universität wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Konzeptionelles Verständnis von Schüler*innen im Bereich der Elektrizitätslehre

verfasst von / submitted by

Mathias Wosner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA 190 412 299
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Lehramtsstudium Unterrichtsfach Physik Unterrichtsfach Psychologie und Philosophie
Betreut von / Supervisor:	Priv. Doz. Mag. Dr. Hildegard Urban-Woldron

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich diese Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Ich habe keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt. Ich habe alle Quellen wissenschaftlich zitiert und durch genaue Quellenangabe kenntlich gemacht.

ABSTRACT

Wie auch in anderen Gebieten der Physik, treten im Bereich der Elektrizitätslehre Schülervorstellungen auf, die das Erlangen eines wissenschaftlichen Weltbildes erschweren. Dazu gehört die Vorstellung, dass elektrischer Strom an einer Lampe verbraucht wird (von Rhöneck, 1986), bzw. mit der elektrischen Energie verwechselt wird (Farwig et al., 1992). Manche Schüler*innen meinen, dass nur eine Leitung von der Batterie zum Lämpchen genügen würde, damit Strom fließt (Duit, 1993a). Oft wird auch der Zusammenhang von Strom, Spannung und Widerstand nicht verstanden. Daraus resultieren Vorstellungen, etwa dass die Batterie immer den gleichen Strom liefert und die Stromstärke unabhängig vom Widerstand ist, oder dass die Stromstärke sich bei Vergrößerung des Widerstands sogar erhöht (Urban-Woldron und Hopf, 2012). Von Rhöneck (1986) zeigt in seiner Untersuchung auch, dass der Stromkreis häufig nicht als Ganzes betrachtete wird. So vermuten Schüler*innen, dass sich Änderungen nur auf das auswirken, was im Stromkreis danach kommt, oder dass der Strom nicht weiß, wie er sich bei Abzweigungen aufteilen soll. Es scheint Schüler*innen auch schwer zu fallen, parallel geschaltete Objekte als solche zu erkennen, wenn sie in der Schaltskizze nicht geometrisch parallel zueinander eingezeichnet sind (Urban-Woldron und Hopf, 2012). Derartige Schülervorstellungen werden in dieser Arbeit an 3. und 4. Klassen in Wiener Gymnasien untersucht. Überprüft wird, wie stark diese verbreitet sind und wie das Auftreten einzelner Vorstellungen miteinander korreliert. Auch wird ermittelt, welche Unterschiede es im Verständnis des elektrischen Stromkreises hinsichtlich Vorerfahrung im Physikunterricht, Geschlecht und Interesse an Physik und Elektrizitätslehre bei Schüler*innen gibt. Dazu wird ein Fragebogen designt, der sich am unter der Leitung von Urban-Woldron erstellten *Testinstrument Elektrizitätslehre* orientiert. Er beinhaltet größtenteils Multiple-Choice Fragen, wobei einige Fragen mehrstufig aufgebaut sind. Durch den mehrstufigen Aufbau sind die Schüler*innen gefordert, ihre Antwort zu begründen, wodurch eine genauere Differenzierung nach Schülervorstellungen möglich ist. Bei 77 % der Schüler*innen, die bereits Unterricht in der Elektrizitätslehre hatten, kommt die Stromverbrauchsvorstellung mindestens einmal vor. 90 % zeigen Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen. Nur 40 % der untersuchten Schüler*innen sind sich bewusst, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt. Gesamt betrachtet zeigt sich kein großer Unterschied bei den Leistungen zwischen Schüler*innen ohne und mit vorangegangener Unterrichtserfahrung. Erstere Gruppe versteht in dieser Arbeit definierte Kernpunkte im Durchschnitt zu 31 %, letztere Gruppe zu 35 %, was auf einen geringen Erfolg des Elektrizitätslehre-Unterrichts hindeutet. Schüler*innen, die angeben, sich sehr für Elektrizitätslehre zu interessieren, erreichen hingegen ein durchschnittliches Kernpunktverständnis von 40 %, während dieses bei jenen, die sich überhaupt nicht dafür interessieren bei 27 % liegt. Es scheint daher naheliegend, Inhalte im Unterricht für Schüler*innen interessant zu präsentieren. Hier sollten besonders die Mädchen berücksichtigt werden, welche wesentlich seltener angeben, sich sehr für Physik bzw. Elektrizitätslehre zu interessieren, und auch beim Verständnis etwas schlechter abschneiden.

ABSTRACT (ENGLISH)

As in other areas of physics, student conceptions appear in the field of electricity, which make it difficult for learners to acquire a scientific view of the world. This includes the idea that electrical current is consumed by a lamp (von Rhöneck, 1986), or that it is confused with electrical energy (Farwig et al., 1992). Some students think that only one wire from the battery to the lamp would be enough for electricity to flow (Duit, 1993a). The relationship between current, voltage and resistance is often not understood. This results in ideas such as that the battery always delivers the same current and the current intensity being independent of the resistance, or that the current increases as the resistance increases (Urban-Woldron and Hopf, 2012). Von Rhöneck (1986) also shows in his study that the circuit is often not viewed as a whole. It is assumed, for example, that changes only affect what follows in the circuit, or that the current does not know how to split up at branches. It also seems difficult for schoolchildren to recognize objects connected in parallel as such if they are not geometrically drawn in parallel in the circuit diagram (Urban-Woldron and Hopf, 2012). Such student conceptions are examined in this work in 3rd and 4th grades in Viennese high schools. It is examined how widespread these are and how the occurrence of individual ideas correlates with one another. It is also determined what differences there are in the understanding of the electrical circuit with regard to previous experience in physics lessons, gender and interest in physics and electricity theory among students. For this purpose, a questionnaire is designed that is based on the diagnostic instrument for basic electricity concepts, which was developed under the direction of Urban-Woldron. It mostly contains multiple-choice questions, with some questions being structured in several stages. Due to the multi-level structure, the pupils are required to justify their answers, which enables a more precise differentiation according to the student's conceptions. 77% of the students who already had lessons in electricity give at least one answer that reveals the conception of electricity consumption. 90% show problems with the detection of parallel connections. Only 40% of the students are aware that electricity can only flow in a closed circuit. Overall, there is no great difference in the performance between students with and without previous education in electricity. The former group understands the key points defined in this work to an average of 35%, the latter group to 31%, which indicates a low success in electricity teaching. Pupils who indicate that they are very interested in the topic, on the other hand, achieve an average understanding of key points defined in this work of 40%, while this is 27% for those who are not interested at all. It therefore makes sense to present content in class in a way that is interesting for students. Here, especially girls should be taken into account, who indicate much less often that they are interested in physics or electricity, and also exhibit somewhat poorer scores in understanding.

INHALT

Eidesstattliche Erklärung 1

Abstract 2

Abstract (English) 3

1 Einleitung und Inhalt 5

2 Theoretischer Hintergrund 6

2.1 Physikalischer Hintergrund Elektrizitätslehre 6

2.2 Schülervorstellungen 7

2.3 Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre 8

2.4 Testinstrumente zur Elektrizitätslehre 14

2.5 Lehrplan 15

3 Forschungsfragen und Forschungsdesign 16

3.1 Forschungsfrage 1 16

3.2 Forschungsfrage 2 18

3.3 Forschungsfrage 3 18

3.4 Forschungsdesign – Fragebogen 20

4 Durchführung der Untersuchung 27

4.1 Beschreibung der Stichproben 27

4.2 Ablauf 28

5 Ergebnisse 29

5.1 Interesse an Physik 29

5.2 Interesse an E-Lehre 29

5.3 Ergebnistabelle 30

5.4 Schülervorstellungen 32

5.5 Korrelationen zwischen Schülervorstellungen 38

5.6 Verständnis der Kernpunkte 41

6 Reflexion 46

6.1 Zusammenfassung und Reflexion der Ergebnisse 46

6.2 Ausblick 49

7 Literatur 53

7.1 Internetlinks 54

8 Anhang – der Fragebogen 55

1 EINLEITUNG UND INHALT

Um im Schulunterricht effektiv Physik unterrichten zu können, ist es wichtig, über die Schüler*innen, ihren Wissensstand und ihre Vorstellungen Bescheid zu wissen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll untersucht werden, inwieweit durch Unterricht in der siebten und achten Schulstufe an Wiener Schulen klassische Schülervorstellungen der Elektrizitätslehre bei Schüler*innen bereits überwunden werden konnten bzw. noch vorhanden sind und wie gut der elektrische Stromkreis im Grunde verstanden wird. Neben den Schüler*innen, die bereits Unterricht im Gebiet der Elektrizitätslehre hatten, wird auch eine Vergleichsgruppe ohne Vorerfahrungen untersucht.

Zunächst wird in Kapitel 2 der theoretische Hintergrund beleuchtet. Begonnen wird mit einer kleinen Zusammenfassung des für diese Arbeit fachlich notwendigen Wissens im Bereich der Elektrizitätslehre. Es folgt eine Übersicht zu Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. Beleuchtet werden auch bessere und schlechtere Stromkreis-Modelle. Diese können einerseits helfen, Schülervorstellungen aufzulösen, andererseits aber auch deren Ursache sein. Außerdem findet sich in Kapitel 2 eine kurze Gegenüberstellung von vorhandenen Testitems, wobei das unter der Leitung von Urban-Woldron entwickelte Testinstrument die Basis für einige Fragen in der Untersuchung dieser Arbeit bildet.

In Kapitel 3 werden die Forschungsfragen und das Forschungsdesign dargelegt. Das Kapitel beschäftigt sich auch mit den Fragen, die für die Untersuchung in dieser Arbeit genutzt werden. Der Ablauf der Untersuchung wird in Kapitel 4 dargestellt. Dort finden sich auch Informationen zur Stichprobe.

Kapitel 5 enthält nun die Auswertung und die Ergebnisse der Untersuchung. Die Resultate der einzelnen Fragen werden in einer Übersichtstabelle dargestellt, es folgt eine umfangreiche Darstellung der Ergebnisse zu den einzelnen Schülervorstellungen. In dieser werden aus den unterschiedlichen Ergebnis-Prozentwerten Aussagen zur Häufigkeit der Vorstellungen getroffen. Zusätzlich werden die Ergebnisse – falls möglich – mit einer 2015 von Müller et al. durchgeführten, ähnlich aufgebauten Studie in Hessen und Weißrussland verglichen. Außerdem wird diskutiert, welche Auswirkungen die Häufigkeit der jeweiligen Schülervorstellung auf den Physikunterricht hat. Danach folgt eine Untersuchung, welche Korrelationen beim Auftreten der Schülervorstellungen vorliegen. Neben den Schülervorstellungen wird in Kapitel 5 anhand in Kapitel 3 definierten Kernpunkten auch untersucht, was die Schüler*innen nun tatsächlich über den Stromkreis wissen, und wie sich hierbei verschiedene Gruppen (Unterrichtserfahrung, Geschlecht, Interesse an Physik und Elektrizitätslehre), voneinander unterscheiden. Den Abschluss bildet schließlich eine Reflexion in Kapitel 6, in welcher die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst vor dem theoretischen Hintergrund diskutiert werden. Im Anhang befindet sich der Fragebogen in der Form, wie er den Schüler*innen vorgelegt wurde.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

2.1 PHYSIKALISCHER HINTERGRUND ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Dieses Kapitel dient nicht als vollständige Einführung in die Elektrizitätslehre. Vielmehr soll es eine stark reduzierte Zusammenfassung des physikalischen Wissens sein, das zum Verständnis dieser Arbeit relevant ist.

Unter elektrischem Strom versteht man die Bewegung von Ladungsträgern, also entweder von Elektronen oder Ionen. Mittels elektrischem Strom kann Energie übertragen werden, der elektrische Strom wird aber – entgegen der Stromverbrauchsvorstellung – nicht verbraucht und auch nicht in eine Energieform umgewandelt. Die Ladungsträger im Stromkreis werden nicht mehr oder weniger.

Damit elektrischer Strom fließt, wird eine Spannungsquelle benötigt, etwa eine Batterie. Bei einer Batterie herrscht zwischen den beiden Polen konstant elektrische Spannung. Stellt man nun eine geeignete Verbindung her (also einen Stromkreis), beginnen Ladungsträger zu fließen. Dazu müssen im gesamten Stromkreis frei bewegliche Ladungsträger vorhanden sein. Jeder Ladungsträger beeinflusst mit seinem elektrischen Feld die Ladungsträger um ihn herum. Gleich geladene Ladungsträger stoßen einander ab, ungleich geladene ziehen einander an. Gleich geladene Ladungsträger schieben einander im Stromkreis also gewissermaßen vor sich her. Man kann sagen, sie sind über ihr elektrisches Feld miteinander verbunden. Wird ein Stromkreis geschlossen, baut sich diese „Kette“ an fließenden Ladungsträgern mit Lichtgeschwindigkeit auf. Die Ladungsträger beginnen also im gesamten Stromkreis praktisch gleichzeitig zu fließen. Die sogenannte Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger beträgt weniger als 1 mm/s (Wagner et al., 2012). Wird der Stromkreis unterbrochen, also die „Kette“ durchtrennt, fließt kein Strom mehr.

Wie viele Ladungsträger durch einen Punkt im Stromkreis fließen (also wie groß die Stromstärke ist), hängt von der vorhandenen Spannung, sowie vom elektrischen Widerstand ab. Dies wird durch das ohmsche Gesetz angegeben:

$$U = R * I$$

(U = Spannung, R = Widerstand, I = Stromstärke)

Das ohmsche Gesetz ermöglicht es, mithilfe des Widerstands Stromstärke und Spannung in ein Verhältnis zueinander zu setzen. In einem Stromkreis ohne relevantem Widerstand wird die Stromstärke also extrem hoch und es kommt zu einem Kurzschluss. Ist der Widerstand hingegen unendlich groß, fließt kein Strom. Für gewöhnlich haben alle Bestandteile des Stromkreises einen elektrischen Widerstand, wie z. B. Lämpchen, Motoren oder auch die Leitungen. Der Widerstand der Leitungen ist jedoch vergleichsweise gering, weswegen er im Fragebogen vernachlässigt werden kann.

Hat man eine konstante Spannungsquelle (z. B. eine 4,5-V-Batterie) und vergrößert man den Widerstand im Stromkreis, wird die Stromstärke dem ohmschen Gesetz nach geringer. Dies gilt für den gesamten Stromkreis. Da alle fließenden Ladungsträger über ihr elektrisches Feld miteinander in Verbindung stehen, ist es unerheblich, ob sie sich im Stromkreis nun „vor“ oder „hinter“ dem vergrößerten Widerstand befinden. In einem Stromkreis ohne Parallelschaltungen ist die Stromstärke an jeder Stelle gleich groß. Die Spannung teilt sich allerdings proportional auf die Widerstände auf.

Die im Stromkreis verrichtete Arbeit ist abhängig von der Stromstärke. Sie ist aber auch abhängig von der Spannung und teilt sich somit wie diese auf die Widerstände auf. Hat man beispielsweise nur einen relevanten (vereinfacht als temperaturunabhängig angenommenen) Widerstand R_1, und schaltet man in Serienschaltung einen weiteren, gleich großen Widerstand R_2 hinzu, wird der Gesamtwiderstand im Stromkreis quasi verdoppelt und die Stromstärke halbiert. Damit wird auch die geleistete Arbeit halbiert. Weil sich aber die Arbeit nun zusätzlich auf beide Widerstände aufteilt, steht R_1 nur noch ein Viertel der ursprünglichen Leistung zur Verfügung.

Neben der Serienschaltung gibt es noch die Parallelschaltung. Dies bedeutet, dass in einem Stromkreis Widerstände nicht hintereinander, sondern nebeneinander – also in Abzweigungen – geschaltet werden. Im Gegensatz zur Serienschaltung wird der Gesamtwiderstand mit den einzelnen, parallel geschalteten Widerständen geringer. Außerdem teilt sich hier nicht die Spannung auf die Widerstände auf, sondern die Stromstärke, und zwar indirekt proportional. Hat man beispielsweise einen Stromkreis, bestehend aus zwei parallelgeschalteten Widerständen R_1 = 100 Ω und R_2 = 200 Ω, so ist die Stromstärke im Stromkreis mit R_1 doppelt so groß wie in jener mit R_2.

2.2 SCHÜLERVORSTELLUNGEN

Viele Phänomene, die im Physikunterricht in der Unterstufe behandelt werden, sind für Schüler*innen nicht komplett neu. So haben sie natürlich schon von elektrischem Strom gehört, kennen Steckdosen, Batterien und eine Vielzahl von Elektrogeräten. Duit (1993b) merkt an, dass „Schüler nicht als leere, unbeschriebene Blätter in den Unterricht hineinkommen“. Erfahrungen im Alltag oder durch Medien sowie in vergangenen Unterrichtseinheiten spielen hier eine wichtige Rolle (Wiesner et al., 2015). Für die bereits vor dem Unterricht vorhandenen Konzepte gibt es etliche Bezeichnungen: Schülervorstellungen, Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen, alternative frameworks, Schülervorverständnis, intuitive science, Sichtweisen oder facets of knowledge (Wodkzinski, 1996). In dieser Arbeit sollen sie einheitlich als Schülervorstellungen bezeichnet werden. Einige dieser Vorstellungen können sich hartnäckig halten, und erschweren den Übergang in eine wissenschaftliche Betrachtungsweise. Tief verwurzelte Überzeugungen können dazu führen, dass die Schülerin oder der Schüler das neu Gelehrte zwar begreift, aber nicht als Wahrheit für sich annimmt (Wodkzinski, 1996). Auch wenn Schülervorstellungen relativ stabil sind, können diese in verschiedenen Kontexten oft unterschiedlich zum Ausdruck kommen. Dies liegt unter anderem daran, dass sie teils unterbewusst vorhanden sind. Für Schüler*innen kann es sich übrigens auch dann um einen unterschiedlichen Kontext handeln, wenn aus Sicht der Physiker*innen das gleiche Prinzip zugrunde liegt. (Wodkzinski, 1996)

Das Vorwissen der Schüler*innen nimmt bei der Effizienz des Unterrichts also eine entscheidende Rolle ein. Manchmal kann es nützlich sein, oft aber auch die Aufnahme von neuem Wissen behindern. Das konstruktivistische Paradigma besagt, dass Menschen Neues lernen, indem sie Verbindungen mit bereits Bekanntem aufbauen. Oft aber stehen die vorhandenen Konzepte im Widerspruch zu dem, was gelernt werden soll. (Wiesner et al., 2015)

Man kann also Schülervorstellungen nicht einfach mit neuem Wissen ersetzen. Guter Physikunterricht muss vorhandene Schülervorstellungen berücksichtigen. Sie zu kennen ist gewissermaßen der erste Schritt. Die Schüler*innen dann von diesen ausgehend in eine physikalische Sichtweise überzuleiten, stellt eine weitere Herausforderung dar. Es reicht nicht, den Schüler*innen einfach zu erklären, dass ihre Vorstellungen falsch sind. Oft wird deshalb versucht, mit Experimenten zu überzeugen.

Duit (1993b) zeigt aber auf, dass selbst dies nicht immer erfolgversprechend ist. Schüler*innen neigen dazu, das zu sehen, was sie ihren Vorstellungen nach erwarten würden. Auch finden sie schnell Gründe, warum das Gezeigte der eigenen Ansicht nicht widerspricht. Das heißt nicht, dass empirische Beispiele im Unterricht schlecht wären. Vielmehr zeigt es, dass Schülervorstellungen ein Thema sind, das viel Beachtung braucht.

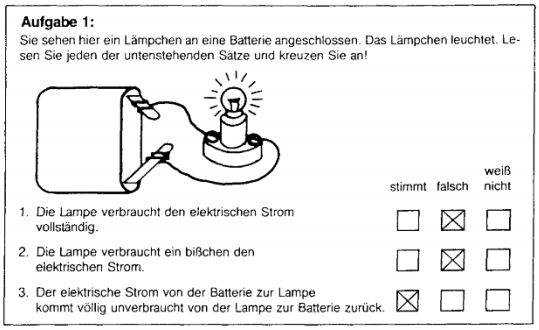
Dementsprechend orientiert sich auch diese Arbeit stark an Schülervorstellungen. Es geht nicht nur darum, was Schüler*innen in 3. und 4. Klassen bereits verstanden haben. Vor allem sollen vorhandene Schülervorstellungen identifiziert werden. Einerseits soll erforscht werden, wieweit es Lehrer*innen an Wiener Schulen bereits in der Unterstufe gelingt, Schüler*innen in die physikalische Betrachtungsweise der Elektrizitätslehre überzuführen. Andererseits geht es darum, welche Schülervorstellungen (noch) vorhanden sind und in welchem Ausmaß. Den Hauptteil dieser Arbeit stellt eine Schüler*innen-Befragung dar. Diese hat den Anspruch, einzelne Schülervorstellungen identifizieren zu können und statistisch relevante Aussagen darüber zu machen.

2.3 SCHÜLERVORSTELLUNGEN IM BEREICH DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Genau wie in anderen Bereichen der Physik gibt es auch in der Elektrizitätslehre zahlreiche Schülervorstellungen. Elektrischen Strom kann man nicht direkt beobachten. Verbindet man eine Batterie mit einem Lämpchen, sieht man das Lämpchen leuchten. Man sieht aber nicht, was in der Batterie vor sich geht, oder in den Leitungen. Man sieht auch nicht, wie genau der Strom das Lämpchen zum Leuchten bringt. Haider (2009) erwähnt dazu, dass die Teilchen des Mikrokosmos für unsere direkte Anschauung verborgen bleiben. So kann man etwa beobachten, wie zwei geriebene Luftballons aneinander kleben, aber nicht die physikalischen Vorgänge, die dazu führen.

Elektrizitätslehre ist ein wichtiges Kapitel, weil Elektrizität in unserem Alltag eine große Rolle spielt, aber kein einfaches. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass es im Allgemeinen nicht gelingt, das Prinzip des elektrischen Stromkreises in der Schule wirklich gut zu vermitteln (Härtel, 2012). Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre können sehr hartnäckig sein, wie eine kürzlich durchgeführte Studie (Zhu et al., 2019) nahelegt. Dabei wurde gezeigt, dass Schülervorstellungen nicht automatisch verschwinden, wenn sie durch den Erwerb wissenschaftlicher Erkenntnisse widerlegt wurden.

Die häufigsten Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre sind bereits gut untersucht. Als bekannteste Arbeit dazu darf wohl „Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis“ (von Rhöneck, 1986) gelten. Sie ist zwar schon über dreißig Jahre alt, wird aber noch immer häufig zitiert und verwendet. In dieser Arbeit werden mehrere Schülervorstellungen beschrieben, allen voran die Stromverbrauchsvorstellung. Abbildung 1 zeigt ein Testitem, mit dem von Rhöneck diese Vorstellung untersucht hatte. Ihr zufolge wird Strom etwa an einer Lampe ganz oder teilweise verbraucht. Ideen von elektrischem Strom und elektrischer Energie werden vermischt. Von Rhöneck weist auch auf vorhandene Vorstellungen von ruhenden Strömen hin. Die Schwierigkeiten mit dem Strombegriff scheinen von besonderer Bedeutung zu sein, da dieser am Beginn des Elektrizitätslehre-Unterricht im Zentrum steht. Gleichzeitig


Aufgabe 1:
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 1 – Testitem zur Stromverbauchsvorstellung (von Rhöneck, 1986)

ergeben sich daraus Probleme für die Schüler*innen, den Spannungsbegriff oder den des elektrischen Widerstands davon abzugrenzen. So wird etwa die Spannung von einigen Schüler*innen als eine „Eigenschaft des Stromes“ (von Rhöneck, 1986, S. 10) interpretiert. Wie und ob sich die Stromstärke ändert, wenn sich der Widerstand im Stromkreis ändert, scheint ebenso oft unklar zu sein.

