

**Didaktik der Physik an der Universität Bayreuth  
Seminarvortrag zum Thema**

**Kirchhoffsche Gesetze – Elementarisierung**

**von Manuela Brückle  
09.01.2006**

- 1. Erläutern Sie aus fachdidaktischer Sicht den Begriff Elementarisierung!**
- 2. a) Wie lauten die „Kirchhoffschen Gesetze“ in allgemeiner Form?  
b) Geben Sie diese Gesetze in elementarisierter Form an!  
c) Inwiefern lässt sich die „Wasserstromkreis-Analogie“ bei der schulpraktischen Umsetzung des Themas „ Kirchhoffsche Gesetze“ heranziehen?**
- 3. Es soll eine Unterrichtseinheit zum Thema „Reihen – und Parallelschaltung von Widerständen“ geplant werden. Geben Sie dazu Lernvoraussetzungen und Lernziele an! Skizzieren Sie die Unterrichtseinheit unter Einbeziehung von Medien, Experimenten und Sozialformen!**
- 4. Bei Stromfluss an einem gewöhnlichen Leiter wird Arbeit verrichtet.  
a) Beschreiben Sie , wie experimentell der Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke, Zeitdauer und der elektrischen Arbeit bestimmt werden kann!  
b) Erörtern Sie davon ausgehend die Festlegung der Einheit „Volt“ für die elektrische Spannung!**

## **1. Erläutern Sie aus fachdidaktischer Sicht den Begriff Elementarisierung!**

Synonyme : didaktische Reduktion, didaktische Transformation, didaktische Rekonstruktion

Elementarisierung = erlaubte Vereinfachung komplexer und abstrakter Zusammenhänge

Die Aufgabe der Elementarisierung besteht darin, die Abstraktheit eines Inhaltes zu vermindern und seine Komplexität abzubauen (= didaktische Reduktion) mit dem Ziel, das Anforderungsniveau der unterrichteten Inhalte dem Schüler anzupassen. Dies bedeutet i.d.R. ein Absenken von einem höheren auf ein niedrigeres kognitives Niveau, womit eine Vereinfachung des Inhalts verbunden ist und dieser leichter verstehbar wird.

Um dies zu erreichen muss der Lehrer im Vorfeld „das Elementare bestimmen“ (z.B. grundlegende Idee, Gesetzmäßigkeit, Grundprinzip, Kerngedanke) und in eine Folge von Unterrichtsschritten bringen.

Durch diese Rückführung auf das Gegenständliche/ Anschauliche (Vermindern der Abstraktheit = Konkretisierung), geht aber auch eine Einschränkung des Gültigkeitsumfangs und des Allgemeinheitsgrades einher.

Abbau der Komplexität bedeutet in diesem Zusammenhang Reduzieren der Zahl der Einzelelemente (ohne Gesamtzusammenhang zu verfälschen) und Klärung des Gesamtzusammenhangs (Beziehungen der Elemente untereinander).

Wieweit diese Vereinfachung „vorangetrieben“, d.h. welche Stufe der Vereinfachung gewählt wird, ist vom Schüler (Alter, geistige Entwicklung, Leistungsfähigkeit, Alltagserfahrungen, Vorstellungen und Vorkenntnisse bzw. Schulart) abhängig zu machen.

### Elementarisierungsstufen

Unter Elementarisierungsstufen versteht man erlaubte (Arten von) Vereinfachungsstufen.

### Kriterien der Elementarisierung:

- schülergerecht (Auffassungsvermögen und Leistungsfähigkeit des S müssen berücksichtigt werden; Elementarisiertes muss weiterführend, eröffnend, nützlich, handhabbar (...) sein → keine „Sackgassen“ bauen)
- fachgerecht (fachliche Relevanz)
- zielgerecht (vereinbar mit den Zielsetzungen des Physikunterrichts)

D.h. die Aufbereitung von Sachstrukturen muss die fachlichen Strukturen (Achtung: physikalische Objekte sind nicht beliebig zerlegbar!), interne psychische Strukturen der Schüler und allgemeine Zielvorstellungen berücksichtigen.

Elementarisierung ist damit abhängig von Arten der Vereinfachung!

