

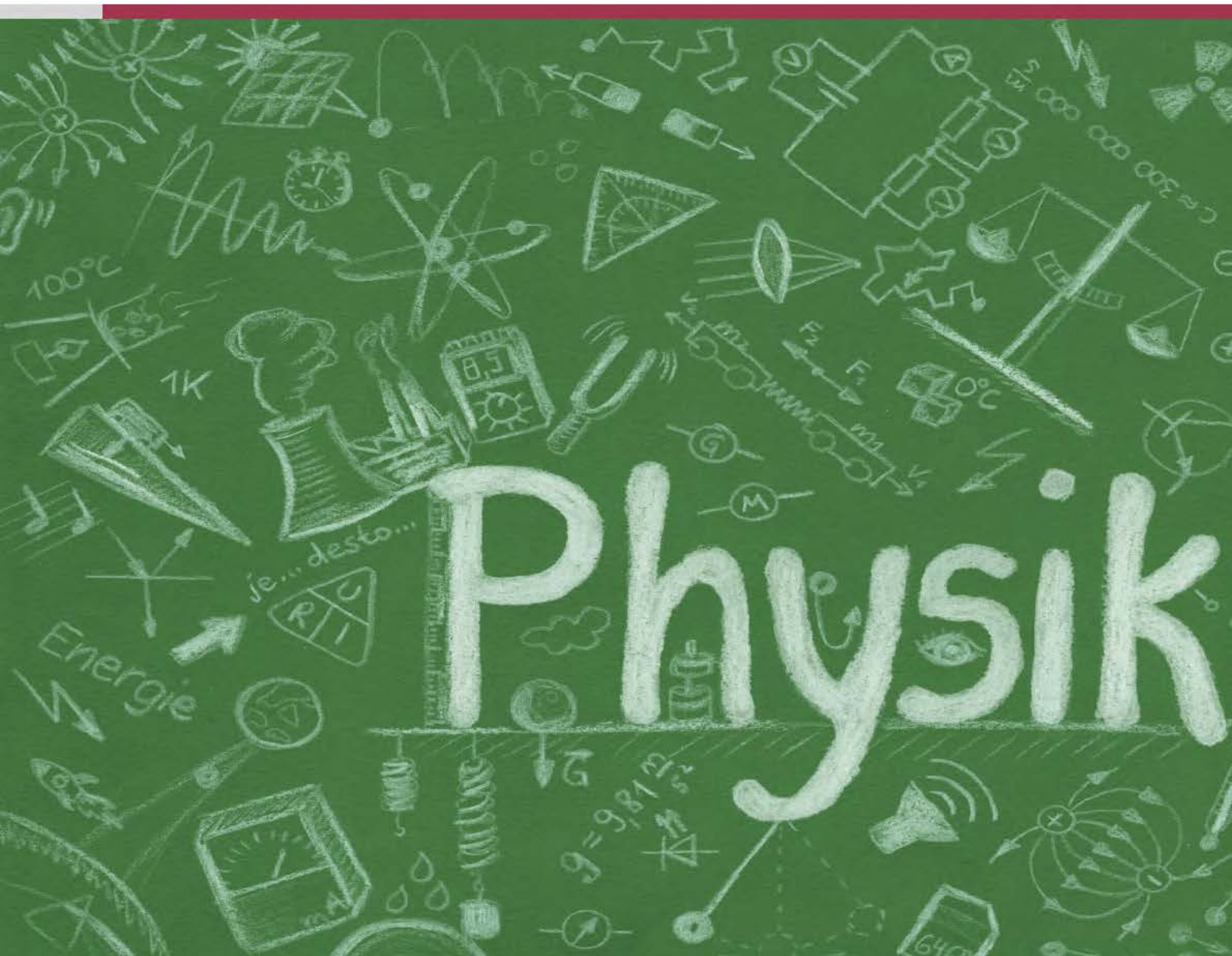


Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

SPANNUNG UND INDUKTION – ELEKTRIZITÄT IM BASISKONZEPT ENERGIE

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Physik – Themenfeld 6



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:

<http://bildung-rp.de/pl/publikationen.html>

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

IMPRESSUM

Herausgeber:

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz
Standort Bad Kreuznach
Röntgenstraße 32
55543 Bad Kreuznach
pl@pl.rlp.de

Redaktion:

Benjamin Hinkeldey, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Skriptbearbeitung:

Claudia Kloos, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Titelbild:

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Dezember 2015

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2015

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

1	Themenfeld 6: Spannung und Induktion – Elektrizität im Basiskonzept Energie	3
1.1	Überblick über das sechste 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 Themenfeldes durch Kontextorientierung	8
1.3.5	Differenzierungsmöglichkeiten	8
1.3.6	Bezüge	9
1.4	Entwicklung von Basiskonzepten im sechsten Themenfeld	11
1.5	Entwicklung von Kompetenzen im sechsten Themenfeld	13
1.6	Didaktische Anmerkungen	16
1.6.1	Energieformen und Energieträger	16
1.6.2	Sprechen über Energie im sechsten Themenfeld	21
1.6.3	Potenzialbegriff und Modellbetrachtungen	24
2	Unterrichtsbeispiele	34
2.1	Vorüberlegungen	34
2.2	Übersicht über den Unterrichtsgang	36
	Literaturverzeichnis	53
	Autorinnen und Autoren	54

1 THEMENFELD 6: SPANNUNG UND INDUKTION – ELEKTRIZITÄT IM BASISKONZEPT ENERGIE

1.1 Überblick über das sechste 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-Unterrichtes **Kompetenzen**, **Basiskonzepte** und **Kontexte** bilden auch die Stützpfiler des Physik-Lehrplans und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Die Elektrizitätslehre war als traditionelles Sachgebiet der Physik schon bisher in allen Schularten verpflichtendes Unterrichtsthema der Mittelstufe und ist im neuen Lehrplan in zwei Themenfeldern fest verankert (Themenfelder 6 und 9). Möglichkeiten zur weiteren Vertiefung von Inhalten der Elektrizitätslehre und Elektronik bieten sich in den Themenfeldern 10, 11 und 12.

Um 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 schwerfällt¹, werden diese beiden Begriffe zeitlich getrennt in zwei verschiedenen Themenfeldern eingeführt. Das Themenfeld 6 legt den Schwerpunkt auf die Betrachtung des Energie-transportes mit Hilfe von Elektrizität. Die elektrische Spannung (Potentialdifferenz) kann dabei z. B. in Analogie zu Höhen- und Druckdifferenz eingeführt werden (siehe hierzu Kapitel 1.6.3). Im Unterricht zu Themenfeld 9 werden die Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis betrachtet und in diesem Zusammenhang die elektrische Stromstärke eingeführt.

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 der Handreichung vorgestellten Materialien (z. B. Arbeitsblätter) nicht 1:1 abgedruckt. Einen ersten Eindruck bieten die Vorlagen in stark verkleinerter Form. Alle vorgestellten Materialien stehen in editierbarer Form zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter:

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

1 Siehe Duit, R.; W. Jung, Ch. v. Rhöneck (1985): Aspects of understanding electricity; Kiel

1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

TF 6: Spannung und Induktion Elektrizität im Basiskonzept Energie

Die Nutzung der Elektrizität zur Energieübertragung ist aus dem Alltag nicht mehr wegzu-denken. Im täglichen Sprachgebrauch wird dabei das Wort „Strom“ eher im Sinne von „Energie“ oder „Energiestrom“ verwendet. Aus ersten Untersuchungen an elektrischen Ge-räten im NaWi-Unterricht folgerten die Schülerinnen und Schüler bereits, dass zum elektri-schen Energietransport ein geschlossener Stromkreis notwendig ist.

Eine vergleichende Betrachtung von Kraftwerken zeigt, dass der Generator ein wiederkeh-render zentraler Bestandteil ist. Er erzeugt – wie eine „Pumpe“ – die für das Strömen von Elektrizität nötige Spannung (als Potenzialunterschied). Bei der Veranschaulichung helfen einfache Modelle und Analogien (z. B. Wasserstromkreis, Höhenanalogie). Quantitative Betrachtungen beschränken sich hier auf den Zusammenhang von Leistung, Zeit und Energie sowie das Messen von Spannungen. Die quantitative Betrachtung der elektrischen Stromstärke erfolgt in TF 9 in anderem Zusammenhang, um einer Verwechslung der Begrif-fe Stromstärke und Spannung entgegen zu wirken.

Kompetenzen:

Die Schülerinnen und Schüler

- vergleichen und bewerten Methoden zur Bereitstellung elektrischer Energie,
- nutzen den Zusammenhang $\Delta E = P \cdot \Delta t$ für Berechnungen im Zusammenhang mit Ener-gienutzung im Haushalt,
- führen einfache Messungen bzw. Experimente (z. B. Maschenregel, Induktion) durch.
- erarbeiten sich mit Hilfe geeigneter Quellen Aufbau und Funktion technischer Geräte (z. B. Kraftwerk, Generator),
- erklären das Funktionsprinzip eines Generators mit Hilfe der Induktion.

Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:

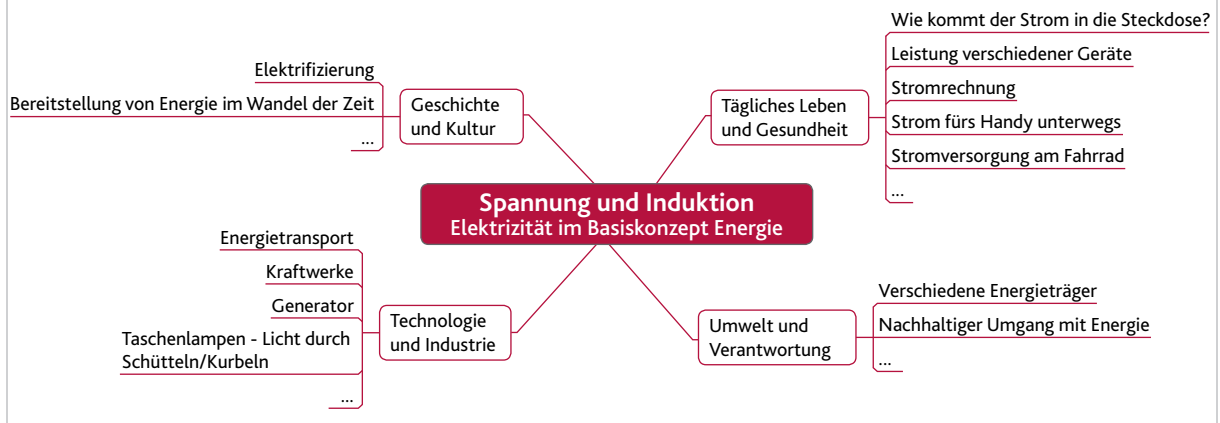
- Zur kontinuierlichen elektrischen Energieübertragung ist ein ge-schlossener Stromkreis notwendig, in dem die Energie von der Elektrizitätspumpe (z. B. Generator, Batterie, Solarzelle) zum elektrischen Gerät strömt. (SY)
- Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). Die Energie strömt von alleine nur in Rich-tung des niedrigeren Wertes (hier des Potentials). (E, SY)
- Die pro Zeiteinheit transportierte Energie kann als Energiestrom-stärke beschrieben werden („Leistung“ beschreibt hier die Stärke des Energiestroms an elektrischen Geräten). (E)
- Bei der Nutzung von Energie wird meistens der Träger gewechselt (z. B. Generator, Solarzelle, Elektromotor). (E)
- Der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen trägt zur Nach-haltigkeit bei. (E)
- Die Induktion beruht auf der Wechselwirkung von sich verändern-den magnetischen und elektrischen Feldern. (WW)
- Die Darstellung der räumlichen Struktur der Felder (z. B. mit Feld-linien) gibt Auskunft über Richtung und Stärke einer WW. (WW)

Fachbegriffe:

Spannung, Lei-stung, elektrischer Strom (hier nur qualitativ), Ener-gie,

Induktion, magne-tisches Feld, Wechselwirkung

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:



Differenzierungsmöglichkeiten:

Für ein Grundverständnis des physikalischen Konzepts reicht es aus, Generator und elektrisches Gerät als Energie-„Umlader“ zu erkennen. Elektrizität dient als Träger der Energie, die zwischen ihnen transportiert wird. Dabei kann der Generator als Elektrizitäts-„Pumpe“, die einen Potenzialunterschied zum Antrieb erzeugt, angesehen werden (vgl. Druckunterschied, Höhenunterschied für das Strömen von Wasser). Induktion wird als physikalische Ursache des Generatorprinzips verstanden: Bewegte Magnetfelder verursachen eine elektrische Spannung zwischen den Enden einer Spule.

Eine vertiefte Behandlung kann durch experimentelles und mathematisches Nachvollziehen der Maschenregel ebenso erfolgen wie durch selbst geplante Experimente zur Abhängigkeit der induzierten Spannung von verschiedenen Parametern (Windungszahl, Umdrehungszahl eines drehenden Magneten). Der zeitliche Verlauf der induzierten Spannung kann dargestellt werden, und es besteht die Möglichkeit, die Induktionsspannung als Folge einer Kraft auf die Ladungsträger zu beschreiben.

Bezüge:

<p>NaWi TF 6 elektrischer Stromkreis</p>	<p>Biologie TF 4 Pflanzen als Energieträger TF 12 Entwicklung der Menschheit/Energie</p>
<p>Chemie TF 3 Energie aus chemischen Reaktionen TF 11 Energieversorgung TF 12 Energieversorgung, Spannung</p>	<p>Physik TF 9 Gesetzmäßigkeiten im Stromkreis TF 8 Energie, Wärmepumpe</p>

Abb. 1: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 110/111

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** „Spannung und Induktion – Elektrizität im Basiskonzept Energie“ liefert eine fachsystematische Einordnung des Themenfeldes (Elektrizitätslehre, Einführung des Begriffs Spannung) und gibt Aufschluss darüber, welches Basiskonzept schwerpunktmäßig entwickelt werden soll (Energie). Das Konzept Energie wurde erstmals in Themenfeld 4 angelegt und wird nun unter dem Aspekt des Transportes und der Nutzung von Energie, insbesondere auf dem Träger Elektrizität, erweitert.

1.3.1 Intention

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

Der zentrale Aspekt dieses Themenfeldes ist die Entwicklung von Vorstellungen zum Energietransport und zur Energienutzung, insbesondere im Zusammenhang mit der Elektrizität. Dazu wird die Nutzung von Energie im Alltag thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler nutzen die aus dem Alltag bekannten Einheiten J und kWh für die Energie(menge) und lernen den Zusammenhang von P (Leistung, Energiestromstärke), E (Energie) und t (Zeit) kennen. In diesem Zusammenhang sollte auch die in der Alltagssprache häufig unklare Benutzung des Wortes „Strom“ bewusst gemacht werden (siehe Kapitel 1.6.2). Durch die symbolische Darstellung der Energietransportketten (eine Druckvorlage findet sich im Onlineangebot; siehe hierzu auch Kapitel 1.6.2) wird die Vorstellung von Energie als Erhaltungsgröße sowie die Beschreibung der Vorgänge im Energieträgerkonzept unterstützt.

Als Voraussetzung für das Strömen von Elektrizität und den damit verbundenen Energietransport wird die Potenzialdifferenz (Spannung) eingeführt. Dabei können z. B. Analogien zum Energietransport mit Wasser genutzt werden (siehe S. 25ff).

Der in den meisten Kraftwerken zu findende Generator bietet den Anlass, das Prinzip der elektromagnetischen Induktion zu thematisieren.

In der didaktischen Literatur wird vielfach die Vermischung der Vorstellungen und Begriffe von Spannung und Stromstärke beschrieben. Die Trennung der Einführung der Begriffe Spannung und Stromstärke ist deswegen eine bewusste didaktische Setzung des Lehrplans.

Um eine klare Trennung der Begriffe zu erreichen, soll auf die elektrische Stromstärke als physikalische Größe in Themenfeld 6 noch bewusst verzichtet werden. Weder $U=R \cdot I$ noch $P=U \cdot I$ sind für die Bearbeitung des Themenfelds 6 notwendig. Diese Zusammenhänge, sowie die elektrische Stromstärke und der elektrische Widerstand werden an späterer Stelle, in Themenfeld 9, behandelt.

1.3.2 Kompetenzen

Die hier aufgeführten konkreten Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler sind im Rahmen des Themenfeldes **verbindlich** zu ermöglichen und tragen zur Kompetenzentwicklung bei. In Themenfeld 6 werden Beiträge zur Weiterentwicklung in allen vier Kompetenzbereichen „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“, „Bewertung“ und „Umgang mit Fachwissen“ geleistet.

Die Schülerinnen und Schüler können in Themenfeld 6 ihre Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung weiterentwickeln, indem sie einfache Messungen bzw. Experimente zur Bestimmung von Potenzialdifferenzen oder zur Induktion durchführen. Die Kompetenzentwicklung im Bereich Kommunikation wird vorangebracht, wenn sie sich mit Hilfe geeigneter Quellen Aufbau und Funktion technischer Geräte erarbeiten. Das Vergleichen und Bewerten von Methoden zur Bereitstellung von Energie fördert die Bewertungskompetenz. Der Umgang mit Fachwissen wird sowohl bei Berechnungen im Zusammenhang mit der Energienutzung im Haushalt als auch beim Erklären des Funktionsprinzips eines Generators gefördert.

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 6 zielt schwerpunktmäßig auf die Entwicklung des Basiskonzeptes Energie. Dabei stehen vor allem der Transport und die Nutzung von Energie auf dem Träger Elektrizität im Mittelpunkt der Betrachtung. Zudem werden Beiträge zur Weiterentwicklung der Basiskonzepte System und Wechselwirkung geleistet (siehe hierzu Kapitel 1.4 und 1.6).

