oder einer Gruppe von Schülern erhält.
- Erkennen kann, welche Relationen die Schüler zwischen den einzelnen Begriffen sehen.
- Lücken der Netze und Lernschwierigkeiten der Schüler diagnostizieren kann.
- Schülervorstellungen aufzeigen kann.

Die Methode des Concept Mapping fand zuerst in den USA ihre Anwendung, in den siebziger Jahren war es Novak und seine Arbeitsgruppe, die entscheidend dafür prägend war. In Deutschland ist das Concept Mapping noch in den Kinderschuhen, zumindest ist es in den Schulen noch relativ unbekannt bzw. findet dort (noch) keine Anwendung.

Die Auswertung der erstellten Concept Maps erfolgt auf der Basis eines Vergleiches, nur selten kann man mit einem einzelnen Concept Map etwas herausfinden. Welche Art Vergleich dies ist, hängt von der beabsichtigten Studie ab. So könnte nach Peuckert [14] & [5] untersucht werden,

- wie sich ein Map einer bestimmten Person über einen gewissen Zeitraum (Unterrichtseinheit) entwickelt oder verändert (z.B. Anzahl der verwendeten Begriffe, Anzahl der Relationen).
- inwiefern sich ein Map eines Schülers von den Maps seiner Mitschüler unterscheidet.
- ob sich die vom Lehrer gesetzten Lernziele im Map wiederfinden, et cetera.

In meiner Untersuchung wurde in der letzten Sitzung zuerst von jedem Schüler ein individuelles Concept Map (Einzelmap) auf Papier (DinA2) erstellt und danach konstruierte die Dreiergruppe zusammen ein Map (Gruppenmap) an der Tafel. Da nur am Ende der Untersuchung solche Concept Maps erstellt wurden, fällt hier der direkte Vergleich von Untersuchungsbeginn und Untersuchungsende (Lernprozesse) leider heraus. Ich werde aber versuchen, Vergleiche aus den Aussagen der Schüler während der Sitzungen und den am Ende gebildeten Concept Maps zu ziehen.

3. Schülervorstellungen im Allgemeinen

Eine der populärsten Strömungen in der Naturwissenschaftsdidaktik beschäftigt sich mit den Vorstellungen, die Schüler zu bestimmten Themen haben, den Schülervorstellungen. Zu Schülervorstellungen existiert ein umfangreicher Bestand an Ergebnissen und Dissertationen aus der ganzen Welt, und darüber hinaus finden immer wieder Tagungen und Kongresse zu dieser Forschungsrichtung statt. Da es viele Arbeitsgruppen in dieser Forschungsrichtung gibt, die sich jedoch in Zielsetzung und Annahmen unterscheiden, finden sich auch mehrere miteinander verwandte Begriffe:

misconceptions (falsche Vorstellungen)	Auflistung, Untersuchung und Überwindung der Unterschiede und Abweichungen der Denkstrukturen der Schüler zu wissenschaftlichen Konzepten
alternative conceptions (Alltagsvorstellungen)	Paralleles Nebeneinander von existierenden Alltagsvorstellungen - mit einem eigenen Wert für das Handeln im Alltag - und neu entwickelten wissenschaftlichen Vorstellungen
preconceptions (Präkonzepte)	Untersuchung bestimmter Phänomenbeschreibungen von den Schülern
frame works (Denkrahmen)	Untersuchung der allgemeinen Erwartungshaltung und von tiefer verwurzelten Strukturunterschiede zwischen lebensweltlichem und wissenschaftlichem Denken.

In der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Hans Niedderer in Bremen beschäftigen wir uns hauptsächlich mit Präkonzepten, also mit den Beschreibungen bestimmter Phänomene durch die Schüler. Dabei betrachten wir Vorstellungen so, als ob sie im Gehirn gespeichert wären, also als Wissensrepräsentation.

Beobachtet der Schüler ein bestimmtes, eventuell auch unbekanntes Phänomen, so hat er meist eine „Alltagsvorstellung“ (preconception) dafür und versucht, diese unbekannte Erscheinung auf bekannte, schon erlebte oder beobachtete Situationen zurückzuführen. Diese Erklärung, wie auch immer sie ausfällt, basiert auf den preconceptions des Schülers, welche also sozusagen der Ansatzpunkt oder der Filter sind, unter deren Hintergrund die auf den Schüler einwirkende Informationen von ihm gedeutet werden. Diese Informationen erhält der Schüler bewusst oder unbewusst von dem Lehrer, dem Versuch, einem Medium, den Mitschülern oder allgemein von der

Lernumgebung. Aufgrund unterschiedlicher preconceptions verarbeiten verschiedene Schüler diese Informationen auch in verschiedenem Maße, und sie werden entweder ignoriert, abgewiesen oder aufgenommen. Durch neue Wahrnehmungen und deren Interpretation² könnte sich auch eine völlig neue Vorstellung herausbilden, doch meist entwickelt sich eine Variation der Anfangsvorstellung, eine sogenannte Zwischenvorstellung. Diese Zwischenvorstellung weicht in der Regel von der wissenschaftlichen Vorstellung immer noch ab, zeigt uns aber, dass der Schüler einen Lernfortschritt in seinem Lernprozess gemacht hat. Dabei bleibt das ursprüngliche Konzept normalerweise parallel bestehen, und erst wenn das neue Konzept sich öfters als die bessere, individuell benötigte Erklärung erwiesen hat (fruitfulness), wird das alte Konzept erfahrungsgemäß beiseite gelegt, das heißt vom Schüler schwächer gewichtet als die neue Vorstellung³. In extremen Fällen, die jedoch äußerst selten vorkommen, wird die Anfangsvorstellung sogar vergessen. Jetzt hat der Schüler etwas gelernt, denn Lernen funktioniert unserer Ansicht nach als Veränderung oder Entwicklung der Präkonzepte. Dazu schreibt Duit [4] (S. 147f):

Lernen wird als Prozeß der kognitiven Entwicklung gesehen, der von bestimmten vorunterrichteten, also in der kognitiven Struktur bereits vorhandenen, Vorstellungen ausgehend zur naturwissenschaftlichen Sichtweise führt. [...] Beim Lernen verändert sich die kognitive Struktur, Teile werden ergänzt und erweitert, andere werden grundlegend revidiert und neu strukturiert, wieder anderen wird ein veränderter Status und Anwendungsbereich gegeben.

Man könnte jetzt einwenden, dass auch der Lehrer Präkonzepte hat und deshalb eigentlich sehr gut die Schüler verstehen und auf sie zugehen kann. Aber es ist sicher, dass in derselben Situation Lehrer und Schüler verschiedene Präkonzepte haben, und dabei kommt es natürlich zwangsläufig zu irgendwie gearteten Missverständnissen zwischen Lehrer und Schüler. Daher ist es für den Lehrer wichtig, populäre (zumindest einige häufig auftretende) Schülervorstellungen zu kennen, denn es ist schwer, „Schüler dort abzuholen wo sie stehen“, wenn man nicht (genau) weiß, wo das ist.

² Informationen können natürlich nur auf der Basis des eigenen Verständnisses interpretiert werden. Dieses ist aber etwas anderes als das Vorverständnis, mit dem mehr oder weniger konkrete Vorstellungen gemeint sind.

³ Ein schönes Beispiel für die parallel bestehende Anfangsvorstellung ist das Bohr'sche Atommodell. Selbst wir Physiker greifen zuerst auf dieses Schalen- oder Planetenmodell zurück, wenn wir an das Atom denken oder dieses beschreiben sollen. Es ist nun einmal das einfachste, oder besser gesagt, das greifbarste Modell, das Atom zu erklären. Erst nach einer gewissen Zeit kommt dann die veränderte Vorstellung, das Atom mit Hilfe des komplexeren Orbitalmodells zu erklären.

Viele der Probleme im Verständnis zwischen Lehrer und Schüler spielen sich auf der sprachlichen Ebene ab. Der Lehrer versucht normalerweise, die von ihm benutzte Fachsprache den Schülern auch näher zu bringen. Doch es gibt (zu) große Unterschiede zwischen der Fachsprache und der Alltagssprache, obwohl sie meist dieselben Worte benutzen. Während die wissenschaftliche Seite versucht, Begriffe scharf und für verschiedene Situationen äquivalent zu definieren und Formulierungen mit mathematischen Symbolen oder Gliederungen möglichst allgemeingültig zu halten, sind in der Alltagssprache dagegen eher die Begriffe allgemeingültig und werden in verschiedenen Kontexten verschieden benutzt. Schecker [16] bezeichnete diese Begriffe als „Clusterbegriffe“. Des weiteren gibt es in der Alltagssprache auch verschiedene Begriffe, die in verschiedenen Kontexten dasselbe aussagen sollen. In Formulierungen ist die Alltagssprache konkreter und interessiert sich meist nur für das gerade behandelte Problem, mathematische Symbole werden nicht oder äußerst selten benutzt, sondern eher konkrete Zahlen wie Minimal-, Maximal-, und Optimalwerte.

Da der Lehrer schon lange die Fähigkeit verloren (verlernt) hat, die mit der heutigen Theorie in Einklang stehenden Vorstellungen der Schüler in einer Alltagssprache auszudrücken, erkennt er diese während des Unterrichts oft nicht. Er versucht dann, den Schülern ihre Vorstellung mit unbekannten Worten, oder bekannten Worten in unbekannten Kontext, als neue zu „vermitteln“, was nach Niedderer [10] (S. 84) zu drei möglichen Reaktionen der Schüler führen kann:

1. *Er resigniert (Spätere Aussage eines Erwachsenen: „Physik habe ich nie verstanden“).*
2. *Er passt sich an, unterdrückt eigene, spontane Ideen, Fragestellungen und Ansätze und lernt die Sprache des Lehrers als „Fachsprache“ („Der gute Physikschüler“).*
3. *Er rebelliert, entweder durch Störung des Unterrichts (destruktiv) oder durch trotziges Festhalten an anderen Ideen oder Unterrichtsformen (konstruktiv).*

Dieses Phänomen ist wahrscheinlich eines der Grundübel des Physikunterrichtes und auch Grund für die unwahrscheinliche Beliebtheit dieses Faches. Dieses Dilemma kann nur umgangen werden, wenn der Lehrer sein Vorverständnis konsequent zurückhält und die Schüler zu eigenen Ideen und Ansätzen ermutigt. Wagenschein [24] (S. 4 & 9) empfiehlt, zuzusehen, wie aus

„jungen Kindern durch die Begegnung mit absonderlichen Naturphänomenen ursprüngliche Ansätze physikalischen Verstehens herausgefordert werden.[...]“

Sie sind schon von sich aus 'wissenschaftsorientiert' und bleiben es, wenn wir ihnen nicht den Wind aus den Segeln nehmen durch ein Übermaß an Belehrung.“

Als riesiges Problem der Schule der fünfziger Jahre, welches nebenbei bemerkt heute noch aktuell ist, sieht Wagenschein weiterhin ein übertrieben „lineares“ Lehrverfahren, welches immer vom „Einfachen zum Komplizierteren“ fortschreitet und Stoff auf Vorrat häuft. Es ist kaum psychologisch und schon gar nicht pädagogisch, nach dem Motto „Heute kommt nach dem Lehrbuch dies, wir werden es später brauchen“ vorzugehen, denn Lernen ist nicht nur eine Art des Einsammeln, Verstehen ist wesentlich mehr als nur kollektives Nachvollziehen kleiner Einzelschritte und zum Lehren gehört auf jeden Fall mehr als nur die Zubereitung und Darbietung geeigneter Portionen des Stoffes.

Dabei muss doch der Lehrer gerade Ziele setzen, die, wie Maria Montessori sagt, „*wohl außerhalb der Reichweite, aber durch sich Recken des Geistes erreichbar*“ [20] (S. 198) sind; denn der Geist reckt sich nur, wenn er herausgefordert wird. In der realen Situation wird der Lehrer jedoch durch Stofffülle und den Lehrplan dazu verleitet, schnell und damit auch oberflächlich zu arbeiten, wodurch der Lernende kaum eine Chance erhält, mit der Sache selbst durch Tun, Anschauen oder Hören intensiv in Kontakt zu kommen (und auch zu bleiben).

Man sollte also als Lehrer möglichst viele Schülervorstellungen kennen und das nötige Einfühlungsvermögen aufbringen, um sich auf die Stufe des Denkens und Handelns der Schüler begeben zu können. Dass dies nicht automatisch ein Rückschritt sein muss, versteht sich von selbst, denn vergleicht man die Sicht der Schüler und die der Wissenschaft sehr genau, so kommt man zu dem Schluss, dass die beiden Sichtweisen sind nicht unbedingt gegensätzlich und die offensichtlichen Konflikte nur scheinbar sind. Richard Gunstone und Michael Watts bezeichnen dies als „lack of real conflict“ [6] (S. 99).

Aus diesen Gründen werde ich in dem nächsten Abschnitt spezielle Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis ausführlich auflisten und beschreiben.

Für das Studium von Schülervorstellungen finden nach Hans-Peter Voss unter anderem sogenannte „Schemata“ eine große Berücksichtigung. In [22] wird ein Schema als eine allgemeinere kognitive Struktur, von welchen aus die Vorstellungen der Schüler organisiert und gesteuert werden, definiert.

Das Charakteristikum für die Schemata sind die Aussagenfunktionen, die ihnen zugrunde liegen. So steht zum Beispiel die Aussagenfunktion „A gibt B“ für das Gebenschema und „A wird mittels B von C nach D transferiert“ für das Transferschema. Wie man sieht enthalten diese Aussagenfunktionen mehrere Variablen und somit können Schemata unterschiedliche Allgemeinheiten-

grade besitzen. Für uns sind hier die sogenannten generellen Schemata interessant, welche noch nicht durch eine spezielle Anwendungsvorschrift eingeschränkt sind und deshalb bereichsunspezifisch sind. Durch Hinzufügen von speziellen Wertebereichen für die Variablen kann ein generelles Schema eingeschränkt werden. Voss schreibt in [22] (S.275f):

[Die generellen Schemata] steuern die Alltagsvorstellungen der Schüler, können aber gleichzeitig als Basis für physikalisch angemessene Begriffsbildungen verwendet werden.

[...]

Viele Verständnis- und Lernschwierigkeiten von Schülern lassen sich im Licht der Schematheorie deuten. Probleme können entstehen:

- *durch den Zugriff auf ein ungeeignetes Schema*
- *durch das Weglassen wichtiger Variablen eines Schemas*
- *durch den willkürlichen Wechsel zwischen Schemata*
- *durch die Unfähigkeit, mehrere Schemata parallel zu verwenden, wo dies erforderlich ist*
- *durch die Einsetzung vager Alltagsbedeutungen anstelle eindeutiger physikalischer Begriffsbildungen für die Variablen.*

Man kann also zum Verständnis der Schülervorstellungen folgenden Zusammenhang zu Hilfe nehmen:

$\text{Denken} = \text{Schema} + \text{situationspezifisches Alltagswissen}$
--

4. Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis

4.1 Der Stromverbrauch

In der Beschreibung eines Videorekorders findet man folgende Aussage:

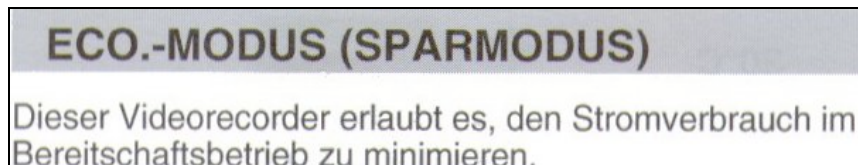


Abbildung 4-1: Aus der Bedienungsanleitung eines Videorekorders

Oder in einer Beschreibung eines anderen Gerätes:



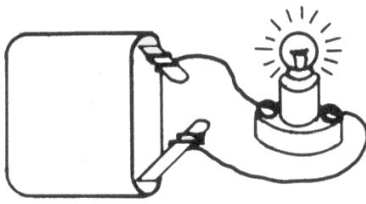
Abbildung 4-2: Aus einer anderen Anleitung eines Elektrogerätes

So sehen im Alltag die Formulierungen vieler Elektrogeräte aus, alle reden von „Strom sparen“ oder „Strom verbrauchen“. Dadurch dass damit ja fast alle Gesellschaftsgruppen angesprochen werden, führen derartige Sprachregelungen dazu, dass sich auch Schüler an diesen Terminus gewöhnen und mit diesen Vorstellungen in den Physikunterricht kommen (vergleiche [9], S. 32f). Der Stromverbrauch ist die am weitesten verbreitete Schülervorstellung - manche würden sagen Fehlvorstellung oder misconception – zu dem Thema elektrischer Stromkreis. Sie taucht in fast jedem Unterricht auf, so dass ich sie hier auch an erster Stelle nennen möchte.

So schreibt zum Beispiel auch Rhöneck [15], dass in der Elektrizitätslehre die Vorstellung vom Verbrauch des Stromes durch ein Lämpchen oder allgemeiner durch einen Widerstand sehr weit verbreitet ist. Grund dafür ist wohl auch die enge Verbindung oder sogar Gleichsetzung der Begriffe Strom und Energie in den Köpfen der Schüler.

An Rhönecks Untersuchung, die vorwiegend aus Ankreuzfragen besteht, waren 414 Zehntklässler beteiligt. Einige der gestellten Fragen und deren Ergebnisse (die richtigen Antworten sind angekreuzt) zeigen ganz deutlich die Vorstellung der Schüler, Strom werde verbraucht:

Sie sehen hier ein Lämpchen an eine Batterie angeschlossen. Das Lämpchen leuchtet. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an!



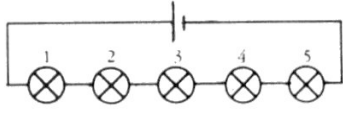
	stimmt	falsch	weiß nicht
1. Die Lampe verbraucht den elektrischen Strom vollständig.	☐	☒	☐
2. Die Lampe verbraucht ein bißchen den elektrischen Strom.	☐	☒	☐
3. Der elektrische Strom von der Batterie zur Lampe kommt völlig unverbraucht von der Lampe zur Batterie zurück.	☒	☐	☐

Abbildung 4-3: Aufgabe 1 zum Stromverbrauch

dass zumindest etwas vom Strom verbraucht wird. Das heißt, drei von vier Schüler glauben an einen Verbrauch des Stromes, wie auch immer der aussehen möchte. Um so erstaunlicher ist es dann, dass bei der folgenden Aufgabe (Abbildung 4-4) 79% ihr Kreuz bei Antwort 2 machen, während „nur“ 20% der Schüler die Verbrauchsvorstellungen 1 und 3 ankreuzen, genauer 4% bei 1 und 16% bei 3. Diese Aufteilung kann man dadurch erklären, dass die Schüler eine unterschiedliche Vorstellung von der Richtung des Stromes haben, entweder zuerst durch Lämpchen 1 oder durch Lämpchen 5 fließt.

Die Aufgabe in Abbildung 4-4 findet sich auch bei Shipstone [18] (S. 128) wieder. Aus den Ergebnissen konnte Shipstone vier Modelle ableiten (Tabelle auf Seite 18), die in der Untersuchung

Fünf gleiche Lampen werden in Reihe an eine Batterie angeschlossen:



Kreuzen Sie an, was richtig ist:

1. Lampe 5 leuchtet heller als Lampe 1.	☐
2. Lampe 5 leuchtet so hell wie Lampe 1	☒
3. Lampe 5 leuchtet schwächer als Lampe 1.	☐

Abbildung 4-4: Aufgabe 2 zum Stromverbrauch

wird von den Bauteilen im Stromkreis vollständig aufgebraucht. Diese Vorstellung bezeichnete Osborne 1981 als „clashing currents model“. Das heißt, der Strom bringt eine Lampe zum Leuchten, indem der „negative Strom“ und der „positive Strom“ in der Lampe zusammenstoßen und wechselwirken. Man kann davon ausgehen, dass von den Schülern, die in Abbildung 4-3 die Antwort 1 wählten, manche dieses Modell der „clashing currents“ ebenfalls im Kopf haben, da

Bei der ersten Frage antworten 27% der Schüler, dass die Antwort 1 richtig ist, und 51% halten die Antwort 2 für stimmig. Die Möglichkeit 3 halten 26% für richtig und 57% für falsch.

Immerhin meint jeder vierte Schüler, dass der Strom in der Lampe vollständig verbraucht wird, und jeder zweite Schüler,

von Rhöneck ebenfalls ersichtlich sind. Dabei spielen für die Verbrauchsvorstellung vor allem die ersten beiden Modelle eine Rolle, und da das zweite mit den Ergebnissen aus Abbildung 4-3 übereinstimmt, werde ich nur das erste Modell betrachten. Bei diesem Modell verlässt der Strom die Batterie an beiden Polen und

zwei Verbindungen von der Batterie zur Lampe vorhanden sind. Andernfalls würde ein Kabel ausreichen, da der Strom ja nicht zurück zur Batterie fließen muss, wenn er vollständig verbraucht wird. Dieses wäre dann eine Verbrauchsvorstellung, bei welcher dem Strom die Bedeutung von Benzin oder allgemein eines Treibstoffs für den „Motor“ Lampe gegeben wird und dieser dort verbraucht wird.

Die vier Modelle von Shipstone:

Modell I:	Der Strom verlässt an beiden Polen die Batterie und wird im Stromkreis vollständig aufgebraucht (clashing currents)
Modell II:	Der Strom fließt in einer Richtung durch den Stromkreis und wird allmählich aufgebraucht, so dass die letzte Lampe am wenigsten bekommt.
Modell III:	Der Strom wird gleichmäßig unter den Komponenten aufgeteilt. Noch keine Erhaltung des Stromes.
Modell IV:	Wissenschaftliche Sicht, ähnlich Modell II. Der Strom ist überall im Stromkreis derselbe.

Voss beschäftigt sich wie schon erwähnt mit dem Gebrauch von Schemata im Zusammenhang mit dem einfachen elektrischen Stromkreis. Hierzu gibt er auf Seite 289 in [22] unter anderem folgende Anwendungsbeispiele für generelle Schemata:

Schema	Aussagenfunktion	Beispiel Alltag	Beispiel Schülervorstellung	Beispiel Physik
Ding (Substanz)	A ist Ding (Substanz)	Ein Stein ist ein Ding (eine Substanz)	Der elektrische Strom ist ein Ding (eine Substanz)	Ein Ladungsträger ist ein Ding (eine Substanz)
Geben/ Nehmen	A gibt B / C nimmt B	Achim gibt den Ball / Clara nimmt den Ball	Die Batterie gibt Strom / das Glühlämpchen nimmt Strom	Ladungsträger geben Energie ab / ihre Stoßpartner nehmen Energie auf
Speicherung	A speichert B	Ein Silo speichert Getreide	Die Batterie speichert Strom	Der Kondensator speichert elektrische Energie
Verbrauch	A verbraucht B	Die Heizung verbraucht Öl	Das Lämpchen verbraucht Strom	Das Lämpchen „verbraucht“ elektrische Energie
Hemmung	A hemmt B	Der Fallschirm hemmt den Fall	Das Lämpchen hemmt den Strom	Unregelmäßigkeiten im Metallgitter hemmen die Bewegung der Ladungsträger
Umwandlung	A wandelt B in C um	Feuer wandelt Holz in Kohle um	Das Lämpchen wandelt Strom in Licht um	Das Lämpchen wandelt elektrische Energie in Strahlungsenergie um
Bedarf	A richtet sich nur nach dem Bedarf von B (ohne Rücksicht auf die Umstände)	Die Pflanze nimmt soviel Wasser wie sie braucht (ohne Rücksicht auf das Wasserangebot in der Erde)	Das Lämpchen nimmt sich an Strom, was es braucht	Sollgröße in einem Regelkreis
Aufteilung	A und B teilen sich C	Achim und Beate teilen sich ein Stück Torte	Zwei hintereinander geschaltete Lämpchen teilen sich den Strom	Bei Verzweigung „verteilt sich“ der Strom auf beide Äste

Von diesen neun Schemata spielen einige bei den verschiedenen Verbrauchsvorstellungen eine große Rolle und ich denke, diese sind sehr ersichtlich und müssen nicht noch einmal aufgezählt werden. Man erkennt auch, dass manche Schemata in Bezug auf eine Schülervorstellung nur im Zusammenhang miteinander gesehen werden können.

4.2 Differenzierung von Spannung und Strom

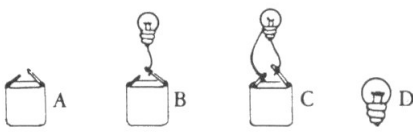
In Knaurs' deutschem Wörterbuch [7] findet man unter dem Begriff Spannung:

Spannung ... 8 [Elektr.] Stärke des elektrischen Stromes; eine S. von 220 V

Hier wird ganz klar, dass unter „Stärke“ alltagssprachlich etwas wie „Kraft“ oder „Potenz“ assoziiert wird. Man erhält also aus dem Wörterbuch die Aussage, die Spannung sei eine Eigenschaft des Stromes. Dies ist genau die Vorstellung, mit der viele Schüler der Elektrizität im Alltag und auch im Physikunterricht begegnen [12] (S. 394-399).

Bei Rhöneck [15] findet man auch hierzu zwei Aufgaben, die eine Unterscheidung von Spannung und Strom bei den Schülern ermöglichen:

Betrachten Sie die vier Abbildungen A, B, C und D, die brauchbare Batterien und Lämpchen enthalten.



Lesen Sie nun jeden der vier folgenden Sätze durch. Ein Satz kann auf mehrere Abbildungen zutreffen. Wenn der Satz zutrifft, machen Sie bitte in dem entsprechenden Kästchen ein Kreuz.

	A	B	C	D	weiß nicht
1. Das Lämpchen leuchtet in:	☐	☐	☒	☐	☐
2. Elektrischer Strom ist in:	☐	☐	☒	☐	☐
3. Elektrische Stromstärke ist in:	☐	☐	☒	☐	☐
4. Elektrische Spannung ist in:	☒	☒	☒	☐	☐

Wird von den Schülern nicht zwischen Spannung und Strom unterschieden, so müssten diese in Abbildung 4-5 bei Antwort 2 und 4 gleich ankreuzen, was bei 36% der Fall ist. Die Möglichkeit 2 wird dennoch von $\frac{3}{4}$ der Schüler richtig angekreuzt, die Möglichkeit 4 nur noch von der Hälfte (aufgrund der Nichtunterscheidung zwischen Spannung und Strom).

Abbildung 4-5:

Verwendung der Begriffe Strom, Stromstärke, Spannung

Die Ergebnisse der Aufgabe in Abbildung 4-6 lassen ebenfalls den Schluss zu, dass in den Köpfen vieler Schüler Strom und Spannung nicht unterschieden werden. Immerhin stimmten 41% der Möglichkeit 1a zu und 54% nicht. Ein anderer wichtiger Punkt ist die Zustimmung von $\frac{3}{4}$ der Schüler bei Aussage 2, welcher die Hypothese stützt, dass nicht nur zwischen Strom und Spannung wenig differenziert wird, sondern auch noch Strom und Energie gleichgesetzt wird.

Sie finden hier einige Sätze zur elektrischen Spannung, zum elektrischen Strom und zur Energie. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an!

	stimmt	falsch	weiß nicht
1.a Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor.	☐	☒	☐
1.b Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen.	☒	☐	☐
1.c Der elektrische Strom kann auch einmal ohne die elektrische Spannung vorkommen. *)	☐	☒	☐
2. Der elektrische Strom ist Energie.	☐	☒	☐

Abbildung 4-6:

Differenzierung von Strom und Spannung bzw. Energie

chung bestätigt, in der bei $\frac{1}{3}$ der gegebenen Erklärungen die Spannung als etwas fließendes behandelt wird:

[...] the reading on V_2 will increase, because more voltage is passing through the current in V_2 .

4.3 Lokales und sequenzielles Denken

Diese beiden Denkweisen sind vom Ansatz her gegensätzlich, aber dennoch ähnlich zu sehen. Bei der lokalen Argumentation geht es darum, dass der Strom sich so verhält, als wüsste er nicht, was später im Stromkreis noch alles passiert. So teilt sich dieser Vorstellung nach der Strom in Abbildung 4-7 bei drei gleichen Lampen in $I_1=0,3$ A, $I_2=0,3$ A und $I_3=0,6$ A auf. Genau dieses scheint bei Rhöneck [15] bei 60% der Schüler der Fall zu sein, dreimal so viele als diejenigen, welche die Frage richtig beantworten, d.h. $I_1=I_2=I_3=0,4$ A angeben.