Je nach Autor finden sich unterschiedliche Ausprägungen der Stufen, die Kernaussagen bleiben jedoch gleich, deshalb nenne ich hier als Beispiele je eine Liste nach Jung und eine nach Duit et al. Beide Auflistungen sind für die Schulpraxis gedacht (lokale Betrachtungsweise).

- 1) Inhaltliche Vereinfachungsarten (Jung)
  - a) Reduktion auf das Qualitative (ausgehend von Alltagserfahrungen oder Freihandversuchen werden z.B. „Wenn...dann“ – Aussagen gemacht)
  - b) Mangelnde begriffliche Differenzierung (z.B. zwischen Spannung und Strom; Masse und Gewicht)
  - c) Übermäßige Generalisierung (z.B. lineare Gesetzmäßigkeiten)
  - d) Unnötige Partikularisierung (z.B. schwere und träge Masse)
  - e) Früheres Entwicklungsstadium (z.B. Äther)
  - f) Modelle ( siehe Vortrag „Modelle im Physikunterricht“)
- 2) Fachliche Vereinfachungsarten (Duit)
  - a) Reduktion auf das Qualitative
  - b) Vernachlässigung
  - c) Rückgriff auf frühere historische Entwicklungsstufen (Vorsicht: Misskonzepte)
  - d) Generalisierung/ Verallgemeinerung
  - e) Partikularisierung
  - f) Vereinfachung von begrifflichen Differenzierungen
  - g) Reduktion auf das Elementare oder Prinzipielle

Diese Vereinfachungsstufen sind untereinander nicht scharf zu trennen.

## 2. a) Wie lauten die „Kirchhoffschen Gesetze“ in allgemeiner Form?

### 1. Kirchhoffsches Gesetz (= „Knotenregel“ / „Verzweigungssatz“)

In jedem Punkt eines Leitersystems (= Knoten oder Verzweigungspunkt) ist die Summe der Stromstärken der zufließenden Ströme gleich der Summe der Stromstärken der abfließenden Ströme. Dabei werden abfließende Ströme positiv und zufließende Ströme negativ gezählt. Damit äquivalent ist: Die Summe aller Ströme an einem Knoten ist Null.

$$\sum I_n = 0$$

Das 1. Kirchhoffsche Gesetz folgt aus der Ladungserhaltung (Schulbuch). Genauer genommen folgt es aus der Kontinuitätsgleichung.

$$\operatorname{div} \vec{j} = \dot{\rho} \quad (\rho: \text{Ladungsstromdichte})$$

Im stationären Zustand ist die Ladungsstromdichte konstant, d.h.  $d\rho/dt = 0$

### 2. Kirchhoffsches Gesetz (= „Maschenregel“)

In jedem in sich geschlossenen Teil eines Leitersystems (= „Masche“/ „Schleife“) ist die Summe aller Spannungsanstiege gleich der Summe aller Spannungsabfälle (= negative Spannungsanstiege). Dabei gehen Spannungen in Umlaufrichtung mit positivem Vorzeichen und Spannungen gegen die Umlaufrichtung mit negativem Vorzeichen ein.

Damit äquivalent ist: Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist Null.

$$\sum U_n = 0$$

Das 2. Kirchhoffsche Gesetz folgt aus der Energieerhaltung .

## 2.b) Geben Sie diese Gesetze in elementarisierter Form an!

### Knotenregel

Die Stromstärke, die in einen Knoten hineinfließt, fließt auch wieder heraus.

