

Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell

Wolfgang Lutz*, Jan-Philipp Burde⁺, Thomas Wilhelm^o, Thomas Trefzger*

*Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Julius-Maximilians-Universität Würzburg,

⁺AG Didaktik der Physik, Eberhard-Karls-Universität Tübingen,

^oInstitut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt

wolfgang.lutz@physik.uni-wuerzburg.de

Kurzfassung

In der Studie von Burde (2018) führte das Elektronengasmodell bei Schülerinnen und Schülern zu einem besseren Verständnis der Grundgrößen U , I und R und deren Wechselbeziehungen. Dabei wurden zur Entwicklung der Modellvorstellung ikonische und symbolische Darstellungen genutzt. Dieser Ansatz wurde im Rahmen der hier beschriebenen Arbeit durch selbstentwickelte realitätsnahe Animationen und durch die Integration von Demonstrations- und Schülerexperimenten weiterentwickelt. Auf diese Weise ist ein neues Unterrichtskonzept entstanden, in dem der Erwerb experimenteller Kompetenz bei einer gleichzeitigen Förderung des Verständnisses von Begriffen und Prinzipien im Mittelpunkt stehen.

Die für den traditionellen Unterricht konzipierten Lerneinheiten wurden zusätzlich videographiert und können auch im Sinne eines Flipped Classrooms eingesetzt werden. Die Wirksamkeit beider Unterrichtsmethoden mit den Schwerpunkten konzeptionelles Verständnis und experimentelle Kompetenz soll mit einer Vergleichsstudie empirisch erfasst werden.

Im Beitrag werden die entwickelten Materialien exemplarisch vorgestellt und ein Ausblick auf das geplante Studiendesign gegeben.

1. Unterrichtskonzepte zum Elektronengasmodell

1.1. Das Frankfurter Unterrichtskonzept

In der Sekundarstufe I stellt die Elektrizitätslehre viele Schülerinnen und Schüler (im Folgenden abgekürzt mit SuS) vor große Verständnisprobleme. Insbesondere können die physikalischen Begriffe Stromstärke und Spannung konzeptionell häufig nicht eindeutig voneinander separiert werden, was die Ausprägung der Schülervorstellung, die Spannung sei eine Eigenschaft des elektrischen Stroms, fördert [1]. Zusätzlich wird dieses Fehlkonzept in vielen Lehrplänen und Schulbüchern durch die Thematisierung der Stromstärke zeitlich vor dem Spannungsbegriff begünstigt.

Im Frankfurter Unterrichtskonzept wird vor der Einführung des Strombegriffs erst der Erwerb eines eigenständigen Spannungskonzepts, aufbauend auf der Analogie von Luftdruckunterschieden, intendiert. Durch die Einführung elektrischer Drücke und einer vorgegebenen Farbkodierung lassen sich elektrische Potenziale in offenen Stromkreisen veranschaulichen und die Spannung als elektrische Druckdifferenz einführen. Ziel dieses Vorgehens ist eine Verankerung der elektrischen Spannung als Primärkonzept zur Analyse von Stromkreisen [1, 2]. Die Ursache für eine Elektronenströmung wird stets auf einen elektrischen Druckunterschied zurückgeführt, so wie in der Analogie Luftdruckunterschiede eine Luftströmung bewirken. Eine detaillierte Beschreibung des ursprünglichen Unterrichtskonzepts zur Elektrizitätslehre findet sich in [3].

1.2. Re-Design des Unterrichtskonzepts

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Studie von Burde [4], theoretischen Überlegungen und unterrichtspraktischen Erfahrungen erfolgte im Rahmen des Projektes „Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten (EPo-EKo)“ ein Re-Design des Unterrichtskonzepts. Eine detaillierte Beschreibung der Veränderungen an dem ursprünglichen Unterrichtskonzept findet sich in [5].

Das neu entwickelte Unterrichtskonzept wurde in Form eines schulbuchartigen Dokuments transkribiert und umfasst ausführliche Erklärungen mit ikonischen und symbolischen Darstellungen sowie vielfältige Übungsaufgaben zu den jeweiligen Lerninhalten in insgesamt zehn Kapiteln (siehe Abb. 1).

- 1) Energieübertragung mit Hilfe von Stromkreisen
- 2) Luftströmungen in Folge von Druckunterschieden
- 3) Der elektrische Druck
- 4) Der elektrische Druckunterschied
- 5) Der elektrische Stromkreis
- 6) Der elektrische Widerstand
- 7) Die Parallelschaltung
- 8) Die Reihenschaltung
- 9) Das Ohm'sche Gesetz
- 10) Übungen zur Wiederholung und Vertiefung

Abb. 1: Kapitelübersicht des überarbeiteten Unterrichtskonzepts

1.3. Farbkodierung elektrischer Potenziale

Im ursprünglich entwickelten Unterrichtskonzept sowie auch im Re-Design wurden zur Kennzeich-

nung eines elektrischen Über-, Unter- bzw. Normaldrucks in einem Schaltplan die drei Farben rot, blau und gelb eingesetzt (siehe Abb. 2). Durch die Variation der Farbsättigung konnten unterschiedlich hohe Potenziale akzentuiert werden.

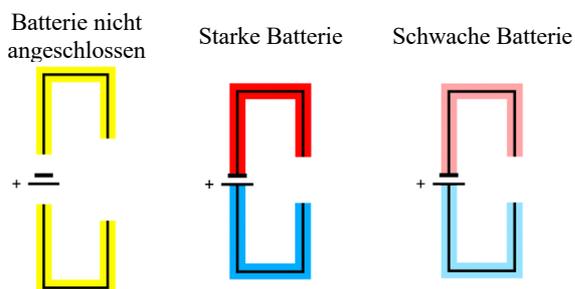


Abb. 2: Farbkodierung im Frankfurter Unterrichtskonzept und im Re-Design

Die Farbwahl erscheint im ersten Moment intuitiv, da sie Alltagserfahrungen widerspiegelt, in denen z. B. niedrige Temperaturen blau und hohe Temperaturen rot dargestellt werden. Allerdings widerspricht sie der in der Physik üblichen Konvention, die Anschlussbuchsen einer Gleichspannungsquelle (siehe Abb. 3) komplementär einzufärben (Minuspol blau, Pluspol rot).