Häufig ist zu beobachten, dass Schüler und auch Lehrer dem Verlauf des Stromes von einem Pol der Batterie, meist der negative, bis zu dem anderen Pol folgen und auch so argumentieren. Dies führt dann bei einigen zwangsläufig zu der sequentiellen Vorstellung, denn hinter dieser verbirgt sich folgendes: Ändert man etwas *vorne* im Stromkreis, so hat dies ganz klar auch Auswirkungen

auf das, was noch im Stromkreis folgt, was *hinten* ist. Dagegen wirkt sich eine Änderung *hinten* im Stromkreis nicht auf die *vorderen Regionen* des Stromkreises aus, da der Strom dort schon vorbei ist.

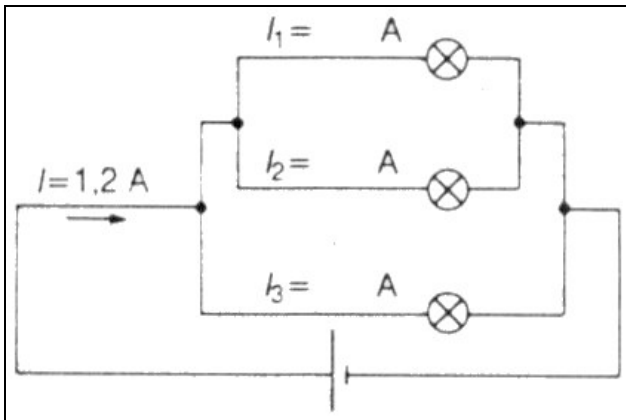


Abbildung 4-7: Lokale Argumentation

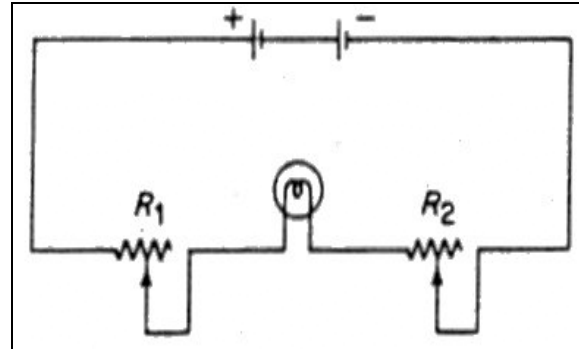


Abbildung 4-8: Sequentielle Argumentation

Shipstone hat diese Argumentation in der eigenen Untersuchung ebenfalls festgestellt. Dabei hat Shipstone Vorhersagen zu dem in Abbildung 4-8 gezeigten Stromkreis machen lassen. Die Schüler mussten ankreuzen, ob sich die Helligkeit der Lampe verändern oder gleich bleiben wird, wenn man einerseits R_1 und andererseits R_2 vergrößert bzw. verkleinert. Das Ergebnis ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Dazu bleibt noch zu sagen, dass der Test mit ganzen Klassen der ersten vier Jahre und des sechsten Jahr an drei comprehensive schools durchgeführt wurde. Es ist in Abbildung 4-9 deutlich zu sehen, dass der Gebrauch der sequentiellen Argumentation bis zum dritten Jahr stetig ansteigt und danach bis hin zum sechsten Jahr wieder auf den Ursprungsprozentsatz zurückgeht. Dabei gibt die Linie $\square \cdots \square$ das Ergebnis in Bezug auf die Frage bezüglich Abbildung 4-8 und die Linie $+ \cdots +$ das Ergebnis des ganzen Tests an.

Der Verlauf lässt sich vielleicht dadurch erklären, dass zu Beginn die Schüler die Vorstellung haben, alles hat eine Richtung, auch der Strom. Somit kann, wie z. B. bei einer elektrischen Eisenbahn, ein Hindernis an einer bestimmten Stelle die Bahn nur dort blockieren, wo die Bahn darauf trifft und nicht schon beim Anfahren am Bahnhof. Dieses Modell wird in den nächsten beiden Jahren noch verfeinert,

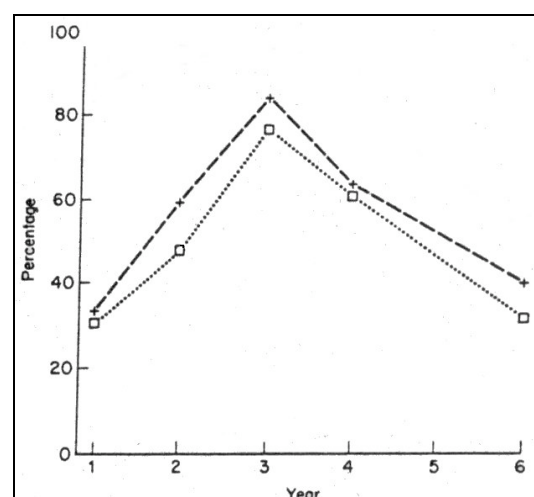


Abbildung 4-9: Ergebnisse bei Shipstone zur sequentiellen Argumentation

bis hin zu dem Modell, dass Elektronen fließen, die ja einzeln eher den Charakter eines einzelnen Zuges haben. Erst am Ende des dritten oder zu Beginn des vierten Jahres entwickelt sich die Vorstellung, den Stromkreis als etwas Einheitliches, etwas Gesamtes zu sehen und somit nimmt die sequentielle Vorstellung prozentual wieder ab.

Bei Voss [22] könnte man dazu das Dingschema und das Hemmungsschema heranziehen. Strom ist ein Gegenstand wie eine elektrische Bahn, der in einem Kreis fließt. Baut man ein Lämpchen in den Stromkreis ein, so wirkt dies wie ein Baumstamm auf der Strecke und der Strom wird durch dieses nur an einer bestimmten Stelle beeinflusst.

4.4 Der Widerstand

Schüler haben oft Probleme, mit dem Widerstandsbegriff umzugehen. Diese Schwierigkeiten können - und sind es auch überwiegend - verschiedenen Ursprungs sein. Zwei dieser Problematiken des Widerstandsbegriffes werde ich hier beschreiben: Einmal die auf grafischer Ebene basierenden Ansätze und zum anderen die Vorstellung, dass der fließende Strom proportional zum Widerstand ist.

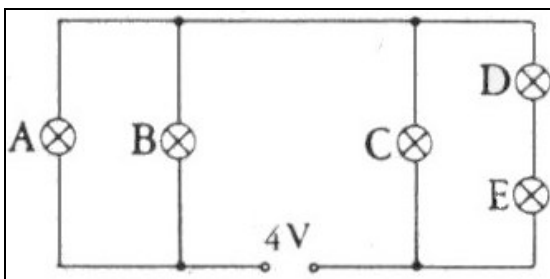


Abbildung 4-10: Geometrische Probleme

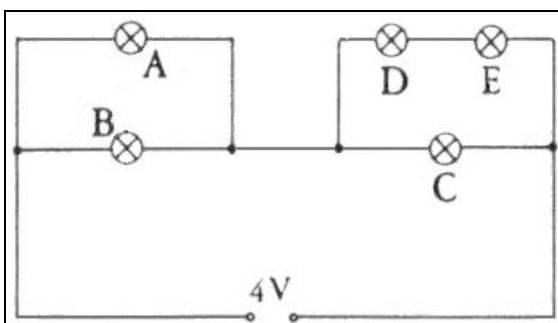


Abbildung 4-11: Geometrische Probleme entschärft

In Abbildung 4-10 ist wieder eine Aufgabe aus [15] dargestellt. Hierbei geht es darum, die Helligkeit der Lämpchen B und C miteinander zu vergleichen. Selbst als Physiker muss man doch zweimal hinschauen, um zu erkennen, dass die Lämpchen B und C in Reihe geschaltet sind. Auf den ersten Blick sieht es nämlich so aus, als ob B und C parallel wären, aber der geometrische Eindruck täuscht. Auf dieser Tatsache beruhen auch einige Vorstellungen und Antworten der Schüler. Würde man die Abbildung 4-11 als Aufgabe verwenden, so würde auf jeden Fall mehr Schülern klar sein, dass B und C hintereinander geschaltet sind. Noch schwieriger wird es natürlich bei komplexeren Schaltungen, die dann auch wesentlich unübersichtlicher sind. Diese Schwierigkeiten wur-

den auch schon von McDermott [8] (S. 500f) erkannt und sie fördert durch gezielte Aufgaben (Abbildung 4-12) das geometrische Denken und Urteilen der Schüler. So sollen sie zum einen in Abbildung 4-12 (links) erkennen wie die Lampen bei verschiedenen Schalterstellungen angeordnet sind. Die Auswahl an Aufgaben reicht von relativ einfach bis hin zu komplexen Schaltskizzen. Darüber hinaus sollen Schüler ihr Denken zum Beispiel anhand von Abbildung 4-12 (rechts) strukturieren und aus einer gegebenen Auswahl die passende Schaltskizze finden.

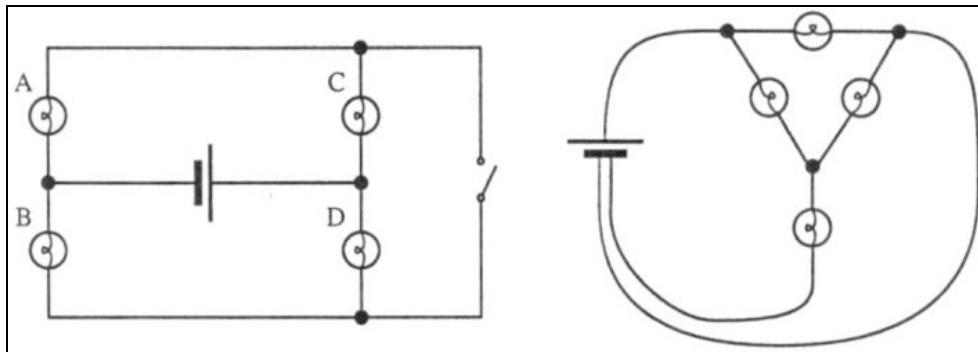


Abbildung 4-12: Aufgaben zur Schärfung der „geometrischen Sinne“

Eine weitere Schwierigkeit im Umgang mit dem Strombegriff ist wie eingangs erwähnt ganz anderen Natur. Bei Rhönecks Untersuchung ging jeder siebte Schüler davon aus, dass bei einer

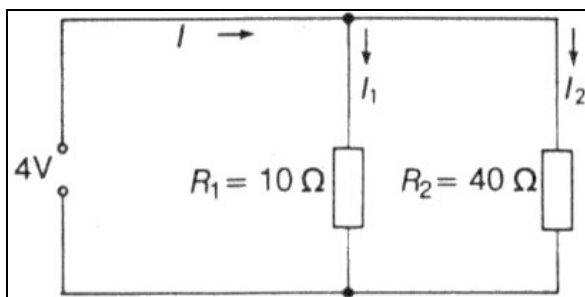


Abbildung 4-13: Größerer Widerstand, größerer Strom?

Vergrößerung des Widerstandes R_2 in Abbildung 4-13 von $40\ \Omega$ auf $50\ \Omega$ dort dann auch ein größerer Strom fließt. Jeder zehnte Schüler stellt sich vor, dass sowohl I_1 als auch I_2 und I konstant bleiben. Immerhin glaubt $\frac{1}{4}$ der Schüler an einen konstanten (konstant bleibenden) Strom der Batterie (siehe [25], S. 308), das heißt I_1 steigt und I_2 sinkt, was sich zum Teil mit 4.2 in meiner Arbeit erklären lässt.

In diesem Zusammenhang ist noch ein weiteres Modell, das sogenannte Sink-Modell zu erwähnen. Dieses steht in einem direkten Zusammenhang mit dem Geben/Nehmen-Schema von Voss (Tabelle auf Seite 18). Dabei nimmt sich die Lampe gerade eben mal so viel von dem Strom, wie sie braucht, sie bestimmt die Menge an Strom, die „in die Lampe fließt“. Demnach wird eine Lampe heller, wenn ihr Widerstand kleiner wird.

5. Ergebnisse

Wie schon aufgeführt, bekamen die Schüler die zu bearbeitenden Aufgaben auf Karten geliefert, die im übrigen im Anhang ab Seite 62 zu finden sind. Meine Anweisung an die Schüler zur Bearbeitung der Karten bestand darin, sich für die einzelnen Aufgaben (nach Ihrem Empfinden) genügend Zeit zu lassen und lieber etwas mehr miteinander zu reden als nur Ergebnisse zu vergleichen. Dabei gibt es drei Kategorien von Aufgabenkarten: Die grünen Karten sind in dreifacher Ausführung vorhanden und sollen von jedem Schüler individuell bearbeitet werden; die gelben Karten dagegen sind in der Gruppe zu bearbeiten und existieren auch nur in einfacher Ausführung. Die dritte Kategorie wird von den blauen Informationskarten vertreten, wobei es den Schülern offen gestellt ist, deren Aussage zu verwenden oder auch nicht.

In der ersten Doppelstunde lagen die Karten 1.1 bis 2.9 zur Bearbeitung auf dem Tisch bereit. Meine Intention bestand darin, mehr Karten anzubieten als von den Schülern bearbeitet werden können, und eigentlich dachte ich, dass die Schüler in dieser ersten Doppelstunde höchstens bis zur Karte 2.1 oder 2.2 kommen würden. Die Schüler waren jedoch zu Beginn der Doppelstunde recht schweigsam und beschränkten sich nur auf das für sie wesentliche, nämlich die Ergebnisse nur zu vergleichen, aber nicht zu diskutieren. Im Nachhinein gesehen kann dieses Verhalten verschiedene Gründe haben: Mangelnder Diskussionsbedarf an sich, da für sie alles klar war, oder die neue und für die Schüler eigenartige Situation, in der sie sich befanden. Es ist schon befremdend, in einem fremden Raum von einer Kamera aufgenommen zu werden, während man miteinander diskutiert. Außerdem hatte ich den Eindruck, dass die Schüler möglichst keine Fehler machen wollten und auch deshalb ihre Aussagen so knapp wie möglich gehalten haben. Durch diese Tatsachen waren die Schüler natürlich schneller in der Bearbeitung als erwartet und hatten ca. 20 Minuten vor Ende der Doppelstunde sogar die Aufgabe 2.9 bearbeitet. Da ich nicht jetzt schon die nächsten Karten austeilen wollte, bekamen die Schüler noch eine Zusatzaufgabe gestellt, welche die Schüler zum erstem Mal richtig veranlasste, intensiv zu diskutieren, und innerhalb der verbleibenden 20 Minuten für sie zu keinem befriedigendem Endergebnis führte.

Für die zweite Doppelstunde wurden den Schülern zwei Wiederholungskarten und die Karten 3.1 bis 4.6 angeboten. Die zweite Doppelstunde begann aber mit der Fortsetzung der Zusatzaufgabe und es dauerte ca. 15 Minuten bis die Schüler mit der gefundenen Lösung und Erklärung zufrieden waren und zur nächsten Karte übergingen. Insgesamt war diese Sitzung für meine Auswertung produktiver, da die Dreiergruppe wesentlich intensiver über die Aufgaben diskutierte als in

den ersten Sitzung, was sich auch in den Transkripten niederschlägt; waren für die erste Doppelstunde noch 11 Seiten ausreichend, so umfasst das Transkript der zweiten Doppelstunde schon 22 Seiten. Die Schüler bearbeiteten an diesem Tag die Karten bis einschließlich 4.4, für die nächste Sitzung blieben also die Karten 4.5 und 4.6 übrig.

Zusätzlich zu diesen beiden Karten kam als abschließende Aufgabe in der dritten Sitzung noch die Karte „Knobel“ hinzu, bevor die Schüler mit dem Erstellen der individuellen Concept Maps begannen. Den Abschluss bildete ein Gruppenmap an der Tafel.

Zeitliche Übersicht der drei Doppelstunden:

1. Doppelstunde		2. Doppelstunde		3. Doppelstunde	
Zeit	Karte	Zeit	Karte	Zeit	Karte
0.00.00	1.1	0.03.20	Zusatzaufgabe	0.01.55	Wdh. von 4.3
0.03.31	1.2	0.17.56	Wiederholung	0.06.20	4.5
0.09.52	1.3	0.25.01	Information Wdh.	0.16.52	4.6
0.13.32	1.4	0.30.50	3.1	0.35.20	Knobel
0.25.30	1.5	0.31.30	3.2	1.00.45	Einzelmap
0.27.42	2.1	0.33.20	3.3	1.47.35	Gruppenmap
0.31.08	2.2	0.41.28	3.4	1.56.55	Besprechung G-M
0.41.57	2.3	0.43.37	3.5	2.04.17	ENDE
0.43.12	2.4	0.50.45	3.6		
0.43.33	2.5	0.51.44	3.7		
0.54.37	2.6	0.57.04	3.8		
1.01.40	2.7	1.00.53	4.1		
1.04.41	2.8	1.11.20	4.2		
1.06.25	2.9	1.15.40	4.3		
1.09.00	Zusatzaufgabe	1.22.26	4.4		
1.30.30	ENDE	1.38.15	ENDE		

5.1 Präkonzepte und Lernprozesse der Schüler bei der Aufgabenkarte 2.1

Die Schüler kommen wie gesagt in der ersten Doppelstunde weiter in der Bearbeitung der Karten voran als von mir erwartet. Das liegt vor allem an der extrem schnellen Bearbeitung der Karten 1.1 bis 1.5. Meinem Eindruck zu Folge sind die Schüler hier nicht genug gefordert, da für sie „alles klar“ scheint und die Kompliziertheit der Aufgaben zu niedrig ist. Es besteht für die Schüler - vielleicht auch deswegen - kein Bedarf an irgendwelchen Diskussionen, da sie sowieso alles übereinstimmend haben. Insgesamt sind diese Karten also wenig aufschlussreich für mich insofern, da wenig geredet oder diskutiert wird, zeigen mir aber dennoch, dass Schüler, welche gerade den Realschulabschluss machen und die Note „sehr gut“ in Physik haben, offensichtlich bei dieser Art Karten unterfordert sind. Bei den darauf folgenden Karten sollte dies jedoch anders werden.

Um die Karte 2.1 (Abbildung 5-1) jeweils individuell zu bearbeiten, benötigen die Schüler ca. 3 ½ Minuten. Die Aufgabe 2.2 besteht darin, die Ergebnisse zu vergleichen und Abweichungen voneinander in der Bearbeitung der Aufgabe 2.1 zu diskutieren. Die Ergebnisse der Schüler sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Vervollständige folgende Aussagen in Einzelarbeit:

Für die Kästchen hast Du folgende Auswahl:

heller als
genauso hell wie
dunkler als
aus, also dunkler als

Lämpchen B ist Lämpchen A
Lämpchen C ist Lämpchen A
Lämpchen C ist Lämpchen B
Lämpchen D ist Lämpchen A
Lämpchen E ist Lämpchen A
Lämpchen E ist Lämpchen D
Lämpchen D ist Lämpchen B

Abbildung 5-1: Aufgabenkarte 2.1

	Dominik	Matthias	Janine	
Lämpchen B ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	genauso hell wie	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen B
Lämpchen D ist	genauso hell wie	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen E ist	aus	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen E ist	aus	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen D
Lämpchen D ist	heller als	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen B

Da es in den ersten drei Teilaufgaben keine Abweichungen gab, werde ich in den Transkripten beim Vergleich der vierten Teilaufgabe einsteigen (Anhang Seite 78). Dabei werde ich im Folgenden die rechte Spalte für Zuordnungen bestimmter Aussagen zu bestimmten Modellen, Schemata et cetera nutzen und die Namen der Schüler in der linken Spalte aus Platzgründen abkürzen: Janine (J), Matthias (M) und Dominik (D). Darüber hinaus sind die Transkriptauszüge zur besseren Übersicht kursiv und mit einzeiligem Abstand geschrieben.

M: <i>Lämpchen D ist ...</i>	
J: <i>Dunkler als.</i>	
D: <i>Genauso.</i>	
M: <i>Dunkler als.</i>	
D: <i>Als A?</i>	
M: <i>OK, jetzt müssen wir darüber diskutieren.</i>	
D: <i>Ich hab da genauso.</i>	
M: <i>Aber wieso?</i>	
D: <i>Ich gehe davon aus, dass der ... Strom sucht sich ja normalerweise den einfachsten Weg, oder?</i>	Einfachster + kürzester Weg / Sink-Modell
J: <i>[zustimmendes] Mmh</i>	
D: <i>Das heißt er würde einfach nur hier durch das eine Lämpchen fließen, gar nicht durch E.</i>	
<i>[...]</i>	
J: <i>Können wir dann ja ausprobieren. Machen wir ein Fragezeichen dran.</i>	
<i>[...]</i>	
M: <i>Lämpchen E ist.</i>	
J: <i>Dunkler als.</i>	
M: <i>Ja.</i>	
D: <i>Als A? Ich hab aus. Ich hab bei E: aus.</i>	Einfachster Weg
M: <i>Und beim nächsten E?</i>	
D: <i>Auch aus. Ja E kann ja nicht einmal an und einmal aus sein.</i>	
M: <i>Ja ... Und Lämpchen D?</i>	
D: <i>Ist heller als B.</i>	
J: <i>Genauso hell hab ich beim letzten.</i>	Sink-Modell / lokale Argumentation
M: <i>Ja ich auch.</i>	
D: <i>Bei D hab ich volle Power.</i>	
M: <i>Ja, probieren wir es einfach aus.</i>	
D: <i>OK.</i>	
J: <i>Wir probieren es.</i>	

Janine und Matthias meinen beide, dass sowohl das Lämpchen D als auch das Lämpchen E dunkler ist als das Lämpchen A. Nur Dominik sagt, das Lämpchen D leuchtet genauso hell wie Lämpchen A, jedoch meint er auch, dass E ganz aus sei, da der Strom sich den einfachsten (kürzesten?) Weg sucht und deshalb nur durch D fließt und gar nicht durch E. Diese Vorstellung lässt sich im gewissen Sinne mit der **lokalen Argumentation** (siehe 4.3) erklären, bei welcher der Strom nicht „weiß“, was später noch passiert. Dass dies nicht ganz zutreffend ist, sieht man an

der Aussage, der Strom würde den **einfacheren Weg** nehmen, denn dann wüsste er ja doch, was noch passiert. Vielleicht kommt Dominik auch deshalb zu der Aussage, das Lämpchen E sei aus, weil der Strom, wenn er in dem Parallelstromkreis durch E fließen sollte, einen größeren Widerstand zu überwinden hat aufgrund der längeren Kabel. Diese Begründung des größeren Widerstandes mit der Länge des Kabels taucht in den drei Sitzungen öfters bei den Schülern - auch bei Dominik - auf. Ein dahinter steckendes Modell könnte auch das **Sink-Modell** sein, das heißt Lämpchen D nimmt sich so viel von dem Strom, wie es braucht, und danach bleibt für E nichts mehr übrig. Dieses wäre auch nach Voss [22] mit dem **Bedarfsschema** gleich zu setzten. Diese Vorstellung wird jedoch hier nicht explizit zum Ausdruck gebracht.

Beim Vergleich der Helligkeit von D mit B zeigt sich bei Matthias und Janine klar die Vorstellung der lokalen Argumentation: die beiden Lämpchen D und B leuchten gleich hell für sie, der Strom teilt sich im Parallelstromkreis also ohne Vorahnung in zwei gleich große Teile auf, so dass die Lämpchen genauso hell wie im Reihenstromkreis sind. Das dazu passende Schema ist das **Aufteilungsschema** [22], bei dem sich zwei hintereinander geschaltete Lämpchen den Strom teilen. Janine und Matthias erweitern dieses noch, indem sie das Aufteilungsschema ebenfalls auf den Parallelstromkreis beziehen. Identisch damit ist das Modell III nach Shipstone [18], welches darüber hinaus noch von Stromverbrauch ausgeht. Dieser Zusatz des Verbrauches kommt bei den drei Schülern hier jedoch (noch) nicht zum Zuge. Redet man vom **Share-Modell**, so sollte noch erwähnt werden, dass es zwei Möglichkeiten gibt, dieses zu verwenden. Zum einen kann man das Modell im Hinblick auf die Erhaltung des Stromes sehen, zum anderen eben unter dem Gesichtspunkt des Verbrauches. Sprechen die Schüler zum Beispiel davon, dass der Strom sich an einer bestimmten Stelle des Stromkreises teilen muss, und etwas weiter „hinten“ im Stromkreis wieder zusammenkommt, dann deutet alles auf eine Erhaltung des Stromes hin. Käme noch die Aussage hinzu, dass der Strom, wenn er sich zusammenfügt etwas schwächer ist als vorher, dann würde das Sink-Modell mit Verbrauchsvorstellung zu tragen kommen. Im weiteren Verlauf meiner Arbeit werde ich diese beiden Unterschiede jeweils in Klammer ergänzen, das heißt mit Share-Modell (E) und Share-Modell (V) kennzeichnen.

Zieht man oben auch die Möglichkeit in Betracht, dass sich die Lämpchen B, C, D und E jeweils die benötigte Menge an Strom selbst bestimmen, so könnte auch das Sink-Modell in den Köpfen vertreten sein. Bei Dominik ist die Antwort, dass Lämpchen D heller als A ist, zwangsweise logisch, denn D leuchtet „volle Power“, da E aus ist.

Auf die Besprechung der Abweichungen folgt eine Experimentierphase zur Kontrolle der Vorhersagen, in der die Frage nach der relativen Helligkeit der Lämpchen A und D bzw. E zueinander wieder auftaucht:

[... Vergleich von Stromkreis I und III]	
D: Sch..., na gut.	
J: Gewonnen!	
D: Na gut, dann habt ihr also recht, also ist das ... D ist genauso ...	
J: Dunkler als ... aber es kann auch genauso sein, das wissen wir nicht	Mit Auge nicht erkennbar
D: Ihr habt den falschen Stromkreis gebaut, wir müssen erst einmal den hier machen, den B	
[...]	
M: Auf jeden Fall der [A] war heller als die [D und E], allein schon dadurch durch die verschiedene Spannung da.	Aufteilungsschema von U im Parallelstromkreis
[... Stromkreis II: Lämpchen leuchten zu schwach]	
J: Nimm doch mal ne andere Batterie, vielleicht ist die etwas leer.	Tank – Benzin - Modell
M: Aber das sind doch sicher alles neue.	
J: Denk ich auch.	
M: Also haben wir einen Fehler. Aber warum sind die	
D: Ja weil sich die Spannung aufteilt.	Richtig, aber vielleicht U und I sinngemäß vertauscht?
J: Das eine ist parallel und das andere ist in Reihe geschaltet.	
M: Also [...] korrigieren wir das. Und B und C waren immer dunkler als A?	
D: B und C ist dunkler. C ist dunkler als B. Nein das ist genauso. D... waren D und A genauso hell?	
M: Nee.	
[... Vergleich von D mit A]	
D: Die sind genauso hell.	
M: Nein, glaub ich nicht ... will ich nicht glauben.	Believing is seeing
D: Die sind genauso.	
M: Nein, kuck mal da mittenrein.	
J: Fast gleich ... aber eigentlich müssten die gleich sein ... nur ein Fehler.	

In der Experimentierphase erweitert Matthias sein Aufteilungsschema dahin gehend, dass im Parallelstromkreis eine andere Spannung ist als im einfachen Stromkreis mit nur einem Lämpchen. Ob und wie sich die Spannung aufgrund des größeren Widerstandes im Parallelstromkreis verändert oder aufteilt, wird aus den Aussagen nicht ersichtlich. Da er aber die Helligkeit der beiden Lämpchen D und E gleichsetzt und diese dunkler sind als A, kann man darauf schließen, dass sie sich entweder auf D und E aufteilt oder dass sie bei zwei parallelen Lämpchen geringer ist. Matthias glaubt so fest an die unterschiedliche Helligkeit von D und A, dass er auch während des Experimentes, bei dem für Dominik eindeutig die gleiche Helligkeit bei beiden Lämpchen zu

sehen ist, keine Unterschiede feststellt. „*Nein, glaube ich nicht ... will ich nicht glauben*“ ist ein typischer Fall von „**believing is seeing**“ (nur das sehen, woran man glaubt).

