

Ein Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells

Jan-Philipp Burde*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
burde@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Die Vorstellung vieler Schülerinnen und Schüler in der Sek. I von elektrischen Stromkreisen ist maßgeblich vom elektrischen Strombegriff geprägt, während die Spannung von vielen lediglich als Eigenschaft oder Bestandteil des Stroms wahrgenommen wird. Das Elektronengasmodell versucht den Schülern ein qualitatives Verständnis der Grundgrößen „Stromstärke“, „Widerstand“ und insbesondere der „Spannung“ zu vermitteln. Hierzu baut es auf den Erfolgen von Potenzialansätzen auf und setzt das elektrische Potenzial mit einem in Leitern herrschenden elektrischen Druck gleich. Aus didaktischer Sicht besteht die Hoffnung dabei darin, den elektrischen Druck mit dem intuitiven Luftdruckkonzept der Lernenden zu verknüpfen und die Spannung so als elektrischen Druckunterschied einzuführen. Aufbauend auf mit Hilfe von Akzeptanzbefragungen gewonnenen Erkenntnissen wurde ein neues Unterrichtskonzept inklusive passender Unterrichtsmaterialien für die Sek. I entwickelt, bei dem die elektrische Spannung eine zentrale Rolle spielt und noch vor dem Stromstärke- oder Widerstandsbegriff als elektrischer Druckunterschied eingeführt wird. Im Folgenden sollen die Grundzüge dieses Unterrichtskonzepts dargelegt und dessen geplante Evaluation in der Schulpraxis vorgestellt werden.

1. Die Spannung als schwierige physikalische Größe

Die elektrische Spannung stellt nicht nur eine wichtige physikalische Größe in unserem Alltag dar, sondern ist auch Voraussetzung für ein grundlegendes Verständnis elektrischer Stromkreise. Unglücklicherweise ist die elektrische Spannung aber eine vergleichsweise komplexe physikalische Größe, da sie die Differenz zweier Potenzialwerte darstellt und sich immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht. Aufgrund ihres Differenzcharakters ist sie somit schwieriger zu verstehen als das elektrische Potenzial, das einem Punkt bzw. einem Leiterabschnitt zugeordnet werden kann. Paradoxerweise wird von den Schülern aber insbesondere im Anfangsunterricht häufig erwartet, ein Verständnis für die Spannung zu entwickeln, ohne die dahinterstehende Größe selbst, nämlich das Potenzial, zu kennen, geschweige denn zu verstehen [1, S.477]. Es ist daher wenig verwunderlich, dass viele Schülerinnen und Schüler trotz intensiver unterrichtlicher Bemühungen auch nach der Sekundarstufe I kein eigenständiges Spannungskonzept besitzen. Stattdessen ist ihre Vorstellung von elektrischen Stromkreisen maßgeblich vom elektrischen Strombegriff geprägt, während die Spannung von ihnen lediglich als Eigenschaft oder Bestandteil des Stroms wahrgenommen wird [2]. Aus didaktischer Sicht ist dieser Zustand insbesondere deshalb problematisch, weil die elektrische Spannung nicht eine Eigenschaft, sondern die Ursache des elektrischen Stroms ist.

2. Das Elektronengasmodell als Potenzialansatz

In der bisherigen physikdidaktischen Forschung hat sich gezeigt, dass insbesondere solche Unterrichtskonzepte vergleichsweise lernförderlich sind, die auf dem elektrischen Potenzial aufbauen und dieses mit Hilfe eines Modells anschaulich visualisieren (wie beispielsweise der geschlossene Wasserkreislauf mit Doppelwassersäule [3, S.35] oder das Stäbchenmodell [4, S.70]). Im Sinne von Design-Based-Research [5] versucht das hier vorgeschlagene Unterrichtskonzept auf Grundlage des Elektronengasmodells an die Erfolge der bisherigen Potenzialansätze anzuknüpfen, indem das elektrische Potenzial mit dem Luftdruck bzw. dem „elektrischen Druck“ verglichen und noch vor der Stromstärke eingeführt wird. Einer der Vorteile des Konzepts besteht u.a. auch darin, dass im Gegensatz zu anderen Modellen, wie z.B. dem Münchener Stäbchenmodell [4], auch die Stromstärke veranschaulicht werden kann.