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 Themenfeldes 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 erste Themenfeld zur Elektrizitätslehre 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 dem Wahlpflichtfach,
- 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 beschreibt das angestrebte Grundverständnis. Es werden einfache Beispiele geschildert, an denen diese grundlegenden Erkenntnisse gewonnen werden können.

Dazu gehören:

- Der Generator und andere elektrische Geräte können als Energie-„Umlader“ angesehen werden.
- Energie wird von der Elektrizität im Stromkreis transportiert.
- Der Generator dient als Elektrizitäts-„Pumpe“, die einen Potenzialunterschied zum Antrieb der Elektrizität erzeugt.
- Der Potenzialunterschied im elektrischen Stromkreis kann analog zum Druckunterschied bzw. Höhenunterschied in Wasserstromkreisen verstanden werden.

Der zweite Absatz zeigt zum einen Möglichkeiten zur Vertiefung auf und lenkt zum anderen den Blick auf didaktische Alternativen:

- Behandlung der Maschenregel (z. B. in weiterverzweigten Stromkreisen),
- Planung und Durchführung weiterführender Experimente zur Abhängigkeit der Induktionsspannung von verschiedenen Parametern (Windungszahl, Umdrehungszahl),
- Darstellung des zeitlichen Verlaufs der induzierten Spannung,
- Beschreibung der Induktionsspannung als Folge der Kraftwirkung auf Ladungen im magnetischen Feld.

Zusätzliche Möglichkeiten zur Differenzierung bietet eine geschickte Kontextwahl zur Erschließung des Themenfeldes. Der gezielte Einsatz von Hilfen und methodischen Maßnahmen unterstützt es, die Kompetenzen den Lernenden angepasst zu entwickeln. Weitere Differenzierung wird möglich durch die Tiefe der Mathematisierung, die Einbindung von Graphen, die Selbstständigkeit und den Grad der Auswertung eines Experimentes usw.

Besonders bei vertiefenden Betrachtungen ist jedoch darauf zu achten, dass eine Überfrachtung des Unterrichts und eine Überforderung der Lernenden vermieden werden.

Die Begriffe Energie und Leistung stellen aufgrund ihrer Nähe zueinander gerade für leistungsschwächere Lerngruppen eine Schwierigkeit dar. Diesem Umstand kann auf verschiedene Weisen begegnet werden. Im Rahmen dieser Handreichung werden daher auch explizit differenzierte Arbeitsblätter angeboten, auf die ggf. zurückgegriffen oder bewusst verzichtet werden kann.

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 6 des Physiklehrplans inhaltliche Verbindungen zum Themenfeld 6 des NaWi-Lehrplans, zu den Themenfeldern 3, 11 und 12 des Chemielehrplans, zu den Themenfeldern 4 und 12 des Biologielehrplans und zu den Themenfeldern 8 und 9 des vorliegenden Physiklehrplans aufweist.

Im NaWi-Unterricht der Orientierungsstufe lernten die Schülerinnen und Schüler im Zusammenhang mit dem Vergleich von Bewegungen im Rahmen des Themenfeldes „Geräte und Maschinen im Alltag“ den elektrischen Stromkreis kennen. Sie erfuhren auch, dass auf diese Weise Energie transportiert werden kann. Im Unterricht der Mittelstufe können diese Vorkenntnisse aufgegriffen werden. Dabei ist zu beachten, dass im Lehrplan der Orientierungsstufe noch der Begriff „Energieumwandlung“ benutzt wird und die Schüler daher möglicherweise diesen Begriff verwenden (siehe auch 1.6.1).

In der Chemie wird in den genannten Themenfeldern zum einen der energetische Aspekt chemischer Reaktionen, zum anderen die Rolle der Chemie in der Energieversorgung betrachtet. In TF 8 der Biologie werden Pflanzen als Energieträger thematisiert, im TF 12 die Rolle der Energie für die Entwicklung der Menschheit. Im TF 8 der Physik werden thermische Energietransporte betrachtet, und im TF 9 steht der System-Aspekt des elektrischen Stromkreises im Mittelpunkt. Unter Umständen ist außerdem bereits im Unterricht zu TF 4 das Magnetfeld im Zusammenhang mit berührungsloser Wechselwirkung eingeführt worden.

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

1.4 Entwicklung von Basiskonzepten im sechsten Themenfeld

Der Physiklehrplan 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 unten stehenden Grafik ist erkennbar, dass die Basiskonzepte kontinuierlich weiter entwickelt 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 Themenfeldes liegt in erster Linie auf einer Weiterentwicklung des Basiskonzepts **Energie**. Dazu leisten verschiedene Erkenntnisse und Beobachtungen aus dem Unterricht einen Beitrag. So erfahren die Lernenden, dass die Energie im Alltag in zwei unterschiedlichen Einheiten (J und kWh) gemessen wird. Über die Betrachtung des Zusammenhangs von Zeit, Energie und Energiestromstärke (Leistung) kann ein Verständnis für den richtigen Umgang mit den zugehörigen Größen gewonnen werden. Die Auseinandersetzung mit dem Transport und den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Energie im Zusammenhang mit einer entsprechenden Symbolisierung im Energie-Träger-Konzept kann das Verständnis von Energie als universeller, abstrakter Erhaltungsgröße fördern.

Bei der Betrachtung der Bedingungen für einen Energietransport auf dem Träger Elektrizität werden mit dem elektrischen Stromkreis sowie der als „Antrieb“ nötigen Spannung Elemente des Basiskonzepts **System** angesprochen.

Die Auseinandersetzung mit der Erzeugung einer Spannung durch Induktion im Generator trägt zur Weiterentwicklung des Basiskonzeptes **Wechselwirkung** bei.

Die folgende Darstellung zeigt noch einmal auf, wie verschiedene Basiskonzepte zur Erklärung der Beobachtung elektrischer Phänomene und zur Beantwortung vieler damit zusammenhängender Fragen beitragen.