Gemeinsam mit der Stromverbrauchsvorstellung geht auch die Schwierigkeit einher, die Stromstärke im gesamten (in Reihenschaltung geschalteten) Stromkreis als konstant anzusehen. Abbildung 2 zeigt ein Testitem mit fünf hintereinander geschalteten Lampen. Die Frage war hier, ob Lampe 5 so genauso hell leuchtet wie Lampe 1. (von Rhöneck, 1986, S. 10-12)

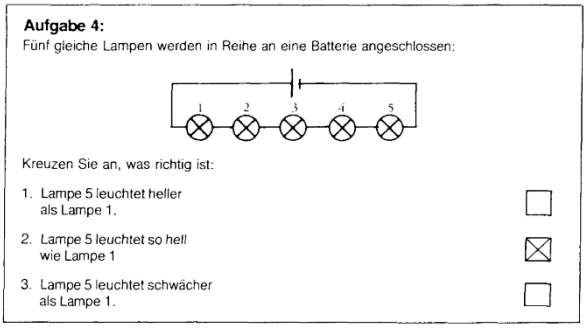


Abbildung 2 - Testitem zu I=konstant. (von Rhöneck, 1986)

Außerdem deutet von Rhöneck auf die „lokale Argumentation“ (von Rhöneck, 1986, S. 11-12) hin, nach welcher der Strom nicht „weiß“, was später im Stromkreis mit ihm geschieht. So teilt er sich bei Abzweigungen unabhängig von dem auf, was noch vor ihm liegt. Ähnlich dazu ist die „sequentielle Argumentation“ (von Rhöneck, 1986, S. 11-12), der zufolge Änderungen im Stromkreis keine Auswirkungen auf das haben, was im Stromkreis „weiter vorne“ geschieht. So bleibt laut dieser Vorstellung die Stromstärke vor einem sich ändernden Widerstand konstant. (von Rhöneck, 1986, S. 11-12)

Michael Allen schreibt in seinem Buch „Misconceptions in primary science“ über Fehlvorstellungen von Kindern im Volksschulalter. Verbreitet ist laut ihm die Vorstellung, dass in der Batterie eine Art Substanz innewohnt, die dann zum Elektrogerät fließt. Die Batterie ist eben leer, wenn diese Substanz verbraucht ist. Er vergleicht diese Substanzfluss-Vorstellung mit einer Flüssigkeit, die durch eine Röhre fließt. Aus dieser Vorstellung folgt das „unipolar model of electrical flow“ (M. Allen, 2014, S. 178), also die Idee, dass Elektrizität nicht im Kreis, sondern von der Batterie zum Elektrogerät fließt. Wenn dem Kind bewusst wird, dass ein Elektrogerät mit zwei Leitern mit der Batterie verbunden werden muss, kann diese Vorstellung sogar noch weiterentwickelt werden. Die Elektrizität kommt dann aus beiden Richtungen und trifft sich beim Elektrogerät in der Mitte. Daher kann sie nun nirgends anders hin und treibt so das Elektrogerät an. (Allen, 2014)

Diese Vorstellung wird in dieser Arbeit als „Zweizuführungsvorstellung“ bezeichnet. Doch auch wenn diese überwunden ist und verstanden wird, dass Strom im Kreis fließen muss, kann die Stromverbrauchsvorstellung noch fortbestehen. Nach Michael Allen kann gedacht werden, dass zumindest ein Teil des Stroms am Elektrogerät verbraucht wird. Dass kann auch zur Vorstellung führen, dass eine Lampe, die sich im Stromkreis hinter einer anderen Lampe befindet, weniger stark leuchtet. Auch die „Upstream/downstream resistor misconception“ (Allen, 2014) – bei von Rhöneck in ähnlicher Form als „sequentielle Argumentation“ (siehe oben) beschrieben – sieht Michael Allen als eine Konsequenz, die sich aus der Stromverbrauchsvorstellung ergeben kann.

Aus Sicht von R. Müller (2012) gehört der Begriff der *elektrischen Spannung* zu den komplexesten physikalischen Begriffen in der Unterstufe. Wobei – wie er aufzeigt – mit Spannung eigentlich zwei Dinge gemeint sind. Zum einen die „Quellspannung“ (R. Müller, 2012), die in einer Spannungsquelle vorhanden ist. Diese ist noch vergleichsweise einfach verständlich. Zum anderen bezeichnet sie die „abfallende Spannung“ (R. Müller, 2012) an Widerständen im Stromkreis. Diese ist für Schülerinnen

und Schüler problematisch. Sie kann nicht einfach mit Ladungstrennungs-Modellen erklärt werden. Daher lässt sich der Spannungsbegriff laut R. Müller wohl besser über das Prinzip der Potentialdifferenz vermitteln.

Ein weiteres Problem ist der Begriff „Stromquelle“ für Batterien oder Steckdosen (Stork & Wiesner, 2011). Um die Stromverbrauchsvorstellung nicht zu fördern, sollte wohl auch vermieden werden, von „Stromerzeugung“ zu sprechen. Hinzu kommt, dass es für Schülerinnen und Schüler nicht ersichtlich ist, dass alltagsübliche Stromkabel aus mehr als einem Leiter bestehen. Dies kann die Vorstellung begünstigen, der Strom ruhe in der Quelle, fließt dann von ihr zum Verbraucher, und wird dort eben verbraucht. Bittet man Schüler*innen zum ersten Mal, ein Lämpchen zum Leuchten zu bringen, meinen viele, ein Leiter würde dafür genügen. Aus der Tatsache, dass zwei Leiter benötigt werden, ziehen sie nicht die richtigen Schlüsse. Womöglich reicht ein Leiter alleine nur nicht aus, um das Lämpchen mit genug Strom zu versorgen. Stork und Wiesner (2011) weisen mit diesem Beispiel auf Probleme hin, die entstehen, wenn man die Schüler*innen ihr Wissen weitgehend selbst durch Experimente aneignen lässt. (Stork und Wiesner, 2011)

Dass elektrischer Strom in seiner physikalischen Bedeutung mit der elektrischen Energie verwechselt wird, wird auch im Handbuch des Physikunterrichts (Farwig et al., 1992) abgehandelt. Einen wesentlichen Grund sehen die Autoren darin, dass auch in der Alltagssprache und von Unternehmen der Begriff *Strom* oft etwas bezeichnet, das erzeugt und verbraucht wird. Dieses etwas – wenn man so will die Energie – fließt dann eben nicht im Kreis, sondern gelangt vom Erzeuger zum Verbraucher. Die Autoren schlagen daher vor, dass im Unterricht klar gemacht wird, dass mit *Strom* zwei verschiedene Sachen gemeint sein können. Der Strom als Alltagsbegriff bezeichnet dann den Energietransport (Energie-Strom). Der physikalische Strombegriff hingegen meint die Bewegung von Ladungsträgern, wobei die Ladungsträger nicht verbraucht oder umgewandelt werden (Abb. 3). (Farwig et al., 1992)

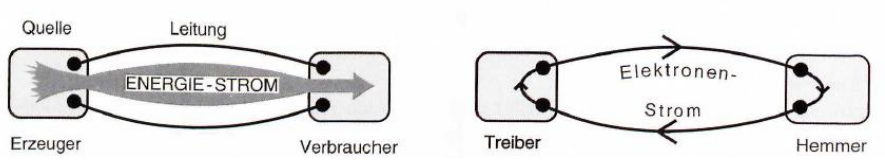


Abbildung 3 - Strombegriff im Alltag (links) und physikalischer Strombegriff (rechts). Bildquelle: P. Farwig et al. (1992), S. 38

Urban-Woldron und Hopf (2012) haben die Schülervorstellungen für ihre Untersuchungen folgendermaßen zusammengefasst:

1. **Strom wird verbraucht. (SV)**
   Diese Vorstellung darf als „Klassiker“ unter den Schülervorstellungen gelten. Das Lämpchen, durch das der Strom fließt, vermindern bzw. entwerten ihn (von Rhöneck, 1986). Die Schüler*innen sehen Strom oft als einen Treibstoff an, der vom Elektrogerät verbraucht wird (Urban-Woldron und Hopf, 2012). Manchmal wird der Strom auch wie bereits erwähnt mit elektrischer Energie gleichgesetzt. Energie wird ja auch tatsächlich umgewandelt. Allerdings ist der elektrische Strom nicht die elektrische Energie, sondern eine zielgerichtete Bewegung von Materie, nämlich von Ladungsträgern, also ein Vorgang. Haider (2009) vermutet im Zusammenhang mit Zuführungsvorstellungen, dass „Strom als etwas Substanzartiges aufgefasst wird, nicht als Prozess.“
   In einer Primarschulstufe durchgeführten Befragung von Schüler*innen (Stork E. und Wiesner H., 1981) antworteten diese, auf die Frage, was sie sich unter elektrischem Strom vorstellten,

sehr unterschiedlich, unter anderem mit Vergleichen zur unsichtbaren Luft oder zum Metall der Leiterdrähte. Genannt wurde auch „Funken, die den Draht entlanglaufen“ oder Strom als „Form von Licht, die man nicht sehen kann“ etc. (Stork E. und Wiesner H., 1981)

Es sei gesagt, dass oft auch auf Stromrechnungen oder in Medien von „Stromverbrauch“ die Rede ist, was diese Vorstellung vermutlich begünstigt. Man würde den Schüler*innen damit Unrecht tun, eine aus dem Alltag stammende Stromverbrauchsvorstellung einfach nur als falsch abzutun. (Kirschner, 2016). Der Begriff *Stromverbrauch* mag also im Alltag seinen Platz haben (wie auch *Energieverbrauch*, *Wasserverbrauch* etc.), für das wissenschaftliche Verständnis von Elektrizitätslehre sollte er allerdings vermieden werden.

2. **Batterie als konstante Stromquelle (BS)**

   Laut dieser Vorstellung liefert eine Batterie stets die gleiche Menge an Strom (wenn sie an einen elektrischen Stromkreis angeschlossen ist), unabhängig vom Widerstand im Stromkreis. Die einzelnen Widerstände teilen sich diese konstante Menge an Strom dann auf. Oft wird die Batterie auch als „Stromquelle“ bezeichnet. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

3. **Inverse Widerstandsvorstellung (IR)**

   Hier wird angenommen, dass eine Vergrößerung des Widerstandes zu einer Vergrößerung der Stromstärke führt (s. von Rhöneck, 1986). Möglicherweise stellen sich Schüler*innen vor, dass ein größerer Widerstand einfach mehr Bedarf an elektrischem Strom hat und deshalb auch mehr Strom fließen muss.

4. **Stromstärke ist unabhängig vom Widerstand (UR)**

   Diese Vorstellung ist ähnlich der Vorstellung der Batterie als konstante Stromquelle. Der Strom ändert sich nicht mit einer Änderung des Widerstandes.

5. **Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand (PR)**

   Diese Art der Stromverbrauchsvorstellung besagt, dass ein größerer Widerstand mehr Strom verbraucht. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

6. **Lokales Denken (LD)**

   Der Stromkreis wird nicht als Ganzes betrachtet, sondern immer nur einzelne Abschnitte. Die Ladungsträger reisen unabhängig voneinander durch den Stromkreis. Der Strom „weiß“ somit auch nicht, was weiter hinten im Stromkreis passiert, und die Stromstärke, die die Batterie liefert, ist unabhängig von den Widerständen im Stromkreis. Bei jeder Verzweigung „entscheidet“ sich der Strom neu, wie er sich aufteilt, oft zu gleichen Teilen. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

   Man kann vermuten, dass vielen Schüler*innen mit dieser Vorstellung nicht klar ist, dass sich in den elektrischen Leitern freie Ladungsträger befinden, die sich alle praktisch gleichzeitig in Bewegung setzen und über ihr elektrisches Feld miteinander in Beziehung stehen.

7. **Sequentielle Argumentation (SA)**

   Ähnlich dem lokalen Denken wird der Stromkreis nicht als Ganzes betrachtet. Im Speziellen wirkt sich laut dieser Vorstellung eine Änderung des Widerstandes nicht auf die Stromstärke „davor“ aus, sondern nur auf die Stromstärke „weiter hinten“ im Stromkreis. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

   Härtel (2012) argumentiert, dass auch Modelle, die Energieübertragung am Widerstand veranschaulichen, die sequentielle Argumentation fördern können. Auch wenn den Schüler*innen bewusst ist, dass Strom nicht verbraucht wird, so wird doch zumindest Energie „verbraucht“ bzw. umgewandelt. Dies könnte Schüler*innen veranlassen zu denken, dass „vor“ und „hinter“ dem Widerstand unterschiedliche Verhältnisse herrschen. (H. Härtel, 2012)

8. **Erfassen von Parallelschaltungen (PS)**
   Schüler*innen haben oft Probleme, Parallelschaltungen als solche wahrzunehmen, wenn sie in der Stromkreisskizze nicht parallel zueinander gezeichnet sind. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

Die Kürzel in dieser Aufzählung (SV, BS etc.) werden für diese Arbeit übernommen.

Neben diesen von Urban-Woldron und Hopf (2012) aufgezählten Vorstellungen kann noch eine unzureichende Unterscheidung von Strom und Spannung genannt werden. Viele Schüler*innen haben auch die Vorstellung von ruhenden Strömen. Der Strom ruht etwa in der Batterie und fließt beim Anschluss an einen Stromkreis dann aus dieser heraus. (von Rhöneck, 1986)
Bei jüngeren Schüler*innen besteht auch manchmal die Vorstellung, dass ein Leiter (von der Batterie zum Lämpchen) genügt, damit elektrischer Strom fließt. Der Strom wird dann am Lämpchen verbraucht. Der zweite Leiter sorgt nur dafür, dass noch mehr Strom zum Lämpchen fließt. (Duit, 1993a) Diese Vorstellung, dass beide Leitungen Strom zum Elektrogerät befördern, wird in weiterer Folge als **Zweizuführungsvorstellung (ZZ)** bezeichnet. Schüler*innen bilden dieses Konzept häufig, nachdem sie im Experiment gesehen haben, dass ein Leiter nicht ausreicht, damit ein Lämpchen leuchtet. Da ein Leiter vom Pluspol und ein anderer Leiter vom Minuspol der Batterie zum Lämpchen führt, geht damit manchmal auch die Vermutung einher, dass sich die in den Leitern transportierten Stoffe voneinander unterscheiden. (Haider 2009)

2.3.1 Analogien und Modelle

Analogien und Modelle können eingesetzt werden, um den Schüler*innen die Vorstellung des elektrischen Stromkreises zu erleichtern. Dies geschieht gerade auch deshalb, weil viele Prozesse der Elektrizitätslehre direkt kaum einsehbar sind. So haben Schüler*innen die Möglichkeit, auf Bekanntes zurückzugreifen. Dass Analogien erfolgreich eingesetzt werden können, um Schüler*innen Naturwissenschaft verständlicher näherzubringen, ist wissenschaftlich bestätigt (Haider, 2009, S. 106). Allerdings können Analogien auch nutzlos sein oder sogar zu Verständnisschwierigkeiten führen. Hier mag es helfen, mehrere, unterschiedliche Analogien bzw. auch Modelle zu benutzen. (Haider, 2009)

2.3.2 Häufig verwendete Modelle

Eine Teilschuld an zahlreichen Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler muss man schlecht ausgewählten Modellen zuschreiben, die sich in zahlreichen Schulbüchern finden. Ein klassisches Negativbeispiel ist etwa das in Abbildung 4 dargestellte Rucksack-Modell. In diesem wandern Elektronen durch den elektrischen Stromkreis und tragen ein Energiepaket mit sich herum. Dieses Modell führt zu zahlreichen Komplikationen, wie mehrere Autorinnen und Autoren beschreiben. H. Härtel (2012) sieht darin als zentralen Fehler, dass die Elektronen sich eigenständig bewegen. Aus dieser, unter Schülerinnen und Schülern verbreitete Fehlvorstellung, folgen diverse Probleme, wie etwa ein Unverständnis dafür, dass ein funktionierender Stromkreis geschlossen sein muss. Woher wüssten schließlich auch die Elektronen, dass sie stehen bleiben müssen, wenn der Stromkreis unterbrochen wird? Und wie kann eine Lampe sofort zu leuchten beginnen, wo doch die Driftgeschwindigkeit der Elektronen sehr langsam ist und sich im Falle von Wechselstrom noch dazu ständig ändert? Und woher sollen die Elektronen wissen, wie viel von ihrer Energie sie an einem Wiederstand abgeben sollen? War das die letzte Lampe, oder kommt noch eine? (H. Härtel, 2012)

R. Müller (2012) argumentiert, dass das Rucksack-Modell schon nicht mehr funktioniert, wenn zwei Lämpchen in Reihe geschaltet werden.

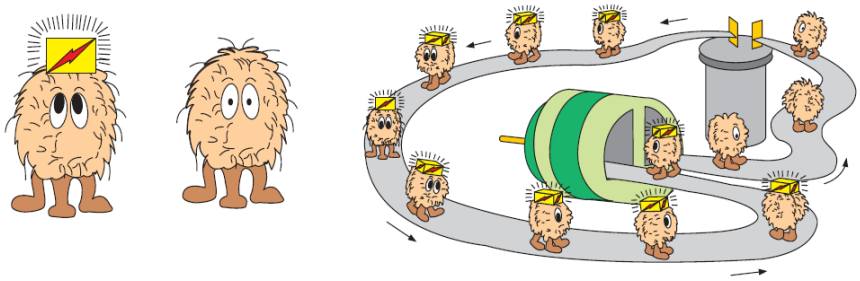


Abbildung 4 - Rucksackmodell. Bildquelle: Härtel (2012)

Ein häufig verwendetes Modell zur Demonstration des Strom-Spannungs-Verhältnisses ist das eines Wasserstromkreises. Dazu wird eine Tauchpumpe an Wasserschläuche angeschlossen und Wasserkreisel dienen als Strömungswächter. Das Modell scheint vom physikalischen Standpunkt nicht ungeeignet, Schwedes und Schilling (2011) haben aber auch hier Schwierigkeiten festgestellt. Das Problem liegt darin, dass Schüler*innen auch mit dem Verständnis eines Wasserkreislaufs erhebliche Schwierigkeiten haben. Die Fehlvorstellungen scheinen sogar recht ähnlich zu denen beim elektrischen Stromkreis zu sein. So wie etwa die Stromstärke im einfachen elektrischen Stromkreis ohne Verzweigungen für Schüler*innen keineswegs überall konstant ist, scheint auch das Wasser im Bereich nach der Pumpe schneller und stärker zu fließen. Sie argumentieren, es verliert zunehmend an Schwung und wird immer langsamer. Schwedes und Schilling (2011) kommen daher zu dem Schluss, dass das Wasserstromkreismodell nicht als Modell für die Elektrizitätslehre geeignet ist, wenn es nicht zuvor selbst ausgiebig durchgenommen wurde. (Schwedes und Schilling, 2011) Eine von Haider (2009) durchgeführte empirische Untersuchung legt den Schluss nahe, dass mechanische Modelle gegenüber Modellen mit Wasserkreisläufen bessere Ergebnisse erzielen.

Ein gutes Modell scheint das einer Fahrradkette zu sein. Es ist Kindern vertraut, es verdeutlicht die Übertragung von Kraft und einen geschlossenen Kreis. (Härtel 2012) Die Kettenglieder stehen für die Ladungsträger, welche ja über ihr elektrisches Feld auch eine Art Kette bilden. Genauso wie die Kettenglieder werden die Ladungsträger bei der Kraftübertragung nicht verbraucht. Einen Nachtteil sieht Härtel (2012) allerdings darin, dass der Antrieb einer Fahrradkette nur zieht, aber nicht drückt – dies bildet einen prinzipiellen Unterschied zur Funktion einer Spannungsquelle in einem Stromkreis. Härtel empfiehlt daher das Modell eines „steifen Ringes“ (Abbildung 5), welches diesen Nachteil nicht aufweist.

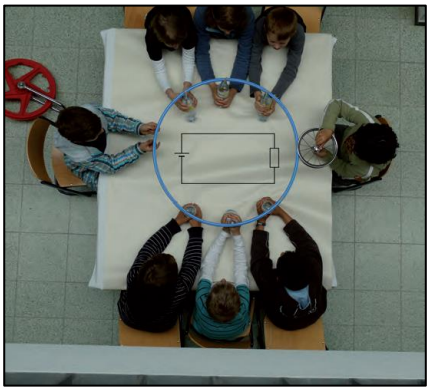


Abbildung 5 – „Steifer Ring“. Bildquelle: Härtel (2012)

2.3.3 Regionale Unterschiede

In dieser Arbeit sollen Schülervorstellungen an Schulen in Wien untersucht werden. Hier stellt sich die Frage, ob es Unterschiede in europäischen Ländern gibt. 2015 veröffentlichten Müller et. al. eine Studie, die Schülervorstellungen von Schüler*innen in Weißrussland mit jenen in Hessen vergleicht. Dabei wurde das unter der Leitung von Urban-Woldrun 2012 entwickelte Testinstrument verwendet, an welches sich auch das in dieser Arbeit verwendete Testinstrument anlehnt. In dieser Studie wurden 154 Schüler*innen aus Hessen und 145 Schüler*innen aus Weißrussland befragt, nachdem die Themen im Elektrizitätslehreunterricht behandelt wurden. Es zeigte sich, dass Weißrussland deutlich besser abschnitt. Weißrussische Schüler*innen konnten durchschnittlich 12,9 von 22 Items richtig lösen, jene aus Hessen hingegen nur 7,8. Schülervorstellungen waren in Hessen wesentlich häufiger vertreten. Abbildung 6 zeigt, bei wie vielen Prozent der Schüler*innen in der Untersuchung von Müller et al. (2015) eine bestimmte Schülervorstellung mindestens einmal auftrat. (Müller et al., 2015)

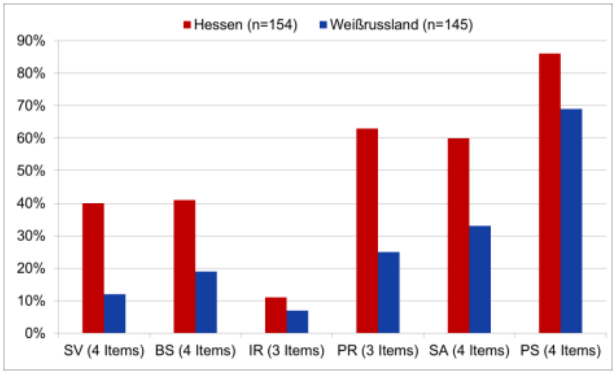


Abbildung 6 - Auftreten von Schülervorstellungen in Prozent. Bildquelle: Müller, S et al. (2015)

Neben den deutlichen Unterschieden zwischen Hessen und Weißrussland zeigt sich auch ein Unterschied im Auftreten der jeweiligen Schülervorstellung. So sieht man in Abbildung 4, dass die Vorstellungen *Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand (PR), Sequentielle Argumentation (SA) und Probleme mit Parallelschaltungen (PS)* sehr stark vertreten waren. Die *inverse Widerstandsvorstellung (IR)* zeigt sich jedoch nur bei einem kleinen Teil der Schüler*innen. (Müller et al., 2015) Auf die von Müller untersuchten Schülervorstellungen wird in dieser Arbeit in der detaillierten Auswertung der einzelnen Schülervorstellungen (Kapitel 5.4) Bezug genommen.

2.4 TESTINSTRUMENTE ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Um zu überprüfen, welche Schülervorstellungen vorhanden sind, wurden bereits mehrere Testinstrumente entwickelt und weiterentwickelt. Einige bekanntere Beispiele sollen hier behandelt werden.

2.4.1 Testinstrument von von Rhöneck

Wie bereits erwähnt stammt die vielleicht bekannteste und meistzitierte Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre von Christoph von Rhöneck (1986). Die Ergebnisse der Untersuchungen berücksichtigten die Antworten von insgesamt 414 Schüler*innen der zehnten Schulstufe (von Rhöneck 1986). Das Testinstrument besteht aus zwölf Aufgaben, von denen sieben durch Ankreuzen oder das Einsetzen von Werten zu beantworten sind. Die einzelnen Aufgaben sollen bestimmte Schülervorstellungen überprüfen. Einige Aufgaben kommen in gleicher oder ähnlicher Form auch in neueren Testinstrumenten vor. Kritisieren kann man am Rhöneck-Testinstrument, dass

fast alle Aufgaben einstufig sind. Die korrekte Antwort muss also meist nicht begründet werden. Das Problem dabei ist, dass Schüler*innen teilweise auch aufgrund von falschen Annahmen zur richtigen Lösung kommen, weswegen eine Begründung oft sinnvoll sein kann.

2.4.2 DIRECT

DIRECT steht für *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test*. Das 2004 von Engelhardt und Beichner entwickelte Testinstrument besteht aus 29 Multiple-Choice-Fragen zum Thema Gleichstromkreise. Der Test ist einstufig aufgebaut. Die erste Frage in der Version 1.0 lautet etwa „Are charges used up in a light bulb, being converted to light?“ (Engelhardt, Beichner, 2004) und hat vier Antwortmöglichkeiten.

2.4.3 Testinstrument von Urban-Woldron und Hopf

Unter der Leitung von Hildegard Urban wurde ein Testinstrument entwickelt, das die von ihr und Hopf definierten Schülervorstellungen untersuchen soll. Besonderen Wert wurde auf zweistufige Fragestellungen gelegt. Schüler*innen können manchmal die richtige Antwort geben, obwohl eine Schülervorstellung vorliegt. Diese soll dann in Stufe 2 entdeckt werden, bei der die Schüler*innen ihre in Stufe 1 gewählte Antwort begründen müssen. Einige Testitems sind von Rhöneck oder DIRECT übernommen. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

Dieses Testinstrument wird sehr oft verwendet, zitiert oder weiterentwickelt. Auch der in dieser Arbeit angewendete Fragebogen lehnt sich sehr stark daran an.

2.4.4 Dreistufige Tests

Eine dritte Stufe pro Testfrage kann dazu dienen, zwischen einer vorhandenen Schülervorstellung und zufälligem Ankreuzen aufgrund von Unwissen zu unterscheiden. In einem von Urban 2017 verwendeten Instrument zur Untersuchung von *sequentieller Argumentation* wurde in der dritten Stufe abgefragt, wie sicher sich die Schülerin bei der Beantwortung der ersten beiden Fragen sei. (Urban, 2017)

2.4.5 SECDT

Der SECDT (Simple Electric Circuit Diagnostic Test) von Pesman und Eryilmaz besteht aus 12 Items. Die Besonderheit in diesem Test ist auch hier der dreistufige Aufbau. Der Test verfügt allerdings über eine niedrige Reliabilität. (Urban-Woldron und Hopf, 2012)

2.5 LEHRPLAN

Obwohl Physik bereits ab der zweiten Klasse Unterstufe gelehrt wird, wird die Elektrizitätslehre erst ab der dritten Klasse behandelt. Besonders für die dritte Klasse ist das Lernen von einfachen elektrischen Stromkreisen vorgesehen. Hierbei werden im Lehrplan auch explizit die Begriffe *Stromstärke*, *Spannung*, *Widerstand* und das *ohmsche Gesetz* erwähnt. Der *einfache Stromkreis* ist zwar nur ein Teilbereich des in der 3. und 4. Klasse ausgiebig vorgesehenen Gebiets der Elektrizitätslehre, doch hier liegt das Augenmerk dieser Arbeit. Die zuvor definierten Schülervorstellungen im Gebiet der Elektrizitätslehre beziehen sich ebenfalls darauf. In dieser Arbeit wird nur jener Bereich der Elektrizitätslehre überprüft, der in der Regel in der 3. Klasse durchgenommen wird. (RIS, 2020)

3 FORSCHUNGSFRAGEN UND FORSCHUNGSDESIGN

Im Zentrum der Arbeit steht das Vorhaben, das Wissen und die Vorstellungen von Schüler*innen bezüglich des elektrischen Stromkreises mittels eines Fragebogens zu erheben. Die Ergebnisse, die diese Arbeit liefern soll, können drei Forschungsfragen zugeordnet werden. Sie beziehen sich auf Schüler*innen der 7. und 8. Schulstufe an Wiener Schulen (AHS) und lauten:

1. Welche klassischen Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre sind in welcher Ausprägung vorhanden?
2. Welche Korrelationen gibt es zwischen den einzelnen Schülervorstellungen?
3. Welche Unterschiede gibt es beim Verständnis des elektrischen Stromkreises hinsichtlich Vorwissen, Geschlecht, Jahrgang und Interesse der Schüler*innen?