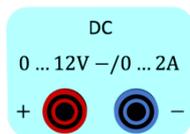


Abb. 3: Anschlussbuchsen einer Gleichspannungsquelle

Dieser Konflikt wurde von einigen Lehrkräften kritisch gesehen und führte im Re-Design zu einer ergänzenden Diskussion über die technische und physikalische Stromrichtung. Dennoch kann diese Diskussion bei den Lernenden zu einem kognitiven Konflikt führen, da die Farbdarstellung eventuell inkonsistent wirkt.

Bei der im Folgenden vorgestellten Würzburger Variante wird die Farbgebung für den Unter- und Überdruck vertauscht, um den angesprochenen Konflikt zu vermeiden und so eine Kontinuität innerhalb der Unterrichtssequenz zu gewährleisten. Die Einführung der Farbkodierung erfolgt anhand zweier Experimente zum Luftdruck, bei denen die Skalen der Manometer mit der gewählten Farbskala überlagert werden (siehe Abb. 4). Diese Kopplung aus Zeigerdiagramm und Farbdarstellung wird später auch auf die Darstellung elektrischer Drücke übertragen, so dass nicht nur durch die Farbsättigung, sondern auch durch den Ausschlag des Zeigers unterschiedlich hohe Potenziale visualisiert werden können.

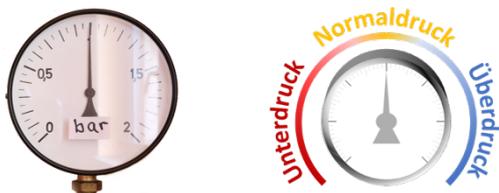


Abb. 4: Farbkodierung in der Würzburger Variante

2. Die Würzburger Variante

Aufbauend auf dem Re-Design zum Elektronengasmodell wurde in einer Kooperation zwischen den Universitäten Würzburg, Frankfurt und Tübingen ein neues Unterrichtskonzept mit digitalen Materialien und einer experimentellen Orientierung entwickelt, dass sich sowohl für den Einsatz im herkömmlichen Unterricht als auch für eine Umsetzung im Sinne eines Flipped Classrooms eignet. Im Folgenden werden zunächst die Veränderungen gegenüber dem Re-Design vorgestellt und anschließend dargestellt, wie sich die Materialien in der interaktiven Lehr- und Lernplattform tet.folio der Freien Universität Berlin integrieren lassen und welche zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten daraus resultieren.

2.1. Darstellung dynamischer Prozesse durch Animationen

Im bisherigen Unterrichtskonzept wurden zweidimensionale piktogrammartige Darstellungen genutzt, um die Theorie in ein bildhaft orientiertes Notationssystem zu übertragen und so den Lernprozess zu unterstützen [6]. Diese Form der Darstellung wird häufig in Schulbüchern gewählt, um Sachverhalte zu verdeutlichen. Die Nachteile von statischen Abbildungen zeigen sich insbesondere dann, wenn ein dynamischer Prozess (z.B. die Elektronenströmung) veranschaulicht und interpretiert werden soll, da mit ihnen immer nur eine Momentansituation aufgearbeitet werden kann und nicht der Ablauf an sich [7].

So werden im Re-Design beispielsweise für die Einstellung der elektrischen Drücke in den mit den Polen einer Batterie verbundenen Leiterstücken lediglich der Zustand vor und der Zustand nach Kontakt mit der Batterie abgebildet (siehe Abb. 5). In Anknüpfung an den Luftdruck sind die Bereiche mit einem Über-, Unter- oder Normaldruck durch eine entsprechende Elektronendichte und nach der vorgestellten Farbkodierung im Schaltplan gekennzeichnet. Der Prozess, wie sich die jeweiligen elektrischen Drücke einstellen, wird jedoch nicht dargestellt, sondern nur theoretisch beschrieben. Die Interpretation des Sachverhaltes muss dann durch den Lernenden erfolgen.

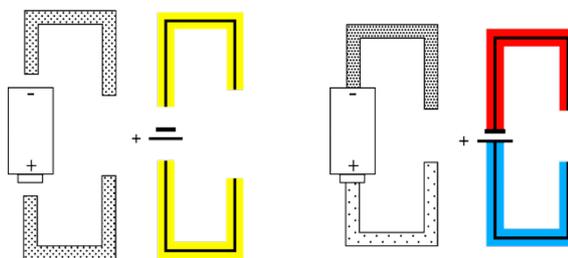


Abb. 5: „Elektrische Drücke“ in Leiterstücken, die nicht mit der Batterie verbunden sind (links) bzw. mit der Batterie verbunden sind (rechts).