Auch Dominik redet von einer Aufteilung der Spannung, allerdings im Bezug auf den Reihenstromkreis, was korrekt ist. Ob er die Begriffe Spannung und Strom an dieser Stelle gleichsetzt oder vertauscht, bleibt offen, auch nach genauerer Analyse der entsprechenden Transkriptstellen. Als beim Aufbau des Stromkreises II die Lämpchen B und C extrem schwach leuchten, liegt dies für Janine an der Batterie, die vielleicht etwas leer ist. Dieses ist eine häufig anzutreffende Alltagsvorstellung, bei der Strom wie Benzin und die Batterie wie der dazugehörige Tank gesehen wird und damit hat die Batterie nun einmal nur einen begrenzten Vorrat an Strom und ist irgendwann leer. Niedderer [11] (S. 132f) & [13] (S. 77) bezeichnet dies als „kognitiver Zustand I“, als „Alltags-Strom-Konzept“. Da aber von Janine keine weiteren Bemerkungen in dieser Hinsicht kommen, lässt sich auch schwer irgendetwas in dieser Hinsicht hypothetisieren. Die Tatsache, dass Matthias auf die obige Begründung Janines entgegnet, „*das sind doch sicher alles neue*“, lässt vermuten, dieses Alltag-Strom-Konzept ist auch bei ihm - zumindest ansatzweise - vertreten.

Da die Schüler noch gewisse Zweifel hinsichtlich des Vergleiches von D und A hegen, versuchen sie diese mit Hilfe des Simulators zu lösen. Aber selbst mit Anwendung des CPU-Simulators kann diese Frage nicht eindeutig geklärt werden. Der folgende Dialog bezieht sich auf die Abbildung 5-2, die ich am Simulator recht genau nachgestellt habe.

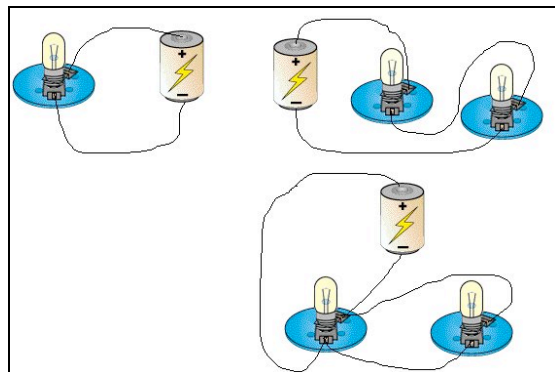


Abbildung 5-2: Am Simulator nachgestelltes Experiment zu Aufgabenkarte 2.1

- D: Die [D und A] sind gleich. Sind die gleich? Die sind gleich.
 J: Die müssten eigentlich auch gleich sein.
 D: Die sind gleich.
 M: Aber die können gar nicht gleich sein.
 D: Die können gleich sein.
 J: Doch die sind gleich.
 M: Nein, weil da doch mehr Widerstand entsteht.
 D: Ja, aber das ist doch minimal.
 M: Aber ich bestehe darauf.

Sink-Modell

Durch die Experimente und den Simulator wurden manche Aussagen von den drei Schülern korrigiert, wobei sie dabei voneinander abgeschrieben haben, nach dem Motto: „*Hast Du alles richtig? Gib mal her*“. Die meisten Aussagen sind jedoch in ihrer ursprünglichen Form geblieben. Das korrigierte Ergebnis (eingefärbten Felder) sieht folgendermaßen aus:

	Dominik	Matthias	Janine	
Lämpchen B ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	genauso hell wie	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen B
Lämpchen D ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen E ist	dunkler als	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen E ist	heller als	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen D
Lämpchen D ist	heller als	heller als	heller als	Lämpchen B

Dabei fällt auf, dass Dominik drei seiner ursprünglichen Antworten im Sinne seiner Mitschüler korrigiert hat. Eigentlich sind es nur zwei, ich zähle jedoch die sechste Teilaufgabe mit dazu, da ich fest davon überzeugt bin, Dominik meint hier ebenfalls das gleiche wie Janine und Matthias und ist beim Eintragen in Gedanken schon bei der letzten Teilaufgabe. Obwohl Dominik glaubt, dass Lämpchen A und D gleich hell sind, schreibt er von Matthias ab und übernimmt die Aussagen wie oben stehend. Dasselbe gilt für Janine, denn auch sie sagt eindeutig, Lämpchen A und D müssten gleich sein, ja sogar noch schärfer „*Doch die sind gleich*“. Ob bei Dominik und Janine ein sogenanntes Schichtenmodell existiert, also dass verschiedene Modelle und Vorstellungen parallel existieren, ist aufgrund der individuellen Widersprüche in Wort und Schrift nur zu vermuten, aber nicht definitiv zu beweisen. Die letzte Teilaufgabe verbesserten Janine und Matthias aufgrund der gemachten Beobachtungen im Experiment. Als Begründung reicht ihnen die Bemerkung von Dominik, dass „*sich die Spannung aufteilt*“, die Janine eine zwar zutreffende, aber sehr allgemeine und nicht tiefer gehende Erklärung entlockt: „*Das eine ist parallel und das andere ist in Reihe geschaltet*“. Worin für Janine der Unterschied besteht im Bezug auf die Aufgabe, wird nicht klar, denn weitere Ausführungen fehlen.

Zusammenfassend kann man folgende Vorstellungen bei den einzelnen Schülern finden („<“ : dunkler als / „>“ : heller als / „=“ : genauso hell wie):

Dominik	Matthias	Janine
- $A=D > B=C$; $E=0$	- $A > B=C=E=D$	- $A > B=C=D=E$
- Aufteilungsschema in Bezug auf Strom im Reihenschaltkreis ($B=C$)	- Aufteilungsschema unspezifisch bei Stromkreis II ($B=C$)	- Aufteilungsschema unspezifisch bei Stromkreis II ($B=C$)
- Strom nimmt kürzesten (einfachsten) Weg ($D=A$; $E=0$)	- Lokale Argumentation ($D=E$)	- Lokale Argumentation ($D=E$)
- Sink-Modell oder Bedarfsmodell ($D=A$; $E=0$)	- Mehr Widerstand bei Stromkreis III als bei Stromkreis I ($D < A$)	
	- Alltags-Strom-Konzept: Strom wie Benzin, Batterie wie Tank	- Alltags-Strom-Konzept: Strom wie Benzin, Batterie wie Tank

In der zweiten Sitzung bekamen die Schüler diese Aufgabe nochmals gestellt, dieses mal jedoch als Gruppenaufgabe. Ich habe sie mit dem Hintergedanken erneut ins Spiel gebracht, die den Schülern gebräuchlichen Modelle und Vorstellung noch deutlicher erkennen zu können, da es bei der ersten Bearbeitung der Karte 2.1 doch gravierende Abweichungen untereinander gegeben hat und somit meiner Meinung nach genügend Nährboden für Diskussionen unter den Schüler besteht. Vorangestellt das Ergebnis der Gruppenkarte in Bezug auf das Ausfüllen des vorgegebenen Lückentextes:

	Ergebnis der Gruppe	Wiederholung Informationskarte	
Lämpchen B ist	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	dunkler als	dunkler als	Lämpchen A
Lämpchen C ist	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen B
Lämpchen D ist	dunkler als	genauso hell wie	Lämpchen A
Lämpchen E ist	dunkler als	genauso hell wie	Lämpchen A
Lämpchen E ist	genauso hell wie	genauso hell wie	Lämpchen D
Lämpchen D ist	heller als	heller als	Lämpchen B

Zu der Tabelle bleibt noch zu erwähnen, dass die dritte Spalte dadurch zustande kommt, dass nach vollständiger Bearbeitung der Aufgabe durch die Schüler meinerseits die Informationskarte

(Anhang Seite 70) eingeworfen wurde, welche die Schüler zu den hinterlegten Änderungen veranlasste. Doch der Reihe nach. Zuerst ausgesuchte Transkriptauszüge der Gruppenaufgabe mit Zuordnungen meinerseits (rechte Spalte):

M: OK, fange wir an. Stromkreis A ...	
D: ... Ja da leuchtet die total.	
M: [...] Also bei Stromkreis I kann der Strom losfließen, fließt ganz normal durch die Lampe durch und wieder zurück. [...] ... und wird bei der Lampe ein bisschen gedrosselt.	Strom hat Richtung Hemmungsschema
[...]	
M: So, und bei B allerdings fließt er durch die erste und da kommt er...	
D: ... und da addiert sich dann der Widerstand	
M: Ja genau	
D: Da ist er einfach und da ist der Widerstand doppelt	Addition der Widerstände
J: Das heißt dass der Widerstand ...	
M: ... Also B ist dunkler als ...	
D: ... weil der Stromkreis einen höheren Widerstand enthält. Das gleiche gilt für C ...	Stromkreis als Gesamtheit
M: C ist genauso wie B. Lämpchen C ist ... Lämpchen B. Ja die sind ... die addieren sich, sind genau dieselben Lampen, und dann genauso.	
D: B und C entsprechen einander.	

In diesem Auszug ist zu erkennen, dass Matthias eine Richtung des Stromflusses ins Spiel bringt. Zuvor war immer nur allgemein die Rede von Strom, der noch keine Richtung hat. Das Modell I von Shipstone kann ausgeschlossen werden, da Matthias hier von **einer** Richtung spricht, und somit eben die Vorstellung der „clashing currents“ nicht vertreten ist. Hinzu kommt außerdem die Meinung, das Lämpchen sei wie ein Hindernis, welches den Strom hemmt. Ob der Strom allerdings verbraucht wird oder nur langsamer wird, kann hier nicht exakt geklärt werden, obwohl die Tendenz aufgrund des Wortes „gedrosselt“ eher zur Geschwindigkeitsverminderung geht.

Dominik sieht zum ersten Mal den gesamten Stromkreis als eine Einheit, der Strom hat nicht zweimal den gleichen Widerstand hintereinander zu überwinden, sondern man kann vereinfacht sagen, dass „der Stromkreis einen höheren Widerstand enthält“.

Der Dialog setzt sich in folgender Weise fort:

M: D, das ist Stromkreis III. ich würde sagen genauso hell, weil die durchfließen ... [...] Und die sind hier in ... parallel geschaltet... [Sie bauen die Stromkreise I und III nach]	
J: Die sehen anders aus.	Geometrische Probleme
[...]	
D: Sind die alle gleich hell?	
M: Nee, meine [Stromkreis I] ist heller. Warte, können wir mal nebeneinander halten. Siehst Du das?	$D=E<A$ Believing is seeing

D: *Ein bisschen heller, ja.*

M: *Glaub ich.*

J: *Ja, doch, ist heller.*

M: *Doch meine ist heller.*

[...]

J: *Und warum? Wir müssen ja irgendeine physikalische Begründung haben, das will er ja wissen.*

M: *Hier muss er sich teilen.*

J: *Das hatten wir doch eben gehabt, das ist ja parallel, da addiert sich das nicht, da beides gleichzeitig da durchfließt und bei dem anderen ...*

D: *... ja aber kuck mal, das liegt aber wahrscheinlich daran, dass das ... die Kabelstrecke länger ist und dadurch hat der einen höheren Widerstand ... das Kabel selber hat den höheren Widerstand. [...]*

M: *... durch die Lampen?*

D: *Wieso die Lampen ... der muss doch jeweils durch ... der Strom fließt doch einmal hier durch die Lampe und einmal da, ein Strom fließt ja nicht durch zwei Lampen, sondern jeweils nur durch eine, weist du wie ich das meine? Entweder er fließt durch die oder durch die, er fließt ja nicht ... kreuz und quer. Und hier [Stromkreis II] muss er halt durch beide durch.*

J: *[zustimmendes] Hm*

D: *Und deshalb kommt dieser Helligkeitsunterschied durch den Widerstand der Kabel.*

Hätten sich mit der Beobachtung zufrieden gegeben
Share-Modell (E)

Share-Modell (E) + gleichzeitiges Fließen des Stromes
Widerstand abhängig von der Kabellänge

Share-Modell (E)

Stromkreis III: Strom entweder durch D oder E

Stromkreis II: Strom durch B und C

Share-Modell (E)

Widerstand der Kabel bestimmt Helligkeit

Dominik und Janine lassen sich anhand des Experimentes und nicht zuletzt aufgrund des hartnäckigen Verhaltens von Matthias davon überzeugen, Lämpchen D und E seien zum einen gleich hell und zum anderen beide dunkler als A. Ob dieser Helligkeitsunterschied wirklich vorhanden ist, oder ob es wieder einmal „believing is seeing“ ist, lässt sich von meiner Seite aus nur schwer beurteilen. Sicher ist, dass dieser Unterschied wenn überhaupt nur sehr gering zu sehen ist, was den Schülern aber vollkommen ausreicht, um zu dem obigen Schluss zu kommen. Damit wären Dominik und Matthias auch zufrieden, würde Janine nicht noch nach dem *warum* fragen. Dadurch taucht im weiteren Verlauf wieder die „sharing“-Vorstellung mit Erhaltung auf, und zwar bei allen drei Schülern. Von Verbrauch reden die Schüler noch nicht. Wie sich der Strom teilt, hängt für Janine und Dominik von den einzelnen Widerständen ab. Für Dominik entstehen die Unterschiede dieser Widerstände hauptsächlich durch die Kabel und nicht die Lämpchen, da diese ja gleich sind.

Wie zuvor Dominik könnte hier auch Janine den Stromkreis als Ganzes sehen, „*da beides da gleichzeitig durchfließt*“. Diese Gleichzeitigkeit ist für diese Vorstellung gerade das Relevante. Wahrscheinlicher ist es aber, dass Janine mit dieser Gleichzeitigkeit ihre Vorstellung vom Teilen des Stromes unterstreicht, dass er eine Teil in dem einen Kabel und der andere Teil in dem zweiten Kabel fließen kann.

[Aufbau von Stromkreis II und Stromkreis III und Überprüfung der Helligkeit der Lämpchen ...]

- J: *Weil der Widerstand sich bei dem einen addiert, und bei dem anderen der Widerstand sich nicht addiert.*
 M: *Also ist dann auch D heller als B.*
 D: *Das ist wie bei einer Straße, wenn das eine zweispurige Straße ist, können die Autos viel schneller da durchfahren, als wenn nur eine einspurige ist.*
 J: *Da kann auch eine Straße verstopft sein, und es geht immer noch doch. Das heißt, wenn man die parallel schaltet, dann könnte eine Lampe sogar kaputt sein, und die andere geht noch.*

Argumentation mit Widerstand

Dingschema (Strom als Auto mit Geschwindigkeit)

Ein wichtiger Prozess für die Schüler war der Übergang von Strom im allgemeinen Gebrauch hin zum Ding-Schema nach Voss. Dabei wird dieses Schema noch verfeinert, indem die Ladungsträger (hier so nicht angesprochen) durch Autos dargestellt werden, die auf einer Strasse (Kabel) fahren. Darüber hinaus fahren diese Autos mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Reihenschromkreis (einspurige Strasse) und Parallelstromkreis (zweispurige Strasse); in Stromkreis II herrscht mehr Gedränge, die Strasse ist verstopft und somit sind die Autos langsamer, in Stromkreis III dagegen haben die Autos mehr Platz zum „Rasen“. Dennoch ist bei den drei Schülern immer noch die Vorstellung präsent, Lämpchen A sei heller als die Lämpchen D und E, und deshalb habe ich ihnen an dieser Stelle die Informationskarte zur Verfügung gestellt, ihnen aber die Verwendung frei gestellt. Daraus entwickelte sich dann der Dialog in diese Richtung:

- J: *Das war doch jetzt bei dieser Aufgabe gewesen, oder? Bei der Vergleich die zu I und III.*
[...]
 M: *Also. Oder die leuchten genauso hell beide ...*
 D: *... und wir sind nur zu dumm, um es zu unterscheiden*
 M: *... weil die hier anfangen – also wenn das jetzt Männchen wären – fangen an zu laufen, laufen da durch und laufen weiter.*
 D: *Ja*
 M: *Stoßen dann halt den nächsten an und der läuft dann. Und hier [Verzweigung bei rechtem Bild] stoßen die auch wieder die Männchen sich gegenseitig ab. Der eine stößt dann die unteren und den oberen an.*
 J: *Wie?*
 D: *Nein, die laufen ja eh alle gleichzeitig. Nur die haben einfach nur die Möglichkeit, entweder rechts oder links.*
 M: *Ja, aber hier werden auch wieder Elektronen angestoßen und hier auch*
 D: *Ja geben wir davon aus, dass die einfach da lang kommen. ... Fragen wir unseren Freund, den Simulator.*
[gehen an Simulator]
 M: *Mach mal gleich nebeneinander das Ganze.*
 D: *[konstruiert einen Stromkreis aus einer Lampe und einer Batterie]*

Dingschema (Strom als Männchen mit Richtung)

Share-Modell (E); Männchen stoßen sich gegenseitig an, bei Verzweigung Anstoß in beide Richtungen

Stromkreis als Einheit, Gleichzeitigkeit
 Bewegung von Elektronen

und einen Parallelstromkreis aus zwei Lampen und einer Batterie.]

[...]

D: OK und Test.

J: ... gleich

D: Die leuchten alle gleich

M: Ja gut.

Seeing is believing

Die Informationskarte beinhaltet zwar Begriffe wie Überschuss an Elektronen, elektrischer Druck, Elektronendichte oder Druckunterschied, diese werden von den Schülern jedoch nicht in ihre Aussagen eingebunden. Grund dafür ist wahrscheinlich die mangelnde Identifizierung mit diesen Begriffen, die nicht in die Sprache der Schüler integrierbar sind, das heißt der Unterschied zwischen Alltagssprache und wissenschaftlicher Ausdrucksweise ist zu groß. Matthias argumentiert lieber mit Männchen, die den Strom darstellen und sich durch gegenseitiges An- und Abstoßen weiter bewegen. Dass Matthias Männchen mit Elektronen verbindet, wird deutlich aus der Bemerkung „aber hier werden auch wieder Elektronen angestoßen und hier auch“. Dominik ist sich dieser An- und Abstoßung nicht sicher und möchte dieses Thema auch lieber damit umgehen, dass „die einfach da lang kommen“. Der CPU-Simulator wird vor allem von Dominik als ultimatives Beweisinstrument gesehen, deshalb möchte er an den Simulator gehen, um nochmals die Helligkeiten der Lämpchen der drei Stromkreise zu vergleichen. Dieses Mal erkennen die Schüler die gleiche Helligkeit bei den Lämpchen D und A bzw. bei E und A, „believing is seeing“ geht über in „seeing is believing“. Deshalb auch die Korrektur der beiden hervorgehobenen Aussagen in der Tabelle auf Seite 32.

Die Vorstellungen der Schüler nach dem wiederholten Bearbeiten der Karte 2.1 inklusive der Informationskarte:

Dominik	Matthias	Janine
- $A = D = E > B = C$	- $A = D = E > B = C$	- $A = D = E > B = C$
- Strom mit Richtung	- Strom mit Richtung	- Strom mit Richtung
- Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Gesamtwiderstand		- Stromkreis als Einheit (gleichzeitiges Fließen des Stromes im ganzen Stromkreis)
- Dingschema (Strom wie Autos, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen)	- Dingschema (Strom wie Männchen, die sich gegenseitig an- und abstoßen) Männchen = Elektronen	- (spricht ebenfalls von „Strasse“; unsicher, ob dies ihren Vorstellungen entspricht)

- Aufteilungsschema/Share-Modell (E); Widerstand bestimmt die Aufteilung des Stromes	- Aufteilungsschema/ Share-Modell (E); Strom teilt sich gleich auf, ein Männchen stößt bei Verzweigung zwei weitere an	- Aufteilungsschema/ Share-Modell (E); Widerstand bestimmt die Aufteilung des Stromes
- Unterschiedliche Widerstände durch verschiedene Länge der Kabel	- Hemmungsschema (Strom wird bei Lämpchen „gedrosselt“)	

Obwohl Dominik anfangs fest davon überzeugt ist, dass die Lämpchen D und A gleich hell leuchten, da der Strom den kürzeren Weg nimmt und deshalb Lämpchen E aus ist, sieht er beim Experimentieren ziemlich schnell die Beziehung $A=D=E$. Genauso denkt Janine, denn die Aussagen „*Die müssten eigentlich auch gleich sein*“ und „*Doch die sind gleich*“ lassen diesen Schluss zu. Dennoch lassen sich die beiden von Matthias verunsichern, der an seiner Behauptung, A sei heller als D oder E, festhält („*Aber ich bestehe darauf*“), was man aus der Korrektur der ersten Bearbeitung der Aufgabe sieht. Bei den beiden Schülern Janine und Dominik könnte man ein Schichtmodell „diagnostizieren“, da sie eigentlich glauben, dass $A=D=E$ gilt, aber die Beobachtung und die Überzeugungsarbeit von Matthias veranlasst sie, $D=E<A$ zu glauben. Während der Bearbeitung der Aufgabe in der Gruppe sehen alle drei Schüler das Lämpchen A heller leuchten als D oder E, zwar minimal, aber dennoch sichtbar. Matthias ist mit diesem Ergebnis durchaus zufrieden, und Janine und Dominik akzeptieren zumindest, dass dies der Fall ist. Da Dominik dies eigentlich nur ungenügend in seine Vorstellungen einbauen kann, muss er eine Erklärung finden, die ihn zufrieden stellt. Die einzige Möglichkeit für die unterschiedlichen Helligkeiten sieht er in dem unterschiedlichen Widerstand der verschiedenen langen Kabel. So kann er dieses Ergebnis einordnen, das alte - oder besser ursprüngliche - Konzept besteht aber noch parallel dazu, denn er hat auch keine Probleme damit, die Beziehung $A=D=E$ am Ende des Experimentes zu erhalten.

5.2 Zusatzaufgabe am Ende der ersten Sitzung und zu Beginn der zweiten Sitzung

Da die drei Schüler - wie schon des öfteren erwähnt - in der ersten Sitzung bis einschließlich zur Bearbeitung der Karte 2.9 kamen, habe ich eine Zusatzkarte bereitgestellt, die erstaunlich viel Diskussionsstoff für die Schüler bot. Die Bearbeitung dieser Karte zog sich über 20 Minuten am Ende der ersten und 14 ½ Minuten der zweiten Sitzung hin. Da der Umfang des Transkriptes den Rahmen sprengen würde, werde ich mich darauf beschränken, nur einzelne Sätze oder Passagen zu zitieren, das entsprechende gesamte Transkript ist im Anhang beigefügt.

Die Vorhersagen der drei Schüler sind identisch, alle drei gehen davon aus, dass die 3,8V-Lampe dunkler ist als die 2,2V-Lampe. Dass das Ergebnis genau entgegengesetzt ausfällt (die 2,2V-Lampe leuchtet nicht), erstaunt die Schüler und als erste Reaktion kommt der Versuch, die Batterie umgekehrt anzuschließen und somit die Stromrichtung umzudrehen. Da dies keine Ergebnisveränderung bringt, folgt ein Schichtwechsel und Dominik versucht durch Zuschalten von einer bzw. zwei zusätzlichen Batterien die 2,2V-Lampe zum Leuchten zu bringen. Fehlanzeige. Diese Reaktionen der Schüler (Stromrichtung ändern, weitere Batterien) lassen auf ein Modell des Stromverbrauches schließen, welches im weiteren Verlauf immer wieder von allen Schülern zum Ausdruck gebracht wird. Folgend weitere Aussagen, bei denen das Verbrauchsschema deutlich sichtbar ist, wobei die Aussagen zwischen zwei Unterteilungsstrichen zusammenhängende Passagen sind:

D: <i>Die Stromstärke nimmt die weg, die Lampe, und die braucht viel mehr als die kleine.</i>	Verbrauch; Bedarf
M: <i>Der [3,8V] frisst jetzt den Strom, und fließt dann hier weiter, fließt da durch [2,2V]...</i>	Sink-Modell (V); Verbrauch
J: <i>Dann ist nichts mehr da</i>	
D: <i>Ich würde sagen, dass der ... die Stromstärke, also dass die bei der 3,8V-Lampe ja praktisch herausgesaugt wird, und der Strom keine Stärke mehr hat, egal wie rum der fließt, ...</i>	Sink-Modell/Bedarfsschema: Lampe nimmt sich was sie braucht, egal wie der Strom fließt
J: <i>Ja, dass das da [3,8V] stärker ist und mehr Kraft hat, um alles rauszusaugen, als die andere Lampe.</i>	
M: <i>Warte mal, wenn die ... vom Minuspol die Elektronen losfließen,. So jetzt werden sie dann runtergedrosselt. Es fließen dann weniger weiter. Und die werden dann vom Pluspol angezogen...</i>	Hemmung; Verbrauch
M: <i>Der Strom fließt los, fließt in die erste Lampe, bringt die zum Leuchten, hat noch genügend Kraft, fließt jetzt weiter, fließt hier rein, hat nicht mehr genügend ... äh ... Elektronenfluss, der nicht mehr so stark ist.</i>	Lokale Argumentation; Strom hat Kraft im Sinne von Ausmaß an Strom/ Stärke
M: <i>Aber wenn hier welche [Elektronen] verloren gehen durch Hitzeentwicklung?</i>	Verbrauch

Da Janine und Dominik genau erkennen, dass die Richtung des Stromes keine Unterschiede in der Helligkeit der beiden Lampen macht, kommt das Modell II nach Shipstone [18], in dem der Strom in eine Richtung fließt und dabei stetig schwächer wird, so nicht in Frage. Es ist aber eine Variation dieses Modells bei den Schülern vorhanden, in welcher der Strom von den Lampen „herausgesaugt“ oder „gefressen“ wird (Bedarfsschema, Sink-Modell). Direkt damit zusammen hängt auch die Vorstellung, der Strom habe eine Kraft, verursacht durch Geschwindigkeit und/oder auch Menge der Elektronen, welche für das Leuchten der Lampen aufgebraucht wird. Kraft könnte als Synonym für „Ausmaß an Strom“ oder für „Anzahl an Strom“ gesehen werden und mit diesem Hintergedanken werde ich den Begriff Kraft auch weiterhin benutzen. Die Geschwindigkeit wird für die Schüler durch den vorhandenen Widerstand bestimmt, wobei genau in diesem Punkt die Meinungen auseinander gehen. Während sich Matthias hartnäckig an sein Modell des in eine Richtung gehenden Stromflusses hält, interpretieren Janine und Dominik des Stromkreis als geschlossenes System, d.h. der Strom fließt überall gleichzeitig los und überall genauso schnell bzw. langsam.

M: <i>Jetzt fließen die auf jeden Fall hier am Minuspol los ... fließen da durch ...</i>	
M: <i>Der Strom fließt los, fließt in die erste Lampe, bringt die zum Leuchten, hat noch genügend Kraft, fließt jetzt weiter, fließt hier rein, hat nicht mehr genügend ... äh ... Elektronenfluss, der nicht mehr so stark ist ...</i>	Hemmung, Strom verliert bei Lämpchen an Ausmaß (Kraft)
J: <i>Insgesamt der Widerstand. Insgesamt ist doch der Widerstand, wenn es anfängt zu fließen, ist der Widerstand doch da. Der Strom kommt ja nicht erst da an, er fließt ja sofort überall gleichzeitig los...</i>	Argumentation mit Widerstand; Stromkreis als Einheit
D: <i>Ja, Du musst Dir das ja so vorstellen, dass ist wie eine Kette von kleinen Männchen, die läuft da durch. Ja?</i>	
J: <i>Die sind aber immer da.</i>	
D: <i>Ja, die können aber alle nur so schnell laufen, wie der langsamste. Und wenn jetzt hier einer langsam ist, wenn er hier durchkommt, ist er hier hinten, kann auch nur so schnell laufen, wie der wo da vorne. Rückwärts ist das genauso.</i>	Stromfluss als starres „Etwas“
J: <i>Ja.</i>	
D: <i>Und deswegen ist es wurscht, in welche Richtung es fließt.</i>	

Ein weiterer Punkt, in dem sich Matthias zu den beiden anderen unterscheidet, ist die Vorstellung, dass sich der Widerstand mit der Spannung verändert. Wie der nachstehende Auszug und auch die Gestik während des Dialoges verdeutlicht, ist Matthias kurz davor, diese Ansicht zu „korrigieren“, schwenkt im letzten Moment aber wieder zu seiner ursprünglichen Vorstellung zurück. Es beginnt mit meiner Frage an die Schüler: „Ändert sich etwas am Widerstand, wenn ich an der Spannung drehe?“.

M: *Ja klar.*

J: *Nein, der Widerstand bleibt gleich, die Lämpchen sind doch die gleichen.*

[...]