3.1 FORSCHUNGSFRAGE 1

Welche klassischen Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre sind in welcher Ausprägung vorhanden?

Hierbei werden folgende im theoretischen Hintergrund beschriebenen Schülervorstellungen untersucht:

- Strom wird verbraucht (SV)
- Batterie als konstante Stromquelle (BS)
- Inverse Widerstandsvorstellung (IR)
- Stromstärke ist unabhängig vom Widerstand (UR)
- Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand (PR)
- Lokales Denken (LD)
- Sequentielle Argumentation (SA)
- Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen (PS)
- Zweizuführungsvorstellung (ZZ)

Wie im theoretischen Hintergrund dargelegt, können Schülervorstellungen ein wesentliches Hindernis beim Aneignen eines wissenschaftlichen Verständnisses des elektrischen Stromkreises darstellen. Aus didaktischer Sicht ist es daher interessant, welche Schülervorstellungen wie stark verbreitet sind, und welchen Einfluss der Physikunterricht darauf hat – zumal es hier geografisch deutliche Unterschiede geben dürfte, wie die 2015 von Müller et al. durchgeführte Untersuchung über Schülervorstellungen in Hessen und Weißrussland nahelegt. In dieser Arbeit sollen nun Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis an Wiener Gymnasien untersucht werden.

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, werden die Fragen im Fragebogen so gestaltet, dass aus falschen Antworten auf bestimmte Schülervorstellungen geschlossen werden kann. Auf das Fragebogen-Design wird im Kapitel 3.4 näher eingegangen. Bei der Auswertung der Fragen sollen zwei bestimmte Werte gebildet werden:

3.1.1 Wert 1 – MEA

Die meisten Schülervorstellungen werden in mehreren Fragen überprüft. *Wert 1* soll prozentmäßig angeben, wie viele Schüler*innen *mindestens* einmal im Fragebogen eine Antwort geben, die auf die

jeweilige Schülervorstellung schließen lässt. Das bedeutet, dass Schüler*innen, die bei mehreren Fragen dieselbe Schülervorstellung zeigen, für Wert 1 nicht mehrfach gezählt werden. Dies entspricht einer Auswertung, wie sie etwa auch in der 2015 von Müller et al. durchgeführten Untersuchung erfolgt ist. *Wert 1* wird in dieser Arbeit fortan mit MEA-Wert (*M*indestens *E*inmaliges *A*uftreten) abgekürzt. Da aber in dieser Arbeit nicht jede Schülervorstellung gleich häufig abgefragt wird, lassen sich die MEA-Werte für die einzelnen Schülervorstellungen nur bedingt miteinander vergleichen. Während manche Vorstellungen in einer speziell dafür entwickelten Frage überprüft werden, kommen andere nur in Fragen mit zahlreichen unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten vor. Aus diesem Grund wird noch ein zweiter Wert ermittelt.

3.1.2 Wert 2 – VBR

Wert 2 soll ein Ergebnis zum Auftreten von Schülervorstellungen liefern, das nicht davon abhängt, wie häufig die jeweilige Schülervorstellung abgefragt wird. Hier wird für jede Schülervorstellung zunächst ein Wert gebildet, wie oft bei blindem Raten eine auf diese Schülervorstellung hindeutende Antwort gewählt werden würde. Diese Werte werden dann mit den tatsächlichen Ergebnissen verglichen. Unter blindem Raten wird hier verstanden, dass die Fragen zufällig, aber gültig beantwortet werden. Bei mehrstufigen Fragen sollen hier nur sinnreiche Antwortkombinationen angenommen werden, also nicht solche, bei denen die Begründung in Stufe B der Antwort in Stufe A widerspricht. Bei Schülervorstellungen, die in mehreren Fragen vorkommen, wird für jede Frage ein Wert gebildet, und dann der Durchschnitt davon berechnet. Dieser Wert wird fortan mit VBR-Wert (*V*ergleich zu *B*lindem *R*aten) abgekürzt.

Wie der VBR-Wert genau zustande kommt, soll hier mit einem Beispiel verdeutlicht werden: Man nehme an, Schülervorstellung X wird in den Fragen Y und Z überprüft. In Frage Y gibt es vier Antwortmöglichkeiten, von denen eine auf X hinweist. Damit liegt die Wahrscheinlichkeit, dass X auftritt, bei blindem Raten bei 25 %. In Frage Z gibt es zwei Antwortmöglichkeiten, von denen eine auf X hinweist, was einer Wahrscheinlichkeit von 50 % entspricht. Im Durchschnitt tritt die Schülervorstellung X also pro Frage, in der sie überprüft wird, zu 37,5 % auf. Man nehme nun an, die Schüler*Innen kreuzen tatsächlich zu 20 % bei Y eine Antwort an, die auf X hinweist, und zu 40 % bei Z, was einen Durchschnitt von 30 % ergibt. Der hier gesuchte VBR-Wert wird nun aus der Differenz zwischen dem tatsächlich ermittelten Wert, und dem Wert, der bei blindem Raten zu erwarten wäre, gebildet. Der VBR-Wert würde somit für Schülervorstellung X bei -7,5 Prozentpunkten liegen. Wählen also mehr Schüler*innen Antworten, die auf die jeweilige Schülervorstellung hinweisen, im Vergleich zu anderen Antwortmöglichkeiten, wird der Wert positiv sein. Sind es weniger, wird er negativ sein. Die so gebildeten Werte erlauben es damit, zu vergleichen, wie stark unterschiedliche Schülervorstellungen vorhanden sind, allerdings geben sie keine Auskunft darüber, wie verbreitet eine Schülervorstellung in absoluten Zahlen ist.

Nachdem die beiden Werte MEA und VBR für alle Schülervorstellungen gebildet worden sind, soll mit ihrer Hilfe eine qualitative Abschätzung zur Häufigkeit der Schülervorstellung erfolgen. Wo es möglich ist, werden die Ergebnisse auch mit jenen der 2015 von Müller et al. durchgeführten Studie verglichen.

3.2 FORSCHUNGSFRAGE 2

Welche Korrelationen gibt es zwischen den einzelnen Schülervorstellungen?

Dort, wo es die Art der Befragung zulässt und wo es thematisch sinnvoll erscheint, soll überprüft werden, wie die Schülervorstellungen miteinander korrelieren. Dies bedeutet, ob bei denselben Schüler/innen, bei denen Schülervorstellung X auftritt, Schülervorstellung Y im Vergleich zur Gesamtheit eher stärker oder eher weniger stark auftritt. Auch eine Aufteilung nach Geschlecht soll hierbei erfolgen. Für die Überprüfung einer solchen Korrelation wird für jede der beiden Schülervorstellungen eine möglichst aussagekräftige Frage ausgewählt. Idealerweise handelt es sich dabei um eine Frage, bei der die andere Schülervorstellung nicht ebenfalls untersucht wird. Die Korrelation wird dann mit dem Vierfelder-Korrelationskoeffizienten ermittelt. Die vier Felder enthalten die Anzahl der Schüler/innen, die beide Vorstellungen zeigen (Feld a), die nur jeweils eine der beiden Vorstellungen zeigen (Felder b und c), und die keine der Vorstellungen zeigen (Feld d). Der Vierfelder-Korrelationskoeffizient wird dann mit folgender Formel ermittelt:

$$\widehat{r_\phi} = \frac{a * d - b * c}{\sqrt{(a+b) * (c+d) * (a+c) * (b+d)}}$$

Der Vierfelder-Korrelationskoeffizient ergibt eine Zahl, die zwischen -1 und +1 liegt. Je näher er bei +1 liegt, desto stärker liegt eine positive Korrelation vor. Umso näher er bei -1 liegt, umso stärker liegt eine negative Korrelation vor. (Academic, 2020)

3.3 FORSCHUNGSFRAGE 3

*Welche Unterschiede gibt es beim Verständnis des elektrischen Stromkreises hinsichtlich Vorwissen, Geschlecht, Jahrgang und Interesse der Schüler*innen?*

Um das Verständnis des elektrischen Stromkreises von Schüler*innen beurteilen zu können, werden einige ausgewählte Kernpunkte definiert. Diese sind so formuliert, dass anhand der Ergebnisse aus dem Fragebogen quantitative Aussagen über das Verständnis dieser Kernpunkte getroffen werden können:

1. Ein Verständnis dafür, dass elektrischer Strom nicht verbraucht wird bzw. dass elektrischer Strom nicht mit elektrischer Energie gleichzusetzen ist.
2. Dass die Stromstärke kleiner wird, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird.
3. Dass nur in einem geschlossenen Stromkreis elektrischer Strom fließt.
4. Dass eine Veränderung an einer Stelle Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis hat.
5. Parallel zueinander geschaltete Objekte können anhand einer Schaltskizze als solche identifiziert werden.

Da die Anzahl an Fragen, die den Schüler*innen im Zuge dieser Untersuchung gestellt werden können, begrenzt ist, kann nicht das gesamte Wissen über den elektrischen Stromkreis abgefragt werden. Die Kernpunkte sind daher als ein exemplarischer Auszug zu verstehen bzw. als eine stichprobenartige Überprüfung. So wird etwa nur abgefragt, welche Auswirkung eine *Vergrößerung* des elektrischen Widerstands auf die Stromstärke hat, nicht aber, was aus einer *Verkleinerung* folgen würde.

Kernpunkt 1 wurde ausgewählt, da die Vorstellung, dass elektrischer Strom der Transport von Ladungsträgern, also von Materie, ist, vielen Schüler*innen nicht bewusst sein dürfte. Zahlreiche Autoren, wie von Rhöneck (1986), Farwig et al. (1992) oder Allen (2014) haben bereits veranschaulicht, dass elektrischer Strom oft als eine Substanz betrachtet wird, die verbraucht wird, oder gar mit der elektrischen Energie gleichgesetzt wird. Von Rhöneck (1986, S. 10) weist auch darauf hin, dass Schüler*innen häufig Probleme damit haben, elektrischen Strom von elektrischem Widerstand und elektrischer Spannung abzugrenzen. Inwiefern es Schüler*innen gelingt, einen korrekten Zusammenhang von Stromstärke und Widerstand herzustellen, soll mit *Kernpunkt 2* überprüft werden. Schüler*innen, die nicht verstanden haben, dass nur in einem geschlossenen Stromkreis Strom fließt, werden wohl große Probleme damit haben, weiterführende Konzepte zu erfassen. Wie Stork und Wiesner (2011) aufzeigen, kann dieses Verständnis aber bei weitem nicht vorausgesetzt werden. Es wird daher mit dem *Kernpunkt 3* überprüft. Vielen Schüler*innen scheint auch nicht klar zu sein, dass in einem haushaltsüblichen Stromkabel mehrere Einzelleitungen enthalten sind, wodurch der Eindruck entstehen kann, Elektrogeräte sind nur mit einer Leitung mit der Steckdose verbunden (Stork und Wiesner, 2011). In *Kernpunkt 4* wird untersucht, ob es gelingt, den Stromkreis als Ganzes zu betrachten. Wie von von Rhöneck (1986, S. 11-13) gezeigt, ist Schüler*innen oft nicht klar, dass eine Änderung des Widerstandes nicht nur Auswirkungen auf das hat, was im Stromkreis „danach" kommt. Diese Fehlvorstellung kann durch Modelle, die die Übertragung von Energie an Widerständen in ungeeigneter Weise darstellen, verstärkt werden (Härtel, 2012). *Kernpunkt 5* bezieht sich schließlich darauf, ob Parallelschaltungen als solche erkannt werden, und zwar auch dann, wenn sie in der Schaltskizze nicht *geometrisch* parallel zueinander eingezeichnet sind (= *Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen*).

Für jeden dieser Kernpunkte wird ein Prozentwert ermittelt. Dieser ergibt sich daraus, wie viel Prozent der Schüler*innen eine Frage im Fragebogen so beantworten, dass der Kernpunkt als verstanden gewertet werden kann. Die meisten Kernpunkte werden in mehreren Fragen überprüft, wobei hier aus den unterschiedlichen Ergebnissen ein Durchschnittswert gebildet wird. Diese Berechnung wird für Schüler*innen unterschiedlicher Gruppen durchgeführt, welche dadurch in ihrem Wissensstand miteinander verglichen werden können. Einer dieser Vergleiche wird Schüler*innen mit unterschiedlichem Vorwissen betreffen. Hierfür werden die Schüler*innen in drei Gruppen eingeteilt: Schüler*innen des 7. Jahrgangs, die im Gymnasium noch keinen Unterricht in Elektrizitätslehre hatten, Schüler*innen des 7. Jahrgangs, die den Lehrstoff zum elektrischen Stromkreis gerade durchnehmen und Schüler*innen des 8. Jahrgangs, welche damit bereits fertig sind. Dieser Vergleich dient der Abschätzung, wie erfolgreich an Wiener Gymnasien das Wissen zum elektrischen Stromkreis vermittelt wird. Des Weiteren soll untersucht werden, ob Mädchen und Burschen die Kernpunkte gleich gut verstehen, oder ob es hier größere Unterschiede gibt. Auch soll ein Vergleich zwischen Interesse und Kompetenz der Schüler*innen angestellt werden. Hierbei sollen die Schüler*innen am Fragebogen ankreuzen, wie sehr sie sich einerseits für Physik im Allgemeinen, andererseits für Elektrizitätslehre im Vergleich zu anderen physikalischen Themen, interessieren. Dazu soll es jeweils fünf Abstufungen geben, von „sehr" bis „überhaupt nicht". Hier stellt sich nun die Frage, ob jene Schüler*innen, die sich stärker für Physik und Elektrizitätslehre interessieren, auch tatsächlich ein besseres Verständnis bzgl. des elektrischen Stromkreises besitzen. Zum Vergleich des Wissens sollen sowohl die einzelnen Kernpunkte, als auch – zur besseren Übersicht – ein aus allen Kernpunkt-Werten gebildeter Durchschnittswert, herangezogen werden. Dieser Durchschnittswert wird in dieser Arbeit mit DKV-Wert (*D*urchschnittliches *K*ernpunkt-*V*erständnis) abgekürzt.

3.4 FORSCHUNGSDESIGN – FRAGEBOGEN

Die benötigten Daten zur Beantwortung der Forschungsfragen sollen mit einem Fragebogen ermittelt werden. Die Zielgruppe für die Befragung bilden Mädchen und Burschen in dritten und vierten Klassen an Gymnasien in Wien. Der Großteil der Schüler*innen soll bereits Unterricht zu den Themen genossen haben, welche im Fragebogen behandelt werden. Außerdem soll es eine Vergleichszielgruppe ohne Vorkenntnisse im Bereich der Elektrizitätslehre geben. An welchen Schulen die Befragung durchgeführt wird und wie viele Schüler*innen befragt werden, richtet sich nach den vorhandenen Möglichkeiten. Die gesamte Auswertung soll mit Hilfe der Programme PSPP und Microsoft Excel durchführbar sein. Sie soll ein gutes Ergebnis darüber liefern, wie stark jede der untersuchten Schülervorstellungen verbreitet ist und wie gut die Zielgruppe die Kernpunkte (Forschungsfrage 3) verstehen. Möglichst alle falschen Antworten und falschen, aber sinnvollen Antwortkombinationen sollen auf bestimmte Schülervorstellungen schließen lassen. Um eine quantitative Auswertung zu ermöglichen, wird der Fragebogen größtenteils Multiple-Choice-Fragen beinhalten. Insgesamt beinhaltet der Fragebogen 10 Fragen, von denen allerdings die Fragen 3 und 4 für die Arbeit nicht weiter verwendet werden, weil sie sich im Nachhinein als ungeeignet erwiesen haben (siehe Kapitel 3.4.7). Die Fragen 2, 7 und 10 sind mehrstufig aufgebaut. Bei den mehrstufigen Fragen sind die Schüler*innen aufgefordert, zu begründen, warum sie die jeweilige Antwort gewählt haben. Die dadurch generierten Kombinationen aus Antwort und Begründung lassen sich exakter den jeweiligen Schülervorstellungen zuordnen. Es ist auch möglich, dass Stufe A richtig beantwortet wurde, obwohl eine Schülervorstellung vorliegt, was erst durch die Begründung in Stufe B erkannt werden kann. Einige der verwendeten Fragen stammen in gleicher oder abgewandelter Form aus dem Testinstrument Elektrizitätslehre, das Urban-Woldron und Hopf 2012 entwickelt haben. Dieses wurde ebenfalls mit dem Ziel geschaffen, Schülervorstellungen zu identifizieren. Die Komplettversion des Fragebogens, wie er den Schüler*innen vorgelegt wurde, befindet sich im Anhang dieser Arbeit. Tabelle 1 zeigt, welche Schülervorstellungen und welche Kernpunkte (Forschungsfrage 3) mit welchen Fragen untersucht werden. Eine genauere Erläuterung dazu folgt im Anschluss.

Tabelle 1 – Zuordnung der Schülervorstellungen und Kernpunkte zu den einzelnen Fragen

Schülervorstellung	Untersucht in Fragen
SV	1, 2, 10
BS	2, 7, 10
IR	2, 7, 10
UR	2, 10
PR	2, 7, 10
LD	5, 8, 9
SA	7, 10
PS	6
ZZ	5, 9

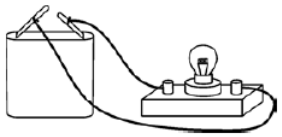
Kernpunkt	Untersucht in Fragen
1	1
2	2A, 7A+B, 10A
3	5, 9
4	7A+B ,10A
5	6
6	8

3.4.1 Frage 1

Bei dieser Frage werden die Schülervorstellung SV und der Kernpunkt 1 von Forschungsfrage 3 untersucht. Die Frage wird in Tabelle 2 aufgelistet. Sie wurde selbst entworfen, die Bildquelle stammt aus den Unterrichtsmaterialien zur Einführung in die Elektrizitätslehre, das die LMU-München auf ihrer

Homepage zur Verfügung stellt[1]. Während Schüler*innen auch in den Fragen 2 und 10 angeben können, dass Strom verbraucht wird, geht Frage 1 speziell auf die Verwechslungsmöglichkeit von elektrischem Strom und elektrischer Energie ein, welche unter anderem von Farwig et al. (1992) geschildert wird.

Tabelle 2 – Fragenbogen Frage 1

Frage 1	Ein Lämpchen ist an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Welche Aussage ist wahr?	Schüler-vorstellung	Abbildung
1	Es fließt stärkerer Strom zum Lämpchen hin, als vom Lämpchen weg. Ein Teil des elektrischen Stroms wird vom Lämpchen in Licht und Wärme umgewandelt.	SV	
2	Es fließt nur Strom zum Lämpchen hin, aber keiner vom Lämpchen weg. Der gesamte elektrische Strom wird vom Lämpchen in Licht und Wärme umgewandelt.	SV	
3	Es fließt genauso viel Strom zum Lämpchen hin, wie vom Lämpchen weg.	richtig	
Quelle: Eigenentwurf, Bildquelle: LMU München[1]			

3.4.2 Frage 2, 7 und 10

Die Fragen 2, 7 und 10 sind ähnlich aufgebaut, unterscheiden sich aber im Detail. In allen drei Fragen geht es um die Auswirkungen bei Vergrößerung des Widerstands im Stromkreis. Sie stammen aus dem Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012), wobei teilweise Änderungen vorgenommen worden sind. Frage 2 wurde leicht abgewandelt, um thematisch an Frage 1 anzuschließen. Die Abbildung in Frage 2 stammt aus den Unterrichtsmaterialien der LMU-München[1], welche statt einer Schaltskizze wie in Frage 1 einen realen Stromkreis zeigt. Frage 10 wurde um eine zweite Stufe ergänzt, wobei auch hier die Antwortmöglichkeiten teilweise aus anderen Items des Testinstruments Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf stammen. Die Abbildungen zu den Fragen 7 und 10 sind Nachzeichnungen. Die Fragen 2, 7 und 10 sind so aufgebaut, dass die Schüler*innen nicht nur eine Frage beantworten sollen, sondern auch begründen, warum sie sich so entschieden haben. Durch diese Kombination aus Antwort und Begründung ist es möglich, einen großen Teil der für Forschungsfrage 1 relevanten Schülervorstellungen zu untersuchen. So kann etwa angegeben werden, dass die Stromstärke gleich bleibt, was je nach Begründung auf die Schülervorstellungen BS oder UR (Fragen 2 und 10) hinweist, oder dass die Stromstärke größer wird, was bei passender Begründung die Schülervorstellung IR andeutet. Wird mit Stromverbrauch argumentiert, kann auf SV (Fragen 2 und 10) oder PR geschlossen werden. In den Fragen 7 und 10 kann außerdem begründet werden, dass eine Änderung des Widerstands nur Auswirkungen auf die Stromstärke *danach* hat, was auf die SA-Vorstellung hinweist. Der Kernpunkt 2 – *dass die Stromstärke kleiner wird, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird* – gilt auch dann als verstanden, wenn Schüler*innen dies nur auf einen Teil des Stromkreises beziehen. Umgekehrt gilt Kernpunkt 4 – *dass eine Veränderung an einer Stelle Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis hat* – in den Fragen 7 und 10 auch dann als verstanden, wenn eine Vergrößerung statt Verkleinerung der Stromstärke angenommen wird, solange dies für den gesamten Widerstand gilt.

Frage 2 wird in Tabelle 3 dargestellt. Zu einem existierenden Lämpchen wird ein weiteres in Reihenschaltung hinzugefügt. Nun soll beurteilt werden, wie und warum sich die Stromstärke

[1] LMU-München, Unterrichtsmaterialien (Abgerufen am 20.04.2020)
http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

verändert. Dabei lassen sich die Schülervorstellungen SV, BS, IR, UR und PR und der Kernpunkt 2 zu Forschungsfrage 3 untersuchen.

Tabelle 3 - Fragebogen Frage 2

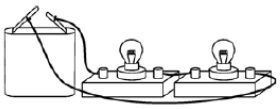
Frage 2, Stufe A	Ein Lämpchen ist an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Nun wird ein zweites Lämpchen in Reihenschaltung dazu geschaltet. Wie verändert sich die Stromstärke im Stromkreis?	Abbildung
1	Sie bleibt im gesamten Stromkreis gleich.	
2	Sie nimmt ab.	
3	Sie bleibt nur am Beginn des Stromkreises gleich, aber weniger Strom fließt zurück in die Batterie.	
4	Sie nimmt zu.	
Frage 2, Stufe B	Wie erklärst du deine Antwort?	
1	Es ist dieselbe Batterie, darum fließt auch gleich viel Strom.	
2	Es fließt gleich viel Strom wie zuvor, er teilt sich nur auf beide Lämpchen auf.	
3	Die Batterie kann nun nicht mehr so viel Strom durch den Stromkreis treiben.	
4	Es wird nun mehr Strom verbraucht.	
5	Weil es zwei Lämpchen sind, fließt nun doppelt so viel Strom.	
Quelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[2], Bildquelle: LMU München[3]		

Tabelle 4 zeigt, von welcher Kombination aus Antwort in Stufe A und Begründung in Stufe B bei Frage 2 auf welche Schülervorstellung geschlossen werden kann. Dabei werden nur sinnvollen Antwortkombinationen Schülervorstellungen zugewiesen. Eine nicht sinnvolle Antwortkombination ist eine, bei der die in Stufe B gegebene Begründung der gewählten Antwort in Stufe A widerspricht.

Tabelle 4 - Schülervorstellungen bei Frage 2

	A1	A2	A3	A4
B1	BS	BS	BS	BS
B2	UR			
B3		richtig		
B4		PR	SV	SV
B5	IR	IR	IR	IR

Bei Frage 7 wird analog zu Frage 2 der Widerstand im Stromkreis erhöht, diesmal mittels eines regelbaren Widerstands. Nun soll beantwortet werden, wie sich die Anzeige zweier Amperemeter verändert. Dass sich die Amperemeter auf beiden Seiten des regelbaren Widerstands befinden, ist besonders relevant für die Schülervorstellung *sequentielle Argumentation bzw.* Kernpunkt 4. Insgesamt lassen sich mit Frage 7 die Schülervorstellungen BS, IR, PR und SA, sowie die Kernpunkte 2 und 4 überprüfen. Die Frage wird in Tabelle 5 dargestellt.