In der Würzburger Variante werden Animationen genutzt, um die zeitliche Veränderung physikalischer Größen im Rahmen einer Modellvorstellung in

dynamisch ikonischen Repräsentationen zu veranschaulichen und so den Aufbau qualitativer Vorstellungen zu begünstigen [8]. Durch die Reduktion auf die wesentlichen Informationen soll der cognitive load reduziert werden, um das Arbeitsgedächtnis zu entlasten und die Informationsverarbeitung zu erleichtern. Innerhalb der Animationen wird auf eine gleichzeitige Darbietung der elektrischen Drücke und der Elektronenströmung geachtet, um den Zusammenhang beider Größen in Beziehung zu setzen. Die Darstellung der elektrischen Drücke erfolgt auf drei Arten, wie das aus dem Re-Design übertragene Beispiel zeigt (siehe Abb. 6 a): Durch die farbliche Akzentuierung der Kabel, durch den Zeigerausschlag an einer Skala, die einem Manometer gleicht und durch die Elektronendichte. Durch den synchronen Einsatz der drei Kodierungssysteme, die sich aus dem vorausgehenden Kapitel zum Luftdruck ableiten, wird den Lernenden eine Anknüpfungsmöglichkeit geboten, um die bislang unbekannte Größe des elektrischen Drucks auf eine vertraute bildliche Darstellung zurückzuführen. Außerdem kann diese Art der Darstellung dabei helfen, Verständnisschwierigkeiten abzubauen und Fehlvorstellungen zu überwinden [8].

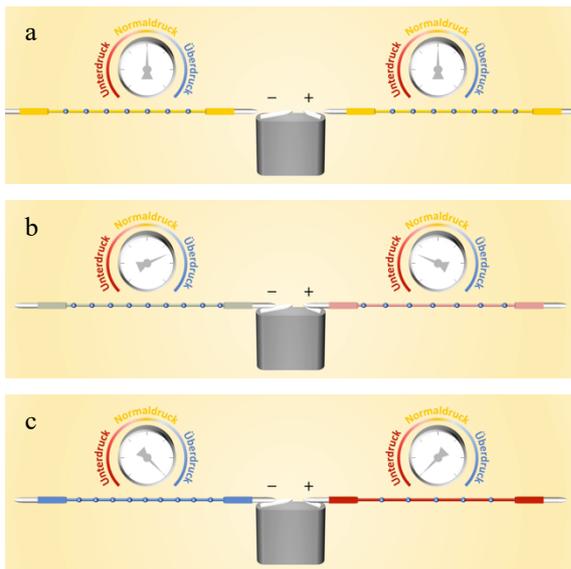


Abb. 6: Prozess der Druckeinstellung in Leiterstücken (Würzburger Variante)

In der Animation, die der Abbildung 6 zugrunde liegt, wird dargestellt, wie sich die elektrischen Drücke in den beiden offenen Leiterabschnitten ändern, sobald die Kabel die Pole der Batterie berühren (siehe Abb. 6 b). Die Kabel verfärbt sich dabei langsam von gelb nach blau bzw. rot und der Zeiger schlägt nach rechts bzw. links aus. Gleichzeitig strömen Elektronen aus dem Leiterstück, das mit dem Pluspol verbunden ist bzw. in das Leiterstück, das mit dem Minuspol verbunden ist und die Abstände zwischen den Elektronen verändern sich. Besitzen die Kabel die gleichen elektrischen Drücke wie die Pole der Batterie, an denen sie angeschlos-

sen sind (siehe Abb. 6 c), stoppt der Vorgang und die Elektronen kommen zur Ruhe.

Der langsame Ablauf der Animation begünstigt auf der einen Seite die Entwicklung der Modellvorstellung, könnte auf der anderen Seite aber den Eindruck erwecken, dass der Prozess der Druckanpassung langsam abläuft. Um diese Assoziation zu revidieren, ist eine experimentelle Untersuchung des Sachverhaltes vorgesehen. Dazu muss der Versuchsaufbau modifiziert werden. Die Batterie wird durch eine Hochspannungsquelle (max. 0,5 mA, max. 200 mJ) mit zwei bereits angeschlossenen Kabeln ausgetauscht, an deren Enden sich kleine Konduktorkugeln befinden. Zur Visualisierung der Elektronenströmung werden an die nicht mit der Spannungsquelle verbundenen Kabel zwei Glühlämpchen und ebenfalls Konduktorkugeln angeschlossen (siehe Abb. 7 a). Mit zwei an Isolatoren befestigten Metallplättchen lässt sich eine Verbindung zwischen Hochspannungsquelle und Glühlämpchen herstellen. Sobald ein Kontakt hergestellt ist, kommt es zu einem sehr kurzen Aufleuchten (siehe Abb. 7 b), obwohl es keinen geschlossenen Stromkreis gibt. Nur innerhalb dieser Phase kommt es zu einer Elektronenströmung. Sobald die Glühlämpchen nicht mehr leuchten, haben sich die elektrischen Drücke eingestellt (siehe Abb. 7 c).