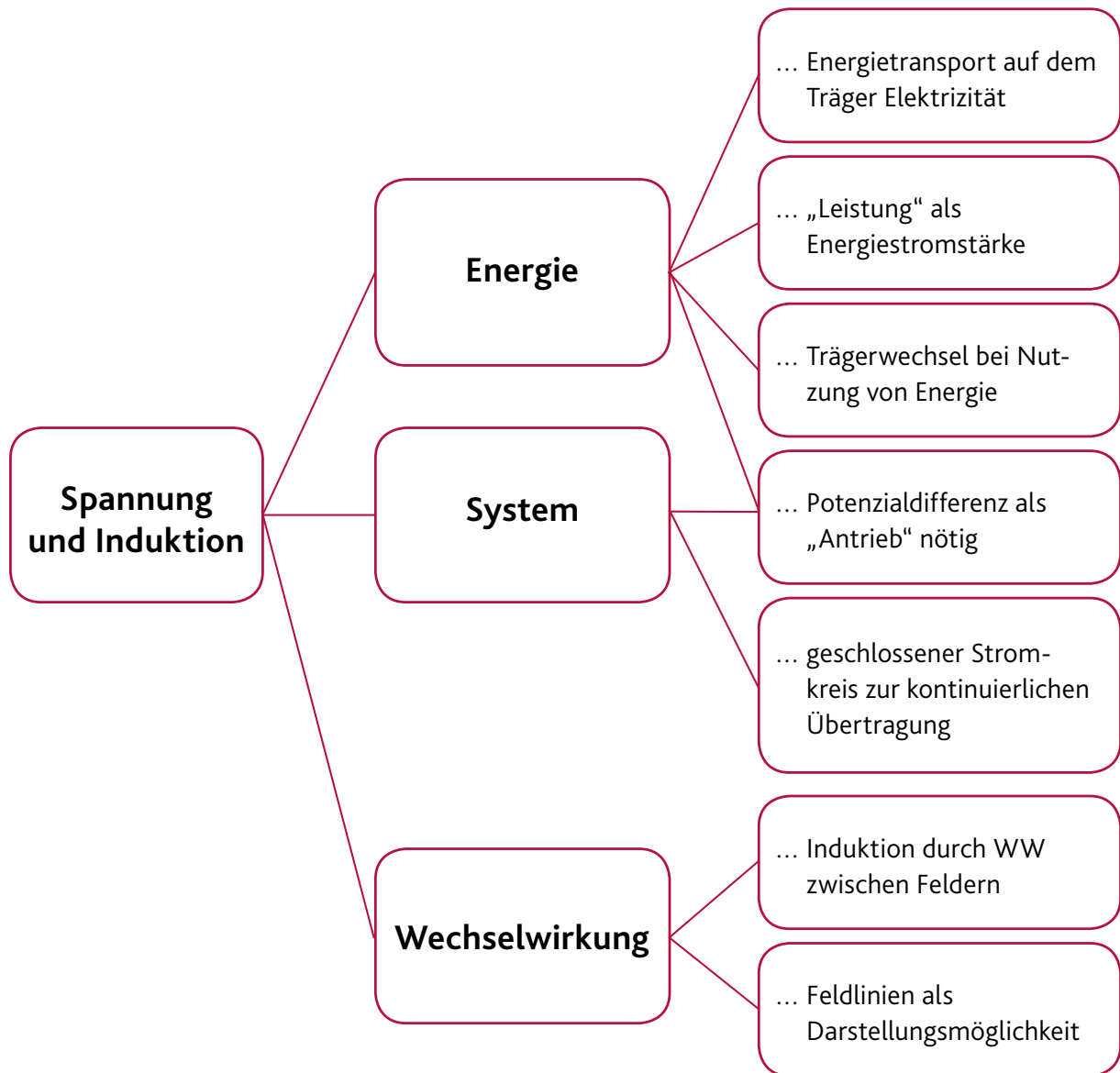


Abb. 3: Spannung und Induktion – Basiskonzepte

1.5 Entwicklung von Kompetenzen im sechsten Themenfeld

Der Physikunterricht in TF 6 kann auf angelegte Kompetenzen aus NaWi, vorangegangenen Themenfeldern in Physik, aber auch Biologie und Chemie zurückgreifen, da allen Plänen ein gemeinsames Kompetenzmodell zu Grunde liegt. Die folgende Übersicht zeigt die Schwerpunktkompetenzen in Themenfeld 6 aus den Bereichen Umgang mit Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung im Gesamtbild mit den anderen Physik-Themenfeldern, in denen diese Kompetenzen angelegt wurden bzw. erneut benötigt und gefestigt werden. Diese Kompetenzen bilden sowohl eine Grundlage für die weitere Schul- oder Ausbildung als auch für das Berufsleben.

Die Schülerinnen und Schüler können...		TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	TF 5	TF 6	TF 7
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen			■			■	
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.		■			■			
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.	Erkenntnisgewinnung		■	■	■		■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.		■	■	■	■			
... modellieren.	Kommunikation		■	■		■		
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.								■
... Informationen sachgerecht entnehmen.	Bewertung					■		
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■	■		■			■
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.							■	■
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.							■	■
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.		■				■		
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.							■	■

... nutzen den Zusammenhang $\Delta E = P \cdot \Delta t$ für **Berechnungen im Zusammenhang mit Energienutzung im Haushalt.**

... erklären das Funktionsprinzip eines **Generators mit Hilfe der Induktion.**

... führen einfache **Messungen bzw. Experimente (z. B. Maschenregel, Induktion) durch.**

... erarbeiten mit Hilfe geeigneter Quellen **Aufbau und Funktion technischer Geräte (z. B. Kraftwerk Generator).**

... vergleichen und bewerten Methoden zur **Bereitstellung elektrischer Energie.**

Abb. 4: Kompetenzentwicklung

Erläuterungen zu den einzelnen Kompetenzaspekten

- Die Schülerinnen und Schüler nutzen den Zusammenhang $\Delta E = P \cdot \Delta t$ für Berechnungen im Zusammenhang mit Energienutzung im Haushalt.

Die mathematisch formale Beschreibung des Zusammenhangs von Energie und Leistung greift die Deltaschreibweise aus den Themenfeldern 3 (Längenänderung) und 4 (Geschwindigkeits- bzw. Impulsänderung) wieder auf. Der Grad der formalen Beschreibung bietet auch hier eine Möglichkeit zur Differenzierung (siehe Kapitel 1.6).

Erneut treten das Konzept einer zeitlich veränderlichen Größe und die Benennung der Änderungsrate auf. Analogien lassen sich hier aufweisen, die dienlich sind, Wissen zu strukturieren. Wurde im Themenfeld 4 die zeitliche Änderung des Impulses als Impulsstromstärke gedeutet, so bietet sich hier ein analoges Vorgehen an: Die umgeladene Energiemenge (im Sinne einer Energieänderung) kann man in Abhängigkeit von der Zeit als Energiestromstärke, also Leistung, deuten.

- Die Schülerinnen und Schüler erklären das Funktionsprinzip des Generators mit Hilfe der Induktion.

Das Funktionsprinzip des Generators wird mit der Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Felder erklärt. Die berührungslose Wechselwirkung ist bereits im Themenfeld 4 – Änderung der Bewegungsrichtung eines eisenhaltigen Körpers im Magnetfeld oder der Änderung des Geschwindigkeitsbetrages eines Körpers im Gravitationsfeld – implementiert, wird nun aber zur Grundlage der Erklärung.

- Die Schülerinnen und Schüler führen einfache Messungen bzw. Experimente durch.

Das Messen von Energiemengen, die über Elektrizität bereitgestellt werden, stellt eine Alltäglichkeit dar. Der Strommesser jeden Haushalts läuft ununterbrochen. Messwerte sind dadurch praktisch jederzeit verfügbar und können genutzt werden.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten, die Messungen an die äußerlichen Rahmenbedingungen sowie die Bedürfnisse der Lerngruppen anzupassen: Das gemessene System kann vom einfachen Stromkreis über einzelne Haushaltsgeräte bis hin zum kompletten Wohnhaushalt oder Schulhaus reichen. Als Messgeräte stehen neben dem „Stromzähler“ im Schaltschrank auch „Energiesmessgeräte“ aus dem Elektrofachhandel zur Verfügung oder natürlich auch Multimeter.

- Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich mit Hilfe geeigneter Quellen Aufbau und Funktion technischer Geräte.

Der Begriff „technische Geräte“ ist hier in seiner kompletten Mannigfaltigkeit zu sehen. Die Bandbreite reicht von Realita des Alltags (Haartrockner, Toaster, Smartphone-Ladegerät, etc.) über die Experimentieraufbauten der Schulsammlungen bis hin zu Simulationen und Videos von Großanlagen. Entsprechend unterschiedlich können „geeignete Quellen“ ausfallen (Typenschilder, Bedienungsanleitungen, eigene Messungen, etc.).

Besonderes Augenmerk liegt im Hinblick auf Themenfeld 6 auf dem Funktionsprinzip des Generators. Als gemeinsames Bauteil der meisten Kraftwerkstypen ergibt sich zum einen die inhaltliche Anknüpfung an den Kontext der zweiten Sequenz und der Betrachtung des Kraftwerks als technisches Gerät. Auf der anderen Seite liefern seine eigenen Bestandteile den Übergang zur Behandlung des Basiskonzepts der berührungslosen Wechselwirkung und damit eines rudimentären Feldbegriffs.

- Die Schülerinnen und Schüler vergleichen und bewerten Methoden zur elektrischen Bereitstellung von Energie.

Die Bereitstellung von Energie im Zusammenhang mit Elektrizität kann auf zwei Seiten bezogen werden. Einerseits sollen die unterschiedlichen Kraftwerkstypen verglichen und bewertet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass eine solche Bewertung auf der Basis von Hintergrundwissen und kriteriengeleitet anzubahnen ist. Ideologische, politische, wirtschaftliche und letztlich auch individuelle Bewertungsmaßstäbe sind klar als solche darzustellen. Im Vordergrund soll die Bewertung aufgrund physikalischer Zusammenhänge stehen.

Ein Aspekt der elektrischen Bereitstellung von Energie kann andererseits auch die Bedarfsorientierung und damit die Nutzung der Energie im Haushalt sein, also das, was mit dem Begriff „Verbraucherverhalten“ gemeint ist. Dieser Bereich kann die Kompetenzentwicklung sogar um affektive Lernziele erweitern, da nun das eigene Handeln und Verhalten unter physikalischen Gesichtspunkten bewertet werden kann.

Beide Punkte sind geeignet, Handlungsoptionen aufzuzeigen und zu erarbeiten, erfordern sachliche Argumentation und schulen die Diskussionsfertigkeit.

1.6 Didaktische Anmerkungen

1.6.1 Energieformen und Energieträger

Der Name der physikalischen Größe Energie wird oft mit Adjektiven oder Bestimmungswörtern versehen. So spricht man von kinetischer, potenzieller, elektrischer, chemischer und freier Energie oder von Kern-, Wärme-, Ruhe- und Strahlungsenergie. Dieser Einteilung der Energie in verschiedene Energieformen liegt aber kein einheitliches Prinzip zu Grunde, sondern sie ist begründet durch die historische Entwicklung. Zudem ist die Einteilung nicht eindeutig, denn wenn z. B. von „elektrischer Energie“ die Rede ist, so wird der Begriff für alles benutzt, wo elektrische Ladung beteiligt ist: Energie einer Probeladung im elektrischen Feld, im Feld gespeicherte Energie, durch elektrischen Strom transportierte Energie, bisweilen sogar die in einer Batterie oder einem Akku gespeicherte Energie.²