[2] Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012)
[3] LMU-München, Unterrichtsmaterialien (Abgerufen am 20.04.2020)
http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

Tabelle 5 – Fragebogen Frage 7

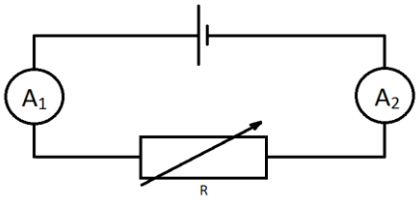
Frage 7	Der Stromkreis in der Abbildung besteht aus zwei Amperemetern und einem regelbaren Widerstand. Beide Amperemeter zeigen die Stromstärke an. Nun wird der Widerstand R vergrößert.	
Stufe A	Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A_1?	Abbildung
1	Sie wird größer.	
2	Sie bleibt gleich.	
3	Sie wird kleiner.	
Stufe B	Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A_2?	
1	Sie wird größer.	
2	Sie bleibt gleich.	
3	Sie wird kleiner.	
Stufe C	Wie erklärst du deine Entscheidung?	
1	Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.	
2	Es ist dieselbe Batterie, daher liefert sie denselben Strom.	
3	Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke überall im Stromkreis.	
4	Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Sie beeinflusst daher den Strom vor dem Widerstand nicht.	
5	Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Daher wird der Strom vor dem Widerstand größer.	
Quelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[4], Bildquelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[4] (Nachzeichnung)		

Tabelle 6 zeigt, welche Antwortkombinationen aus den Stufen A, B und C der Frage 7 welchen Schülervorstellungen zugeordnet werden.

Tabelle 6 – Schülervorstellungen zu Frage 7

	A1+B1	A1+B2, A2+B1	A1+B3, A3+B1	A2+B2	A2+B3, A3+B2	A3+B3
C1	IR	IR	IR			PR
C2	BS	BS	BS	BS	BS	BS
C3						richtig
C4					SA	
C5	IR	IR	IR			

Auch bei Frage 10 gibt es einen Widerstand, der vergrößert wird. Statt zwei Amperemeter befinden sich auf beiden Seiten des Widerstands nun zwei Lämpchen. Es soll angegeben werden, wie sich die Helligkeit der Lämpchen verändert und auch hier soll die Antwort begründet werden. Mit den daraus resultierenden Antwortkombinationen lassen sich die Schülervorstellungen SV, BS, IR, UR, PR und SA überprüfen. Analog zur Frage 7 gibt Frage 10 auch Aufschluss über die Kernpunkte 2 und 4. Die Frage wird in Tabelle 7 dargestellt.

[4] Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012)

Tabelle 7 – Fragebogen Frage 10

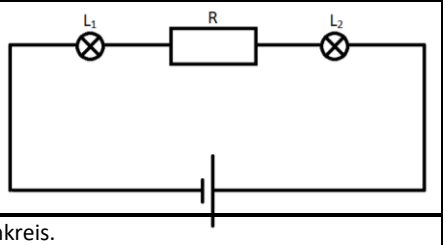
Frage 10 Stufe A	Im Stromkreis rechts unten leuchten beide Lampen L1 und L2 mit gleicher Helligkeit. Was passiert mit der Helligkeit der beiden Lampen L1 und L2, wenn der Widerstand R vergrößert wird?	Abbildung
1	L1 bleibt gleich hell, L2 leuchtet schwächer.	
2	L1 leuchtet schwächer, L2 bleibt gleich hell.	
3	L1 und L2 leuchten nun beide stärker.	
4	L1 und L2 leuchten nun beide schwächer.	
5	L1 und L2 leuchten gleich hell wie zuvor.	
Frage 10 Stufe B	Wie erklärst du deine Antwort?	
1	Der Widerstand beeinflusst nur die Lampe weiter hinten im Stromkreis.	
2	Die Änderung des Widerstandes hat keinen Einfluss auf die Stromstärke im gesamten Stromkreis.	
3	Die Spannungsquelle kann nicht mehr so viel Strom wie zuvor durch den Stromkreis treiben.	
4	Weil der Widerstand größer wird, fließt jetzt auch mehr Strom.	
5	Wegen des größeren Widerstands, wird nun mehr Strom verbraucht.	
6	Die Stromstärke muss gleich bleiben, weil auch die Spannungsquelle nicht verändert wird.	
Quelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[5] (abgewandelt), Bildquelle: Testitem Elektrizitätslehre[5] (Nachzeichnung)		

Tabelle 8 zeigt, welche Antwortkombinationen aus den Stufen A und B der Frage 10 welchen Schülervorstellungen zugeordnet werden.

Tabelle 8 - Schülervorstellungen zu Frage 10

	A1	A2	A3	A4	A5
B1	SA	SA			
B2					UR
B3				Richtig	
B4			IR		
B5	SV	SV		PR	
B6					BS

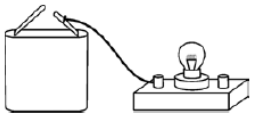
3.4.3 Fragen 5 und 9

Hier soll angegeben werden, ob elektrischer Strom fließt, wenn der Stromkreis nicht geschlossen ist. Diese Fragen wurden gewählt, um das *lokale Denken*, die *Zweizuführungsvorstellung*, sowie Kernpunkt 3 zu untersuchen. Die Vorstellung, dass sich Ladungsträger unabhängig voneinander durch den Stromkreis bewegen, kann dem *lokalen Denken* zugeordnet werden. Diesem zufolge merken es die Ladungsträger nicht, wenn sich im Stromkreis etwas ändert, bis sie diese Stelle erreicht haben. Auf ein Vorhandensein der LD-Vorstellung kann daher geschlossen werden, wenn vermutet wird, dass trotz Unterbrechung zumindest noch eine Zeit lang Strom fließt. Schüler*innen, die andererseits angeben, dass dauerhaft Strom fließt, aber nur halb so viel, können der ZZ-Vorstellung zugeordnet werden. Kernpunkt 3 – *dass nur in einem geschlossenen Stromkreis elektrischer Strom fließt* – gilt als verstanden, wenn angegeben wird, dass in einem unterbrochenen Stromkreis kein Strom fließt, auch nicht für eine begrenzte Zeit.

Bei Frage 5 (Tabelle 9) wird ein Lämpchen gezeigt, welches mit nur einer Leitung mit der Batterie verbunden ist. Zusätzlich zur richtigen Antwort, dass kein Strom fließt, kann noch richtig angegeben werden, dass Spannung vorhanden ist. Die Frage wurde selbst entworfen, die Bildquelle stammt von der LMU München[7].

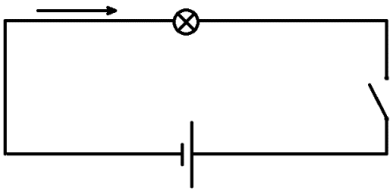
[5] Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012)

Tabelle 9 – Fragebogen Frage 5

Frage 5	Ein Lämpchen ist mit nur einem Leiter an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Welche Aussagen sind wahr? (Es können mehrere Aussagen wahr sein)	Schüler-vorstellung	Abbildung
1	Es fließt Strom, aber nur sehr kurz.	LD	
2	Es fließt Strom, aber nicht genug, um das Lämpchen zum Leuchten zu bringen.	ZZ	
3	Es fließt gar kein Strom.	richtig	
4	Es ist elektrische Spannung vorhanden.	richtig	
Quelle: Eigenentwurf, Bildquelle: LMU München[6]			

Bei Frage 9 wird der Stromkreis plötzlich durch einen Schalter unterbrochen. Die Frage beinhaltet Antwortmöglichkeiten, die speziell auf die Vorstellung hinweisen, dass Ladungsträger eine Änderung im Stromkreis nicht sofort bemerken. Die Frage und die Abbildung (Tabelle 10) wurden selbst gestaltet.

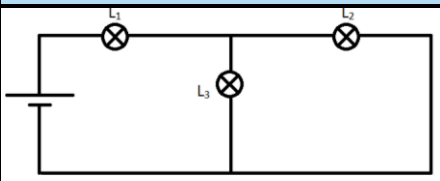
Tabelle 10 – Fragebogen Frage 9

Frage 9	Der Pfeil zeigt die Richtung an, in die sich die Ladungsträger bewegen. Plötzlich wird der Stromkreis durch einem Schalter unterbrochen. Was passiert?	Schüler-vorstellung	Abbildung
1	Die Ladungsträger im Stromkreis fließen noch bis zur Lampe, danach fließt kein Strom mehr.	LD	
2	Die Ladungsträger im Stromkreis fließen noch zum Schalter, danach fließt kein Strom mehr.	LD	
3	Es fließt weiterhin Strom zur Lampe, aber nur mehr halb so viel.	ZZ	
4	Es fließt kein Strom mehr.	richtig	
Quelle: Eigenentwurf, Bildquelle: Eigenzeichnung			

3.4.4 Frage 6

Frage 6 (Tabelle 11) stammt aus dem Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012) und wurde ausgewählt, um die PS-Vorstellung bzw. das Verständnis von Kernpunkt 5 zu überprüfen. In der Schaltskizze sind zwei Leitungen mit je einem Lämpchen parallel zueinander geschaltet. Geometrisch betrachtet stehen die Leitungen jedoch normal aufeinander. Kernpunkt 5 wird als verstanden gewertet, wenn die Frage richtig beantwortet wird, während alle falschen Antworten auf die PS-Vorstellung hinweisen.

Tabelle 11 – Fragebogen Frage 6

Frage 6	Welche Lämpchen in der Abbildung sind parallel geschalten?	Schüler-vorstellung	Abbildung
1	L_1 und L_2	PS	
2	L_2 und L_3	PS	
3	L_2 und L_3	richtig	
4	Gar keine.	PS	
Quelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[7], Bildquelle: Testinstrument Elektrizitätslehre (Nachzeichnung)			

3.4.5 Frage 8

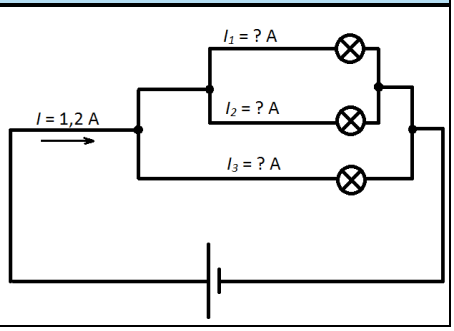
Frage 8 beleuchtet die Aufteilung des elektrischen Stroms bei Abzweigungen. Die Frage kommt im von Urban-Woldron und Hopf 2012 entwickelten Testinstrument vor, aber auch bereits in der von von

[6] LMU-München, Unterrichtsmaterialien (Abgerufen am 20.04.2020) http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

[7] Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012)

Rhöneck (1986, S. 12) geschilderten Untersuchung. Dass der Strom sich bei Abzweigungen nicht korrekt – sondern etwa halb-halb – aufteilt, weil die Ladungsträger nicht wissen, was sie in den Abzweigungen erwartet, ist ein wichtiger Aspekt des *lokalen Denkens*. Speziell dieser Aspekt soll in Frage 8 untersucht werden. Wie in Tabelle 12 ersichtlich, sollen die Stromstärken in parallel geschalteten Lämpchen angegeben werden. Die korrekte Antwort ist, dass durch alle Lämpchen 0,4 Ampere fließen. Die Schaltskizze ist jedoch so aufgebaut, dass man zu einem anderen Ergebnis kommt, wenn man annimmt, dass sich der Strom bei jedem Verzweigungspunkt zu gleichen Teilen aufteilt. In diesem Fall würde die Stromstärke bei den ersten beiden Lämpchen je 0,3 A und beim dritten Lämpchen 0,6 A betragen. Diese Antwort wäre somit dem *lokalen Denken* zuzuordnen. Frage 8 ist die einzige Frage ohne Multiple-Choice-Antworten.

Tabelle 12 – Fragebogen Frage 8

<table>
<tr><td>Frage 8</td><td colspan="2">Bitte betrachte den folgenden Stromkreis und bestimme die Stromstärken I_1, I_2 und I_3.
(Die Lämpchen sind alle gleich.)</td><td>Abbildung</td></tr>
<tr><td colspan="2">Als Antwort sollen Zahlenwerte eingegeben werden (kein Multiple-Choice).</td><td>Schüler-vorstellung</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td>1</td><td>$I_1 = 0{,}4\ A$, $I_2 = 0{,}4\ A$, $I_3 = 0{,}4\ A$</td><td>richtig</td></tr>
<tr><td>2</td><td>$I_1 = 0{,}3\ A$, $I_2 = 0{,}3\ A$, $I_3 = 0{,}6\ A$</td><td>LD</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Weitere falsche Antworten</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="3">Quelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[8],
Bildquelle: Testinstrument Elektrizitätslehre[8] (Nachzeichnung)</td></tr>
</table>

3.4.6 Nicht verwendete Fragen

Es sei erwähnt, dass die Fragen 3 und 4 des Fragebogens (siehe Anhang) nicht in die Auswertung miteinbezogen werden. Frage 3 erwies bei nachträglicher Betrachtung als nicht geeignet, um Schülervorstellungen genau zu identifizieren, weil die Antworten mehrere Schlüsse zuließen. Frage 4 wurde vermutlich missverständlich formuliert, wodurch von einem verfälschten Ergebnis ausgegangen werden muss. Beide Fragen sind Eigenentwürfe, wobei die Abbildung von Frage 3 aus den Unterrichtsmaterialien der LMU-München[9] stammt. Frage 4 besitzt keine Abbildung.

3.4.7 Angaben zur Stichprobe am Fragebogen

Da die Umfrage anonym sein sollte, wurde nicht nach dem Namen gefragt. Sehr wohl gefragt wurde nach Klasse, Alter und Geschlecht der teilnehmenden Schüler*innen. Außerdem war anzukreuzen, wie sehr sich die Schülerin bzw. der Schüler für Physik im Allgemeinen und die Elektrizitätslehre im Speziellen interessiert. Beide Fragen konnten mit „sehr“, „eher“, „mittelmäßig“, „weniger“ und „überhaupt nicht“ beantwortet werden. Die Information, ob der einfache elektrische Stromkreis im Unterricht bereits durchgenommen wurde, wurde von der für die jeweilige Klasse zuständigen Lehrperson eingeholt. Aus rein organisatorischen Gründen wurde außerdem nach dem Datum, dem Schultyp und dem Namen der Schule gefragt.

[8] Testinstrument Elektrizitätslehre von Urban-Woldron und Hopf (2012)
[9] LMU-München, Unterrichtsmaterialien (Abgerufen am 20.04.2020)
http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

4 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNG

Für die Untersuchung wurden einige Lehrer*innen gebeten, ihre Klassen zur Verfügung zu stellen. Außerdem gab der Stadtschulrat Wien sein Einverständnis. Schließlich wurde noch von den Direktoren und den Eltern der Schüler*innen das Einverständnis eingeholt.

4.1 BESCHREIBUNG DER STICHPROBEN

Untersucht werden sollten Schüler*innen der 7. und 8. Schulstufe in Wiener Gymnasien. Welche Klassen für die Schüler*innen-Untersuchung ausgewählt werden konnten, richtete sich nach den Einverständnissen von Lehrer*innen und Direktor*innen. Die dritten Klassen lassen sich unterteilen in Schüler*innen ohne Vorkenntnisse (OV-Klassen) und solche, die gerade das Thema Elektrizitätslehre durchnehmen und zu den gestellten Fragen Vorkenntnisse haben (MV-Klassen). Die Untersuchung wurde an drei Gymnasien durchgeführt: Zwei katholische Privatschulen und ein öffentliches Realgymnasium. Tabelle 13 listet die Anzahl der Befragten in den jeweiligen Schulen nach Geschlecht und nach vorhandenen Vorkenntnissen auf.

Tabelle 13 – Einteilung der Stichprobe nach Geschlecht und Vorkenntnissen in den drei untersuchten Schulen

Schule	Befragte gesamt	w	m	keine Angabe bei Geschlecht	Siebte Schulstufe ohne Vorkenntnisse	Siebte Schulstufe mit Vorkenntnissen	Achte Schulstufe mit Vorkenntnissen
Kath. Privatschule 1	67	31	35	1	46	21	0
Kath. Privatschule 2	104	43	58	3	0	25	79
BRG	72	34	31	7	0	37	35
Gesamt	243	108	124	11	46	83	114

Insgesamt wurde die Untersuchung mit sechs dritten Klassen und sechs vierten Klassen durchgeführt. 243 Schüler*innen haben einen Fragebogen ausgefüllt.

Zwei der befragten dritten Klassen hatten laut Lehrer zum Zeitpunkt der Befragung das in der dritten Klasse vorgesehene Kapitel zur Elektrizitätslehre noch nicht durchgenommen. Diese beiden Klassen werden als OV bezeichnet, der Rest als MV.

4.1.1 Die OV-Klassen (ohne Vorkenntnisse)

Die OV-Klassen sind zwei dritte Klassen mit insgesamt 46 Schüler*innen, die Fragebögen ausgefüllt haben. Davon sind 17 Mädchen und 28 Burschen. Eine Person machte zu ihrem Geschlecht keine Angabe.

Es sei angemerkt, dass statistische Aussagen über OV-Schüler*innen aufgrund der geringen Teilnehmer-Anzahl und der Beschränkung auf zwei Klassen mit Vorsicht betrachtet werden sollten.

4.1.2 Die MV-Klassen (mit Vorkenntnissen)

Die MV-Klassen sind vier 3. Klassen und sechs 4. Klassen. Insgesamt sind es 197 Schüler*innen, die Fragebögen ausgefüllt haben. Davon sind 91 Mädchen und 96 Burschen. 10 Personen haben zu ihrem Geschlecht keine Angabe gemacht.

Betrachtet man unter den MV-Klassen nur die 3. Klassen, so kommt man auf 83 Schüler*innen. Davon sind 46 Mädchen und 32 Burschen. 5 Personen haben zu ihrem Geschlecht keine Angabe gemacht.

Betrachtet man unter den MV-Klassen nur die 4. Klassen, so kommt man auf 114 Schüler*innen. Davon sind 45 Mädchen und 64 Burschen. 5 Personen haben zu ihrem Geschlecht keine Angabe gemacht. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich Ergebnisse in dieser Arbeit auf die MV-Klassen.

4.2 ABLAUF

Die Durchführung erfolgte im Mai 2017 und verlief relativ reibungslos. Den Schüler*innen wurde 15 Minuten Zeit gegeben, der Großteil gab nach spätestens 10 Minuten den Fragebogen ab. Vereinzelt versuchten Schüler*innen, den Test in Partnerarbeit zu lösen. Wurde dies bemerkt, wurden sie gebeten, dies zu unterlassen. Sie schienen diese Anweisung dann stets zu befolgen. Den Schüler*innen wurde keine Hilfestellung gewährt und es wurden ihnen während des Ausfüllens keine Fragen beantwortet. Eine Ausnahme bildeten Fragen, die nichts mit dem geforderten Wissen zu tun hatten (etwa wieviel Zeit ihnen noch zum Ausfüllen blieb). Am Ende der Durchführung waren 243 ausgefüllte Fragebögen vorhanden. Die Auswertung erfolgte im Programm PSPP (eine kostenfreie Alternative zu SPSS) mit Unterstützung von Microsoft Excel 2013.

5 ERGEBNISSE

5.1 INTERESSE AN PHYSIK

Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse zur Frage „Das Unterrichtsfach Physik interessiert mich …“. Die Gruppen sind aufgegliedert in OV (alle Schüler*innen ohne Vorkenntnisse), MV (alle Schüler*innen mit Vorkenntnissen), sowie MV nach Schulstufen und MV nach Geschlecht. Die Zahlen sind Prozentwerte.

Tabelle 14 – Interesse am Unterrichtsfach Physik (in Prozent)

Gruppe	Sehr	Eher	Mittelmäßig	Weniger	Überhaupt nicht
OV	9	41	33	15	2
MV	15	20	36	17	12
MV 3. Kl	13	16	39	13	19
MV 4. Kl	16	24	33	20	7
MV weiblich	9	13	40	25	13
MV männlich	20	29	32	9	9

Viele Schüler*innen geben an, sich „mittelmäßig“ für Physik zu interessieren. Der Mittelwert (1 = sehr, 5 = überhaupt nicht) der Schüler*innen MV liegt bei 2,9. Schüler*innen, die noch nichts über Elektrizitätslehre gehört haben, scheinen sich allerdings stärker für Physik zu begeistern. Bei den Schüler*innen OV liegt der Mittelwert bei 2,6.

Das Interesse an Physik von dritten und vierten Klassen (beide mit Vorkenntnissen) ist ähnlich. Der Mittelwert liegt bei vierten Klassen bei 2,8 und damit sogar etwas besser als der Mittelwert der dritten Klassen, welcher bei 3,1 liegt. Burschen geben eher an, sich für Physik zu interessieren, als Mädchen. Der Mittelwert liegt bei Mädchen bei 3,2. Bei Burschen liegt er bei 2,6. Abbildung 7 zeigt das Interesse an Physik von Burschen und Mädchen MV als Diagramm.

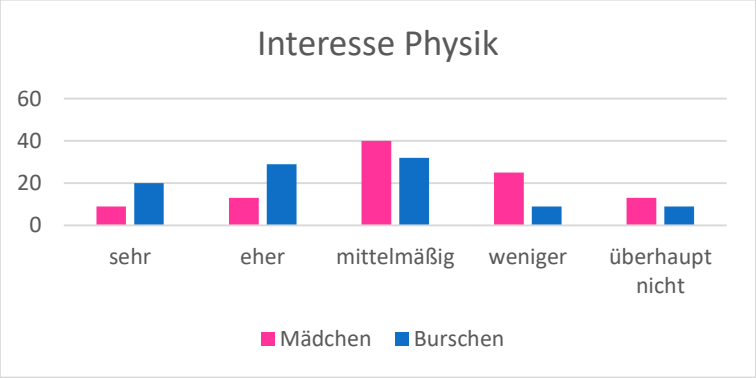


Abbildung 7 – Interesse Physik, mit Vorkenntnissen, in Prozent.

5.2 INTERESSE AN E-LEHRE

Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse zur Frage „Im Vergleich zu anderen Themen aus dem Fach Physik interessiert mich Elektrizität/elektrischer Strom …“. Die Gruppen sind aufgegliedert in OV (alle Schüler*innen ohne Vorkenntnisse), MV (alle Schüler*innen mit Vorkenntnissen), sowie MV nach Schulstufen und MV nach Geschlecht. Nachdem die OV-Klassen noch keinen Unterricht in

Elektrizitätslehre hatten, kann dies nur als Einschätzung der Schüler*innen gewertet werden. Die Zahlen sind Prozentwerte.

Tabelle 15 – Interesse an Elektrizität/elektrischer Strom im Vergleich zu anderen Themen aus dem Fach Physik (in Prozent).

Gruppe	Sehr	Eher	Mittelmäßig	Weniger	Überhaupt nicht
OV	20	35	22	24	0
MV	9	22	37	20	12
MV 3. Kl	8	25	37	19	10
MV 4. Kl	10	20	36	21	13
MV weiblich	3	16	41	24	15
MV männlich	15	28	34	18	5

Der Mittelwert (1 = sehr, 5 = überhaupt nicht) liegt bei 3,0, das Gebiet Elektrizitätslehre interessiert die Schüler*innen im Vergleich zu anderen Gebieten der Physik laut ihrer Angabe also eher mittelmäßig. Sowohl die dritten, als auch die vierten Klassen erreichen ebenfalls einen Mittelwert von 3,0. Das Interesse der Mädchen für Elektrizität/elektrischen Strom liegt mit einem Mittelwert von 3,3 merkbar unter dem der Burschen, welches bei einem Mittelwert von 2,7 liegt. Abbildung 8 zeigt das Interesse von Mädchen und Burschen MV als Diagramm.

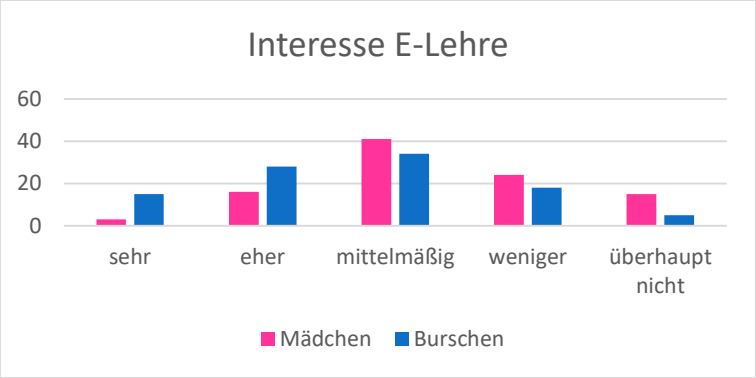


Abbildung 8 – Interesse E-Lehre, mit Vorkenntnissen, in Prozent

5.3 ERGEBNISTABELLE

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse zu den einzelnen Wissensfragen. Sie zeigt, wie viel Prozent bei jeder Frage die richtige Antwort beziehungsweise ausgewählte Antwortkombination gaben, die auf konkrete Schülervorstellungen schließen lassen. Die Datenmenge ist aufgegliedert in OV (alle Schüler*innen ohne Vorkenntnisse), MV (alle Schüler*innen mit Vorkenntnissen) sowie MV nach Schulstufen und MV nach Geschlecht. Die Zahlen sind gerundete Prozentsätze. Fragen zählen in der Übersicht nur als richtig, wenn alle Teile der Fragen richtig beantwortet wurden. Dies betrifft vor allem die mehrstufigen Fragen 2, 7 und 10. Außerdem betrifft es die 5. Frage, bei der zwei Felder anzukreuzen waren. Da einige Schüler*innen Fragen gar nicht oder ungültig beantwortet haben, ergibt die Summe aus richtiger Antwort und Schülervorstellungs-Antworten einer Frage nicht immer 100 %. Bei mehrstufigen Fragen sind außerdem nicht allen Kombinationen aus Frage und Begründung Schülervorstellungen zugewiesen.