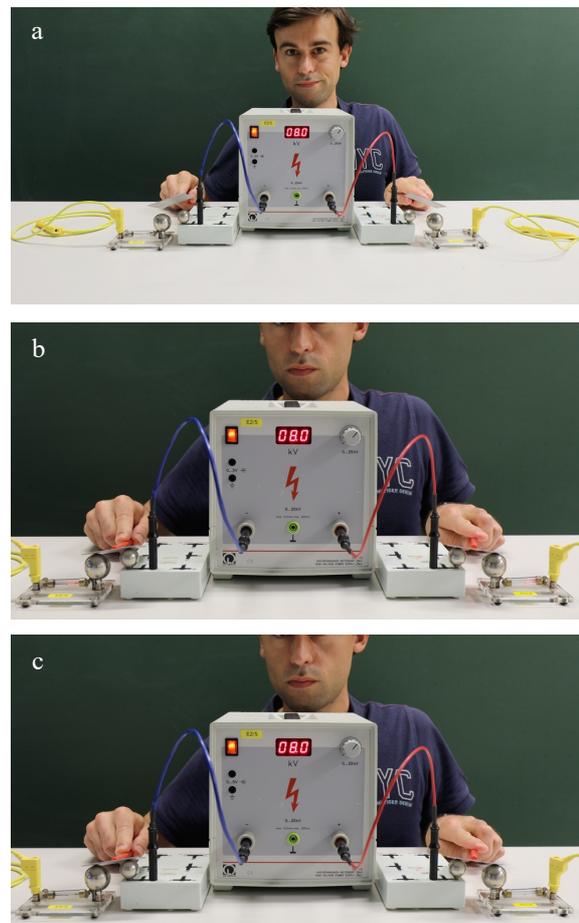


Abb. 7: Experiment zur Druckeinstellung in Leiterstücken

Um die Modellvorstellung auch in den veränderten Versuchsaufbau zu übertragen, wurde eine weitere Animation, die den Versuchsaufbau realitätsnah widerspiegelt, entwickelt (siehe Abb. 8). Innerhalb der Animation werden erneut die elektrischen Drücke und die Elektronenströmung mit einer reduzierten Geschwindigkeit veranschaulicht. In diesem Zusammenhang ist auch zu erkennen, dass die Elektronenströmung und damit einhergehend das Leuchten der Glühlämpchen nur solange fortwährt, bis sich die elektrischen Drücke vor und nach den Glühlämpchen ausgeglichen haben.

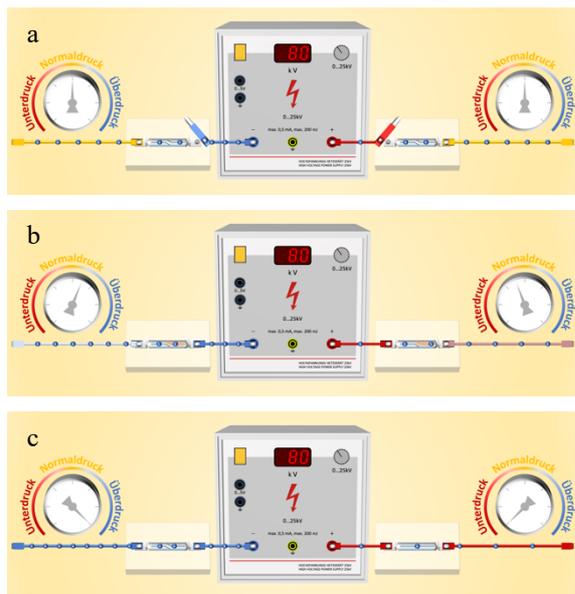


Abb. 8: Animation zur Druckeinstellung im Experiment

2.2. Erklärung der Theorie durch Experimente

Das in Kapitel 2.1 vorgestellte Experiment stellt ein Beispiel dar, wie in der Würzburger Variante die theoretische Darstellung des Re-Designs des Frankfurter Konzepts durch eine experimentelle Komponente erweitert wurde. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Demonstrations- und auch Schülerexperimente in das Unterrichtskonzept integriert. Die Auswahl und didaktische Aufbereitung der Experimente erfolgten in einem mehrstufigen Prozess.

In einem ersten Schritt wurden zahlreiche Experimente zum Luftdruck, zu Luftströmungen und aus der Elektrizitätslehre gesammelt und thematisch den zehn Kapiteln des Re-Designs (siehe Abb. 9) zugeordnet. Zudem wurden die Experimente in die Kategorien Schülerexperimente und Demonstrationsexperimente untergliedert, wobei neben sicherheitsrelevanten Aspekten unter anderem auch die Schwierigkeit des Experiments und die materielle Ausstattung der Schulen berücksichtigt wurden.

In einem zweiten Schritt erfolgte anhand des Modells zur experimentellen Kompetenz nach Nawrath, Maiseyenko & Schecker (siehe Abb. 9) eine Zuordnung, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb der Schülerexperimente gefördert werden sollten.

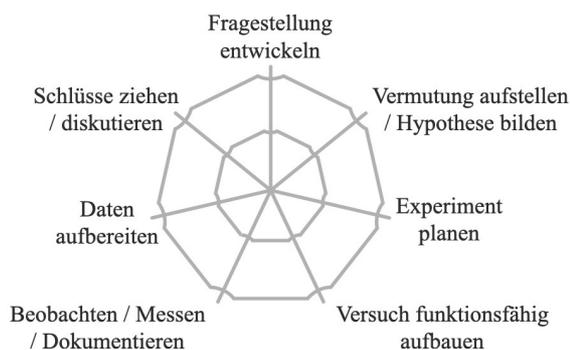


Abb. 9: Teilfacetten der experimentellen Kompetenz (nach [9])

In einem dritten Schritt wurde überlegt, wie sich die angedachten Schülerexperimente in den Unterricht einbetten lassen, um eine möglichst enge Vernetzung eigener experimenteller Erfahrungen, der Modellvorstellung und der physikalischen Theorien zu erreichen. Dabei wurde abgewägt, wie viel Theorie die Lernenden vor einem Schülerexperiment benötigen, um die experimentellen Aufgaben erfolgreich zu absolvieren. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, nicht zu viel Theorie zu antizipieren, da die SuS ausgehend von ihren experimentellen Erfahrungen selbst Zusammenhänge erkennen sollen. Auf diese Weise soll die Entwicklung experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten bei den SuS gefördert und gleichzeitig das Verständnis von Begriffen und Prinzipien unterstützt werden. Duit et al. sprechen in diesem Zusammenhang von einer Wechselwirkung zwischen Experiment und Theorie (siehe Abb. 10) [10].

