



# GESETZMÄSSIGKEITEN IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS – ELEKTRIZITÄT IM BASISKONZEPT SYSTEM

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Physik – Themenfeld 9



In den PL-Informationen werden Ergebnisse veröffentlicht, die von Lehrerinnen und Lehrern aller Schularten unter Einbeziehung weiterer Experten erarbeitet und auf der Grundlage der aktuellen pädagogischen oder fachdidaktischen Diskussion für den Unterricht oder die Schulentwicklung aufbereitet wurden. Mit ihnen werden Anregungen gegeben, wie Schulen bildungspolitische Vorgaben und aktuelle Entwicklungen umsetzen können.

Die PL-Informationen erscheinen unregelmäßig. Unser Materialangebot finden Sie im Internet auf dem Landesbildungsserver unter folgender Adresse:

<https://pl.bildung-rp.de/publikationen>

Die vorliegende Veröffentlichung wird gegen eine Schutzgebühr von 6,00 Euro zzgl. Versandkosten abgegeben. Bestellungen richten Sie bitte an das Pädagogische Landesinstitut:

[bestellung@pl.rlp.de](mailto:bestellung@pl.rlp.de)

---

# IMPRESSUM

## **Herausgeber:**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz  
Standort Bad Kreuznach  
Röntgenstraße 32  
55543 Bad Kreuznach  
[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)

## **Redaktion:**

Benjamin Hinkeldey, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Skriptbearbeitung:**

Corina Blumenröder-Zimmer, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Titelbild:**

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Juni 2017

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2017

ISSN 2190-9148

Soweit die vorliegende Handreichung Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Sollten dennoch in einigen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz.

# INHALT

<b>1</b>	<b>Themenfeld 9: Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis – Elektrizität im Basiskonzept System</b>	<b>3</b>
1.1	Überblick über das neunte Themenfeld	3
1.2	Die Themenfeld-Doppelseite	4
1.3	Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung	6
1.3.1	Intention	6
1.3.2	Kompetenzen	7
1.3.3	Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe	7
1.3.4	Erschließung des Themenfelds durch Kontextorientierung	8
1.3.5	Differenzierungsmöglichkeiten	8
1.3.6	Bezüge	9
1.4	„Der rote Faden“ – Themenfeld 9 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern	10
1.5	Didaktische Anmerkungen	12
<b>2</b>	<b>Unterrichtsbeispiele</b>	<b>19</b>
2.1	Vorüberlegungen	19
2.2	Vorschlag für einen Unterrichtsgang – Mehrfachstecker und Waffeleisen	25
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>67</b>
	<b>Autorinnen und Autoren</b>	<b>67</b>



# 1 THEMENFELD 9: GESETZMÄSSIGKEITEN IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS – ELEKTRIZITÄT IM BASISKONZEPT SYSTEM

## 1.1 Überblick über das neunte Themenfeld

Der neue Lehrplan im Fach Physik für die Klassen 7 bis 9/10 der weiterführenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz trat zum Schuljahr 2014/15 in Kraft und schließt konzeptionell an den Lehrplan des Faches Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe an.

Die drei Säulen des NaWi-Unterrichts Kompetenzen, Basiskonzepte und Kontexte bilden auch die Stützpfeiler des Physik-Unterrichts und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Das neunte Themenfeld ist im Rahmen des spiralig angelegten Curriculums nach Themenfeld 6 das zweite, das Aspekte aus der Elektrizitätslehre zum Inhalt hat. Lag der Schwerpunkt in diesem Themenfeld auf dem Aspekt des elektrischen Transports von Energie und damit verbunden auf der Einführung der physikalischen Größe Potenzialdifferenz bzw. Spannung, so liegt er nun auf der Betrachtung des elektrischen Stromkreises als System sowie der Untersuchung der damit verbundenen Gesetzmäßigkeiten. Dabei werden die Größen der elektrischen Stromstärke sowie des elektrischen Widerstands eingeführt.

Wie bereits in der Handreichung zu Themenfeld 6 erläutert, steht hinter dieser zeitlich getrennten Einführung der Größen Spannung und Stromstärke die Absicht, der vielfach gemachten Beobachtung zu begegnen, dass Schülerinnen und Schülern auch nach dem Unterricht der Elektrizitätslehre eine klare begriffliche Trennung der Begriffe Spannung und Stromstärke schwerfällt (Duit, R.; Jung, W.; v. Rhöneck, Ch. (1985); Schwarze, H. (2003)). Bei der Einführung des elektrischen Widerstands kann zudem auf die Erfahrungen aus Themenfeld 8 zurückgegriffen werden, wo die Bedeutung des Begriffs „Widerstand“ bei thermischen Energieströmen sinnlich erfahrbar war.

Die vorliegende Handreichung stellt die Themenfeld-Doppelseite des Lehrplans vor und zeigt beispielhaft, wie dieses Themenfeld entsprechend den Lehrplananforderungen konkret im Unterricht umgesetzt werden kann.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen werden die in dieser PL-Information vorgestellten Materialien (z. B. Arbeitsblätter) nicht 1:1 abgedruckt. Handreichung und Materialien (in editierbarer Form) stehen deshalb zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter:

<http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/physik/unterricht.html>

## 1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

### TF 9: Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis Elektrizität im Basiskonzept System

Aus dem alltäglichen Umgang mit elektrischen Geräten bringen die Schülerinnen und Schüler Grunderfahrungen zu den Wirkungen und Gefahren der Elektrizität mit. In Themenfeld 6 haben sie elektrische Stromkreise primär unter dem Aspekt des Energietransports betrachtet und die Größe Spannung (Potenzialdifferenz) als Antrieb identifiziert. In Themenfeld 8 haben sie den Begriff des Widerstandes kennengelernt und das Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept auf thermische Systeme angewandt.

Schwerpunkt dieses Themenfeldes sind quantitative Untersuchungen zum Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept am Beispiel elektrischer Stromkreise. Dazu wird jetzt auch die Größe elektrische Stromstärke in die Betrachtungen einbezogen. Die gegenseitige Abhängigkeit der Größen Spannung, elektrische Stromstärke und elektrischer Widerstand wird aufgezeigt. Die Veränderung einer einzelnen Größe hat Einfluss auf das gesamte System. Die Nutzung von Analogien zu bekannten Systemen (Wärmeleitung) ermöglicht die Entwicklung eines tragfähigen Konzeptes für die Vorgänge im elektrischen Stromkreis. Die Anwendung der Gesetzmäßigkeiten erfolgt vor allem bei alltagsnahen Problemstellungen.

#### Kompetenzen:

Die Schülerinnen und Schüler

- wenden Messverfahren im Stromkreis an (z. B. zur Überprüfung der Knotenregel),
- führen einfache Experimente zu Größen im Stromkreis durch (z. B. zu U-I-Kennlinien verschiedener Bauteile oder zum spezifischen Widerstand eines Drahtes),
- nutzen Analogien zu thermischen Strömen zur Erklärung der Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von Spannung und Widerstand,
- nutzen Wissen über die Zusammenhänge elektrischer Größen zur Berechnung von Größen im Stromkreis,
- beurteilen Gefahren und Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit elektrischem Strom.

#### Beitrag zur Entwicklung von Basiskonzepten:

- Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)
- Mittels gemessener physikalischer Größen (hier U, I, t) kann man die Energie indirekt bestimmen. (E)
- Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestromstärke beschrieben werden (der Begriff „Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E)

#### Fachbegriffe:

Spannung  
Stromstärke  
Widerstand

Leistung

**Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:**



**Differenzierungsmöglichkeiten:**

Für ein Basisverständnis der Zusammenhänge zwischen Stromstärke, Spannung, Widerstand, Leistung und Energie reicht die Betrachtung einfacher Stromkreise an Beispielen aus dem Alltag aus.

Die Komplexität steigt mit zunehmender Quantifizierung bei der Betrachtung verzweigter Stromkreise. Erweiterungen sind zudem in Hinblick auf Messtechnik (z. B. mittels temperatur- oder lichtempfindlicher Widerstände) denkbar. Ebenso können das induktive (spezifischer Widerstand) und deduktive (z. B. Abhängigkeit der Leistung vom Widerstand) Verfahren zur Herleitung von Formeln sowie die experimentelle Methode vertieft werden.

**Bezüge:**

<p><b>NaWi</b> TF 6 Stromkreis</p>	<p><b>Biologie</b> TF 7 Neuronale Erregung/Ableitung TF 11 Elektrophorese</p>
<p><b>Chemie</b> TF 4 Metalle, Leitfähigkeit TF 8 Ströme bei industriellen Verfahren</p>	<p><b>Physik</b> TF 6 Energietransport im Stromkreis, Spannung TF 8 Widerstand, Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept in thermischen Systemen</p>

Abb. 1: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 116/117

## 1.3 Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung

Die einzelnen Rubriken der Themenfeld-Doppelseite geben den Rahmen für die Unterrichtsplanung vor. Die Inhalte der Rubriken der linken Seite sind verbindlich umzusetzen, in denen der rechten werden Anregungen für die Unterrichtsgestaltung gegeben.

Themenfeld-Titel		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Intention		
Kompetenzen		Differenzierungsmöglichkeit
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	Bezüge

Der zweigeteilte **Themenfeld-Titel** „Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis – Elektrizität im Basiskonzept System“ liefert eine fachsystematische Einordnung und gibt Aufschluss darüber, welches Basiskonzept schwerpunktmäßig weiterentwickelt werden soll. Inhaltlich werden aus dem Bereich der Elektrizitätslehre vor allem die Gesetze des elektrischen Stromkreises in den Mittelpunkt gestellt. Dabei wird auf die Betrachtung des Stromkreises als System fokussiert und deutlich gemacht, dass die Veränderung einer Größe immer gleichzeitig Veränderungen bei den übrigen Größen zur Folge hat.

### 1.3.1 Intention

Die **Intention**, die im Unterricht **verbindlich** umzusetzen ist, gibt Aufschluss über die Bildungsabsicht.

Der zentrale Aspekt dieses Themenfelds ist die Betrachtung von elektrischen Stromkreisen unter dem Aspekt „System“. Dabei kann das Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept und die Nutzung geeigneter Analogien zur Bildung geeigneter Vorstellungen herangezogen werden. Bei quantitativen Untersuchungen, zunächst an einfachen und später auch an komplexeren Schaltungen kann deutlich werden, dass elektrische Schaltungen stets als Ganzes reagieren und die Veränderung einer Größe (z. B. eines Widerstands) die Veränderung anderer Größen zur Folge hat.

Ausgangspunkt für diese Untersuchungen kann die Betrachtung alltagsnaher Problemstellungen sein wie z. B. „Warum fliegt beim Schulfest dauernd die Sicherung raus, wenn wir an unserem Stand mit fünf Waffeleisen Waffeln backen wollen?“

### 1.3.2 Kompetenzen

Die hier aufgeführten konkreten Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler sind im Rahmen des Themenfelds **verbindlich** zu ermöglichen und tragen zur Kompetenzentwicklung bei. In Themenfeld 9 werden Beiträge insbesondere zur Weiterentwicklung der Kompetenzbereiche „Erkenntnisgewinnung“, „Umgang mit Fachwissen“ und „Bewertung“ geleistet.

Die Schülerinnen und Schüler können in Themenfeld 9 ihre Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung weiterentwickeln, indem sie in elektrischen Schaltungen Messungen durchführen und dabei z. B. die U-I-Kennlinien verschiedener Bauteile ermitteln. Die Ergebnisse können grafisch dargestellt und z. B. bei ohmschen Widerständen auch quantitativ ausgewertet werden. Zur Erklärung der Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von Spannung und Widerstand können Analogien zu thermischen Strömen herangezogen und Analogiemodelle genutzt werden.

Die Kompetenzen im Umgang mit Fachwissen werden weiterentwickelt, wenn das erworbene Wissen über die Zusammenhänge im elektrischen Stromkreis zur Berechnung von Größen sowie zur Beantwortung alltagsnaher Fragestellungen genutzt wird.

Ebenso eröffnen diese Kenntnisse den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, Gefahren und Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit elektrischen Geräten und Schaltungen zu beurteilen, und tragen somit zum Kompetenzerwerb im Bereich „Bewertung“ bei.

### 1.3.3 Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Die vermittelten Fachinhalte sollen über die Jahre hinweg Schülerinnen und Schülern helfen, eigene physikalische Konzepte aufzubauen. Deshalb wird das Fachwissen immer an Basiskonzepte angebunden.

Die beiden Rubriken „Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte“ und „Fachbegriffe“ geben verbindliche Hinweise darauf, mit welcher Schwerpunktsetzung die Fachinhalte aufbereitet werden sollen, um das angestrebte Konzeptverständnis zu erreichen, und welche Fachbegriffe von den Schülerinnen und Schülern im Unterricht verbindlich benutzt werden sollen.

Themenfeld 9 zielt schwerpunktmäßig auf die Entwicklung der Basiskonzepte Energie und System. Bei der Untersuchung der Zusammenhänge im elektrischen Stromkreis wird deutlich, dass Systeme immer als Ganzes auf Veränderungen reagieren und Ströme in ihrer Stärke durch Veränderung des Antriebs (Potenzialdifferenz) oder des Widerstands beeinflusst werden können.

Mit der elektrischen Stromstärke steht nun neben der Potenzialdifferenz auch die zweite notwendige Größe zur quantitativen Beschreibung elektrischer Energietransporte mithilfe der Formel  $P = U \cdot I$  zur Verfügung. Somit kann über die Messung von U, I und t die an einem Bauteil abgegebene Energie bestimmt werden.

Eine Überfrachtung des Unterrichts mit Begriffen, die der reinen Beschreibung von Phänomenen dienen und weder zur pädagogischen Absicht noch zum Aufbau von Konzepten gebraucht werden, ist dringend zu vermeiden.

### 1.3.4 Erschließung des Themenfelds durch Kontextorientierung

Diese Rubrik zeigt bildungsrelevante Kontexte und konkrete Fragestellungen aus vier lebensweltlichen Bereichen, die zentralen Bedürfnisfeldern der Menschen entsprechen. Es sind Vorschläge, wie das neunte Themenfeld kontextuell angebunden werden kann. Weder die Abdeckung der vier Äste der Mindmap noch die Umsetzung dort aufgeführter Kontexte sind verbindlich. Sie sollen lediglich die Vielfalt der Möglichkeiten aufzeigen und entsprechende Anregungen geben. Bei der Wahl geeigneter Kontexte für die eigene Unterrichtsplanung sollten neben individuellen Interessen der Lernenden auch schulische Besonderheiten beachtet werden:

- fächerverbindende oder integrierte Lernangebote (z. B. Biologie),
- Möglichkeit für Projekte, z. B. im Ganztagsunterricht,
- Zusammenarbeit mit nicht-naturwissenschaftlichen Fächern oder Wahlpflichtfächern,
- schulische Ausstattung,
- aktuelle Themen/Anlässe,
- Angebote außerschulischer Kooperationspartner.

### 1.3.5 Differenzierungsmöglichkeiten

Die dargestellten Möglichkeiten beziehen sich sowohl auf äußere Differenzierung, wie z. B. für unterschiedliche Schulformen, als auch auf binnendifferenzierte Arbeitsweisen innerhalb einzelner Lerngruppen. Sie schlagen Ansatzpunkte für die Differenzierung nach oben wie nach unten vor, um die Lerninhalte individuell an die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Lerngruppen anzupassen.

Der erste Abschnitt macht deutlich, dass ein Grundverständnis der Zusammenhänge zwischen den Größen Stromstärke, Spannung, Widerstand, Leistung und Energie schon durch die Betrachtung einfacher alltagsnaher Stromkreise erreicht werden kann.

Im zweiten Abschnitt wird aufgezeigt, dass für eine Vertiefung verschiedene Möglichkeiten bestehen. Sie kann durch die Betrachtung verzweigter Stromkreise, die genutzte Messtechnik, den Grad an Mathematisierung oder auch durch eine Erhöhung der Komplexität bei der experimentellen Untersuchung erfolgen. Dabei ist aber der Zeitumfang zu berücksichtigen. Vertiefungsmöglichkeiten ergeben sich auch im Rahmen der Themenfelder 11 (Sensoren) und 12 (Praxis und Forschung).

### 1.3.6 Bezüge

Um Synergien nutzen zu können, empfiehlt es sich, zumindest die Arbeitspläne und Unterrichtsverteilungen der naturwissenschaftlichen Fächer NaWi, Biologie, Chemie und Physik aufeinander abzustimmen. Welche Voraussetzungen genau in NaWi geschaffen wurden bzw. wie die optimale Anbindung an die späteren Themenfelder in Chemie und Biologie aussehen kann, ist u. a. wegen der Kontingenzstundentafel und der darauf aufbauenden schulinternen Arbeitspläne sehr schulspezifisch. Auch deswegen empfehlen sich Absprachen innerhalb der Fachkonferenz bzw. fachübergreifend. Je besser die Vernetzung zwischen den Fächern erfolgt, desto kontinuierlicher werden Kompetenzen entwickelt und desto besser gelingt ein kumulativer Aufbau der Basiskonzepte.

Beispielhaft wird gezeigt, dass das Themenfeld 9 des Physik-Lehrplans inhaltliche Verbindungen zu Themenfeld 6 des NaWi-Lehrplans, zu den Themenfeldern 7 und 11 des Biologielehrplans, zu den Themenfeldern 4, 8 und 12 des Chemielehrplans und zu den Themenfeldern 6 und 8 des vorliegenden Physik-Lehrplans aufweist.

Im NaWi-Unterricht der Orientierungsstufe haben die Schülerinnen und Schüler in Themenfeld 6 bei der Untersuchung von Geräten und Maschinen im Alltag den elektrischen Stromkreis kennengelernt.

In der Biologie werden mit der neuronalen Erregung in Themenfeld 7 sowie Elektrophorese in Themenfeld 11 ebenfalls Aspekte mit Verbindung zur Elektrizitätslehre thematisiert.

Bei der Betrachtung von Metallen in Themenfeld 4 der Chemie ist die elektrische Leitfähigkeit eine kennzeichnende Größe; Themenfeld 8 thematisiert die Energiebilanz bei großtechnischen Verfahren, Themenfeld 12 bearbeitet den elektrischen Stromfluss in der galvanischen Zelle.

Die angegebenen Bezüge zum Physik-Lehrplan machen noch einmal deutlich, dass erste Grundlagen zum elektrischen Energietransport bereits in Themenfeld 6 gelegt wurden. In Themenfeld 8 konnten im Zusammenhang mit der Untersuchung thermischer Ströme Erfahrungen mit dem (thermischen) Widerstand gemacht werden, auf die bei der Vorstellungsbildung zum elektrischen Widerstand zurückgegriffen werden kann. Weitere Bezüge innerhalb der Physik, insbesondere auch unter dem Aspekt der Entwicklung der Basiskonzepte Energie und System, werden in Kapitel 1.4 ausgeführt.

Neben den genannten sind hier auch Bezüge zu weiteren Fächern möglich. Schulinterne Abstimmung ist hier ebenfalls notwendig und hilfreich.

## 1.4 „Der rote Faden“ – Themenfeld 9 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern

Der Physik-Lehrplan zielt auf die **Entwicklung von Basiskonzepten**, mit deren Hilfe sich die Schülerinnen und Schüler ein Bild von der Physik machen können, die ihnen aber auch in den anderen Naturwissenschaften bei der Erklärung ihrer lebensweltlichen Fragen helfen können. In der nachstehenden Grafik ist erkennbar, dass die Basiskonzepte kontinuierlich weiterentwickelt werden und einzelne Themenfelder jeweils auf unterschiedliche Weise Beiträge zur Entwicklung dieser Basiskonzepte leisten.

Basiskonzept	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	TF 5	TF 6	TF 7	TF 8	TF 9	TF 10	TF 11	TF 12
Energie												
System												
Teilchen-Materie/Stoff												
Struktur-Eigenschaft-Funktion												
Chemische Reaktion												
Wechselwirkung												
Entwicklung												

Basiskonzept verpflichtend  Basiskonzept fakultativ

Abb. 2: Entwicklung von Basiskonzepten

Der Schwerpunkt des vorliegenden Themenfelds liegt auf einer Weiterentwicklung in Bezug auf die Basiskonzepte Energie und System. Dazu leisten verschiedene Erkenntnisse und Beobachtungen aus dem Unterricht einen Beitrag. Wichtig für die Lehrkraft ist es, Lernmaterialien und Unterrichtssituationen so aufzubereiten und zu gestalten, dass diese Entwicklung und der Bezug auf bereits vorhandenes Konzeptwissen auch bewusst gemacht werden.

Das Basiskonzept Energie wurde im vorangegangenen Unterricht schwerpunktmäßig in den Themenfeldern 4, 6 und 8 entwickelt. Dabei wurde in Themenfeld 4 die Energie vor allem im Zusammenhang mit Bewegungsvorgängen betrachtet. In Themenfeld 6 haben sich die Lernenden mit dem Transport und den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Energie befasst. Dabei stand neben dem Transport von Energie auf dem Träger Elektrizität auch die Umladung der Energie auf andere Träger in verschiedenen Elektrogeräten im Zentrum der Betrachtung. Auch im Umgang mit den Einheiten für die Energie sowie für die Energiestromstärke (Leistung) sollte eine gewisse Vertrautheit erreicht worden sein. Die Betrachtung thermischer Energieströme in Themenfeld 8 leistete weitere Beiträge zur Entwicklung des Basiskonzepts Energie.

In Themenfeld 9 wird nun zum einen der Zusammenhang von Energiestromstärke (Leistung), Zeit und Energie wieder aufgegriffen und zum anderen über die nunmehr verfügbare Formel  $P = U \cdot I$  bzw.  $E = U \cdot I \cdot t$  die Möglichkeit der indirekten Bestimmung von Energieumsätzen eröffnet.

Eine Weiterentwicklung des Basiskonzepts Energie erfolgt dann z. B. im Themenfeld 10, wenn die Effektivität solcher Energieumladungen unter dem Aspekt „Wirkungsgrad“ näher betrachtet und untersucht wird.

