

Lehrprobe im Fach Physik

Thema der Unterrichtseinheit: Elektrizitätslehre

Thema der Unterrichtsstunde: Das Widerstandsgesetz

Name:
Schule:
Schulleiter:
Seminarleiterin:
Studienleiter:
Mentor:
Klasse:
Stunde:
Datum:

1. Rahmenbedingungen

2. Sachanalyse

Innerhalb der Elektrizitätslehre verlangt der Rahmenplan u.a., dass das Ohmsche Gesetz, Leitungsvorgänge in Metallen und anderen Stoffen, das Widerstandsgesetz und Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung behandelt werden.

Zu Beginn des Schuljahres wurden das elektrische Feld und die Voraussetzungen für einen elektrischen Leitungsvorgang thematisiert. Aufbauend auf Leitungsvorgänge in Metallen wurde das Ohmsche Gesetz wiederholt. Vor dieser Stunde wurde die Abhängigkeit des Widerstandes eines Leiters von seiner Länge und seinem Querschnitt anhand eines Demonstrationsexperimentes untersucht. Heute sollen die gefundenen Abhängigkeiten experimentell bestätigt und ausgehend von den Messwerten der spezifische elektrische Widerstand eingeführt werden. In den folgenden Stunden können dann die Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung aus dem Widerstandsgesetz abgeleitet werden.

Das *Widerstandsgesetz* besagt, dass der *elektrische Widerstand* R eines Leiters proportional zu seiner *Länge* l und umgekehrt proportional zu seiner *Querschnittsfläche* A ist: $R = \rho \frac{l}{A}$.

Der Proportionalitätsfaktor ρ heißt *spezifischer elektrischer Widerstand* und kennzeichnet die Abhängigkeit des Widerstandes vom Material. In der *klassischen Vorstellung* versucht man daher, ρ durch Materialeigenschaften auszudrücken:

Legt man an die Enden eines metallischen Leiters eine *Spannung* U , so werden die frei beweglichen Elektronen durch das entstehende *elektrische Feld* mit der *Kraft* $F_{el} = e \cdot E$ beschleunigt.¹ Bei der Bewegung stoßen die Elektronen mit Metallionen zusammen und werden wieder abgebremst. Ist t_S die *mittlere Zeit zwischen zwei Stößen*, a die *Beschleunigung*, die ein Elektron über diesen Zeitraum erfährt und m_e die *Masse eines Elektrons*, so stellt sich eine *mittlere Driftgeschwindigkeit*

$v_D = a \cdot t_S = \frac{eE}{m_e} \cdot t_S$ ein, mit der sich die Elektronen gleichförmig gegen das elektrische Feld

bewegen.² Demnach bewegt sich ein Elektron in der *Zeit* Δt gerade um die Strecke $v_D \cdot \Delta t$. Beträgt die *Dichte der Elektronen* n , fließen in der *Zeit* Δt alle Elektronen durch die *Querschnittsfläche* A des Leiters, die sich in dem *Volumen* $Av_D \Delta t$ befinden. Die gesamte durch die Querschnittsfläche bewegte *Ladung* berechnet sich daher zu $\Delta Q = neAv_D \Delta t$ und die *Stromstärke* beträgt

$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = neAv_D$. Mit der *Driftgeschwindigkeit* $v_D = \frac{eE}{m_e} \cdot t_S$ folgt für die *Stromstärke*:

$$I = neA \cdot \frac{eE}{m_e} \cdot t_S = \frac{ne^2 t_S}{m_e} \cdot AE.$$

¹ e...Elementarladung; E...elektrische Feldstärke

² Ein einzelnes Elektron führt keine gleichförmige Bewegung aus. Mittelt man die Geschwindigkeiten aller Elektronen, so kann man eine konstante mittlere Geschwindigkeit annehmen.

Andererseits lässt sich die *Stromstärke* mit dem *Ohmschen Gesetz* und dem *Widerstandsgesetz* zu

$I = \frac{U}{R} = \frac{E \cdot l}{\frac{\rho \cdot l}{A}} = \frac{E \cdot A}{\rho}$ bestimmen.³ Setzt man die beiden Ausdrücke für die *Stromstärke* gleich,

erhält man für den *spezifischen elektrischen Widerstand*: $\rho = \frac{m_e}{ne^2 t_s}$.