Neben Bezeichnungen für die sogenannten Zustandsformen der Energie existieren im physikalischen Sprachgebrauch noch die Prozessgrößen Arbeit und Wärme, die fachlich exakt nur benutzt werden dürfen, wenn die Energie „im Übergang begriffen“ ist. Ist die Arbeit erst einmal geleistet, so ist sie nachher nicht mehr „da“ – vielmehr sagt man dann, die Energie (z. B. potenzielle Energie im Falle des Anhebens einer Last) habe sich vergrößert. Die aus diesem Sachverhalt folgende „Definition“ von Energie als der Fähigkeit, Arbeit zu leisten, kommt für Lernende einem Zirkelschluss gleich, wird doch eine abstrakte Größe mit einer anderen nicht weniger abstrakten Größe erklärt. Für Schülerinnen und Schüler ist dieser Sprachwirrwarr nur schwer nachvollziehbar und wirkt einer Konzeptualisierung von Energie und der Bildung tragfähiger Vorstellungen entgegen. So wundert es nicht, dass Neumann et al. feststellen: **„Die Ergebnisse unserer Untersuchung legen nahe, dass Schülerinnen und Schüler aus Jahrgang 6 im Wesentlichen über ein Verständnis von Energieformen und -quellen verfügen. Schülerinnen und Schüler aus Jahrgang 8 zeigen darüber hinaus ein Verständnis von Energieumwandlung und -transport. Ein Verständnis von Energieerhaltung ist nur von Schülerinnen und Schüler aus Jahrgang 10 und dann auch nur von einem Teil dieser Schülerinnen und Schüler zu erwarten.“**³

Unter didaktischem Aspekt scheint es sinnvoll, die Universalität des Energiebegriffs auch in der Sprache deutlich zu machen. Anstatt von verschiedenen Energieformen und von Energieumwandlung zu reden und damit zu suggerieren, dass es sich jeweils um verschiedene physikalische Größen handelt, wird gemäß dem **Energieträgerkonzept** vorgeschlagen, von Energie auf verschiedenen Trägern und von Energieumladung zu sprechen.

2 Siehe auch: Rincke, Karsten (2015): (Elektrische) Energie – Unterrichten zu einem schwierigen Begriff mit großer Bedeutung. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 26. Jahrgang, Heft 146, S. 2-10.

3 Siehe Neumann, K; Viering, T; Boone, W.J.; Fischer, H.E. (2013): Towards a learning progression of energy. In: Journal of Research in Science Teaching 50, N° 2, S. 162-188.

Mit Hilfe dieser Deutungen können die Vorgänge bei traditionell als „Energiewandler“ bezeichneten Geräten neu interpretiert werden. Energie wird nicht umgewandelt, sondern in dem Gerät wechselt die Energie den Träger. Durch eine entsprechende symbolische Darstellung wird deutlich gemacht, dass es sich bei der Energie immer um ein und dieselbe physikalische Größe handelt. Die Energieerhaltung wird bei dieser Vorgehensweise von Anfang an „mitgedacht“.

Seine fachliche Rechtfertigung findet das Energieträgerkonzept durch die Gibbs'sche Fundamentalform

$$dE = TdS + \varphi dQ + \vec{v} d\vec{p} + \mu dn + \dots$$

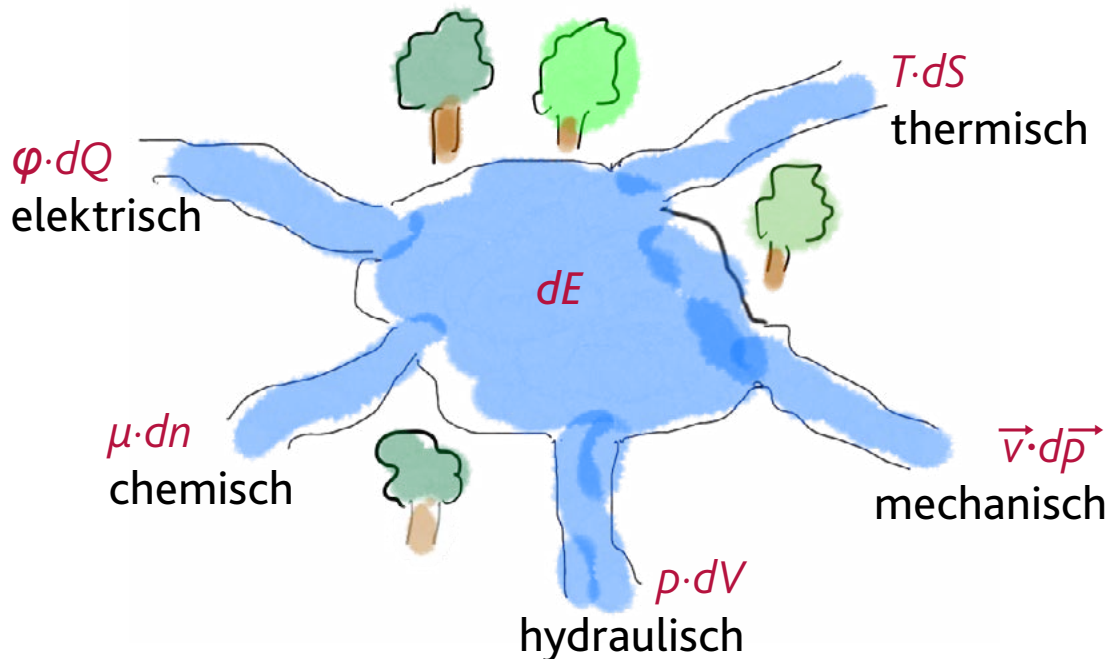


Abb. 5: „Energiesee“

Diese Formel beschreibt die Energieänderung dE eines Systems. Bildlich kann man sich die Bedeutung dieser Formel an einem See mit verschiedenen Zu- oder Abflüssen vorstellen: Der Gesamteinhalt des Sees ist unbekannt, doch die Änderung der Wassermenge im See ergibt sich aus der Summe der einzelnen Zu- bzw. Abflüsse.

Die Gibbs'sche Fundamentalform sagt aus, dass die Energieänderung dE durch die Änderung von mindestens einer der extensiven Größen S , Q , \vec{p} , n ... (Entropie, elektrische Ladung, Impuls, Stoffmenge, ...) gekennzeichnet ist.

Diese extensiven Größen können in gewisser Weise als mengenartig angesehen und damit als Energieträger interpretiert werden. Die zugehörige („energiekonjugierte“) intensive Größe T , φ , \vec{v} , m ... (Temperatur, elektrisches Potenzial, Geschwindigkeit, chemisches Potenzial, ...) gibt das „Beladungsmaß“ des Trägers an.

Mit Hilfe dieser Deutungen können die Vorgänge bei traditionell als „Energiewandler“ bezeichneten Geräten im Sinne des Trägerkonzeptes auf die oben dargestellte Weise neu interpretiert werden.

Beim Elektromotor z. B. gelangt die Energie auf dem Träger Elektrizität hinein und auf dem Träger „Drehbewegung“ hinaus. Im Gibbs’schen Sinne präziser formuliert ist der Energieträger am Ausgang der Drehimpuls, doch kann es durchaus sinnvoll sein, im Unterricht zunächst mit propädeutischen Formulierungen aus Schülerperspektive zu operieren.

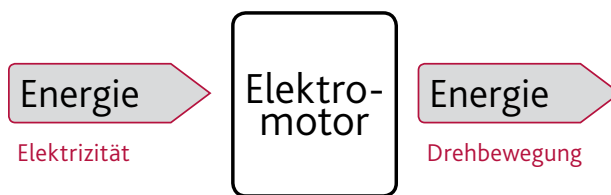


Abb. 6: Energieflussdiagramm – Elektromotor

Beim Windkraftwerk wechselt die Energie beim Rotor vom Träger „bewegte Luft“ (präziser: Impuls) zunächst auf den Träger „Drehbewegung“ (präziser: Drehimpuls) und wird dann im Generator umgeladen auf den Träger Elektrizität.

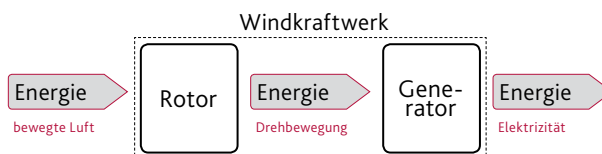


Abb. 7: Energieflussdiagramm – Windkraftwerk

Beim Automotor wird nur ein Teil der Energie vom Träger „Treibstoff“ (präziser: Stoffmenge) umgeladen auf den Träger „Drehbewegung“ (präziser: Drehimpuls) und kann damit für den Antrieb genutzt werden. Ein großer Teil der Energie wird auf den Träger „erwärmte Luft“ (präziser: Entropie) umgeladen und führt zu einer Erwärmung der Umgebung.