Beiträge zur Entwicklung des Basiskonzepts System wurden bereits in den Themenfeldern 1, 2, 4 und 6 geleistet. Dabei lernten die Schülerinnen und Schüler in den ersten beiden Themenfeldern, dass Systeme aus Elementen bestehen, die untereinander Materie, Energie und Information austauschen und dass dieser Austausch mit einer endlichen Geschwindigkeit stattfindet. In Themenfeld 4 kam der Aspekt des Gleichgewichts hinzu. Bei der Betrachtung des elektrischen Energietransports in Themenfeld 6 lernten die Schülerinnen und Schüler die Potenzialdifferenz als Bedingung für einen elektrischen Energietransport kennen. In Themenfeld 8 erkannten sie die Temperaturdifferenz als Bedingung für einen thermischen Energietransport. Als Erweiterung in Bezug auf das Basiskonzept System kam der Aspekt hinzu, dass diese thermischen Energieströme durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden können.

Dieser Aspekt der Beeinflussung von Strömen durch Widerstände wird im Themenfeld 9 wieder aufgegriffen und auf elektrische Ströme angewendet. Hinzu kommt die Möglichkeit zur Mathematisierung der Zusammenhänge von Antrieb (Potenzialdifferenz), Stromstärke und Widerstand. Erweitert wird das Wissen zum Basiskonzept System bei der Betrachtung komplexerer Systeme am Beispiel verzweigter Stromkreise. Dort lässt sich z. B. zeigen, dass solche Systeme stets als Ganzes reagieren und die Veränderung eines Elements Auswirkungen auf das gesamte System haben kann.

Bezogen auf das Themenfeld 9 zeigt die folgende Darstellung noch einmal auf, wie die beiden Basiskonzepte zur Erklärung der Beobachtungen und Messungen an einfachen und komplexeren elektrischen Stromkreisen sowie zur Beantwortung vieler damit zusammenhängender Fragen beitragen.

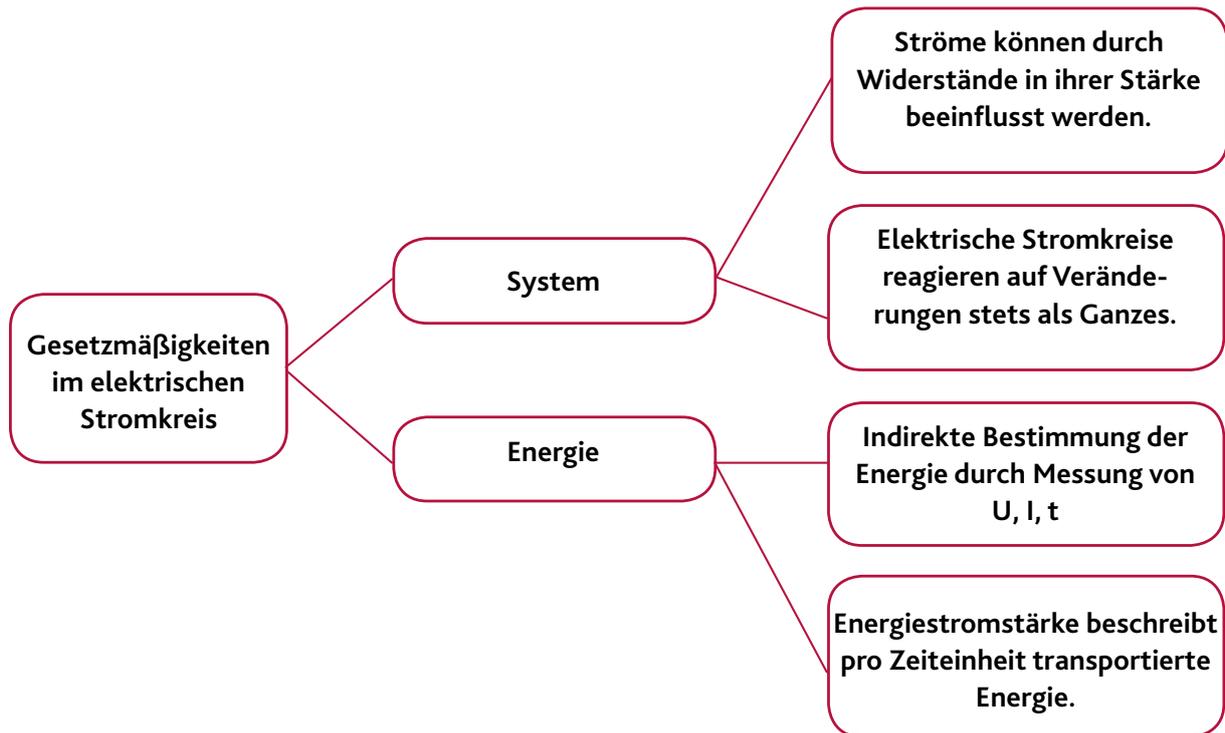


Abb. 3: Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis – Basiskonzepte

## 1.5 Didaktische Anmerkungen

### Sprachsensibilität im Umgang mit den Begriffen

In den didaktischen Anmerkungen der Handreichungen zu Themenfeld 6 wird bereits darauf hingewiesen, dass Unterricht zum Thema „Elektrizität“ von den Unterrichtenden eine große Sprachsensibilität fordert. Die dort gemachten Ausführungen werden im Folgenden aufgegriffen und weitergeführt.

Ein Problemfeld für eine konsistente Begriffsbildung zum elektrischen Strom bzw. zur elektrischen Stromstärke liegt in der Vielfalt und zum Teil auch Widersprüchlichkeit der Nutzung der Begriffe in Alltags- und Fachsprache. Alleine der Begriff „Strom“ – in wie vielen verschiedenen Bedeutungen und Zusammenhängen begegnet er den Schülerinnen und Schülern im Alltag und auch im Physikunterricht! Da wird Strom erzeugt, da soll der Strom gemessen werden, da „steht etwas unter Strom – bitte nicht anfassen!“, da bringt der Strom ein Lämpchen zum Leuchten, Strom verzweigt sich, der Strom wird ausgeschaltet – die Liste ließe sich leicht fortsetzen. Der Begriff „Strom“ wird dabei sowohl für das genutzt, was strömt, als auch dafür, die Tatsache zu beschreiben, dass dieses etwas strömt. Hinzu kommen noch all die Situationen, in denen man zwar „Strom“ sagt, damit jedoch die elektrisch bereitgestellte Energie meint – z. B. wenn vom Strompreis oder der Stromrechnung die Rede ist.

Bei all diesem Sprachwirrwarr verwundert es nicht, dass es für Schülerinnen und Schüler eine große Herausforderung ist, den Begriff „Strom“ bzw. „Stromstärke“ in der physikalisch richtigen Weise zu benutzen. In der Bewältigung dieser Schwierigkeiten können sie unterstützt werden, wenn die Problematik der unterschiedlichen Bedeutungszuweisungen im Unterricht explizit angesprochen

und thematisiert wird. Die Lernenden sollen dafür sensibilisiert werden, dass manche Begriffe in der Alltagssprache anders benutzt werden als in der Fachsprache. Eine wichtige Rolle spielt hier auch das Sprachvorbild durch die Lehrkraft. Diese muss einen bewussten und sorgfältigen Umgang mit den Begriffen pflegen. So kann z. B. stets durch ein entsprechendes Attribut deutlich gemacht werden, ob gerade der **elektrische** Strom (**Ladungsstrom**) oder der **Energiestrom** gemeint ist. Und anstatt davon zu sprechen, dass „die Leitung unter Strom steht“, sollte korrekter die Beschreibung „zwischen Leiter und Erde herrscht eine Potenzialdifferenz (Spannung)“ oder „die Leitung liegt auf anderem Potenzial als die Erde“ verwendet werden.

### **Bewusster Umgang mit Abstraktion und Idealisierung**

*„Eines der wesentlichen Hauptprobleme in der Elektrizitätslehre besteht in meinen Augen [...] darin, dass die Physik des einfachen Stromkreises alles andere als einfach ist. Zwar finden sich in den meisten Büchern recht elementare Aussagen darüber, bei genauerem Nachdenken erweisen sich aber manche der Vereinfachungen als zu einfach.“*

(Hopf, M. (2012)).

Dieser Punkt sollte im Unterricht zur Elektrizitätslehre von den Lehrenden beachtet und berücksichtigt werden – sie sollten sich selbst bewusst sein, welche Abstraktionen, Vereinfachungen und Idealisierungen sie in einer gegebenen Situation verwenden und sie sollten es nach Möglichkeit auch mit den Schülerinnen und Schülern thematisieren.

So kann es sein, dass eine Lehrkraft auf die Frage „Wie ändert sich bei einer Fahrradbeleuchtung mit Dynamo die Helligkeit des Rücklichts, wenn das Lämpchen des Vorderlichts durchbrennt?“ als „richtige“ Antwort erwartet: „Gar nicht.“ Die Lehrkraft hat dabei eine idealisierte Parallelschaltung vor Augen: Die Leitungen haben keinen elektrischen Widerstand, an beiden Lämpchen liegt die gleiche Potenzialdifferenz, und diese ändert sich auch nicht, wenn eines der Lämpchen durchbrennt, d. h. wenn in einem der Zweige der Parallelschaltung kein Strom mehr fließt. Also bleibt die Helligkeit gleich. Eine Schülerin oder ein Schüler, dem das schon einmal passiert ist, könnte demgegenüber behaupten: „Das Rücklicht leuchtet heller!“ – und aus physikalischer Sicht hätte er oder sie damit tatsächlich Recht. Da nämlich die Leitungen einen nicht vernachlässigbaren Widerstand haben, steigt beim Durchbrennen des einen Zweiges der Parallelschaltung die Potenzialdifferenz am verbliebenen Lämpchen. Hinzu kommt noch, dass die vom Dynamo erzeugte Potenzialdifferenz steigt, wenn der abgenommene Energiestrom sinkt.

Das Beispiel zeigt: Welche Antwort auf die gestellte Frage tatsächlich „richtig“ ist, hängt von der vorausgesetzten Idealisierung bzw. Vereinfachung ab. Wird diese Frage nicht geklärt, so werden Lernhürden aufgebaut und die Motivation der Lernenden leidet.

## Unterstützung durch passende Analogie-Experimente

Unser Sprechen über Vorgänge im elektrischen Stromkreis beruht darauf, dass wir uns Vorstellungen machen von etwas, was wir in Wirklichkeit gar nicht sehen können. Die in den folgenden Fotos dargestellte Variation des bereits in der Handreichung zu Themenfeld 6 vorgestellten Modells zum Energietransport kann sowohl als **Gesprächsanlass für diese Vorstellungsbildung** als auch zur notwendigen **begrifflichen Differenzierung zwischen Energiestrom und Elektrizitätsstrom** eingesetzt werden. In der ersten Variante (Abb. 4a) sieht man: Energie wird an der Handkurbel abgegeben und kommt hinten beim Propeller an. Weder in den Kabeln noch in den Schläuchen sieht man irgendetwas, das sich bewegt.

In der zweiten Variante (Abb. 4b und c) erkennt man: Sobald Energie an der Kurbel abgegeben und durch die Anordnung transportiert wird, verändert sich die Anzeige in den Steigrohren. Man kann immer noch nicht sehen, dass sich in den Schläuchen irgendetwas bewegt, doch ist auf der einen Seite der Turbine offensichtlich „irgendetwas“ (nämlich der Druck) anders als auf der anderen Seite der Turbine. Im elektrischen Stromkreis ist das ebenso – die entsprechende Größe ist das Potenzial. Um die Potentialdifferenz anzuzeigen, muss ein Messpunkt auf der einen Seite des Motors, der andere auf der anderen Seite des Motors liegen.

In der dritten Variante (Abb. 4d) sieht man: Sobald Energie durch die Anordnung transportiert wird, dreht sich das Flügelrad. In den Schläuchen selbst sieht man noch immer nichts, doch die Drehung des Flügelrades nehmen wir als Indiz dafür, dass in den Schläuchen eine Flüssigkeit strömt, und wir können auch Aussagen darüber machen, ob pro Sekunde wenig oder viel Flüssigkeit hindurchströmt. Im elektrischen Stromkreis kann man ebenso verfahren: Ein Messgerät, das Teil der Leitung ist, zeigt uns etwas an. Auch hier interpretieren wir diese Anzeige: Wir stellen uns

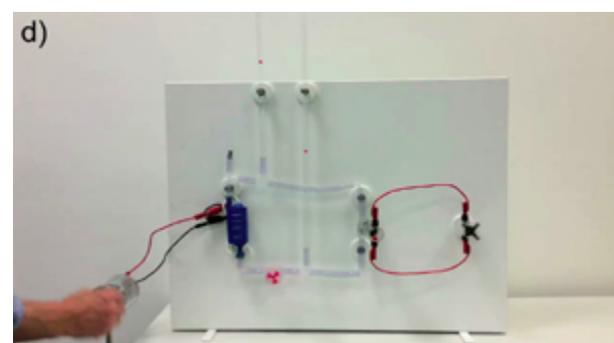
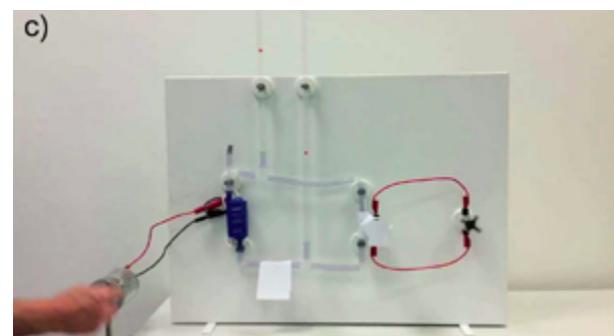
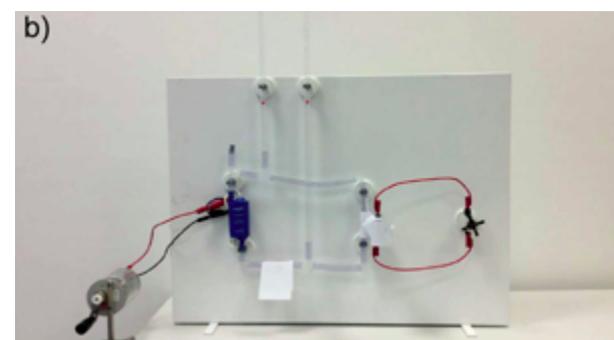
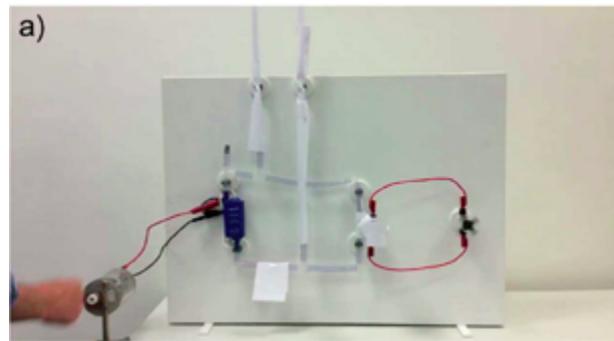


Abb. 4: Analogieexperiment 1

vor, dass in den Kabeln „etwas“ strömt (elektrische Ladung oder Elektrizität). Der Wert der Anzeige ist ein Maß dafür, wieviel pro Sekunde durch das Gerät strömt – ein Maß für die elektrische Stromstärke.

Am Modell kann man zudem den **Unterschied von Energiestrom und Flüssigkeits- bzw. Elektrizitätsstrom** erkennen: Die Flüssigkeit in den Schläuchen strömt im Kreis – gleiches stellen wir uns auch für die Elektrizität in den Kabeln vor. Die Energie strömt quer durch die Anordnung, von der Handkurbel über die Pumpe und die Turbine zum Elektromotor.

Ein weiterer Aspekt, der auch mithilfe dieses Aufbaus thematisiert werden kann, ist die bei Lernenden häufig anzutreffende Fehlvorstellung zum „Verbrauch“ („Der Strom wird verbraucht“ oder „Die Energie wird verbraucht“). Der Aufbau macht deutlich: Das Wasser wird ganz offensichtlich nicht verbraucht, es strömt immer wieder im Kreis. Gleiches stellen wir uns auch von der Elektrizität vor. Die Energie wird ebenfalls nicht verbraucht, sie wird nacheinander auf verschiedene Träger umgeladen. Wenn man den Eindruck hat, dass hinten am Flügelrad weniger Energie (je Sekunde) ankommt als vorne an der Kurbel abgegeben wird, so liegt das daran, dass sich sowohl die „Umlader“ als auch die Schläuche und Kabel leicht erwärmen – es wird also ein Teil der Energie auf den Träger Entropie umgeladen und kommt hinten am Flügelrad nicht mehr an.

Eine vielfach anzutreffende Fehlvorstellung ist auch die Vorstellung vom **„Aufstauen“ der Elektrizität vor Widerständen** und damit verbunden auch die Meinung, dass die Stromstärke vor und hinter einem Widerstand unterschiedlich sei. Diese Vorstellung kann an einer Variation des Aufbaus diskutiert werden: Ein Hahn dient als (verstellbarer) Widerstand; davor und dahinter sind Durchflussmesser angebracht (Abb. 5). Die Schülerinnen und Schüler äußern zunächst Vermutungen und geben Begründungen dafür an, was nach dem Einschalten der Pumpe an den Durchflussmessern zu beobachten sein wird. Anschließend wird die Pumpe eingeschaltet und das Verhalten am Wasserstromkreis beobachtet. Nun sind die Lernenden gefordert, die Beobachtungen mit ihren Vermutungen zu vergleichen.

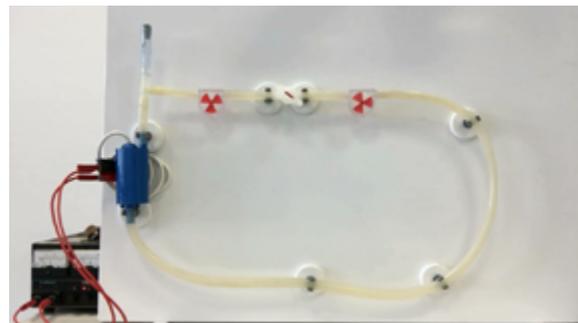


Abb. 5: Experiment Aufstauen

Mit einer weiteren Variation des Aufbaus (Abb. 6) kann demonstriert werden: **Der Stromkreis reagiert als System.** Eine Veränderung an einer Stelle hat Auswirkungen auf das gesamte System. Wird die Stellung eines der Hähne (und damit der Widerstand an dieser Stelle) verändert, so zeigt sich das sowohl an den Anzeigen der Steigrohre als auch an den Durchflussmessern. Auch hier kann vor der Durchführung des Versuchs nach den Erwartungen der Lernenden gefragt und diese mit der Beobachtung verglichen werden.

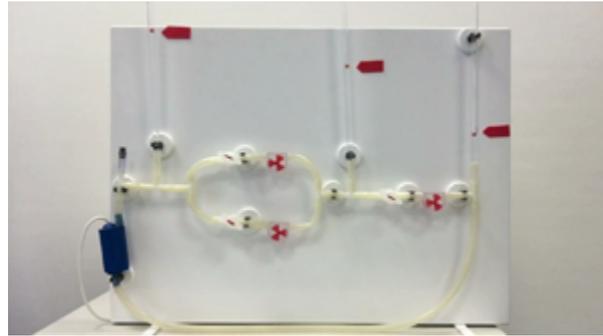


Abb. 6: Reaktion im System

Dabei kann es passieren, dass die Lernenden behaupten, das beobachtet zu haben, was sie zuvor als Vermutung geäußert haben – auch wenn objektiv etwas anderes zu beobachten ist. Die Wiederholung des Versuchs (oder aber die Betrachtung im Film in Einzelbildschaltung) ist dann geeignet, dieses Phänomen der erwartungsgesteuerten Wahrnehmung zu thematisieren. Videos zu allen hier vorgestellten Experimenten finden sich beim Onlinematerial.

Um den im obigen Abschnitt zur Fahrradbeleuchtung angesprochenen Aspekt von Abstraktion bzw. Idealisierung bei einer Parallelschaltung zu erläutern, kann das Modell ebenfalls eingesetzt werden. Für die idealisierte Parallelschaltung wird nur der entsprechende Teil des Aufbaus betrachtet (Abb. 7a) und es wird durch entsprechende Einstellung der Pumpe dafür gesorgt, dass in jeder Variation die Druckdifferenz gleich ist (Abb. 7b). Im Video erkennt man, dass dann auch die Umdrehungszahl des Durchflussmessers gleich ist.

Betrachtet man hingegen den gesamten Aufbau, so hat man ein Modell der realen Schaltung am Fahrrad inklusive Leitungswiderstand (Abb. 7c). Wird der Hahn in einem der Parallelzweige geschlossen, so ändert sich (bei gleichbleibender Gesamt-Druckdifferenz) die mittlere Druckanzeige (Abb. 7d). Man erkennt, dass nunmehr an dem verbliebenen Zweig der Parallelschaltung eine höhere Druckdifferenz anliegt als zuvor.