J: *Der Widerstand von den beiden Lämpchen ... ist ja egal wie viel Strom da durch fließt, weil die Lämpchen sind ja die gleichen, oder?*

M: *Ja.*

J: *Müsste doch eigentlich sein.*

D: *Der Widerstand ist ja wieder derselbe, nur ...*

M: *Kann da dann irgendwie ein Unterschied entstehen zwischen dem Widerstand?*

Ein Lämpchen hat einen festen Widerstand

Als letzten Punkt aus dieser Aufgabenkarte möchte ich die Schwierigkeit der Schüler, die Begriffe Spannung und Strom zu differenzieren bzw. den Begriff Spannung physikalisch richtig einordnen zu können, aufführen. In allen drei Sitzungen argumentieren die Schüler vorwiegend, ja fast ausschließlich mit dem Begriff Strom, „Strom fließt“, „Strom wird verbraucht“, „Kraft des Stromes“ et cetera. Wird die Spannung in die Gespräche mit eingebunden, so erfolgt dies meist als Analogon zum Strom oder als Folge des Stromes.

J: *Wir haben ja nur eine bestimmte Anzahl an Spannung.*

D: *Ja.*

J: *Das heißt, wir kriegen gar nicht alles zusammen.*

M: *Warte, eine hat...*

D: *Die hat doch gar nicht den Widerstand, die hat doch den Widerstand von dem Strom, der fließt.*

M: *Ja und das ist ...*

D: *1,5.*

M: *1,5. Und das ist bei beiden 1,5.*

Argumentation mit Widerstand

Auch hier werden vermutlich wieder Strom und Spannung gleichgesetzt, denn mit dem Zahlenwert 1,5 meinen die Schüler die Spannung von 1,5 V der verwendeten Batterie, reden aber von Strom. Die Wortwahl Janines „Anzahl an Spannung“ könnte so gedeutet werden, Spannung sei ein „Kraftmesser“ für den Strom, das heißt sie wird als Maß für die Elektronengeschwindigkeit oder/und Elektronenmenge gesehen.

5.3 Präkonzepte und Lernprozesse der Schüler bei der Aufgabenkarte 4.3

Die Aufgabe auf Karte 4.3 findet sich wieder bei McDermott [8] (Experiment 4.6 auf Seite 411). Durch diese Aufgabe sollte in der zweiten Sitzung eine genauere Vorstellung der Schüler vom Stromverbrauch und vom Teilungsschema untersucht werden können. Da ich zu Beginn der dritten Sitzung diese Aufgabe nochmals aufgebaut den Schülern vorgelegt habe, ist es mir auch hier möglich, Vergleiche zu ziehen und Prozesse zu beobachten. Die Vorstellungen und Vorhersagen der Schüler sind:

Betrachtet die folgenden Aussagen zweier Schüler über die Helligkeit identischer Lämpchen in dem Stromkreis. Stimmt Ihr Schüler 1, Schüler 2 oder keinem zu? Begründet und testet danach.

Schüler 1:

Der ganze Strom geht durch A. Dann teilt er sich zwischen B und C auf, so daß B und C gleich schwach leuchten, viel schwächer als A. dann kommt der Strom wieder zusammen und alles geht durch D. Das Lämpchen D ist genau so hell wie A.

Schüler 2:

Ich denke, D wird viel schwächer sein als A, vielleicht leuchtet es auch gar nicht. Es wird nicht mehr viel von dem Strom übrig sein, nachdem er durch A, B und C geflossen ist. Vielleicht wird auch D hell sein und A ganz schwach; das hängt von der Richtung des Stromes in dem Stromkreis ab. Das wäre ein guter Test, um die Stromrichtung zu finden.

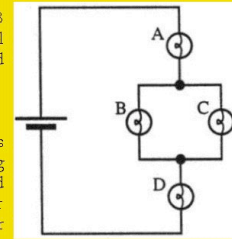


Abbildung 5-3: Aufgabenkarte 4.3

J: *Ich sage: alles gleich.*

D: *Ich würde sagen, alle leuchten gleich. Ich würde keinem zustimmen, ich würde sagen: alle leuchten gleich.*

M: *[zustimmendes] Hm ... ich schließe mich an.*

D: *Und warum? Begründung bitte.*

J: *Ja weil der Strom überall gleich durchfließt ...*

M: *... und der passt sich da wieder an. Und die haben ja auch keine unterschiedlichen Widerstände.*

J: *Ja, es ist die gleiche Spannung überall.*

Strom überall gleich;
Sink-Modell

Spannung überall gleich

Alle drei Schüler glauben, die vier Lämpchen werden gleich hell leuchten. Als Begründung führt Janine zuerst auf, der Strom sei überall gleich. Das könnte heißen, jedes Lämpchen würde sich so viel von dem Strom nehmen, wie es benötigt bzw. da es vier gleiche Lämpchen sind, „hat auch jedes dieselbe Kraft, den Strom zu sich zu ziehen“. Warum sie danach dazu übergeht, die Spannung überall gleich zu sehen, liegt entweder in dem Vertauschen oder Gleichsetzen der Begriffe Strom und Spannung oder darin, dass sie Spannung nicht als Ursache des Stromes, sondern eher als dessen Folge ansieht. Für Matthias leuchten die vier Lämpchen gleich hell, da sie ja alle „auch keine unterschiedlichen Widerstände“ haben und der Strom sich „anpasst“. Ob er sich an den Bedarf jedes einzelnen Lämpchens anpasst oder an dessen Widerstand, wird aus der Aussage nicht recht deutlich, beides meint jedoch in etwa das gleiche. Dominik hört sich die Begründungen seiner

beiden Mitschüler nur an und liefert keinen Beitrag dazu. Bedingt kann man auch deshalb davon ausgehen, dass seine Vorstellungen ähnlich denen von Matthias und Janine sind. Zumindest widerspricht er nicht.

Das Erstaunen ist groß, als sie die Schaltung nachbauen und den Stromkreis schließen:

- | | |
|---|------------------|
| M: Uiii. | |
| D: Mensch. | |
| J: Hätten wir ja überhaupt nicht mit gerechnet.
[...] | |
| M: Ja, das ist wieder genau dasselbe, was wir schon einmal hatten. Mit dem Widerstand ... | |
| J: Hier ist der Widerstand ... da muss der Strom sich ja teilen, weil er kann ja ... | Share-Modell (E) |
| M: .. ja und das reicht für die beiden nicht mehr aus ... | Bedarfsschema |
| J: ... und da hinten kommt es ja wieder zusammen alles ... | Share-Modell (E) |
| D: Also hat Schüler A recht. | |
| M: Wieso? ... Ja doch stimmt. | |

Als erste Reaktion auf das Ergebnis ($A = D \neq 0$; $B = C = 0$) kam sogleich das Teilungsschema oder Share-Modell mit Erhaltung zur Sprache und als dessen Folge auch das Bedarfsschema, da der Strom, wenn er sich teilt, von der Stärke oder Menge her nicht mehr ausreicht, um B und C zum Leuchten zu bringen.

Die Schüler wenden sich dem CPU-Simulator zu, denn dieser wird wieder einmal als „letzte Rettung“ angesehen, „um zu kucken, ob die überhaupt leuchten“:

- | | |
|---|---|
| M: Ja, das ist wieder genau dasselbe, was wir schon mal gehabt haben, mit diesem ... verschiedenen Widerständen in Reihe geschaltet ... und das ist dann ja auch eigentlich ein anderer Widerstand dafür könnten wir jetzt auch einfach so ein Lämpchen nehmen ... [nimmt ein anderes verschiedenes Lämpchen] ... weiß jetzt nicht ob das das richtige ist ... [Neues Lämpchen leuchtet, die anderen beiden sind aus] | Ersetzt die beiden parallelen Lämpchen durch ein anderes mit anderem Widerstand |
| M: Egal [...] also das ist genau umgekehrt.
[...] | |
| D: Natürlich, ich sage Euch warum. Das ist doch ganz klar [...] weil die hier braucht ... wie viel braucht die? ... 0,25 Ampere, die da hinten braucht auch nur 0,25 Ampere [...] und die beiden zusammen [B und C] brauchen 0,5 Ampere. | Bedarfsschema |
| M: Ja. [...] Aber der Strom teilt sich. | Share-Modell (E) |
| D: Ja das heißt die kriegen ... und wenn der Strom geteilt wird kriegen die ja nur 0,25 Ampere ... | |
| J: ... Dann müssen die aber alle gleich wenig kriegen. | Bedarfsschema |
| M: Nein nein, dahinter fügt er sich wieder zusammen.
[...] | Share (E) |
| M: Warte lass mich mal eben. Die hat 0,25 Ampere. | |

D: Ja.	
M: <i>Da fließt er durch, jetzt teilt er sich ... und gehen wir einmal davon aus, dass er dann nur noch ... 0,125 Ampere bewältigen könnte.</i>	Strom hat Kraft/Ausmaß Share-Modell (E)
D: <i>[zustimmendes] Hm.</i>	
M: <i>Fließt er da durch, kann die nicht mehr zum Leuchten bringen</i>	Strom fehlt Kraft/Ausmaß
D: <i>[zustimmendes] Hm</i>	
M: <i>Fügt sich wieder zusammen, und vielleicht ein bisschen schwächer oder nicht ...</i>	Share-Modell (V); Verbrauch
D: <i>Nein, ist er nicht.</i>	
M: <i>... wird zumindest um 0,25 ...</i>	
D: <i>So, jetzt stellen wir und das mal wieder mit den kleinen Männchen vor ...</i>	
M: <i>... 0,25 Ampere sein und fließ da hinten rein und kann wieder leuchten.</i>	
D: <i>... die Männchen laufen durch eine Straße ...</i>	
J: <i>Die laufen aber langsam und schnell.</i>	Unterschiedliche Geschw.
D: <i>... nein nein nein, die laufen alle gleich schnell. So und jetzt kommt ... jetzt teilt sich aber die Straße, die eine Hälfte geht rechts, die andere geht links, das heißt da gehen viel weniger Männchen durch, durch die jeweiligen Straßen, und am Ende treffen sich die wieder und sind die gleiche Menge wie vorher.</i>	Nicht Geschwindigkeit, sondern Menge an Männchen macht den Strom aus; Share-Modell (E)

Matthias ersetzt die beiden Lämpchen B und C durch ein anderes Lämpchen und erkennt auch, dass dieses einen anderen Widerstand haben muss. Da der Strom sich für ihn bei der Verzweigung teilt, hat er danach auch weniger Kraft im Sinne von Ausmaß und kann nur noch „0,125 Ampere bewältigen“. Wenn der Strom nach den beiden parallelen Lämpchen wieder zusammen kommt, hat er an Kraft verloren bzw. wurde von den Lämpchen verbraucht, reicht aber noch aus, um Lämpchen D zum Leuchten zu bringen.

Janine und Dominik reden von „Lämpchen bekommen Strom“ oder „Lämpchen brauchen Strom“, beides ist als gleichwertig zu sehen. Der Bedarf des Lämpchens ist ausschlaggebend für die Helligkeit, wenn der Bedarf nicht gedeckt wird, so leuchtet ein Lämpchen nicht. Dominik geht in eine andere Schicht über und wendet wieder sein Modell mit den Männchen auf den Stromkreis an, bei welchem für ihn nicht die Geschwindigkeit, sondern die Menge an Männchen die entscheidende Rolle spielt. Deshalb widerspricht er auch Janine, für ihn laufen alle Männchen gleich schnell, egal wo sie gerade im Stromkreis sind. Dass Stromverbrauch in seinem momentanen Modell keinen Platz findet, wird spätestens bei seinem Einspruch „Nein ist er nicht“ auf Matthias Aussage ersichtlich.

Zusammenfassend kann man die Vorstellungen der Schüler in etwa so darstellen:

Dominik	Matthias	Janine
- Bedarfsschema	- Bedarfsschema	- Bedarfsschema
- Teilungsschema im Bezug auf den Strom; Share-Modell (E)	- Teilungsschema im Bezug auf den Strom; Share-Modell (E+V)	- Teilungsschema in Bezug auf Strom und Spannung; Share-Modell (E)
- Erhaltung des Stromes	- Stromverbrauch	- Spannung als Folge des Stromes
- Strom hat Kraft; Elektronenmenge macht Kraft des Strom aus	- Strom hat Kraft	- Menge und Geschwindigkeit ist charakteristisch für Strom

Die dritte Sitzung beginnt mit der Wiederholung der Aufgabenkarte 4.3, wobei dieses so den Schülern nicht vermittelt wurde. Stattdessen war meine Anweisung an die Schüler ungefähr Folgende: „Ich habe Euch eine Schaltung aufgebaut. Ein Lämpchen ist losgeschraubt [...] und Ihr sollt mir sagen, was passiert, wenn ihr die Kabel an die Batterie anschließt und dann das Lämpchen reinschraubt. Es sind alles gleiche Lämpchen“?

D: Die hier [A] wird genauso hell leuchten wie die [D], die sind ganz normal, während diese beiden hier [B+C], obwohl das ja irreführend gelegt ist, parallel ...	Keine geometrischen Probleme
M: parallel	
J: parallel	
D: ... und das heißt die werden ziemlich schwach bis kaum sichtbar ...	
J: ... halb so stark	Mehr Strom → heller
D: ... leuchten. Ich glaube noch ein bisschen weniger.	
J: Wieso da teilt sich doch der Strom auf beide Lämpchen.	Share-Modell (E)
D: [unsicheres] Jaaaaaaa. Ungefähr [...]	
M: Ja, der Strom fängt an zu fließen, fließt in das Lämpchen [A], leuchtet, teilt sich durch beide [B+C], und fließt dann hier wieder zusammen [D]. [...] Und wenn wir die hinein schrauben, dann kann der Strom auch weiter fließen. [...]	Strom mit Richtung; Strom fließt bei offenem Stromkreis bis zur Lücke? Share-Modell (E)
Ich: Das heißt, Ihr meint, dass die beiden am Anfang leuchten und die beiden in der Mitte, die parallel sind, nicht oder schwach?	
D: Schwach bis gar nicht, würde ich sagen. Wenn die alle wirklich gleich sind ... ich schraube jetzt rein. [schraubt Lämpchen hinein] Da gar nicht, oder ...?	
J: [verneinendes] Nhn. [...] Warum leuchten die gar nicht?	
D: Ja weil der Strom einfach zu schwach ist. [...]	Strom hat Kraft

<i>Vor ... 2 Sitzungen, dann ... war genau das gleiche ... weil das eine Lämpchen einen geringen Widerstand hat, das andere einen dafür um so höheren. Und hier teilt sich der Widerstand ja irgendwie ... nee ... teilt der sich auf?</i>	Argumentation mit Widerstand
J: <i>Ja, der teilt sich.</i>	Share-Modell (E)
D: <i>Ja, weil die ja praktisch durch zwei Dinger fließen können.</i>	
M: <i>Mit der Straße.</i>	
D: <i>Ja, mit der Straße, die können durch zwei Dinger fließen, aber da das praktisch zu wenig Männchen sind oder – was weiß ich – die drängen zu wenig oder keine Ahnung, ist es nicht stark genug und deshalb leuchtet die nicht, während die sich hier wieder zusammenpacken und da wieder als ganze Mannschaft durchdringen.</i>	Strom zu schwach, da Männchen entweder zu wenig oder zu langsam; Share-Modell (E)
J: <i>Das heißt, hier ist nur die halbe Stromstärke, oder?</i>	
D: <i>Ja.</i>	Strom teilt sich gleichmäßig; Share-Modell (E)
M: <i>Ja.</i>	
Ich: <i>Und wenn Ihr jetzt eines von den beiden Lämpchen, die jetzt nicht leuchten heraus schraubt?</i>	
D: <i>Wenn man das heraus schraubt ...</i>	
M: <i>... dann leuchtet das andere [C oder B] genau so hell wie die [A, D]</i>	Erkennt Reihenschaltung
J: <i>Sicher?</i>	
M: <i>Ja.</i>	
D: <i>Ja, ja, weil es dann ... [fällt keine passende Erklärung ein]</i>	
Ich: <i>Und was passiert mit den anderen?</i>	
D: <i>Ja, die leuchten ... die werden ein bisschen dunkler. Er hat es schon ... er hat es wieder ausprobiert ...</i>	Trial and Error
[...]	
J: <i>Das ist eine ganz normale Reihenschaltung.</i>	

Alle drei Schüler erkennen trotz des von mir irreführend gelegten Kabels ohne Probleme die beiden parallel geschalteten Lämpchen. Die geometrischen Probleme, die in Abschnitt 4.4 angesprochen werden, sind hier nicht vorhanden. Ebenso haben alle drei die Vorstellung, der Strom splittet sich an der Verzweigung in zwei gleich große Teile auf, wenn es gleiche Lämpchen im Parallelstromkreis sind.

Janine setzt die Helligkeit der Lämpchen in direkte Verbindung zur Stromstärke, das heißt ist der Strom halb so stark, so leuchtet das Lämpchen auch halb so hell. Dominik ist dagegen der Meinung, dass dies nicht so einfach in Verbindung zu bringen ist, das Lämpchen leuchtet auf jeden Fall weniger als halb so stark, wenn der Strom auf die Hälfte zurückgeht. Für ihn heißt auf die Hälfte zurückgehen, dass der Strom zu schwach ist, da die Menge an Elektronen zu gering oder die Geschwindigkeit zu niedrig ist. Matthias verwendet wieder sein Modell mit einer Richtung des Stromflusses, wobei nach seiner Vorstellung bei einem offenen Stromkreis der Strom zumindest bis zur Lücke fließt und erst wenn die Lücke durch Hineinschrauben des Lämpchens geschlossen wird, fließt der Strom weiter. Er erkennt auch als erster die Reihenschaltung, wenn das Lämpchen B oder C herausgeschraubt wird und damit verbunden auch die gleiche Helligkeit der Lämpchen

in diesem Fall. Janine und Dominik ziehen jedoch gleich mit. Allgemein lässt sich noch anmerken, dass die Schüler gerne nach dem **Trial-and-Error-Verfahren** vorgehen, so wie Matthias am Ende dieses Experimentes.

Beim erneuten Bearbeiten der Aufgabenkarte 4.3 treten also nachstehende Vorstellungen bei den Schülern auf:

Dominik	Matthias	Janine
- Strom teilt sich in gleiche Teile beim Parallelstromkreis, Share-Modell (E)	- Strom teilt sich in gleiche Teile beim Parallelstromkreis, Share-Modell (E) - Strom fließt bis zur Lücke eines offenen Stromkreises	- Strom teilt sich in gleiche Teile beim Parallelstromkreis, Share-Modell (E)
- Zwar Zusammenhang zwischen Stromstärke und Helligkeit, aber nicht wie Janine		- $\frac{1}{2}$ Stromstärke heißt auch $\frac{1}{2}$ Helligkeit
- Strom hat Kraft; Menge oder Geschwindigkeit der Elektronen macht diese Stärke des Strom aus		- Menge und Geschwindigkeit ist charakteristisch für Strom

Wurde bei der ersten Bearbeitung der Aufgabe noch von einem Bedarf des Lämpchens an Strom gesprochen, fällt dieses Schema doch beim wiederholten Bearbeiten völlig unter den Tisch, es wird zumindest nicht explizit von den Schülern angesprochen. Ich denke, es ist immer noch in den Köpfen vorhanden, das Schema wird hier nur nicht angewandt, da man ausreichend mit dem Teilungs- oder Share-Modell (E) zurechtkommt. Letztgenanntes wird im Laufe der Bearbeitungen verfeinert, vom allgemeinen „Der Strom teilt sich an der Verzweigung“ bis hin zu „Der Strom teilt sich in zwei gleiche Teile auf“. Alle drei Schüler haben die Vorstellung, der Strom habe eine gewisse Stärke oder „Kraft“, die das Lämpchen zum Leuchten bringt. Ob letztlich die Geschwindigkeit oder die Menge der Elektronen entscheidend maßgeblich ist, darauf legen sich Janine und Dominik nicht fest. Im Prinzip stimmt auch beides, da man die Stromstärke nach der Formel $I = c \cdot n \cdot v \cdot A$ berechnen kann⁴ und darin sowohl die Anzahl als auch die Geschwindigkeit auftauchen. Matthias redet dagegen nur allgemein von einer Stärke oder Schwäche des Stromes, worin deren Ursache liegt, darüber lässt er sich ebenfalls nicht aus bzw. macht keine ent-

⁴ Siehe nächste Seite

sprechenden Bemerkungen. Für Janine existiert ganz klar der direkte Zusammenhang zwischen Strom“stärke“ und Helligkeit des Lämpchens, das heißt bei doppelter Stärke des Stromes leuchtet das Lämpchen auch doppelt so hell. Der einzige Widerspruch hierzu kommt von Dominik, der diesen Zusammenhang nicht ganz so direkt sieht, Matthias hält sich aus diesem Thema heraus.

Zusatz:

Bewegte Ladungen bilden einen elektrischen Strom bzw. eine Stromdichte $j(r)$.

Geht man bei einem elektrischen Stromkreis von einer homogenen Verteilung von N Elektronen über ein Volumen V aus, die zudem alle die gleiche Ladung e und Geschwindigkeit v haben, dann kann man die Stromdichte auch schreiben als

$$j = \frac{N}{V} \cdot e \cdot v = n \cdot e \cdot v$$

Die Stromstärke I durch eine bestimmte Fläche F ergibt sich dann aus dem Flächenintegral

$$I = \int_F j \cdot df$$

Als Ergebnis dieses Integrals erhält man eine Formel für die Stromstärke, die lautet:

$$\boxed{I = c \cdot e \cdot n \cdot v \cdot F}, \text{ mit } c = \text{const.}$$

5.4 Auswertung der Concept Maps

Die drei Schüler bekamen 20 Begriffe (nächste Tabelle) zur Erstellung ihres Concept Maps vorgegeben, wobei sie noch die Möglichkeit hatten, auf leeren Karten eigene Begriffe zu schreiben und diese auch mit einzubinden. Es wurden keine Relationen meinerseits festgelegt. Dies sollte dazu führen, dass die Schüler intensiver über die Beschriftungen und deren Angemessenheit nachdenken müssen. Der Nachteil dabei ist, man kann bei freien Formulierungen die einzelnen Concept Maps schlechter miteinander vergleichen.

Batterie	Stromstärke	Reihenschaltung	Menge	Druckdifferenz
Lämpchen	Stromkreis	Parallelschaltung	Druck	Spannung
Negativ	Elektronen	Energie	Verbrauch	Geschwindigkeit
Positiv	Protonen	Kraft	Strom	Widerstand

Da ich zu Beginn der Untersuchung von den Schülern keine Concept Maps erstellen ließ, habe ich nicht die Möglichkeit, zwei Maps individuell zu vergleichen. Stattdessen werde ich versuchen, aus den verschiedenen Maps Vergleiche zu den im Verlauf der Untersuchung gezeigten Vorstellungen bei den Schülern und auch zwischen den individuellen Maps zu ziehen, soweit mir dies aufgrund der freien Formulierungen bei den Relationen möglich ist.

5.4.1 Dominik

Dominik verwendet 17 Begriffe, wobei er als einziger noch einen weiteren eigenen Begriff ergänzt (Pole). Er erstellt 19 Verknüpfungen zwischen diesen, von denen ich einige aufführe:

- **Spannung** entspricht einer **Druckdifferenz**
- **Verbrauch(er)** z.B. **Lämpchen**
- **Energie** und **Strom** Grundlage für einen **Stromkreis**
- Bei nachlassendem **Druck** sinkt die **Kraft**
- **Spannung** ist gleich **Energie/Strom**
- **Elektronen** versuchen sich auszugleichen, es herrscht eine **Spannung**
- **Protonen** versuchen sich auszugleichen, es herrscht eine **Spannung**

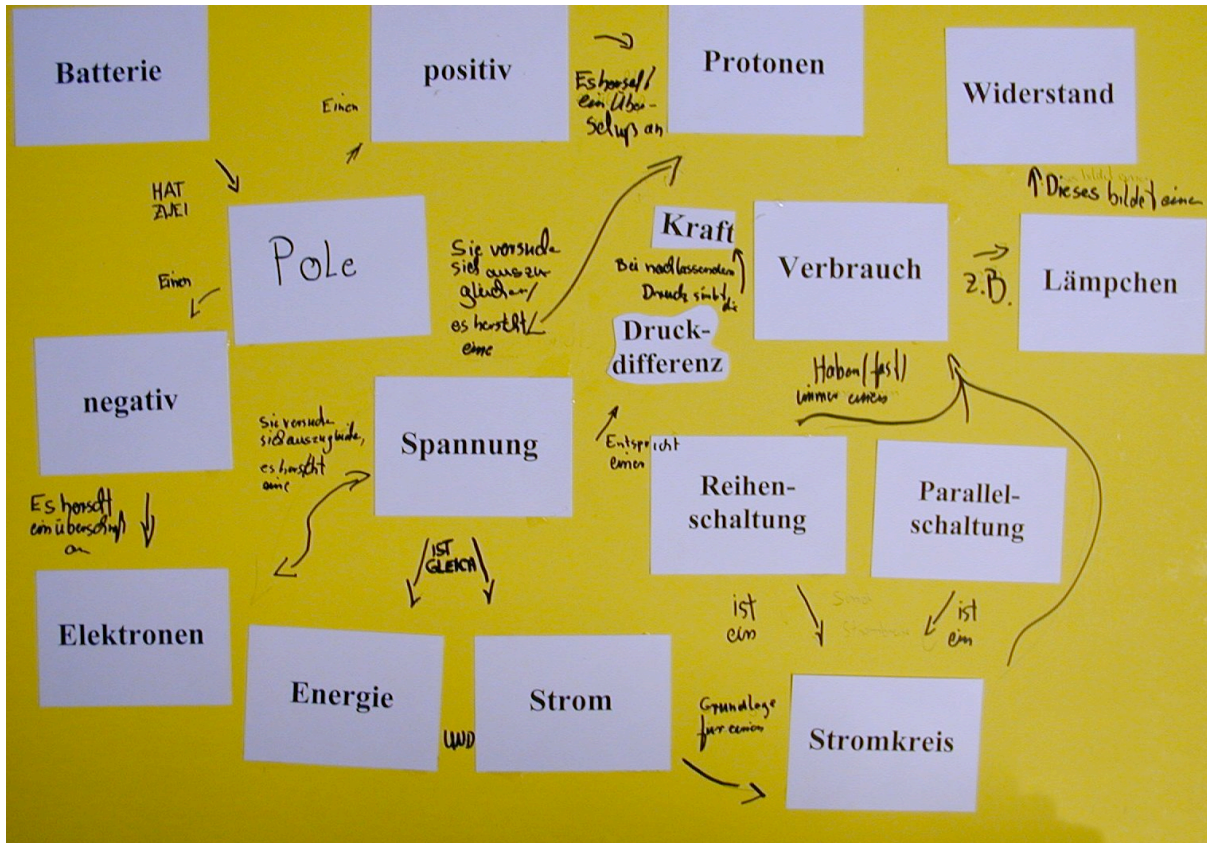


Abbildung 5-4: Concept Map Dominik

Die in 4.2 angesprochene mangelnde Differenzierung der Begriffe Strom und Spannung findet sich auch bei Dominik wieder, denn er setzt Spannung und Strom gleich. Darüber hinaus geht er sogar so weit, die Energie mit in dieses Gleichheitsgefüge einzubeziehen, immerhin sind für ihn Energie und Strom die Grundlagen eines Stromkreises. In diesem Stromkreis versuchen sowohl die Elektronen als auch die Protonen sich auszugleichen, da eine Druckdifferenz herrscht. Nimmt der Druck ab, so sinkt für Dominik auch die Kraft, das heißt er meint die Elektronen bzw. Protonen werden sich nicht mehr so schnell ausgleichen können. Dass bei ihm noch die Verbrauchervorstellung vorliegt, verdeutlicht die Aussage, ein Lämpchen sei ein Verbraucher (des Stromes). Erstaunlich ist auch, dass er den Begriff Stromstärke nicht verwendet, obwohl er im Verlauf der drei Sitzungen fast ausschließlich mit diesem Begriff - im Gegensatz zur Spannung - argumentiert hat.