Aufgrund der Bedeutung einer bildhaft-anschauungsorientierten Vorstellung des Potenzials für den Lernerfolg wird der in den Leitern herrschende „elektrische Druck“ mit Hilfe eines intuitiven und an alltägliche Konventionen angelehnten Farbschemas direkt im Schaltplan dargestellt. Ziel ist es dann, an Alltagserfahrungen zum Luftdruck anzuschließen und in Analogie zu Luftdruckunterschieden und Luftströmungen die elektrische Spannung als „elektrischen Druckunterschied“ und Antrieb des elektrischen Stroms einzuführen. Dabei wird im gesamten Unterrichtskonzept besonderer

Wert darauf gelegt, dass die Schüler vor jeglicher Quantisierung zunächst ein qualitativ fundiertes Verständnis der für die Elektrizitätslehre grundlegenden Konzepte „Spannung“, „Stromstärke“ und „Widerstand“ entwickeln.

3. Das Unterrichtskonzept

3.1. Elektrostatik und Atomvorstellung

Sofern die Schüler aus ihrem bisherigen Unterricht keine Kenntnisse zur Elektrostatik mitbringen, werden zunächst die elektrostatische Kraftwirkung und ihre Abstandsabhängigkeit an einfachen Beispielen thematisiert. Mit Blick auf die für das Unterrichtskonzept zentrale Idee des Elektronengases sowie eine spätere mikroskopische Modellvorstellung des elektrischen Widerstands wird anschließend der atomare Aufbau von Metallen am Beispiel von Kupfer mit Hilfe von Atomrümpfen und Elektronen besprochen (siehe Abb. 1).

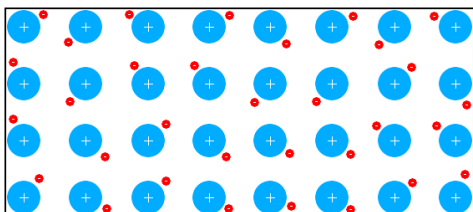


Abb.1: Modellvorstellung des atomaren Aufbaus von Kupfer mit Atomrümpfen (blau) und Elektronen (rot)

3.2. Luftströmungen durch Druckunterschiede

Als nächstes wird an die intuitive Luftdruckvorstellung der Schüler im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“ angeknüpft, um an bekannten Alltagsobjekten wie aufgeblasenen Fahrradreifen und in Schülerexperimenten zu klären, dass Luft immer von Bereichen höheren Drucks zu Bereichen niedrigeren Drucks strömt. Ergebnis sollte die Erkenntnis sein, dass Luftströmungen immer eine Folge von Druckunterschieden sind und dass zwischen den beiden Größen Druck und Druckunterschied konzeptionell unterschieden werden muss.

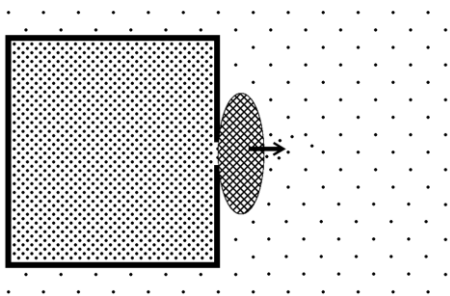


Abb.2: Die Luftströmung in Folge von Druckunterschieden wird durch einen (Stoff-) Widerstand behindert.

Abgeschlossen wird die Einheit mit einer Hinführung zur Widerstandsvorstellung, indem die Schülerinnen ein Stück Stoff (z.B. ein Schal, Kragen oder Ärmel) nehmen und Luft durch dieses blasen. Je

dicker das Stück Stoff dabei gefaltet wird, desto stärker ist die Hemmung bzw. Behinderung der Luftströmung (siehe Abb. 2). Die Hemmung bzw. Behinderung der Luftströmung durch den Stoff wird dann als Widerstand bezeichnet.

3.3. Batterie, Potenzial und Spannung

In dieser Einheit wird die Vorstellung vom Luftdruck auf den in Leitern herrschenden elektrischen Druck übertragen. Die Grundidee ist dabei, dass sich in Metallen Elektronen in Teilchenform befinden und sich dort frei bewegen können. Da die Elektronen negativ geladen sind, werden sie durch Abstoßung so weit wie möglich auseinandergetrieben, weshalb sie den ihnen zur Verfügung stehenden Raum im gesamten Leiter gleichmäßig ausfüllen. Im Leiter kommt es aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung der Elektronen zu einem von der Elektronendichte abhängigen elektrischen Druck (für eine fachliche Auseinandersetzung sei auf [6] verwiesen). Hierzu wird angenommen, dass am Minuspol einer Batterie ein Elektronenüberschuss besteht und am Pluspol ein Elektronenmangel. Am Minuspol und dem mit ihm verbundenen Leiterstück herrscht also ein elektrischer Überdruck, während am Pluspol und dem mit ihm verbundenen Leiterstück ein elektrischer Unterdruck herrscht.