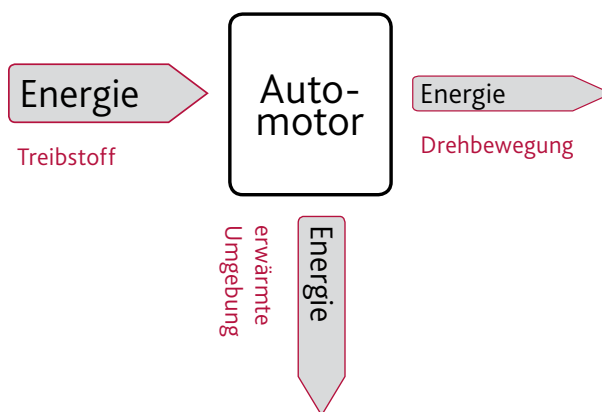


Abb. 8: Energieflussdiagramm – Automotor

Symbolisch können in Energieflussbildern ganze Energietransportketten entsprechend den folgenden aufgeführten Beispielen dargestellt werden. Dabei werden Energieumlader immer als Rechtecke dargestellt, Energie wird durch flächige Pfeile symbolisiert und unterhalb des Energiepfeils steht der Name des jeweiligen Trägers. Dabei können für den Träger zunächst durchaus propädeutisch Bezeichnungen wie Holz (statt Stoffmenge) oder warme Luft (statt Entropie) verwendet werden. (Eine Druckvorlage zum „Energiepuzzle“ findet sich im Onlineangebot unter HR_Ph_TF6_UG_S1_Info_Energietransportpuzzle.)

Das Grundprinzip der Energieumladung wird dann z. B. an einer solchen Darstellung erkennbar.



Abb. 9: Energietransportkette

In den meisten realen Situationen wird die Energie allerdings nicht nur auf einen einzigen Träger umgeladen, sondern es sind mehrere Energieträger im Spiel. Dabei bleibt jedoch die Gesamtmenge der Energie erhalten. Symbolisch lässt sich dies über die Zahl der Energiepfeile oder aber deren unterschiedliche Dicke darstellen.

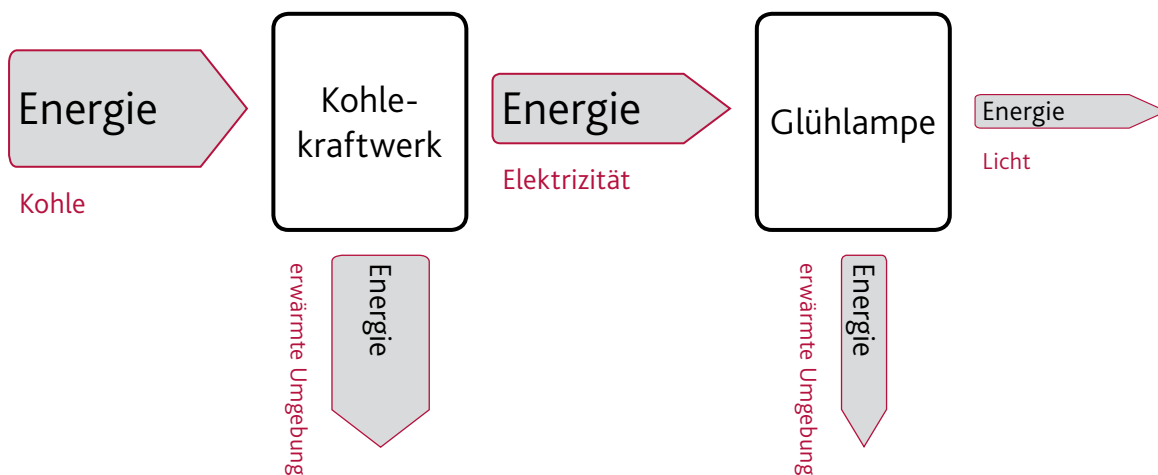


Abb. 10: Beispiel: Reale Energieumladung mit Wirkungsgrad $\neq 1$

Auch Vorgänge, bei denen auf den ersten Blick kein Gerät eine Rolle spielt, können im Sinne des Trägerkonzeptes beschrieben werden.

Wird beispielsweise ein Klotz aus der Höhe fallengelassen, so wird der energetische Aspekt dieses Vorgangs typischerweise folgendermaßen beschrieben: „Hier wird Lageenergie in kinetische Energie umgewandelt.“ Will man den Vorgang im Energieträgerkonzept beschreiben, so wird man sich zunächst fragen, wo die Energie jeweils ist bzw. „von wo nach wo“ sie umgeladen wird. Dazu bedarf es eines genaueren Hinsehens, bei dem im konkreten Fall auch Schwächen bzw. Ungenauigkeiten der gängigen Beschreibung deutlich werden. Üblicherweise sagt man: „Der Klotz hat die potenzielle Energie.“ Dabei wäre ohne das Gravitationsfeld weder Energie nötig, um den Klotz anzuheben, noch würde er herunterfallen. Die Energie ist also nicht im Klotz, sondern sie ist im Gravitationsfeld gespeichert. Wenn der Klotz herunterfällt, so wird sie nach und nach auf den bewegten Klotz übertragen. Energieträger ist dann der Impuls. Somit ist der fallende Klotz selbst der Energieumloader, bei dem Energie vom Gravitationsfeld auf den Impuls umgeladen wird.

Dass eine konsistente Begriffs- und Vorstellungsbildung bei den Lernenden durch die geläufigen Sprechweisen bei Verwendung des Energieumwandlungskonzeptes nicht unbedingt gefördert wird, kann an einem Beispiel im Vergleich mit der Beschreibung alltäglicher Vorgänge deutlich werden: Wird der Klotz fallen gelassen, so sagen wir: „Hier wird Lageenergie in kinetische Energie umgewandelt“ und sehen keinen Grund, uns über die Formulierung zu wundern. Da die Energie je nach Situation mit unterschiedlichen Formeln berechnet wird, spricht man von verschiedenen Energieformen und Energieumwandlung.

Aus Sicht der Lernenden gleicht das einer Situation, in der jemand Milch aus einer Milchtüte in ein Glas schüttet und dazu sagt: „Hier wird Tütenmilch in Glasmilch umgewandelt.“ Sie würden sicher nachfragen: „Wieso wird denn da Milch umgewandelt? In der Tüte war es Milch und nachher im Glas ist es genauso viel Milch.“ Dass der Inhalt der Tüte mit einer anderen Formel berechnet wird als der Inhalt des Glases, legt in diesem Fall nicht automatisch nahe, von einer Umwandlung zu sprechen.

Das Energieflussdiagramm könnte entsprechend so aussehen:

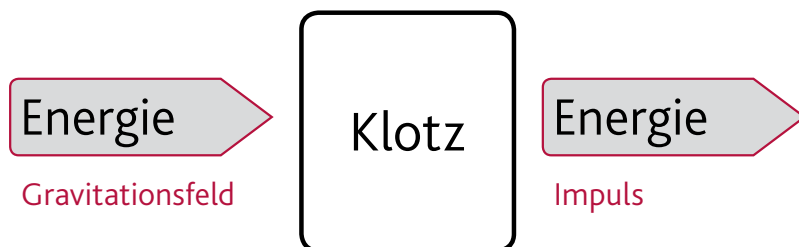


Abb. 11: Energieumladung „fallender Klotz“

Im Zusammenhang mit Themenfeld 6 kann die Energieumladung von oder aus dem Gravitationsfeld zum Beispiel dann auftreten, wenn Pumpspeicherkraftwerke behandelt werden. Im Gibbs’schen Sinne formuliert würde das Energieflussbild so aussehen:

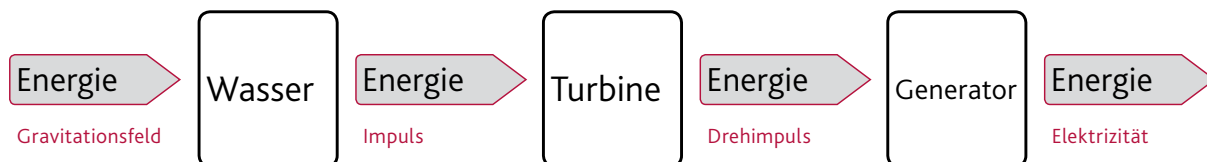


Abb. 12: Pumpspeicherkraftwerk – präzise nach Gibbs

Propädeutisch und ohne den Begriff Gravitationsfeld formuliert ließe sich das Pumpspeicherwerk dann etwa so veranschaulichen:

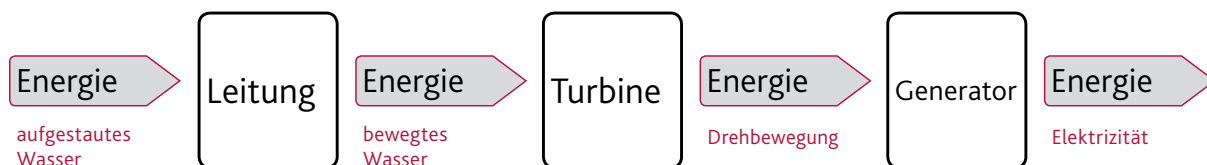


Abb. 13: Pumpspeicherkraftwerk – propädeutisch

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass im Lehrplan Naturwissenschaften noch von Energieumwandlung gesprochen wird. Laut geltenden Bildungsstandards sind sowohl das Umwandlungskonzept als auch das Trägerkonzept zulässig. Der Entschluss, in Themenfeld 6 das Energieträgerkonzept heranzuziehen, ergibt sich aus dem Ansatz, möglichst wenig Begriffe in einem schlüssigen Konzept zu verwenden. Es soll der Vereinfachung dienen und kann, sofern man sich als Unterrichtender dafür entscheidet, bereits im NaWi-Unterricht verwendet werden.