$$I = I_1 + I_2$$

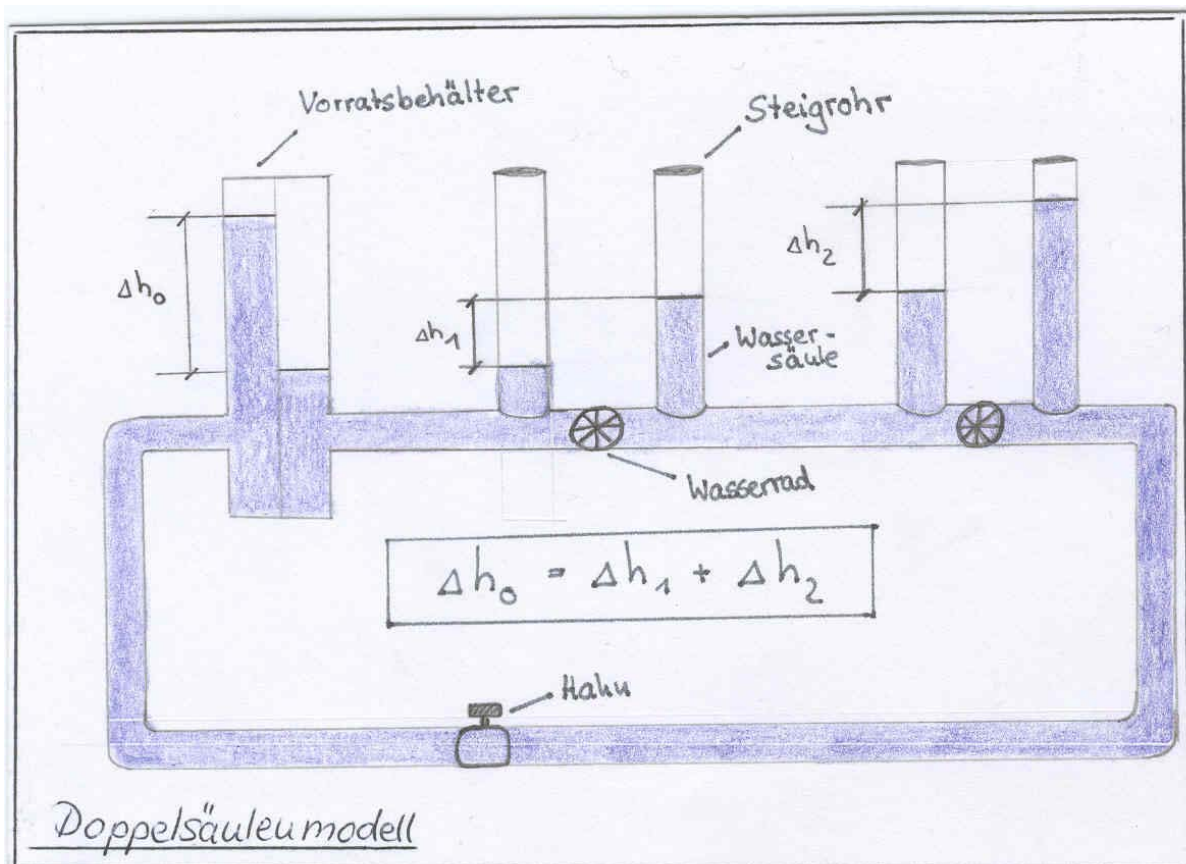
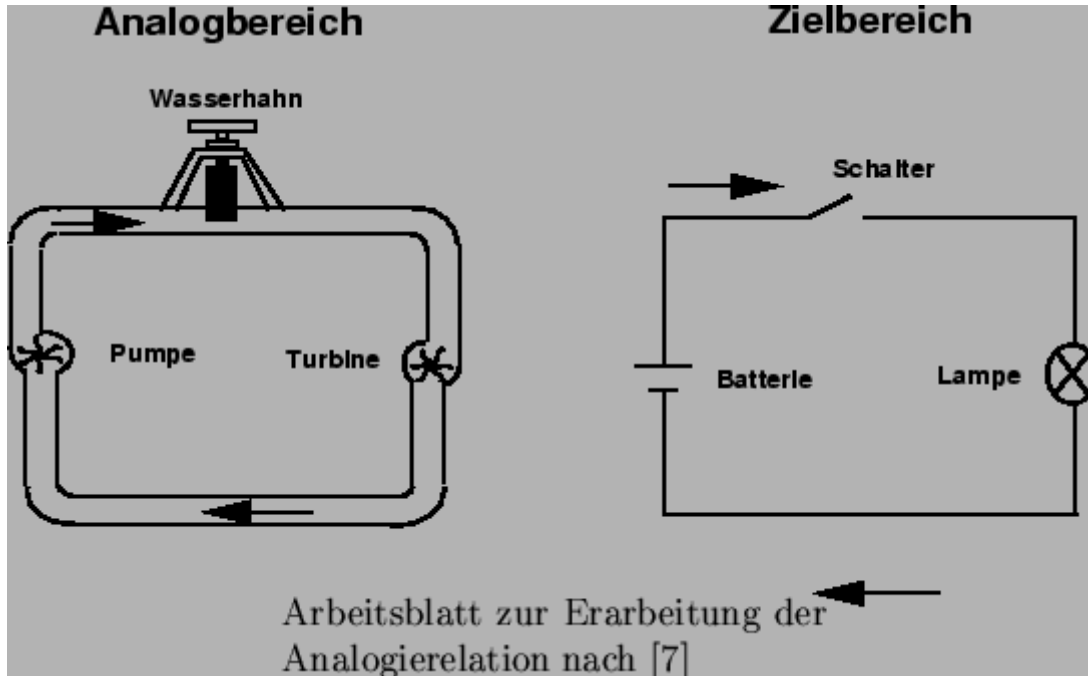
### Maschenregel