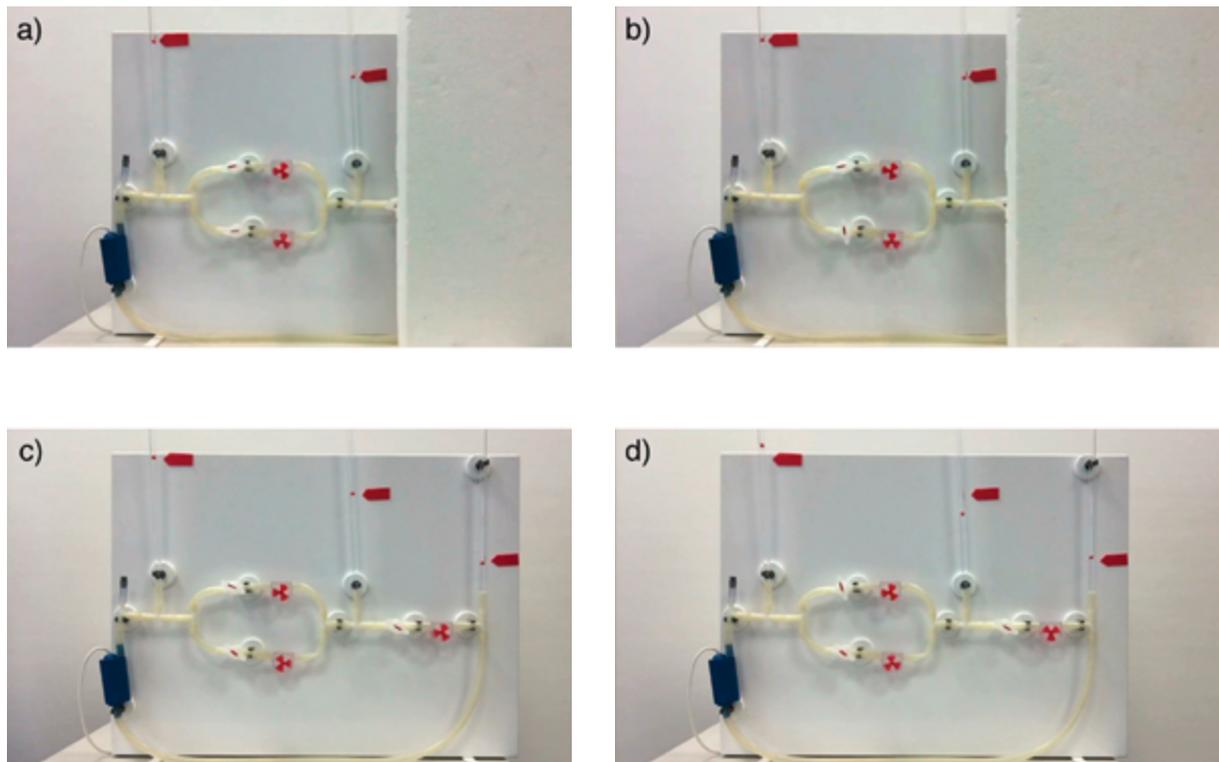


Abb. 7: Parallelschaltung idealisiert und real

### Über die Richtung des elektrischen Stromes und die Bewegungsrichtung der Ladungsträger

*„Die Tatsache, dass Maxwell eine geschlossene Theorie der Elektrodynamik schaffen konnte, ohne Elektronen und andere Ladungsträger zu kennen, sollte uns zu denken geben, vor allem, wenn wir heute so tun, als könne man die elektrische Stromstärke nur dann verstehen, wenn man in ihr die Ströme von Elektronen sieht.“*

(Pohlig, M. (2012))

In der Elektrizitätslehre hat der elektrische Strom (genauer: der Stromdichte-Vektor) eine Richtung, die mit der Bewegungsrichtung (gedachter) positiver Ladungsträger übereinstimmt. Negative Ladungsträger müssten sich demnach in entgegengesetzte Richtung bewegen. Aus der Erkenntnis, dass die elektrische Leitfähigkeit von Metallen mit dem Vorhandensein von Elektronengas erklärt werden kann, hat sich nach und nach – und vor allem in Schulbüchern – die Beschreibung des elektrischen Stroms als eines Elektronenstroms etabliert. Dies hat zur Folge, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl eine „technische“ als auch eine „physikalische“ Stromrichtung kennenlernen. Letztere wird gleichgesetzt mit der Bewegungsrichtung der Elektronen. Was aber, wenn der Leiter kein metallisches Kabel, sondern eine Elektrolytlösung ist? Hier bewegen sich positiv geladene Ionen in die eine Richtung und negativ geladene Ionen in die entgegengesetzte Richtung – d. h. wir haben Ladungsträger, die sich in gegenläufige Richtungen bewegen und dennoch zu einem elektrischen Strom nur in eine einzige Richtung beitragen (vgl. Themenfeld 12 Chemie „Mobile Energieträger“, Elektronen- und Ionenstrom in der galvanischen Zelle).

Um hier Verwirrungen zu vermeiden, sollte im Unterricht konsequent zwischen „Ladung“ (als physikalischer Größe) und „Ladungsträger“ (als Körper/Objekt, der/das eine bestimmte elektrische Ladung trägt) unterschieden werden.

Insbesondere mit Blick auf den Einsatz von Animationen oder Computersimulationen ist dieser Aspekt von besonderer Wichtigkeit. Man findet hier sowohl Beispiele, in denen der elektrische Strom als ein Fließen positiver Ladungsträger animiert wird, als auch solche mit animierten bewegten Elektronen. Die Lehrkraft sollte hier nur solche Animationen auswählen, die mit der im Unterricht verwendeten Vorstellung kompatibel sind.

### **Wechselstrom und Gleichstrom**

Die Entwicklung von Vorstellungen zur Elektrizität sowie die Veranschaulichung der grundlegenden Gesetze des elektrischen Stromkreises erfolgt anhand von Analogien, bei denen die Stromrichtung konstant bleibt. Lernende könnten nun fragen, ob das Gelernte auch beim Wechselstrom, den man im Haushalt nutzt, anwendbar ist. Die Gesetze gelten auch im Wechselstromkreis, wobei für Spannung und Stromstärke die Effektivwerte betrachtet werden. Eine tiefergehende Beschreibung von Wechselstromkreisen, z. B. im Hinblick auf induktive und kapazitive Widerstände, Phasenwinkel oder Blindleistung, ist im Rahmen dieses Themenfeldes nicht vorgesehen.

## 2 UNTERRICHTSBEISPIELE

An einem möglichen Unterrichtsgang (UG) wird gezeigt, wie das neunte Themenfeld kompetenz- und konzeptorientiert im Rahmen sinnstiftender Kontexte umgesetzt werden kann.

### 2.1 Vorüberlegungen

#### Zentrale Inhalte des Themenfelds und Zusammenhänge mit anderen Themenfeldern

Das Themenfeld 9 „Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis – Elektrizität im Basiskonzept System“ ist auf die Zusammenhänge zwischen den messbaren Größen im Stromkreis fokussiert und soll eine tragfähige Vorstellung von den dabei ablaufenden Vorgängen aufbauen. Im Mittelpunkt steht die Vorstellung von geschlossenen Stromkreisen als „System“. Das bedeutet, dass eine Änderung einer Größe an beliebiger Stelle im Stromkreis Änderungen der Größen im gesamten Rest nach sich ziehen kann (z. B. bewirkt die Änderung eines von zwei parallelen Widerständen im Allgemeinen eine Änderung der Stromstärke in allen Zweigen der Schaltung). Hier ist das Sammeln von Erfahrungen und das tragfähige Modellieren zunächst dem Berechnen von Größen voranzustellen. Trotzdem ist das Berechnen zur Vorhersage von Größen in diesem Themenfeld ein zweiter zentraler Bereich. In diesem und im nächsten Themenfeld haben die mathematische Modellierung mithilfe von Formeln und der Umgang damit einen erhöhten Stellenwert gegenüber vorherigen Themenfeldern.

Ein weiterer zentraler Aspekt des Stromkreises als „System“ ist das Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept. Dieses beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Antrieb eines Stroms und dessen Steuerung, der bei allen Strömen prinzipiell analog ist.

Beim thermischen Strom („Wärmeströmung“) ist die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  der Antrieb des thermischen Energiestroms  $P$ , der durch den Wärmewiderstand des Materials beeinflusst wird. Dieser Zusammenhang wird in Themenfeld 8 an geeigneten Überlegungen und Experimenten hergestellt.

Beim elektrischen Strom ist die Potenzialdifferenz (= Spannung)  $U$  der Antrieb des elektrischen Ladungsstroms  $I$ , der durch den elektrischen Widerstand  $R$  beeinflusst wird. Die Einführung der Potenzialdifferenz als Antrieb erfolgt in Themenfeld 6 eingebunden in den Kontext der Fragestellung „Wie wird Energie für die Elektrizitätsversorgung bereitgestellt?“

Im Gravitationsfeld bewegt sich ein Körper vom Ort mit höherem zu dem mit niedrigerem Gravitationspotenzial. Hier besteht eine strenge Analogie zum elektrischen Feld auch auf fachlicher Ebene. Elementarisiert auf die Vorstellung, dass Wasser immer bergab fließt, bildet das die Analogievorstellung zur Einführung des Potenzialbegriffs (Analogie zur Höhe) in Themenfeld 6.

Ein Beispiel aus dem Fach Biologie zum Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept ist die Osmose: Eine Konzentrationsdifferenz zwischen zwei Bereichen treibt einen Strom von Teilchen an (etwa der Ionen einer Salzlösung hin zum Ort geringerer Konzentration). Die Stromstärke (Teilchen pro Sekunde durch einen Querschnitt) ist abhängig von und regelbar durch einen Widerstand (etwa eine mehr oder weniger durchlässige Membran).

Das Erkennen dieses zentralen übergreifenden Konzepts über die reine Betrachtung des elektrischen Widerstands hinaus ist eine Grundlage für die Anwendung physikalischer Sichtweisen auf verschiedene Vorgänge, auch auf jene aus solchen Sachgebieten, die nicht in der Schule thematisiert werden.

### **Grundsätzliches zum vorgestellten Unterrichtsgang**

Der Unterrichtsgang ist mit 18-20 Unterrichtsstunden einer der umfangreicheren in der Abfolge der Themenfelder, was auch der Bedeutung des Themas Rechnung trägt. Das sollte in der Jahresplanung in Bezug auf die weiteren Themenfelder berücksichtigt werden, die in kürzerer Zeit bewältigt werden können.

Das Thema „Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis“ ist traditionell ein Kernthema des Physikunterrichts und war auch bereits im vorigen Lehrplan fest verankert. Der Unterschied zum bisherigen Thema „Elektrik“ besteht wie beschrieben in der Begrenzung auf den Stromkreis und die Zusammenhänge der darin messbaren Größen.

Einige Größen und Zusammenhänge wurden schon vor Themenfeld 9 in anderen Zusammenhängen eingeführt:

- Leistung, Energie und Spannung im Kontext „Elektrische Energieversorgung“ in Themenfeld 6
- Ladung als Eigenschaft von Elementarteilchen in Themenfeld 5

Im neuen Themenfeld müssen also nicht mehr alle nötigen Begriffe erarbeitet, sondern in Teilen lediglich reaktiviert werden. Zwei neue Größen müssen jedoch noch eingeführt werden, nämlich die Stromstärke  $I$  und der elektrische Widerstand  $R$ . Dadurch, dass es aber eben nur noch zwei weitere Größen sind, kann die Konzentration stärker auf die Erarbeitung der Zusammenhänge gerichtet werden.

Die Anzahl der bei diesem Thema im Raum im stehenden Begriffe insgesamt ist recht groß, die Anzahl der Zusammenhänge dementsprechend ebenso. Schülerinnen und Schüler sind erfahrungsgemäß häufig nicht in der Lage, die Begriffe klar voneinander abzugrenzen bzw. die Zusammenhänge darzustellen.



Ein Hinweis zum Gebrauch der Begriffe im Verlauf der Unterrichtsreihe soll an dieser Stelle noch angebracht werden: Die meisten Menschen kommen in der Alltagssprache mit den vorhandenen Begriffen zur Elektrizität ohne größere Probleme zurecht, auch wenn ihr Verständnis der Größen eher diffus ist. Ein Bewusstsein über das vorhandene eigene „Begriffswirrwarr“ entsteht meist erst in fachlichem Kontext, etwa bei beruflichen Anforderungen oder in fachlichen Kommunikationssituationen. Der Physikunterricht stellt für die Schülerinnen und Schüler eine solche Situation dar. Aus dieser Überlegung heraus sollte den Lehrenden bewusst sein, dass beim hier dargestellten Unterrichtsgang nicht vom ersten Sammeln der Begriffe an von den Lernenden der korrekte Gebrauch eingefordert werden kann. Das sollte ab dann der Fall sein, wenn der Begriff im Unterrichtsverlauf genauer behandelt wurde. Zuvor würde ein entsprechendes „Korrigieren“ die freie Äußerung bremsen, die sich aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler heraus zunächst nur im Rahmen des Alltagssprachlichen bewegen kann.

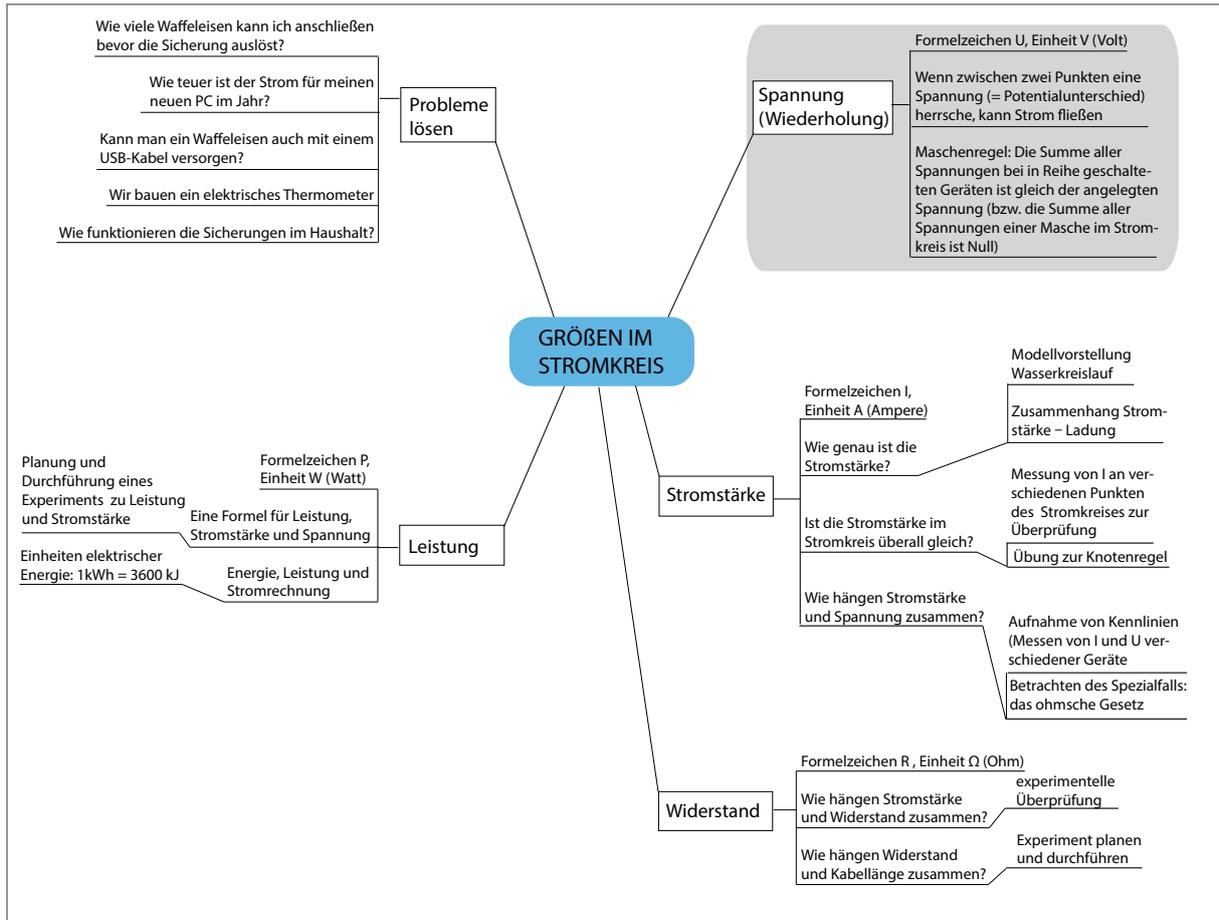


Abb. 9: Strukturierende Mindmap als Übersicht („Advance Organizer“, HR\_Ph\_TF9\_BspMMMap)

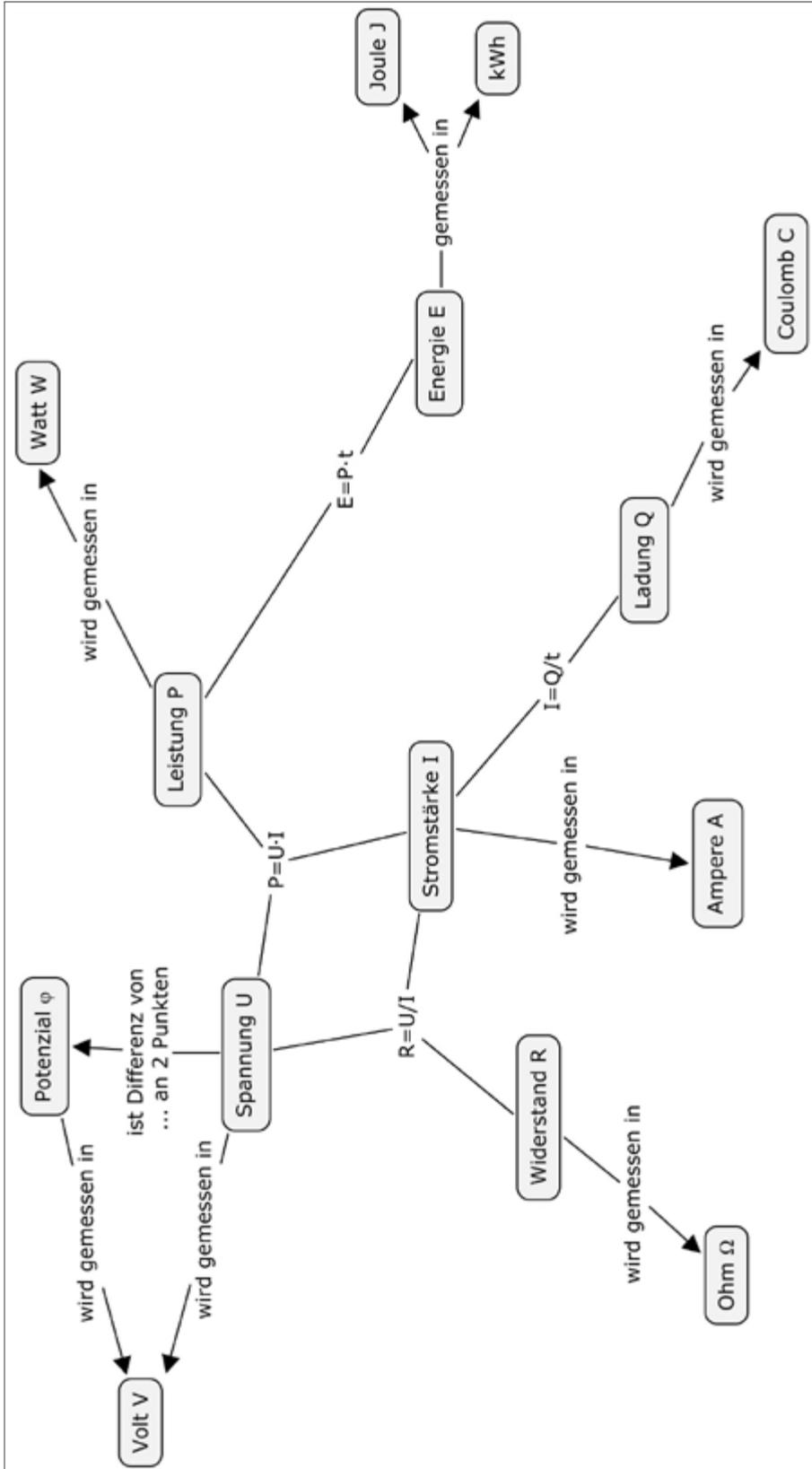


Abb. 10: Begriffsnetz (Concept Map) (HR\_Ph\_TF9\_UG\_ConceptMap)

## 2.2 Vorschlag für einen Unterrichtsgang – Mehrfachstecker und Waffeleisen

TF9	Sequenz	Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
	S1: Mehrfachstecker – Fragen an die Physik	Einstieg durch Infotext zu Mehrfachsteckdosen und daraus abgeleiteten Fragestellungen, Reaktivieren und Sammeln von Begriffen und Fragen, Mindmap zur Unterrichtsplanung (2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>📄 Vorbereitende HA: Anzahl elektrischer Geräte mit Anzahl von Wandsteckdosen vergleichen</li> <li>📄 Fragen und Begriffe aus Infotext zu Mehrfachsteckdosen entnehmen</li> <li>📄 Erstellen und Besprechung einer Mindmap (Lehrer) als Grundlage für den weiteren Unterricht</li> <li>📄 Evtl.: Erstellen einer Concept Map der Begriffe zur Anfangsdiagnose</li> </ul>
	S2: Reaktivierung „Spannung“	Reaktivieren von Wissen zur Spannung: Spannung (Potenzialdifferenz) ist der „Antrieb“ für den elektrischen Strom (TF6) (1 Unterrichtsstunde)	<ul style="list-style-type: none"> <li>↔ Wiederholung des Spannungsbegriffs an geeignetem Beispiel und Messung</li> <li>↔ wenn noch nicht in TF6 erfolgt: Messungen zur Maschenregel</li> </ul>
	S3: Die elektrische Stromstärke	Modellvorstellung des elektrischen Stroms bilden und anwenden in Übungen und Messungen, Zusammenhang zwischen U und I (4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>🔧 Modellvorstellung zum elektrischen Strom bilden</li> <li>🔧 Definition und Übung <math>I = Q/t</math></li> <li>🔧 Messen von I an verschiedenen Stellen des Stromkreises und Vergleich mit Modellvorstellung</li> <li>🔧 experimentelle Untersuchung zum Zusammenhang zwischen U und I (Aufnehmen von Kennlinien)</li> </ul>
	S4: Elektrischer Widerstand	Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden; eine Änderung an einer Stelle hat Auswirkungen auf das Gesamtsystem (6 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>🔧 Definition des elektrischen Widerstands, Berechnungen mit Einheiten einüben an Messungen (z. B. aus Kennlinien), ohmsches Gesetz (Proportionalität) als Sonderfall herausstellen</li> <li>🔧 Analogie zwischen thermischen und elektrischen Leitungsvorgängen darstellen</li> <li>🔧 Experimente zur Untersuchung der Einflussgrößen für den Widerstand eines Leiters (spezifischer Widerstand, Abhängigkeit von Länge, Querschnitt und Material) durchführen</li> <li>🔧 Übungen zum Stromkreis als System: „Was passiert im Rest vom Stromkreis, wenn sich an einer Stelle etwas ändert?“</li> </ul>
	S5: Leistung	Leistung als Stärke des Energiestroms am Gerät, Zusammenhang zwischen P, I und U (2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>↔ Wiederholung Zusammenhang <math>E = P \cdot t</math> (TF6)</li> <li>↔ Experiment zum Zusammenhang zwischen P, I und U durchführen und <math>P = U \cdot I</math> einüben</li> </ul>
	S6: Zusammenfassung und Anwendung	Zusammenfassung und Übung (2-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>🔧 Sammeln von Begriffen des vorangegangenen Unterrichts und Erstellen einer Concept Map</li> <li>🔧 differenziertes Üben an verschiedenen Aufgaben</li> <li>🔧 Anwendung: elektrische Installation und Sicherheit im Haushalt</li> </ul>

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 „Mehrfachstecker – Fragen an die Physik“

Schwerpunkte:

- Einstieg durch Infotext zu Mehrfachsteckdosen und daraus abgeleiteten Fragestellungen, Reaktivieren und Sammeln von Begriffen und Fragen
- Mindmap zur Unterrichtsplanung

Aktivitäten und Lernprodukte:

-  Vorbereitende HA: Anzahl elektrischer Geräte mit Anzahl von Wandsteckdosen vergleichen
-  Fragen und Begriffe aus Infotext zu Mehrfachsteckdosen entnehmen
-  Erstellen und Besprechung einer Mindmap (Lehrer) als Grundlage für den weiteren Unterricht
-  Evtl.: Erstellen einer Concept Map der Begriffe zur Anfangsdiagnose

Das Ziel dieser Einstiegssequenz ist das Eröffnen des Themas durch Sammeln der darin vorkommenden Fachbegriffe. Das geschieht anhand einer Alltagssituation, in diesem Fall dem Einholen von Informationen im Internet am Beispiel des Mehrfachsteckers. In solchen Texten begegnet man üblicherweise einer Vielzahl von Fachbegriffen, die den Leserinnen und Lesern und damit auch den Schülerinnen und Schülern meist nur teilweise bekannt sind bzw. von ihnen verstanden werden. Das wird hier genutzt, um die vielen Begriffe des Themas Elektrizitätslehre bereits zu Beginn des Unterrichts bewusst zu machen. Sie dienen als Grundlage für eine den Unterricht begleitende Mindmap.