5.4.2 Janine

Janine ist von der Anzahl der Begriffe und Verknüpfungen mit Dominik vergleichbar. Sie fügt keine eigenen Begriffe ein und benutzt anstelle von Spannung (Dominik) lieber die Stromstärke. Die von mir herausgehobenen Relationen sind:

- **Kraft** kommt von der **Batterie**
- **Verbrauch(er)** sind wie **Widerstand**
- **Lämpchen** sind **Verbrauch(er)**
- **Stromstärke** wird durch einen **Verbrauch(er)** geschwächt
- **Lämpchen** benötigen **Energie**
- **Strom** betreibt **Lämpchen**
- **Lämpchen** brauchen **Elektronen**
- In einer **Batterie** herrscht **Druckdifferenz**

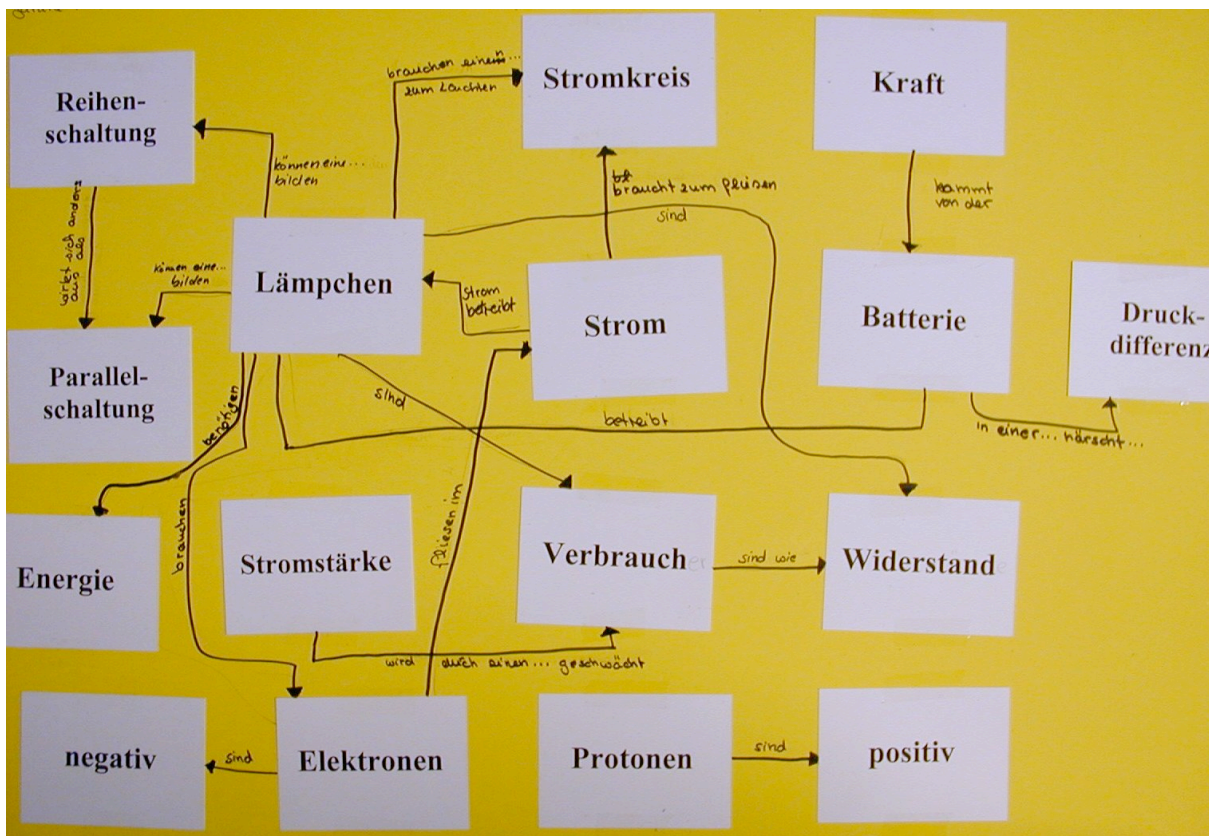


Abbildung 5-5: Concept Map Janine

Auch Janine fügt den Begriff Druckdifferenz in ihr Begriffsnetz ein, wobei dieser genau wie bei Dominik auch, nicht sehr „fest“ eingebunden wird. Der Ast, in dem die Druckdifferenz auftaucht, ist in beiden Maps eher ein Ableger als ein zentraler. Dennoch greifen beide Schüler auf die Informationskarten zurück und benutzen damit einen Begriff, den sie wahrscheinlich so nie eingefügt hätten. Für Janine herrscht in einer Batterie also Druckdifferenz, die vermutlich Ursache für die Kraft ist, die von der Batterie kommt. Diese Kraft bestimmt die Stromstärke, welche durch einen Verbraucher geschwächt wird. Das heißt sie hat ebenfalls noch die Vorstellung eines Stromverbrauches beim Concept Mapping. Es existiert eine enge Verbindung zwischen Verbraucher und Widerstand, beides charakterisiert wohl bei ihr in etwa das gleiche. Ein solcher Verbraucher ist zum Beispiel das Lämpchen. Dieses Lämpchen benötigt sowohl Energie als auch Elektronen und Strom. Dies zeigt erneut eine geringe Differenzierung der Begriffe Strom und Energie, und ich denke, hätte sie die Spannung einbezogen, so würde diese ebenfalls in diesem Zusammenhang auftauchen. Dass in einem Stromkreis Elektronen fließen, hat sie meiner Ansicht nach aus den Sitzungen mitgenommen, da sie in einer Phase der Experimente der Meinung war, es könnten ja auch die Protonen sein, die fließen.

5.4.3 Matthias

Bei Matthias finden sich die meisten Begriffe (20) und auch die meisten Verknüpfungen (28) der drei Schüler. Er integriert sowohl die Begriffe Spannung und Stromstärke als auch weitere Begriffe, welche die beiden anderen Schüler nicht haben (Druck, Menge, Geschwindigkeit). Das Concept Map wirkt auf den ersten Blick verwobener und komplexer als die Vorgänger, und dennoch strukturierter. Seine besonderen Verknüpfungen sind:

- Die **Batterie** gibt **Kraft** und **Energie** durch **Druckdifferenz**
- Die **Kraft** ist der **Druck** zwischen **positivem** und **negativem** Pol
- **Lämpchen** bekommt seine **Energie** aus der **Batterie**
- Die **Batterie** erzeugt mit Hilfe von **Elektronen** **Spannung**
- Die **Stromstärke** hängt von der Anzahl des **Stromflusses** ab
- Die **Geschwindigkeit** hängt vom **Widerstand** ab
- Die **Menge** des **Stromes** hängt von der **Druckdifferenz** ab
- **Lämpchen** kann nur leuchten, wenn ein **Widerstand** vorhanden ist, damit eine Leuchterscheinung entstehen kann

- **Lämpchen** können **parallel** oder **in Reihe** geschaltet werden, was den **Widerstand** oder/und den **Verbrauch** beeinflusst
- Diese **Druckdifferenz** ist die **Energie** in einem **Stromkreis**

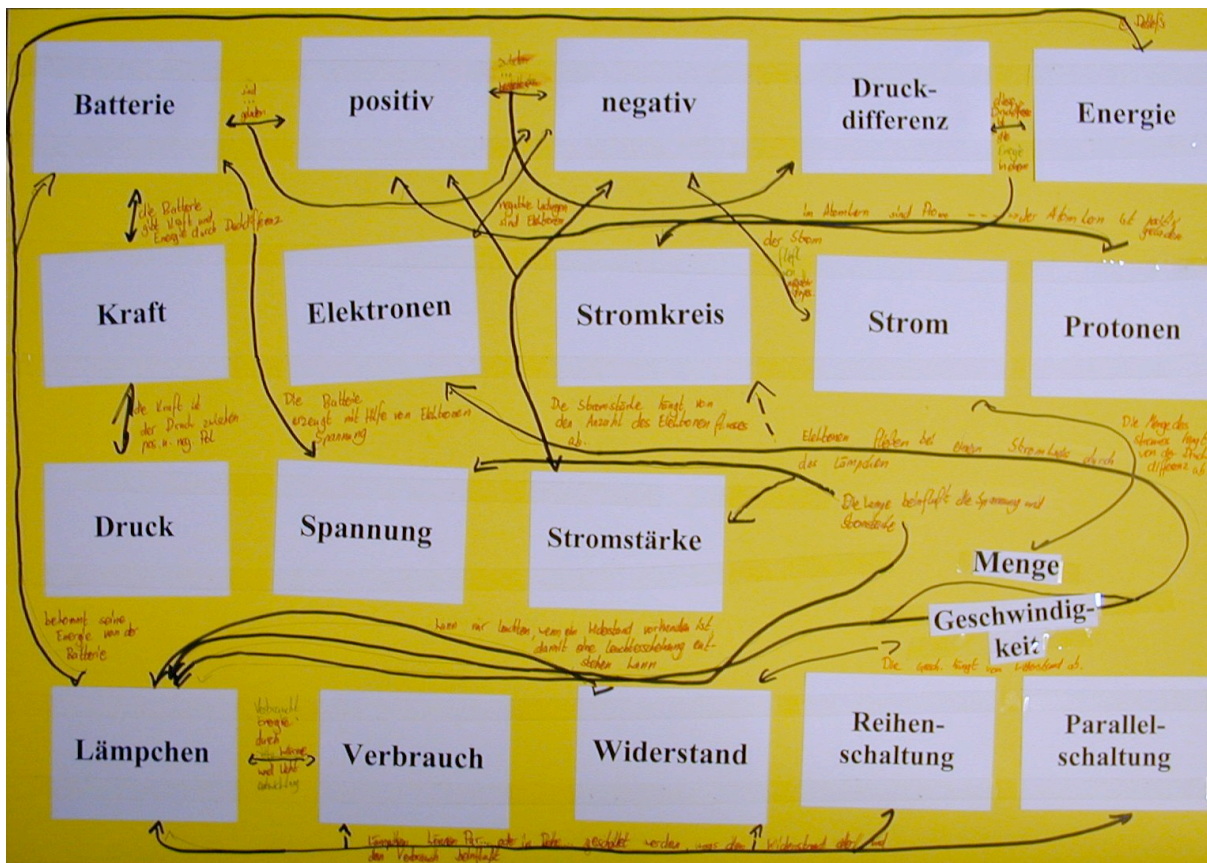


Abbildung 5-6: Concept Map Matthias

Auffallend an den Relationen ist, dass mehrere Begriffe miteinander verknüpft werden, und nicht nur zwei Begriffe, wie dies bei Janine und Dominik der Fall ist. Der Gedankengang von Matthias könnte folgender sein: Die Batterie erzeugt mit Hilfe von Elektronen Spannung. Er setzt zwar Spannung und Druckunterschied nicht gleich, wenn man dies jedoch so sehen würde, dann würde es so weitergehen: Diese Spannung oder Druckdifferenz erzeugt die Kraft und Energie der Batterie, wobei die Kraft dem Druck zwischen positivem und negativem Pol entspricht. Direkt davon beeinflusst wird dadurch die Menge des Stroms und damit die Stromstärke, die von der Anzahl des Stromflusses abhängt. Des weiteren spricht Matthias von einer Geschwindigkeit, die vom Widerstand abhängt, aber es wird nicht ganz klar, ob nun die Geschwindigkeit oder die Menge des Stromes die Stromstärke ausmacht, vielleicht sogar beides zusammen, was sich mit

den Aussagen bei den Experimenten deckt. Das Lämpchen bekommt seine Energie aus der Batterie (Transferschema, Bedarfsschema) und es kann nur leuchten, wenn ein Widerstand vorhanden ist, da der Widerstand die Leuchterscheinung hervorruft. Das soll wahrscheinlich heißen, dass der Widerstand genügend groß sein muss, wie im Anhang auf den Seiten 86 und 87 in den hinterlegten Passagen ersichtlich wird. Dass das Lämpchen selbst einen Widerstand darstellt, lässt sich aus der vorletzten der aufgeführten Relationen erkennen, denn der Widerstand oder/und der Verbrauch hängt von der Art ab, wie Lämpchen geschaltet werden.

Die meisten Verknüpfungen decken sich mit den von mir beobachteten Vorstellungen und ausgewerteten Aussagen im vorherigen Kapitel. Die Begriffe Spannung, Stromstärke, Energie und Kraft sind recht schwammig für Matthias, wie bei seinen beiden Mitschülern schon erlebt, es findet keine exakte Differenzierung statt.

Alle drei Schüler reden von einer Kraft, sei es die Kraft des Stromes, die Kraft einer Batterie oder Kraft im Sinne von Druck, und diese Kraft wird in ihren Vorstellungen im Stromkreis verbraucht und schwächer.

5.5 Zuordnung verschiedener Schichten

Während den drei Sitzungen kamen verschiedene Modelle, Schemata und Vorstellungen zum Vorschein. Diese wurden von den Schülern teils in einem richtigen Zusammenhang und teils in einem falschen Zusammenhang verwendet. In diesem Abschnitt werde ich speziell für Dominik eine Übersicht und Gewichtung dieser beiden Schichten „physikalisch richtig“ (I) und „physikalisch falsch“ (II) erstellen. An manchen Stellen ist eine Aussage nicht eindeutig zuzuordnen, so dass sie in zwischen die beiden Schichten gestellt wird (I/II). Bei der Zusatzaufgabe habe ich dazu noch die Reihenfolge der Aussagen geordnet und mit Ziffern belegt.

5.5.1 Dominik

Schicht	Vorstellung/Modell/Schema	Aufgabenkarten		
		2.1	Zusatz	4.3
I	Spannung teilt sich beim Reihenstromkreis	I		
	Share-Modell (E) im Bezug auf den Strom im Parallelstromkreis	I		V
	Im Reihenstromkreis addieren sich die Widerstände	I		
	Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Widerstand	I		
	Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Stromfluss	I	8,9	II
	Dingschema (Strom als Autos/Männchen mit Geschwindigkeit)	II	8	II
	Strom hat eine bestimmte Richtung	I		
	Je größer der Strom, desto größer die Helligkeit			I
	Widerstand abhängig von der Kabellänge	II		
I/II	Mehrere Batterien „liefern“ mehr Strom		2	
II	Strom nimmt (nur) einfachsten oder kürzesten Weg	II		
	Sink-Modell/Bedarfschema	I	2,4	I
	Stromverbrauch		1,3,5	
	Begriffe Spannung und Strom vertauscht		7	
	Hemmungsschema (lokal)		6	

Bei den Aufgabenkarten 2.1 und 4.3 liegt Dominik mit seinen Aussagen hauptsächlich in der Schicht I, das heißt er argumentiert „physikalisch richtig“. Dies deckt sich damit, dass die Schüler mit diesen beiden Aufgabenkarten allgemein ziemlich gut zurecht kommen, sie werden vor keine

großen Probleme gestellt. Die Bearbeitung der Zusatzkarte erweist sich für die drei Schüler jedoch als schwieriger, sie kommen mit den vorherigen Begründungen nicht so klar. Bei Dominik äußert sich dies mit einem Übergang zur zweiten Schicht und er argumentiert zu Beginn überwiegend mit dem Sink-Modell, dem Stromverbrauch oder dem lokalen Hemmungsschema. Erst am Ende der Bearbeitung kommt wieder die „physikalisch richtige“ Schicht zum Greifen. Man kann hier sehr schön sehen, dass Schüler bei unbekannten oder unerklärliche erscheinenden Phänomenen wieder in ihre „alten“ Vorstellungen zurückfallen, um sich die Beobachtung verständlich zu machen.

5.5.2 Janine

Schicht	Vorstellung/Modell/Schema	Aufgabenkarten		
		2.1	Zusatz	4.3
I	Share-Modell (E)	II		V
	Stromkreis als Einheit in Bezug auf Stromfluss	I		
	Widerstand addiert sich beim Reihenstromkreis	I	14	
	Keine Abhängigkeit von der Richtung des Stromes		1	
	Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Widerstand		3,5,10	
	Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Stromfluss		11,12	
	Widerstand eines Lämpchens ist konstant		7	
	Widerstand im Parallelstromkreis kleiner		13	
	Verschiedene Geschw. im Reihen- und Parallelstromkreis			I
	Je größer der Strom, desto heller die Lampe			I
	Dingschema (Männchen)			I
II	Sink-Modell/Bedarfschema	I	4,6,15, 16	II
	Tank-Benzin-Modell	I		
	Stromverbrauch		2	
	Hemmungsschema (lokal)		8,9	
	Spannung ist überall gleich			I

Wie zuvor Dominik liegt Janine bei den „einfacheren“ Karten 2.1 und 4.3 meist in der Schicht I. Erst die Zusatzaufgabe veranlasst sie, auch mit ihren ursprünglichen Modellen zu begründen. Im

Unterschied zu Dominik erfolgt die Argumentation nicht zuerst in der Schicht II und danach in der Schicht I, sondern ziemlich sprunghaft im Wechsel.

Es ist bei Janine am schwierigsten, im Vergleich zu den anderen beiden Schülern, ihre Aussagen bestimmten Modellen zuzuordnen, da sie im Verlauf der drei Sitzungen diejenige ist, die am wenigsten redet und oftmals „nur“ ein zustimmendes „hmm“ zu hören ist. Man könnte dies natürlich dem gleichen Modell zuordnen wie auch dem Vorredner, auf dessen Aussage dies Zustimmung kommt, dies wäre jedoch in meinen Augen in den meisten Fällen zu hypothetisch. Ich habe deshalb versucht, nur die in meinen Augen offensichtlichen Modelle und Schemata aufzuführen.

5.5.3 Matthias

Schicht	Vorstellung/Modell/Schema	Aufgabenkarten		
		2.1	Zusatz	4.3
I	Strom hat Richtung	I		
	Hemmungsschema	II		
	Share-Modell (E)	I		IV
	Dingschema (Strom als Männchen/Elektronen)	III		I
	Stromkreis als Einheit im Bezug auf den Widerstand			II
I/II	Strom gibt Energie bei Lampe ab		2	
	Widerstand bestimmt Geschwindigkeit		3	
II	Spannung teilt sich im Parallelstromkreis	I		
	Tank-Benzin-Modell	I		
	Sink-Modell/Bedarfschema	I		I
	Stromverbrauch		1,6,7,8, 9,10	I
	Strom und Spannung vertauscht		4	
	Widerstand der Lampe ändert sich mit der Spannung		5	

Es ist nicht erstaunlich, dass auch bei Matthias die gleichen Verhältnisse wie bei Janine und Dominik entstehen. Ein markanter Unterschied ist jedoch, dass Matthias bei der Zusatzaufgabe sich am Anfang in der Schicht I bewegt und danach in die Aussagen der Schicht II wechselt, er ist also

zum einen nicht so sprunghaft wie Janine und zum anderen ist der Argumentationsverlauf eher umgekehrt wie bei Dominik.

Über die drei Sitzungen hinweg kam bei den drei Schülern noch ein weiteres Verhalten zum Ausdruck: Die Argumentation mit dem Widerstandsbegriff. Es entsteht der Eindruck, dass es für die Schüler am greifbarsten zu sein scheint, mit Hilfe des Widerstandes eine Aufgabe anzugehen oder bei gewissen Problemen der Bearbeitung wieder auf den Widerstand zurückzugreifen. Folgend habe ich die Anzahl der Aussagen, bei denen definitiv der Begriff des Widerstandes benutzt wird, für jeden Schüler über die drei Aufgabenkarten aufgelistet. Dabei sind die Aussagen, bei denen zwar auf die vorhergehende Aussage mit dem Widerstand eingegangen wird, aber der Begriff an sich nicht auftaucht, nicht berücksichtigt, da der Interpretationsspielraum sonst immens gestiegen wäre. Die Spalten „Teil 1“ und „Teil 2“ beziehen sich auf die erste Bearbeitung der Karte und deren Wiederholung in der nächsten Sitzung.

Anzahl der Argumentationen mit dem Widerstandsbegriff:

	Aufgabenkarte 2.1		Zusatzaufgabe		Aufgabenkarte 4.3	
	Teil 1	Teil 2	Teil 1	Teil 2	Teil 1	Teil 2
Dominik	1	4	5	2		1
Janine		4	8	4	1	
Matthias	1	2	7	1	2	
Summe	2	10	20	7	3	1

Es zeigt sich, was ich schon erwartet habe, dass die Schüler bei Erklärungs- und Argumentationsnöten auf den Widerstand Bezug nehmen. Im Verlauf der Bearbeitung der Zusatzaufgabe wird 27 mal mit Hilfe des Widerstandes argumentiert, öfters als bei den anderen beiden Karten zusammen (16 mal). Darüber hinaus führten die Schüler bei der Zusatzaufgabe noch eine längere Diskussion über den Widerstand, die nicht mit in die Wertung oben einging, da sie zum einen von mir initiiert wurde und zum anderen schlecht aufzusplitten war. Hätte ich diese Diskussion - wie auch immer - einbezogen, so wäre das Ergebnis noch deutlicher ausgefallen.

Ob die Aussagen nun „physikalisch richtig“ oder „physikalisch falsch“ sind, spielt für dieses Ergebnis keine Rolle, nur die Tatsache der Benutzung des Widerstandsbegriffes ist vorrangig.

6. Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Da ich zu verschiedenen Punkten meiner Arbeit nochmals Stellung beziehen möchte, ist aus Gründen der Übersicht eine Aufzählungsform zu bevorzugen.

- Die von mir erstellten Aufgabenkarten waren zwar für diese Arbeit ausreichend, dennoch bin ich etwas unzufrieden mit deren Gestaltung. Ich konnte diese Aufgabenkarten leider aus Zeitgründen nicht vor dem Einsatz dieser Untersuchung testen, so dass ich kein Feedback hatte, um die Karten entsprechend zu ändern. Auf jeden Fall würde ich das nächste Mal mehr Wiederholungen von Aufgaben einbauen, da sich dadurch einfach die Lernprozesse besser und deutlicher herauskristallisieren.
- Bei den Concept Maps habe ich es versäumt, zu Beginn der Untersuchung ein solches von den Schülern erstellen zu lassen, um einen besseren - oder überhaupt einen - Vergleich ziehen zu können. So waren die Möglichkeiten der Auswertung der Concept Maps beschränkt, ich denke jedoch, dass auch aus den vorhandenen Maps einige Vorstellungen, Modelle und Schemata ersichtlich sind.
- Die aktuellen Präkonzepte und Modelle, die im theoretischen Teil meiner Arbeit aufgeführt sind, kommen auch im empirischen Teil deutlich zum Vorschein. Auch der „Rückschritt“ zu „älteren“ Vorstellungen bei unerklärbar erscheinenden Phänomenen und Beobachtungen ist sehr gut zu sehen. Es sind bestimmt noch einige Vorstellungen und Modelle in den Aussagen und Wortformen der drei Schüler versteckt, auf die ich jedoch in meiner Arbeit aus Platzgründen nicht weiter eingehen konnte oder/und die Hypothesen und Spekulationen aufgrund meiner Daten nicht bestätigen oder verwerfen könnte. Darüber hinaus habe ich versucht, die am meisten verbreiteten Vorstellungen, vor allem im Physikunterricht, hier aufzuzeigen.
- Die Simulatorsoftware des CPU-Projektes kam bei den Schülern sehr gut an. Sie benutzten diese meist in Situationen, bei denen sie im realen Experiment keine sichtbaren Beobachtungen machen konnten und als Vergleichsmöglichkeit. Deshalb würde ich bei der nächsten Untersuchung diese Software auch stärker einbinden. Des weiteren steckt in dieser Software noch einiges mehr an Potential, man betrachte nur die verschiedenen Gebiete der Physik, die durch verschiedene Simulatoren abgedeckt werden, aber auch die noch umfangreicheren Möglichkeiten in dem Gebiet des elektrischen Stromkreises, die in meiner Untersuchung nicht ausgeschöpft werden konnten.

7. Literatur

- [1] Aufschnaiter, Stefan von; Aufschnaiter, Claudia von; Schoster, Anja: *Zur Dynamik von Bedeutungsentwicklungen unterschiedlicher Schüler(innen) bei der Bearbeitung derselben Physik-Aufgaben*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jahrgang 6, 2000, S. 37-57
- [2] Behrendt, Helga; Häußler, Peter; Reger, Harry: *Concept Mapping – Schülerinnen und Schüler konstruieren eigene Begriffsnetze*, Unterricht Physik 8, Nr. 38, 1997
- [3] Duit, Reinders: *An Schülervorstellungen anknüpfend Physik lehren und lernen*. In: Naturwissenschaften im Unterricht, Heft 22, Mai 1994, 5. Jahrgang
- [4] Duit, Reinders: *Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: Lernen in den Naturwissenschaften, Hrsg.: Duit, Reinders / von Rhöneck, Christoph, IPN 1996
- [5] Fischler, Helmut; Peuckert, Jochen: *Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*, Logos-Verlag Berlin, 2000
- [6] Gunstone, Richard; Watts, Michael: *Force and Motion*. In: Children's Ideas in Science, Hrsg.: Driver, Guesne, Tiberghien, Open Univ. Press, Philadelphia 1985
- [7] Knaur, *Das deutsche Wörterbuch*, Lexikographisches Institut München, 1985
- [8] McDermott, Lillian C.: *Physics By Inquiry Volume II*, John Wiley & Sons, Inc, 1996
- [9] Muckenfuss, Heinz; Walz, Adolf: *Unterrichtshilfen Naturwissenschaften - Neue Wege im Elektrizitätsunterricht*, Aulis Verlag Deubner & CO KG Köln, 1992
- [10] Niedderer, Hans: *Schülervorverständnis und historisch-genetisches Lernen mit Beispielen aus dem Physikunterricht*, Vortrag auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Nürnberg; erschienen in: Wiebel, K.H.: *Zur Didaktik der Physik und Chemie*, Leuchtturm-Verlag, September 1987, Seite 76-105
- [11] Niedderer, Hans: *Überblick über Lernprozeßstudien in Physik*. In: Lernen in den Naturwissenschaften, Hrsg.: Duit, Reinders / von Rhöneck, Christoph, IPN 1996
- [12] Niedderer, Hans; Gohmert, Bernd: *Zur Einführung des Spannungsbegriffs*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, Heft 11, 30. Jahrgang, November 1982
- [13] Niedderer, Hans; Goldberg, Fred: *Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jahrgang 1, 1995, S. 73-86
- [14] Peuckert, Jochen: *Concept Mapping - Lernen wir unsere Schüler kennen!*. In: Physik in der Schule, Heft 1 & 2, 37. Jahrgang, 1999

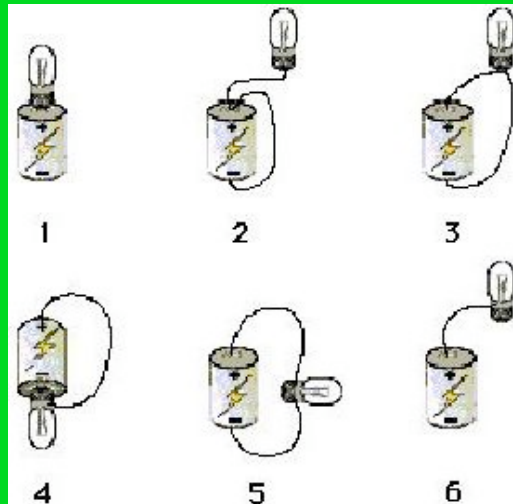
- [15]Rhöneck, Christoph von: *Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie, Heft 13, 34. Jahrgang, 1986
- [16]Schecker, Horst: *Das Schülervorverständnis zur Mechanik – Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftstheoretischer Aspekte*, Dissertation Universität Bremen 1985
- [17]Schoster, Anja; Aufschnaiter, Stefan von: *Schüler lernen Elektrostatik und der Lehrer schaut zu!* MNU 53/3, Dummler Köln 2000, Seite 175-179
- [18]Shipstone, David: *A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits*, European Journal of Science Education, 1984
- [19]Shipstone, David: *Electricity in Simple Circuits*. In: Driver, Rosalind: *Children's Ideas In Science*, Open University Press, 1985
- [20]Standing, M.E.: Maria Montessori, Stuttgart 1952, Seite 198
- [21]The CPU Project Home Page: <http://cpuproject.sdsu.edu/CPU/main.html>
- [22]Voss, Hans-Peter: *Fehlvorstellungen und der Gebrauch genereller Schemata in der elementaren Elektrizitätslehre*. In H. Wiesner (Hrsg.), Aufsätze zur Didaktik der Physik II, Bad Salzdetfurth, Franzbecker, 1991
- [23]Wagenschein, Martin: *Die pädagogische Dimension der Physik*, Georg Westermann Verlag, 1962
- [24]Wagenschein, Martin: *Kinder auf dem Wege zur Physik*, Beltz, Auflage 1997
- [25]Wheeler, Gerald F.: *Lillian Christie McDermott: Recipient of the Robert A. Millikan Lecture Award und Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned – Closing the gap*. In: American Journal of Physics., Vol. 59, No. 4, April 1991

8. Anhang

1.1

Eine Art zu herauszufinden, wie eine Taschenlampe funktioniert, ist, selbst eine Taschenlampe aus einer Batterie, einem Lämpchen und Drähten zu basteln.

Kennzeichne die Schaltungen, bei denen Du glaubst, daß das Lämpchen leuchtet.