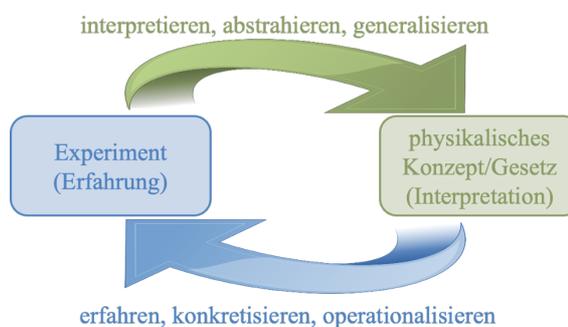


Abb. 10: Das Verhältnis von Experiment und physikalischem Konzept/Gesetz (nach [11])

Als Schlüsselemente für ein effektives und nachhaltiges eigenständiges Experimentieren sind die Vorentlastung von Schülerexperimenten einerseits und die richtige Einbindung in den Lernprozess der SuS andererseits zu sehen [11, 12]. Aus diesem Grund wurde ein besonderer Fokus auf diese beiden Bereiche gelegt und sowohl für die Vorbereitung als auch für die Nachbereitung der Experimente realitätsnahe Animationen entwickelt, um eine Brücke zwischen den experimentellen Erfahrungen und den physikalischen Konzepten bzw. Gesetzen zu schlagen.

2.3. Die Vorentlastung der Schülerexperimente

Der Grad der Vorentlastung eines Schülerexperimentes orientiert sich in erster Linie an dem im Schülerexperiment verfolgten Ziel und dessen Komplexität. So ist beispielsweise die induktive Herleitung eines physikalischen Zusammenhangs häufig schwieriger als die deduktive Bestätigung einer Theorie im Experiment und bedarf deshalb einer entsprechend größeren Unterstützung in der Vorbereitung. Ebenso ist die Ableitung eines quantitativen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen im Allgemeinen schwieriger, als die qualitative Beobachtung eines physikalischen Phänomens.

In der Würzburger Variante sollen die Lernenden in quantitativen Schülerexperimenten induktive Zusammenhänge aufbauen und entsprechend hoch ist das Niveau der Experimente einzustufen. Um die SuS schrittweise an die Schwierigkeiten des Experiments heranzuführen, wurde die Vorbereitung in drei Phasen untergliedert (siehe Abb. 11).

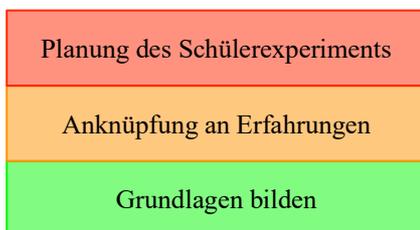


Abb. 11: Ebenen der experimentellen Vorentlastung

Auf der ersten Ebene werden theoretische Grundlagen gebildet, die für das Gelingen des Experiments essentiell wichtig sind. Beispielsweise müssen die SuS vor dem Experimentieren mit einem Voltmeter wissen, wie dieses anzuschließen und einzustellen ist. Außerdem ist die Kenntnis über eine physikalische Definition der Spannung wichtig, um die im Experiment zu untersuchenden Zusammenhänge in Beziehung setzen zu können.

Auf der zweiten Ebene wird in einem qualitativen Demonstrationsexperiment ein phänomenologischer Zugang zur Thematik aufgebaut, so dass die SuS aus ihren Beobachtungen und Erfahrungen heraus Vermutungen oder sogar Hypothesen ableiten können, die im Schülerexperiment genauer untersucht werden sollen. Beispielsweise wird in einem einfachen Stromkreis ein zu einer Wendel geformter Draht eingebaut, der mit einem Haartrockner erwärmt wird (siehe Abb. 12). Am Amperemeter ist zu erkennen, dass die Intensität der Elektronenströmung mit zunehmender Temperatur abnimmt. Ein quantitativer Zusammenhang kann an dieser Stelle noch nicht folgen, da die Temperatur des Drahtes nicht gemessen wird.



Abb. 12: Demonstrationsexperiment zum Einfluss der Temperatur auf die Intensität der Elektronenströmung

Durch den qualitativen Zugang zum Experiment wird das im Schülerexperiment verfolgte Ziel, hier z.B. die genaue Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Temperatur und der Intensität der Elektronenströmung, schnell deutlich. Darüber hinaus lernen die SuS bereits einen ersten Versuchsaufbau kennen, der für eine quantitative Untersuchung allerdings modifiziert werden muss.

Die dritte Ebene stellt wohl die schwierigste Ebene dar, da hier ein Transfer zu leisten ist, um das im Demonstrationsexperiment gezeigte Phänomen (siehe Abb. 12) in einem durch die Schüler geplanten Experiment (siehe Abb. 13) zu quantifizieren. Die von den Lernenden zu leistenden Schritte beinhalten den Nachbau einer Wendel aus einem Stück Draht, die Verkabelung der Bauteile und den richtigen Einbau von Volt- und Amperemeter im Stromkreis, sowie die Wahl der passenden Einstellungen an den Messgeräten. Außerdem muss die bislang durch den Haartrockner erfolgte Wärmezufuhr so verändert werden, dass eine Messung der Temperatur des Drahtes möglich wird. An dieser Stelle bietet es sich an, den Draht in ein Wasserbecken zu geben und dieses mit einem Bunsenbrenner, einer Herdplatte oder einem Tauchsieder zu erwärmen. Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist während der Durchführung des Experiments auf eine permanente mechanische Vermischung der Flüssigkeit, z.B. durch Umrühren, zu achten.