Die *Wegstrecke*, die ein Elektron zwischen zwei Stößen zurücklegt, bezeichnet man als *mittlere freie Weglänge* λ . Sie berechnet sich aus der *Zeit* t_s *zwischen zwei Stößen* und der *mittleren Geschwindigkeit* \bar{v} eines Elektrons: $\lambda = \bar{v} \cdot t_s$. Ersetzt man in der Gleichung für den *spezifischen*

elektrischen Widerstand die *Stoßzeit* t_s , erhält man: $\rho = \frac{m_e}{ne^2 t_s} = \frac{m_e \bar{v}}{ne^2 \lambda}$.

Die *mittlere freie Weglänge* ist von der Größe der Gitterionen abhängig. Vernachlässigt man die räumliche Ausdehnung der Elektronen und nimmt geradlinige Bahnen an, so kollidiert ein Elektron mit einem Ion, wenn es sich ihm bis auf den Abstand r , dem *Radius des Ions*, nähert. Es gilt

$\lambda \sim \frac{1}{r^2}$. Des Weiteren wird die *mittlere freie Weglänge* kleiner, wenn sich mehr Ionen in einem

bestimmten Volumen befinden. Mit der *Ionendichte* n_I folgt: $\lambda \sim \frac{1}{n_I}$.

Die *mittlere Geschwindigkeit* eines Elektrons lässt sich mit der *kinetischen Gastheorie* bestimmen, wenn man davon ausgeht, dass sich die Elektronen ohne elektrisches Feld genau wie Gasteilchen in

einem Behälter verhalten und der *Maxwell-Boltzmann-Statistik*⁴ unterliegen:⁵ $\bar{v} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}}$.

Aus den geführten Überlegungen lässt sich nun schlussfolgern: Der *spezifische elektrische*

Widerstand $\rho = \frac{m_e \bar{v}}{ne^2 \lambda}$ ist unabhängig von der Größe der anliegenden *Spannung*, aber abhängig von

der *Größe und Anzahl der Ionen* und der *Elektronenanzahl* im Leiter. Weiter ist der *spezifische elektrische Widerstand* wegen $\bar{v} \sim \sqrt{T}$ eine *temperaturabhängige* Größe.

Die *klassische Theorie* kann nur qualitativ befriedigen: Die Proportionalität $R \sim \sqrt{T}$ stimmt nicht mit der Realität überein. Des Weiteren wird der Widerstandswert etwa um den Faktor 6 zu hoch liegen. Außerdem trifft die hier vorgestellte *klassische Theorie* keine Aussagen darüber, ob ein Leiter, Isolator oder Halbleiter vorliegt.

Bessere Voraussagen sind mit der *quantenmechanischen Theorie der elektrischen Leitung* möglich, weil hier u.a. statt der *Maxwell-Boltzmann-Statistik* die *Fermi-Dirac-Statistik*⁶ angesetzt wird.

³ Bei Vorliegen eines homogenen elektrischen Feldes gilt für die Spannung an den Leiterenden $U = E \cdot l$.

⁴ Vgl. Tipler 1994, S. 522ff.

⁵ k_B ...Boltzmann-Konstante; T ...Temperatur

⁶ Vgl. Tipler 1994, S. 1344ff.

3. Didaktische Rechtfertigung

Der Rahmenplan des Landes Mecklenburg-Vorpommern für den Physikunterricht der Sekundarstufe I verlangt innerhalb des Themenbereiches „Elektrizitätslehre“ die Behandlung des Widerstandsgesetzes.

Die Kenntnis und Einsicht des Gesetzes ist elementar für das Verständnis elektrischer Leitungsvorgänge. Der elektrische Widerstand ist eine grundlegende Größe der Elektrizitätslehre und deshalb sollten die Schüler gerade diese physikalische Größe so gut wie möglich erfassen. Das behandelte Modell der elektrischen Leitung kann bei der Interpretation des Widerstandsgesetzes gefestigt und ausgebaut werden, das Wesen und die Nützlichkeit von Modellen als Wirklichkeitskonstruktionen und Vorstellungshilfen, aus denen man neue Erkenntnisse ableitet, werden an einem Beispiel deutlich.