Tabelle 16 - Ergebnisse der Fragen in Prozent (gerundet), nach Gruppen

Frage	Gruppe	Richtig	SV	BS	IR	UR	PR	LD	SA	PS	ZZ
1	OV	26	74	-	-	-	-	-	-	-	-
1	MV	26	73	-	-	-	-	-	-	-	-
1	MV 3. Kl	36	62	-	-	-	-	-	-	-	-
1	MV 4. Kl	18	81	-	-	-	-	-	-	-	-
1	MV w	32	67	-	-	-	-	-	-	-	-
1	MV m	22	78	-	-	-	-	-	-	-	-
2	OV	2	15	0	7	17	11	-	-	-	-
2	MV	6	16	8	4	13	17	-	-	-	-
2	MV 3. Kl	4	7	16	5	18	16	-	-	-	-
2	MV 4. Kl	7	22	2	3	10	18	-	-	-	-
2	MV w	3	16	9	4	18	13	-	-	-	-
2	MV m	8	17	6	3	8	22	-	-	-	-
5	OV	2	-	-	-	-	-	33	-	-	50
5	MV	11	-	-	-	-	-	25	-	-	39
5	MV 3. Kl	5	-	-	-	-	-	28	-	-	46
5	MV 4. Kl	15	-	-	-	-	-	24	-	-	33
5	MV w	7	-	-	-	-	-	29	-	-	48
5	MV m	15	-	-	-	-	-	21	-	-	30
6	OV	11	-	-	-	-	-	-	-	85	-
6	MV	9	-	-	-	-	-	-	-	90	-
6	MV 3. Kl	5	-	-	-	-	-	-	-	94	-
6	MV 4. Kl	11	-	-	-	-	-	-	-	87	-
6	MV w	5	-	-	-	-	-	-	-	93	-
6	MV m	10	-	-	-	-	-	-	-	88	-
7	OV	7	-	9	26	-	7	-	9	-	-
7	MV	10	-	11	21	-	5	-	7	-	-
7	MV 3. Kl	11	-	14	20	-	2	-	1	-	-
7	MV 4. Kl	9	-	9	21	-	7	-	11	-	-
7	MV w	9	-	14	25	-	6	-	8	-	-
7	MV m	11	-	7	18	-	4	-	6	-	-
8	OV	2	-	-	-	-	-	7	-	-	-
8	MV	6	-	-	-	-	-	14	-	-	-
8	MV 3. Kl	4	-	-	-	-	-	10	-	-	-
8	MV 4. Kl	8	-	-	-	-	-	17	-	-	-
8	MV w	2	-	-	-	-	-	9	-	-	-
8	MV m	9	-	-	-	-	-	20	-	-	-
9	OV	30	-	-	-	-	-	74	-	-	15
9	MV	46	-	-	-	-	-	41	-	-	11
9	MV 3. Kl	45	-	-	-	-	-	42	-	-	11
9	MV 4. Kl	46	-	-	-	-	-	39	-	-	11
9	MV w	42	-	-	-	-	-	45	-	-	11
9	MV m	50	-	-	-	-	-	39	-	-	8
10	OV	9	2	7	15	7	17	-	17	-	-
10	MV	20	2	2	12	3	9	-	16	-	-
10	MV 3. Kl	18	1	1	18	2	8	-	6	-	-
10	MV 4. Kl	21	3	2	7	3	10	-	24	-	-
10	MV w	22	1	1	13	2	13	-	10	-	-
10	MV m	18	2	2	19	3	6	-	24	-	-

5.4 SCHÜLERVORSTELLUNGEN

Das Kapitel 5.4 behandelt die Forschungsfrage 1: *Welche klassischen Schülervorstellungen im Bereich der Elektrizitätslehre sind in welcher Ausprägung vorhanden?*

5.4.1 Quantitative Ergebnisse zur Häufigkeit des Auftretens von Schülervorstellungen

Hier werden die im Design der Forschungsfrage 1 (Kapitel 3.1) geschilderten Werte *MEA* und *VBR* dargestellt. Eine detailliertere Betrachtung und qualitative Einschätzung der einzelnen Schülervorstellungen folgt im Anschluss.

5.4.1.1 Mindestens einmaliges Auftreten einer Schülervorstellung (MEA)

Tabelle 17 zeigt, wie oft von Schüler*innen mit Vorkenntnissen mindestens einmal eine Antwort gegeben wurde, die auf eine bestimmte Schülervorstellung hinweist. Unter *mindestens* ist zu verstehen, dass Schüler*innen, die in mehreren Fragen Antworten gegeben haben, die derselben Schülervorstellung zugeordnet sind, nicht mehrfach gezählt werden. Die Zahlen sind Prozentwerte. In den Diagrammen (Abbildungen 9 und 10) werden die Werte aus Tabelle 17 grafisch dargestellt.

Tabelle 17 – MEA-Wert, alle MV, in Prozent.

Schülervorstellung	alle MV	Mädchen	Burschen
Strom wird verbraucht	77	74	79
Batterie als konstante Stromquelle	19	23	15
Inverse Widerstandsvorstellung	29	34	26
Strom unabhängig vom Widerstand	15	19	11
Stromverbrauch proportional zum Widerstand	25	26	27
Lokales Denken	57	59	57
Sequentielle Argumentation	19	14	26
Probleme beim Erkennen von Parallelschaltungen	90	93	88
Zweizuführungsvorstellung	45	54	35

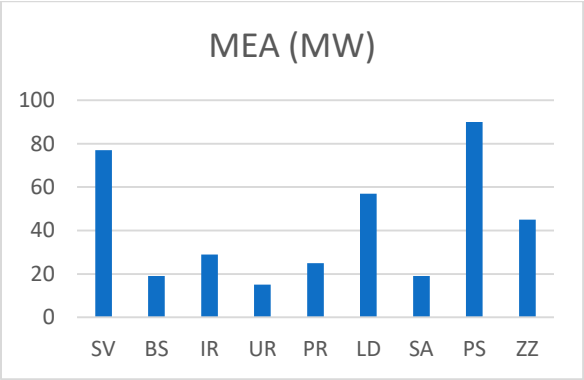


Abbildung 9 – MEA, alle MV, in Prozent

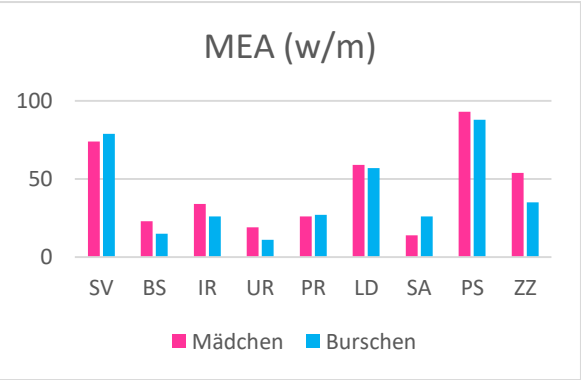


Abbildung 10 – MEA, nach Geschlecht, in Prozent

Im Durchschnitt tritt jede Schülervorstellung bei 42 % aller Schüler*innen mindestens einmal auf. Die Werte der einzelnen Schülervorstellungen können allerdings nicht direkt miteinander verglichen werden, da nicht jede Schülervorstellung gleich häufig überprüft wurde. Während manche Vorstellungen mit einer speziell dafür entwickelten Frage überprüft wurden, kamen andere nur in Fragen mit zahlreichen unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten vor.

5.4.1.2 Abweichung im Vergleich zu blindem Raten (VBR)

Tabelle 13 stellt den in der Forschungsfrage 1 geschilderten VBR-Wert dar. Mit diesem Wert kann die Häufigkeit des Auftretens von Schülervorstellung in ein Verhältnis gesetzt werden. Hierbei wird die prozentuelle Häufigkeit, mit der eine Schülervorstellung bei einer Frage angekreuzt wurde mit dem Wert verglichen, der bei völlig zufälligem Ankreuzen zu erwarten wäre. Wie dieser Wert genau gebildet wird, wird in Kapitel 3.1.2 geschildert. Die Werte aus Tabelle 13 werden in den Diagrammen (Abbildungen 11 und 12) grafisch veranschaulicht. Hinweis: Da Frage 8 keine Multiple-Choice-Frage ist, konnte sie bei der Berechnung des VBR-Werts nicht miteinbezogen werden. Dies hat zur Folge, dass Mädchen einen merklich höheren VBR-Wert beim lokalen Denken haben als Burschen, obwohl der MEA-Wert bei beiden etwa gleich groß ist.

Tabelle 13 – VBR-Wert, Prozentpunkte

Schülervorstellung	alle MV	Mädchen	Burschen
Strom wird verbraucht	-4	-7	-2
Batterie als konstante Stromquelle	-20	-19	-22
Inverse Widerstandsvorstellung	-15	-13	-14
Strom unabhängig vom Widerstand	-1	1	-4
Stromverbrauch proportional zum Widerstand	2	2	2
Lokales Denken	-9	-5	-12
Sequentielle Argumentation	-3	-5	1
Probleme beim Erkennen von Parallelschaltungen	15	18	13
Zweizuführungsvorstellung	-4	0	-10

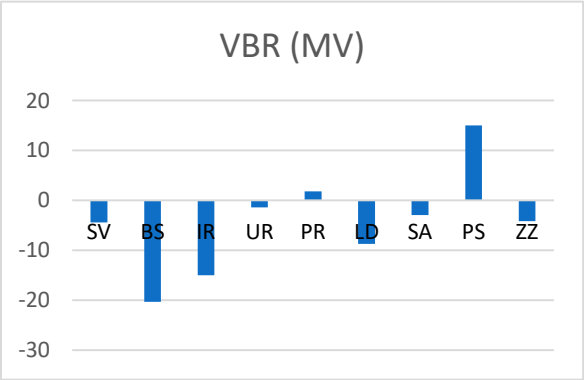


Abbildung 11 – VBR, alle MV, Prozentpunkte

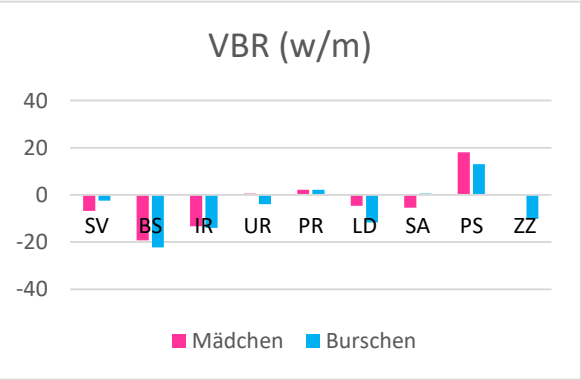


Abbildung 12 – VBR, MV nach Geschlecht, Prozentpunkte

Im Durchschnitt liegt die gemittelte Abweichung vom Wert, der bei blindem Raten zu erwarten wäre, bei -4,4 Prozentpunkten. Dieser negative Wert darf keinesfalls als Zeichen gewertet werden, dass Schülervorstellungen nicht stark verbreitet sind. Es gilt auch zu bedenken, dass unter blindem Raten verstanden wird, dass bei mehrstufigen Antworten nur sinnvolle Antwortkombinationen gewählt werden, was nicht alle Schüler*innen taten. Den mit Abstand größten VBR-Wert weist die PS-Vorstellung auf. Sie wurde nur in Frage 6 überprüft, in welcher drei von vier Antwortmöglichkeiten auf *Probleme beim Erkennen von Parallelschaltungen* hinweisen. Bei blindem Raten würde demnach eine PS-Antwort zu 75 % gewählt werden. Tatsächlich wählten aber 90 % der Schüler*innen MV eine PS-Antwort, was 15 Prozentpunkte darüber liegt.

5.4.2 Strom wird verbraucht

77 % aller SchülerInnen mit Vorkenntnissen gaben zumindest einmal an, dass Strom verbraucht oder in Energie umgewandelt wird. Dieser Wert übersteigt deutlich den Wert der von Müller et al. (2015) durchgeführten Untersuchung in Hessen und Weißrussland. Müller et al. zufolge trat die Stromverbrauchsvorstellung bei 40 % der Schüler*innen in Hessen mindestens einmal auf, bei Schüler*innen in Weißrussland hingegen nur bei etwas über 10 %. Betrachtet man den VBR-Wert (die Abweichung vom Wert, der bei blindem Raten zu erwarten wäre), so liegt die SV-Vorstellung mit -4 Prozentpunkten unter den Schülervorstellungen ziemlich im Mittelfeld. Insgesamt muss aber davon ausgegangen werden, dass die SV-Vorstellung eher stärker vertreten ist. Alleine bei Frage 1, die extra für diese Vorstellung konzipiert wurde, kreuzten 73 % an, dass Strom am Lämpchen ganz oder teilweise in Licht und Wärme umgewandelt wird, wohingegen nur 26 % angaben, dass genauso viel Strom vom Lämpchen weg wie hinfließt.

Die SV-Vorstellung gehört mit der sequentiellen Argumentation zu den wenigen Vorstellungen, die bei Buben stärker vertreten ist als bei Mädchen. Bei allen Fragen, bei denen die Vorstellung überprüft wurde, zeigt sich auch, dass sie bei den Viertklässlern stärker vertreten ist als bei den Drittklässlern. Ein Grund dafür könnte sein, dass dieser zentrale Punkt vom Wesen des Stroms im Unterricht schon länger zurückliegt. Die Schüler*innen, die im Gymnasium noch nichts über Elektrizitätslehre erfahren haben, wählten praktisch gleich oft Antworten, die auf eine Stromverbrauchsvorstellung schließen lassen wie jene mit Vorkenntnissen. Allerdings beantworteten sie die Fragen 2 und 10 deutlich seltener richtig und wählten stattdessen andere falsche Begründungen.

Die Vorstellung, das weniger Strom vom Lämpchen wegfließt als hinfließt, ist sehr hinderlich beim Verstehen von Stromkreisen. Eine mögliche Lösung könnte im Einsatz von geeigneten Modellen für den elektrischen Strom liegen. Hierzu zählen das Fahrradkettenmodell oder das Modell eines steifen Rings (Härtel, 2012). Wie von Schwedes und Schilling (2011) erläutert, kann das Modell eines Wasserkreislaufs ebenfalls nützlich sein, allerdings sollte sichergestellt werden, dass die Schüler*innen den Wasserstromkreis an sich verstehen. Der Vorteil an diesen Modellen liegt darin, dass die sich bewegende Substanz (Kette, Reif, Wasser) offensichtlich nicht verbraucht wird. Gerade bei einem Ring (z.B. Hula-Hoop-Reifen) ist klar, dass er sich an allen Stellen gleich schnell dreht (Härtel, 2012).

Eine weitere Möglichkeit, Schülervorstellungen entgegenzuwirken, sind die Computersimulationen von PhET. Die Webseite bietet neben etlichen anderen Applikationen kostenlos die Möglichkeit, Stromkreise online zu erstellen. Der Stromfluss wird dabei durch wandernde Punkte symbolisiert. Hier kann deutlich beobachtet werden, dass die Stromstärke im gesamten Stromkreis gleich groß ist, und nicht etwa „hinter“ dem Lämpchen schwächer wird. Der Link zur Simulation „Stromkreise schalten: Gleichstrom“ von PhET (2020) lautet:
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_de.html

5.4.3 Batterie als konstante Stromquelle

Insgesamt wählten 19 % der Schüler*innen mit Vorkenntnissen mindestens einmal eine Antwort, die auf die BS-Vorstellung schließen lässt (23 % bei den Mädchen, 15 % bei den Burschen). In Hessen gaben leicht über 40 % mindestens eine Antwort mit BS-Vorstellung, in Weißrussland leicht unter 20 % (Müller et al., 2015). Wien liegt dieser Untersuchung nach damit sehr in der Nähe von Weißrussland. Interessanterweise wählten auch nur 4 der 38 betroffenen Schüler*innen in den drei Fragen, in denen die BS-Vorstellung überprüft wurde, *mehr* als einmal diese Antwortkombination, und niemand in allen drei Fragen. Die BS-Vorstellung scheint nicht besonders stark vertreten zu sein, was auch der VBR-Wert

mit -20 Prozentpunkten verdeutlicht. Sie nimmt von der siebten zur achten Schulstufe auch noch einmal deutlich ab. Aber auch bei den Schüler*innen ohne Vorkenntnissen ist sie nicht stark vertreten. Bei den Mädchen kommt sie allerdings etwas häufiger vor als bei den Burschen.

Auch wenn die BS-Vorstellung nur bei einem kleineren Teil der Schüler*innen vorhanden ist, sollte sie dennoch nicht gänzlich ignoriert werden. In der Gleichstrom-Applikation von PhET kann gezeigt werden, dass die Stromstärke sich im Stromkreis verändert, wenn der Widerstand verändert wird, selbst wenn die Spannungsquelle gleich bleibt. Natürlich lässt sich das auch mit einem realen Stromkreis und einem Amperemeter bewerkstelligen. Es empfiehlt sich, darauf zu achten, dass das Ergebnis von den Schüler*innen nicht missinterpretiert wird. Schüler*innen mit der Stromverbrauchsvorstellung könnten fälschlich annehmen, die Batterie liefere zwar trotz zusätzlichem Widerstand gleich viel Strom, es wird nur eben jetzt mehr verbraucht.

5.4.4 Inverse Widerstandsvorstellung

Hier haben 29 % der Schüler*innen mindestens in einem Fall diese Begründung gewählt. Bei den Mädchen waren es 34 %, bei den Burschen 26 %. Die Ergebnisse unterscheiden sich merkbar von jenen der Studie von Müller et al. (2015), bei der in Hessen nur etwa 11 % und in Weißrussland unter 10 % mindestens einmal eine Antwort gaben, die auf die IR-Vorstellung schließen lässt. Der VBR-Wert liegt allerdings bei -15 Prozentpunkten. Gesamt gesehen scheint die IR-Vorstellung im Vergleich zu anderen Vorstellungen weniger stark vertreten zu sein, jedoch häufiger als die BS-Vorstellung. Am deutlichsten zeigt sie sich bei Mädchen und bei Drittklässlern. Geringer vertreten ist sie wiederum bei den Schüler*innen ohne vorangegangenem Physikunterricht.

Für Lehrpersonen mag die Vorstellung, dass mehr Strom fließt, wenn der Widerstand vergrößert wird, absurd klingen. Aus Schülersicht ist es jedoch verständlich. Schaltet man im Haushalt mehrere Elektrogeräte ein, wird auch mehr Strom benötigt, und offenbar wird immer die richtige Menge an Strom zur Verfügung gestellt. Dass Haushaltsgeräte parallel zueinander geschaltet werden, und was daraus folgt, ist vermutlich vielen Schüler*innen unklar. Eine Möglichkeit, die IR-Vorstellung aufzubrechen, ist zu zeigen, dass zwei in Reihe geschaltete Lämpchen schwächer leuchten als ein einzelnes. Mit Amperemetern kann noch die Verringerung der Stromstärke im (gesamten) Stromkreis gezeigt werden. Sehr ähnlich lässt sich das auch mit der Computersimulation PhET zeigen. Zusätzlich könnte mit den Schüler*innen diskutiert werden, wie es denn nun möglich ist, dass Elektrogeräte scheinbar immer die passende Stromstärke erhalten.

5.4.5 Stromstärke unabhängig vom Widerstand

Insgesamt 15 % der Schüler*innen wählten bei mindestens einer Frage eine Antwortkombination, die auf die UR-Vorstellung hindeutet. Bei den Mädchen MV war die Vorstellung wesentlich deutlicher vertreten (19 %) als bei den Burschen (11 %). Auch tritt sie bei Schüler*innen der siebten Schulstufe sowohl mit als auch ohne Vorkenntnissen etwas häufiger auf als bei jenen der achten Schulstufe. Der VBR-Wert der UR-Vorstellung liegt bei -1 Prozentpunkten und damit über dem Durchschnitt.

Die UR-Vorstellung wurde in den Fragen 2 und 10 überprüft. Bei Frage 10 wählten nur 3 % der Schüler*Innen MV die dementsprechende Antwortkombination wählten, bei Frage 2 taten dies jedoch immerhin 13 %, was im Vergleich zu blindem Raten ein hoher Wert ist. Zwischen den UR-Antwortkombinationen der beiden Fragen gab es einen wichtigen Unterschied: Bei Frage 10 konnte sinngemäß angegeben werden, dass eine Erhöhung des Widerstands die Stromstärke und damit die Helligkeit der Lampen nicht verändert. Bei der viel häufiger gewählten UR-Antwortkombination von

Frage 2 hingegen, dass die Stromstärke bei Hinzuschalten einer weiteren Lampe gleich bleibt, aber sich der Strom nun auf beide Lampen aufteilt. Diese UR-Schülervorstellung mit Aufteilung des Stroms ist in sich nicht unstimmig. Ein Gedanke könnte sein: *Lämpchen brauchen nun einmal Strom, und wenn ein zweites Lämpchen hinzugeschaltet wird, ist nun für jedes nur noch die halbe Menge da*. Die Schüler*innen können dann auch korrekt schlussfolgern, dass beide Lämpchen schwächer leuchten. Gerade das kann aus Sicht der Lehrperson schwierig machen, die UR-Vorstellung überhaupt zu bemerkten. Hinzu kommt, dass sich Stromstärke tatsächlich aufteilen kann, nämlich in Parallelschaltungen, während sich bei Reihenschaltung die Spannung auf die Widerstände aufteilt. Wie Letzteres geschieht, ist für viele Schüler*innen aber ebenfalls nicht leicht verständlich (Müller, 2012). Zumindest kann mit einem Amperemeter gezeigt werden, dass beim Hinzuschalten eines Lämpchens die Stromstärke überall im Stromkreis abnimmt und somit nicht unabhängig vom Widerstand ist.

5.4.6 Stromverbrauch proportional zum Widerstand

25 % aller Schüler*innen MV haben mindestens einmal eine Antwortkombination gegeben, die auf die PR-Vorstellung schließen lässt. Dabei gab es praktisch keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern. Die Studie von Müller et al., 2015, ergab, dass in Hessen über 60 % mindestens eine Antwort mit PR-Vorstellung nannten, während es in Weißrussland etwa 25 % waren. Damit liegt der hier gemessene Wert sehr nahe an jenem von Weißrussland. Der VBR-Wert liegt bei +2 Prozentpunkten, was ein vergleichsweise hohes Ergebnis ist. Die PR-Vorstellung gehört damit zu den häufiger vertretenen Schülervorstellungen. Genau wie die thematisch ähnliche Stromverbrauchsvorstellung scheint sie bei Schüler*innen in der vierten Klasse anzusteigen.

Bei der PR-Vorstellung antizipieren Schüler*innen korrekt, dass die Stromstärke bei Erhöhung des Widerstands geringer wird, allerdings aus den falschen Gründen heraus. Daher kann leicht übersehen werden, dass Schüler*innen diese Vorstellung haben, und es zeigt die Notwendigkeit, Antworten begründen zu lassen. Es wäre wohl wünschenswert, wenn sie erfahren, dass es nicht der Strom ist, der an den Widerständen verbraucht wird, sondern elektrische Energie, die in andere Energieformen umgewandelt wird. Auch hier können die bereits erwähnten Modelle wie Fahrradkette, steifer Ring (Härtel, 2012) oder Wasserstromkreis (Schwedes und Schilling, 2011) nützlich sein.

5.4.7 Lokales Denken

Antworten, die auf *lokales Denken* hindeuten, wurden von 57 % aller Schüler*innen MV mindestens einmal gegeben. Der VBR-Wert liegt jedoch nur bei -9 % Prozentpunkten, wobei hier die Frage 8 aufgrund der freien Antwortmöglichkeit nicht miteinbezogen werden konnte. Dort gaben 14 % aller MV Werte an, die auf *lokales Denken* schließen lassen, während nur 6 % die Frage korrekt beantworteten. Obwohl ein beträchtlicher Teil der Schüler*innen verstanden hat, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt, scheint ein ebenfalls erheblicher Teil zu vermuten, dass die Ladungsträger zumindest noch solange weiterfließen, bis sie auf ein Hindernis treffen. Unter *lokalem Denken* wird hier vor allem folgende vage Idee verstanden: Aus der Batterie kommen die Ladungsträger (oder wie immer die Schüler*innen diese bezeichnen mögen). Unabhängig voneinander flitzen sie durch den Stromkreis. Ein elektrischer Leiter ist ein solcher, weil sich die Ladungsträger hier hindurchbewegen können. Auf dem Weg durch den Stromkreis stoßen den Ladungsträgern dann „Erlebnisse“ zu (Urban-Woldron und Hopf, 2012). Diese Vorstellung stellt ein großes Hindernis beim weiteren Verständnis der Elektrizitätslehre dar, weshalb ihr viel Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte. Zumindest zeigt sich, dass die LD-Vorstellung durch den Unterricht doch etwas zurückgeht. Mit dem bereits erwähnten Fahrradkettenmodell (Härtel, 2012) kann verdeutlicht werden, dass die einzelnen Glieder (Ladungsträger) zusammenhängen. Man kann auch die Frage stellen, warum Metalle

eigentlich elektrische Leiter sind. Die einfache Erklärung lautet: Metalle besitzen freibewegliche Elektronen. Es müssen also im gesamten Stromkreis freibewegliche Ladungsträger vorhanden sein, damit Strom fließen kann. In der Gleichstromkreis-Simulation auf PhET sieht man, dass alle Elektronen gleichzeitig zu fließen beginnen, allerdings sieht man leider nicht, dass sie miteinander in Verbindung stehen. Gut kann in der PhET-Simulation gezeigt werden, dass sich der Strom bei Abzweigungen nicht zufällig und auch nicht unbedingt halb-halb aufteilt, sondern der Widerstand in den Abzweigungen ausschlaggebend ist.