Zu Beginn steht eine **einführende Hausaufgabe**:

Zähle die elektrischen Geräte mit Stromanschluss in deinem Zimmer. Gib an, wie viele davon an einer Wandsteckdose und wie viele an einer Mehrfachsteckdose angeschlossen sind.

Üblicherweise sind viel mehr Geräte an einer Mehrfachsteckdose angeschlossen als direkt an einer Wandsteckdose. Es ist auch interessant zu fragen, wie groß der „Rekord“ im Hintereinanderstecken von Mehrfachsteckdosen in der Klasse ist. Nach dieser Besprechung werden die Schülerinnen und Schüler mit einem Informationstext aus Wikipedia zur Mehrfachsteckdose konfrontiert. Da dieser Text dem Prinzip von Wikipedia entsprechend im ständigen Wandel begriffen ist, ist eine Bearbeitung und Kürzung zu einem auszuteilenden Text auch sinnvoll, wenn die entsprechende Seite zunächst im Unterricht aufgerufen wird. Das hat mehrere Gründe: Zum einen kann man so den Umfang des Texts den Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler anpassen (evtl. in differenzierenden Versionen) und zum anderen stellt man so die Passung zum Ziel des Einsatzes, nämlich der Sammlung von Fachbegriffen für die Unterrichtsreihe sicher. In den Materialien findet sich eine angepasste Version einer älteren Version des Wikipedia-Artikels (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S1\_01\_Mehrfachstecker). Ein Zeitungsartikel zu einem durch eine Mehrfachsteckdose ausgelösten Wohnungsbrand kann auch als zusätzliche Motivation eingesetzt werden oder bei entsprechendem Inhalt (Fachbegriffe) alternativ.

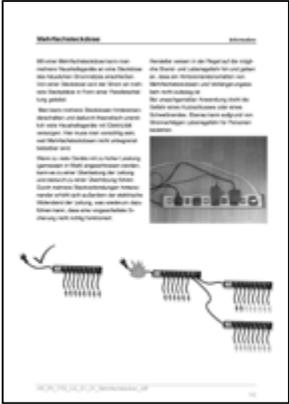
Nach einem Vergleich der in der Hausaufgabe ermittelten Praxis mit den Warnungen des Artikels (besonders in Hinblick auf die Gefahren des Hintereinandersteckens) werden folgende Arbeitsaufträge erteilt:

- Unterstreicht alle Fachbegriffe, die mit Elektrizität zu tun haben: Verwendet für die euch bekannten Begriffe und die euch unbekanntem Begriffe verschiedene Farben.
- Notiert jeweils zu dritt eine Frage zur Elektrizitätslehre, die wir im Unterricht klären sollen. (Hinweis: A5-Zettel oder Moderationskarten sowie dicke Stifte)

Die von der Lehrkraft gesammelten Begriffe (ggf. müssen sie ergänzt werden) und Fragen werden zunächst unkommentiert an der Tafel visualisiert.

Daran werden die Vielfalt und das Vorkommen der Begriffe im Alltag sowie der unterschiedliche Wissensstand der Lernenden deutlich. Eine Vorschau auf den kommenden Unterricht entsteht, wenn anschließend eine erste Struktur des Unterrichts durch geeignetes Sortieren der Begriffe und Fragen an der Tafel vorgenommen wird. Das abschließende Fotografieren der Tafel erleichtert die folgende Erstellung der Mindmap durch die Lernenden.

Schülerinnen und Schüler können auch zusätzlich ein Begriffsnetz (Concept Map) erstellen. Es dient der Anfangsdiagnose durch die Lehrkraft. Zusammen mit dem am Ende der Unterrichtsreihe erstellten weiteren Begriffsnetz wird für Lehrende und Lernende der Wissenszuwachs deutlich. Begriffsnetze und deren Einsatz im Unterricht werden im Kapitel 2.1 „Grundsätzliches zum vorgestellten Unterrichtsgang“ (Seite 20), Sequenz 6 „Zusammenfassung und Anwendung“ (Seite 55) sowie Onlinematerial (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S6\_01\_ConceptMapping) näher erläutert.

<b>LE: Vorbereitende Hausaufgabe und Infotext zu Mehrfachsteckdosen</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... entnehmen (einem Text) sachgerecht Informationen</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dokumentation (HA) der Mehrfachsteckdosen im eigenen Zimmer</li> <li>- Sammlung von Fachbegriffen aus einem Informationstext</li> <li>- Eventuell: Begriffsnetz (Concept Map)</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>-Informationstext in vereinfachter oder verkürzter Version, Teiltexthe gruppenweise lesen</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB online:</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S1_01_Mehrfachstecker</p> <p><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfachsteckdose">https://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfachsteckdose</a></p> <p>evtl. Concept Map : HR_Ph_TF9_UG_S6_01_ConceptMapping</p>	
	

Die Erstellung einer Mindmap als Grundlage für den weiteren Unterricht erfolgt bis zur nächsten Stunde durch die Lehrkraft unter Verwendung der gesammelten Begriffe und Fragen. Diese wird als Kopie den Schülerinnen und Schülern ausgeteilt und besprochen. Dabei wird erläutert, dass die einzelnen Äste Fragestellungen und Aktivitäten für die folgenden Unterrichtsstunden sind. Eine genauere inhaltliche Erläuterung ist nicht nötig, die Schülerinnen und Schüler sollen in der Mindmap einen „Fahrplan“ zur Orientierung für den Unterricht erkennen. Zur Darstellung des groben Ablaufs in vereinfachter Form bietet es sich an, die Mindmap im Programm zunächst „eingeklappt“ (um die äußeren Zweige reduziert, siehe Abb. 9) zu projizieren und nach und nach zu präsentieren (Abb. 11). So kann im späteren Verlauf der Unterrichtsreihe zu Beginn einzelner Unterrichtsstunden immer wieder die Mindmap zur Orientierung herangezogen werden (Was wurde bereits bearbeitet? Was steht noch an?).

Einige in der vorigen Stunde notierte technische Begriffe oder Fragen, die absehbar keinen Raum in der Unterrichtsreihe finden und schnell zu erklären sind, werden nicht in die Mindmap aufgenommen, sondern können direkt erklärt werden (oder Gegenstand von Kurzreferaten oder Rechercheaufgaben im Verlauf der Unterrichtsreihe sein). Die Erstellung der Mindmap ist nicht so aufwändig, wie es zunächst scheint. Erfahrungsgemäß ist die Bandbreite der Fragestellungen übersichtlich, durch explizite Berücksichtigung geeigneter Schülerfragen wird aber eine stärkere Identifikation an das insgesamt recht abstrakte Thema angestrebt. Die Begriffe sind auch weitgehend gesetzt, so dass der Ablauf des

Unterrichts jeweils nur etwas variiert werden muss, eine bereits vorliegende Mindmap wird durch leichte Ergänzungen der Fragestellungen an die jeweilige Lerngruppe angepasst. Diese den Schülerinnen und Schülern als roter Faden dienende Mindmap verdeutlicht, wie im Unterricht die Begriffe erschlossen werden. Eine Vorlage im Format der Freeware XMind wird bei den Materialien zur Verfügung gestellt. Die Mindmap wird dann als Bild aus dem Programm exportiert (siehe Abbildung 9, S. 23) und für die Klasse kopiert (evtl. nach Einbindung in ein Word-Dokument).



Abb. 11: Mindmap mit reduzierten Zweigen

Der im Physikunterricht etwas unübliche Aufwand zum Einstieg in den Unterrichtsgang beansprucht 1-2 Unterrichtsstunden. Dafür werden durch den informierenden Einstieg Unsicherheiten abgebaut, die Schülerinnen und Schüler für die Problematik des Themas sensibilisiert und gleichzeitig eine Struktur geschaffen, die erfahrungsgemäß als hilfreich angenommen wird.

LE: Erstellen und Besprechung einer Mindmap als Grundlage für den weiteren Unterricht	
<b>Kompetenz</b>	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b>
<b>Lernprodukt</b> - Mindmap	<b>Differenzierung</b> - Mindmap in unterschiedlicher Komplexität
Diese Phase ist durch ein von der Lehrkraft erstelltes und erläutertes Dokument (der Mindmap) geprägt, die aus den mit den Schülerinnen und Schülern gesammelten Begriffen und Fragen generiert wird und der Strukturierung des folgenden Unterrichts dient.	
<b>Materialien und Literatur</b>	
Beispiel-Mindmap und Vorlage: HR_Ph_TF9_UG_S6_01_ConceptMapping (als jpeg bearbeitbares Dokument als .xmind)	

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 2 „Reaktivierung des Spannungsbegriffs“

Schwerpunkte:

- Reaktivieren von Wissen zur Spannung: Spannung (Potenzialdifferenz) ist der „Antrieb“ für den elektrischen Strom (Themenfeld 6)

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ⇒ Wiederholung des Spannungsbegriffs an geeignetem Beispiel und Messung
- ⇒ wenn noch nicht in Themenfeld 6 erfolgt: Messungen zur Maschenregel

Bei der **Reaktivierung des Spannungsbegriffs** sollte man nicht weiter gehen, als es für die Anwendung im Rest des Unterrichtsgangs notwendig ist. Benötigt werden vor allem:

- die Vorstellung der Spannung als Antrieb des elektrischen Stroms („Wenn zwei Orte verschiedene elektrisches Potenzial haben kann elektrischer Strom fließen“),
- Wissen über den Auf- und Abbau von Potenzial („an elektrischen Quellen (z. B. Batterie, Generator) erhöht sich das Potenzial, an elektrischen Geräten verringert sich das Potenzial“),
- das Vorgehen bei der Messung (zwischen zwei Punkten).

Sinnvoll ist eine vorbereitende Hausaufgabe über einen Zeitraum von einer Woche mithilfe der Aufzeichnungen zu Themenfeld 6. Das könnte z. B. sein:

Informiere dich mithilfe deines Ordners zum Themenfeld 6 „Elektrische Energieversorgung“ über die Begriffe Potenzial und Spannung. Formuliere dazu einen kurzen Lexikoneintrag mithilfe der dortigen Informationen (2-3 Sätze). Ein bis zwei Grafiken sind auch erlaubt. Beschreibe darin auch, wie man Spannungen misst. Bringe den Text und den Ordner zur nächsten Stunde mit.

Als differenzierende Entlastung kann eine Wortliste mit möglichen Begriffen vorgegeben werden (Potenzial, zwei Punkte, Spannung, strömende Ladung, Potenzialdifferenz, Höhendifferenz, Batterie, elektrisches Gerät, ...). Die hier genannte Liste orientiert sich an dem Unterrichtsgang der Handreichung zu Themenfeld 6. Für den jeweiligen Unterricht ist sie aber davon abhängig, wie die Spannung eingeführt wurde und sollte dementsprechend angepasst werden. Weiter differenzierend können Satzanfänge oder ein Lückentext angegeben werden (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S2\_01\_Spannung\_Wdh).

Im Unterricht werden anschließend zunächst in Kleingruppen die Texte der anderen Gruppenmitglieder gelesen und kommentiert. Nach der Überprüfung mithilfe des Ordners formulieren die Gruppen gemeinsam eine verbesserte Version auf ein Poster (Methode Think-Pair-Share). Diese werden aufgehängt und von allen kommentiert oder bewertet, ebenso von der Lehrkraft. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass alle Schülerinnen und Schüler gleichermaßen in den Prozess eingebunden sind und sich gegenseitig das zu Wiederholende erklären können bzw. müssen, um Lücken bei sich selbst oder anderen zu schließen. Außerdem bekommt die Lehrkraft so eine Diagnose über den Wissensstand der Klasse und kann gezielt Informationen nachliefern.

Ergänzend (oder alternativ) kann auch ein **Experiment zur Messung von Spannungen** an elektrischen Schaltungen oder Geräten durchgeführt werden. Das kann auch (um hier Fehler zu ermöglichen, ohne Geräte zu gefährden) eine Aktivität mithilfe einer Simulation sein, z. B. dem Stromkreis-Baukasten der phet-Animationen der University of Colorado <https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab> (deutsche Übersetzung) oder einer entsprechenden Aktivität in Yenka (früher Crocodile Physics). Die Aufgabe kann darin bestehen, eine vorgegebene Schaltung aufzubauen und die Spannungen zwischen bestimmten Punkten zu messen. Das entspricht Teilen der Aktivität, wie sie in Themenfeld 6, HR\_Ph\_TF6\_UG\_S3\_AB\_Spannungen\_messen beschrieben ist.

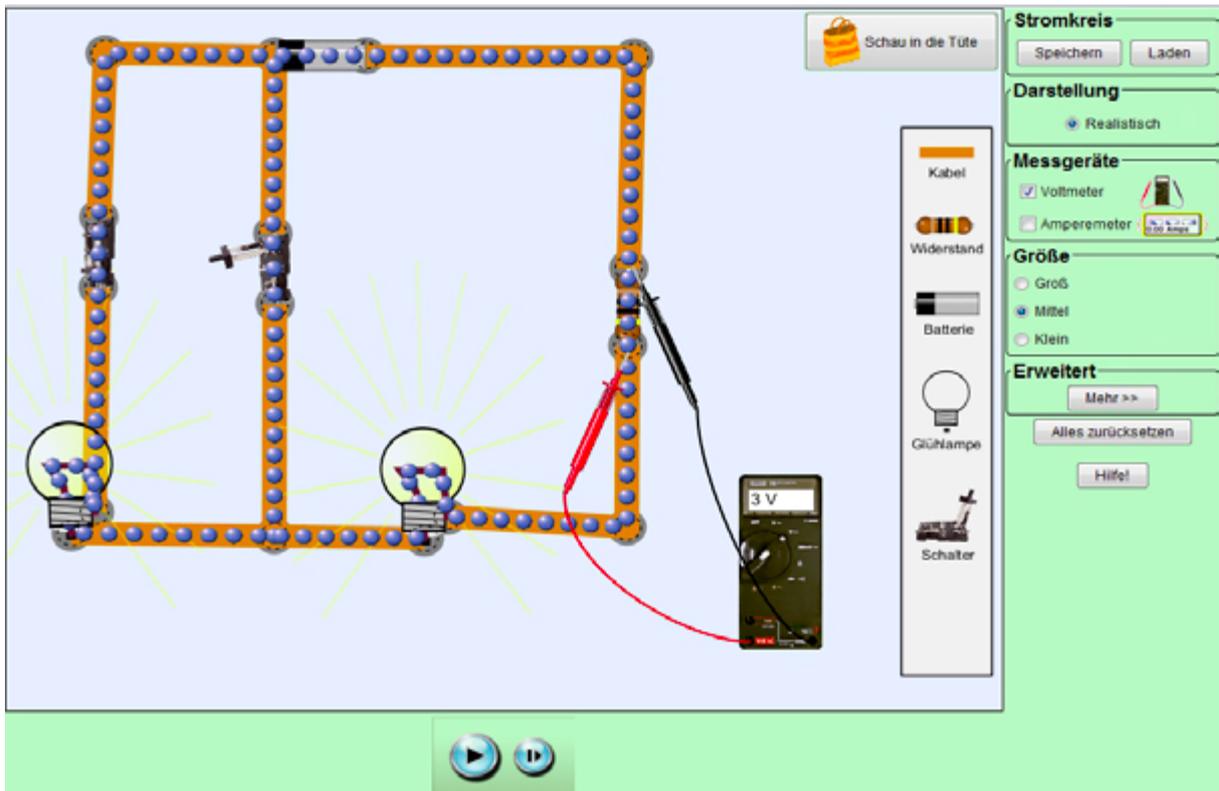


Abb. 12: Screenshot der phet-Simulation, PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, <https://phet.colorado.edu>

Aus der Messung von Spannungen in Stromkreisen wie in den Schaltungen des genannten Arbeitsblatts bzw. in HR\_Ph\_TF9\_UG\_S2\_02\_Spannungen\_messen kann man die Regel „An elektrischen Quellen (z. B. Batterie, Generator) erhöht sich das Potenzial, an elektrischen Geräten verringert sich das Potenzial“ zur Maschenregel erweitern, falls diese noch nicht in Themenfeld 6 formuliert wurde.

<b>LE: Wiederholung des Spannungsbegriffs an geeignetem Beispiel und Messung</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... entnehmen (ihren Unterlagen) Informationen, dokumentieren und diskutieren diese fachsprachlich.</p> <p>... wenden Messverfahren im Stromkreis an (Spannungsmessung).</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Damit elektrische Ladung strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). (E, SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- „Lexikoneintrag“ zu den Begriffen Spannung und Potenzial</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Aufgabenstellung zum Lexikoneintrag unterschiedlich offen gestaltet mit unterschiedlichen Hilfestellungen (Wortliste, Satzbausteine, Lückentext)</p> <p>- Messungen an unterschiedlichen Schaltungen</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB online:</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S2_01_Spannung_Wdh</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S2_02_Spannungen_messen</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="199 1283 485 1682"> </div> <div data-bbox="517 1283 802 1682"> </div> </div>	
<p>Simulationen:</p> <p><a href="https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab">https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab</a> (kostenlos)</p> <p>Yenka: <a href="http://www.yenka.com/">http://www.yenka.com/</a> (kostenpflichtig)</p> <p>Handreichung zum Themenfeld 6</p>	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 3 „Die elektrische Stromstärke“

Schwerpunkte:

- Modellvorstellung des elektrischen Stroms bilden und in Übungen und Messungen anwenden,
- Zusammenhang zwischen U und I

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ☛ Modellvorstellung zum elektrischen Strom bilden
- ☛ Definition und Übung  $I = Q/t$
- ☛ Messen von I an verschiedenen Stellen des Stromkreises und Vergleich mit Modellvorstellung
- ☛ experimentelle Untersuchung zum Zusammenhang zwischen U und I (Aufnehmen von Kennlinien)

Im vorangegangenen Unterricht entsprechend der Handreichungen wurde die Tatsache, dass im Stromkreis Ladung strömt, durchgehend verwendet. Auch wurde der Begriff „elektrischer Strom“ und dessen Richtung benutzt („elektrischer Strom fließt“ ist üblicherweise bereits in Naturwissenschaften versprachlicht – auch wenn es fachlich korrekt „elektrische Ladung fließt“ heißen muss – was in Themenfeld 6 angesprochen wurde). Was bisher noch nicht benötigt und dementsprechend nicht eingeführt wurde, ist die Größe I für den elektrischen Ladungsstrom und eine Messvorschrift. Dies deckt sich mit der Grundausrüstung des neuen Lehrplans, bei dem nicht wie bisher jedes Phänomen und jede Größe weitgehend mittels Messvorschrift eingeführt wurde. Eine quantitative Betrachtung der elektrischen Stromstärke I wird erst im dem hier anstehenden Zusammenhang benötigt.

Die Ladung wird im neuen Physik-Lehrplan in Themenfeld 5 im Zusammenhang mit dem Atombau eingeführt. Die Ladung wird eingeführt als charakterisierende Eigenschaft von Elementarteilchen, was sich mit dem Gerüst der aktuellen Physik besser deckt als ein Ladungsbegriff, der sich lediglich aus der Elektrostatik im Zusammenhang mit der Elektrizitätslehre speist. Wie andere Größen auch ist die Ladung aber noch nicht zwangsläufig mit Formelzeichen, Einheit und Messvorschrift eingeführt worden. Das sollte dann hier in Themenfeld 9 nachgeholt werden. Eine Definition über eine Messvorschrift (z. B. Elektrolyse) ist dabei höchstens von historischer Relevanz und aufgrund der Einführung über die Teilcheneigenschaft nicht nur überflüssig, sondern sogar eher verwirrend. Sie bringt zudem keine Erkenntnis über reale Messvorgänge, da in üblichen Messgeräten die Bestimmung von Q über den Stromstärkenverlauf  $I(t)$  integriert wird.