1.6.2 Sprechen über Energie im sechsten Themenfeld

Unterricht zum Thema „Energie und Elektrizität“ fordert von den Unterrichtenden eine große Sprachsensibilität. Wohl in keinem anderen Bereich existiert eine solche Vielfalt an zumeist auch noch widersprüchlich genutzten Begriffen. Schon der folgende kurze Satz macht das deutlich: Zur Deckung des immer weiter steigenden Stromverbrauchs werden zur Stromerzeugung neben Wärmekraftwerken und Kernkraft regenerative Quellen wie Wasserkraft und Windenergie eingesetzt.

Welch ein buntes Gemisch von Worten, und nur ein einziges Mal wird wirklich von Energie gesprochen, obwohl es in allen anderen Fällen auch um die Energie geht!

Setzt man sich als Lehrkraft bewusst mit dieser Problematik auseinander, so wird schnell klar, dass man nicht umhin kommt, mit den Lernenden ganz konkret über Sprache zu reden. Über die Sprache, die im Alltag verwendet wird, bei der Strom, Kraft, Energie häufig synonym gebraucht werden. Über die Sprache im Physikbuch, bei der etwas von elektrischer Energie, chemischer Energie, kinetischer Energie steht. Und über die Sprache im Physikunterricht, bei der Lehrende und Lernende bewusst versuchen wollen, so zu sprechen, dass sich passende Vorstellungen bilden können. Daher ist es hilfreich, im Unterricht von Energieträgern und Energieumladung zu reden – und es kann natürlich mit den gleichen Formeln gerechnet werden, wie sie auch bei Verwendung des Energieformenkonzepts eingeführt werden.

Die bewusste Reflexion auf der Metaebene über die in verschiedenen Zusammenhängen genutzte Sprache kann auf diese Weise dazu beitragen, ein konsistentes Verständnis von Energie zu entwickeln.

Neben der Sprachsensibilität in Bezug auf den Begriff „Energie“ bedarf auch die Verwendung des Begriffs „Strom“ einer besonderen Aufmerksamkeit.

Der Begriff „Strom“ – in wie vielen verschiedenen Bedeutungen und Zusammenhängen begegnet er den Schülern im Alltag und bisweilen 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.

In manchen Zusammenhängen benutzen wir den Begriff „Strom“ und meinen damit die elektrisch gelieferte Energie – z. B. wenn vom Strompreis oder der Stromrechnung die Rede ist. In anderen Situationen ist mit „Strom“ die elektrische Stromstärke gemeint. Sollen Schülerinnen und Schüler dann die Vorgänge in einem elektrischen Stromkreis beschreiben, so ist es für sie eine große Herausforderung, den Begriff „Strom“ bzw. „Stromstärke“ in der physikalisch richtigen Weise zu benutzen.

Ein weiteres Problem ergibt sich daraus, dass sowohl von Lehrenden als auch von Lernenden häufig der gleiche Begriff genutzt wird für das, was strömt, und die Tatsache, dass es strömt. In der Elektrizitätslehre sagt man bisweilen „es fließt Strom“ und meint vielleicht physikalisch korrekt: „es strömt elektrische Ladung“. Die Problematik wird deutlich, wenn man versucht, obige Formulierungen auf einen Wasserstrom oder einen Menschenstrom anzuwenden. Wir würden auf die Frage „was strömt?“ selbstverständlich die Antworten „Wasser“ oder „Menschen“ erwarten. In diesen beiden Fällen hat man eine konkrete Vorstellung von dem, was strömt, und ist daher vielleicht eher bereit, es auch zu benennen. In elektrischen Leitungen sieht man nichts, die elektrische Ladung ist ein abstrakter Begriff, und schon ist es „der Strom“, der da fließt.

Die vielfach in Schulbüchern zu findende Darstellung eines „Elektronenstroms“ scheint auf den ersten Blick eine Lösung, doch bringt sie mehrere Probleme mit sich. Zum einen kann lediglich in Metallen der Transport elektrischer Ladung (d. h. ein elektrischer Strom) mit einem Elektronenstrom (entgegen der Transportrichtung der elektrischen Ladung!) erklärt werden, in Elektrolyten z. B. bewegen sich positive und negative Ionen in entgegengesetzte Richtungen und tragen dennoch zu einem elektrischen Strom in eine Richtung bei. Zudem führt das Bild vom Elektronenstrom bei Lernenden häufig zu einer sequenziellen Argumentation und damit z. B. zu dem Problem: „Woher weiß das Elektron an der ersten Lampe, dass dahinter noch eine kommt und es noch einen Teil seiner Energie behalten muss?“ Dass der elektrische Stromkreis stets als Ganzes reagiert und diese Frage daher so nicht gestellt werden kann, muss zunächst bewusst gemacht werden.

Die Nutzung der Analogie zum Wasserstromkreis kann Schülerinnen und Schülern hierbei eine Hilfe sein. Sie erfahren: Im Wasserstromkreis wird Energie von der Pumpe zum Wasserrad transportiert. Das Wasser fließt dabei im Kreis. Das Wasserrad beginnt im gleichen Moment sich zu drehen, in dem die Pumpe eingeschaltet wird – und nicht etwa erst, wenn das Wasser von der Pumpe bis zum Wasserrad gelangt ist. Sind zwei Wasserräder eingebaut, so beginnen sie gleichzeitig, sich zu drehen. Wird an einer beliebigen Stelle der Wasserstrom unterbrochen (Zusammenquetschen des Schlauches oder Drehen eines Hahns), so stoppt das Wasserrad. Der Wasserstromkreis reagiert also stets im Ganzen als System.

Im elektrischen Stromkreis machen wir ähnliche Beobachtungen, doch können wir nicht sehen, was in den Leitungen geschieht. Wir können uns jedoch vorstellen, dass dort auch etwas fließt. Das, was dort fließt, nennen wir elektrische Ladung oder Elektrizität. Sie fließt im Kreis, und die Energie strömt vom Generator zum Propeller.

Ein Beispiel für das Sprechen über Energie unter Benutzung des Trägerkonzeptes liefert der Gesprächsanlass „Energietransportkette“ zu folgender Abbildung.

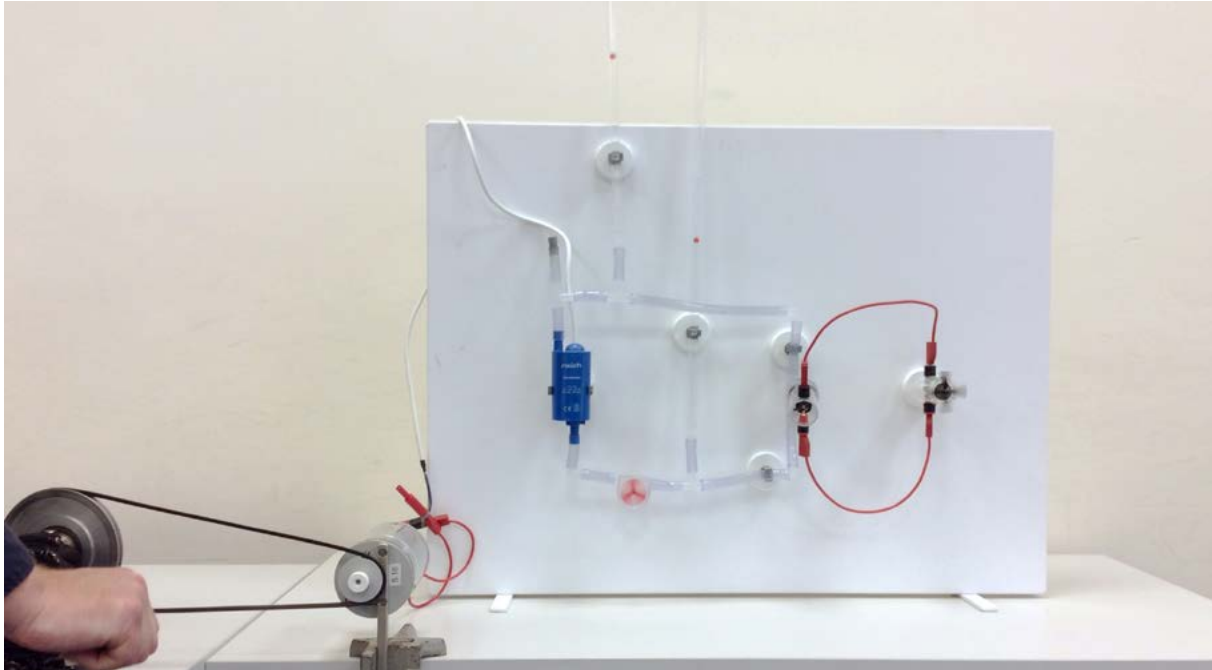


Abb. 14: Beispiel: Energietransportkette

Propädeutische, schülernahe Formulierungen könnten folgendermaßen lauten:

- Beim Kurbeln gebe ich Energie ab.
- Die Energie wird über den Keilriemen zum Generator transportiert.
- Vom Generator wird die Energie mit der Elektrizität zur Pumpe transportiert.
- Das Wasser transportiert die Energie weiter zur Turbine.
- Da wird die Energie über eine Achse in einen weiteren Generator transportiert.
- Von dort wird sie wieder mit Elektrizität zum Elektromotor transportiert und vom Propeller an die Luft abgegeben.