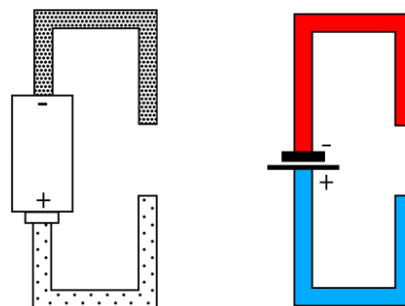


Abb.3: Punktgedichtdarstellung (links) und Farbdarstellung (rechts) des elektrischen Drucks

Während zum unmittelbaren Einstieg in die Diskussion von elektrischem Über- und Unterdruck auf die von den Luftdruckbeispielen bekannte Punktgedichtdarstellung zurückgegriffen wird, ist es aus didaktischen Gründen geschickter, von nun an den elektrischen Druck in Stromkreisen mit der Farbdarstellung zu visualisieren (siehe Abb. 3). So lässt sich der elektrische Druck mit Hilfe von Farbstiften nicht nur deutlich unkomplizierter einzeichnen, sondern es entfällt auch eine für Schüler potenziell schwierige Unterscheidung zwischen Stromstärke und Strömungsgeschwindigkeit der Elektronen vor und nach Widerständen. Im Gegensatz zur häufig unsystematischen Farbwahl bei bisherigen Konzepten, liegt dem hier verwendeten Farbschema eine Systematik zugrunde, die den Schülern aus ihrem Alltag vertraut sein sollte. Ein hoher elektrischer Druck wird daher in Rot und ein niedriger elektrischer Druck in Blau dargestellt, da entsprechend der Konvention z.B. auch bei Wetterberichten hohe Temperaturen meist

in Rot und niedrige Temperaturen meist in Blau dargestellt werden.

Um das konzeptionelle Verständnis des Potenzial- und Spannungsbegriffs nicht unnötig zu erschweren, wird das Potenzial zunächst als „elektrischer Druck“ und die Spannung als „elektrischer Druckunterschied“ eingeführt. Der Vorteil dieser Begriffswahl liegt darin, dass die konzeptionelle Nähe zur Luftdruckeinheit betont wird und die Schüler nicht mit wenig aussagekräftigen Fachbegriffen operieren müssen. Um ferner Fehlvorstellungen zu vermeiden, wird der Begriff der „Intensität der Elektronenströmung“ statt der „Stromstärke“ verwendet, da so der Teilchen- und Strömungscharakter betont wird.

Nach der Einführung von elektrischem Druck und elektrischem Druckunterschied wird anschließend an verschiedenen offenen Schaltungen und Alltagsbeispielen (Batterie, Steckdose und Hochspannungsleitung) der Unterschied zwischen diesen beiden Größen konzeptionell weiter ausdifferenziert. Dabei wird auch immer wieder betont, dass der elektrische Druck in den Leitern ausschließlich von der Spannungsquelle bestimmt wird und nicht von der Länge oder Abmessung der Leiter abhängt. Da keine absoluten Werte für das elektrische Potenzial eingeführt werden, wird auf eine explizite Diskussion der Erdung eines Leiterabschnittes im Rahmen der Elementarisierung bewusst verzichtet.

3.4. Der elektrische Strom und Widerstand

Nachdem die Vorstellung vom elektrischen Druck am Beispiel offener Schaltungen ohne Stromfluss etabliert wurde, werden die elektrischen Druckunterschiede analog zur vorherigen Betrachtung von Luftdruckunterschieden nun als Ursache für Elektronenströmungen in Stromkreisen eingeführt. Hierzu wird an einem einfachen Stromkreis bestehend aus Batterie und Lämpchen besprochen, dass in Folge des am Lämpchen anliegenden elektrischen Druckunterschieds Elektronen durch das Lämpchen strömen und dieses zum Leuchten bringen. Die Höhe des elektrischen Drucks wird dabei mit Hilfe unterschiedlicher Farbtintensitäten visualisiert. Hierbei gilt, dass der Druck bzw. das Potenzial umso höher ist, je intensiver das Rot ist, bzw. umso niedriger ist, desto intensiver das Blau ist (siehe Abb. 4).