Die Gesamtspannung in einer Masche ist gleich Null.

$$U = U_1 + U_2$$

2.c) Inwiefern lässt sich die „Wasserstromkreis-Analogie“ bei der schulpraktischen Umsetzung des Themas „Kirchhoffsche Gesetze“ heranziehen?

Wasserstromkreis-Analogie



### Entsprechungen

<u>Wasserstromkreis</u>	<u>Elektrischer Stromkreis</u>
Wasserpumpe	Stromquelle
Turbine	Glühlampe
Ventil / Hahn	Schalter
Wasserrohr	leitende Verbindung
Wasser fließt im Kreis	elektrische Ladung fließt im Kreis
Wasserstromstärke ist überall im Kreis gleich	El. Stromstärke ist überall im Kreis gleich
Wird die Wasserpumpe eingeschaltet, so setzt sich überall im Kreis Wasser gleichzeitig in Bewegung	Wird der Schalter geschlossen, so setzen sich überall im Kreis elektrische Ladungen gleichzeitig in Bewegung
Druckdifferenz	Spannung
Wassertransport mit Eimer	Ladungstransport mit Konduktor

### Grenzen der Analogie

- Bricht ein Rohr, so tritt Wasser aus. (Bricht eine Leitung, so tritt aber keine Ladung aus, es sei denn etwas nimmt die Ladung auf.)
- Ist der Schalter offen, so entspricht dies einem geschlossenen Ventil
- Es gibt keine Entsprechung zur magnetischen Wirkung des el. Stromes.
- Ebenso gibt es keine Analogie zum einseitigen Leuchten einer Glühlampe.

### Folgerung:

Die Wasserstromkreisanalogie ist brauchbar, wenn es bekannte Versuchsergebnisse erklärt oder neue richtig vorherzusagen ermöglicht. Es eignet sich zur Beschreibung des Ladungstransports, aber nicht für alle Stromwirkungen.

Bei einem geschlossenen Wasserstromkreis (d.h. intakte Rohre) geht kein Wasser verloren. Nun kann eine Voraussage für den elektrischen Stromkreis getroffen werden.

Prognose: Aufgrund der Ladungserhaltung darf im Stromkreis ebenfalls keine Ladung verloren gehen und damit muss die Gesamtstromstärke gleich der Summe der Teilströme in den Verzweigungen sein.

Bei der Umsetzung der sog. Maschenregel wird es schon schwieriger. Man müsste hier einen methodisch gut konzipierten, komplexen Wasserstromkreis aufbauen, damit die Schüler die Maschenregel in der Analogie erkennen. Das Wasser wird mit der Wasserpumpe (Druck  $p$ ) durch den Kreis gedrückt, dabei nimmt der Druck durch die Rohre, Turbinen, Wasserkreisel und andere Widerstände ab. Die Summe der Druckabfälle muss dann wieder den Gesamtdruck  $p$  ergeben. Dafür werden mehrere Wasserräder hintereinander geschaltet und jeweils davor und danach ein Rohr senkrecht in die Wasserleitung gesteckt. Der Wasserpegel im Rohr steigt so hoch, dass der von ihm erzeugte hydrostatische Druck dem Druck im Rohr das Gleichgewicht hält.