Das Bilden einer Modellvorstellung zum elektrischen Strom ist auf übliche Weise möglich. Zunächst kann man Strömungsvorgänge (Verkehr, Menschenmengen, Wasser ...) sowie eine Möglichkeit der Messung (mehr Menschen in gleicher Zeit durch ein Tor bzw. gleiche Anzahl Menschen in kürzerer Zeit, daraus ergibt sich die „Menschenstromstärke“  $n/t$  oder analog mit Wasser aus dem Wasserhahn  $l/min$ ; Abb. 13) allgemein in den Blick nehmen.



Abb. 13: Wasserstromangabe auf einem Durchlauferhitzer (HR\_Ph\_TF9\_Volumenstrom)

Messungen am Wasserhahn oder Rollenspiele mit Schülergruppen, die durch die Tür gehen, bieten sich an. Es ist hier eine mögliche (Haus-)Aufgabe, den Volumenstrom  $I_w$  bei einem Wasserhahn mittels Stoppuhr und Messbecher zu bestimmen und die Messung zu dokumentieren.

Thematisiert werden sollten beide Möglichkeiten der Erhöhung einer Stromstärke:

1. Erhöhung der Stromstärke durch Erhöhen der Anzahl von Menschen/Ladungsträgern bzw. der Menge Wasser bei gleicher Geschwindigkeit,
2. Erhöhung der Stromstärke durch Erhöhen der Geschwindigkeit des Fließenden bei gleicher Anzahl bzw. Menge.

Eine Einbeziehung von Animationen ist hilfreich, z. B. auf den Seiten von leifiphysik (<http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/zusammenhang-zwischen-ladung-und-strom>). Die Sicherung kann über die Definition hinaus über entsprechende Skizzen geschehen, die nachfolgende Abbildung 14 zeigt ein mögliches Tafelbild.

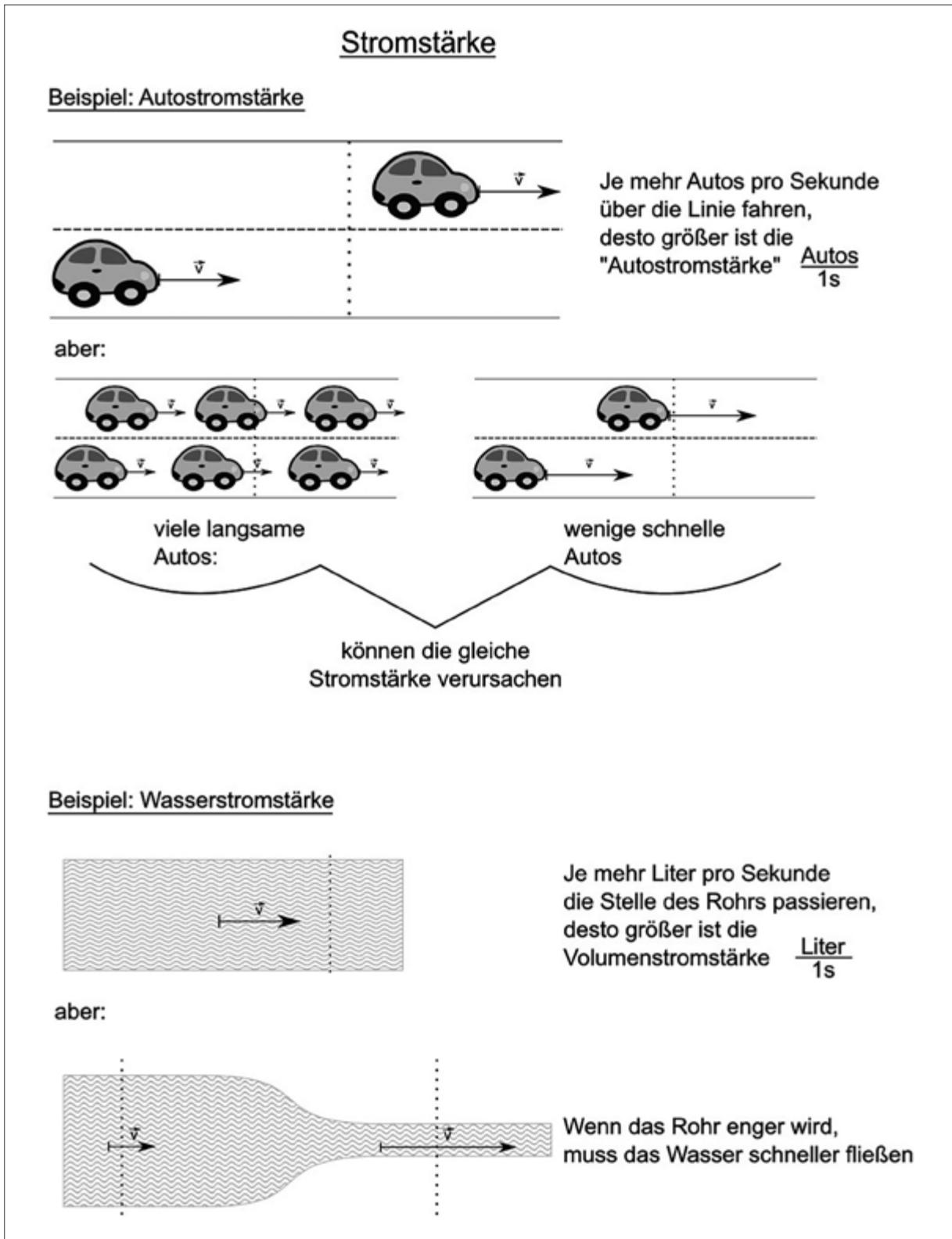


Abb. 14: Tafelbild Stromstärke

Im nächsten Schritt entwickelt man aus der Information, dass bei elektrischem Strom Ladung fließt, eine analoge **Definition der elektrischen Stromstärke**  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ .

Nun kann man zur Festigung des Zusammenhangs direkt Beispiele aus dem Alltag rechnen, z. B. aus den Angaben von Akkus über deren Ladungsmenge:

Akkupacks für Smartphones mit USB-Anschluss gibt es zu verschiedenen Preisen. Allerdings unterscheiden sie sich auch in der Menge der darin speicherbaren Ladung. Akkupack „StromMeUp“ hat die Angabe „4200 mAh“.

- Lisa kann mit „StromMeUp“ 12 Stunden länger telefonieren als ohne. Berechne die mittlere Stromstärke beim Telefonieren!
- Das Aufladen des Akkupacks „PowerDeLuxe“ über ein Netzteil mit  $I = 800 \text{ mA}$  dauert 3 h. Berechne die Ladungsmenge, die sich darin speichern lässt!
- Beim Laden über USB am Laptop ist die maximale Stromstärke  $I = 500 \text{ mA}$ . Berechne, wie lange das Laden von „PowerDeLuxe“ dauert!
- Welches der Akkupacks würdest du kaufen? Begründe!

Lösungen:

$$\text{a) } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{4200 \text{ mAh}}{12 \text{ h}} = 350 \text{ mA}$$

$$\text{b) } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow \Delta Q = I \cdot \Delta t = 800 \text{ mA} \cdot 3 \text{ h} = 2400 \text{ mAh}$$

$$\text{c) } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta Q}{I} = \frac{2400 \text{ mAh}}{500 \text{ mA}} = 4,8 \text{ h} = 4 \text{ h } 48 \text{ min}$$

- „StromMeUp“ kann eine größere Ladung aufnehmen, daher ist das (zumindest aus diesem Grund) zu bevorzugen.

Es ist an dieser Stelle aus Gründen der Alltagsanwendbarkeit nicht unbedingt sinnvoll, auf Grundeinheiten bzw. Coulomb zurückzurechnen, es kann aber trotzdem bereits hier zu Übungszwecken geschehen. Eine ähnliche Situation tritt schon in Themenfeld 6 auf bei Berechnungen zur Energie in der Einheit kWh. In beiden Fällen können alltagsrelevante Beispiele herangezogen werden, wenn man auf die physikalische Faustregel „immer in Grundeinheiten umrechnen“ verzichtet. Die Umrechnung in Grundeinheiten taucht im weiteren Verlauf dieser Unterrichtseinheit noch einmal auf und ist dann unerlässlich, so dass bei diesem einen Beispiel die alltagsnahe Einheit Ah stehen bleiben kann. Das Ziel der Festigung der Formel und des Einübens des Umgangs sind auch damit bereits erfüllt.

LE: Modellvorstellung zum elektrischen Strom und Definition $I=Q/t$	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p> <p>... nutzen Wissen über die Zusammenhänge elektrischer Größen zur Berechnung von Größen im Stromkreis, hier <math>I=Q/t</math>.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Elektrischer Strom ist fließende Ladung (E, SY).</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Skizzen zu Strömungsvorgängen,</li> <li>- Dokumentation der Messung eines Volumensstroms am Wasserhahn,</li> <li>- Berechnungen zu Stromstärke und Ladung.</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verschiedene Modellvorstellungen</li> <li>- Berechnungen auf unterschiedlichem Niveau</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB online:</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S3_01_Stromstaerke_Berechnung</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S3_00_Rollenspiel_Stromstaerke</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p><b>Rollenspiel - Rechnungen mit Stromstärke</b></p> <p>Die Stromstärke <math>I</math> (Ampere) ist die Menge an Ladung <math>Q</math> (Coulomb), die pro Sekunde durch einen Querschnitt eines Leiters fließt. Die Formel lautet <math>I = Q/t</math>.</p> <p><b>Aufgaben:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> <li>2. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> <li>3. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> </ol> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p><b>Rollenspiel zur Stromstärke</b></p> <p>Die Stromstärke <math>I</math> (Ampere) ist die Menge an Ladung <math>Q</math> (Coulomb), die pro Sekunde durch einen Querschnitt eines Leiters fließt. Die Formel lautet <math>I = Q/t</math>.</p> <p><b>Aufgaben:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> <li>2. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> <li>3. Berechne die Stromstärke <math>I</math> in einem Leiter, durch den sich in 10 Sekunden eine Ladung von <math>10\text{ C}</math> bewegt.</li> </ol> </div> </div> <p>Animation:</p> <p><a href="http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/zusammenhang-zwischen-ladung-und-strom">http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/zusammenhang-zwischen-ladung-und-strom</a></p>	

Das Betrachten zentraler Fragestellungen zum elektrischen Strom sollte direkt mit einer analogen Betrachtung anderer Ströme verknüpft werden. Das Ziel ist hier wie auch bereits bei der Einführung der Spannung (siehe Themenfeld 6) eine Festigung durch gründliche **Modellbetrachtung und Analogisierung**, was auch eine Differenzierung der Begriffe bei den Lernenden unterstützt.

Beispielhaft werden an dieser Stelle einige übliche Fragestellungen des Unterrichts zur Elektrizitätslehre genannt:

■ **Wie misst man elektrischen Strom?**

Hier sollte das Vorgehen bei der Messung im Mittelpunkt stehen. Neben der Instruktion und Übung einer Messung mit dem Messgerät im Stromkreis lässt sich die Notwendigkeit gut mithilfe der Modellvorstellung einer Strömung deutlich machen: Der Strom muss durch ein Messgerät fließen, um gemessen zu werden. Das kann beispielsweise an einem Wasserkreislaufmodell geschehen (vgl. Handreichung zu Themenfeld 6, Anmerkungen zum Einsatz des Wasserkreislaufs als Modellvorstellung), aber auch mittels Betrachtungen zu Menschen- und Verkehrsströmen. Geeignete Simulationen (phet, Yenka o. ä.) können der Visualisierung dienen.

Die Wirkungen des elektrischen Stroms (magnetisch, chemisch, thermisch) könnten zwar an dieser Stelle sinnvoll eingebracht werden, um Möglichkeiten der Messung aufzuzeigen, allerdings besteht die Gefahr, dass die Schülerinnen und Schüler den Fokus des Unterrichts (Größen und Zusammenhänge der Elektrik) aus dem Auge verlieren. Zudem ist der zeitliche Umfang des Themenfelds zu beachten. Moderne Multimeter messen  $I$  weder über die magnetische, thermische oder chemische Wirkung, sondern über den Potenzialabfall an einem internen Widerstand (was prinzipiell nach dem Unterricht aus Themenfeld 6 aber auch verständlich gemacht werden kann).

■ **Ist die Stromstärke hinter einem elektrischen Gerät kleiner als davor?**

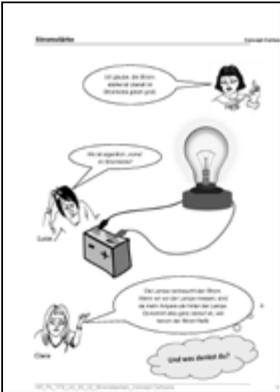
Diese übliche Fehlvorstellung geht einher mit der Formulierung, dass elektrischer Strom „verbraucht“ wird und kann sowohl durch Messung (Ebene des Stromkreises und Schüleraktivität) als auch auf der Modellebene nachvollziehbar widerlegt werden. Für die Modellebene kann z. B. ein Wasserkreislaufmodell herangezogen werden. Eine Alternative dazu ist die Möglichkeit, Menschenströme oder Verkehrsströme zu modellieren bzw. der Einsatz von geeigneten Simulationsprogrammen (phet, Yenka o. ä.).

■ **Was geschieht bei Abzweigungen im Stromkreis?**

Auch die Knotenregel kann in diesem Sinn bearbeitet werden, entweder zusätzlich oder in Form einer Neigungsdifferenzierung als Alternative zur Fragestellung, ob Strom verbraucht wird.

Die beiden letzten Fragestellungen lassen sich gut mittels Concept Cartoons motivieren und diese anschließend den Schülerinnen und Schülern je nach Neigung zur Bearbeitung überlassen werden (jede der Fragestellungen sollte von einem Teil der Klasse bearbeitet und anschließend präsentiert werden). (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S3\_02\_Stromstaerken\_Concept\_Cartoons)

Es ist ein Zeichen für ein gutes Verständnis der Zusammenhänge, dass der Mehrheit der Klasse nach dem vorangegangenen Unterricht (Themenfeld 6 und Modellierung der Stromstärke) bereits nach dem Aufwerfen der Problemstellung bewusst ist, dass kein elektrischer Strom bzw. keine Ladung „verbraucht“ wird. Dann kann sich dieser Teil der Lerngruppe der Untersuchung der Abzweigungen widmen.

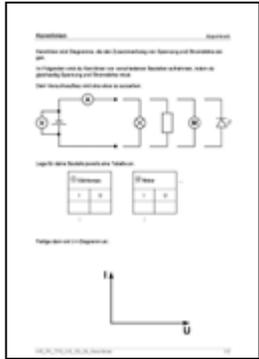
<b>LE: Modellvorstellung zum elektrischen Strom, Messen von I und Vergleich mit der Modellvorstellung</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... wenden Messverfahren im Stromkreis an (z. B. zur Überprüfung der Knotenregel).</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Elektrischer Strom ist fließende Ladung (E, SY).</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>Bearbeitungen der Fragestellungen zur Stromstärke:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ist die Stromstärke hinter einem elektrischen Gerät kleiner ist als davor?</li> <li>- Was geschieht bei Abzweigungen im Stromkreis?</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswahl der Fragestellungen nach Neigung</li> <li>- Entlastung durch vorgegebene Skizzen des Versuchsaufbaus</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB online:</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S3_02_Stromstaerken_Concept_Cartoons</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S3_03_Stromstaerken_messen</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Simulationen:</p> <p><a href="https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab">https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab</a> (kostenlos)</p> <p>Yenka: <a href="http://www.yenka.com/">http://www.yenka.com/</a> (kostenpflichtig)</p> <p>Handreichung zum Themenfeld 6, besonders Kap.1.6.2 und 1.6.3 zum Wasserstromkreis als Modell</p>	

Die **Aufnahme von Kennlinien** ist an dieser Stelle aus mehreren Gründen sinnvoll:

- Es ist eine Möglichkeit, experimentelle Kompetenz auszubauen, nachdem die notwendigen handwerklichen Fähigkeiten (Messung der Stromstärke) gerade eingeübt wurden.
- Die naheliegende Frage nach dem Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird behandelt, ohne dass zuvor der Widerstand als weitere Größe eingeführt wurde und zu Verwirrungen führen kann.
- Die Einführung des Widerstands als Größe schließt sich direkt an die Betrachtung der Ergebnisse an.

Zudem wird der Fehlvorstellung entgegengewirkt, dass Stromstärke und Spannung stets proportional zueinander sind (das sind sie nämlich nur im ohmschen Sonderfall, der genau diese Tatsache beschreibt).

Zur Durchführung der Experimente zu den Kennlinien gibt es eine Fülle von erprobtem Material in Büchern, das Arbeitsblatt in den Onlinematerialien stellt eine Variante dar.

<b>LE: experimentelle Untersuchung zum Zusammenhang zwischen U und I (Aufnahmen von Kennlinien)</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... führen einfache Experimente zu Größen im Stromkreis durch, hier zu U-I-Kennlinien verschiedener Bauteile.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die Spannung (Potentialdifferenz) ist ein Antrieb für den elektrischen Strom.</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Kennlinien zu verschiedenen Bauteilen (Draht gekühlt oder ungekühlt, Glühlampe, Diode, Motor, technischer Widerstand ...) und Dokumentation</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Auswahl der Bauteile nach Neigung</p> <p>- Entlastung durch vorgegebene Skizzen des Versuchsaufbaus</p> <p>- Vorgegebene Bausteine für das Protokoll (Tabellen, Koordinatensysteme, Satzbausteine etc.)</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB online:</p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S3_04_Kennlinien</p>	
	

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 4 „Elektrischer Widerstand“

### Schwerpunkte:

- Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden.
- Eine Änderung an einer Stelle hat Auswirkungen auf das Gesamtsystem.

### Aktivitäten und Lernprodukte:

- ☛ Definition des elektrischen Widerstands, Berechnungen mit Einheiten an Messungen (z. B. aus Kennlinien) einüben, ohmsches Gesetz (Proportionalität) als Sonderfall herausstellen
- ☛ Analogie zwischen thermischen und elektrischen Leitungsvorgängen darstellen
- ☛ Experimente zur Untersuchung der Einflussgrößen für den Widerstand eines Leiters (spezifischer Widerstand, Abhängigkeit von Länge, Querschnitt und Material) durchführen
- ☛ Übungen zum Stromkreis als System („Was passiert im Rest vom Stromkreis, wenn sich an einer Stelle etwas ändert?“)

Der elektrische Widerstand kann im Verlauf der Sequenz oder direkt im Anschluss an die Aufnahme der Kennlinien als die Regelgröße des elektrischen Stroms eingeführt werden. Zur Größe „elektrischer Widerstand“ einige Bemerkungen vorab:

- Aus der Formel  $U = R \cdot I$  wird häufig geschlossen, dass hier eine Proportionalität zwangsläufig folgt. Das ist ebenso mathematisch naheliegend wie physikalisch falsch. Der Zusammenhang gilt für einzelne Messwerte streng (der Widerstand lässt sich berechnen für ein Messwertepaar  $U/I$ ), aber bei unterschiedlichen Stromstärken ist der Widerstandswert der meisten Bauteile in der Regel eben gerade nicht konstant (was die Kennlinien deutlich zeigen). Der Hintergrund ist das praktisch schwierige Verhindern sekundärer Effekte (z. B. thermische Wirkung des Stroms, Auslösen weiterer Ladungsträger in Halbleitern). Historisch hat Ohm den Zusammenhang zwar aus der Proportionalität abgeleitet, für den Unterricht bietet sich aber wegen der eingeschränkten Gültigkeit an, den Zusammenhang als Definition  $U = R \cdot I$  einzuführen und den proportionalen Fall als Sonderfall mit besonderer Anwendung herauszustellen.
- Für das Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept wäre zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Antrieb (bzw. der Ursache)  $U$  und der durch  $R$  folgenden Stromstärke  $I$  die Betrachtung der elektrischen Leitfähigkeit folgerichtiger. Im funktionalen Zusammenhang wäre  $U$  das Argument und  $I$  der Funktionswert. Das macht auch das Aufzeigen der Analogie zum thermischen Strom (Themenfeld 8) einfacher. Dennoch ist der Begriff des elektrischen Widerstands stärker in der Praxis verankert und wird daher auch üblicherweise im Unterricht verwendet.
- Das Berechnen von Ersatzwiderständen in komplexen Parallel- und Reihenschaltungen ist nicht im Lehrplan gefordert. Wenn es dennoch in die Unterrichtsreihe integriert werden soll, dann am besten in die letzte Sequenz, wo es als eine differenzierende Aktivität parallel zu anderen verstanden werden kann. So können Schülerinnen und Schüler, die in der Oberstufe einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt anstreben, die damit verbundene Problemlöse- und Abstraktionskompetenz stärken. Zudem muss der damit verbundene Zeitaufwand innerhalb des Themenfelds berücksich-

tigt werden. Zuletzt soll bedacht werden, dass das Berechnen von lokalen Werten im Stromkreis keinen erheblichen Beitrag zum Verständnis der Vorgänge im Stromkreis als System leisten. Dafür sind Übungen an verzweigten Stromkreisen, die ohne Einzelberechnungen das Gesamtverhalten betrachten, besser geeignet (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S4\_03\_System).

- Ebenso ist das Thematisieren technischer Widerstände (z. B. licht-/temperaturabhängige Widerstände) kontextuell besser in Themenfeld 11 verortet, wo diese als zentrales Element von Sensoren (Lichtmesser, Thermometer) betrachtet werden können. Dadurch wird dort die Möglichkeit der vertiefenden Wiederholung und Festigung ermöglicht und im hier beschriebenen Unterricht zu Themenfeld 9 bleibt für den Lernenden die Übersicht bewahrt, da weniger Exkurse auftreten.