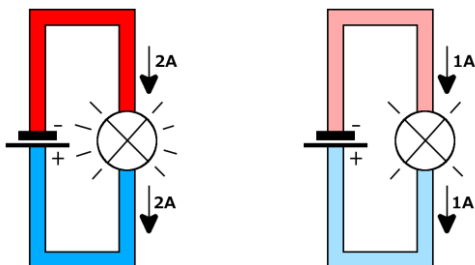


Abb.4: Umso größer die Spannung (elektrischer Druckunterschied), desto größer die Stromstärke (Elektronenströmung)

In Anlehnung an das in der Luftdruckeinheit erworbene Widerstandskonzept wird den Schülern anschließend eine qualitative Vorstellung des elektrischen Widerstands vermittelt und sein Einfluss auf die Elektronenströmung diskutiert. Dabei wird zunächst rein phänomenologisch argumentiert, dass ein elektrischer Widerstand die Elektronenströmung genauso behindert, wie ein Stück Stoff eine Luftströmung behindert. Im Schaltbild wird die Höhe des elektrischen Widerstandswertes bei Lämpchen über die Dicke des Kreuzes und die Leuchtstärke der Lämpchen über die Anzahl der symbolischen Lichtstrahlen dargestellt (siehe Abb. 5).

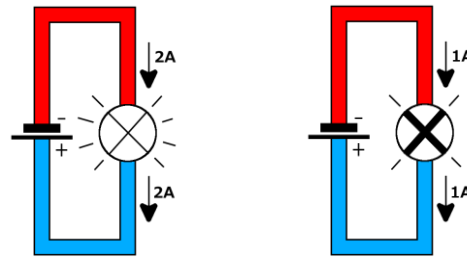


Abb.5: Umso größer der elektrische Widerstand, desto kleiner die Stromstärke. Das dickere Kreuz steht hier für ein Lämpchen mit doppelt so großem Widerstand.

Für jedes Elektron, das vom elektrischen Überdruck durch das Lämpchen zum elektrischen Unterdruck strömt, pumpt die Batterie ein anderes Elektronen vom Unterdruck in den Bereich des Überdrucks, weshalb der am Lämpchen anliegende Druckunterschied konstant bleibt und nicht abnimmt. Die Stromstärke selber wird als „Intensität der Elektronenströmung“ bezeichnet, da so einerseits eine Assoziation von „Stärke“ mit dem alltäglichen Kraftbegriff (und evtl. Druckbegriff) vermieden und andererseits das Formelzeichen I (für Intensität) leichter verständlich wird. Im Anschluss wird der Einfluss der Spannung auf die Stromstärke sowie vom Widerstand auf die Stromstärke halb-quantitativ über je-desto-Beziehungen erarbeitet. Dabei ist das Ziel, bei den Schülern ein qualitatives Verständnis der Wirkzusammenhänge im Stromkreis zu erreichen, wonach die Spannung die Elektronenströmung kausal bewirkt und der Widerstand diese lediglich beeinflusst (siehe Abb. 6).

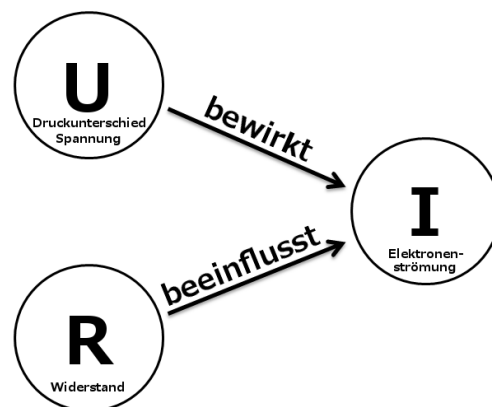


Abb.6: Wirkungszusammenhang zwischen U, R und I

Die bisher rein qualitative Vorstellung des elektrischen Widerstands wird anschließend um ein mikroskopisches Widerstandsmodell auf Basis der zu Beginn eingeführten Atomvorstellung ergänzt. Ziel hierbei ist es, den Schülern in Anlehnung an das Drude-Modell [7, S.789f] ein besseres Verständnis diverser elektrischer Leitungsvorgänge zu ermöglichen. Ideale Leiter werden beispielsweise damit erklärt, dass die Atomrümpfe in einem solchen Material sehr gleichmäßig angeordnet sind und die Elektronen daher nahezu ungestört strömen können (siehe Abb. 7).