Das Widerstandsgesetz stellt die Abhängigkeit einer physikalischen Größe von drei anderen physikalischen Größen dar. Direkte Proportionalitäten sind die einfachsten innerhalb der Physik. Die Schüler haben, wie die Wiederholung des Ohmschen Gesetzes zeigte, Schwierigkeiten, solche Proportionalitäten zu erkennen, nachzuweisen und zu deuten. Dieses hier zu behandelnde Gesetz bietet die Möglichkeit, neben der Festigung des Vorgehens bei direkten Proportionalitäten, auch indirekte Proportionalitäten zu thematisieren. Das Erfassen der prinzipiellen Handlungsschritte beim Nachweis von Beziehungen zwischen physikalischen Größen und das inhaltliche Erfassen physikalischer Gleichungen können exemplarisch behandelt werden.

Direkte und indirekte Proportionalitäten wurden kürzlich im Mathematikunterricht besprochen. Die Zusammenarbeit und die Verflechtungen der Naturwissenschaften Mathematik und Physik kommen zum Vorschein, weil die Schüler den physikalischen Nutzen mathematischer Komponenten zeitlich eng gekoppelt erfahren.

Die experimentellen Kompetenzen der Schüler sind nicht sehr hoch. In der Elektrizitätslehre werden die Jugendlichen immer wieder mit dem Übersetzen von Schaltplänen, dem Aufbau elektrischer Schaltungen und dem Messen mit Vielfachmessgeräten konfrontiert. Die Digitalisierung elektrischer Geräte im Haushalt führt u.a. dazu, dass immer weniger Schüler mit analogen Anzeigen richtig umgehen können. Die experimentelle Arbeit trägt dazu bei, dass einige der genannten Defizite beseitigt werden.

Es erscheint vor allem für die Schüler dieser Klasse nicht ausreichend, ein Gesetz nur anhand eines Demonstrationsexperimentes zu erarbeiten. Die häusliche Lernbereitschaft lässt meist zu wünschen übrig. Man ist als Lehrer demnach gefordert, den Unterrichtsstoff so aufzubereiten, dass die Schüler einerseits die Wichtigkeit erteilter Hausaufgaben einsehen und andererseits möglichst viele Lerninhalte schon in den Unterrichtsstunden erfassen. Vor diesem Hintergrund wurde ein Schülerexperiment ausgewählt, weil die Jugendlichen bei der experimentellen Arbeit meist sehr konzentriert sind und in der praktischen Tätigkeit am besten lernen.

Seit diesem Schuljahr hat sich das soziale Gefüge der Klasse sehr zum Positiven gewendet. Die bei der experimentellen Arbeit nötige enge Zusammenarbeit soll diese Entwicklung bestärken.

Von dem Widerstandsgesetz kennen die Schüler die Beziehungen $R \sim l$ und $R \sim \frac{1}{A}$. Ziel dieser Stunde ist es, die Kenntnisse über diese Proportionalitäten zu festigen. Die Zusammenhänge werden induktiv erarbeitet. Außerdem sollen die Schüler die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff erfassen.

Die zu behandelnde Tiefe der fachlichen Inhalte muss in dieser Klasse sehr bedacht ausgewählt werden, weil viele Schüler meist nicht in der Lage sind, die wesentlichen Sachverhalte zu erkennen. Außerdem sinkt die Auffassungsgabe am Ende einer Stunde.⁷ Deshalb erscheinen u.a. folgende Vereinfachungen notwendig:

- Der spezifische elektrische Widerstand soll noch nicht als „Der spezifische elektrische Widerstand gibt an, welchen elektrischen Widerstand ein aus diesem Stoff hergestellter Leiter von 1m Länge und 1mm² Querschnitt hat.“ eingeführt werden. Die spezifischen elektrischen Widerstände der einzelnen Drähte werden in dieser Stunde daher noch nicht berechnet. Die Jugendlichen sollen lediglich erkennen, dass der Proportionalitätsfaktor von $R \sim \frac{l}{A}$ die Materialeigenschaften des Stoffes beschreibt. Eine inhaltliche Erfassung erscheint am Ende dieser Stunde ausreichend. In der folgenden Stunde kann dann auf das Experiment zurückgegriffen werden.
- Der spezifische elektrische Widerstand wird vorerst ausschließlich im Zusammenhang mit Metallen behandelt.
- Beim Schülerexperiment wurden die Messbereiche so gewählt, dass keine Messbereichsumschaltung erfolgen muss.
- Eine ausführliche Fehlerbetrachtung soll nicht durchgeführt werden.⁸

⁷ Es erscheint nicht ratsam, die Stunde mit dem Experiment ausklingen zu lassen und mit der Stoffabhängigkeit zu beginnen, weil aus den Messwerten erst auf den Materialeinfluss geschlossen werden soll.

⁸ Messfehler sind durch die große Streuung der Widerstandswerte der benutzten Drähte und durch die Welligkeit der Gleichspannung der Schülerstromversorgungsgeräte bedingt. Die Messfehler der für Gleichspannung kalibrierten Vielfachmessgeräte sind gegenüber dem Einfluss der „Brummspannung“ vernachlässigbar klein. Die „Brummspannung“ wird dazu führen, dass vor allem die Widerstandswerte für die kleinste Drahtlänge zu hoch liegen. Mit sinkender Belastung werden die Messungen genauer. Die Messpunkte für die Längenabhängigkeit werden daher auf einer Kurve mit abfallendem Anstieg liegen, die Quotienten $\frac{R}{l}$ werden abnehmen, die Produkte $R \cdot A$ zunehmen, Konstantan wird bessere Ergebnisse liefern als Eisen.

Die Drähte wurden für die einzelnen Gruppen so zusammengestellt, dass die Widerstände sich möglichst kaum unterscheiden. Die Spannung könnte durch Parallelschalten von Kondensatoren etwas geglättet werden, jedoch wäre ein solch komplizierter Versuchsaufbau für die Schüler nicht einsichtig. Die „Brummspannung“ vermeidet man am ehesten durch den Einsatz stabiler Netzteile. Anderenfalls könnte man Multimeter verwenden, die auch für wellige Gleichspannungen kalibriert sind. Beide Varianten sind aus finanziellen Gründen hier nicht realisierbar.

4. Angestrebtes Unterrichtsergebnis

- Die Schüler wissen um die Abhängigkeiten des elektrischen Widerstandes eines Drahtes von seiner Länge und seinem Querschnitt.
- Die Schüler wissen, wie man direkte bzw. indirekte Proportionalitäten erkennt, nachweist und deutet. Sie können direkte Proportionalitäten von indirekten unterscheiden.
- Die Schüler kennen das Ohmsche Gesetz und können es zur Berechnung von elektrischen Widerständen anwenden.
- Die Schüler erlangen bei der experimentellen Arbeit innerhalb der Elektrizitätslehre zunehmend mehr Sicherheit: Sie können u.a. einfache Schaltungen aufbauen, Vielfachmessgeräte sicher bedienen, Messdaten selbständig auswerten und halten sich an die Sicherheitsvorschriften der experimentellen Schülerarbeit.
- Die Schüler können die Durchführung und Auswertung eines Experiments zunehmend präziser formulieren.
- Die Schüler wissen, dass der elektrische Widerstand eines metallischen Leiters vom Stoff abhängt.
- Die Schüler entwickeln zunehmend soziale Kompetenzen. Sie erfahren, dass die Arbeitsweise jedes Einzelnen für den Erkenntnisgewinn der gesamten Schülergruppe wichtig ist, helfen sich gegenseitig, achten die Resultate ihrer Mitschüler und bringen sich aktiv in das Unterrichtsgeschehen ein.