5.4.8 Sequentielle Argumentation

Die *sequentielle Argumentation*, welche in nur zwei Fragen überprüft wurde, trat bei 19 % der Schüler*innen MV mindestens einmal auf, bei Buben allerdings häufiger als bei Mädchen. Die Studie von Müller et al. (2015) lieferte hier deutlich höhere Werte. Ihr zufolge kommt die SA-Vorstellung in Hessen bei 60 % und in Weißrussland bei über 30 % der Schüler*innen mindestens einmal vor. Der VBR-Wert liegt bei -3 Prozentpunkten, und damit leicht über dem Durchschnitt. Interessant ist, dass das *sequentielle Argumentieren* bei den Schüler*innen MV von der siebten zur achten Schulstufe deutlich ansteigt. Von jenen der 7. Schulstufe kreuzten nur 7 % mindestens einmal eine SA-Antwortkombination an, von jenen der 8. Schulstufe hingegen 28 %. Selbst, wenn die Schüler*innen unmittelbar nach dem betreffenden Unterricht also eher selten sequentiell argumentieren, scheint die SA-Vorstellung nach einiger Zeit zurückzukehren. Es reicht daher vermutlich nicht, wenn nur auswendig gelernt wird, dass ein Widerstand die Stromstärke im gesamten Stromkreis verändert. Diese Tatsache muss für die Schüler*innen auch nach Möglichkeit logisch nachvollziehbar sein. Mit einem Stromkreis, Lämpchen und Amperemetern lässt sich demonstrieren, dass sich Änderungen „weiter hinten“ im Stromkreis sehr wohl auf den gesamten Stromkreis auswirken. Nun könnte man den Schüler*innen die Frage stellen, wie das möglich sei. Auch die Gleichstrom-Simulation von PhET ist dafür geeignet. Wie bei der ähnlichen LD-Schülervorstellung gilt es zu verdeutlichen, dass sich die Ladungsträger nicht unabhängig voneinander durch den Stromkreis bewegen, sondern sich (über ihr elektrisches Feld) gegenseitig beeinflussen.

5.4.9 Erfassen von Parallelschaltungen

Diese Schülervorstellung wurde in nur einer Frage überprüft und 90 % zeigten mit ihrer Antwort, dass sie geometrisch nicht parallel eingezeichnete Parallelschaltungen nicht richtig erkennen konnten. Mädchen kreuzten mit 5 % die richtige Lösung noch seltener an als Burschen mit 10 %. Es lässt sich wohl sagen, dass das Erkennen von Parallelschaltungen für Schüler*innen eine große Herausforderung darstellt. Die Untersuchung von Müller et al. (2015) kam zu einem ähnlichen Ergebnis. Laut dieser ist die Schülervorstellung in Hessen bei etwas unter 90 % der Schüler*innen vorhanden, in Weißrussland bei knapp 70 %.

Davon abgesehen, dass klargestellt werden sollte, dass „parallel zueinander“ hier nicht im geometrischen Sinn zu verstehen ist, bedarf es zur Unterscheidung von Reihen- und Parallelschaltung wohl einiges an Übungsbedarf. Schüler*innen könnten sowohl aufgefordert werden, Schaltungen richtig zuzuordnen, als auch selbst welche zu erstellen. Dies kann mit einem realen Stromkreis, mittels einer Schaltskizze oder auch mit der Gleichstrom-Simulation von PhET geschehen. Es mag auch eine sinnvolle Übung sein, Schaltskizzen zu zunächst real erstellten Stromkreisen, bei denen eine Parallelschaltung vorkommt, zeichnen zu lassen.

5.4.10 Zweizuführungsvorstellung

45 % der Schüler*innen MV gaben bei mindestens einer der beiden Fragen eine Antwort, die auf die Zweizuführungsvorstellung schließen lässt. Bei den Mädchen waren es sogar 54 %, bei den Burschen hingegen 35 %. Der VBR-Wert liegt bei -4 Prozentpunkten und damit ziemlich im Durchschnitt. Die ZZ-Vorstellung tritt häufiger bei den Schüler*innen ohne Vorkenntnissen auf und nimmt bei den Schüler*innen mit Vorkenntnissen von der 7. zur 8. Schulstufe etwas ab.

Die Vorstellung, dass Strom aus beiden Leitern zum Lämpchen fließt und dass zwei Leiter nur notwendig sind, weil ein Leiter alleine zu wenig Strom liefert, kann wohl als ein fundamentales Problem beim weiteren Verstehen des elektrischen Stromkreises angesehen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die ZZ-Vorstellung von Lehrkräften nicht allzu bald als überwunden angesehen werden sollte. Dass Elektrogeräte mit nur einem Kabel mit der Steckdose verbunden werden, scheint die Vorstellung zu verstärken, denn für Schüler*innen ist hier nicht ersichtlich, dass es sich sehr wohl um einen geschlossenen Stromkreis handelt (Stork und Wiesner, 2011). Zeigt man den Schüler*innen ein aufgeschnittenes Kabel, können sie erkennen, dass sich darin mehrere Leiter befinden. Dass kein Strom in einem nicht geschlossenen Stromkreis fließt, kann natürlich auch mit einem Amperemeter gemessen werden. Auch in der Gleichstrom-Simulation von PhET ist dies ersichtlich. Hier lässt sich auch beobachten, dass sich die Ladungsträger im Stromkreis auch tatsächlich im Kreis bewegen. Auch die bereits erwähnten Modelle der Fahrradkette, des steifen Ringes (Härtel 2012) oder des Wasserstromkreises (Schwedes und Schilling, 2011) können helfen, die Kreisbewegung zu verdeutlichen.

5.5 KORRELATIONEN ZWISCHEN SCHÜLERVORSTELLUNGEN

Das Kapitel 5.5 behandelt die Forschungsfrage 2: *Welche Korrelationen gibt es zwischen den einzelnen Schülervorstellungen?*

In diesem Kapitel wird untersucht, ob bestimmte Schülervorstellungen eher häufiger oder eher seltener gemeinsam auftreten. Dazu muss zunächst ergründet werden, bei welchen Vorstellungen dies sinnvoll und von Interesse ist. So kann beispielsweise angenommen werden, dass die Vorstellung *Batterie als konstante Stromquelle* eine positive Korrelation mit der Vorstellung *Stromstärke ist unabhängig vom Widerstand* aufweist. Die PS-Vorstellung (*Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen*) hat hingegen thematisch nichts damit zu tun.

Um quantitative Aussagen über die Korrelation zwischen zwei Vorstellungen treffen zu können, wird der Vierfelder-Korrelationskoeffizient ermittelt. Ein positiver Korrelationskoeffizient weist auf eine positive Korrelation hin, wobei die Korrelation umso stärker ist, je größer der Korrelationskoeffizient ist. Dasselbe gilt für negative Korrelation bei einem negativen Korrelationskoeffizienten. Tabelle 14 zeigt den Korrelationskoeffizienten für Schülervorstellungs-Kombinationen, bei denen eine Überprüfung sinnvoll erscheint. Es sei gesagt, dass drei Kombinationen nicht überprüfbar waren, weil die beiden jeweiligen Schülervorstellungen nur in den gleichen Fragen getestet worden sind. In Abbildung 13 wird der Korrelationskoeffizient grafisch dargestellt. Eine Erläuterung, wie die Korrelationen ermittelt wurden, folgt im Anschluss.

Tabelle 14 - Korrelationskoeffizient für Schülervorstellungs-Kombinationen

Kombinationen	alle MV	Mädchen	Burschen
SV & BS	-0,14	-0,28	0,05
SV & IR	-0,08	-0,02	-0,08
SV & PR	0,09	0,19	-0,02
SV & SA	0,07	0,03	0,14
SV & ZZ	-0,09	-0,12	0,01
BS & UR	0,19	0,20	0,06
BS & SA	-0,03	0,06	-0,06
IR & PR	0,00	-0,08	0,08
UR & LD	0,03	0,00	0,02
UR & ZZ	-0,05	-0,07	-0,15
PR & SA	-0,12	-0,13	-0,18
LD & SA	0,04	0,22	-0,03
LD & PS	0,10	0,01	0,13
SA & ZZ	-0,16	-0,03	-0,22

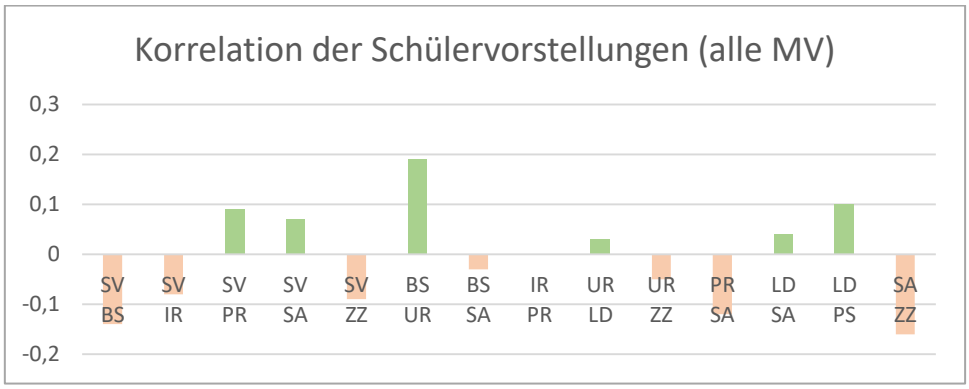


Abbildung 13 – Korrelationskoeffizient für Schülervorstellungs-Kombinationen

5.5.1 Berechnung des Vierfelder-Korrelationskoeffizienten:

Prinzipiell wurde versucht, möglichst aussagekräftige Fragen für die Berechnung der Korrelationen heranzuziehen.[10] Die Ermittlung des Vierfelder-Korrelationskoeffizienten soll am Beispiel SV & BS verdeutlicht werden. Die vier Zahlenfelder in Tabelle 20 zeigen die Anzahl der Schüler*innen, die je nach Feld beide Vorstellungen zeigen (Feld a), nur jeweils eine der beiden Vorstellungen zeigen (Felder b und c), oder keine der Vorstellungen zeigen (Feld d).

Tabelle 20 - Vierfelder-Korrelation

	BS: ja	**BS: nein**
SV: ja	13 (a)	131 (b)
SV: nein	10 (c)	43 (d)

Der Vierfelder-Koeffizient wird dann mit folgender Formel ermittelt:

[10] Die Nummer neben der Schülervorstellung steht für die Frage, die bei der Überprüfung der jeweiligen Korrelation herangezogen wurde: SV-1 & BS-7, SV-1 & IR-7, SV-1 & PR-7, SV-1 & SA-7, SV-1 & ZZ-5, BS-7 & UR-2, BS-7 & SA-10, IR-7 & PR-2, UR-2 & LD-5, UR-2 & ZZ-5, PR-2 & SA-10, LD-5 & SA-10, LD-5 & PS-6, SA-10 & ZZ-5

$$\widehat{r_\phi} = \frac{a * d - b * c}{\sqrt{(a+b) * (c+d) * (a+c) * (b+d)}} = -0{,}14$$

Quelle Vierfelder-Korrelation: Academic (2020)

5.5.2 Ergebnisinterpretation der Schülervorstellungs-Korrelationen

Die folgende Ergebnisinterpretation enthält Überlegungen zu den Gedanken der Schüler*innen. Diese sind natürlich spekulativ. Die Vorstellungen *Strom wird verbraucht* und *Batterie als konstante Stromquelle* zeigen bei den Mädchen eine negative Korrelation. Möglicherweise glauben Schüler*innen mit der BS-Vorstellung etwas seltener, dass Strom verbraucht wird, weil der Stromkreis gar nicht wirklich Einfluss auf den Strom habe. Es zeigt sich nämlich auch, dass viele dieser Schüler*innen bei Teil A in Frage 7 angaben, dass beide Amperemeter trotz Vergrößerung eines Widerstands immer noch dasselbe anzeigen würden.

Bei *Strom wird verbraucht* und der *inversen Widerstandsvorstellung* zeigt sich eine leicht negative Korrelation. Dies erscheint nachvollziehbar, denn wenn man meint, dass Strom verbraucht wird, wird man wohl eher annehmen, dass die Stromstärke geringer wird und nicht höher. Wenig überraschend dürfte wohl auch die positive Korrelation zwischen *Strom wird verbraucht* und *Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand* sein, da die erste Vorstellung ja gewissermaßen Voraussetzung für die zweite ist.

Eine leicht positive Korrelation zeigt sich auch zwischen *Strom wird verbraucht* und der *sequentiellen Argumentation*. Hier mag der Gedanke sein, dass ein Widerstand keine Auswirkungen auf das hat, was im Stromkreis zuvor geschieht, weil ja dort dann erst der Strom verbraucht wird. Überraschend jedoch scheint die negative Korrelation zwischen *Strom wird verbraucht* und der *Zweizuführungsvorstellung*. Wenn man der Meinung ist, dass der Strom über beide Leiter dem Lämpchen zugeführt wird, wäre es eigentlich naheliegend zu vermuten, dass der Strom dann auch vom Lämpchen verbraucht wird. Bei den Vorstellungen *Strom unabhängig vom Widerstand* und *Batterie als konstante Stromquelle* zeigt sich wiederum eine deutlich positive Korrelation. Hier wird offenbar einzig und alleine die Batterie als ausschlaggebend für die Stromstärke im Stromkreis angesehen.

Interessant ist die negative Korrelation zwischen *Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand* und der *sequentiellen Argumentation*. Möglicherweise gelingt es einigen Schüler*innen mit der PR-Vorstellung doch, den Stromkreis als Ganzes zu betrachten, sodass die Widerstände im Stromkreis voneinander wissen, wenn sie den Strom untereinander aufteilen.

Obwohl generell sehr viele Schüler*innen Probleme beim Erkennen von Parallelschaltungen haben, scheint dies bei jenen mit *lokalem Denken* noch häufiger der Fall zu sein. Vielleicht muss man hier annehmen, dass das Konzept von Verzweigungen im Stromkreis grundsätzlich nicht gut verstanden wurde. Eine deutlich negative Korrelation zeigt sich wiederum zwischen *sequentieller Argumentation* und der *Zweizuführungsvorstellung*. Dies lässt sich vermutlich folgendermaßen erklären: Jemand mit der SA-Vorstellung gibt dem Stromkreis eine Richtung. Dinge im Stromkreis, die weiter vorne liegen, wissen dieser Vorstellung nach nicht, was weiter hinten im Stromkreis geschieht. Für jemanden mit der ZZ-Vorstellung aber gibt es nicht vorne und hinten sondern höchstens außen und innen, weil der Strom ja von beiden Seiten kommt.

5.6 VERSTÄNDNIS DER KERNPUNKTE

Das Kapitel 5.6 behandelt die Forschungsfrage 3: *Welche Unterschiede gibt es beim Verständnis des elektrischen Stromkreises hinsichtlich Vorwissen, Geschlecht, Jahrgang und Interesse der Schüler*innen?*

In Kapitel 3 wurden einige Kernpunkte formuliert, die für ein Verständnis bezüglich des einfachen elektrischen Stromkreises von großer Bedeutung sind:

1. Ein Verständnis dafür, dass elektrischer Strom nicht verbraucht wird bzw. dass elektrischer Strom nicht mit elektrischer Energie gleichzusetzen ist.
2. Dass die Stromstärke kleiner wird, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird.
3. Dass nur in einem geschlossenen Stromkreis elektrischer Strom fließt.
4. Dass eine Veränderung an einer Stelle Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis hat.
5. Parallel zueinander geschaltete Objekte können anhand einer Schaltskizze als solche identifiziert werden.

Nun soll anhand der Ergebnisse aus dem Fragebogen ermittelt werden, wie gut Schüler*innen diese Kernpunkte verstehen. Tabelle 21 zeigt, welche Fragenbogen-Fragen dazu jeweils geeignet sind.

Tabelle 21 - Zuordnung der Fragebogen-Fragen zu den Forschungsfragen

Kernpunkt-Nr.	Fragenbogen-Fragen
1	1
2	2A, 7A+B, 10A
3	5, 9
4	7A+B ,10A
5	6

Die Tabellen 22-24 bieten eine Übersicht darüber, von wie viel Prozent der Schüler*innen angenommen werden kann, dass sie die Kernpunkte verstehen. Für Kernpunkte, die in mehreren Forschungsfragen überprüft wurden, sind die Prozentwerte als Durchschnittswerte zu verstehen. Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse aufgeschlüsselt nach Vorkenntnissen, Klasse und Geschlecht, Tabelle 23 nach Interesse für Physik und Tabelle 24 nach Interesse für Elektrizitätslehre. In der jeweils letzten Spalte der Tabellen wird der Durchschnittswert aller fünf Kernpunkte angegeben. Dieser Wert wird speziell für den Vergleich des Wissens der einzelnen Gruppen herangezogen, und als „DKV“ (durchschnittliches Kernpunkt-Verständnis) abgekürzt. Im Anschluss folgt eine Interpretation zu diesen Ergebnissen.

Tabelle 22 – Kernpunktverständnis in Prozent nach Vorkenntnissen, Klasse und Geschlecht

Kernpunkt-Nr.	Alle OV	Alle MV	3. Klasse MV	4. Klasse MV	Mädchen MV	Burschen MV
1	26	26	36	18	32	22
2	55	59	50	66	55	64
3	22	40	34	44	32	50
4	41	41	43	39	43	39
5	11	9	5	11	6	10
DKV	31	35	34	36	34	37

Tabelle 23 – Kernpunktverständnis in Prozent nach Interesse für Physik (MV)

Kernpunkt-Nr.	sehr	eher	mittelm.	weniger	ü. nicht
1	31	20	29	27	21
2	57	63	59	63	51
3	45	44	45	35	21
4	41	45	38	37	46
5	21	10	6	9	0
DKV	39	36	35	34	28

Tabelle 24 – Kernpunktverständnis in Prozent nach Interesse für Elektrizitätslehre (MV)

Kernpunkt-Nr.	sehr	eher	mittelm.	weniger	ü. nicht
1	28	39	19	25	22
2	69	54	65	57	48
3	58	45	43	33	20
4	22	43	42	41	43
5	22	5	8	13	0
DKV	40	37	35	34	27

5.6.1.1 Kernpunkt 1

Ein Verständnis dafür, dass elektrischer Strom nicht verbraucht wird bzw. dass elektrischer Strom nicht mit elektrischer Energie gleichzusetzen ist.

Kernpunkt 1 gilt als verstanden, wenn Frage 1 richtig beantwortet wurde. Es musste also angekreuzt werden, dass nach dem Lämpchen genauso viel Strom fließt wie davor, und nicht etwa, dass elektrischer Strom in Licht und Wärme umgewandelt wird. Dies gelang 26 % der Schüler*innen mit Vorkenntnissen. Schüler*innen der 4. Klasse konnten die Frage wesentlich seltener richtig beantworten, als jene der 3. Klasse. Für Lehrpersonen scheint es daher empfehlenswert, diesen wichtigen Punkt nicht nur am Beginn des Unterrichts zu besprechen. Auch schnitten Burschen hier schlechter ab als Mädchen. Kein Unterschied zeigte sich allerdings zwischen Schüler*innen mit und ohne Vorkenntnissen. Dass viele Schüler*innen Probleme mit der Bedeutung von elektrischem Strom haben, zeigte bereits von Rhöneck (1986, S. 10) auf, der auch argumentierte, dass Strom oft mit der elektrischen Energie verwechselt wird. Dies scheint die Frage 1 des Fragebogens zu bestätigen. Eine Ursache dafür sieht Farwig et al. (1992) in der Alltagssprache, in welcher Strom und Energie oft synonym verwendet werden.

5.6.1.2 Kernpunkt 2

Dass die Stromstärke kleiner wird, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird.

Die Frage, ob die Stromstärke abnimmt, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird, wurde im Fragebogen in den Fragen 2, 7 und 10 gut untersucht. Dieser Kernpunkt gilt als verstanden, wenn angegeben wird, dass zumindest an einer Stelle die Stromstärke geringer wird (und nirgendwo größer), denn dass Änderungen im Stromkreis Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis haben, wird in Kernpunkt 4 untersucht. Je nach Frage kreuzten zwischen 44 und 70 Prozent der Schüler*innen MV dementsprechende Antworten an, wobei der Durchschnittswert bei 59 % liegt. Burschen und Schüler*innen der 4. Klasse erzielen noch etwas bessere Ergebnisse.

5.6.1.3 Kernpunkt 3

Dass nur in einem geschlossenen Stromkreis elektrischer Strom fließt.

Etwa 40 % der Schüler*innen mit Vorkenntnissen sind sich bewusst, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt. Bei der Gruppe, die noch keinen Unterricht in Elektrizitätslehre hatte, liegt der Prozentsatz hingegen nur bei 22 %. Dies deckt sich auch mit bereits vorhandenen Untersuchungen, etwa von Allen (2014), der Vorstellungen von Schüler*innen im Volksschulalter untersucht hat. Laut seiner Studie sind Ideen, dass der Strom eine Substanz ist, die von der Batterie zum Elektrogerät fließt (statt im Kreis), sehr verbreitet. Gerade bei diesem grundlegenden Konzept zeigt sich also doch ein gewisser Erfolg des Unterrichts in der gymnasialen Unterstufe. Doch auch bei den Schüler*innen mit Vorkenntnissen wird dieser Kernpunkt nur von der Hälfte aller Burschen und einem Drittel aller Mädchen verstanden. Hier spielt wohl auch das haushaltsübliche Kabel eine Rolle, bei dem es nicht ersichtlich ist, dass es aus mehreren Leitern besteht, wie von Stork und Wiesner (2011) erläutert. Auch die Verwechslung von elektrischem Strom und Energie kann ein Hindernis darstellen, denn während der elektrische Strom im Kreis fließt, bewegt sich der Energie-Strom tatsächlich vom Erzeuger zum Verbraucher (Farwig et al., 1992).

5.6.1.4 Kernpunkt 4

Dass eine Veränderung an einer Stelle Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis hat.

Dieser Kernpunkt wird als verstanden gewertet, wenn bei Vergrößerung des Widerstands angegeben wurde, dass nun beide Amperemeter mehr, oder beide weniger Ampere anzeigen (Frage 7), oder beide Lämpchen stärker oder beide schwächer leuchten (Frage 10). Im Schnitt gelang dies 41 % der Schüler mit Vorkenntnissen. Hierbei gab es wenig Unterschiede zwischen den Klassen oder zu den Schüler*innen ohne Vorkenntnissen, einzig die Mädchen erzielten etwas bessere Ergebnisse als die Burschen. Ein Unverständnis für diesen Kernpunkt ist eng verwandt mit der sequentiellen Argumentation. Diese wurde auch bereits von von Rhöneck (1986, S. 11-13) mit einer ähnlichen Aufgabenstellung untersucht, bei der einmal ein Widerstand „vor“ und einmal ein Widerstand „nach“ dem Lämpchen geändert wurde. Dort wurde die Aufgabe von 33 % der Schüler*innen richtig gelöst.

5.6.1.5 Kernpunkt 5

Parallel zueinander geschaltete Objekte können anhand einer Schaltskizze als solche identifiziert werden.

Frage 6 hat gezeigt, dass nur 9 % der Schüler/-innen MV zueinander parallel geschaltete Lämpchen auch als solche identifizieren können. Zwar steigt der Wert von der dritten Klasse (5 %) zur vierten Klasse (11 %) etwas an, dennoch muss wohl vermutet werden, dass auf die richtige Interpretation von Schaltskizzen im Unterricht nicht besonders viel Wert gelegt wird.

5.6.2 Vergleich von verschiedenen Schülergruppen

Hier soll nun das Wissen der Schüler*innen verschiedener Gruppen verglichen werden. Eine Unterscheidung findet statt hinsichtlich Vorwissen, Schulstufe, Geschlecht und Interesse. Der Durchschnitt aus den Prozentwerten zu allen fünf Kernpunkten bildet hierbei den wichtigsten Vergleichswert (siehe Tabellen 22-24, jeweils letzte Zeile). Der elektrische Stromkreis kann also als umso besser verstanden betrachtet werden, je höher dieser Wert ist. Er wird in den folgenden Abschnitten mit „DKV“ (Durchschnittliches Kernpunkt-Verständnis) abgekürzt.

5.6.2.1 Unterschiede nach Vorkenntnissen

Abbildung 14 vergleicht das Wissen der 3. Klassen ohne vorangegangenem Elektrizitätslehre-Unterricht (3. Klasse OV) mit dem der 3. Klassen, in welchen die Themen der Kernpunkte gerade durchgenommen werden (3. Klasse MV) und dem der 4. Klassen, in welchen der für die Kernpunkte relevante Unterricht bereits abgeschlossen ist (4. Klasse MV). Der Balken bei jeder Gruppe zeigt den DKV-Wert an. Bei diesem aus den einzelnen Kernpunkt-Werten gebildetem Durchschnittswert zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen den 3. Klassen MV mit einem (DKV = 34 %) und den 4. Klassen MV (DKV = 36 %). Obwohl die Schüler*innen der 4. Klasse mehr Erfahrung im Bereich der Elektrizitätslehre haben sollten, konnten sie also kein wesentlich besseres Ergebnis erzielen. Ein Grund könnte sein, dass ein Teil des gelernten Wissens bereits wieder vergessen wurde. Die Schüler*innen ohne vorangegangenem Unterricht im Bereich der Elektrizitätslehre erreichten einen DKV-Wert von 31 %. Dieses Ergebnis ist zwar geringer, als jenes der Schüler*innen mit Vorkenntnissen, doch auch hier ist der Unterschied nicht so groß, wie man vielleicht erwarten würde. Diese geringe Differenz scheint vorangegangene Studien (Härtel, 2012) zu bestätigen, in das Unvermögen, den elektrischen Stromkreis gut zu vermitteln, bereits gezeigt wurde. Zumindest aber Kernpunkt 3, wo es darum geht, dass elektrischer Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt, wird von den Schüler*innen mit Unterrichtserfahrung deutlich besser verstanden.