Betrachte die gekennzeichneten Schaltungen. Warum denkst Du, daß gerade in diesen Fällen das Lämpchen leuchtet und nicht in den anderen? Notiere.

1.2

Vergleiche mit den Anderen und diskutiere die verschiedenen Fälle.

Testet die Fälle, die Euch interessieren, zuerst im Experiment, dann am Simulator.

Welche anderen Schaltungen würden Euch noch interessieren? Zeichne diese, mache eine Vorhersage (Lämpchen leuchtet/leuchtet nicht) und teste sie danach.

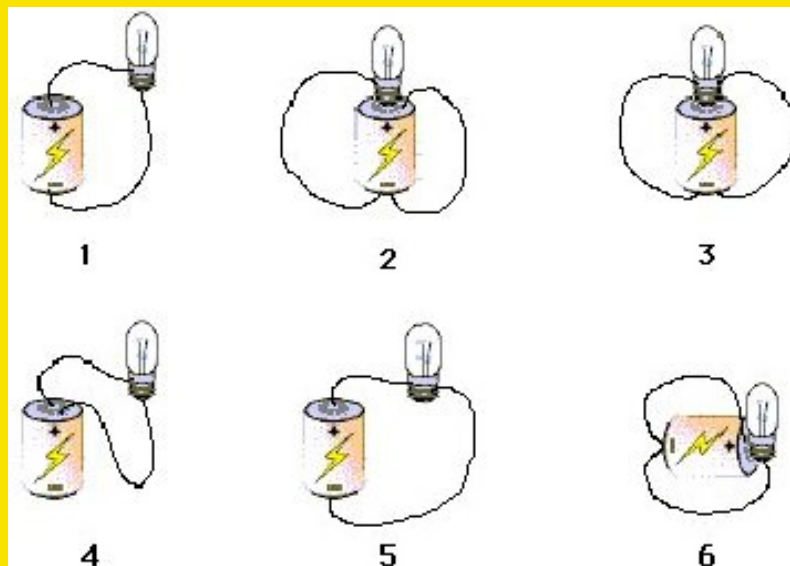
1.3

Stell Dir vor, Du telefonierst mit einem Freund und mußt ihm beschreiben, wie man mit Hilfe einer Batterie, einem Draht und einem Glühlämpchen dieses Lämpchen zum Leuchten bringt. Notiere, was Du zu ihm sagen würdest.

Diskutiere danach mit den Anderen.

1.4

In welchen der 6 folgenden Fälle leuchtet das Lämpchen? Kennzeichnet diese.



Testet die Fälle, bei denen Ihr Euch nicht sicher seid, zuerst im Experiment und danach am Simulator.

Waren alle Voraussagen richtig? Wenn nicht, diskutiert mögliche Gründe.

1.5

Sockel

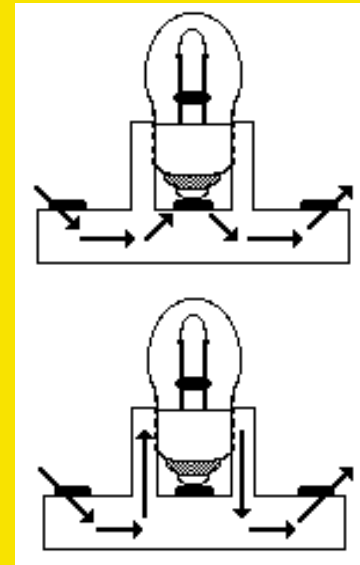
Betrachte die folgende Auseinandersetzung zweier Klassenkameraden

Robin:

Genau so funktioniert ein Sockel. Wenn das Lämpchen in den Sockel geschraubt wird, dann stellt es Kontakt zu den Leitern im Sockel her, genau wie in meinem Bild rechts. Der Sockel bietet der Elektrizität einen sicheren Zugang - ohne daß der Benutzer dieser ausgesetzt ist.

Chris:

Nein, so funktioniert der Sockel. Mein Bild auf der rechten Seite zeigt, wie ein Sockel wirklich funktioniert. Das in den Sockel geschraubte Gewinde erfüllt zwei Zwecke - das Lämpchen so fest zu halten und eine Verbindung zu den Drähten zu erstellen. Die Niete am Boden hält nur den Sockel zusammen.



Wem stimmt Ihr zu: Robin, Chris, oder keinem? Begründet Eure Entscheidung.

2.1

Vervollständige folgende Aussagen in Einzelarbeit:

Für die Kästchen hast Du folgende Auswahl:

heller als
genauso hell wie
dunkler als
aus, also dunkler als

Lämpchen B ist Lämpchen A

Lämpchen C ist Lämpchen A

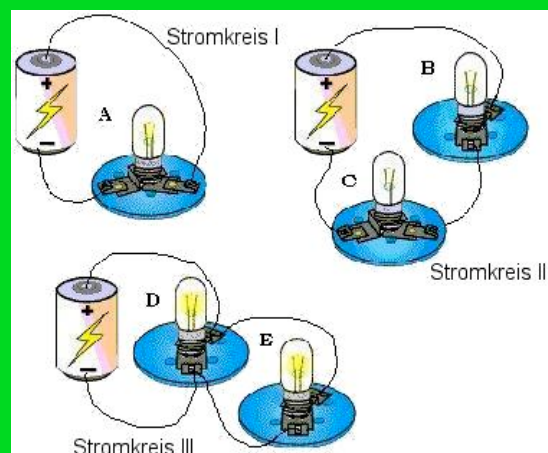
Lämpchen C ist Lämpchen B

Lämpchen D ist Lämpchen A

Lämpchen E ist Lämpchen A

Lämpchen E ist Lämpchen D

Lämpchen D ist Lämpchen B



2.2

Vergleicht Eure Aussagen und diskutiert abweichende Vorhersagen.

Testet die verschiedenen Schaltungen im Experiment und am Simulator.

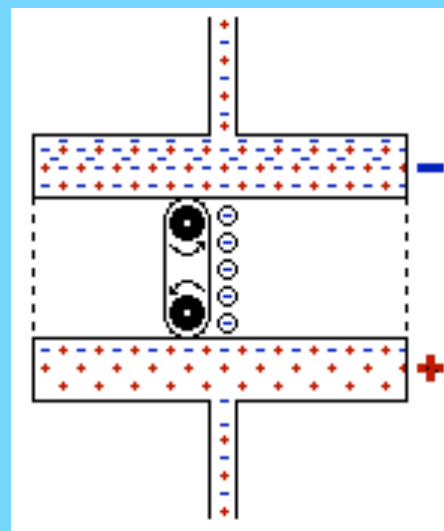
2.3

Eine Batterie funktioniert in etwa wie ein Motor. Bei dieser **mechanischen Analogie der chemischen Batterie** treibt dieser Motor ein Förderband an.

Die negativen Ladungen werden von der unteren „Platte“ der Batterie (positives Ende) herausgenommen und durch chemische Energie entgegen der elektrischen Anziehung zu der oberen „Platte“ (negatives Ende) transportiert. Dadurch erhält man einen Überschuß an negativer Ladung auf der oberen „Platte“, was ein Gebiet mit höherem „**elektrischen Druck**“ (höhere **Elektronendichte**) verursacht.

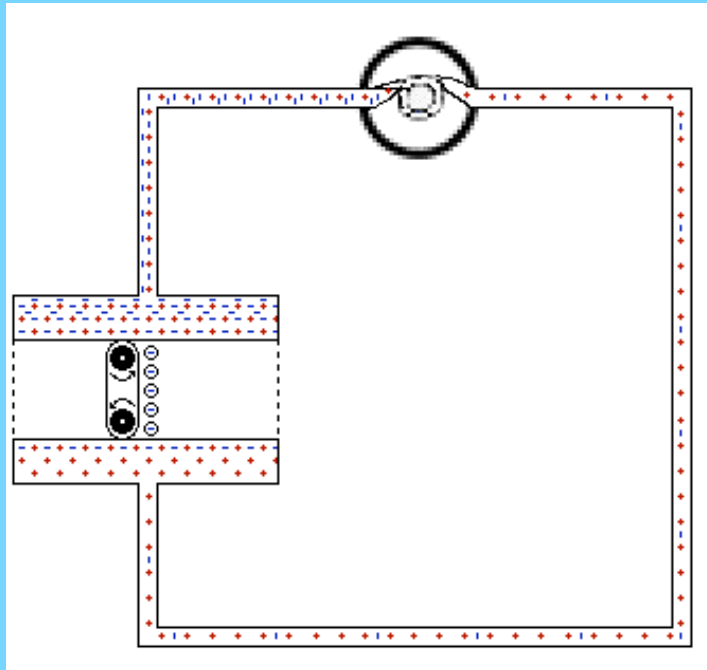
Dieser **Druckunterschied** bewirkt einen Schub in der Richtung von höherem Druck zu niedrigerem Druck, wodurch negative Ladungen aus der Batterie gedrückt werden. Die erste Ladung, die aus der Batterie kommt, drückt auf die erste Ladung im Draht, diese dann die nächste usw.

Die Batterie liefert einen **bestimmten konstanten Druckunterschied** (physikalisch: **Spannung**) zwischen ihren Platten.



2.4

In den Zuleitungen gibt es fast keinen Druckabfall, weil es sehr gut leitende Kupferdrähte sind, die für den Strom fast keinen Widerstand haben.



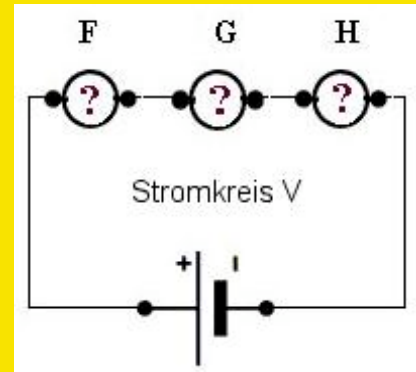
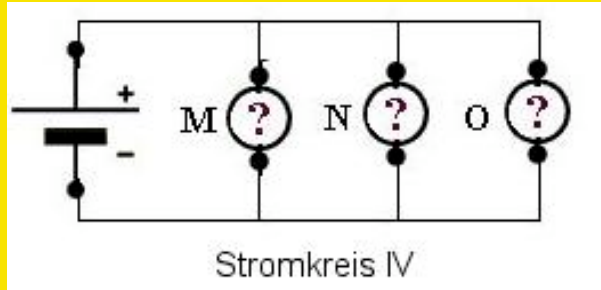
2.5

Versucht nun, die Schaltungen aus 2.1 zu erklären. Dabei könnt Ihr folgende Begriffe verwenden:

- Druck
- Druckunterschied
- Elektronendruck
- Elektronendichte
- Geschwindigkeit des Stroms
- Spannung
- Stromstärke
- Widerstand

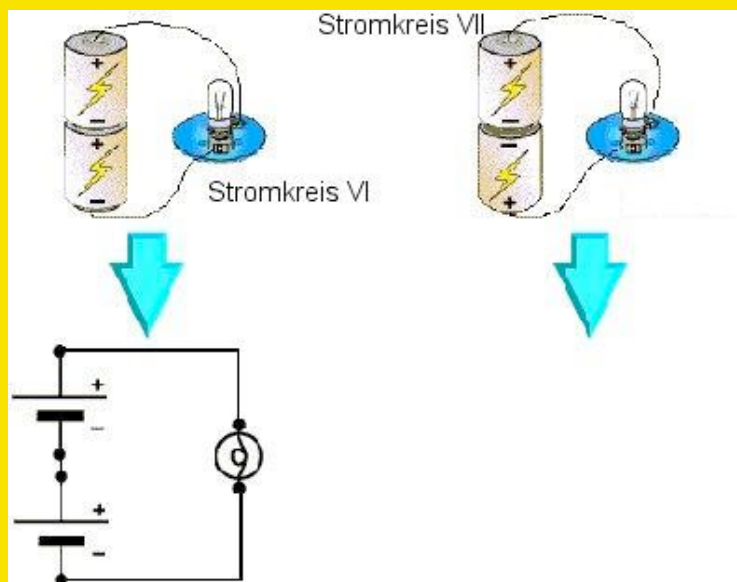
2.6

Die Stromkreise II und III der Aufgabe 2.1 werden jeweils um 1 Lämpchen erweitert. Macht Aussagen über die Helligkeit der Lämpchen F, G und H bzw. M, N und O und erklärt Eure Aussagen. Dabei könnt Ihr wieder die Begriffe aus Aufgabe 2.5 benutzen. Testet danach im Experiment und am Simulator.



2.7

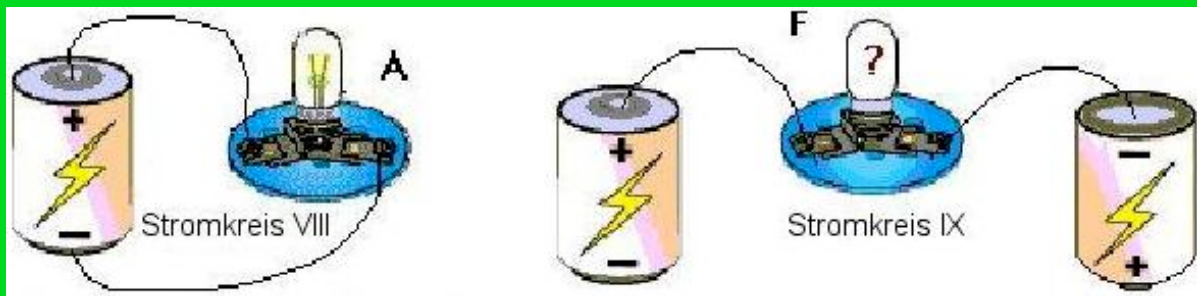
Reihenschaltung von 2 Batterien



Vervollständigt das obige Bild. Was könnt Ihr über die Helligkeit des Lämpchens im Stromkreis VI und im Stromkreis VII aussagen?

2.8

Den linken Stromkreis kennt Ihr und Ihr wißt, daß das Lämpchen leuchtet. Vervollständigt folgende Aussage:

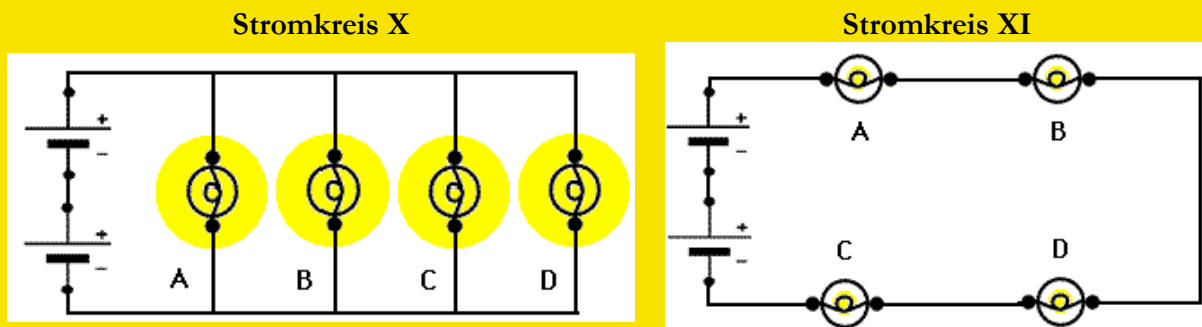


Lämpchen F ist Lämpchen A

Für das Kästchen habt Ihr folgende Auswahl: **heller als**
genauso hell wie
dunkler als
aus, also dunkler als

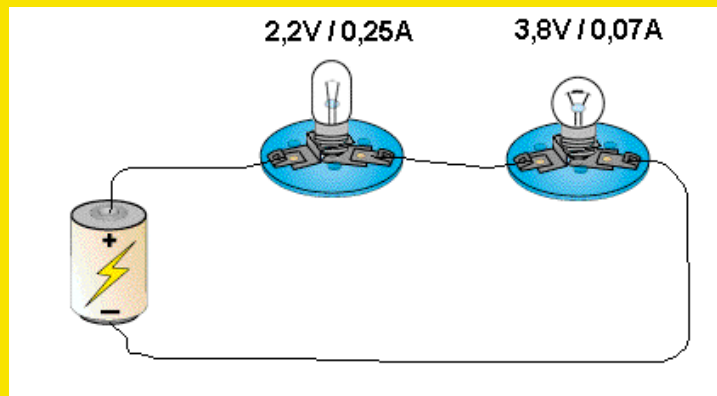
2.9

Was würde passieren, wenn in den beiden Stromkreisen X und XI jeweils das Lämpchen B durchbrennen würde?



Zusatz

Baut folgenden Stromkreis nach und beobachtet. Wie erklärt Ihr Euch das Gesehene?



Beobachtung:

Erklärung:

Wiederholung

Vervollständigt folgende Aussagen. Dabei habt ihr folgende Auswahl für die Kästchen:

heller als

genauso hell wie

dunkler als

aus, also dunkler als

Lämpchen B ist Lämpchen A

Lämpchen C ist Lämpchen A

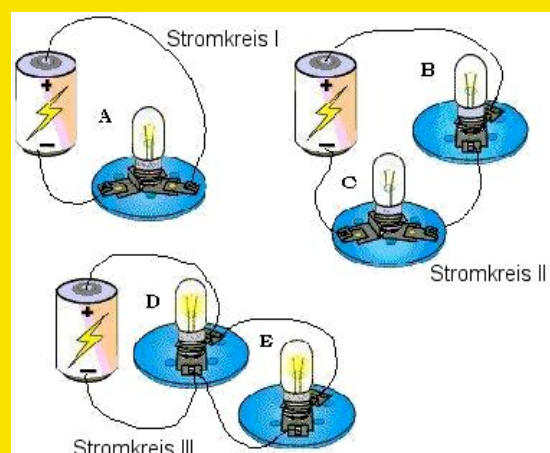
Lämpchen C ist Lämpchen B

Lämpchen D ist Lämpchen A

Lämpchen E ist Lämpchen A

Lämpchen E ist Lämpchen D

Lämpchen D ist Lämpchen B

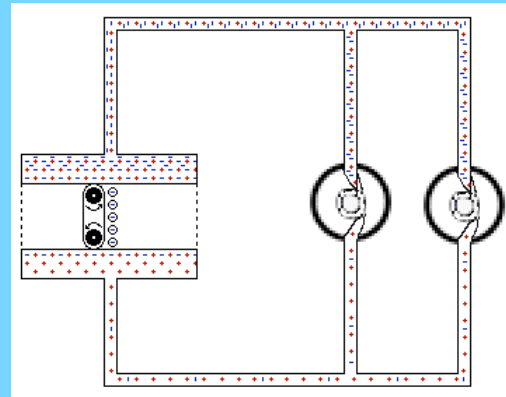
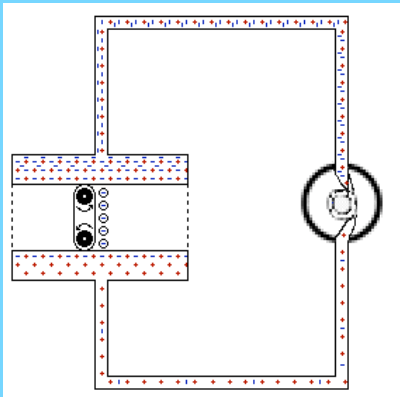


Wiederholung Information

Die negativen Ladungen werden in der Batterie von der unteren „Platte“ (positive) herausgenommen und durch chemische Energie entgegen der elektrischen Anziehung zu der oberen „Platte“ (negativ) transportiert. Dadurch erhält man einen **Überschuß** an negativer Ladung auf der oberen „Platte“, was ein Gebiet mit höherem „**elektrischen Druck**“ (höhere **Elektronendichte**) verursacht.

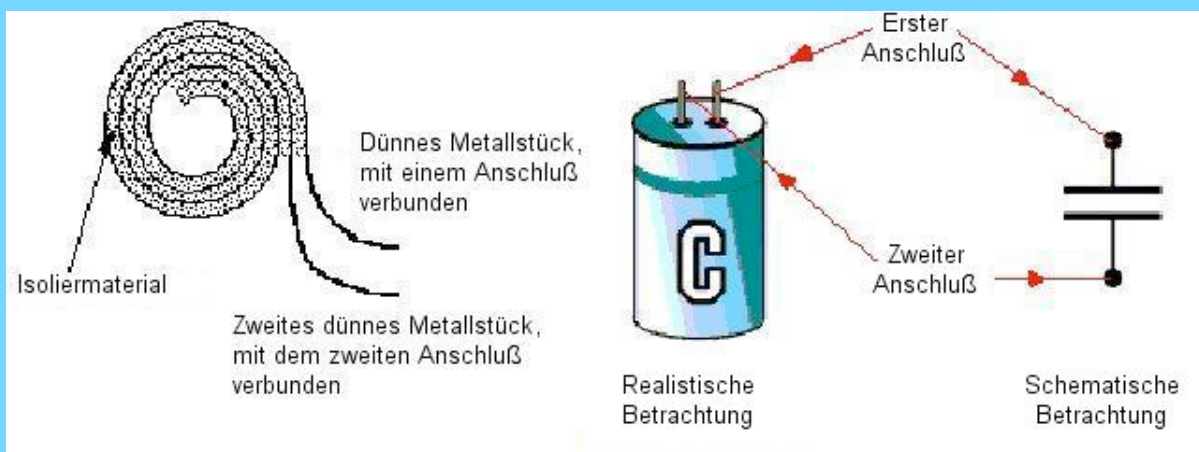
Dieser **Druckunterschied** bewirkt einen Schub in der Richtung von höherem Druck zu niedrigerem Druck, Die Batterie liefert einen **bestimmten konstanten Druckunterschied** (Spannung) zwischen ihren Platten.

In den Zuleitungen gibt es fast keinen Druckabfall, weil es sehr gut leitende Kupferdrähte sind, die für den Strom fast keinen Widerstand haben.



3.1

Der Kondensator

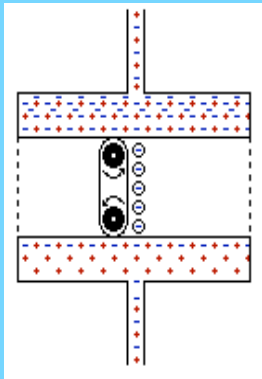


In einem Kondensator sind zwei leitende Materialien (gewöhnlich Metallfolie), die durch ein isolierendes Material (z.B. Wachspapier) getrennt sind und sich im Kondensator nicht berühren. Jedes leitende Stück ist mit einem Anschluß des Kondensators verbunden.

3.2

Vergleich von Kondensator und Batterie

Batterie

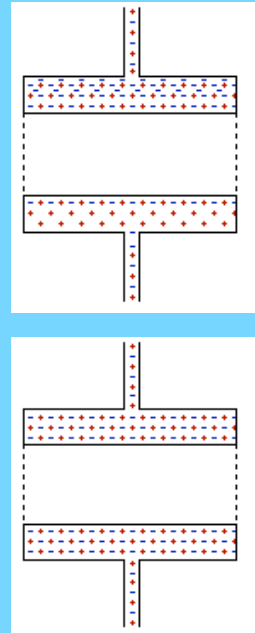


Wie eine Batterie vom Prinzip her funktioniert, war auf Karte 2.3 beschrieben.

Sie speichert Ladung und kann einen konstanten Druckunterschied zwischen ihren „Platten“ aufrecht erhalten. Die Energie, die dafür nötig ist, kommt aus chemischen Prozessen, die in der Batterie ablaufen.

Der Kondensator kann ebenfalls Ladung speichern. Jedoch fehlt bei ihm der „innere“ Motor (chemische Prozesse), der einen konstanten Druckunterschied zwischen den „Platten“ aufrecht erhält. Ist der Kondensator **geladen** (rechts oben), so gibt es einen Druckunterschied, ist er **entladen** (rechts unten), ist der Druckunterschied $=0$.

Kondensator

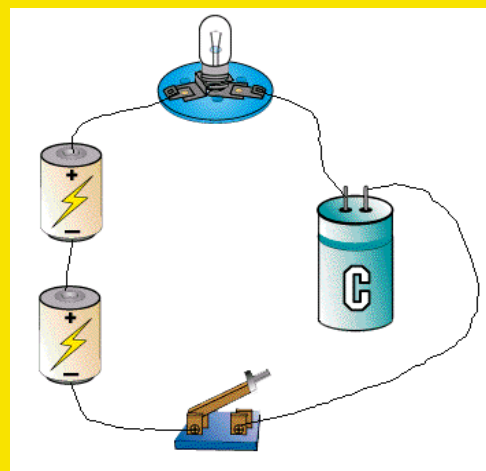
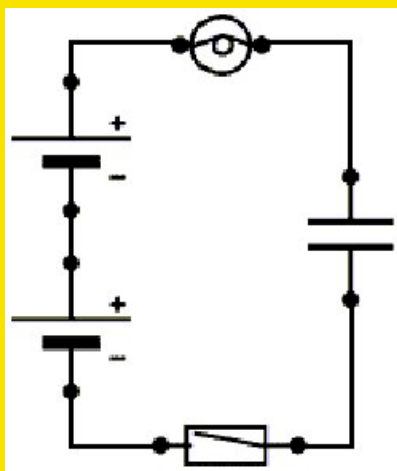


3.3

Betrachtet folgenden Stromkreis. Was meint Ihr passiert, wenn der Schalter geschlossen wird?

Überprüft danach Euere Aussagen im Experiment und mit dem PC-Simulator.

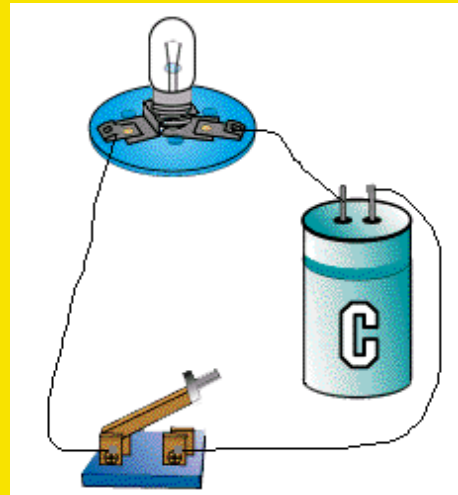
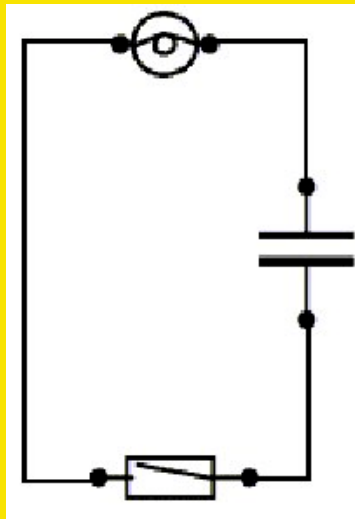
Erklärt Eure Beobachtungen. Auch hier könnt Ihr die Begriffe Druck, Druckunterschied, Spannung, Stromstärke, Widerstand, Elektronendruck und/oder Elektronendichte für Eure Erklärungen benutzen.



3.4

Stellt Euch vor, Ihr öffnet den Schalter in der vorherigen Aufgabe wieder und nehmt die Batterien weg. Was denkt ihr passiert, wenn man jetzt den Schalter schließt?

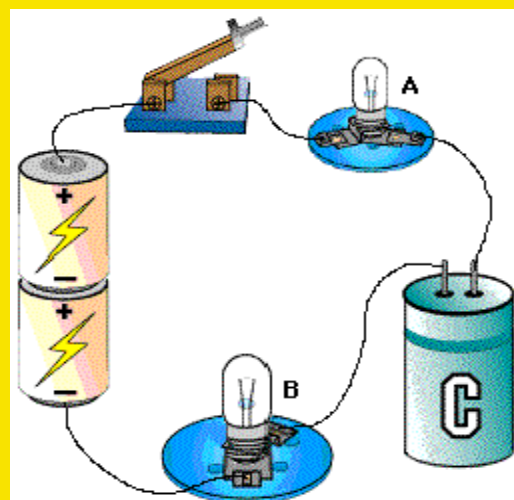
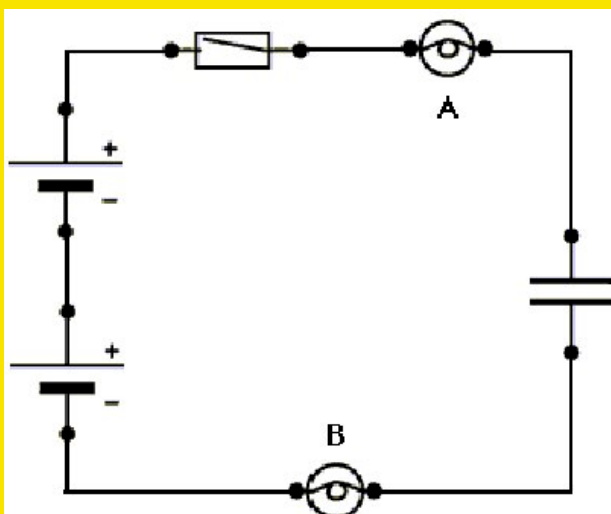
Prüft Euere Aussagen und versucht danach, Eure Beobachtungen (eventuell mit Hilfe der Begriffe aus 3.3 zu erklären).