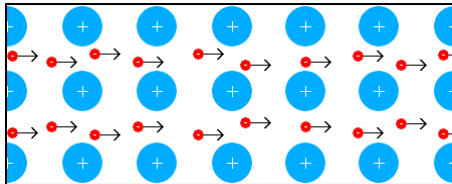


Abb.7: Mikroskopisches Modell eines idealen Leiters

Isolatoren können mit Hilfe des Modells damit erklärt werden, dass die Elektronen aufgrund der Materialeigenschaften fest an den Atomrümpfen hängen und es daher nicht zu einer Elektronenströmung kommen kann. Der nicht zu vernachlässigende elektrische Widerstand einiger Materialien kann im Modell damit erklärt werden, dass es in Folge der ungleichmäßigen Anordnung der Atomrümpfe häufig zu Kollisionen zwischen diesen und den strömenden Elektronen kommt (siehe Abb. 8), weshalb die Elektronenströmung insgesamt verlangsamt wird.

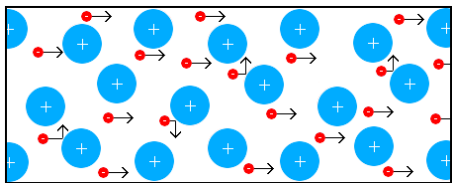


Abb.8: Mikroskopisches Modell des elektrischen Widerstands

In ähnlicher Weise kann den Schülern mit dem Modell auch der Einfluss der Temperatur, des Leiterquerschnitts und der Leiterlänge auf den elektrischen Widerstand vermittelt werden.

3.5. Die Parallelschaltung

Zum Einstieg in das Thema „Parallelschaltungen“ wird zunächst ein einfacherer Stromkreis bestehend aus einer Batterie und einem Lämpchen betrachtet (Schaltung 1). Anschließend wird ein zweites identisches Lämpchen parallel zum ersten geschaltet (Schaltung 2). Nun muss herausgearbeitet werden, dass eine (ideale) Batterie die elektrischen Drücke in den mit ihren Polen direkt verbundenen Leitern konstant hält – unabhängig von deren Länge oder der Anzahl der parallelgeschalteten Lämpchen. Wie in Abbildung 9 zu sehen, lässt sich nun mit Hilfe der Farbdarstellung leicht zeigen, dass an beiden Lämpchen der gleiche elektrische Druckunterschied wie zuvor anliegt. Da es sich um identische Lämpchen handelt, muss die Intensität der Elektronenströmung

daher durch jede der beiden Lämpchen in Schaltung 2 genauso groß sein wie durch das Lämpchen in Schaltung 1. Insgesamt hat sich die Intensität der Elektronenströmung also im Vergleich zu Schaltung 1 in den direkt mit den Polen der Batterie verbundenen Leiterstücken verdoppelt, weshalb die Batterie entsprechend mehr Elektronen pro Zeit vom Plus zum Minuspol „pumpen“ muss und deshalb schneller „erschöpft“ ist.

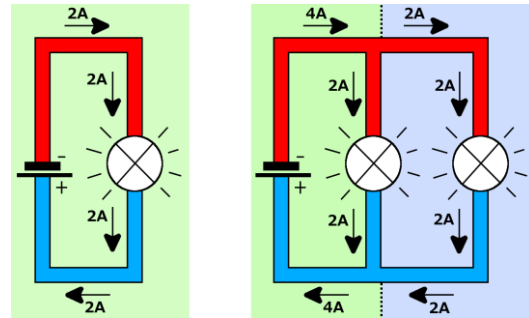


Abb.9: Einfacher Stromkreis mit einem Lämpchen (Schaltung 1, links). Parallelschaltung eines weiteren identischen Lämpchens (Schaltung 2, rechts).

Parallelschaltungen eignen sich im Elektronengasmodell hervorragend zur weiteren Festigung und konzeptionellen Ausdifferenzierung der grundlegenden Größen „elektrischer Druck“, „elektrischer Druckunterschied“ und „Intensität der Elektronenströmung“. Insbesondere lernen Schüler Stromkreise immer nur ausgehend von elektrischen Druckunterschieden und nicht aus Sicht der Elektronenströmung zu analysieren. Darüber hinaus wird das Konzept der Batterie als Quelle konstanter Spannung statt konstanten Stroms weiter vertieft und eine einfache Regel zur Identifikation von Parallelschaltungen formuliert: „Zwei Lämpchen sind dann parallel geschaltet, wenn an ihren Seiten jeweils die gleichen Farben (= elektrischen Drücke) anliegen“. Wie in Abbildung 10 zu sehen, lässt sich mit Hilfe dieser Regel auch bei verhältnismäßig komplexen Parallelschaltungen alleine durch das Einzeichnen der elektrischen Drücke mit Hilfe der Farbdarstellung leicht ein Überblick über die parallelgeschalteten Lämpchen gewinnen.