Nun werden die Höhenabschnitte aufaddiert und es ergibt sich die Höhendifferenz der Ursprungswassersäulen (siehe Zeichnung).

Anmerkung: Der Hydrostatische Druck ist proportional zur potentiellen Energie (Proportionalitätsfaktor  $V$ ) → Energieerhaltung.

Prognose: Die Einzelspannungen müssen aufaddiert der Klemmenspannung entsprechen (=Maschenregel).

Diese Prognosen müssen dann jedoch noch am Experiment überprüft werden, da sonst für die Schüler der Anschein erweckt wird, dass sämtliche Erscheinungen des Wasserstromkreises ohne Überprüfung am el. Stromkreis auf den el. Stromkreis übertragen werden dürfen.

**3. Es soll eine Unterrichtseinheit zum Thema „Reihen – und Parallelschaltung von Widerständen“ geplant werden. Geben Sie dazu Lernvoraussetzungen und Lernziele an! Skizzieren Sie die Unterrichtseinheit unter Einbeziehung von Medien, Experimenten und Sozialformen!**

Lernvoraussetzungen

- (LV1) Kenntnis der Begriffe Spannung, Stromstärke, Widerstand
- (LV2) Kenntnis des Ohmschen Gesetzes, Fähigkeit der Berechnung des el. Widerstandes
- (LV3) Kenntnis der Abhängigkeit eines Widerstandes vom Leiterquerschnitt
- (LV4) Kenntnis der Begriffe verzweigter und unverzweigter Stromkreis bzw. Parallel – und Reihenschaltung
- (LV5) Kenntnis der Maschen- und der Knotenregel
- (LV6) Kenntnis des Multimeters als Blackbox zur Spannungs- und Stromstärkemessung
- (LV7) Kenntnis der je passenden Schaltung des Multimeters als Volt- oder Amperemeter.

Lernziele

Grobziel

Die Schüler sollen den Ersatzwiderstand einer Reihen- bzw. Parallelschaltung von bekannten Widerständen berechnen und damit vorhersagen können.

Feinziele

- (FZ1) S sollen experimentell durch Kombinieren verschiedener Widerstände einen geeigneten Vorwiderstand für eine Glühlampe finden können.
- (FZ2) S sollen erkennen, dass bei Reihenschaltung der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände ist.
- (FZ3) S sollen erkennen, dass bei Parallelschaltung der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Einzelwiderstand ist und dies begründen können.
- (FZ4) S sollen den Ersatzwiderstand einer Reihen- bzw. Parallelschaltung von bekannten Widerständen berechnen und damit vorhersagen können.

Artikulation	Sozialform	Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Medien
Motivation	fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch	„Ich habe hier einen Stromkreis aufgebaut, er ist jedoch nicht geschlossen, da ich keinen geeigneten Widerstand zur Hand habe. Zur Verfügung stehen mir nur folgende Widerstände: 10Ω, 10Ω, 24Ω, 120 Ω. Welchen Widerstand benötigen wir überhaupt um das Lämpchen (Daten: $U_L=6V$ ; $I_L=300mA$ ) zum Leuchten zu bringen?“	„Mit den Daten und der Formel für den el. Widerstand kann man $R = 20\Omega$ berechnen.“	Netzgerät, 2Multimeter, Experimentierkabel, Glühlampe, Widerstände
Problemfrage	Gebundenes Unterrichtsgespräch		„Wir haben aber keinen Widerstand	