3.5

Was passiert, wenn man 2 Lämpchen im Stromkreis hat und den Schalter schließt?

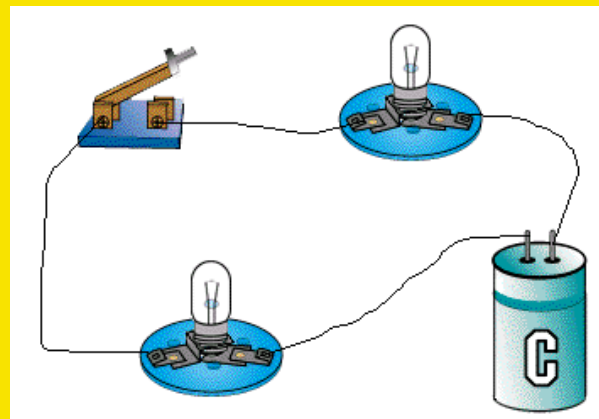
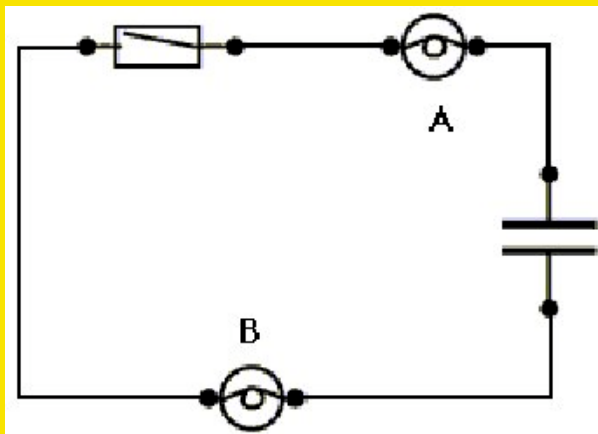
Überprüft auch hier wieder Eure Vorhersagen und versucht danach, Eure Beobachtungen (eventuell mit Hilfe der Begriffe aus 3.3) zu erklären.



3.6

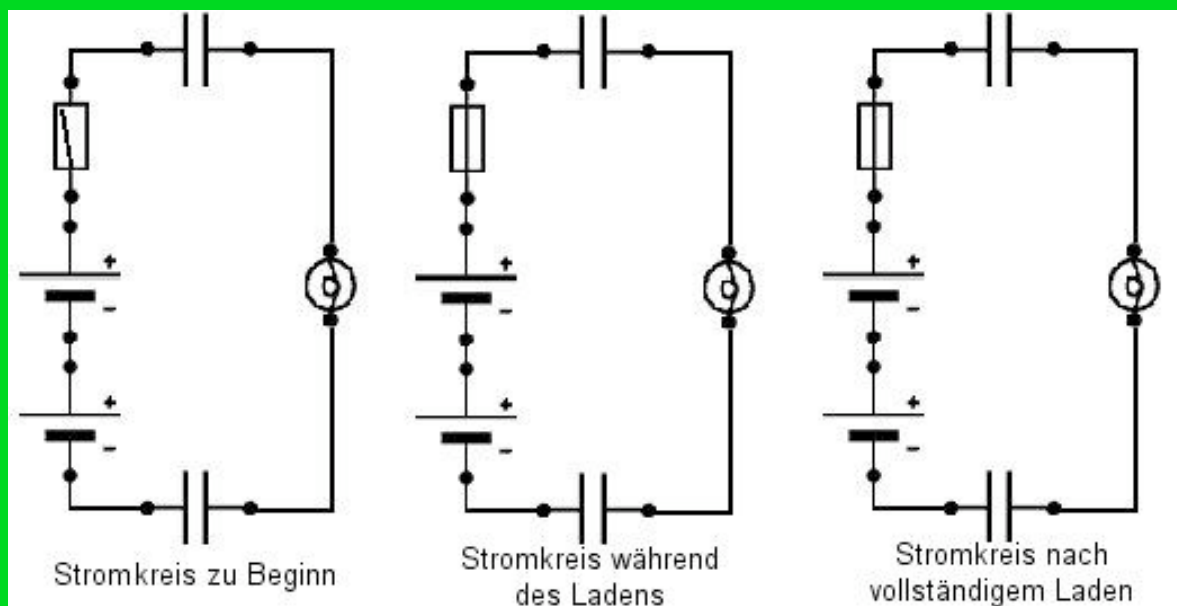
Stellt Euch vor, Ihr öffnet den Schalter in der vorherigen Aufgabe wieder und nehmt die Batterien weg. Was denkt ihr passiert, wenn man jetzt den Schalter schließt?

Überprüft Eure Vorhersagen im Experiment und am PC-Simulator. Versucht danach, Eure Beobachtungen (eventuell mit Hilfe der Begriffe aus 3.3) zu erklären.



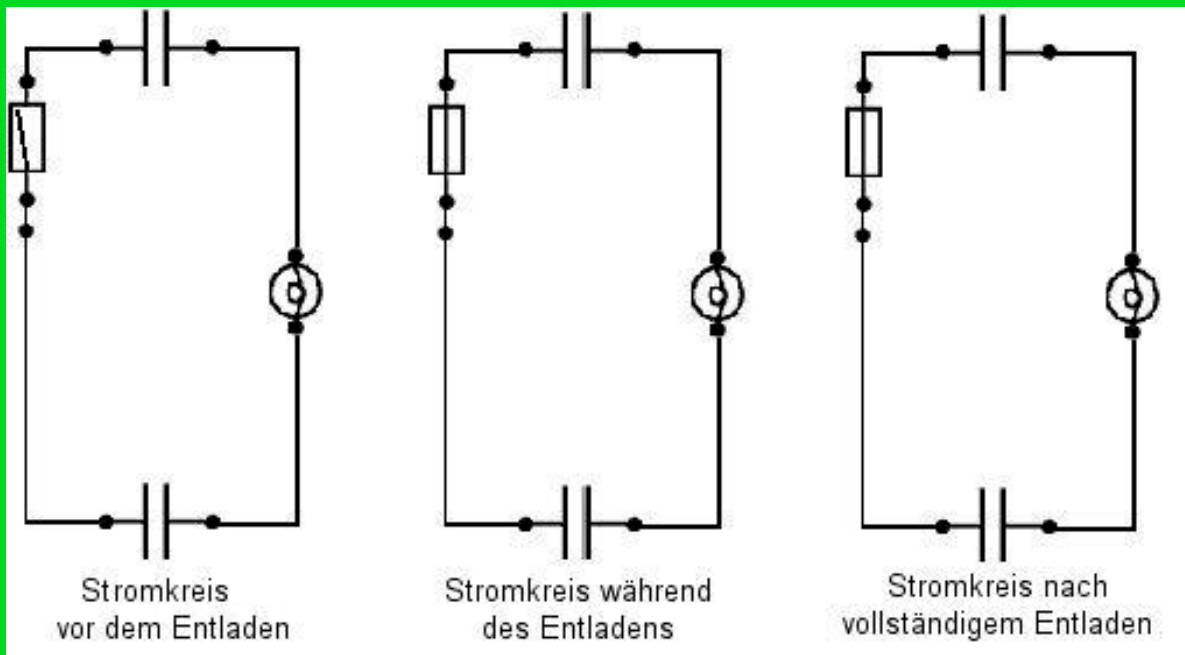
3.7

Zeichne in die folgenden Abbildungen den Ladungsfluß zu und von den Kondensatorplatten ein. Benutze dabei die Symbole (+) und (-) für die Ladungen.



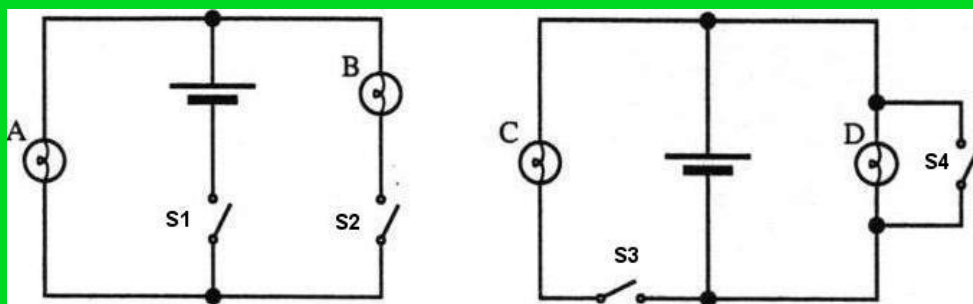
3.8

Zeichne in die folgenden Abbildungen den Ladungsfluß zu und von den Kondensatorplatten ein. Benutze dabei die Symbole (+) und (-) für die Ladungen.



4.1

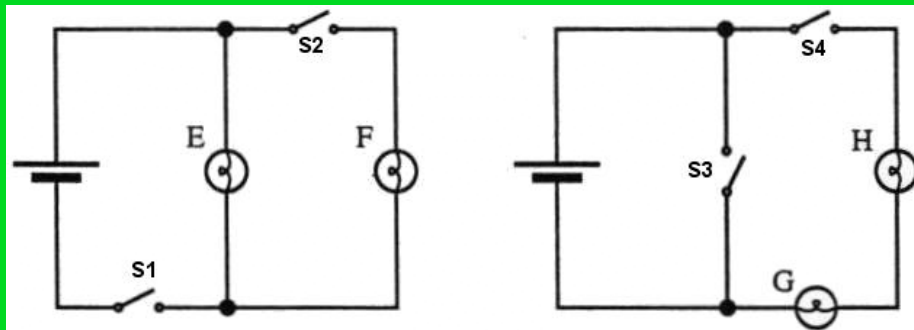
Für jeden Stromkreis gibt es vier mögliche Schalterkombinationen. Macht für jede Schalterkombination Aussagen über die Helligkeit der Lämpchen.



	Lämpchen A		Lämpchen B		Lämpchen C		Lämpchen D	
	leuchtet	aus	leuchtet	aus	leuchtet	aus	leuchtet	aus
S1 und S2 offen		x		x				
S1 offen, S2 geschlossen								
S1 geschlossen, S2 offen								
S1 und S2 geschlossen								
S3 und S4 offen								
S3 offen, S4 geschlossen								
S3 geschlossen, S4 offen								
S3 und S4 geschlossen								

4.2

Für jeden Stromkreis gibt es vier mögliche Schalterkombinationen. Macht für jede Schalterkombination Aussagen über die Helligkeit der Lämpchen.



	Lämpchen E		Lämpchen F		Lämpchen G		Lämpchen H	
	leuchtet	aus	leuchtet	aus	leuchtet	aus	leuchtet	aus
S1 und S2 offen								
S1 offen, S2 geschlossen								
S1 geschlossen, S2 offen								
S1 und S2 geschlossen								
S3 und S4 offen								
S3 offen, S4 geschlossen								
S3 geschlossen, S4 offen								
S3 und S4 geschlossen								

4.3

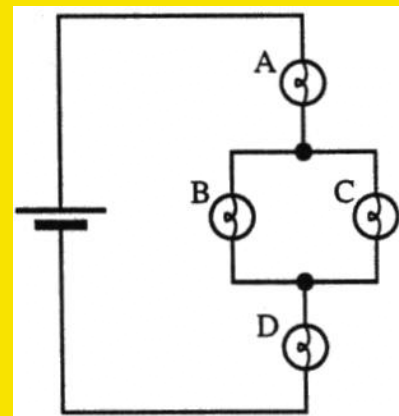
Betrachtet die folgenden Aussagen zweier Schüler über die Helligkeit identischer Lämpchen in dem Stromkreis. Stimmt Ihr Schüler 1, Schüler 2 oder keinem zu? Begründet und testet danach.

Schüler 1:

Der ganze Strom geht durch A. Dann teilt er sich zwischen B und C auf, so daß B und C gleich schwach leuchten, viel schwächer als A. dann kommt der Strom wieder zusammen und alles geht durch D. Das Lämpchen D ist genau so hell wie A.

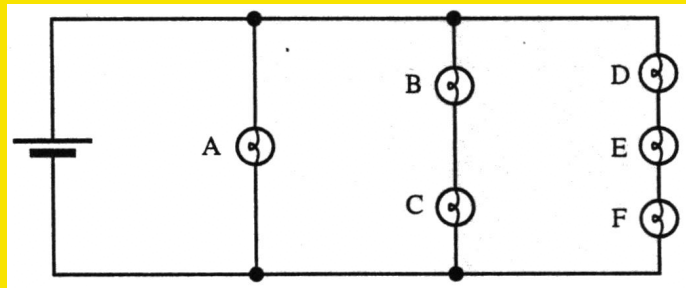
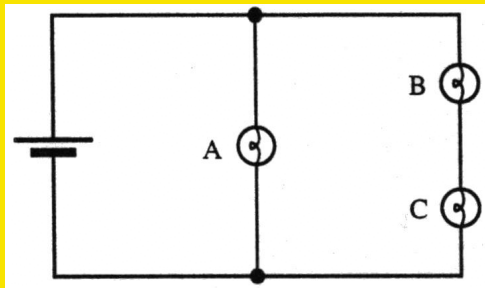
Schüler 2:

Ich denke, D wird viel schwächer sein als A, vielleicht leuchtet es auch gar nicht. Es wird nicht mehr viel von dem Strom übrig sein, nachdem er durch A, B und C geflossen ist. Vielleicht wird auch D hell sein und A ganz schwach; das hängt von der Richtung des Stromes in dem Stromkreis ab. Das wäre ein guter Test, um die Stromrichtung zu finden.



4.4

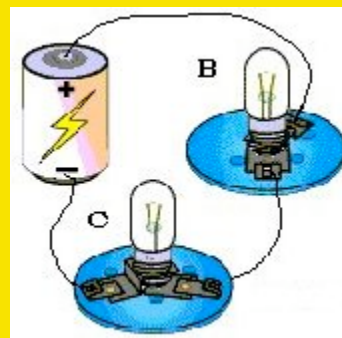
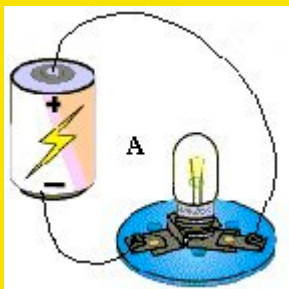
Vergleicht die Helligkeiten der einzelnen Lämpchen in den beiden Stromkreisen.



Was passiert mit der Helligkeit des Lämpchens E, wenn A herausgeschraubt wird?
 Was passiert mit der Helligkeit des Lämpchens B, wenn E herausgeschraubt wird?
 Was passiert mit der Helligkeit des Lämpchens D, wenn E herausgeschraubt wird?

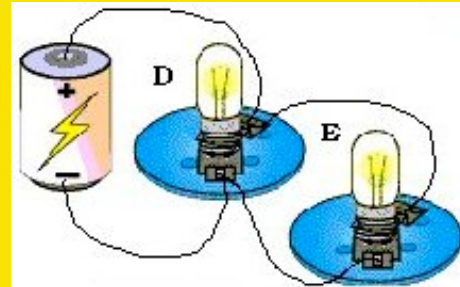
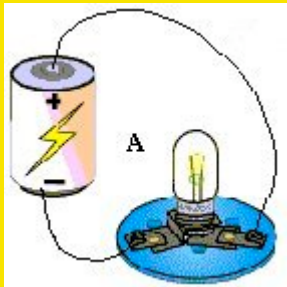
4.5

Wie wirken sich Lämpchen auf die Menge, die Rate oder die Geschwindigkeit des Stromflusses aus? Vergleicht dabei die beiden Stromkreise und denkt an die Beobachtungen, die Ihr gemacht habt..



4.6

Wie wirken sich in einem Parallelkreis Lämpchen auf die Menge, die Rate oder die Geschwindigkeit des Stromflusses aus? Vergleicht dabei die beiden Stromkreise und denkt an die Beobachtungen, die Ihr gemacht habt..



Transkriptauszug zur Aufgabenkarte 2.1

- D: [...] also gut: dunkler, dunkler
M: Warte, machen wir erst mal
Lämpchen B ist
D: Dunkler
M: Dunkler als
J: Dunkler als
M: Lämpchen C ist
D: Dunkler als
J: Dunkler als
M: Wieso hab ich denn da nur dunkler stehen?
Lämpchen C ist
D: genauso
J: Genauso
M: Ja ... Lämpchen D ist
D: genauso
J: Dunkler als
M: Dunkler als
D: Als A?
M: OK, jetzt müssen wir darüber diskutieren.
D: Ich hab da genauso.
M: Aber wieso?
D: Ich gebe davon aus, dass der ... Strom sucht sich ja normalerweise den
einfachsten Weg, oder?
J: [zustimmendes] Mmh
D: Das heißt er würde einfach nur hier durch das eine Lämpchen fließen,
gar nicht durch E.
M: Ja, aber wenn Du dann einen Voltmeter oder so was anschließen
würdest, dann würde er halt auch nicht durch [...] fließen. Deswegen
ist Deine Theorie...
D: Ich beharre darauf.
M: Ok.
J: Können wir dann ja ausprobieren. Machen wir ein Fragezeichen dran.
[...]
M: Lämpchen E ist
J: Dunkler als
M: Ja
D: Als A? Ich hab aus. Ich hab bei E: aus
M: Und beim nächsten E?
D: Auch aus. Ja E kann ja nicht einmal an und einmal aus sein.
M: Ja. Und Lämpchen D?
D: Ist heller als B.
J: Genauso hell hab ich beim letzten.
M: Ja ich auch.
D: Bei D hab ich volle Power.
M: Ja, probieren wir es einfach aus
D: Ok.
J: Wir probieren es.
[Experimente]
- Einfachster + kürzester Weg
/ Sink-Modell
- Einfachster Weg
- Sink-Modell / Lokale Argu-
mentation

D: Scheiße, na gut	
J: Gewonnen	
D: Na gut, dann habt ihr also recht, also ist das ... D ist genauso ...	
J: Dunkler als ... aber es kann auch genauso sein, das wissen wir nicht	Mit Auge nicht erkennbar
D: Ihr habt den falschen Stromkreis gebaut, wir müssen erst einmal den hier machen, den B	
M: Auf jeden Fall der [A] war heller als die [D und E], allein schon dadurch durch die verschiedene Spannung da	Aufteilungsschema im Bezug auf U im Parallelstromkreis
D: [Aufbau des Reihenstromkreises; Lämpchen leuchten schwach (zu schwach für die Schüler)]	
J: Nimm doch mal ne andere Batterie, vielleicht ist die etwas leer	Tank-Benzin-Modell
M: Aber das sind doch sicher alles neue.	
J: Denk ich auch.	
M: Also haben wir einen Fehler. Aber warum sind die...	
D: Ja weil sich die Spannung aufteilt.	U/I sinngemäß vertauscht
J: Das eine ist parallel und das andere ist in Reihe geschaltet. [...]	
M: Also [...] korrigieren wir das. Und B und C waren immer dunkler als A?	
D: B und C ist dunkler. C ist dunkler als B. Nein das ist genauso. D ... Waren D und A genauso hell?	
M: Nee	
D: Mach nochmals Deins da. [...Vergleich von D/E mit A]	
D: Die sind genauso hell	
M: Nein, glaub ich nicht... Will ich nicht glauben	Believing is seeing
D: Die sind genauso	
M: Nein, kuck mal da mittenrein [...]	
J: Fast gleich... aber eigentlich müssten die gleich sein ... Nur ein Fehler! [... gehen an CPU-Simulator]	
D: Jetzt möchte ich noch mal	
M: Jeder darf einen Stromkreis. Du darfst den ersten. [...] [Vergleich von D/E und A]	
D: Die sind gleich. Sind die gleich? Die sind gleich	
J: Die müssten eigentlich auch gleich sein.	
D: Die sind gleich.	
M: Aber die können gar nicht gleich sein.	
D: Die können gleich sein.	
J: Doch die sind gleich	
M: Nein, weil da doch mehr Widerstand entsteht.	Sink-Modell
D: Ja, aber das ist doch minimal	
M: Ja, aber ich bestehe darauf..	

Wiederholung von 2.1 als Gruppenaufgabe

M: OK, fangen wir an. Stromkreis A ...	
D: ... Ja da leuchtet die total	
M: Also, ja ... beim Stromkreis I da kann ... warte mal ... Lämpchen B ist blablabla Lämpchen A. Also bei Stromkreis I kann der Strom losfließen, fließt ganz normal durch die Lampe durch und wieder zurück.	Strom hat Richtung Hemmungsschema
D: Ja	
J: [zustimmendes] Hmm	
M: ...und wird bei der Lampe ein bisschen gedrosselt.	
[...]	
M: So, und bei B allerdings fließt er durch die erste und da kommt er...	
D: ... und da addiert sich dann der Widerstand	
M: Ja genau	
D: Da ist er einfach und da ist der Widerstand doppelt	
J: Das heißt dass der Widerstand ...	
M: ... Also B ist dunkler als ...	
D: ... weil der Stromkreis einen höheren Widerstand enthält. Das gleiche gilt für C ...	Stromkreis als Gesamtheit
M: C ist genauso wie B	
Lämpchen C ist ... Lämpchen B. Ja die sind ... die addieren sich, sind genau dieselben Lampen, und dann genauso.	
D: B und C entsprechen einander.	
D: Lämpchen D	
M: D, das ist Stromkreis III. ich würde sagen genauso hell, weil die durchfließen ...	
J: Ich sehe gar nichts	
M: Und die sind hier in ... Parallel geschaltet...	
[...]	
[bauen die Stromkreise I und III nach]	
J: Die sehen anders aus	Geometrische Probleme
D: Ja ist doch wurscht, parallel sind die doch trotzdem	
M: So, mach mal an.	
D: Mach mal Licht aus Janine	
J: [macht Licht aus]	
M: Und was erkennen wir?	
D: Sind die alle gleich hell?	
M: Nee, meine [Stromkreis I] ist heller. Warte, können wir mal nebeneinander halten. Siehst Du das?	$D=E<A$ Believing is seeing
D: Ein bisschen heller, ja.	
M: Glaub ich	
J: Ja, doch, ist heller	
M: Doch meine ist heller	
J: [macht Licht an]	
M: Dunkler als, ne?	
J: Und warum. Wir müssen ja irgendeine physikalische Begründung haben, das will er ja wissen.	Hätten sich mit der Beobachtung zufrieden gegeben
M: Hier muss er sich teilen	
J: Das hatten wir doch eben gehabt, das ist ja parallel, da addiert sich	Sharing + gleichzeitiges

- das nicht, da beides gleichzeitig da durchfließt und bei dem anderen ...
- D: ... ja aber kuck mal, das liegt aber wahrscheinlich daran, dass das ... die Kabelstrecke länger ist und dadurch hat der einen höheren Widerstand das Kabel selber hat den höheren Widerstand ...
- J: Wieso die haben doch ...
- M: ... durch die Lampen?
- D: Wieso die Lampen ... der muss doch jeweils durch ... der Strom fließt doch einmal hier durch die Lampe und einmal da, ein Strom fließt ja nicht durch zwei Lampen, sondern jeweils nur durch eine, weißt du wie ich das meine?
- Entweder er fließt durch die oder durch die, er fließt ja nicht ... kreuz und quer. Und hier [Stromkreis II] muss er halt durch beide durch.
- J: [zustimmendes] Hmm
- D: Und deshalb kommt dieser Helligkeitsunterschied durch den Widerstand der Kabel.
- M: Ja. E ... und E bei Stromkreis III, das wäre genau dasselbe Prinzip.
- D: Ja.
[vorletzte Aufgabe]
- M: Lämpchen E ist ... ja das ist wieder genau dasselbe, wie wenn das in Reihe geschaltet ist.
- J: [verneinendes] Nhn.
- M: Die sind doch genauso hell.
- J: Da addieren sich doch die Widerstände.
- M: Ja, aber hier leuchten doch beide, wenn die denselben Widerstand haben ...
- D: Die leuchten schwächer als die ...
- J: Weil sich der Widerstand da addiert und hier ...
- M: ... Nein, ich will nur sagen, dass die beiden [B und C] leuchten ja gleich stark, und die beiden [D und E] leuchten auch gleich stark
- J: Ja.
- D: Ja.
[...]
- M: Und D und B ist genau dasselbe Prinzip wie E und ...
- J: Nein, das eben nicht.
- D: Wie eh und je?
[... murmeln ...]
- J: [zu Dominik:] Was spielst du da eigentlich?
- D: [baute Stromkreis II und Stromkreis III auf]
- D: Das ist, wenn die parallel sind, und das ist, wenn die in Reihe sind.
[überprüfen...]
- J: Weil der Widerstand sich bei dem einen addiert, und bei dem anderen der Widerstand sich nicht addiert.
- M: Also ist dann auch D heller als B.
- D: Das ist wie bei einer Straße, wenn das eine zweispurige Straße ist, können die Autos viel schneller da durchfahren, als wenn nur eine einspurige ist.
- J: Da kann auch eine Straße verstopft sein, und es geht immer noch doch. Das heißt, wenn man die parallel schaltet, dann könnte eine Lampe sogar kaputt sein, und die andere geht noch.
[ich: Darf ich Euch was geben? ... Ihr könnt es benutzen, ihr müsst

Fließen des Stromes
Widerstand abhängig von
der Kabellänge

Stromkreis III: Strom entweder durch D oder E
Stromkreis II: Strom durch B und C

Widerstand der Kabel bestimmt Helligkeit

Argumentation mit Widerstände

Dingschema (Strom als Auto mit Geschwindigkeit)

es aber nicht.]

D: *[zu Matthias:] Lies mal laut vor.*

M: *[liest vor]*

D: *[nimmt sich die Karte und liest nochmals für sich]*

D: *Mhmmhh*

[...]

J: *Das war doch jetzt bei dieser Aufgabe gewesen, oder? Bei der Vergleich die zu I und III.*

[...]

M: *Also. Oder die leuchten genauso hell beide ...*

D: *... und wir sind nur zu dumm, um es zu unterscheiden.*

M: *... weil die hier anfangen – also wenn das jetzt Männchen wären – fangen an zu laufen, laufen da durch und laufen weiter.*

D: *Ja.*

M: *Stoßen dann halt den nächsten an und der läuft dann. Und hier [Verzweigung bei rechtem Bild] stoßen die auch wieder die Männchen sich gegenseitig ab. Der eine stößt dann die unteren und den oberen an.*

J: *Wie?*

D: *Nein, die laufen ja eh alle gleichzeitig. Nur die haben einfach nur die Möglichkeit, entweder rechts oder links.*

M: *Ja, aber hier werden auch wieder Elektronen angestoßen und hier auch*

D: *Ja gehen wir davon aus, dass die einfach da lang kommen. ... Fragen wir unseren Freund, den Simulator.*

[gehen an Simulator]

M: *Mach mal gleich nebeneinander das ganze.*

D: *[konstruiert einen Stromkreis aus einer Lampe und einer Batterie und einen Parallelstromkreis aus zwei Lampen und einer Batterie.]*

M: *Gib mal her [übernimmt die Konstruktion der Stromkreise]*

J: *Wieso, so hat er das doch eben auch gemacht.*

M: *Hat er nicht.*

D: *Natürlich*

J: *Ja klar, war das so.*

[...]