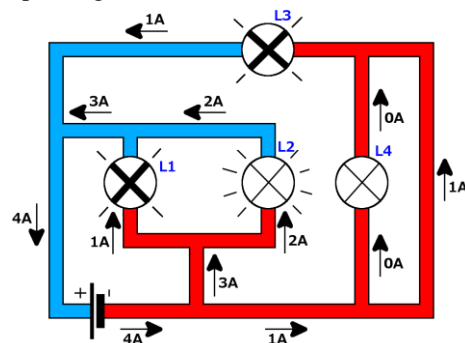


Abb.10: Das farbliche Einzeichnen der elektrischen Drücke ermöglicht den Schülern auch bei verhältnismäßig komplexen Schaltungen die leichte Identifikation parallelgeschalteter Lämpchen.

3.6. Der Kondensator

Um ihnen das Verständnis von Reihenschaltungen zu erleichtern, werden die Schüler am Beispiel von Lade- und Entladevorgängen von Kondensatoren zunächst an eine dynamische Modellvorstellung herangeführt. Dabei sollen sie mit Hilfe von Anfangs-, Übergangs- und Endzuständen schrittweise nachzuvollziehen können, wie sich die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten einstellen, bis der Endzustand erreicht ist.

Im Anfangszustand herrscht dabei in allen Leiterabschnitten ein elektrischer Normaldruck (gelb), da noch keine Batterie angeschlossen wurde und sich daher in Abschnitten A, B, C und D noch normale Elektronen befinden (siehe Abb. 11 links). Unmittelbar nach Anschluss der Batterie stellt sich in Abschnitt A ein elektrischer Überdruck und in Abschnitt C ein elektrischer Unterdruck ein, während in Abschnitten B und D weiterhin ein elektrischer Normaldruck herrscht, da zu diesem Zeitpunkt gedacht noch keine Elektronen durch die Lämpchen geströmt sind (Übergangszustand, siehe Abb. 11 Mitte). In Folge des nun an den Lämpchen anliegenden elektrischen Druckunterschieds kommt es solange zu einer Elektronenströmung durch die Lämpchen, bis sich die elektrischen Drücke jeweils angeglichen haben und nicht mehr verändern (Endzustand, siehe Abb. 11 rechts).

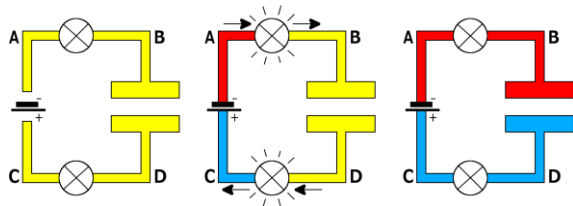


Abb.11: Hinführung zur dynamischen Modellvorstellung am Beispiel des Ladevorgangs eines Kondensators. Links: Anfangszustand. Mitte: Übergangszustand. Rechts: Endzustand.

Experimentell können die unterschiedlichen Zustände an einem Kondensator mit einer Kapazität von $20.000 \mu\text{F}$ in Kombination mit zwei Lämpchen von 6 V und $0,05 \text{ A}$ und einer 12 V -Gleichspannungsquelle demonstriert und diskutiert werden. Hierbei kann mit Hilfe von elektrischen Druckunterschieden analysiert werden, warum die Lämpchen während des Übergangszustands zunächst hell und dann immer schwächer leuchten. Anschließend sollte zur Entkräftigung der Stromaussendevorstellung ebenfalls auf die Frage eingegangen werden, warum beim Ladevorgang auch das untere Lämpchen anfängt zu leuchten.

3.7. Die Reihenschaltung

Während man sich in der einfachen Elektrizitätslehre in der Regel lediglich für den stationären Gleichgewichtszustand interessiert, also den Zustand, in dem sich Stromstärke und Spannung zeitlich nicht mehr ändern, werden Reihenschaltungen im Elekt-

ronengasmodell mit Hilfe der bei den Kondensatoren bereits eingeführten dynamischen Modellvorstellung analysiert. Die Grundidee ist dabei, dass sich die elektrischen Drücke und Elektronenströmungen in Reihenschaltungen zwar äußerst schnell einstellen, der stationäre Gleichgewichtszustand (hier Endzustand genannt) jedoch nur schrittweise über sogenannte Übergangszustände erreicht wird.