Die **Definition und Übung des Begriffs des elektrischen Widerstands** kann direkt an die Auswertung der Kennlinien angeschlossen werden. Die Definition  $R = U/I$  sowie das Einüben an Messwertepaaren aus den Kennlinien sind ausreichend zur Sicherung des Rechnens mit Einheiten. Aufgegriffen und in Zusammenhang gestellt wird das nochmals in der abschließenden Übungsphase innerhalb der letzten Sequenz der Unterrichtsreihe. Auf eine sinnvolle zeitliche Beschränkung und Fokussierung sei hier nochmals hingewiesen, besonders wenn Materialien aus Schulbüchern herangezogen werden, die meist über das hier Beschriebene hinausgehen.

<b>LE: Definition des elektrischen Widerstands, Berechnungen mit Einheiten an Messungen (z. B. aus Kennlinien) einüben, ohmsches Gesetz (Proportionalität) als Sonderfall herausstellen</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p> <p>... nutzen Wissen über die Zusammenhänge elektrischer Größen zur Berechnung von Größen im Stromkreis, hier <math>R = U/I</math>.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die Spannung (Potenzialdifferenz) ist ein Antrieb für den elektrischen Strom.</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Berechnungen des Widerstands an Messwertepaaren der Werte aus den Experimenten zu Kennlinien</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>--</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>--</p>	

An dieser Stelle ist es sinnvoll, die **Analogie zwischen dem thermischen und dem elektrischen Strom** aufzuzeigen und damit eine weitere Untersuchung des elektrischen Stroms zu begründen (spezifischer Widerstand bzw. elektrische Leitfähigkeit). Der thermische Strom wurde in Themenfeld 8 thematisiert. Ein geeignetes Vorgehen kann wie bereits bei der Wiederholung des Spannungsbegriffs in einer vorbereitenden Hausaufgabe bestehen:

Informiere dich in deinem Ordner zum Themenfeld 8 „Wärmetransporte und ihre Beeinflussung“ darüber, wie man den thermischen Strom  $P$  beeinflussen kann. Fasse die Ergebnisse des Experiments in einem Satz zusammen (z. B. „Die Stärke des Wärmestroms  $P$  ist größer, wenn ...“).

Je nach den dort gemachten Übungen, Begriffen und Notizen muss die Aufgabenstellung angepasst werden. Ebenso ist das Bearbeiten der Ordner zu der Fragestellung im Unterricht möglich. Die Zusammenhänge werden präsentiert und reaktiviert (Abhängigkeit von Dicke und Querschnitt des durchflossenen Stoffs sowie vom Stoff selbst, außerdem von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen den Enden des durchflossenen Stoffs).

Wenn auf einer Tafelseite die Begriffe der Wärmelehre (Temperaturdifferenz, Wärmestrom, thermische Leitfähigkeit bzw. Wärmewiderstand) und auf der anderen Tafelseite die der Elektrizitätslehre vorgegeben werden, können die Schülerinnen und Schüler die Begriffe in Zusammenhang bringen und die jeweilige Funktion beschreiben:

- Antrieb: Temperaturdifferenz  $\Delta T \rightarrow$  Potenzialdifferenz (Spannung)  $U$
- Strom: Energiestrom  $P \rightarrow$  Ladungsstrom  $I$
- Einfluss: Wärmewiderstand  $\rightarrow$  elektrischer Widerstand

Entsprechende Je-Desto-Sätze sichern die Zusammenhänge an dieser Stelle. Aus dieser Gegenüberstellung leitet sich ein Prinzip ab, das auf andere Bereiche übertragen werden kann:

**Ein Strom (Wärmestrom, Ladungsstrom) wird durch eine Differenz (Temperatur, Potenzial) angetrieben und kann durch einen Widerstand beeinflusst werden.**

Eine Übertragung auf Wasser-, Verkehrs- und Menschenströme kann diskutiert werden („Was sind mögliche Antriebe, wie kann man den Strom beeinflussen?“). Dabei sind folgende Ergebnisse möglich:

**Wasserströme können durch eine Höhendifferenz angetrieben und durch unterschiedlich starke Reibung im Flussbett oder engere Rohre beeinflusst werden.**

Menschenströme können z. B. angetrieben sein dadurch, dass es an einer Stelle „etwas gibt“, was es woanders „nicht gibt“ (ein Konzert, Sonderangebote ...). „Den Strom“ kann man durch Sperren, enge Türen oder Eingangskontrollen steuern.

Auch wenn zunächst nicht sofort ersichtlich ist, worin der Gewinn solcher Übungen für die Elektrizitätslehre besteht: Das Aufzeigen von Analogien übt den Transfer von naturwissenschaftlichen Grundkonzepten auf andere Bereiche. Es verdeutlicht, dass eine im Unterricht an einem Thema gelernte Sichtweise auch an anderer Stelle angewandt werden kann. Gerade im Hinblick auf das sich immer schneller ändernde Wissen oder neu zu erwerbende Fähigkeiten im späteren Beruf sind das Anwenden und Übertragen von Denkmustern von zunehmender Bedeutung und deswegen im neuen Lehrplan in der hier aufgezeigten Weise angelegt.

<b>LE: Analogie zwischen thermischen und elektrischen Leitungsvorgängen darstellen</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p> <p>... nutzen Analogien zu thermischen Strömen zur Erklärung der Abhängigkeit der elektrischen Stromstärke von Spannung und Widerstand.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die Spannung (Potentialdifferenz) ist ein Antrieb für den elektrischen Strom.</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleichende Tabellen der Begriffe in Wärmelehre und Elektrizitätslehre</li> <li>- Je-Desto-Sätze zu verschiedenen Strömen</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorgabe von Begriffen</li> <li>- Entlastende Hausaufgaben</li> <li>- Wiederholungen und Bearbeitungen in Gruppen</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>Handreichung zu Themenfeld 8</p>	

An dieser Stelle schließt sich eine **Untersuchung der Einflussgrößen des elektrischen Widerstands (spezifischer Widerstand)** direkt an, da die Einflussgrößen die gleichen sind wie beim thermischen Strom: Länge (Dicke), Querschnitt und Art des durchströmten Materials. Aus dem in Themenfeld 8 durchgeführten Experiment können diese Größen durch weitere Analogisierung gewonnen werden. Dadurch können Hypothesen zum elektrischen Widerstand formuliert werden. Diese Vorgehensweise ist exemplarisch für das mögliche Vorgehen in der naturwissenschaftlichen Forschung, wo Zusammenhänge auf andere Gebiete übertragen und dann experimentell überprüft werden.

Die Planung und Durchführung der Messungen zur Untersuchung des spezifischen Widerstands kann in üblicher Weise durchgeführt werden. Sinnvoll sind Schülerübungen in verteilten Gruppen (Differenzierung). Dabei können wahlweise die Stromstärke oder direkt der Widerstandswert (durch Berechnung) untersucht werden:

Untersucht die Abhängigkeit des Widerstands eines Drahts ...

- von der Länge,
- vom Querschnitt und
- vom Material.

Das Experimentieren kann unterschiedlich offen gestaltet sein, als differenzierende Maßnahmen können Experimentiervorschriften und Tabellen bereitgestellt werden (siehe HR\_Ph\_TF9\_UG\_S4\_03\_Spezifischer\_Widerstand). In diesem Themenfeld sollte die Experimentierkompetenz bei einer größeren Zahl von Schülerinnen und Schülern allerdings soweit fortgeschritten sein, dass eine eigenständige Planung mit wenigen Hilfen möglich ist. Daher sollte es eine Planungsphase geben, evtl. mit anschließender Präsentation vor der Experimentierphase.

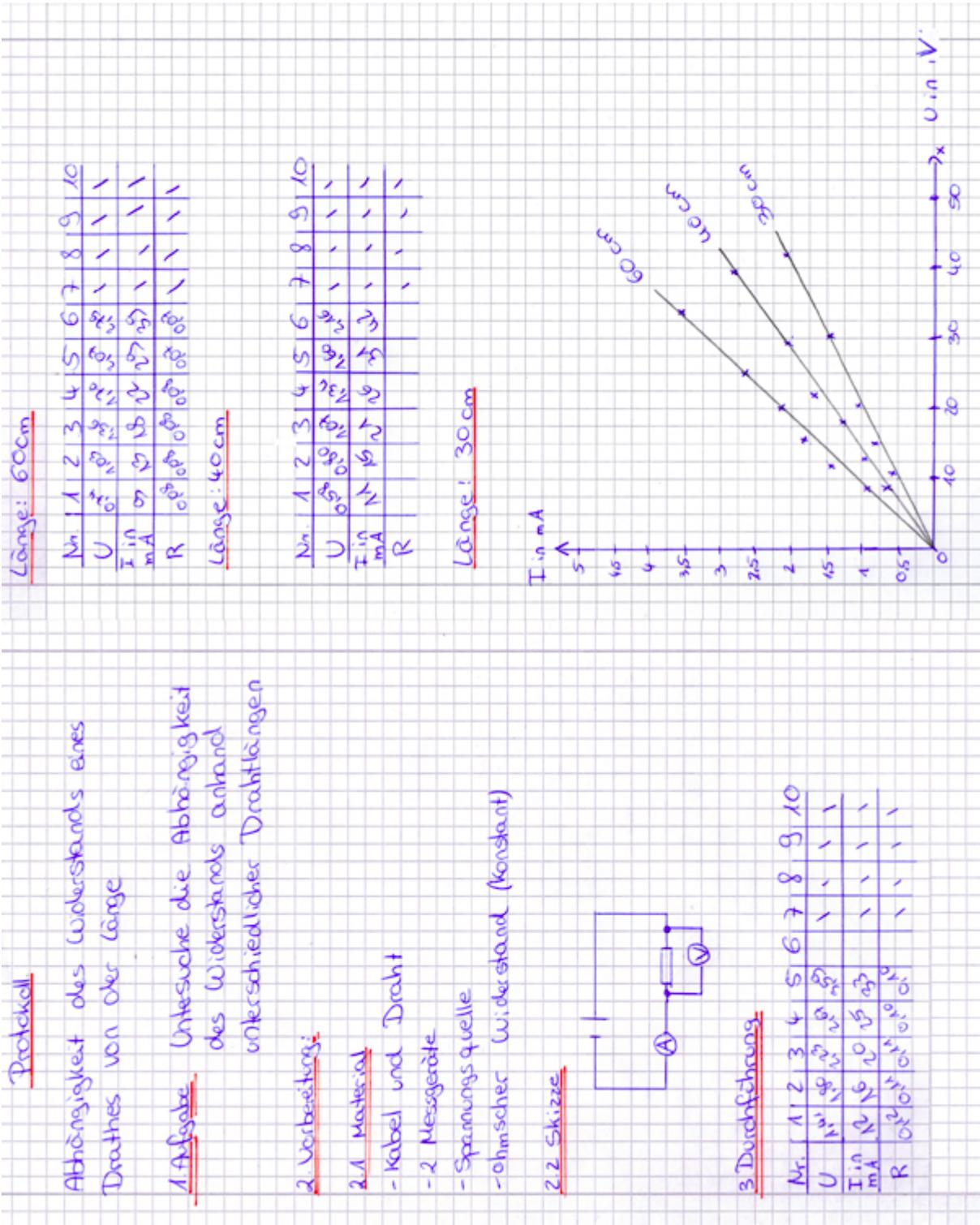


Abb. 15: Ergebnisprotokoll der Experimentierphase (© Marisa Pfeifer)

Die Auswertung geschieht nach Präsentation und Zusammenfassung der Ergebnisse und ergibt:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

bzw.

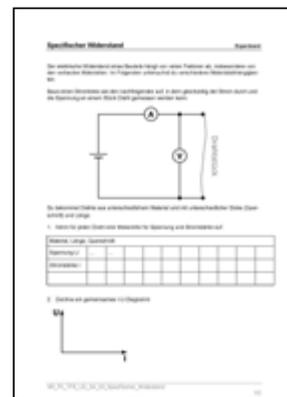
$$U = \rho \cdot \frac{l}{A} \cdot I$$

oder, wenn statt des Widerstands die Untersuchung der Leitfähigkeit in Hinblick auf direkte Analogie zum Wärmestrom angestrebt war:

$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{A}{l} \cdot U$$

Übungen zur Sicherung in Form von Berechnungen können, müssen sich aber nicht zwangsläufig anschließen. Je nach angestrebtem Differenzierungsgrad reicht eine Formulierung in Je-Desto-Sätzen aus.

<b>LE: Experimente zur Untersuchung der Einflussgrößen für den Widerstand eines Leiters (spezifischer Widerstand, Abhängigkeit von Länge, Querschnitt und Material) durchführen</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... führen einfache Experimente zu Größen im Stromkreis durch (hier zum spezifischen Widerstand eines Drahtes).</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die Spannung (Potentialdifferenz) ist ein Antrieb für den elektrischen Strom.</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Protokolle zu den Experimenten</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Auswahl der Teilerperimente (Material, Länge, Querschnitt des Drahts)</p> <p>- Entlastung durch Vorgabe von Tabellen, Vorschriften etc.</p> <p>- Formulierung als Formel und Berechnungen</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S4_03_Spezifischer_Widerstand</p>	



An dieser Stelle ist es sinnvoll, erneut den **Stromkreis als System, d. h. als Ganzes**, in den Blick zu nehmen. Dazu eignen sich Übungen zur Fragestellung:

„Was passiert im Rest vom Stromkreis, wenn sich an einer Stelle etwas ändert?“

Entsprechende Übungen beinhalten z. B. Vorhersagen an durch Schaltskizzen vorgegebenen Stromkreisen in folgender Form:

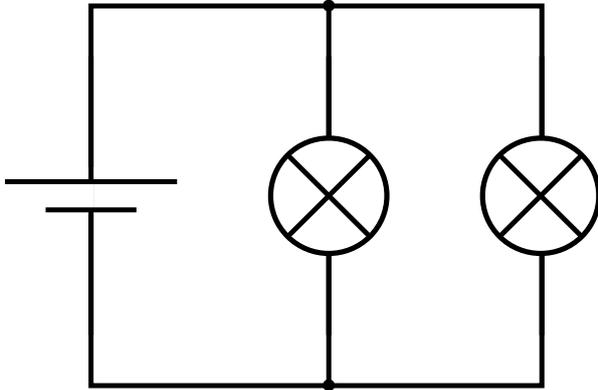


Abb. 16: Einfache Parallelschaltung

- a) Beschreibe, was mit der rechten Lampe geschieht, wenn man ...
  - die linke Lampe herausschraubt.
  - die linke Lampe durch ein Kabel ersetzt.
- b) Beschreibe, was mit der linken Lampe geschieht, wenn man ...
  - die rechte Lampe herausschraubt.
  - die rechte Lampe durch ein Kabel ersetzt.
- c) Angenommen, die Lampen sind gleich und die Stromstärke an der Quelle ist 2 A. Gib die Stromstärken an ...
  - an der rechten Lampe.
  - an der linken Lampe.
- d) Nun wird die rechte Lampe durch eine mit geringerem Widerstand ersetzt. Beschreibe die Unterschiede zu vorher.
- e) Begründe deine Antworten.
- f) Baue den Stromkreis in der Animation nach und überprüfe deine Antworten.

Übungen dieser Art finden sich auf dem Arbeitsblatt HR\_Ph\_TF9\_UG\_S4\_04\_System. Die dort abgebildeten Stromkreise nehmen in der Komplexität zu, so dass hier eine Differenzierung durch Auswahl vorgenommen werden kann.

Wie bereits bei den einfachen Überlegungen zum elektrischen Strom sind auch hier Modellvorstellungen eine große Hilfe. Das Wasserstromkreismodell kann hier ebenso wieder eingesetzt werden wie Animationen am Computer. Ebenso ist das Nachbauen des Stromkreises zur Überprüfung möglich. Allerdings ist gerade hier aufgrund der Komplexität die Gefahr groß, dass fehlerhaft aufgebaute Schaltungen zu Frustrationen bei den Schülerinnen und Schülern und erhöhtem Betreuungsaufwand durch die Lehrkraft führen. Daher ist diese Möglichkeit eventuell nur an einzelnen bereits im Vorfeld aufgebauten Schaltungen sinnvoll.

Es ist sinnvoll, der individuellen und differenzierten Bearbeitung eine Einstiegsaufgabe voranzustellen, an der, durch die Lehrkraft moderiert, die Grundproblematik dargestellt wird. So könnte zu der letzten auf dem Arbeitsblatt HR\_Ph\_TF9\_UG\_S4\_04\_System dargestellten Schaltung gefragt werden, was beim Betätigen der Schalter mit den einzelnen Lampen passiert. Es folgt eine Demonstration und eine Erklärung mithilfe des Modells (Wassermodell oder Animation). Anschließend können weitere Übungen bearbeitet und präsentiert werden.

LE: Übungen zum Stromkreis als System („Was passiert im Rest vom Stromkreis, wenn sich an einer Stelle etwas ändert?“)	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die Spannung (Potentialdifferenz) ist ein Antrieb für den elektrischen Strom.</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden.</p> <p>Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- AB HR_Ph_TF9_UG_S4_04_System</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Auswahl der betrachteten Schaltungen durch die Schülerinnen und Schüler (Neigungsdifferenzierung)</p> <p>- Zusatzangebote: Animationen, Schaltungen</p> <p>- Selbstkontrolle durch Lösungen</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB HR_Ph_TF9_UG_S4_04_System</p> <div data-bbox="1098 1473 1377 1872" style="float: right; border: 1px solid black; padding: 5px;"> </div>	

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 5 „Elektrische Leistung“

Schwerpunkte:

- Leistung als Stärke des Energiestroms am Gerät
- Zusammenhang zwischen P, I und U

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ✎ Wiederholung Zusammenhang  $E = P \cdot t$  (Themenfeld 6)
- ✎ Experiment zum Zusammenhang zwischen P, I und U durchführen und  $P = U \cdot I$  einüben

Die elektrische Leistung wird im Zusammenhang mit der Bereitstellung und dem Transport von Energie auf elektrischem Weg im Themenfeld 6 eingeführt. Dort wird z. B. an elektrischen Geräten im Haushalt der Zusammenhang zwischen deren Leistung P in W und der in einem Zeitraum t umgesetzten Energiemenge E ( $E = P \cdot t$ ) betrachtet, auch in Bezug auf die dabei entstehenden Kosten. Berechnungen in dem Zusammenhang beziehen sich wegen der Anwendbarkeit vorrangig auf die Energieeinheit kWh, eine Umrechnung in Joule ist teilweise vorgenommen worden, aber für die dortigen Aufgabenstellungen nicht unbedingt nötig. Der Zusammenhang zwischen Leistung, Spannung und Stromstärke ist an dieser Stelle nicht nötig. Er wird in diesem Themenfeld hergestellt.

Eine **Reaktivierung der Vorstellung von Energie und Leistung** ist, wie bereits in den vorigen Sequenzen über eine vorbereitende Hausaufgabe, hilfreich, z. B.:

Informiere dich in deinem Ordner zum Themenfeld 6 „Elektrische Energieversorgung“ über die Begriffe Leistung und Energie. Notiere den Zusammenhang (Formel) in dein Heft und zeige an folgendem Beispiel, dass du damit umgehen kannst:

Berechne nachvollziehbar, wieviel Energie ein Wasserkocher (2000 W) benötigt, der 10 Minuten eingeschaltet ist. Gib das Ergebnis in kWh und in J an.

Alternativ kann ein Lehrbuch- oder Informationstext verwendet werden, der eine entsprechende Berechnung an einem anderen Beispiel enthält. An die Präsentation der Ergebnisse schließt sich eine Klärung der Begriffe und offener Fragen an. Eine wiederholende Gegenüberstellung von Energiestrom P (linear von elektrischer Quelle zu elektrischem Gerät) und Ladungsstrom I (bei kontinuierlichem Energietransport im Kreis wie eine Fahrradkette) ist hier sinnvoll.

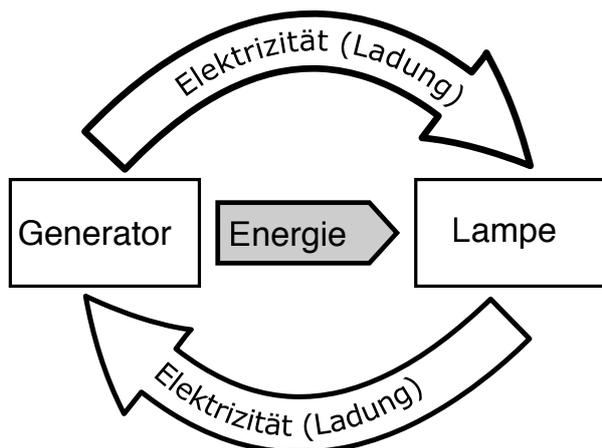


Abb. 17: Energie und Ladungsstrom

LE: Wiederholung Zusammenhang $E=Pt$ (Themenfeld 6)	
<p><b>Kompetenz</b> Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen.</p> <p>... nutzen Wissen über die Zusammenhänge elektrischer Größen zur Berechnung von Größen im Stromkreis, hier <math>R=U/I</math>.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestromstärke beschrieben werden (der Begriff „Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Wiederholende Berechnung zu Energie und Leistung</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Entlastung durch Vorgabe von Informationen</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>Handreichung Themenfeld 6</p>	

Im Anschluss wird ein **Experiment zum Zusammenhang zwischen Leistung, Stromstärke und Spannung** durchgeführt. Das kann durch erneuten Blick auf die strukturierende Mindmap motiviert werden. Dadurch wird sichtbar, dass inzwischen alle wesentlichen Begriffe der Elektrizitätslehre bereits bearbeitet wurden und noch eine Verbindung zwischen Stromstärke und Leistung hergestellt wird.

Der Zusammenhang  $P = U \cdot I$  kann experimentell auf verschiedenen Wegen eingeführt werden. Ein Demonstrationsexperiment, das direkt an den Einsatz der elektrischen Energieversorgung im Haushalt anschließt, soll hier beschrieben werden:

Wie im Haushalt wird eine zunehmende Anzahl von 30 W-Reuterlampen bei der vorgesehenen Spannung von 6 V parallel an eine modellierte „Steckdosenleiste“ geschaltet, d. h. die dem Netzgerät abverlangte Leistung und Energiemenge nimmt mit jedem Gerät zu. Eine direkte Messung der Stromstärke bei zunehmender Leistung ergibt in der Auftragung P gegen I den gewünschten Zusammenhang.