			mit $20\Omega$ , aber vielleicht können wir sie ja zusammennehmen?“	
Meinungsbildung (1)		„Was meinst du genau damit?“	„Wir könnten z.B. die beiden Widerstände mit $10\Omega$ hintereinander schalten.“	
Lösungsversuch	Schüler-Lehrer-Demonstration, darbietend	„Versuchen wir es doch einfach.“ L lässt einen S mit den beiden Widerständen eine Reihenschaltung aufbauen, kontrolliert sie. Bei angeschlossener Spannung und geschlossenem Schalter leuchtet das Lämpchen gut.	Ein Schüler zeichnet währenddessen eine Schaltskizze an die Tafel. → <b>TA 2</b>	Versuchsaufbau, Tafel
Versuchsauswertung	Frageunterricht, erarbeiten	„Was haben wir jetzt damit festgestellt?“  → <b>TA 3</b>	„Wir können mehrer Widerstände in Reihe schalten und ihre Summe gibt dann den gesamten benötigten Widerstand.“	
Meinungsbildung (2)		„Fällt euch, wenn ihr euch an letzte Stunde erinnert, noch eine weitere Möglichkeit ein, die Widerstände anzuordnen?“	„Vielleicht mit einer Parallelschaltung der anderen beiden Widerstände?“	
Lösungsversuch	Schüler-Lehrer-Demonstration, darbietend	„Versuchen wir es doch einfach.“ L lässt einen anderen Schüler eine Parallelschaltung der Widerstände $24\Omega$ und $120\Omega$ aufbauen, kontrolliert sie und legt bei geschlossenem Schalter Spannung an.	Ein Schüler zeichnet währenddessen eine Schaltskizze an die Tafel. → <b>TA 4</b>	Versuchsaufbau, Tafel
Versuchsauswertung	Frageunterricht, erarbeitend	„Was seht ihr?“  „Wir haben große Widerstände verwendet, wie hell hätte die Lampe geleuchtet, wenn wir einen dieser Widerstände alleine verwendet oder	„Die Glühlampe leuchtet genauso hell wie beim letzten Versuch.“  „Die Lampe hätte schwächer oder	Tafel, Versuchsaufbau