Bei einer Reihenschaltung von zwei unterschiedlichen Lämpchen herrscht im Anfangszustand, d.h. so lange der Stromkreis noch nicht mit der Batterie verbunden ist, in allen Abschnitten des Stromkreises ein elektrischer Normaldruck (gelb) (siehe Abb. 12 links). Sobald der Stromkreis dann mit den Polen der Batterie verbunden wird, stellen sich zunächst ein elektrischer Überdruck (rot) im Leiterstück bis zum oberen Lämpchen und ein elektrischer Unterdruck (blau) im Leiterstück bis zum unteren Lämpchen ein (siehe Abb. 12 Mitte). Im mittleren Leiterabschnitt zwischen den beiden Lämpchen herrscht noch ein elektrischer Normaldruck (gelb), weil gedacht noch keine Elektronen durch die Lämpchen geströmt sind (Übergangszustand). Da nun an beiden Lämpchen die gleichen elektrischen Druckunterschiede anliegen, der Widerstand am oberen Lämpchen aber doppelt so groß ist wie am unteren, strömen weniger Elektronen von oben in den mittleren Leiterabschnitt rein als Elektronen durch das untere Lämpchen mit dem geringeren Widerstand rausströmen. In Folge sinkt der elektrische Druck im mittleren Leiterabschnitt so lange (gelb \rightarrow hellblau), bis der elektrische Druckunterschied über dem oberen Lämpchen so groß ist, dass die Intensität der Elektronenströmung durch beide Lämpchen exakt gleich groß ist. Da sich jetzt sowohl die elektrischen Drücke als auch die Elektronenströmungen nicht mehr ändern, ist der Endzustand erreicht (siehe Abb. 12 rechts).

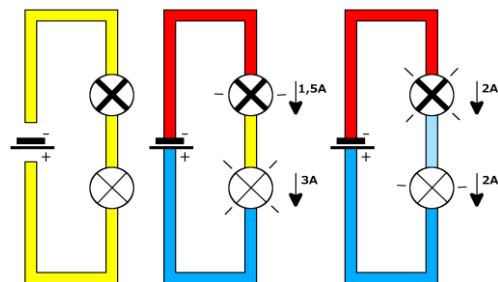


Abb.12: Analyse einer Reihenschaltung mit Hilfe der dynamischen Modellvorstellung. Links: Anfangszustand. Mitte: Übergangszustand. Rechts: Endzustand.

Mit Hilfe dieser Argumentation ist leicht nachzuvollziehen, warum sich in Reihenschaltungen an größeren Widerständen auch größere Druckunterschiede (= Spannungen) einstellen müssen. Allgemein kann die abnehmende Intensität der Elektronenströmung bei einer zunehmenden Anzahl von Widerständen im Elektronengasmodell damit erklärt werden, dass sich der von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied bei Reihenschaltungen auf immer mehr Widerstände aufteilen muss.

3.8. Messung und Berechnung von Stromstärke, Spannung und Widerstand

Nachdem die Schüler nun ein fundiertes konzeptionelles Verständnis der grundlegenden Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand besitzen, wird im nächsten Schritt die Anschlussbedingung von Volt- und Amperemetern erarbeitet, um auch quantitative Messungen vornehmen zu können. Auch wenn ab diesem Kapitel die sonst in der Physik übliche Schaltbilddarstellung mit einzelnen Leiterbahnen verwendet wird, erscheint eine dreidimensionale Darstellung von Messgeräten in Schaltplänen sinnvoll, um sie visuell klar vom restlichen Stromkreis abzugrenzen (siehe Abb. 13).