Abb. 13: Möglicher Versuchsaufbau zum Schülerexperiment zur Ermittlung des Einflusses der Temperatur auf die Intensität der Elektronenströmung

Die Komplexität der Versuchsbeschreibung verdeutlicht, dass eine vollständig eigene Planung des Experiments die SuS im Anfangsunterricht an dieser Stelle überfordern würde [13][14]. Außerdem fehlen den Lernenden noch die nötigen Strategien zur Planung eines Experiments. Sie wissen nicht, welche Aspekte beim Experimentieren zu berücksichtigen sind und in welchen Schritten ein Experiment entwickelt werden muss. Die Planung eines Experiments muss demnach als Entwicklungsprozess gesehen werden, in dem die Lehrkraft die SuS bei den ersten Experimenten durch Leitfragen stark lenkt und unterstützt. Im Laufe der Unterrichtssequenz kann mit zunehmender Erfahrung die Planungsphase schrittweise geöffnet werden, so dass die SuS selbstständiger agieren können. In einer gemeinsamen Diskussion ist im Sinne der Variablenkontrollstrategie [15, 16] intendiert, die zu variierende, die zu messende und die konstant zu haltenden Variablen des Experiments zu bestimmen. In dem vorgestellten Beispiel muss die Temperatur variiert, die Intensität der Elektronenströmung gemessen und die Spannung konstant gehalten werden.

Darauf aufbauend sollen die Lernenden unter Anleitung ein Versuchsprotokoll mit der zu untersuchenden Fragestellung, ihrer Vermutung, den benötigten Materialien, einer Versuchsskizze und einer Beschreibung des experimentellen Vorgehens in eigenen Worten anfertigen. Zur Unterstützung in diesem Prozess wurden digitale Online-Tools auf der interaktiven Lehr- und Lernplattform tet.folio der Freien Universität Berlin entwickelt, auf die die SuS unter der Voraussetzung eines Internetzugangs mit ihrem Smartphone im Unterricht zugreifen können. Abbildung 15 zeigt ein Beispiel, in dem die SuS aus den links gegebenen Materialien einen Stromkreis bauen können. Sind die technischen Voraussetzungen im Unterricht nicht erfüllt, so kann eine Schülerin bzw. ein Schüler die Bearbeitung in der Simulation am Computer durchführen, während die anderen SuS im Klassenverband über die Interaktion diskutieren und eventuelle Änderungen vorschlagen.

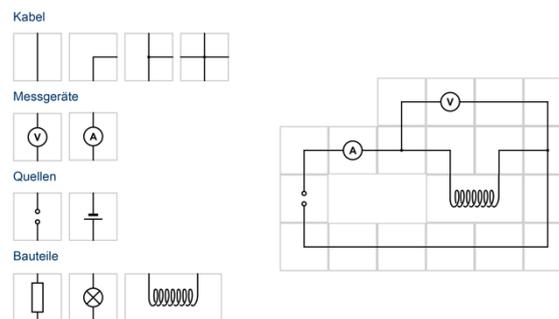


Abb. 15: Die SuS bauen im virtuellen Schülerexperiment einen Stromkreis zur Messung der Abhängigkeit der Stromstärke von der Temperatur

Zur Komplettierung der Planungsphase steht der Lehrkraft noch ein ungefähr dreiminütiges Video zur Verfügung, in dem der Aufbau des Experiments noch einmal schrittweise erläutert wird (siehe Abb. 14). Ausgehend vom Schaltplan werden nach und nach die elektrischen Bauteile in den Stromkreis eingesetzt und miteinander verkabelt. Gleichzeitig werden die Leiterabschnitte im Schaltplan farblich eingefärbt, um die Verbindung zwischen Schaltplan und Experiment aufzuzeigen.

Am Ende des Videos resultiert ein möglicher Aufbau des Experiments, der in der Folge von den Lernenden in Kleingruppen zu je zwei bis drei SuS durchgeführt werden soll.

2.4. Die Nachbereitung der Schülerexperimente

Das Erkennen neuer Sachverhalte und physikalischer Zusammenhänge im Experiment, insbesondere bei der Interpretation quantitativer Versuche, fällt vielen SuS nicht leicht [8][17]. Abgeleitet aus Schülervorstellungen kommt es manchmal auch zu Beobachtungen und Interpretationen, die nicht den im Experiment beobachtbaren Tatsachen entsprechen [18]. Die Darstellung der Messwerte in Diagrammen und deren Interpretation stellen relevante Lernziele des Physikunterrichts dar, führen aber zu zwei weiteren Schwierigkeiten. So müssen die aus den Graphen ableitbaren Aussagen auf der einen Seite erst

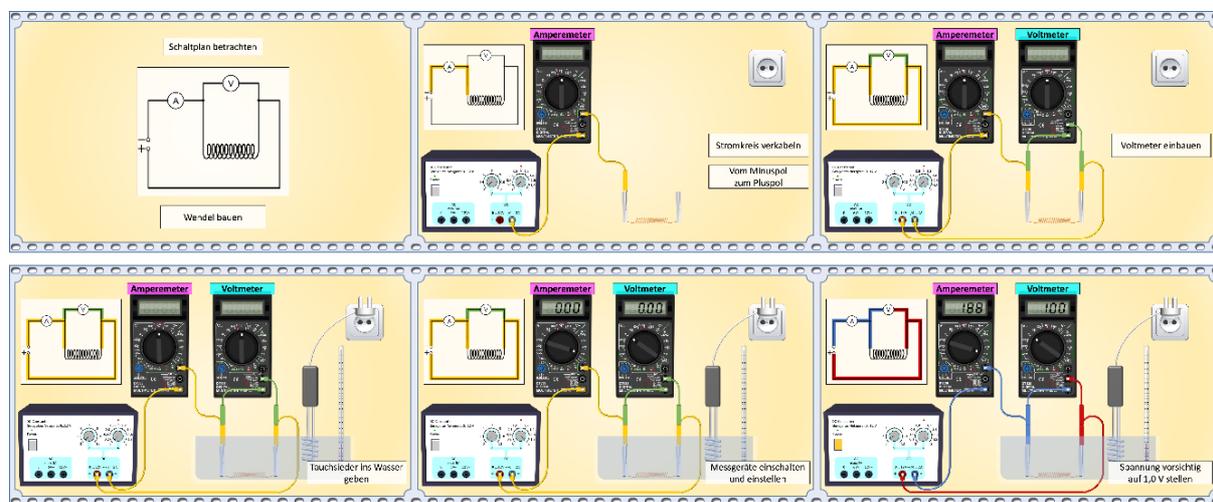


Abb. 14: Sechs Screenshots aus einer Videoanleitung zum Versuchsaufbau

einmal erfasst, zueinander in Beziehung gesetzt und interpretiert werden und auf der anderen Seite mit den vorhandenen Vorstellungen der SuS verknüpft werden [6].