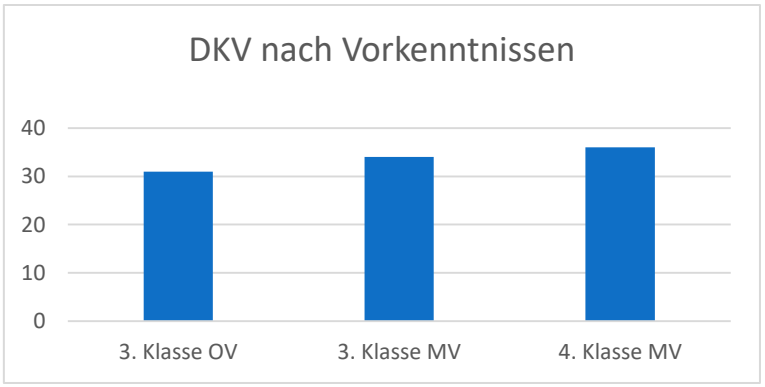


Abbildung 14 – durchschnittliches Verständnis nach Vorkenntnissen (Prozent)

5.6.2.2 Unterschiede nach Geschlecht

Wie in Abbildung 15 dargestellt, erreichen Burschen MV mit 37 % einen etwas höheren DKV-Wert als die Mädchen MV mit 34 %. Die Mädchen verstehen allerdings besser, dass elektrischer Strom nicht verbraucht wird bzw. nicht mit elektrischer Energie gleichzusetzen ist. Mehr Burschen sind sich wiederum bewusst, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt. Auch können verhältnismäßig deutlich mehr Burschen eine Parallelschaltung als solche erkennen. Burschen gaben aber auch deutlich häufiger an, sich „sehr“ oder „eher“ für Physik und Elektrizitätslehre zu interessieren. Dies deckt sich mit vorangegangenen Untersuchungen, so zeigen Häussler und Hoffmann (1995) auf, dass Physik für Mädchen zu den am wenigsten interessanten Fächern gehört. Hier stellt sich also vor allem die Frage, wie man den Unterricht für sie ansprechender gestalten kann. Häussler und Hoffmann (1995) entwickelten dazu ein Modell, bei dem einerseits spezifisch die Interessen von Mädchen beachtet werden, andererseits das Selbstvertrauen der Mädchen gestärkt werden soll. So können Mädchen etwa mehr über Phänomene aus der Natur staunen, als über technische Leistungen (Häussler und Hoffmann, 1995, S. 113). Im Bereich der Elektrizitätslehre könnte das etwa ein Gewitter sein, oder warum man sich manchmal elektrisiert. Besonders scheinen sie sich nach Häussler und Hoffmann (1995, S. 113) für Physik in Verbindung mit dem Menschen, etwa aus

medizinischer Sicht zu interessieren. Hier könnte etwa darauf eingegangen werden, wie mit einem Defibrillator Herzrhythmusstörungen gestoppt werden.

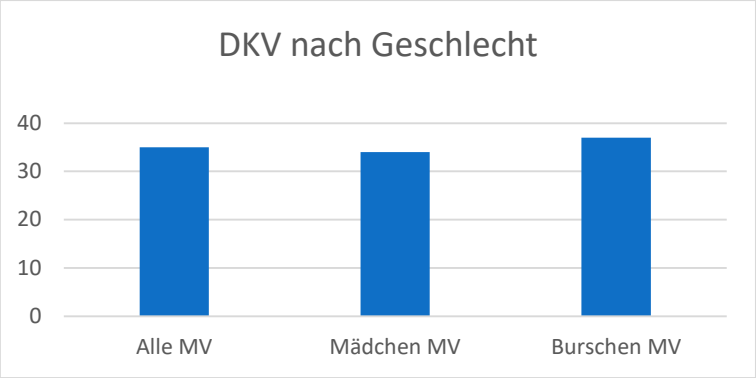


Abbildung 15 – durchschnittliches Verständnis nach Geschlecht (Prozent)

5.6.2.3 Unterschiede nach Interesse

Abbildung 16 zeigt den DKV-Wert aufgegliedert nach Interesse der Schüler*innen MV für Physik im Allgemeinen (linke Balken) und Elektrizitätslehre im Speziellen (rechte Balken). Wie man es wohl erwarten könnte, zeigen Schüler*innen mit größerem Interesse auch ein höheres Verständnis der Kernpunkte. Beim Interesse für Physik schwankt der DKV-Wert zwischen 39 % (sehr) und 28 % (überhaupt nicht). Beim Interesse für Elektrizitätslehre im Vergleich zu anderen Gebieten der Physik ist die Diskrepanz beim DKV-Wert mit 40 % (sehr) zu 27 % (überhaupt nicht) sogar noch um eine Spur größer. Eine Ausnahme hiervon bildet Kernpunkt 4. Dass Veränderungen Auswirkungen auf den gesamten Stromkreis haben, ist Schüler*innen mit größerem Interesse nicht stärker bewusst. Jene Gruppe, die sich *sehr* für Elektrizitätslehre interessiert, erreicht hier sogar einen deutlich niedrigeren Wert als die anderen Gruppen. Gesamt kann aber gesagt werden, dass ein höheres Interesse positiv mit einem besserem Verständnis korreliert. Es mag daher sinnvoll sein, im Unterricht auf die Interessen der Schüler*innen einzugehen. Besonderen Fokus sollte dabei – wie bereits erwähnt – auf die Mädchen gelegt werden, welche deutlich seltener angaben, sich für Physik und Elektrizitätslehre zu interessieren (Kapitel 5.1).

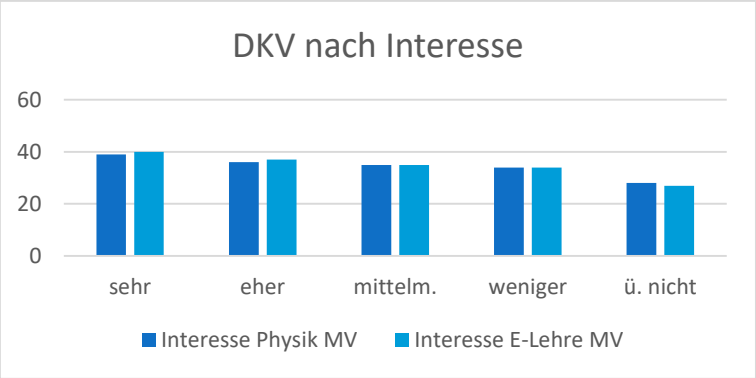


Abbildung 16 – durchschnittliches Verständnis nach Interesse (Prozent)

6 REFLEXION

6.1 ZUSAMMENFASSUNG UND REFLEXION DER ERGEBNISSE

Dieses abschließende Kapitel bietet eine Gegenüberstellung der wichtigsten Ergebnisse, sowie eine Diskussion vor dem theoretischen Hintergrund. Wenn nicht anders angegeben beziehen sich die hier genannten Ergebnisse auf alle Schüler*innen, die bereits Unterrichtserfahrung im Gebiet der Elektrizitätslehre haben. Für die Beantwortung der Forschungsfrage 1 werden die Werte MEA (wie viele Schüler*innen mindestens einmal eine Antwort angekreuzt haben, die auf eine bestimmte Schülervorstellungen hinweist), sowie VBR (Vergleich, wie oft eine Schülervorstellung angekreuzt wurde, im Vergleich zu dem, was bei blindem Raten zu erwarten wäre) verwendet. Für Korrelationen zwischen Schülervorstellungen in Forschungsfrage 2 kommt der Vierfelder-Korrelationskoeffizient zum Einsatz. Wie diese Werte zustande kommen wird im Kapitel 3 (Forschungsfragen und Forschungsdesign) erläutert. Auch wird darauf eingegangen, wie gut der elektrische Stromkreis verstanden wird. Hierbei wird auf die in Forschungsfrage 3 definierten Kernpunkte bezuggenommen. Dabei werden Unterschiede bezüglich vorangegangener Unterrichtserfahrung, Geschlecht und Interesse an Physik und Elektrizitätslehre beleuchtet.

Nur einer der in Forschungsfrage 3 definierten Kernpunkte wird von mehr als 50 % der Schüler*innen verstanden, was wohl als ernüchterndes Ergebnis gewertet werden kann. Dass es in der Unterstufe nicht gelingt, das Prinzip des Stromkreises gut zu vermitteln, wurde bereits in zahlreichen Studien gezeigt (Härtel, 2012), und scheint durch diese Untersuchung weiter bestätigt worden zu sein. Am besten scheint noch Kernpunkt 2 verstanden worden zu sein. Zu erkennen, ob, wie und wo sich die Stromstärke bei Änderungen des Widerstandes im Stromkreis ändert, bereitet Schüler*innen von Rhöneck (1986, S. 10-12) zufolge Schwierigkeiten. Durchschnittlich haben aber immerhin 59 % aller Schüler*innen MV angegeben, dass die Stromstärke kleiner wird, wenn man den Widerstand im Stromkreis vergrößert (Kernpunkt 2). Vergleichsweise wenig vertreten sind die Vorstellungen, dass die Batterie immer konstanten Strom liefert (BS), sowie dass die Stromstärke mit steigendem Widerstand zunimmt (IR). Die beiden Vorstellungen haben mit -20 % und -15 % die niedrigsten VBR-Werte, was bedeutet, dass Antworten, die auf diese Vorstellungen hinweisen, vergleichsweise selten gewählt wurden. Der MEA-Wert der BS-Vorstellung ist mit 19 % vergleichbar mit jenem aus Weißrussland und deutlich geringer als der aus Hessen (Müller et al. 2015). Der MEA-Wert der IR-Vorstellung liegt mit 29 % über den Werten aus der von Müller et al. durchgeführten Untersuchung. Schüler*innen, bei denen die BS-Vorstellung vorkommt, zeigen naheliegender Weise auch sehr häufig die Vorstellung, dass die Stromstärke unabhängig vom Widerstand ist (Vierfelder-Korrelationswert +0,19), während die Stromverbrauchsvorstellung eher seltener gleichzeitig vorliegt (-0,14). Letztere korreliert auch negativ mit der IR-Vorstellung. Weder bei den Ergebnissen bezüglich dieser beiden Vorstellungen, noch bei Kernpunkt 2, zeigen sich große Unterschiede bei den nach Vorerfahrung oder Geschlecht sortierten Gruppen. Dass ein größerer Widerstand zu einer geringeren Stromstärke führt, könnte für viele Schüler*innen einfach intuitiv naheliegend sein.

Dass sich eine Änderung im Stromkreis auf den gesamten Stromkreis auswirkt (Kernpunkt 4) wird von 41 % aller Schüler*innen MV verstanden. Dem gegenüber steht die *sequentielle Argumentation* (SA), nach der sich Ereignisse nur auf das auswirken, was im Stromkreis weiter hinten liegt. Der VBR-Wert dieser Schülervorstellung liegt mit -3 Prozentpunkten ziemlich im Durchschnitt. Einen unterdurchschnittlichen VBR-Wert von -9 % hingegen hat die thematisch ähnliche Vorstellung *lokales*

Denken (LD), welcher zufolge sich Ladungsträger selbstständig durch den Stromkreis bewegen. Die *sequentielle Argument*ation zeigt eine positive Korrelation mit der Stromverbrauchsvorstellung (Vierfelder-Korrelationskoeffizient = +0,07), aber auch mit dem *lokalen Denken* (+0,04), korreliert jedoch deutlich negativ mit der Zweizuführungsvorstellung (-0,16) und damit, dass der Stromverbrauch proportional zum Widerstand sei (-0,12). Schüler*innen, bei denen *lokales Denken* vorliegt, haben außerdem öfter *Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen* (+0,10) im Vergleich zum Durchschnitt. Beim Verständnis von Kernpunkt 4 zeigt sich kein Unterschied zwischen Schüler*innen mit und ohne vorangegangenem Unterricht im Bereich der Elektrizitätslehre und er wird von interessierten Schüler*innen auch nicht besser verstanden als von weniger interessierten. Mädchen verstehen den Kernpunkt etwas besser als Burschen und die *sequentielle Argumentation* zeigt sich bei ihnen deutlich seltener. Besonders niedrig ist die *sequentielle Argumentation* bei Schüler*innen der dritten Klasse mit vorangegangenem Unterricht, was darauf hindeutet, dass hier zwar ein kurz anhaltender Unterrichtserfolg stattfindet, das diesbezügliche Wissen jedoch bald wieder vergessen und eventuell sogar durch neu gebildete Vorstellungen ersetzt wird. Verstärkt werden können sie unter anderem durch ungünstige Modelle, wie durch das von Härtel (2012) kritisierte „Rucksack-Modell", bei denen sich Elektronen eigenständig durch den Stromkreis bewegen. Die *sequentielle Argumentation* und das *lokale Denken* („lokale Argumentation") werden bereits bei von Rhöneck (1986, S. 11-13) beleuchtet. In seiner Frage, wie sich die Stromstärke verhält, wenn vor bzw. hinter einem Lämpchen der Widerstand vergrößert wird, zeigt sich die SA-Vorstellung bei 30 % der Schüler*innen. Dass sich der Strom immer zu gleichen Teilen bei Abzweigungen aufteilt (*lokales Denken*), gaben bei von Rhöneck (1986) sogar 60 % der Schüler*innen an.

Bedenkt man, wie grundlegend Kernpunkt 3 ist, der besagt dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt, mag es doch überraschen, dass er nur von 40 % der Schüler*innen MV verstanden wird. Schüler*innen, die diesen Kernpunkt nicht verstehen, können in zwei Gruppen eingeteilt werden: Aus Sicht der ersten Gruppe muss ein Stromkreis generell nicht geschlossen sein. Dies wird mit der Zweizuführungsvorstellung in Verbindung gebracht, welche mit einem VBR-Wert von -4 % vergleichsweise mittelhäufig vertreten ist. Insgesamt 45 % aller Schüler*innen mit Vorwissen kreuzten mindestens einmal eine dementsprechende Antwort an. Gerade diese bei Mädchen noch deutlich häufiger vertretene Vorstellung erscheint extrem hinderlich für ein weiterführendes Verständnis des elektrischen Stromkreises. Die andere Gruppe vermutet, dass in einem offenen Stromkreis zumindest die schon fließenden Ladungsträger ihren Weg noch beenden, bevor kein Strom mehr fließt, was zum *lokalen Denken* gehört. Schüler*innen ohne vorangegangenem Unterricht haben noch deutlich größere Schwierigkeiten mit dem Thema. Von ihnen verstehen nur 22 % den Kernpunkt 2 und die ZZ-Vorstellung ist weit häufiger verbreitet. Zumindest bei diesem Thema scheint also der Unterricht gewisse Erfolge vorweisen zu können, wenn auch nicht in einem Ausmaß, das man sich erhoffen würde. Die Diskrepanz beim Verständnis von Kernpunkt 3 ist zwischen den sehr an Physik und Elektrizitätslehre interessierten und den überhaupt nicht interessierten Schüler*innen im Vergleich zu anderen Kernpunkten überdurchschnittlich groß. Burschen verstehen den Kernpunkt 3 außerdem deutlich besser als Mädchen. Die Erkenntnis, dass ein Stromkreis geschlossen sein muss, und nicht nur Strom von der Batterie zur Lampe fließt, ist laut Allen (2014) bei Kindern im Volksschulalter nicht besonders verbreitet. Doch offenbar ist dies auch vielen Schüler*innen im Gymnasium nicht bewusst. Ein Grund für die ZZ-Vorstellung könnte eine Verwechslung von elektrischem Strom und elektrischer Energie sein (Farwig et al., 1992). Interessanterweise ist ihre Korrelation mit der Stromverbrauchsvorstellung allerdings negativ (-0,09). Hinderlich scheint aber auch die Tatsache zu

sein, dass es für viele Schüler*innen nicht ersichtlich ist, dass ein haushaltsübliches Stromkabel aus mehreren Leitern besteht (Stork und Wiesner, 2011).

Deutlich schlechter als die bisher genannten Punkte wird verstanden, dass elektrischer Strom nicht verbraucht bzw. nicht mit der elektrischen Energie gleichzusetzen ist (Kernpunkt 1). Nur 26 % der Schüler*innen scheinen sich dessen bewusst zu sein. Umgekehrt geben 73 % aller Schüler*innen mindestens einmal eine Antwort, die auf die Stromverbrauchsvorstellung (SV) schließen lässt. Dieser MEA-Wert übertrifft damit deutlich die Werte, welche die von Müller et al. 2015 durchgeführte Studie für Hessen (ca. 40 %) und für Weißrussland (ca. 12 %) lieferte. Der VBR-Wert liegt hingegen mit -4 % ziemlich im Durchschnitt. Burschen verstehen den Kernpunkt 1 mit 22 % noch deutlich schlechter als Mädchen mit 32 %. Auch liefern Schüler*innen der 4. Klasse ein schlechteres Ergebnis im Vergleich zu jenen der 3. Klasse, was vermuten lässt, dass das Wesen des Stroms im Unterricht früh durchgenommen und leider bald wieder vergessen wird. Insgesamt scheinen die Ergebnisse dieser Arbeit die in der Literatur oft behandelte Problematik vieler Schüler*innen mit dem Strombegriff (von Rhöneck, 1986), sowie die Schwierigkeit bei der Unterscheidung von elektrischem Strom und elektrischer Energie (Farwig et al., 1992) zu bestätigen.

Kernpunkt 5, in welchem es darum geht, dass Parallelschaltungen als solche erkannt werden können, selbst wenn sie in der Schaltskizze nicht *geometrisch* parallel zueinander eingezeichnet sind, wurde von nur 9 % aller Schüler*innen verstanden. Die Vorstellung *Probleme beim Erfassen von Parallelschaltungen* (PS) hat sowohl den höchsten VBR-Wert (15 %) als auch den höchsten MEA-Wert (90 %) aller untersuchten Vorstellungen. Doch auch in der von Müller et. al 2015 durchgeführten Studie kreuzten fast 90 % der Schüler*innen aus Hessen mindestens einmal eine Antwort an, die auf die PS-Vorstellung schließen lässt, und immerhin knapp 70 % der Schüler*innen aus Weißrussland. Beim Vergleich zwischen den interessierteren und den weniger interessierten Schüler*innen zeigt sich bei Kernpunkt 5 eine große Diskrepanz. Von jenen, die angegeben haben, sich *sehr* für Physik oder Elektrizitätslehre zu interessieren, konnten über 20 % die zur PS-Vorstellung gehörende Frage richtig beantworten. Umgekehrt schaffte dies bei jenen, die sich *überhaupt nicht* für Physik oder Elektrizitätslehre interessieren, kein einziger.

Es wurden noch zwei weitere Schülervorstellungen untersucht, die sich nicht eindeutig einem der Kernpunkte zuordnen lassen. Schüler*innen mit der Vorstellung, dass die Stromstärke unabhängig vom Widerstand sei (UR), folgern oft korrekt, dass bei Vergrößerung des Widerstands Lämpchen im Stromkreis schwächer leuchten. Der Gedanke scheint eher zu sein, dass sich der Strom auf die Widerstände aufteilt. Insgesamt kreuzten nur 15 % aller Schüler*innen mindestens einmal eine Antwortkombination an, die auf diese Vorstellung schließen lässt. Ihr VBR-Wert liegt mit -1 % aber leicht über dem Durchschnitt. Bei Mädchen tritt sie etwas häufiger auf als bei Burschen. Die andere Vorstellung ist, dass der Strom proportional zum Widerstand verbraucht wird (PR). Hier wird also korrekt angenommen, dass die Stromstärke bei großem Widerstand geringer wird, allerdings aus den falschen Gründen heraus. Der MEA-Wert liegt mit 25 % sehr in der Nähe zu dem von Müller et al. in Weißrussland gemessenen Wert, er ist aber deutlich geringer als jener in Hessen. Allerdings ist auch hier der VBR-Wert mit +2 Prozentpunkten überdurchschnittlich hoch, weswegen die PR-Vorstellung zu den häufiger vertretenen gezählt werden muss. Schüler*innen der vierten Klasse sind noch stärker davon betroffen.

6.2 AUSBLICK

Welche Schlüsse lassen sich aus den Ergebnissen für den Physikunterricht ziehen? Besonders große Schwierigkeiten scheinen Schüler*innen mit dem Erfassen von Parallelschaltungen zu haben. Auch elektrischen Strom als zielgerichtete Bewegung von geladener Materie zu sehen, welche nicht verbraucht wird, scheint sehr schwer zu fallen. Ebenso bedenklich scheint, dass nur 40 % der Schüler*innen zur doch recht grundlegenden Erkenntnis gelangt sind, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt. Die Ergebnisse legen nahe, dass im Unterricht besonders in die drei eben genannten Punkte etwas mehr Zeit investiert werden sollte.

Die vierten Klassen verstehen den elektrischen Stromkreis im Durchschnitt etwa gleich gut wie die dritten Klassen. Die Schülervorstellungen *Strom wird verbraucht* und *sequentielle Argumentation* treten bei ihnen allerdings deutlich häufiger auf. Hier könnte durch häufiges Widerholen verstärkt darauf geachtet werden, dass grundlegendes Wissen nicht wieder vergessen und durch Fehlvorstellungen ersetzt wird. Ungünstige Modelle oder Erklärungen, die die Entstehung solcher neuen Fehlvorstellungen begünstigen, sollten hierbei wohl vermieden werden.

Schüler*innen, die angeben, sich für Physik und Elektrizitätslehre zu interessieren, scheinen den elektrischen Stromkreis auch tatsächlich besser zu verstehen. Auch wenn nicht genau gesagt werden kann, ob nun das Interesse das bessere Verständnis bewirkt oder umgekehrt, so scheint es wohl sinnvoll, die Interessen der Schüler*innen zu fördern. Wie Häußler und Hoffmann (1995) aufzeigen, hängt das Interesse für bestimmte Inhalte stark damit zusammen, ob ein Anwendungsbezug gegeben ist. Einfach nur Schaltskizzen zu betrachten und zu berechnen scheint daher wohl eher wenig erfolgversprechend. Besondere Rücksicht sollte auf die Mädchen genommen werden, welche deutlich seltener angaben, sich sehr oder eher für Physik zu interessieren, und die bei den Kernpunkten im Vergleich zu den Burschen auch ein etwas schlechteres Durchschnittsergebnis erzielten. Häußler und Hoffmann (1995) nach zu urteilen interessieren sich Mädchen eher für Physik, wenn sie auf Erfahrungen aus dem Alltag, Naturphänomene, gesellschaftlich relevante Themen oder auf den menschlichen Körper bezogen ist. Beispiele aus diesen Gebieten so im Unterricht einzusetzen, dass gleichzeitig ein gutes Verständnis des doch etwas abstrakten elektrischen Stromkreises ermöglicht wird, könnte eine spannende Herausforderung sein.

6.2.1 Schulbücher und Alternativen

Es stellt sich zuletzt auch die Frage, inwieweit gängige Schulbücher für den Erfolg (oder Misserfolg) des Elektrizitätslehre-Unterrichts mitverantwortlich sind. Im Schulbuch „Impuls Physik 3“[11] werden Spannung, Stromstärke, Widerstand, Reihen- und Parallelschaltung und einiges mehr auf 10 Seiten abgehandelt, wovon aber 6 Seiten Übungen, Zusammenfassung etc. ausmachen. Viele Fakten, die etwa zur Beantwortung der in dieser Arbeit gestellten Fragen essentiell wären, finden nur als kurze Merksätze Erwähnung. Im Vergleich dazu bietet das Elektrizitätslehre-Konzept der LMU-München, welches hier noch kurz vorgestellt wird, über 50 (!) Seiten an Schülermaterialien zu diesem Thema. Es lässt sich zudem vermuten, dass Sätze wie „die Elektronen wandern durch den Draht zum Pluspol der Batterie. Der Minuspol liefert Nachschub“ (Impuls Physik 3, S. 66) ohne weitere Erläuterung das *lokale Denken* geradezu zu fördern. Besser geeignet scheint hier der Zugang des Schulbuchs „Genial! DUO Physik 3“[12], welches das bereits erwähnte Fahrradkettenmodell verwendet. Die Analogie zwischen

[11] Impuls Physik 3, Reitinger et al., 1. Auflage (2015)
[12] Genial! DUO Physik 3, Duenbostl et al., 1. Auflage (2018)

Fahrradkette und Stromkreis wird ausführlich erklärt, und es wird auch darauf hingewiesen, dass wie die Kettenglieder die Elektronen nicht verbraucht werden. Eine große Zahl an Anwendungs- und Alltagsbeispielen zur Elektrizität bietet das Schulbuch „Big Bang 3“[13]. So erfahren die Leser*innen etwa über Zitteraale, körpereigene elektrische Signale oder den „Stromkrieg“ zwischen Gleich- und Wechselstrom. Damit – und wohl auch mit der humorvollen Gestaltung – scheint es gut geeignet, das Interesse der Schüler*innen zu wecken. Allerdings wirkt es dabei teilweise überladen und etwas unübersichtlich. Schulbücher sind aber nicht der einzige Weg, Schüler*innen Elektrizitätslehre näherzubringen. Zum Abschluss sollen daher noch beispielshaft das Konzept der LMU-München, das Elektronengasmodell sowie die Gleichstrom-Simulation von PhET kurz vorgestellt werden.