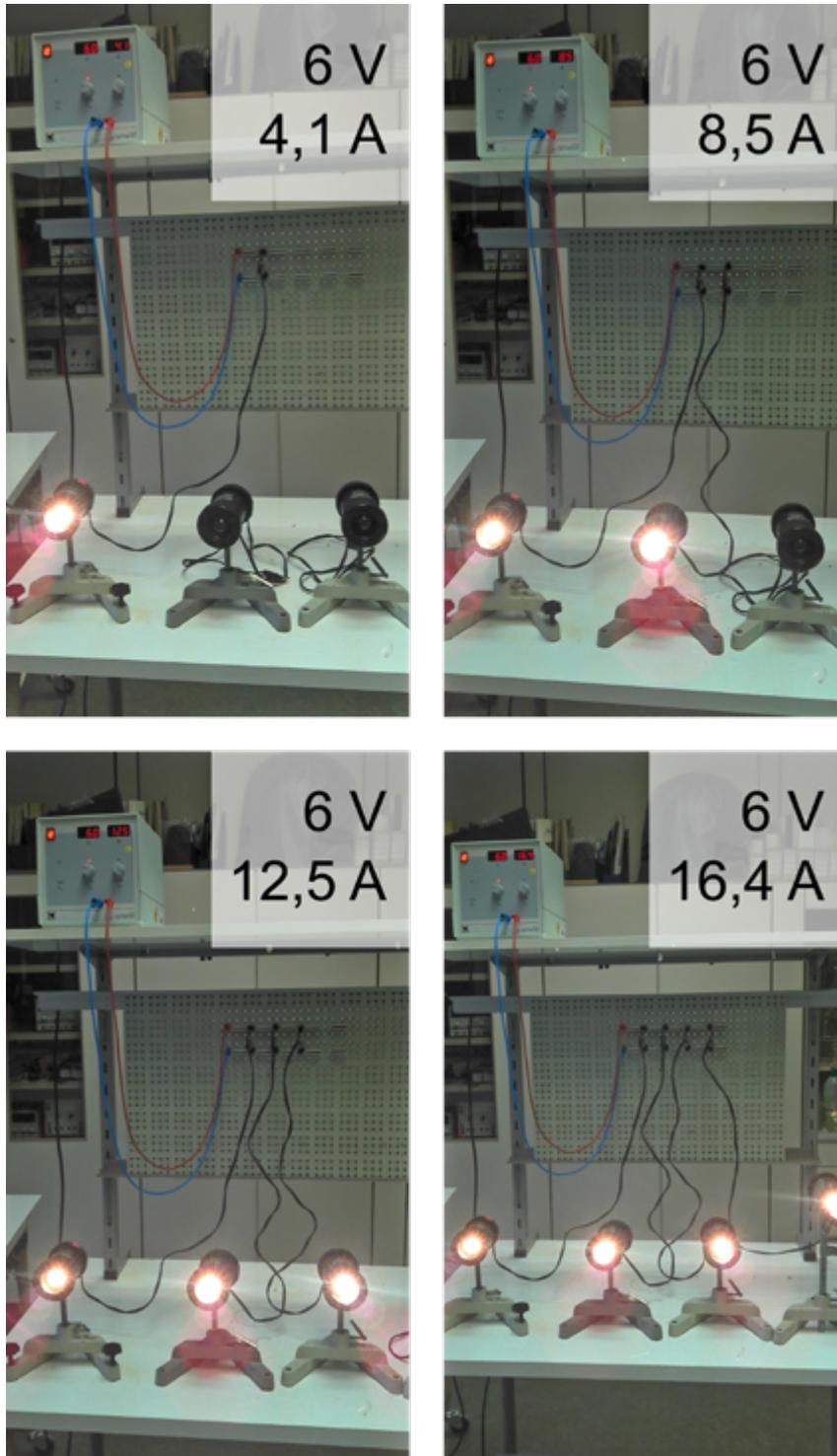


Abb. 18: Spannung, Stromstärke und Leistung bei 1, 2, 3 und 4 Lampen

Es besteht hier die Möglichkeit, auf die anfängliche Fragestellung der Mehrfachsteckdosen zurückzuführen: ein erhöhter Widerstand der Versorgungsleitung (lange Kabel, hohe Übergangswiderstände an den Kontakten) bewirkt eine Verringerung der übertragenen Energie bei großer Belastung. Schaltet man modellhaft einen dünnen Draht in die Zuleitung, nimmt die Stromstärke nicht mehr im verlangten Maß zu, was man am Messgerät erkennen kann. Zudem erwärmt sich der Draht („die Kontaktstelle im Mehrfachstecker mit dem größten Widerstand“) so stark, dass Überhitzungen vorkommen können.

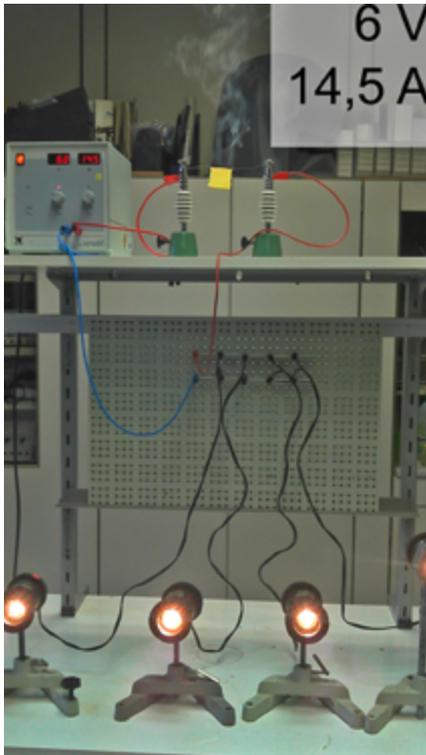


Abb. 19: Versorgungsleitung mit hohem Widerstand

Zur Einübung des so gewonnenen Zusammenhangs  $P = U \cdot I$  kann man einige Berechnungen durchführen, bei dem z. B. auch die Stromstärke in einer Zuleitung zu elektrischen Geräten gegebener Leistung bestimmt wird. Eine Festigung und das Verbinden mit den weiteren Größen im Stromkreis finden in der letzten Sequenz statt. Dort werden auch zusätzliche Aufgabenstellungen verortet, z. B. die Reihenschaltung zweier Glühlampen verschiedener Leistung und die daran gemachten Beobachtungen und Deutungen.

Die hier vorgestellte Sequenz ist bewusst kurz gehalten und knüpft anwendungsbezogen an vorherige Lernsituationen an. Der aus dem Experiment abgeleitete Zusammenhang  $P = U \cdot I$  wird definiert. Aus Gründen der Übersicht für die Lernenden bzw. der Fokussierung auf die Begriffe wird auf die vollständige Herleitung verzichtet, bei der zusätzlich der Zusammenhang „ $P$  ist proportional zu  $U$ “ bzw. „ $U$  ist antiproportional zu  $I$ “ im Experiment gezeigt werden müsste.

<b>LE: Experiment zum Zusammenhang zwischen P, I und U durchführen und <math>P=UI</math> einüben</b>	
<b>Kompetenz</b> Schülerinnen und Schüler ... ... nutzen Analogien und Modellvorstellungen zur Herstellung von Erklärungszusammenhängen. ... nutzen Wissen über die Zusammenhänge elektrischer Größen zur Berechnung von Größen im Stromkreis, hier $P = U \cdot I$ .	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b> Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestromstärke beschrieben werden (der Begriff „Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E) Mittels gemessener physikalischer Größen (hier U, I, t) kann man die Energie indirekt bestimmen. (E)
<b>Lernprodukt</b> - Dokumentation eines Experiments zu $P = U \cdot I$ - Berechnung zu $P = U \cdot I$	<b>Differenzierung</b> --
<b>Materialien und Literatur</b> --	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 6 „Zusammenfassung und Anwendung“

Schwerpunkte:

- Zusammenfassung und Übung der Begriffe im Zusammenhang
- Zusätzliche Anwendungen und Fragestellungen (je nach Zeitansatz)

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ✘ Sammeln von Begriffen des vorangegangenen Unterrichts und Erstellen eines Begriffsnetzes
- ✘ differenziertes Üben an verschiedenen Aufgaben
- ✘ Anwendung: elektrische Installation und Sicherheit im Haushalt

Wie bereits zu Beginn der Unterrichtsreihe erläutert, ist der methodische Fokus die Übersichtlichkeit für die Schülerinnen und Schüler trotz der Vielzahl von Begriffen. Daher sind im Unterrichtsverlauf an mehreren Stellen die Übungsphasen kürzer als möglicherweise erwartet, die Experimente und Beispiele stärker fokussiert und es findet eine ständige Orientierung mithilfe der zu Beginn erstellten Mindmap statt.

In dieser abschließenden Sequenz werden die Begriffe zusammengeführt und im Zusammenhang eingeübt. Anschließend findet eine Anwendung in Hinblick auf Sicherheit im Umgang mit Elektrizität auf einer fundierten Wissensbasis statt.

In der ersten Phase findet das **Sammeln der Begriffe und Erstellen eines Begriffsnetzes (Concept Map)** statt, das diese zusammenführt. Erfolgte dies bereits zu Beginn der Unterrichtsreihe, wird jetzt im Vergleich der Wissenszuwachs visualisiert.

Das Vorgehen kann wie folgt geschehen:

- Ist die Methode Begriffsnetz noch unbekannt, wird sie an einem Beispiel verdeutlicht: die Begriffe „Sonne“, „Mond“, „Stern“, „Planet“ und „Erde“ werden auf Karten an die Tafel geheftet. Anschließend werden immer zwei mit einer Beziehung verbunden, die als Satz lesbar ist: „Sonne ist ein Stern. Erde kreist um Sonne. Erde ist ein Planet. Sonne ist Energiequelle für Erde.“ Weitere Beziehungen werden bis zum Verständnis der Methode gemeinsam erarbeitet. Mit einer Concept Map können viele verschiedene Arten von Zusammenhängen einfach visualisiert werden.

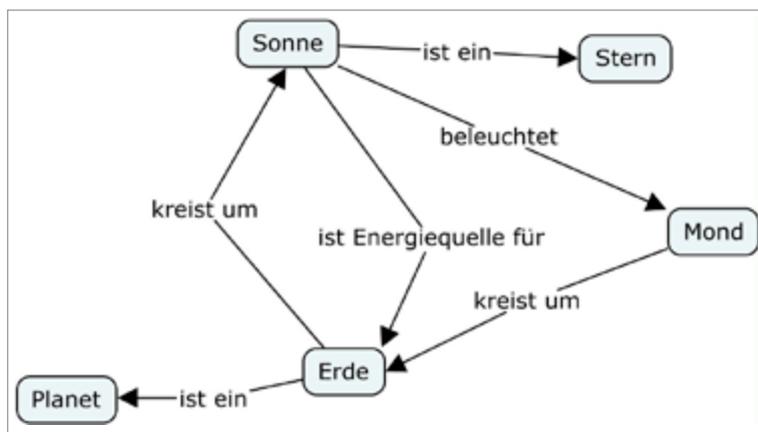


Abb. 20: Beispiel einer Concept Map, erstellt mit CmapTools

- Die Lehrkraft visualisiert auf Karten alle im Unterrichtsgespräch gesammelten Fachbegriffe des bisherigen Unterrichts. Fehlende Begriffe werden ergänzt, weniger zentrale Begriffe werden aus dem Zentrum entfernt.

Der Arbeitsauftrag lautet:

Erstellt ein Begriffsnetz mit den gegebenen Begriffen. Vergleicht es anschließend mit dem eurer Nachbarin/eures Nachbarn und verbessert bzw. ergänzt es.

- Ein gemeinsames Produkt wird erstellt. An der Tafel wird ein zentraler Begriff vorgegeben und jeweils eine Verknüpfung zu einem weiteren Begriff von einer Schülerin oder einem Schüler genannt. Die Verknüpfungen werden gemeinsam diskutiert (Korrekt? Alternativen? Fragen?). Nach und nach werden alle Begriffe des Themas in Zusammenhang gesetzt. Schülerinnen und Schüler haben Gelegenheit zu Nachfragen und die Lehrkraft kann Probleme erkennen. Das so erstellte Produkt erhalten alle in Kopie.

Zur Übersichtlichkeit des Begriffsnetzes sollten nur die wesentlichsten Zusammenhänge abgebildet werden und sich möglichst nicht überkreuzen.

Die Sammlung der Begriffe und das Erstellen der Concept Map können alternativ mit einem geeigneten elektronischen Tool, z. B. CmapTools (Freeware, verschiedene Betriebssysteme) erfolgen. Damit sind Optimierungen während des Erstellens möglich und das Ergebnis kann als Bild exportiert und direkt gedruckt werden.

Das Begriffsnetz bildet die Basis für die folgende Übungsphase.

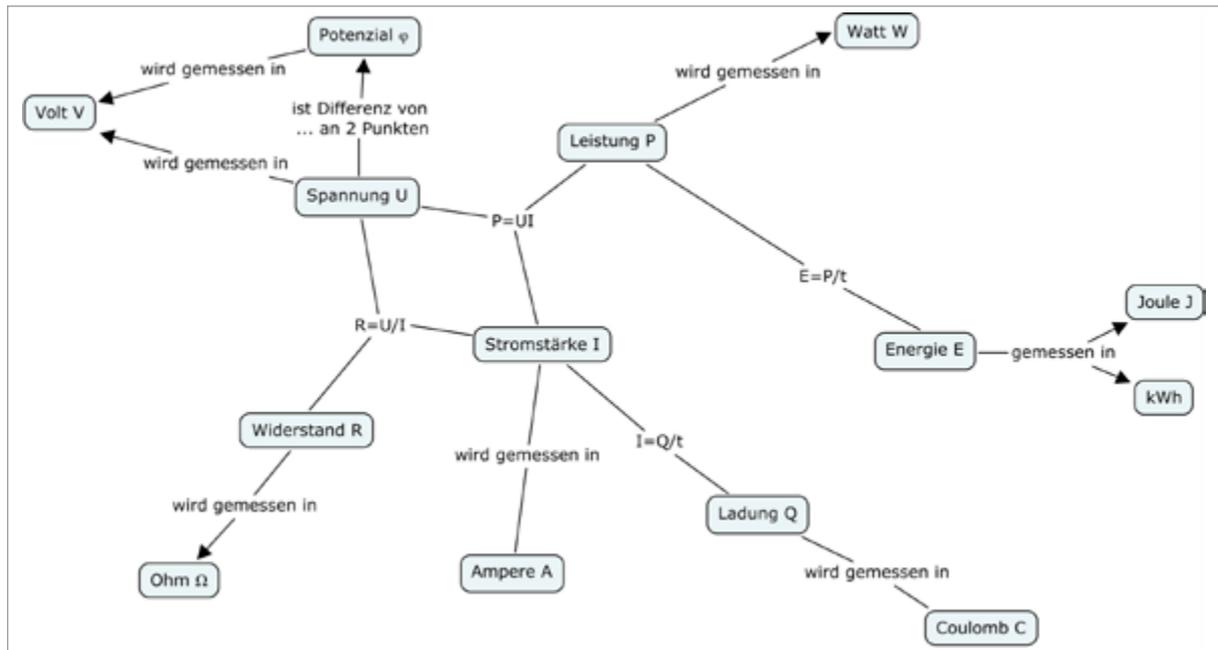
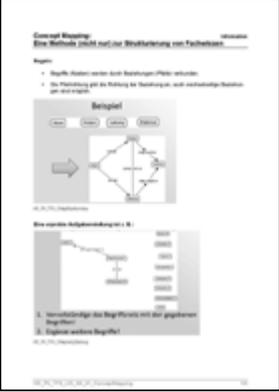


Abb. 21: Concept Map

<b>LE: Sammeln von Begriffen des vorangegangenen Unterrichts und Erstellen eines Begriffsnetzes</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... strukturieren Fachwissen und stellen Erklärungszusammenhänge her.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Damit elektrische Ladung strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). (E, SY)</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p> <p>Mittels gemessener physikalischer Größen (hier U, I, t) kann man die Energie indirekt bestimmen. (E)</p> <p>Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestromstärke beschrieben werden (der Begriff „Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Begriffsnetz (Concept Map) der Begriffe des Themas</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- In Einzelarbeit das Begriffsnetz zunächst mit wenigen zentralen Begriffen bilden lassen, dann weitere ergänzen.</p> <p>- Begriffsnetz teilweise vorgeben und ergänzen lassen</p> <p>- Methode: Think-Pair-Share</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>HR_Ph_TF9_UG_S6_01_ConceptMapping</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">  </div> <p>CmapTools (Freeware): <a href="http://cmap.ihmc.us/">http://cmap.ihmc.us/</a></p>	

Im Anschluss an die Zusammenfassung der im vorangegangenen Unterricht erarbeiteten und verknüpften Begriffe erfolgt ein **differenziertes Üben an verschiedenen Aufgaben**. Hierbei werden viele verschiedene und Aufgaben verschiedener Schwierigkeitsgrade verwendet. Schülerinnen und Schüler können sich auf dem eigenen Niveau durch Bearbeiten passender Aufgaben stabilisieren und danach schwierigere Aufgaben angehen. Für einige Lernende ist es wichtig, zunächst mehrere einfache Aufgaben zu lösen, andere benötigen grundsätzliche Übungen eventuell nicht mehr. Erfahrungsgemäß können die Schülerinnen und Schüler ihre Fähigkeiten in dieser Hinsicht selbst recht gut einschätzen. Lernenden, die sich durch die Auswahl sichtbar über- oder unterfordern, kann die Lehrkraft gezielt Aufgaben empfehlen. Eine einfache Möglichkeit der Durchführung besteht in einem Aufgabenblatt mit Aufgaben zunehmender Schwierigkeit, die etwa über Sternchenzahl entsprechend markiert sind. Um eine ausreichende Auseinandersetzung sicherzustellen, wird eine Mindestzahl an, durch erfolgreiche Bearbeitung „gesammelten“, Sternchen gefordert. Das Blatt sollte zu allen inhaltlichen Bereichen leichte und schwierigere Aufgaben beinhalten, damit jeder Lernende alles auf unterschiedlichem Niveau trainieren kann. Nach der Bearbeitung einer Aufgabe können die Lösungen am Pult eingesehen werden. Je nach Selbstständigkeit der Klasse muss der Lehrkraft zuvor gezeigt werden, dass die Aufgabe bearbeitet ist bzw. im Anschluss von der Lehrkraft die Sternchen eingeholt werden. So können die Schülerinnen und Schüler differenziert und weitgehend individuell üben, die Rolle der Lehrkraft beschränkt sich auf die eines Coachs für Nachfragen oder für die individuelle Beschäftigung mit Problemfällen.

Vor allem einfache Aufgaben können direkt aus dem Lehrbuch verwendet werden. Ein Beispiel ist das Arbeitsblatt in dem Onlinematerial (HR\_Ph\_TF9\_UG\_S6\_02\_DiffUeben).

Hat die Lerngruppe bereits Erfahrungen mit selbstständigem Üben (z. B. aus dem Fach Mathematik), ist eine Besprechung der einzelnen Aufgaben nicht nötig oder die Lösungen werden nur kurz präsentiert.

Auf die Übungsphase (etwa 2 Unterrichtsstunden) folgt eine (schriftliche) **Überprüfung** (z. B. HR\_Ph\_TF9\_UG\_S6\_03\_Test). Auch das Erstellen der Concept Map kann eine Teilaufgabe sein. Für die Bewertung der Concept Map hat es sich bewährt, für jede korrekte Verknüpfung und für jeden neuen Begriff einen Punkt zu geben, für jede falsche Verknüpfung bzw. Begriff einen halben Punkt abzuziehen.



Ein Bereich, in dem das Wissen über Elektrizität angewendet werden kann, ist sowohl im Lehrplan verankert als auch von allgemeiner Bedeutung: **Sicherheit im Umgang mit Elektrizität und die elektrische Installation im Haushalt**. An dieser Stelle geht die Behandlung über die reine Mitteilung von Verhaltensregeln hinaus und dient der Festigung des Verständnisses. Zudem wird hier ein Thema aus Themenfeld 6 – Spannung und Induktion aufgegriffen und zum Abschluss gebracht. Während dort die Versorgung elektrischer Geräte im Haushalt in den Blick genommen wurde, um Grundsätzliches zum Energietransport und zum Spannungsbegriff zu erarbeiten, kann hier ausgehend von der dreileitrigen Hausinstallation die Frage nach der Gefährdung durch elektrischen Strom gestellt und sinnvoll beantwortet werden.

Übliche Vorstellungen lauten z. B., dass es besonders gefährlich ist, ein Kabel anzufassen, durch das eine hohe Stromstärke fließt. Das ist so nicht korrekt. Entscheidend sind (was sich passend auf den Inhalt des Themenfelds bezieht) der Potenzialunterschied zwischen der berührten Stelle und dem Boden sowie der Widerstand des dann durchflossenen Körpers. Nicht die Stromstärke im berührten Leiter, sondern die durch den Menschen ist entscheidend für die Gefährdung. Aus dem Verständnis dieses Zusammenhangs soll eine bessere Gefährdungsbeurteilung im Alltag resultieren.

Der Unterricht kann konkret in zwei Phasen ablaufen:

- Zunächst wird an einem Modellexperiment die Schaltung im Haushalt (3 Leiter mit Erdung und Sicherung) verdeutlicht.
- Anschließend wird die Gefährdung durch Stromleitung durch den menschlichen Körper dargestellt.