5. Überlegungen zur Methode

Die angesprochenen Probleme im Bereich der fachlichen Voraussetzungen erfordern eine sorgsame Vorbereitung eines Schülerexperiments innerhalb dieser Klasse. Jeder Schüler sollte möglichst vor Stundenbeginn wissen, was er wie messen muss. Deshalb wurde der Plan des Experiments im Vorfeld gemeinsam mit den Schülern erarbeitet. Des Weiteren erhielten die Schüler die Aufgabe, sich zu Hause auf das Experiment vorzubereiten. Das Übersetzen von Schaltplänen bereitet den Jugendlichen große Schwierigkeiten. Das zu bearbeitende Aufgabenblatt beinhaltet deshalb auch den Entwurf eines Versuchsaufbaus. Dazu wurden den Schülern Abbildungen der Geräte zur Verfügung gestellt, die sie in richtiger Anordnung auf ein Blatt Papier kleben sollen. Einige Probleme können so im Vorfeld aus dem Weg geräumt werden. Im nachfolgenden Unterricht kann diese Vorbereitung mehr und mehr in den Hintergrund treten.

Schon beim Erteilen der Hausaufgabe wurden die Experimentierpartner eingeteilt.⁹ Außerdem wurden die Experimente unter Beachtung der Schwierigkeitsgrade¹⁰ und Kompetenzen der Schüler den einzelnen Gruppen¹¹ zugewiesen. Insgesamt werden acht Gruppen an vier unterschiedlichen Aufgaben arbeiten: Bei Konstantan und Eisen werden die Abhängigkeiten des elektrischen Widerstandes von Länge und Querschnitt untersucht.

Die Unterrichtsstunde wird nach kurzer Belehrung¹² mit den Experimenten begonnen.¹³ Vorbereitet durch die letzte Stunde und die häusliche Arbeit sollten die Schüler wissen, was sie zu tun haben. Die Rolle der pflichtbewussten Bearbeitung der Hausaufgabe wird für jeden Einzelnen transparent.¹⁴

Schülern, die mit dem Versuchsaufbau nicht zurecht gekommen sein sollten, kann eine Abbildung des Versuchsaufbaus zur Verfügung gestellt werden.

Wichtig ist, dass die Lernenden erkennen, dass ihre Ergebnisse für das Erreichen der Unterrichtsziele herangezogen werden. Eine Möglichkeit wäre, die Schüler auf Folien arbeiten zu lassen. Meist wird sich die äußere Form der Foliengestaltung jedoch als Vorlage für alle Schüler nicht eignen. Die Jugendlichen benötigen noch mustergültige Beispiele; sie müssen noch lernen,

⁹ Den Wünschen der Schüler wurde dabei weitestgehend Beachtung geschenkt.

¹⁰ Die indirekte Proportionalität wird an die Schüler höhere Anforderungen stellen.

¹¹ Es handelt sich bis auf eine Dreiergruppe um jeweils zwei Schüler, also um Partnerarbeit.

¹² Diese soll nur an die wesentlichen Vorgehensweisen erinnern. Die Belehrung wird kürzer gehalten als bei den bisherigen Experimenten, denn die Sicherheitsbestimmungen sind den Schülern aus vergangenen Stunden bekannt. Die Schüler sollen zu verantwortungsbewussten Menschen erzogen werden. Dies erreicht man nicht dadurch, dass man in jeder Stunde alle Belehrungen immer wieder mit den Schülern „durchpaukt“. Vielmehr muss die Einhaltung der Regeln während des Experiments Beachtung finden.

¹³ Die Experimentiergeräte wurden in der Pause auf die Arbeitstische gestellt, um etwas Zeit für die Durchführung des Experiments zu gewinnen.

¹⁴ In vorangehenden Stunden erwarteten einige Jugendliche, dass ihr Versäumnis (Gemeint sind vergessene bzw. nicht bearbeitete Hausaufgaben, bei denen die Versäumnisse nicht auf das Fehlen fachlicher Voraussetzungen, sondern auf mangelnden Fleiß oder ungenügende Ordnung zurückzuführen sind.) innerhalb der Unterrichtszeit durch den Lehrenden beseitigt wird. Diesem Vorgehen soll möglichst Einhalt geboten werden. Das zu Hause zu bearbeitende Aufgabenblatt wurde deshalb direkt auf das Experiment des Einzelnen zugeschnitten.