6.2.1.1 Elektrizitätslehre-Konzept der LMU-München

Die LMU-München bietet ein Elektrizitätslehre-Konzept, das sich von der Herangehensweise üblicher Schulbücher unterscheidet. Die hier verwendeten Begriffe wurden sorgfältig ausgewählt, es wird nicht von Elektronen oder Ladungsträgern gesprochen, sondern von Elektrizität. Die Spannungsquelle wird als Generator bezeichnet, der Verbraucher als Elektrogerät. Bereits in der zweiten Unterrichtsstunde wird auf die magnetische Wirkung der Elektrizität eingegangen. Dies mag überraschen, da doch Elektromagnetismus laut österreichischem Lehrplan erst in der 4. Klasse zum Einsatz kommt (RIS, 2018). Mit der Auslenkung von Kompassnadeln lässt sich jedoch einiges anschaulich demonstrieren. Die Kompassnadel lenkt aus, wenn man sie in unmittelbare Nähe einer stromdurchflossenen Leitung stellt. Wie bereits erwähnt hat die Elektrizitätslehre den großen Nachteil, dass sie nicht besonders anschaulich ist. Man sieht nicht, was sich in den Leitungen abspielt, doch nun können die Schüler*innen eine Wirkung erkennen. Die Kompassnadel übernimmt etwa die Funktion eines Amperemeters, ist dabei aber deutlich einfacher zu handhaben und bietet möglicherweise einen gewissen Überraschungseffekt. Mit ihrer Hilfe könnte einigen Schülervorstellungen entgegengewirkt werden. Gegen die Zweizuführungsvorstellung spricht, dass die Magnetnadel nur ausgelenkt wird, wenn der Stromkreis geschlossen ist, dabei ist es unerheblich, ob „vor“ oder „hinter“ dem Lämpchen. In einer Reihenschaltung wird die Nadel außerdem an jeder Stelle gleich stark ausgelenkt, was helfen kann, den Stromkreis als Ganzes wahrzunehmen, und elektrischen Strom nicht als etwas das verbraucht wird anzusehen. Wird der Widerstand im Stromkreis vergrößert, lenkt die Nadel weniger stark aus. Entgegengewirkt werden kann somit auch der umgekehrten Widerstandsvorstellung, sowie Vorstellungen, dass die Stromstärke unabhängig vom Widerstand sei bzw. die Batterie immer den gleichen Strom liefere. Die elektrische Spannung wird über die Potentialdifferenz eingeführt. Hierfür kommt unter anderem das Höhenmodell zum Einsatz (Abbildung 17). Dabei werden Potentialunterschiede an den Polen der Batterie bzw. an den Anschlüssen des Lämpchens durch Höhenunterschiede verdeutlicht. Das Höhenmodell wird übrigens auch von R. Müller (2012) empfohlen, aus dessen Sicht die Spannung „vermutlich der schwierigste Begriff in der Sekundarstufe I“ ist. Die Unterlagen für Schüler*innen und Lehrer*innen werden von der LMU-München unter folgendem Link kostenlos zum Download angeboten (abgerufen am 09.04.2020):
https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

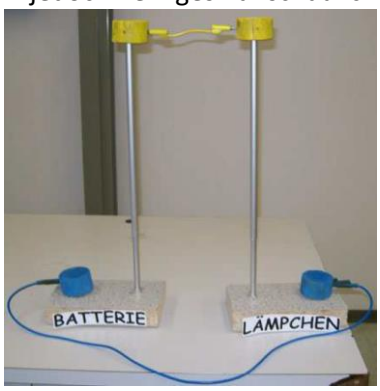


Abbildung 17 – Höhenmodell (Quelle: LMU-München)

[13] Big Bang 3, Apolin, 1. Auflage (2017)

6.2.1.2 *Elektronengasmodell von Burde, Wilhelm und Wiesner*

Auch wenn das Höhenmodell zur Veranschaulichung von Potentialdifferenzen geeignet scheint, so gibt es den Schüler*innen leider wenig Auskunft darüber, was elektrisches Potential eigentlich ist. Burde et al. (2014) folgen hier einem Ansatz von Clement und Steinberg (2002), welcher den Druck der Elektronen mit dem für Schüler*innen anschaulichen Luftdruck vergleicht. Am Minuspol ist die Elektronendichte (der Oberflächenelektronen) größer, es herrscht also ein größerer Druck. Der positiv geladene Pluspol saugt die Elektronen hingegen an, Burde et al. vergleichen dies mit der Wirkung eines Staubsaugers. Abbildung 18 zeigt zwei Möglichkeiten zur grafischen Veranschaulichung des Elektronengasmodells. Burde und Willhelm kommen nach Testungen und Befragungen (2015) zu dem Schluss, dass eine farbliche Unterscheidung zwischen größerem und kleinerem Potential die zweckdienlichste Variante ist.

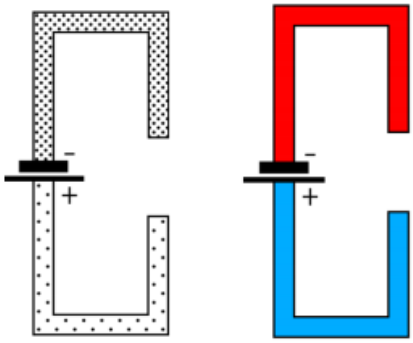


Abbildung 18 - Elektronengasmodell, Quelle: Burde und Wilhelm (2015)

Dass vielen Schüler*innen der Unterschied von Stromstärke und Spannung nicht klar ist, hat bereits von Rhöneck (1986) in seiner Untersuchung festgestellt. Auch haben nur 31 % aller Schüler*innen, welche bei Frage 5 korrekt angaben, dass kein Strom fließt, dort ebenfalls korrekt angekreuzt, dass sehr wohl Spannung vorhanden sei. Das Elektronengasmodell soll helfen, die elektrische Spannung auf verständliche Weise zu veranschaulichen und sie von der Stromstärke abzugrenzen. Die Vorgänge im Stromkreis sollen nachvollziehbarer werden.

Auch bietet das Elektronengasmodell eine gute Möglichkeit, Parallelschaltungen erkennbarer darzustellen (Abbildung 19). Dies scheint äußerst hilfreich, bedenkt man, dass es bei Frage 6 nur 9 % der Schüler*innen gelang, eine Parallelschaltung als solche zu erkennen. Möglicherweise erhalten die Schüler*innen durch diese Art der Veranschaulichung auch eine Idee, warum der Spannungsabfall in jeder Abzweigung gleich groß sein muss.

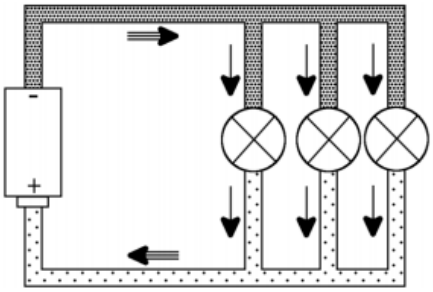


Abbildung 7 – Parallelschaltung Quelle: Burde et al. (2014)

Das Elektronengasmodell wird Burde und Wilhelm (2015) zufolge von Schüler*innen gut akzeptiert. Die meisten Schüler*innen besitzen aus Alltagserfahrungen ein intuitives Verständnis vom Bestreben komprimierter Luft, sich auszudehnen. Dieses Wissen können sie auch ohne größere Schwierigkeiten auf das sich ähnlich verhaltende Elektronengas transferieren. Es sei jedoch erwähnt, dass auch beim Einsatz des Elektronengasmodells gewisse Schülervorstellungen auftreten können, wie etwa die sequentielle Argumentation, die Stromverbrauchsvorstellung oder die inverse Widerstandsvorstellung. Daneben können auch Vorstellungen auftreten, die sich darauf beziehen, dass das Volumen der Leitungen den Potentialunterschied beeinflusst, etwa weil sich Elektronen bei einem längeren Draht auf mehr Raum verteilen könnten. (Burde und Wilhelm, 2015)

6.2.1.3 Comtputersimulation PhET-Colorado

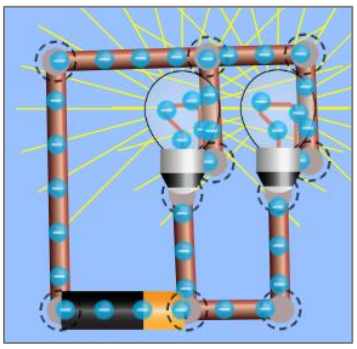


Abbildung 208 – PhET-Simulation

Wie bereits in Kapitel 5.4 angesprochen, können auch Computersimulationen beim Verständnis des elektrischen Stromkreises helfen. Das Projekt „PhET interaktive Simulationen“ der University of Colorado Boulder bietet auf der Homepage neben zahlreichen anderen naturwissenschaftlichen und mathematischen Simulationen auch ein „virtuelles Gleichstrom-Labor“. Die Simulation ist kostenlos und kann direkt im Web-Browser verwendet werden. Mittels Drag-and-Drop lassen sich verschiedene Elemente miteinander zu einem Stromkreis verbinden. Abbildung 20 zeigt einen auf diese Art erstellten Stromkreis. Die Elektronen werden durch blaue Kugeln mit Minus-Zeichen symbolisiert. Sobald der Stromkreis geschlossen ist, beginnen sie sich zu bewegen. Eine größere Stromstärke wird durch schnellere Bewegung dargestellt, wobei Spannung und Stromstärke auch gemessen werden können. So lässt sich erkennen, dass Strom nur in einem geschlossenen Stromkreis fließt, und zwar vor dem Lämpchen genauso stark wie hinter oder im Lämpchen. Damit könnte der Zweizuführungsvorstellung oder der Stromverbrauchsvorstellung entgegengewirkt werden. Stellt man den Schüler*innen geeignete Aufgaben, bei denen sie virtuell Stromkreise erstellen und Messungen durchführen sollen, könnten vielleicht auch andere Vorstellungen, wie etwa dass die Stromstärke unabhängig vom Widerstand sei oder bei größerem Widerstand zunimmt, sowie das sequentielle Argumentieren abgeschwächt werden. Folgender Link führt zur Simulation (abgerufen am 20.04.2020):
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_de.html

Es bleibt zu hoffen, dass mit neueren Erkenntnissen über Vorstellungen und Wissen der Schüler*innen, sowie dem Einsatz von geeigneten Modellen und durchdachten Konzepten der Elektrizitätslehre-Unterricht in Zukunft stetig verbessert werden kann.

7 LITERATUR

Allen, M. (2014). Misconceptions in primary science. S. 178-192

Duit, R. (1993a). Alltagsvorstellungen berücksichtigen! *Praxis der Naturwissenschaften Physik 42*, S. 7-11.

Duit R. (1993b). Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik 4*, S. 16-23.

Burde, J. P. und Wilhelm, T. (2015). Akzeptanzbefragung zum Elektronengasmodell. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Burde, J. P. et al. (2014). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Clement, J. J. und Steinberg, M. S. (2012). StepWise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A „Learning-Aloud“ Case Study. *The Journal of The Learning Sciences, 11, 2002, 4,* S. 389-452

Engelhardt P. and Beichner R. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits, *Am. J. Phys. 72 (1), 98 (2004)*

Farwig, P. et al. (1992). Handbuch des Physikunterrichts. Sekundarbereich I. Band 5. Elektrizitätslehre I. (Hrsg. R. Götz et al.), S. 37-43

Haider, M. (2009). Analogien im Sachunterricht: Analogiemodelle im Elektrizitätslehreunterricht der Grundschule als Fördermöglichkeit des physikalischen Lernens. *Zeitschrift für Grundschulforschung (ZfG)*, *2009, 2. Jg., Nr. 1*, S. 104-117.

Härtel H. (2012). Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. *Verständnisprobleme Elektrizitätslehre / PdN PHYSIK in der Schule Heft 5 / 61. Jahrgang*, S. 17-24

Häussler, P., & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht-an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. *Unterrichtswissenschaft*, *23*(2), S. 107-126.

Kirschner, S. (2016). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Plus Lucis 2/2016*. S. 15.-18.

Müller, R. (2012). Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potentiellen Energie. *Verständnisprobleme Elektrizitätslehre / PdN PHYSIK in der Schule Heft 5 / 61. Jahrgang / 2012*, S. 5-16

Müller, S et al. (2015). Vergleich von Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre in Hessen und Weißrussland. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

Schwedes, H. und Schilling P. (2011) Schülervorstellungen zu Wasserstromkreisen. *Schülervorstellungen in der Physik,* (Hrsg M. Rainer, H. Wiesner). S. 172-183

Stork, E. und Wiesner H. (1981). Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre und Sachunterricht. Bericht über einen Versuch zur Integration von fachdidaktischer Forschung und schulpraktischer Ausbildung an der Universität. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe 9*, 1981 (S. 218-230)

Stork, E. und Wiesner, H. (2011). Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre und Sachunterricht. *Schülervorstellungen in der Physik,* (Hrsg M. Rainer, H. Wiesner). S. 53-65

Urban, H. (2017). Sequential Reasoning in Electricity: Developing and Using a Three-Tier Multiple Choice Test. *Scientia in educatione*, *8*.

Urban-Woldron H. und Hopf M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg. 18, 2012. S. 201-227

von Rhöneck, Ch. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis (und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand). *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie* 34 (1986) , 13, S. 10–14.

Wagner P., et al. (2012). Einführung in die Physik. *Facultas Verlags-und Buchhandels AG*, S. 285

Wodzinski R. (1996). Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Mechanik im Anfangsunterricht. Kapitel 1.3 – 1.4

Wiesner H. et al. (2015). Physikdidaktik kompakt. (Hrsg. Hopf M.). S. 29-62

Zhu, Y., et al. (2019). Event-Related Potential Evidence for Persistence of an Intuitive Misconception About Electricity. *Mind, Brain, and Education*, *13*(2), 80-91.

7.1 INTERNETLINKS

Academic – Vierfelder-Korrelation.
Abgerufen am 20.04.2020
https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1463909

LMU – Einführung in die Elektrizitätslehre.
Abgerufen am 20.04.2020
https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/index.html

PhET – Gleichstrom-Simulation.
Abgerufen am 20.04.2020
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_de.html

RIS – Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen.
Abgerufen am 20.04.2020.
https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01

8 ANHANG – DER FRAGEBOGEN

Im Anhang befindet sich der Fragebogen, in der Form, wie er den Schüler*innen vorgelegt wurde.

Quellen- und Bildquellenangaben dazu befinden sich im Kapitel 3.4 in dieser Arbeit, in welchem der Aufbau der einzelnen Fragen behandelt wird.

Fragebogen Elektrizitätslehre

Schule: Klasse: Schultyp:

Geschlecht: Alter: Datum:

Das Unterrichtsfach Physik interessiert mich

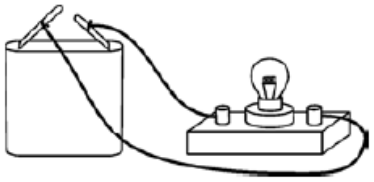
☐ Sehr ☐ Eher ☐ Mittelmäßig ☐ Weniger ☐ Überhaupt nicht

Im Vergleich zu anderen Themen aus dem Fach Physik interessiert mich Elektrizität/elektrischer Strom

☐ Sehr ☐ Eher ☐ Mittelmäßig ☐ Weniger ☐ Überhaupt nicht

Vielen Dank, dass du an dieser Untersuchung teilnimmst!

1.) Ein Lämpchen ist an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Welche Aussage ist wahr?

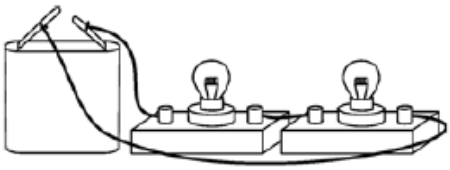


☐ Es fließt stärkerer Strom zum Lämpchen hin, als vom Lämpchen weg. Ein Teil des elektrischen Stroms wird vom Lämpchen in Licht und Wärme umgewandelt.

☐ Es fließt nur Strom zum Lämpchen hin, aber keiner vom Lämpchen weg. Der gesamte elektrische Strom wird vom Lämpchen in Licht und Wärme umgewandelt.

☐ Es fließt genauso viel Strom zum Lämpchen hin, als vom Lämpchen weg.

2. a) Ein Lämpchen ist an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Nun wird ein zweites Lämpchen in Reihenschaltung dazu geschaltet. Wie verändert sich die Stromstärke im Stromkreis?



☐ Sie bleibt im gesamten Stromkreis gleich.

☐ Sie nimmt ab.

☐ Sie bleibt nur am Beginn des Stromkreises gleich, aber weniger Strom fließt zurück in die Batterie.

☐ Sie nimmt zu.

2. b) Wie erklärst du deine Antwort?

☐ Es ist dieselbe Batterie, darum fließt auch gleich viel Strom.

☐ Es fließt gleich viel Strom wie zuvor, er teilt sich nur auf beide Lämpchen auf.

☐ Die Batterie kann nun nicht mehr so viel Strom durch den Stromkreis treiben.

☐ Es wird nun mehr Strom verbraucht.

☐ Weil es zwei Lämpchen sind, fließt nun doppelt so viel Strom.

3.) Bitte vergleiche den Aufbau aus Frage 1 und Frage 2. Wo wird die Batterie schneller leer sein?

☐ Aufbau in Frage 1.

☐ Aufbau in Frage 2.

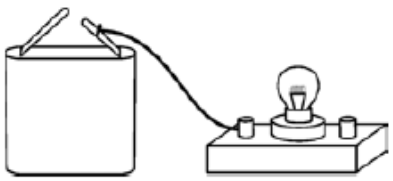
☐ In beiden Fällen wird die Batterie etwa gleich schnell leer.

4.) Ein Lämpchen ist an eine Batterie angeschlossen. Beginnt das Lämpchen bereits zu leuchten, bevor die ersten Ladungsträger (Elektronen) aus der Batterie zum Lämpchen geflossen sind?

☐ Ja, weil Ladungsträger im gesamten Stromkreis vorhanden sind.

☐ Nein, aber das passiert so schnell, dass wir es nicht merken.

5.) Ein Lämpchen ist mit nur einem Leiter an eine 4,5-Volt Batterie angeschlossen. Welche Aussagen sind wahr? (Es können mehrere Aussagen wahr sein.)



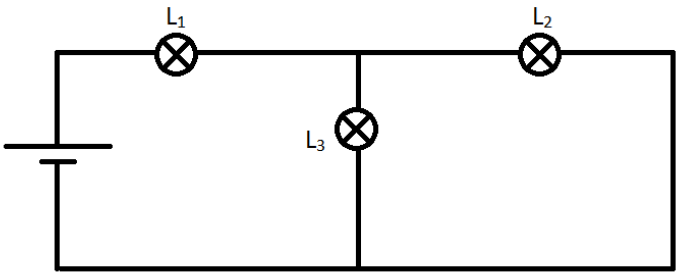
☐ Es fließt Strom, aber nur sehr kurz.

☐ Es fließt Strom, aber nicht genug, um das Lämpchen zum Leuchten zu bringen.

☐ Es fließt gar kein Strom.

☐ Es ist elektrische Spannung vorhanden.

6.) Welche Lämpchen in der Abbildung sind parallel geschalten?



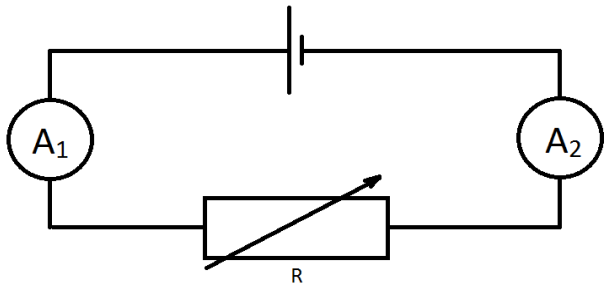
☐ L_1 und L_2

☐ L_1 und L_3

☐ L_2 und L_3

☐ Gar keine.

7.) Der Stromkreis in der Abbildung besteht aus zwei Amperemetern und einem regelbaren Widerstand. Beide Amperemeter zeigen die Stromstärke an. **Nun wird der Widerstand R vergrößert.**



a) Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A_1?

☐ Sie wird größer.

☐ Sie bleibt gleich.

☐ Sie wird kleiner.

b) Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A_2?

☐ Sie wird größer.

☐ Sie bleibt gleich.

☐ Sie wird kleiner.

c) Wie erklärst du deine Entscheidung?

☐ Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.

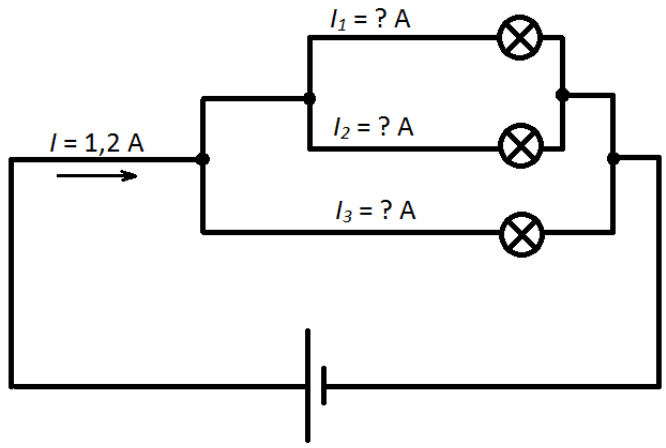
☐ Es ist dieselbe Batterie, daher liefert sie denselben Strom.

☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke überall im Stromkreis.

☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Sie beeinflusst daher den Strom vor dem Widerstand nicht.

☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Daher wird der Strom vor dem Widerstand größer.

8.) Bitte betrachte den folgenden Stromkreis und bestimme die Stromstärken I_1, I_2 und I_3. (Die Lämpchen sind alle gleich.)

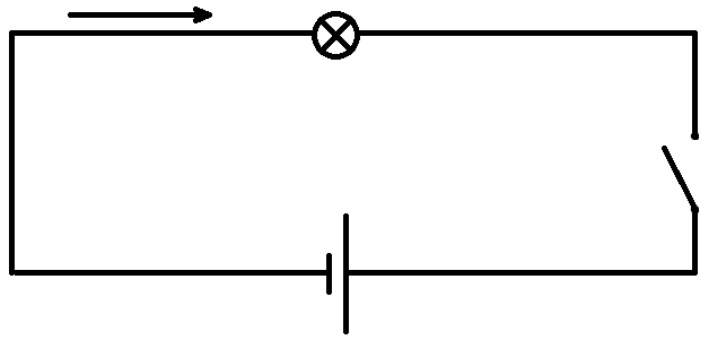


I_1 = _____ A

I_2 = _____ A

I_3 = _____ A

9.) Der Pfeil zeigt die Richtung an, in die sich die Ladungsträger (Elektronen) bewegen. Plötzlich wird der Stromkreis durch einem Schalter unterbrochen. Was passiert?



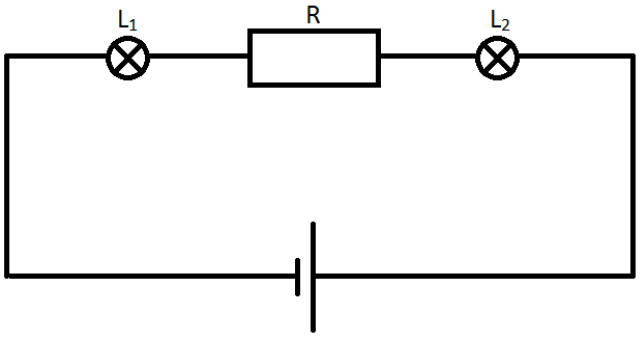
☐ Die Ladungsträger im Stromkreis fließen noch bis zur Lampe, danach fließt kein Strom mehr.

☐ Die Ladungsträger im Stromkreis fließen noch zum Schalter, danach fließt kein Strom mehr.

☐ Es fließt weiterhin Strom zur Lampe, aber nur mehr halb so viel.

☐ Es fließt kein Strom mehr.

10. a) Im Stromkreis rechts unten leuchten beide Lampen L1 und L2 mit gleicher Helligkeit. **Was passiert mit der Helligkeit der beiden Lampen L1 und L2, wenn der Widerstand R vergrößert wird?**



☐ L1 bleibt gleich hell, L2 leuchtet schwächer.

☐ L1 leuchtet schwächer, L2 bleibt gleich hell.

☐ L1 und L2 leuchten nun beide stärker.

☐ L1 und L2 leuchten nun beide schwächer.

☐ L1 und L2 leuchten gleich hell wie vorher.

10. b) Wie erklärst du deine Entscheidung?

☐ Der Widerstand beeinflusst nur die Lampe weiter hinten im Stromkreis.

☐ Die Änderung des Widerstandes hat keinen Einfluss auf die Stromstärke im gesamten Stromkreis.

☐ Die Spannungsquelle kann nicht mehr so viel Strom wie zuvor durch den Stromkreis treiben.

☐ Weil der Widerstand größer wird, fließt jetzt auch mehr Strom.

☐ Wegen dem größeren Widerstand, wird nun mehr Strom verbraucht.

☐ Die Stromstärke muss gleich bleiben, weil auch die Spannungsquelle nicht verändert wird.