Aus diesen Gründen ist es wichtig, den SuS nach der Versuchsdurchführung die Möglichkeit zu geben, ihre Beobachtungen, Erfahrungen und Erkenntnisse miteinander auszutauschen und über sie zu diskutieren. Ergänzend kann die Lehrkraft an dieser Stelle noch auf eine Animation zurückgreifen, in der das Experiment noch einmal im Schnelldurchgang abläuft (siehe Abb. 16). Die an den Messgeräten angezeigten Werte basieren auf einer realen Messung und werden unmittelbar in das Diagramm übertragen.

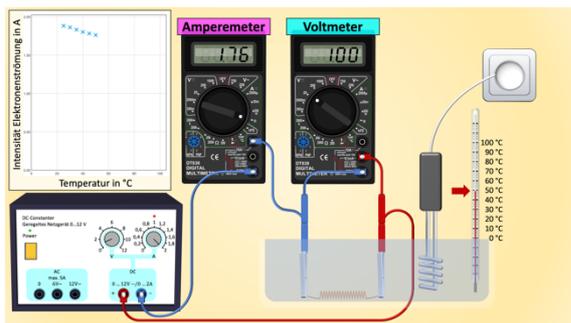


Abb. 16: Schülerexperiment zum Einfluss der Temperatur auf die Intensität der Elektronenstromung

Auf der Erkenntnis des Schülerexperiments aufbauend lässt sich in der nächsten Unterrichtseinheit der Einfluss der Temperatur auf Teilchenebene erklären und die bis dahin bekannte Beziehung zwischen Spannung, Widerstand und Elektronenstromung um die Temperatur erweitern (siehe Abb. 17). Über die Thematisierung des Einflusses der Elektronenstromung auf die Temperatur eines Drahtes und damit verbunden auf dessen Widerstand lässt sich schließlich die Beziehung zwischen den dargestellten Größen wie in Abbildung 17 zusammenfassen.

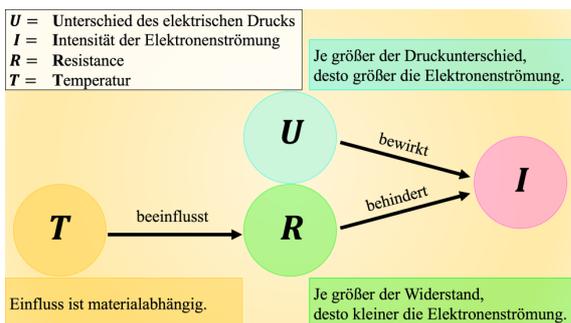


Abb. 17: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen U , I , R und T

2.5. Die Aufbereitung der Würzburger Variante für den Flipped Classroom

Die im Artikel vorgestellten Materialien stellen nur einen kleinen Teil der Würzburger Variante dar, das sich insgesamt in zwölf Unterrichtseinheiten untergliedert (siehe Abb. 18). Die experimentelle Orientierung der Materialien zeigt sich darin, dass in der Hälfte der Einheiten Schülerexperimente zum Ein-

satz kommen. Die Dauer jeder Einheit besitzt einen zeitlichen Rahmen von 45 Minuten, also einer gewöhnlichen Unterrichtsstunde.



Abb. 18: Überblick über die Lerneinheiten zur E-Lehre

Um die Materialien nicht nur im herkömmlichen Unterricht, sondern darüber hinaus auch im Sinne eines Flipped Classrooms nutzen zu können, wurde zu jeder Einheit ein fünf bis sieben minütiges schülergerechtes Lernvideo mit Animationen und ein daran anschließendes interaktives Quiz erstellt. Anstelle einer an den Unterricht anschließenden Hausaufgabe zur Intensivierung der Lerninhalte, wie es im herkömmlichen Unterricht häufig praktiziert wird, bearbeiten die SuS im Flipped Classroom die digitalen und interaktiven Lernangebote in ihrem individuellen Tempo zeitlich vor der nächsten Unterrichtsstunde. Auf diese Weise kommt es im Flipped Classroom zu einer zeitlichen Umstrukturierung des Unterrichts. Trotz des identischen Zeitaufwandes, im Vergleich zum herkömmlichen Unterricht, bleibt in der Präsenzphase mehr Zeit für die Durchführung, Auswertung und Diskussion von Schülerexperimenten sowie für die Bearbeitung und Besprechung von Übungsaufgaben.

3. Ausblick

Aktuell wird im Rahmen einer Pilotierungsstudie mit ungefähr 250 SuS eruiert, wie die produzierten Videos genutzt werden und wie die Lernenden die Länge und das Verständnis der Lernvideos beurteilen. Darüber hinaus werden die Schwierigkeit der Quizaufgaben und die zur Bearbeitung notwendige Zeit erfasst.

Neben dem Unterrichtskonzept zur Elektrizitätslehre wird im Bereich der Optik ein im gleichen Stil aufbereitetes Unterrichtskonzept mit ebenfalls zwölf Lerneinheiten mit Videos und mit Animationen entwickelt. In [19] wird am Beispiel des Reflexionsgesetzes die Aufbereitung der Lernvideos vorgestellt und in [20] finden sich Ergebnisse aus einer Pilotstudie zum Nutzungsverhalten der bereits produzierten Videos.