wie man Messdaten aufschreibt, Messpunkte in Diagramme einzeichnet und Graphen durch die Messpunkte zieht. Deshalb wird ein Computer zur Messwerterfassung¹⁵ eingesetzt. Die Ergebnisse werden für alle sichtbar mit einem Beamer projiziert. Ein weiterer Vorteil des Rechners besteht darin, dass er selbst die Auswertung übernehmen kann. Die Schüler können mit ihren eigenen Ergebnissen vergleichen, sofort Verbesserungen vornehmen und erkennen Vorteile und Einsatzmöglichkeiten der modernen Rechentechnik. Die Diskussion der Resultate wird unabhängig davon, ob jede einzelne Gruppe mit der Auswertung bis zum Ende gekommen ist. Des Weiteren können die Messdaten der einzelnen Gruppen eng zusammengehörig dargestellt werden.¹⁶ Dadurch wird auch die Wichtigkeit der einzelnen Gruppe für die gesamte Klasse unterstrichen. Man hätte sich unter diesem Aspekt entscheiden können, die Messergebnisse jeder Gruppe in die Auswertung einfließen zu lassen. Eine mögliche Mittelwertbildung der Messergebnisse würde einer transparenten Auswertung im Wege stehen, eine Darstellung von zwei gleichartigen Messwertreihen in einer Tabelle und zwei Kurven in einem Diagramm würde vom Wesentlichen ablenken. Außerdem kann der Vorteil genutzt werden, im Vorfeld falsche bzw. ungenaue Messergebnisse zu selektieren und den „Augen der gesamten Klasse“ vorzuenthalten.¹⁷ Der Nachteil, dass die Glaubwürdigkeit der Resultate nicht visuell durch ähnliche Messergebnisse der jeweils zweiten Gruppe gestützt wird, kann durch Nachfragen bei dieser Gruppe beseitigt werden. Zum Eingeben der Messdaten wurde ein Schüler privilegiert, der durch sein Leistungsvermögen bisher positiv auffiel und weniger Schwierigkeiten beim Experimentieren haben dürfte.

Nach dem Aufnehmen der Messdaten und dem Wegstellen der Experimentiergeräte erhalten die Schüler Gelegenheit zur Auswertung ihres Experiments. Danach sollen einzelne Schüler ihre Versuchsdurchführung und Auswertung beschreiben. Stellvertretend wird das jeweilige Experiment nur für ein Metall beschrieben. Die Güte der Formulierungen und die noch bleibende Unterrichtszeit werden maßgebend dafür sein, inwieweit der Lehrende Ausführungen der Schüler korrigiert oder innerhalb der Klasse zur Diskussion stellt.

Im Anschluss an die Festigung der Proportionalität $R \sim \frac{l}{A}$ soll ausgehend von den Messwerten die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff eingeführt werden. Hier bieten sich im Wesentlichen zwei Varianten an: Man kann die Darstellung von zwei Kurven in einem Diagramm¹⁸ oder eine Widerstandsmessung für die Drähte bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt zu Hilfe nehmen. Zwar umfasst die zweite Variante nicht den gesamten Gültigkeitsbereich der Abhängigkeit

¹⁵ Es werden die von den Schülern berechneten elektrischen Widerstände in den Rechner eingegeben, nicht die gemessenen Spannungen und Stromstärken.

¹⁶ Bei Folieneinsatz müssten beispielsweise zwei Geräte zum Projizieren verwendet werden, um die Ergebnisse verschiedener Gruppen gemeinsam groß genug darstellen zu können. Mit dem Rechner können die Resultate jedoch beliebig zusammengeschrieben werden.

¹⁷ Die Schüler, die falsch gemessen haben, werden nicht bloß gestellt. Falsche Ergebnisse werden nicht von anderen Schülern übernommen. Diskussionen über fehlerhafte Messungen werden demnach erst dann innerhalb der gesamten Klasse geführt, wenn beide Gruppen, die dieselbe Abhängigkeit untersuchten, mangelhaft gemessen haben.