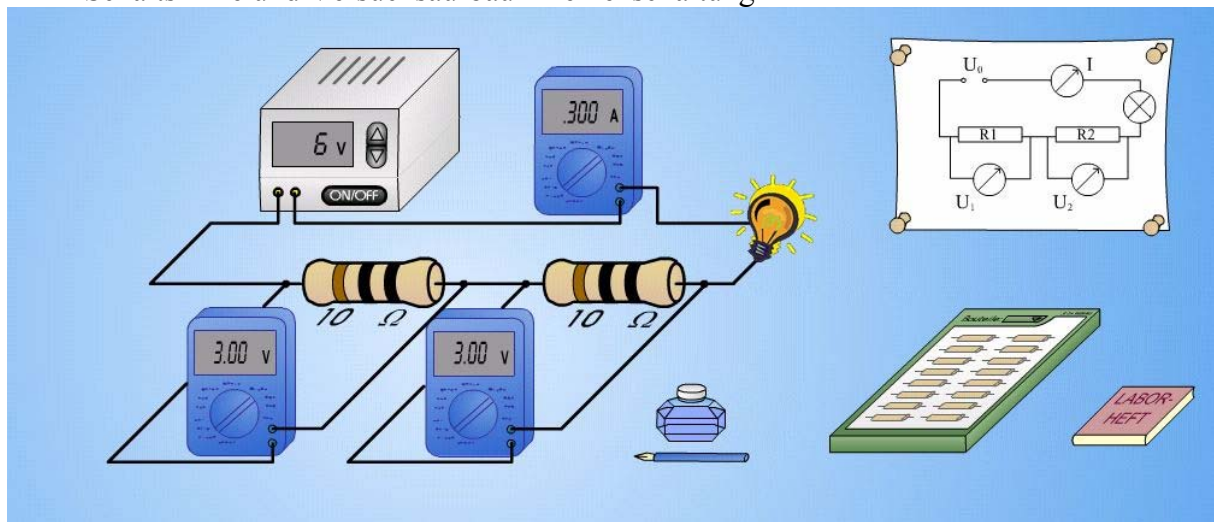


		<p>berechnen, welche Formel müssen wir also für U (bzw. <math>U_1</math>, <math>U_2</math>) einsetzen?“</p> <p>„Was fällt euch nun auf?“ Schüler an der Tafel setzt ein und löst Gleichung auf. → <b>TA7</b> „Nun betrachten wir unsere Parallelschaltung: Wie berechnen sich hier Spannung und Stromstärke?“</p> <p>L bittet wieder einen Schüler an die Tafel und lässt die genannte Regel an die Tafel schreiben. „Wir wollen ja R berechnen, welche Formel müssen wir also jetzt für I (bzw. <math>I_1</math> und <math>I_2</math>) einsetzen.“ „Betrachtet nun die Gleichung, was fällt euch auf?“</p> <p>Schüler setzt ein und löst die Gleichung auf. → <b>TA 8</b> → <b>TA 1</b></p>	<p><math>U = R \cdot I</math> <math>U_1 = R_1 \cdot I</math> <math>U_2 = R_2 \cdot I</math> „I kann man kürzen.“</p> <p>„Jetzt ist die Spannung überall gleich.“ „Die Gesamtstromstärke ist die Summe aus den Teilströmen <math>I_1</math> und <math>I_2</math> (Knotenregel)“</p> <p><math>I = U/R</math> <math>I_1 = U/R_1</math> <math>I_2 = U/R_2</math></p> <p>„U kann man kürzen und dann steht der Kehrwert des Ersatzwiderstandes R da.“</p>	
Übung/ Festigung		L stellt entsprechende Übungsaufgaben zur Festigung des eben Gelernten und geht sie mit den Schülern durch.		Buch/ Arbeitsblatt/ Tafel

TA1 (ergänzt L zuletzt : Überschrift)

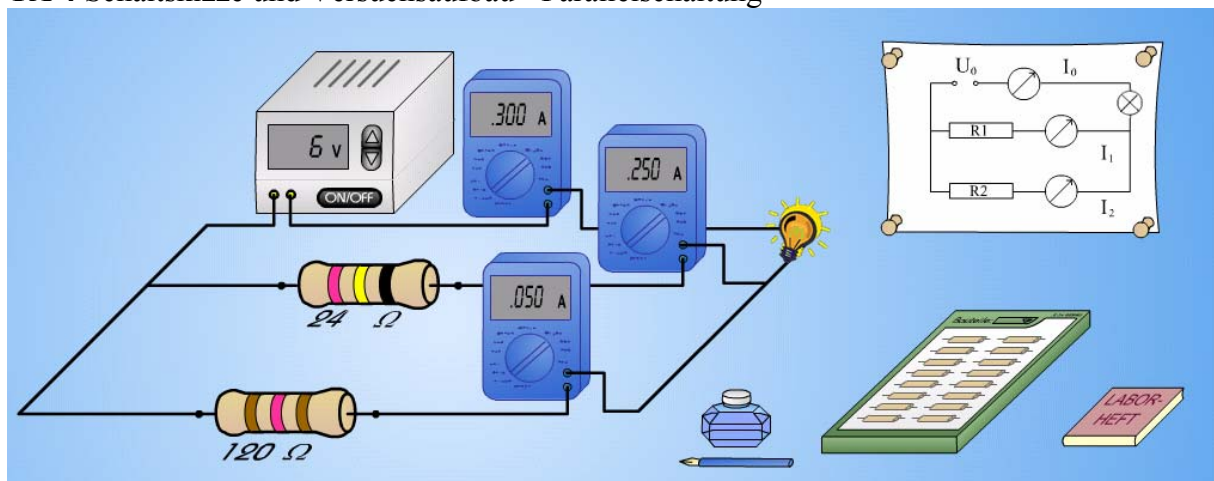
Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen – Ersatzwiderstand

TA 2 Schaltskizze und Versuchsaufbau - Reihenschaltung



TA 3 Bei Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände.

TA 4 Schaltskizze und Versuchsaufbau - Parallelschaltung



TA 5 und TA 6

Bei Parallelschaltung ist der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste parallel geschaltete Einzelwiderstand.

Grund: Der Leiterquerschnitt des Gesamtleiters vergrößert sich.

Dieser Gesamtwiderstand wird auch Ersatzwiderstand genannt.