Ziel ist es, im Rahmen einer Vergleichsstudie im Cross-Over-Design die Wirksamkeit der Unterrichtsmethode in Bezug auf die Entwicklung der

experimentellen Kompetenz und des konzeptionellen Verständnisses im Flipped Classroom dem herkömmlichen bzw. klassischen Unterricht gegenüberzustellen (siehe Abb. 19). Die Interventionszeiten betragen pro Themengebiet zwölf Unterrichtseinheiten, um die Einflüsse der eingesetzten Methode aufgrund von Neuigkeitseffekten zu reduzieren [21].



Abb. 19: Cross-Over-Design der geplanten Studie

Neben der Leistung und der experimentellen Kompetenz werden die kognitive Leistungsfähigkeit, das Vorwissen und affektive Schülermerkmale, wie Interesse, Motivation und Selbstkonzept miterhoben, da sie wichtige Variablen zur Erklärung auftretender Varianzen bilden [22]. Außerdem stellen kognitive Fähigkeiten, das Interesse und motivationale Faktoren grundlegende leistungsbeeinflussende Faktoren dar [23]. Während der Studie werden einige Arbeitsaufträge von den SuS zu Hause bearbeitet, weswegen die Lernbegleitung durch das Elternhaus sich als prädiktiv für den Lernerfolg erweisen könnte und deshalb zusätzlich erfasst wird [24].

4. Literatur

- [1] Rhöneck, C.v. (1986): Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In: NiU – Physik, 34, Nr.13, S.10–14
- [2] Cohen, R.; Eylon, B.; Ganiel, M. (1983): Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. In: Am. J. Phys., 51, Nr.5, S.407–412
- [3] Burde, J.-P.; Wilhelm, T. (2017): Die Elektrizitätslehre mit dem Elektronengasmodell. In: PdN–PidS, 65, Nr.8, S.18–24
- [4] Burde, J.-P. (2018): Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Bd 259. Berlin: Logos-Verlag
- [5] Burde, J.-P. et al. (2019): Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPo-EKo. In: PhyDid B, S. 253 – 260
- [6] Heuer, D. (1993): Dynamische Physik-Repräsentationen als Brückenschlag zwischen realen Experimenten und inneren Bildern - In: Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Fachausschuß Didaktik der Physik (Hrsg.): Didaktik der Physik: Vorträge - Physikertagung 1993 - Esslingen, S. 367 – 370
- [7] Wilhelm, T.; Heuer, D. (2002): Interesse fördern, Fehlvorstellungen abbauen - dynamisch ikonische Repräsentationen in der Dynamik – In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule 51, Nr. 8, S. 2 – 11
- [8] Wilhelm, T. (2005): Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung. Berlin: Logos (46).
- [9] Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. In: PdN PHYSIK in der Schule Heft 6 Jahrgang 60: S. 42-49.
- [10] Duit, R.; Tesch, M. & Mikelskis-Seifert, S. (2010): PiKo-Brief 7: Das Experiment im Physikunterricht. In: Duit R, Mikelskis-Seifert S (Hrsg) Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht. Sonderband Unterricht Physik, Friedrich Seelze
- [11] Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 10, 51-59
- [12] Singer, S. R., Hilton, M. L., & Schweingruber, H. A. (2006). America's Lab Report. Investigations in High School Science. Washington, DC: The National Academies.
- [13] Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006): Why minimal guidance during instruction does not work. An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. Educational Psychologist, 41(2), 75–86
- [14] Klahr, D., & Nigam, M. (2004): The equivalence of learning paths in early science instruction. Effect of direct instruction and discovery learning. Psychological Science, 15(10), 661–667
- [15] Schwichow, M., Christoph, S. & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. In: MNU, Jahrgang 68, Nr. 6, S. 346-350
- [16] Schwichow, M. & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. In: ZfDN (2018) 24: S. 217–233
- [17] Heuer, D.; Wilhelm, T. (1997): Aristoteles siegt immer noch über Newton. Unzulängliches Dynamikverstehen in Klasse 11 - In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 50, Nr. 5, S. 280 – 285

- [18] Duit, R. (1992): Vorstellung und Physiklernen - Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten - In: Physik in der Schule 30, Nr. 9, S. 282 – 285
- [19] Lutz, W. & Trefzger, T. (2020): Die Vorentlastung von Schülerexperimenten im Flipped Classroom. In: Gerhard Brandhofer, Josef Buchner, Christian Freisleben-Teutscher & Karin Tengler (Hrsg.): Tagungsband zur Tagung Inverted Classroom and beyond 2020, S. 207-217
- [20] Lutz, W. & Trefzger, T. (2020): Förderung der experimentellen Kompetenz im Flipped Classroom – Eine Erprobung von Unterrichtsmaterialien in der Optik. In: Sebastian Habig (Hg.), Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Jahrestagung der GDCP 2019, S. 1031-1034
- [21] Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdi-daktischen Forschung. Heidelberg: Springer Verlag, S. 67-79
- [22] Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018) Experimentelle Kompetenz. In: Krüger D., Parchmann I., Schecker H. (eds) Theorien in der naturwissenschaftsdi-daktischen Forschung. Springer, Berlin, Heidelberg
- [23] Schiefele, U.; Krapp, A. und Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 10 (1993) 2, S. 120-148
- [24] Mang, J. [Hrsg.]; Ustjanzew, N. [Hrsg.]; Leßke, I. [Hrsg.]; Schiepe-Tiska, A. [Hrsg.]; Reiss, K. [Hrsg.] (2019): PISA 2015 Skalenhandbuch. Dokumentation der Erhebungsinstrumente. Waxmann: Münster; New York.