¹⁸ Entweder betrachtet man die Kurven für Konstantan und Eisen im I-R-Diagramm oder im A-R-Diagramm.

des elektrischen Widerstandes vom Stoff, jedoch lässt sich die Erkenntnis leichter ableiten, ohne auf die Darstellung zweier Kurven in einem Diagramm eingehen zu müssen. Auch an dieser Stelle müssen Schwerpunkte gesetzt werden. Außerdem wird ein engerer Bezug zu jeder einzelnen Gruppe hergestellt, wenn man den Widerstand bei einer Drahtlänge von 1m und einem Querschnitt von $0,07\text{mm}^2$ untersucht, denn diesen musste jeder Schüler entweder für Eisen oder Konstantan bestimmen. Nach dem Aufstellen der Vermutung wird der Widerstand von einem Kupferdraht mit 1m Länge und $0,07\text{mm}^2$ Querschnitt im Demonstrationsexperiment gemessen und die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff wird so bestätigt. Der Widerstand wird dabei direkt, ohne separate Spannungs- und Strommessung, mit einem Multimeter bestimmt. Auch das Schülerexperiment wäre so möglich gewesen, jedoch hätte dies zu ungenaueren Messergebnissen geführt. Außerdem kann mit dem geplanten Schülerexperiment das wohl wichtigste Gesetz der Schulelektrizitätslehre $R = \frac{U}{I}$ gefestigt werden. Mit der direkten Messung des Widerstandes wird auf moderne Messinstrumente verwiesen. Der gemessene Wert wird mit dem Beamer für alle sichtbar gemacht. Entsprechend der Unterrichtszeit und Aufnahmefähigkeit der Schüler kann auf die Hintergründe des Messverfahrens mehr oder weniger eingegangen werden. Bleibt am Ende der Unterrichtsstunde noch Zeit, wird die Gleichung des Widerstandsgesetzes aufgestellt und eine vorläufige, noch etwas unscharfe Definition des spezifischen elektrischen Widerstandes gegeben. Zu Hause sollen die Schüler die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff am Modell deuten. Dazu erhalten die Schüler ein Arbeitsblatt.¹⁹

¹⁹ Das Anfertigen der Skizzen würde den zeitlichen Rahmen sprengen.

6. Verlaufsplanung

Zeit	Inhalt	Methoden	Medien und Hilfsmittel
08:45	Einführende Worte, Belehrung	LV	
08:50	Durchführung und Auswertung der Experimente	PA	SE, AB, Computer
09:15	Vorstellen der Experimente und Ergebnisse	SV, UG	Computer, Beamer, AB
09:25	Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff	UG, LV	Computer, Beamer, Tafel, DE, AB
09:30	Ende der Stunde		

Hausaufgabe: Deutung der Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff am Modell

Abbruchmöglichkeiten und Alternativen

- Die Abhängigkeit vom Stoff wird in der nächsten Stunde behandelt.
- Die Deutung der Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes vom Stoff am Modell wird am Ende der Stunde behandelt. Zu Hause sollen die Schüler die Einheit des spezifischen elektrischen Widerstandes bestimmen.

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

- AB Arbeitsblatt
- DE Demonstrationsexperiment
- LV Lehrervortrag
- PA Schülerpartnerarbeit²⁰
- SE Schülerexperiment
- SV Schülervortrag
- UG Unterrichtsgespräch

²⁰ Es arbeiten i.d.R. jeweils zwei Schüler zusammen. Eine Gruppe wird aus drei Schülern gebildet.

7. Literatur und Medien

- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.): *Rahmenplan* für das Gymnasium: *Sekundarstufe I*. Physik. **1995**.
- *Tipler*, Paul A.: Physik. Heidelberg: Spektrum, **1994**.
- *Meyer*, Lothar; *Schmidt*, Gerd-Dietrich: Physik 9/10 Gymnasium Mecklenburg-Vorpommern. Berlin: Paetec, **1998**.

8. Auszüge des möglichen Tafelbildes

--	--	--

Ergebnisse:

Für Konstantan gilt: $R \sim l$ und $R \sim \frac{1}{A}$, also: $R \sim \frac{l}{A}$.

Für Eisen gilt: $R \sim l$ und $R \sim \frac{1}{A}$, also: $R \sim \frac{l}{A}$.

9. Anhang