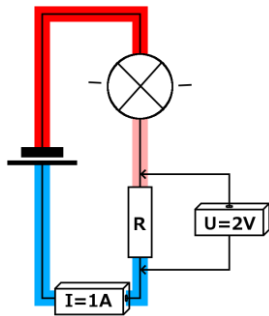


Abb.13: Darstellung der Anschlussbedingungen von Volt- und Amperemetern in einem einfachen Stromkreis

Um ferner die Anschlussfähigkeit der vermittelten Konzepte zu gewährleisten, werden in diesem Teil des Unterrichtskonzepts vermehrt die physikalisch korrekten Fachtermini „Stromstärke“ und „Spannung“ statt „Intensität der Elektronenströmung“ und „elektrischer Druckunterschied“ genutzt. Entsprechend der Widerstandsdefinition $R := U / I$ kommt es dann auch zu einer Quantifizierung des elektrischen Widerstands, wobei der Widerstandswert R interpretiert wird als Maß für den elektrischen Druckunterschied, der nötig ist, um eine Elektronenströmung von 1 A durch den Widerstand zu verursachen. Bei den meisten Widerständen steigt dieser Widerstandswert mit zunehmender Stromstärke an. Im Unterrichtskonzept wird der Sonderstatus des Ohm'schen Gesetzes, d.h. die Konstanz des Widerstandwertes bei manchen Materialien, deshalb gegen Ende explizit thematisiert.

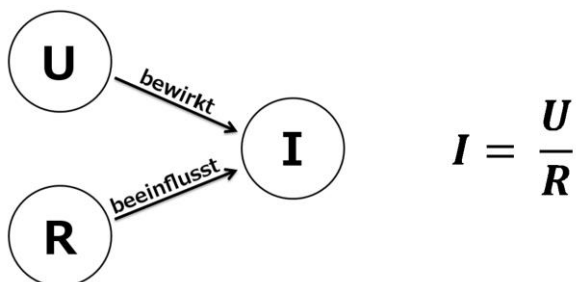


Abb.14: Übergang von einem qualitativen (links) zu einem quantitativen (rechts) Zusammenhang der grundlegenden physikalischen Größen I , U und R

In einem letzten Schritt wird dann der den Schülern bereits bekannte qualitative Wirkungszusammenhang, wonach die Spannung die Elektronenströmung kausal bewirkt und der Widerstand diese lediglich beeinflusst, wieder aufgegriffen und in die quantifizierte Form $I = U / R$ gebracht (siehe Abb. 14).

4. Geplante Evaluation

Nach der Entwicklung des Unterrichtskonzepts auf Grundlage der mit Hilfe von Teaching Experiments gewonnenen Erkenntnissen [8] wird das Unterrichtskonzept nun in der Schulpraxis evaluiert. Zu diesem Zweck wird mit Hilfe eines Treatment-Kontrollgruppen-Designs der Lernfortschritt von traditionell unterrichteten Klassen mit dem Lernfortschritt von Klassen verglichen, die nach dem neuen Unterrichtskonzept auf Grundlage des Elektronengasmodells unterrichtet wurden. Hierzu wird im Rahmen eines Pre-Post-Designs der zweistufige Multiple-Choice-Test von Urban-Woldron mit Ergänzungen verwendet, der eine detaillierte Erhebung des Schülerverständnisses von Basiskonzepten zum elektrischen Stromkreis erlaubt. Der Vorteil dieses Testinstruments besteht darin, dass er einerseits psychometrisch ausgereift ist, andererseits aber auch die Diagnose von typischen Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre erlaubt [9, S.224]. Darüber hinaus findet eine qualitative Befragung der an der Studie teilnehmenden Lehrerinnen und Lehrer statt, um auch einen Einblick in ihre in der Praxis gewonnenen Erfahrungen zu gewinnen und das Unterrichtskonzept auf diese Weise noch umfassender evaluieren zu können.

5. Literatur

- [1] Herrmann, F.; Schmälzle, P. (1984). Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: MNU 37 (1984) 8, S.476-482.
- [2] Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand, Naturwissenschaften im Unterricht-Physik, 34 (1986) 13, S.108-112.
- [3] Schwedes, H.; Dudeck, W.-G.; Seibel, C. (1995). Elektrizitätslehre mit Wassermodellen, Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 44 (1995) 2, S.28-36.
- [4] Gleixner, C. (1998). Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial, Dissertation LMU München.
- [5] Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2011). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht, Jahrestagung der GDGP in Oldenburg 2011, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 32, Lit-Verlag, Münster, 2012, S.31-47.

- [6] Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Wiesner, H. (2014). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. In: PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Frankfurt 2014, www.phydid.de
- [7] Vogel, H. (1999). Gerthsen Physik, 20. Auflage. Berlin: Springer.
- [8] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2015). Akzeptanzbefragung zum Elektronengasmodell. In: PhyDid B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Wuppertal 2015, www.phydid.de
- [9] Urban-Woldron, H.; Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. In: ZfDN, 18, S.201-227.