TA 7

Reihenschaltung von Widerständen :

$$U = U_1 + U_2$$

$$U = R \cdot I$$

$$U_1 = R_1 \cdot I$$

$$U_2 = R_2 \cdot I$$

$$\Rightarrow R \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I$$

$$\Rightarrow \boxed{R = R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2 = 10\Omega + 10\Omega = 20\Omega = R$$

## TA 8

### Parallelschaltung von Widerständen:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = U/R$$

$$I_1 = U/R_1$$

$$I_2 = U/R_2$$

$$\Rightarrow U/R = U/R_1 + U/R_2$$

$$\Rightarrow \boxed{1/R = 1/R_1 + 1/R_2}$$

$$1/R_1 + 1/R_2 = 1/(24\Omega) + 1/(120\Omega) = 1/(20\Omega) = 1/R \quad \Leftrightarrow R = 20\Omega$$

#### **4. Bei Stromfluss an einem gewöhnlichen Leiter wird Arbeit verrichtet.**

##### **a) Beschreiben Sie, wie experimentell der Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke, Zeitdauer und der elektrischen Arbeit bestimmt werden kann!**

Ein elektrischer Tauchsieder kann als Wärmeenergiequelle verwendet werden. Die Wärmeenergiemenge ist durch die Gleichung  $W = c m \Delta\vartheta$  gegeben. Misst man nun in konstanten Zeiteinheiten die Temperaturzunahme einer Menge Wasser der Masse  $m$  unter Konstanthaltung der elektrischen Stromstärke  $I$  und zeichnet dann ein  $W(t)$ -Diagramm, so lässt sich (für die Schüler) die direkte Proportionalität von Wärmeenergie  $W$  und Zeit  $t$  erkennen.

Mit dem gleichen Versuch lässt sich auch die direkte Proportionalität von Wärmemenge  $W$  und dem Produkt aus el. Spannung  $U$  und el. Stromstärke  $I$  zeigen.

Versuch: Dazu wird mehrmals nacheinander jeweils 3 Minuten lang eine Menge Wasser der Masse  $m$  mit einem Tauchsieder erhitzt. Dabei wird jedes Mal eine andere Spannung  $U$  gewählt und die dazugehörige Stromstärke  $I$  sowie die Temperaturerhöhung  $\Delta\vartheta$  gemessen. Zeichnet man nun ein  $W(UI)$ -Diagramm, erkennt man die Behauptung.

Folge: Die vom elektrischen Strom entwickelte Wärmeenergie  $W$  ist direkt proportional zum Produkt aus Spannung  $U$ , Stromstärke  $I$  und Zeit  $t$ .

Also:  $W \sim U I t \quad \leftrightarrow \quad W = k U I t$  (Proportionalitätsfaktor  $k$ )

Joule zeigte, dass durch mechanische Arbeit, nämlich durch Reibungsarbeit, Wärmeenergie gewonnen werden kann. Fließt ein elektrischer Strom durch einen Draht, wird ebenfalls Wärmeenergie entwickelt. Daher sagt man: Der el. Strom verrichtet eine el. Arbeit  $W$ .

Diese ist auch eine Art Reibungsarbeit, da es zwischen den Metallatomen und den Elektronen zu Stößen kommt, wodurch der Draht erwärmt wird. Entsprechend ergibt sich für die el. Arbeit:  $W = k U I t$ .

Die elektrische Arbeit stimmt mit der erzeugten Wärmeenergie ebenso überein, wie die Reibungsarbeit mit der durch sie erzeugten Wärmeenergie. Man setzt zweckmäßig (siehe b)) den Proportionalitätsfaktor  $k=1$  und definiert sich dadurch:

El. Arbeit  $W = U I t$



## Literatur

- Wolfgang Bleichroth u.a.: Fachdidaktik Physik; Aulis Verlag Deubner & Co; Köln 1991
- Karl Hammer: Physik Mittelstufe; R. Oldenbourg Verlag; München 1972
- Sigrid Weber: Angewandte Fachdidaktik und theoretische Grundlagen der Fachdidaktik
- <http://btpdx1.phy.uni-bayreuth.de/VirtuelleExperimente/elek/quickstart.html>
- Hans Joachim Wilke u.a.: Physik Sekundarstufe I; Volk und Wissen Verlag GmbH, Berlin 1993
- Kircher/ Girwidz/ Häußler: Physikdidaktik Eine Einführung; Springer Verlag; Berlin Heidelberg 2001
- Norbert Dmoch u.a. : Grundzüge der Physik, Sekundarstufe I, Teilband Elektrik; Verlag Moritz Diesterweg/ Otto Salle Verlag; Frankfurt a.M. 1978