D: *OK und Test.*

D: *Die leuchten alle gleich*

J: *... gleich*

D: *Ja gut.*

M: *[überprüft nochmals das Geschriebene]*

Dingschema (Strom als Männchen mit Richtung)

Männchen stoßen sich gegenseitig an, bei Verzweigung Anstoß in beide Richtungen

Stromkreis als Einheit, Gleichzeitigkeit Bewegung von Elektronen

Seeing is believing

Transkriptauszug zur Aufgabenkarte „Zusatz“ am Ende der ersten Sitzung:

J: Die ist heller [2,2V], die ist dunkler [3,8V].	U=I, R nicht einbezogen
D: Die ist dunkler [3,8V].	
J: Ja.	
[...]	
M: Eins, zwei, Test...	
J: Oh.	
D: Oh ... Jetzt probier mal anders herum [dreht die Batterie herum].	Stromrichtung, Verbrauch
J: Faszination, warum ist das so?	
D: Mensch, das ist jetzt aber... [nimmt eine zweite Batterie dazu]	2 Batterien → I/U zu wenig
D: Geht die hier auch [2,2 V]	
J: Nein, eben nicht.	
M: Aber es muss Strom durchgehen.	Stromkreis geschlossen!!!
D: Ja, jetzt probieren wir mal drei. [nimmt eine dritte Batterie dazu]	3 Batterien → I/U zu wenig
D: Aber die muss ja irgendwie ein bisschen aufleuchten. [schauen genauer nach]	
J: Gar nichts.	
D: Toll.	
J: Aber es muss ja Strom durchfließen.	
M: Ja.	
[...]	
M: Aber, warte mal...	
D: Die hat ja auch Dings...	
M: Der Strom ...	
D: Die hat 10,07A.	
M: Der fließt los...	
J: ...Aber wenn Du die umdrehst ...	
D: Die Stromstärke nimmt die weg, die Lampe, und die braucht viel mehr als die kleine.	Verbrauch
J: Vor allem, du musst ja sehen, wenn das anders herum ist, geht der Strom zuerst durch die andere Lampe, und dann passiert nichts [anders].	Keine Abhängigkeit von Richtung des Stromes
M: Auf jeden Fall läuft der Strom, wenn er so ist, da [3,8V] durch.	
D: Der fließt ja in jedem Fall da durch.	
M: Der [3,8V] frisst jetzt den Strom, und fließt dann hier weiter, fließt da durch [2,2V]...	Verbrauch
J: Dann ist nichts mehr da.	Verbrauch
[...]	
J: Das ist schwer.	
D: Voll die Deppenaufgabe.	
J: Das ist jetzt endlich mal was kniffliges.	
[...]	
J: Vielleicht ist der Widerstand auch zu hoch, wenn er	R mit einbezogen
M: Ja da [3,8V] ist der Widerstand auf jeden Fall höher.	
J: Nein, dass der Widerstand allgemein zu hoch ist, dass zu wenig Strom durchfließt, um die Lampe dort [2,2V] zum Leuchten zu bringen....	Stromkreis als Ganzes
D: Ja, aber wir haben das doch bei drei Batterien ausprobiert.	
M: Hab ich es auch nicht kaputt gemacht? [probiert die 2,2V Lampe	

<i>allein aus: sie leuchtet]</i> J: <i>Das kann doch gar nicht sein, sonst würde überhaupt kein Strom fließen.</i>	
M: <i>Jaja, schon klar.</i>	
J: <i>Dann würde gar keine Lampe leuchten.</i>	
M: <i>Also ich vermute, dass der da [3,8V] durch den höheren Widerstand zum Leuchten gebracht wird ... und Energie absondert, ist ja klar, und dann weiterfließt. Und das ist da [2,2V] ja kein höherer Widerstand mehr als da</i>	Höherer Widerstand bringt Lämpchen zum Leuchten
D: <i>Ich würde sagen, dass der ... die Stromstärke, also dass die bei der 3,8V-Lampe ja praktisch herausgesaugt wird, und der Strom keine Stärke mehr hat, egal wie rum der fließt, ...</i>	Lämpchen mit größerem R ist stärker, Verbrauch
J: <i>Ja, dass das da [3,8V] stärker ist und mehr Kraft hat, um alles rauszusaugen, als die andere Lampe.</i> [...]	Bedarfsschema
D: <i>Simulator!</i>	
M: <i>Ja, das bringt uns doch nichts, der erklärt uns das doch nicht..</i>	
J: <i>[an mich:] Kann man auch Erklärungen rausziehen?</i> <i>[aus dem Simulator nicht, nee]</i>	
J: <i>Schade.</i>	
D: <i>OK, du hast uns vollkommen gefordert, mehr können wir nicht.</i> <i>[ich: Was würde passieren, wenn man die beiden [Lämpchen] – ihr habt ja jetzt ne Reihenschaltung- was würde passieren, wenn man dieses Lämpchen [2,2V] herauslässt und nur dieses [3,8V] anschließt? Vergleich Helligkeit vorher im Reihenstromkreis und wenn es alleine ist. Was denkt ihr denn? Wird es heller, wird es viel heller, wird es fast nicht heller?</i>	
D: <i>Nee, es ist dunkler.</i>	
J: <i>Soll ich das Licht ausmachen?</i>	
M: <i>Ja.</i>	
D: <i>Ja, es ist dunkler als das andere, auf jeden Fall.</i> <i>[Sie überprüfen im Experiment die Helligkeit.]</i>	
M: <i>Ist da überhaupt ein Unterschied?</i> <i>[Mühen sich mit den „verdammt“ Klemmen]</i>	
D: <i>[an mich:] Hast du noch so ne Lampe?</i> <i>[von mir: nee, leider nicht]</i>	
D: <i>Simulator, auf jeden Fall der Simulator.</i> <i>[machen sich an den Simulator]</i>	
M: <i>Die runden [Lämpchen] werden wahrscheinlich die sein, die mehr...</i> [...]	
<i>[ich: Zwei Fragen: Warum ist die eine Lampe aus und wenn ich die Lampe, die aus ist, wegnehme, wird die andere dann heller...?]</i>	
D: <i>Waren die jetzt heller?</i>	
M: <i>Nehmen wir die mal mit.</i>	
M: <i>Also...</i> [...]	
J: <i>Eigentlich müsste sie heller sein, weil der Widerstand weg ist [deutet auf die 2,2V-Lampe]. Die bildet ja auch einen Widerstand.</i>	Stromkreis / Widerstand als Ganzes
D: <i>Ja, das ist doch aber minimal, bei einem solchen kleinen...</i>	
J: <i>Ja, es wurde aber gefragt, ob sie heller ist, oder nicht. Und wenn das so</i>	

<i>minimal ist, dann ist sie halt minimal heller.</i> <i>[...machen das Licht aus]</i> M: <i>Also, geringerer Widerstand...</i> D: <i>Ja.</i> J: <i>Wenn nur eine Lampe drin ist.</i> M: <i>Fließt schneller durch ...</i> D: <i>Bei höherem Widerstand leuchtet das Ding ... schwächer</i> J: <i>Ja, weil weniger Strom durchfließen kann.</i> M: <i>Nein, bei höherem Widerstand leuchtet das stärker, ist ja klar</i> J: <i>[verneinendes und fragendes] Hmmm?</i> <i>Bei höherem Widerstand weniger, weil der Strom nicht so schnell fließen kann.</i> M: <i>Das Ding mit dem höheren Widerstand...</i> D: <i>...wie ist denn die Formel für den Widerstand? URI</i> J: <i>Ist das die Pyramide?</i> M: <i>Ja die hat 0,07 Ampere.</i> D: <i>Das steht doch da: 10,07. Nein: 0,07.</i> M: <i>0,07 Ampere. Die hat 0,...</i> D: <i>0,25.</i> M: <i>...0,25.</i> D: <i>Ach so, ich dachte, die hat 10,07.</i> M: <i>Das heißt ... [schreibt heller auf Karte] So.</i> M: <i>Jetzt fließen die auf jeden Fall hier am Minuspol los ... fließen da durch ...</i> D: <i>Das hat da mit ja nichts zu tun, das ist ja in beiden Richtungen gleich.</i> <i>[Schweigen]</i> J: <i>Geben wir uns geschlagen?</i> D: <i>Ja.</i> J: <i>[an mich:] Wir geben uns geschlagen.</i> D: <i>Ich möchte jetzt wissen, warum...</i> <i>[ich: es hat was mit dem Widerstand zu tun. Ihr habt da eben etwas von einer Formel gesagt]</i> D: <i>URI.</i> J: <i>Ist der Widerstand vielleicht von der Lampe zu groß, um Strom aufzunehmen.</i> <i>[D rechnet Widerstand der 3,8V-Lampe aus; geht an den PC-Rechner/ J rechnet zeitgleich per Hand und Kopf]</i> J: <i>Das sind ungefähr 54...</i> <i>[rechnen beide am PC]</i> J: <i>Ich habe das doch schon raus. 54,2 Punkt Punkt Punkt</i> <i>[diskutieren immer noch am Rechner]</i> <i>[haben endlich das Ergebnis, welchen mit Janines Ergebnis übereinstimmt]</i> <i>[rechnen noch den anderen Widerstand aus (am Rechner)]</i> D: <i>Ja, bei dem hohen Widerstand hat der Strom es schwerer, da durchzugehen, und das hitzt sich leicht auf und dadurch wird das ...</i> <i>[ich: denkt daran, dass die Batterie auch nur eine konstante Spannung hat.]</i> M: <i>Ja... aah.</i>	R bestimmt Geschwindigkeit U=R I Stromrichtung macht Probleme, kein Ausweg in Sicht Stromaufnahme hängt von R ab; je größer desto weniger R groß → Strom hat es schwerer → mehr Hitze
---	--

J: <i>Ja klar.</i>	
M: <i>Jetzt warte... den bauen wir dann ja ...</i>	
J: <i>... wir haben ja nur eine bestimmte Anzahl an Spannung.</i>	Anzahl an Spannung
D: <i>Ja.</i>	
J: <i>Das heißt, wir kriegen gar nicht alles zusammen.</i>	
M: <i>Warte, eine hat...</i>	
D: <i>Die hat doch gar nicht den Widerstand, die hat doch den Widerstand von dem Strom, der fließt.</i>	
M: <i>Ja und das ist ...</i>	
D: <i>1,5.</i>	$U=I$
M: <i>1,5. Und das ist bei beiden 1,5.</i>	$U=I$
<i>[wollen zum Rechner]</i>	
<i>[ich: Also ihr habt den Widerstand der Lämpchen schon mal gut rausgekriegt. Aber wenn ihr jetzt einen Stromkreis macht,...]</i>	
M: <i>... Ja dann ist der Widerstand nicht so hoch.</i>	
<i>[...]</i>	
<i>[ich: Ändert sich etwas am Widerstand, wenn ich an der Spannung drehe?]</i>	
M: <i>Ja klar.</i>	R ändert sich mit U
J: <i>Nein, der Widerstand bleibt gleich, die Lämpchen sind doch die gleichen.</i>	R konstant
<i>[...]</i>	
J: <i>Der Widerstand von den beiden Lämpchen ... ist ja egal wie viel Strom da durch fließt, weil die Lämpchen sind ja die gleichen, oder?</i>	
M: <i>Ja.</i>	
J: <i>Müsste doch eigentlich sein.</i>	
D: <i>Der Widerstand ist ja wieder derselbe, nur ...</i>	
M: <i>Kann da dann irgendwie ein Unterschied entstehen zwischen dem Widerstand?</i>	
D: <i>Die Batterien selber haben ja unterschiedliche Widerstände.</i>	Batterien selbst mit R
M: <i>Ja das ist doch ein und die dieselbe ...</i>	
<i>[...]</i>	
M: <i>Warte mal, wenn die ... vom Minuspol die Elektronen losfließen,. So jetzt werden sie dann runtergedrosselt. Es fließen dann weniger weiter. Und die werden dann vom Pluspol angezogen...</i>	Elektronen heruntergedrosselt, werden vom Pluspol angezogen
J: <i>Der gesamte Widerstand ist doch kleiner, so dass gar nicht mehr so viel Strom zwischen den fließen kann, weil der Widerstand doch da ist.</i>	
M: <i>Oder dann senkt er die ... wieder die Elektronenanzahl durch den ersten Widerstand, und dann ist das vielleicht so wenig, dass der Widerstand von der nächsten Lampe zu gering ist, um die aufzuhalten</i>	
J: <i>Aber das ist ja egal wie herum das fließt.</i>	

Fortsetzung von der Zusatzaufgabe in der zweiten Sitzung

[bauen die Schaltung nach]

M: Jetzt leuchtet nur die mit 3,8

J: Und das ist weil ...

M: Auf jeden Fall was ich mir gedacht habe ist, dass die ja einzeln leuchten, und dass es also zusammen die beiden zusammen irgendwie so wirken.

D: Es liegt natürlich ganz klar am Widerstand, habe ich mir überlegt.

M: Aber wie?

J: Es ist nicht genug Strom für beiden da. Und der Widerstand ist ja ziemlich hoch von beiden Lampen und dadurch dass in der einen – so habe ich mir das überlegt – in der einen Lampe – die hier hat ja nicht so ein großen Widerstand, das heißt der Strom geht da eigentlich leichter durch und durch die andere geht er schwerer durch, die hat ...

M: ... einen höheren Widerstand als die

J: ... größeren Widerstand

[...]

J: ... und hier geht er halt langsamer durch und dadurch ist die [zu lauter Hintergrund] und die andere kriegt viel zu wenig Strom, so dass sie eben nicht genug hat. So habe ich mir das gedacht.

M: Die fließen los, fließen durch die erste, werden gedrosselt, sind durch die zweite nicht mehr ...

J: ... ja ist ja egal wie rum, wir haben es ja ausprobiert, war ja egal

M: Ja aber wie ist es dann anders?

D: Das ist jetzt aber Schmu, was Du erzählst. Ähm, der Strom passt sich irgendwie dem höheren Widerstand an

M: Ja aber wie?

J: Ja.

D: Ja aber wie?

[lachen]

D: Die Beobachtung ist auf jeden Fall, dass die zweite Lampe ...

[schreibt auf Karte]

D: Leuchtet die denn überhaupt, oder glüht die nur schwach?

M: Das kann man nicht erkennen

J: Die leuchtet nur sehr schwach

M: Aber das kann man am Simulator erkennen.

J: Hatten wir doch letztes Mal ausprobiert, war die doch nur ganz schwach.

M: Das kuck ich.

[gehen an Simulator ... Simulator geladen]

[Nehmen ein rundes Lämpchen und stellen den Widerstand auf 54 Ohm ein, danach ein langes Lämpchen und stellen den Widerstand auf 8 Ohm ein. Aus den beiden und einer Batterie wird ein Serienkreis gebildet. Ihre Beobachtung ist:]

M: Ja.

D: Leuchtet sie?

J: Ja ganz klein, nur in der Mitte.

[...]

J: Dann ist es einfach, dass der Widerstand der sich ...

Kleiner Widerstand →
Strom geht leichter durch

Großer Widerstand →
Strom geht schwerer durch

Großer Widerstand →
Strom geht langsamer durch

Wieder Erklärungsversuch
mit Stromrichtung

D: ... Machst Du bitte Licht an?

J: ... dass der Widerstand einfach zu hoch wird. Die eine Lampe kriegt nichts...

D: [schreibt die Erklärung]

M: Der Strom fließt los, fließt in die erste Lampe, bringt die zum Leuchten, hat noch genügend Kraft, fließt jetzt weiter, fließt hier rein, hat nicht mehr genügend ... äh ... Elektronenfluss, der nicht mehr so stark ist ...

J: Insgesamt der Widerstand. Insgesamt ist doch der Widerstand, wenn es anfängt zu fließen, ist der Widerstand doch da. Der Strom kommt ja nicht erst da an, er fließt ja sofort überall gleichzeitig los...

D: Ja, Du musst Dir das ja so vorstellen, dass ist wie eine Kette von kleinen Männchen, die läuft da durch. Ja?

J: Die sind aber immer da.

D: Ja, die können aber alle nur so schnell laufen, wie der langsamste. Und wenn jetzt hier einer langsam ist, wenn er hier durchkommt, ist er hier hinten, kann auch nur so schnell laufen, wie der wo da vorne. Rückwärts ist das genauso.

J: Ja.

D: Und deswegen ist es wurscht, in welche Richtung es fließt.

M: Aber wenn hier welche verloren gehen durch Hitzeentwicklung?

D: Nein, geh mal davon aus, dass die hier einfach ganz langsam nur durch können. Und hier sind sie dann schon wieder zu langsam, um da durchzukommen, dass da überhaupt was passiert.

M: Ja.

[D diktiert; M schreibt die Erklärung]

[ich: Eine Frage hätte ich doch noch. Wie groß ist denn der Gesamtwiderstand?]

M: Der addiert sich zusammen.

J: Ja es ist addieren oder multiplizieren ... ich glaub nicht, dass es multiplizieren war.

D: Probier doch einfach mal.

M: Ja wie willst du das probieren?

J: Kann man das am Simulator herausbekommen??

[ich: Nee, leider nicht]

J: Programmlücke.

M: Es gab zwei verschiedene Rechnungen: Bei Reihe und bei Parallel.

D: [Sarkastisch] Nein!? Mensch.

M: Ja, bei ...

J: ... bei parallel war es ...

[...]

M: ... wenn die parallel sind, dann ist der glaub ich höher ...

J: Nee.

M: ... weil die ja durch beide fließen. Nee.

J: Nein, es ist niedriger ... nein, kuck mal, da kann er ja getrennt durchfließen.

M: Ja stimmt.

J: Bei dem anderen müsste sich das eigentlich addieren.

[ich: Gut. Das heißt der Widerstand wäre ungefähr?]

Strom hat Kraft, verliert diese → Stromverbrauch

Stromkreis als eine Einheit

Elektronen durch Hitze verloren, Strom = Energie

- J: 60.
D: 66.
J: 62 ... 63.
D: Ist doch *wurscht*. Scheiß auf Mathe.
[...]
[ich: Jetzt habt ihr den Widerstand, jetzt habt ihr den Gesamtwiderstand, was habt ihr denn noch für Größen?
D: Die Spannung haben wir.
M: Stromstärke.
[ich: Die Stromstärke?]
M: Können wir ausrechnen.
[ich: Ah, könnt ihr ausrechnen. Wie?]
J: Durch URI ... die URI-Formel.
[ich: Das heißt ihr könnt die Stromstärke ... was braucht ihr dafür, um die Stromstärke auszurechnen?]
D: Den Widerstand und die Spannung.
[ich: Genau, dann rechnet mal kurz aus ... ungefähr ... abschätzen]
[...]
D: Wir möchten ... was möchten wir überhaupt ausrechnen? Die Stromstärke, ne?
J: Also ich habe da keine Ahnung. Ich komme da immer durcheinander.
D: I ist gleich U durch R. wie viel ist R denn nun?
J: Hab ich doch gesagt 62...63.
[ich: Mach 60]
[...]
D: OK, das ist jetzt ... ja 40 ... 40, kann das sein.
M: Nein. 0,2...
D: Ein Vierzigstel. Ein Vierzigstel gleich ... [Gemurmel]
[ich: Ja wie viel?]
D: 0,025.
[ich: Jetzt kuckt Euch mal die Lampen an]
J: Wie viel Ampere die brauchen?
[ich: Seht ihr auch auf der Karte.]
[Betrachten der Werte]
J: Das heißt die eine die kriegt viel zu wenig, damit kann die überhaupt nicht leben und die andere ist zu knäpplich, die kann das gerade noch aushalten. Richtig?
D: Mensch wir sind so gut...
M: Aber die kriegt ja nur ein Drittel ungefähr.
J: Ja, aber sie kann es noch aushalten.
[ich: Angaben auf Lämpchen für glühenden Zustand]

Transkriptauszug zur Aufgabenkarte 4.3 am Ende der zweiten Sitzung

M: <i>[liest vor]</i>	
J: <i>Ich sage: alles gleich</i>	
D: <i>Ich würde sagen, alle leuchten gleich. Ich würde keinem zustimmen, ich würde sagen: alle leuchten gleich</i>	
M: <i>[zustimmendes] Hmm ... ich schließe mich an</i>	
D: <i>Und warum? Begründung bitte.</i>	
J: <i>Ja weil der Strom überall gleich durchfließt ...</i>	Strom überall gleich, Sink-Modell
M: <i>... und der passt sich da wieder an. Und die haben ja auch keine unterschiedlichen Widerstände.</i>	
J: <i>Ja, es ist die gleiche Spannung überall</i>	Spannung überall gleich
M: <i>Schließ mal hier die ...</i>	
<i>[bauen die Schaltung nach]</i>	
<i>[schließen den Kontakt]</i>	
M: <i>Uiii</i>	
D: <i>Mensch</i>	
J: <i>Hätten wir ja überhaupt nicht mit gerechnet. Das ist bestimmt die Aufgabe, wo wir ... knobeln</i>	
M: <i>Ja, das ist wieder genau dasselbe, was wir schon einmal hatten. Mit dem Widerstand ...</i>	
J: <i>Hier ist der Widerstand, da muss der Strom sich ja teilen, weil er kann ja ...</i>	Share-Modell
M: <i>.. ja und das reicht für die beiden nicht mehr aus ...</i>	Bedarfsschema
J: <i>... und da hinten kommt es ja wieder zusammen alles ...</i>	Menge ist entscheidend
D: <i>Also hat Schüler A recht.</i>	
M: <i>Wieso? ... Ja doch stimmt.</i>	
<i>[...]</i>	
J: <i>Wollen wir nicht zum Simulator gehen, um zu kucken, ob die überhaupt leuchten?</i>	
<i>[...]</i>	
M: <i>Ja, das ist wieder genau dasselbe, was wir schon mal gehabt haben, mit diesem ... verschiedenen Widerständen in Reihe geschaltet ... und das ist dann ja auch eigentlich ein anderer Widerstand dafür könnten wir jetzt auch einfach so ein Lämpchen nehmen ... [nimmt ein Lämpchen] ... weiß jetzt nicht ob das das richtige ist ...</i>	Ersetzt die beiden parallelen Lämpchen durch ein anderes mit anderem Widerstand
M: <i>[baut ein anderes Lämpchen ein]</i>	
M: <i>[leuchtet genau umgekehrt: Neues Lämpchen leuchtet, die anderen beiden sind aus]</i>	
M: <i>Egal [...] also das ist genau umgekehrt</i>	
J: <i>Ja, aber vorher hatten wir ...</i>	
M: <i>Da müssen wir jetzt ein viel schwächeres ...</i>	
D: <i>Natürlich, ich sage Euch warum. Das ist doch ganz klar [...] weil die hier braucht ... wie viel braucht die? ... 0,25 Ampere, die da hinten braucht auch nur 0,25 Ampere ...</i>	Bedarfsschema
J: <i>... und die in der Mitte ...</i>	
M: <i>... und die in der Mitte ...</i>	
D: <i>...und die beiden zusammen brauchen 0,5 Ampere.</i>	
M: <i>Ja</i>	

D: Und deshalb	
M: Aber der Strom teilt sich.	Share
D: Ja das heißt die kriegen ... und wenn der Strom geteilt wird kriegen die ja nur 0,25 Ampere ...	
J: ... Dann müssen die aber alle gleich wenig kriegen.	Bedarfsschema
M: Nein nein, da hinter fügt er sich wieder zusammen.	
J: Das ist aber, wenn Du sie parallel schaltest, ja auch so, die sind ja eigentlich parallel geschaltet ...	
M: ... Warte, hier die hat 0,2 ...	
D: [will ihm in s Wort fallen]	
M: Warte lass mich mal eben. Die hat 0,25 Ampere.	
D: Ja	
M: Da fließt er durch, jetzt teilt er sich ... und gehen wir einmal davon aus, dass er dann nur noch ... 0,125 Ampere bewältigen könnte.	Strom hat Kraft?
D: [zustimmendes] Hmm	
M: Fließt er da durch, kann die nicht mehr zum Leuchten bringen	Strom hat Kraft?
D: [zustimmendes] Hmm	
M: Fügt sich wieder zusammen, und vielleicht ein bisschen schwächer oder nicht ...	Verbrauch, Strom hat weniger Kraft
D: Nein, ist er nicht	
M: ... wird zumindest um 0,25 ...	
D: So, jetzt stellen wir und das mal wieder mit den kleinen Männchen vor ...	
M: ... 0,25 Ampere sein und fließ da hinten rein und kann wieder leuchten. ... die Männchen laufen durch eine Straße ...	
J: Die laufen aber langsam und schnell	Unterschiedliche Geschw.
D: ... nein nein nein, die laufen alle gleich schnell. So und jetzt kommt ... jetzt teilt sich aber die Straße, die eine Hälfte geht rechts, die andere geht links, das heißt da gehen viel weniger Männchen durch, durch die jeweiligen Straßen, und am Ende treffen sich die wieder und sind die gleiche Menge wie vorher	Nicht Geschwindigkeit, sondern Menge an Männchen macht den Strom aus
J: [zu mir] Und? Das ist es? [ich: Das müsst ihr entscheiden]	
M: Das ist es	
J: Das ist es, ja.	
D: Bestimmt wird uns der Realschulabschluss nach diesem Test wieder aberkannt.	

Wiederholung von 4.3 zu Beginn der dritten Sitzung:

- [ich: ich habe Euch eine Schaltung aufgebaut. Ein Lämpchen ist losgeschraubt ...]
- J: Darum geht das nicht [lacht]
[ich: ... und Ihr sollt mir sagen, was passiert, wenn ihr die anschließt an die Batterie und dann das Lämpchen reinschraubt. Alles gleiche Lämpchen ...]
- D: Die hier [A] wird genauso hell leuchten wie die [D], die sind ganz normal, während diese beiden hier [C + D], obwohl das ja irreführend gelegt ist, parallel ...
- M: parallel
- J: parallel
- D: ... und das heißt die werden ziemlich schwach bis kaum sichtbar ...
- J: ... halb so stark
- D: ... leuchten. Ich glaube noch ein bisschen weniger
- J: Wieso da teilt sich doch der Strom auf beide Lämpchen
- D: [unsicheres] Jaaaaaaa. Ungefähr [...]
- M: Ja, der Strom fängt an zu fließen, fließt in das Lämpchen [A], leuchtet, teilt sich durch beide [B + C], und fließt dann hier wieder zusammen [D]
- D: Du sagst es...
- M: Und wenn wir die hinein schrauben, dann kann der Strom auch weiter fließen.
- D: Wahrscheinlich
- D: [schraubt das Lämpchen D hinein]
[ich: Das heißt, Ihr meint, dass die beiden am Anfang leuchten und die beiden in der Mitte, die parallel sind, nicht oder schwach?
- D: Schwach bis gar nicht, würde ich sagen. Wenn die alle wirklich gleich sind ... ich schraube jetzt rein.
- D: [schraubt Lämpchen hinein]
- D: Da gar nicht, oder ...?
- J: [verneinendes] Nbnh. [...] Warum leuchten die gar nicht?
- D: Ja weil der Strom einfach zu schwach ist.
[...]
- D: Das ist genau das gleiche als wenn der eine mit ...
- J: Wieder mit den Männchen
- D: [...] Weißt Du noch, als wir diesen Versuch gemacht haben mit dem einen Lämpchen, die geleuchtet hat und das andere nicht?
- J: [bejahendes] Mhmh
- D: Vor ... 2 Sitzungen, dann ... war genau das gleiche ... weil das eine Lämpchen einen geringen Widerstand hat, das andere einen dafür um so höheren. Und hier teilt sich der Widerstand ja irgendwie ... nee ... teilt der sich auf?
- J: Ja, der teilt sich
- D: Ja, weil die ja praktisch durch zwei Dinger fließen können
- M: Mit der Straße.
- D: Ja, mit der Straße, die können durch zwei Dinger fließen, aber da das

Keine geometrischen Probleme

$\frac{1}{2}$ Strom $\rightarrow$ $\frac{1}{2}$ Helligkeit

Share-Modell

Strom mit Richtung (unipolares Modell Shipstone); Strom fließt bei offenem Stromkreis bis zur Lücke?

Strom hat Kraft?

Share-Modell

Strom fehlt Kraft, da Männ-

praktisch zu wenig Männchen sind oder – was weiß ich – die drängen zu wenig oder keine Abnung, ist es nicht stark genug und deshalb leuchtet die nicht, während die sich hier wieder zusammenpacken und da wieder als ganze Mannschaft durchdringen.

chen entweder zu wenig oder zu langsam

J: *Das heißt, hier ist nur die halbe Stromstärke, oder?*

Strom teilt sich gleichmäßig

M: *Ja.*

D: *Ja.*

[ich: Und wenn Ihr jetzt eines von den beiden Lämpchen, die jetzt nicht leuchten heraus schraubt?]

D: *Wenn man das heraus schraubt ...*

M: *... dann leuchtet das andere [C oder B] genau so hell wie die [A, D]*

J: *Sicher?*

M: *Ja.*

D: *Ja, ja, weil es dann ... [fällt keine passende Erklärung ein]*

[ich: Und was passiert mit den anderen?]

D: *Ja, die leuchten ... die werden ein bisschen dunkler. Er hat es schon ... er hat es wieder ausprobiert ...*

[...]

J: *Das ist eine ganz normale Reihenschaltung.*