Das **Modellexperiment zur Schaltung im Haushalt** kann prinzipiell durch andere Medien ersetzt werden. An einem Modellaufbau kann aber die vergleichsweise komplexe Schaltung schrittweise besser erläutert werden:

1. Der Grundaufbau greift auf den Transport von Energie vom Kraftwerk in den Haushalt zurück: eine Leitung am Kraftwerk ist geerdet, die Leitung mit hohem Potenzial wird per Fernleitung mit dem Haushalt verbunden. Der Prozess des Transformierens auf Hochspannung kann erwähnt werden, würde das Modell aber unnötig verkomplizieren. Am Hausanschluss (rechte Steckplatte) wird die Leitung auf hohem Potenzial zum Außenleiter (früher Phase genannt), dazu kommt der Neutralleiter (blau), der mit der Erde verbunden ist. Im Modell ist eine „Waschmaschine“ mit Metallgehäuse angeschlossen, die von einem Benutzer berührt wird (Strichmännchen mit Anschlüssen aus Krokodilklemmen und Lampe). Die „Erde“ auf Potenzial 0 V ist durch eine Metalleiste dargestellt (Abb. 22).

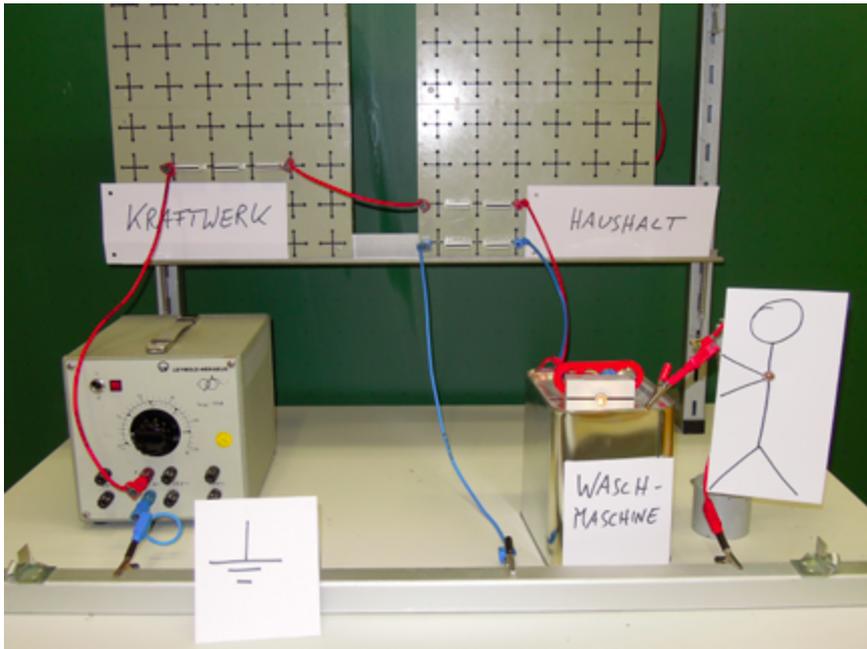


Abb. 22: Stromkreis im Haushalt ohne Schutzleiter

2. Wenn der Außenleiter des Stromkabels nun z. B. durch Aufscheuern beim Schleudern Kontakt mit dem Gehäuse bekommt, befindet sich dieses ebenfalls auf hohem Potenzial. Bei Berührung kann nun Strom durch den Benutzer fließen und diesen schädigen (erkennbar durch das Aufleuchten der Lampe im Strichmännchen (Abb. 23b).

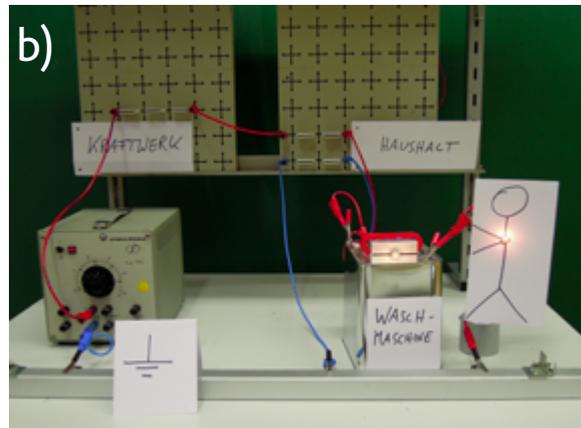
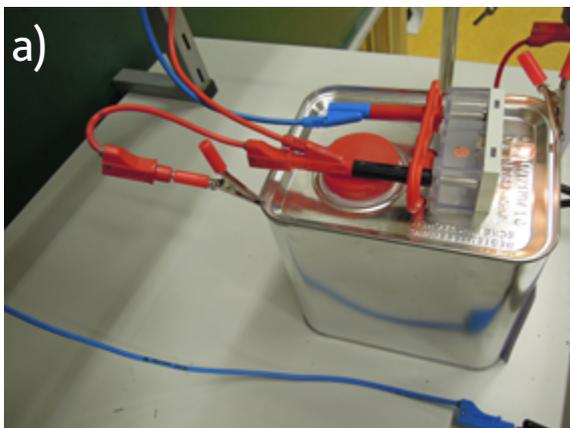


Abb. 23: „beschädigte“ Leitung und ihre Auswirkung

3. Durch das Erden des Metallgehäuses durch einen geerdeten Schutzleiter (gelbes Kabel) kommt eine weitere Leitung zum häuslichen Stromkabel hinzu, die eine direkte Ableitung des Stroms ermöglicht. Ausgeführt ist das in der Realität durch die seitlichen Laschen der „Schukostecker“ (Schutzkontaktstecker). Ein solcher wird mit ab- und aufgeschnittenem Kabel demonstriert, bei dem die drei Leitungen sichtbar sind (Abb. 24b).

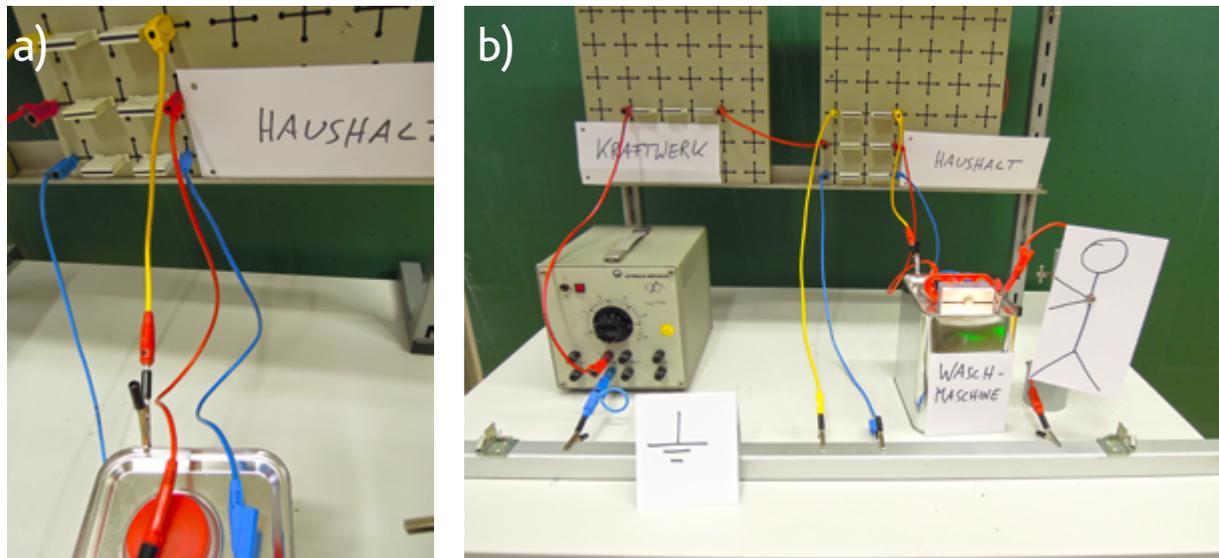


Abb. 24: Schutzleiter und dessen Auswirkung

4. Damit bei den zu erwartenden hohen Stromstärken bei einem Gehäusekontakt kein Kabelbrand an irgendeiner Stelle der Installation entsteht, wird eine Sicherung in den Außenleiter eingebaut und deren Funktion demonstriert. Der Einfachheit halber wird eine Schmelzsicherung demonstriert. Die Funktion eines heute üblichen „Leitungsschutzschalters“ (magnetisch bzw. per Bimetall) kann im Anschluss erläutert werden (Abb. 25).

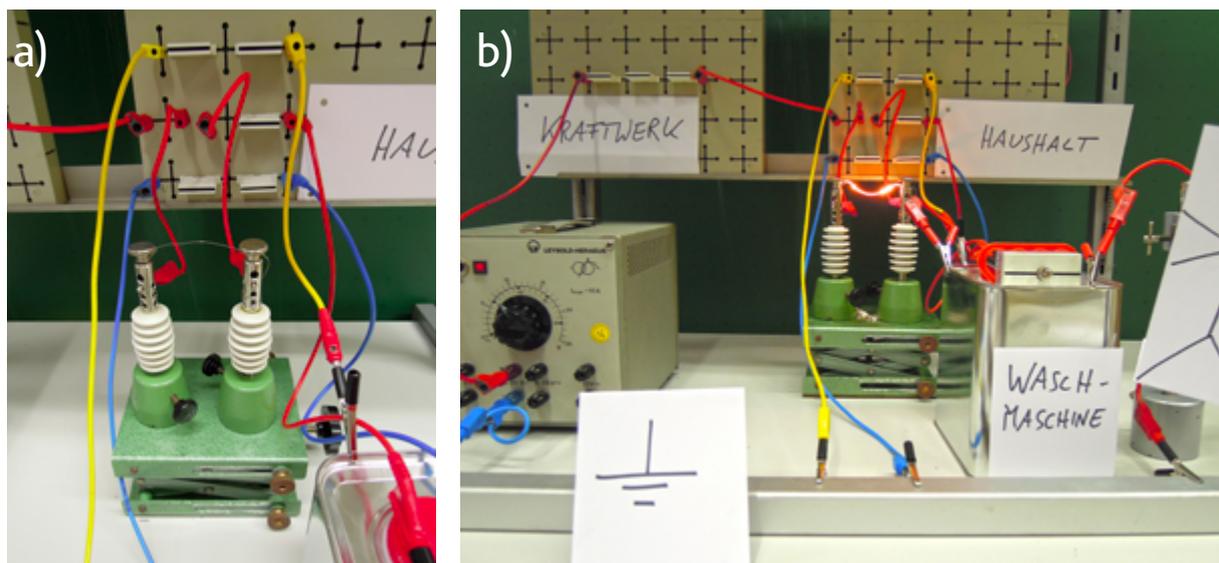


Abb. 25: Schmelzsicherung und Auswirkung

Statt des Modellexperiments kann auch eine Animation eingesetzt werden, wie sie z. B. auf leifiphysik zu finden ist (<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/elektrische-grundgroessen/lb/stromsicherheit-schuko-system-animation?back-button>).

Als Sicherung dient eine Abbildung der elektrischen Installation im Haushalt ohne Beschriftung (z. B. HR\_Ph\_TF9\_UG\_S6\_04\_Installation). Die damit verbundene Aufgabe ist das korrekte Beschriften und das Erklären der Funktion einzelner Elemente, z. B.:

- Schutzleiter: zum Erden des Gehäuses, so dass Strom bei Berührung nicht über den Körper abfließt
- Sicherung: zum Unterbrechen des Stroms bei zu hohen Stromstärken (z. B. bei Kurzschluss)
- Außenleiter: Kabel auf hohem Potenzial (im Haushalt 230 V Wechselspannung)
- Neutraleiter: Kabel auf 0 V, ist am Hausanschluss geerdet

Die **Gefährdung durch Stromleitung durch den menschlichen Körper** kann in leistungsstärkeren Gruppen von der Betrachtung eines Strom-Zeit-Diagramms ausgehen, wie es sich in einigen Physikbüchern befindet. Zunächst wird das Diagramm gedeutet, das den Zusammenhang zwischen Dauer des durch den Körper fließenden Stroms, der Stromstärke und den zu erwartenden Schäden darstellt. Dann kann die sich anschließende Frage geklärt werden, von welchen Faktoren die Stromstärke durch den Körper abhängt. Das wiederum führt auf die Frage nach Potenzialdifferenz zwischen berührter Stelle und dem Widerstand des Körpers. Ob letzterer mitgeteilt wird oder mit einem geeigneten Messgerät bestimmt wird, ist eine didaktische Entscheidung, die vor allem von der Klasse und deren Verantwortungsbewusstsein abhängt. Im Anschluss kann an einem Modellaufbau der Körper als Widerstand modelliert und die Abhängigkeit des Körperwiderstands von weiteren Einflüssen (Schuhwerk, Hautfeuchtigkeit etc.) verdeutlicht werden (Abb. 26).

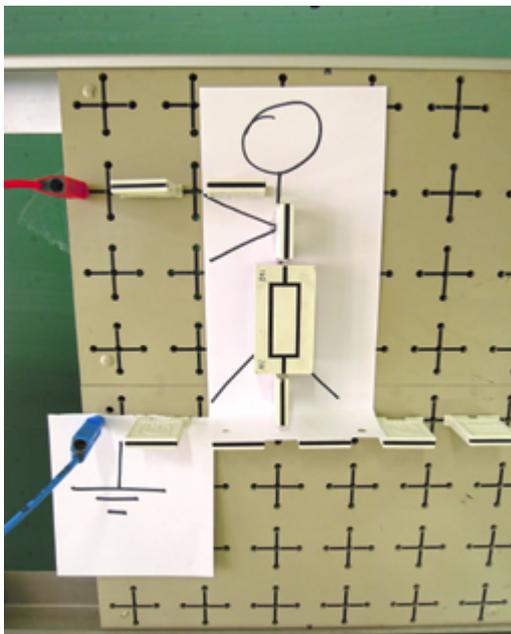


Abb. 26: Widerstand Mensch

In diesem Zusammenhang und mit dem nun vorhandenen Fachwissen können auch die Sicherheitsmaßnahmen zum Umgang mit Elektrizität im Unterricht genauer betrachtet bzw. begründet werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Wirkbereiche des elektrischen Stroms. Bereich 1 kennzeichnet die Wirkung unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle A. Bereich 2 kennzeichnet den Bereich, innerhalb dessen es zu keiner Schädigung kommt. B bezeichnet die Loslassschwelle. Oberhalb dieser führt der elektrische Strom zu Muskelverkrampfungen, sodass bei Berührung nicht losgelassen werden kann. Bereits in Bereich 3 kann es aufgrund der Muskelverkrampfung bereits zu Herzkammerflimmern kommen. Bereich 4 liegt jenseits der Flimmergrenze D. In diesem Wirkbereich kommt es zu Herzkammerflimmern. Eine tödliche Wirkung ist hier wahrscheinlich. Linie C zeigt die Auslösekennlinie eines FI-Schalters (Abb. 27).

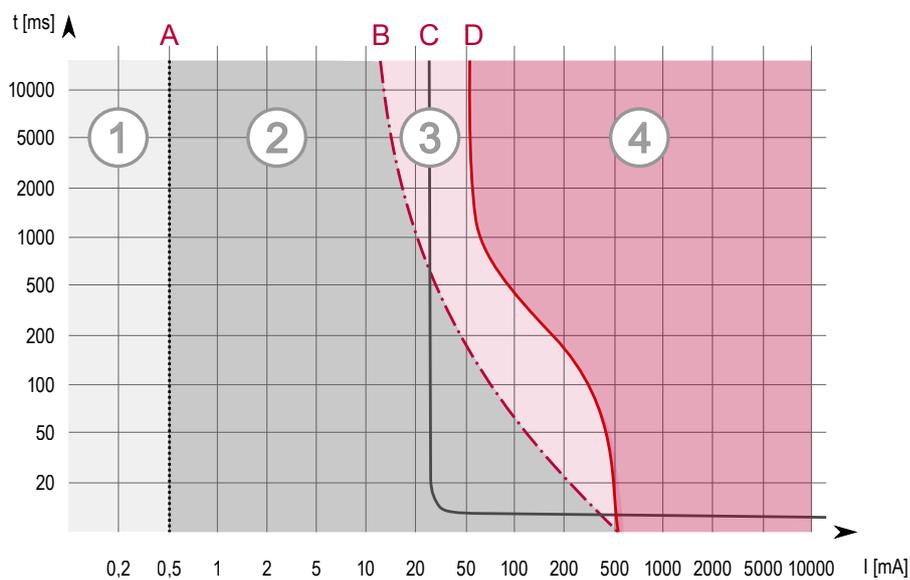
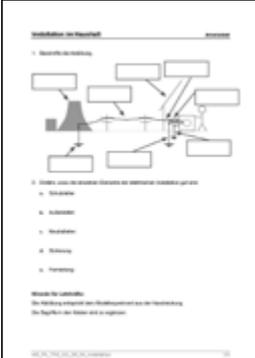


Abb. 27: Wirkungsbereiche des elektrischen Stroms

<b>LE: Anwendung: elektrische Installation und Sicherheit im Haushalt</b>	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... beurteilen Gefahren und Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit elektrischem Strom.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>Damit elektrische Ladung strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). (E, SY)</p> <p>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden. Die elektrische Stromstärke ist abhängig vom elektrischen Widerstand. (SY)</p> <p>Mittels gemessener physikalischer Größen (hier U, I, t) kann man die Energie indirekt bestimmen. (E)</p> <p>Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestromstärke beschrieben werden (der Begriff „Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuordnung von Begriffen der elektrischen Installation</li> <li>- Erläuterungen zur Funktion einzelner Elemente der Installation</li> <li>- Erklärungen zum I-t-Diagramm</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorgabe von Begriffen zur Installation auf AB</li> <li>- I-t-Diagramm nur zur Auswahl, alternativ andere Aufgaben zum Thema</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <p>Das Diagramm zeigt die Grundstruktur einer elektrischen Installation im Haushalt. Es ist in drei Hauptbereiche unterteilt: 1. Hauptverteiler (links), 2. Unterverteiler (Mitte) und 3. Endverbraucher (rechts). Die Hauptverteiler sind weiter unterteilt in: a. Neutralleiter, b. Schutzleiter, c. Schutzleiter, d. Schutzleiter, e. Schutzleiter. Die Unterverteiler sind unterteilt in: f. Schutzleiter, g. Schutzleiter, h. Schutzleiter, i. Schutzleiter. Die Endverbraucher sind unterteilt in: j. Schutzleiter, k. Schutzleiter, l. Schutzleiter, m. Schutzleiter. Die Diagramm zeigt die Verdrahtung zwischen diesen Elementen.</p> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 10px;"> <p>HR_Ph_TF9_UG_S6_04_Installation</p> <p><a href="http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetismus/ausblick/automatische-sicherung">http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetismus/ausblick/automatische-sicherung</a></p> <p><a href="http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/#lightbox=/themenbereiche/elektrische-grundgroessen/lb/schuko-system">http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/#lightbox=/themenbereiche/elektrische-grundgroessen/lb/schuko-system</a> (mit Animationen)</p> <p><a href="http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/ausblick#lightbox=/themenbereiche/elektrische-grundgroessen/lb/stromsicherheit-allgemeines">http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektrische-grundgroessen/ausblick#lightbox=/themenbereiche/elektrische-grundgroessen/lb/stromsicherheit-allgemeines</a></p> <p><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Au%C3%9Fenleiter">https://de.wikipedia.org/wiki/Au%C3%9Fenleiter</a></p> <p><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Neutralleiter">https://de.wikipedia.org/wiki/Neutralleiter</a></p> <p><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Schutzleiter">https://de.wikipedia.org/wiki/Schutzleiter</a></p> <p><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Leitungsschutzschalter">https://de.wikipedia.org/wiki/Leitungsschutzschalter</a></p> </div> </div>	

# LITERATURVERZEICHNIS

Sofern in der Bildunterschrift nicht anders deklariert, liegen die Urheberrechte beim Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz oder bei den mitwirkenden Autorinnen und Autoren selbst.

Duit, R.; Jung, W.; v. Rhöneck, Ch. (1985). Aspects of understanding electricity. Schmidt & Klaunig. Kiel.

Hopf, M. (2012). Vorsicht Spannung – Verständnisprobleme in der Elektrizitätslehre. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 5/61. Juli 2012. S. 4.

Pohlig, M. (2012): Die Richtung von Strömen und dessen, was strömt. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 1/61, Januar 2012. S. 7-8.

Schwarze, H. (2003): Strom und Spannung verstehen? In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 7/52 Oktober 2003. S. 1.

# AUTORINNEN UND AUTOREN

## **Norbert Ames**

Staatliches Eifel-Gymnasium, Neuerburg

## **Birgit Becher**

Realschule plus Kirchheimbolanden, Kirchheimbolanden

## **Esther Braun**

Integrierte Gesamtschule Nieder-Olm, Nieder-Olm

## **Martin Buchhold**

Kurfürst-Balduin-Gymnasium, Münstermaifeld

## **Andrea Bürgin**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Silvia Casado-Schneider**

Realschule plus Mainz-Lerchenberg, Mainz

## **Katharina Franke**

Gymnasium Nackenheim, Nackenheim

**Wolfgang Heuper**

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien, Koblenz

**Benjamin Hinkeldey**

Gymnasium Mainz-Oberstadt, Mainz

**Tobias Jung**

Gymnasium Nieder-Olm, Nieder-Olm

**Cordula Mauch**

Peter-Joerres-Gymnasium, Ahrweiler

**Markus Monnerjahn**

Gutenberg-Gymnasium, Mainz

**Christa Müller**

Integrierte Gesamtschule Ludwigshafen-Gartenstadt, Ludwigshafen

**Monika Nikolaus**

Sickingen-Gymnasium, Landstuhl

**Lutz Rosenhagen**

Integrierte Gesamtschule Ernst Bloch, Ludwigshafen

**Nicole Seyler**

Realschule plus Lauterecken-Wolfstein, Lauterecken

**Beate Tölle**

Bischöfliches Angela-Merici-Gymnasium, Trier

**Dr. Anke Winkler-Virnau**

Lina-Hilger-Gymnasium, Bad Kreuznach





Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES  
LANDESINSTITUT

Pädagogisches Landesinstitut  
Butenschönstr. 2  
67346 Speyer

[pl@pl.rlp.de](mailto:pl@pl.rlp.de)  
[www.pl.rlp.de](http://www.pl.rlp.de)