Eine fachlich genauere Formulierung wäre folgende:

- Die Energie wird auf den Trägern Impuls und Drehimpuls zum Generator transportiert.
- Im Generator wird die Energie auf den Träger Elektrizität umgeladen und zur Pumpe transportiert.
- Die Pumpe lädt die Energie um auf das Druckwasser. Die Energie wird damit zur Turbine transportiert.

- In der Turbine wird die Energie vom Träger Druckwasser auf den Träger Drehimpuls umgeladen und über die Welle zum kleinen Generator transportiert.
- Der Generator lädt die Energie auf den Träger Elektrizität um. Die Elektrizität transportiert die Energie zum Elektromotor mit dem Propeller.
- Der Propeller lädt die Energie auf den Träger Impuls (propädeutisch: auf den Träger „bewegte Luft“) um.

1.6.3 Potenzialbegriff und Modellbetrachtungen

Die physikalischen Vorstellungen von Spannung und Stromstärke sind für Lernende erfahrungsgemäß schwer zu differenzieren und werden immer wieder verwechselt. Um dem entgegen zu wirken,

- werden die Begriffe in zwei verschiedenen Themenfeldern eingeführt (Themenfeld 6 und Themenfeld 9).
- werden die Begriffe in verschiedenen konzeptionellen Zusammenhängen eingeführt (Spannung bei den Bedingungen zum Transport von Elektrizität, Stromstärke bei der systemischen Betrachtung der Vorgänge in Stromkreisen).

Trotzdem kann man natürlich auch in diesem Themenfeld (wie auch bereits im Fach Naturwissenschaften 5/6) von elektrischem Strom sprechen. Allerdings sollte man sich bewusst sein, dass dieser zunächst alltägliche Begriff meist nicht auf der physikalischen Definition der Ladungsstromstärke beruht. Die Vorstellung bezieht sich meistens auf die Energie, die in elektrischen Geräten verwendet wird und eben dorthin strömt. Das drückt sich auch in der sprachlichen Verwendung aus („Wir bekommen Strom von ...“, „Strom aus der Steckdose“ ...).

Diese Vorstellung wird in Themenfeld 6 zunächst in Bezug auf die Bereitstellung von Energie auf dem Träger Elektrizität aufgegriffen und die Bedingungen für Bereitstellung und Transport in den Blick genommen. Sprachlich ist es hilfreich, im Unterricht differenzierend von strömender/fließender Energie („Energiestrom“) einerseits und von strömender/fließender Ladung (oder fließender Elektrizität) andererseits zu reden. Durch diese Unterscheidung wird die beschriebene Alltagsvorstellung präzisiert und die spätere Definition der elektrischen Stromstärke (die hier wegen der Nähe zur Spannung zu den bekannten Verwechslungen führen könnte) erleichtert. Zudem wird die Formel in diesem Zusammenhang nicht benötigt.

Die gedankliche Trennung der beiden Ströme ist eine Stufe auf dem Weg zu einer differenzierten Vorstellung der Vorgänge in der Elektrizitätslehre und kann in folgendem Diagramm dargestellt werden:

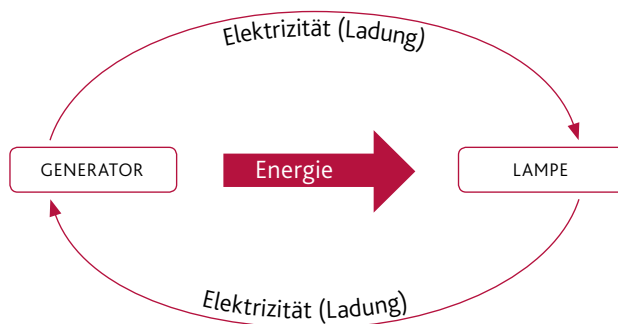


Abb. 15: Energiestrom und fließende Elektrizität

Um fortwährend Energie linear vom Generator (der Batterie, ...) zum elektrischen Gerät strömen zu lassen, muss die Ladung (bzw. Elektrizität) fortwährend im Kreis strömen. Die Vorstellung, dass lediglich ein Ladungsausgleich stattfindet, gilt nur für Kondensatoren. Die Anwendung auf Batterien und Generatoren ist grob vereinfachend und nimmt eine Fehlvorstellung in Kauf. Trotzdem kann man im weiteren Unterricht Ausschnitte eines Stromkreises betrachten, ohne jedes Mal den Antrieb thematisieren zu müssen oder den gesamten Stromkreis zu suchen (z. B. bei Oberleitungen).

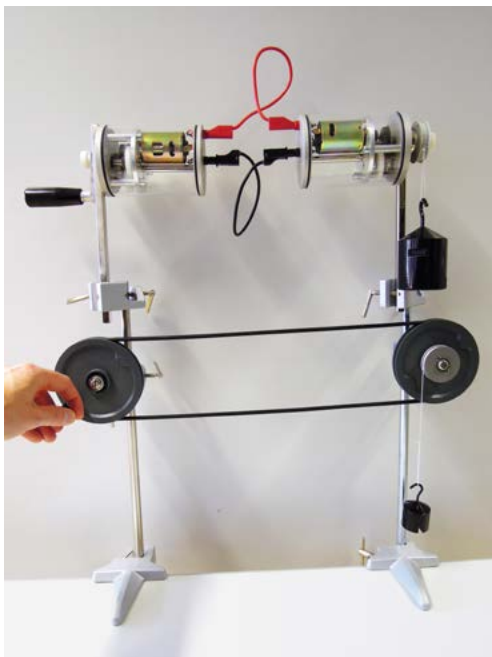


Abb. 16: Analogie: Riemenantrieb – Stromkreis

Modellhaft lässt sich die Kreislaufvorstellung günstig mittels des „Fahrradkettenmodells“ verdeutlichen, das im Unterricht als Riemenantrieb zwischen zwei Rädern aufgebaut werden kann. Die Analogie zu einem Stromkreis lässt sich einfach darstellen, um im Anschluss das obige Diagramm zu motivieren.

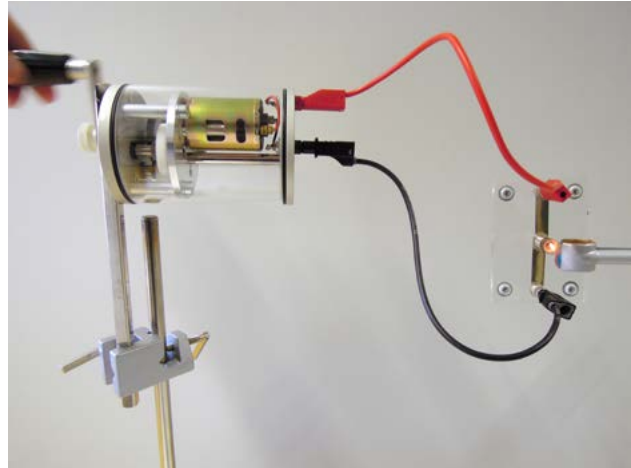
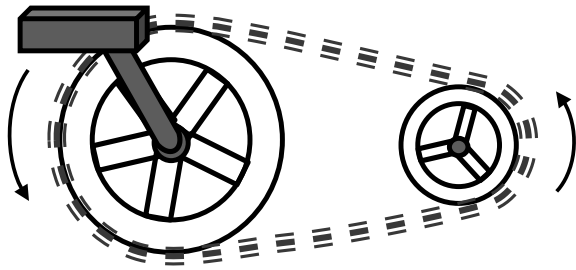


Abb. 17 und 18: Fahrradkettenmodell und Stromkreis mit Generator

Ausgehend hiervon werden die Bedingungen für den Transport der Energie auf fachlich konzeptioneller Ebene thematisiert. Im Lehrplan wird hierfür die folgende Vorstellung zu Grunde gelegt:

„Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier des Potentials).“⁴

Um die Spannung „begreifbar“ zu machen und eine tragfähige Vorstellung zu ermöglichen, wird die Einführung des Potentials als propädeutische Grundgröße nahegelegt. Das lässt sich über geeignete Analogien und Modelle erreichen. Im aufbauenden Unterricht kann auf dieser Basis eine physikalische und mathematische Ausschärfung vorgenommen werden.

Gerade der Unterricht, der von strömender Energie ausgeht, ist für eine Analogisierung geeignet. Genau wie man mit strömendem Wasser eine Mühle betreiben kann, lässt sich mit elektrischem Strom (und hier gilt die Analogie für Energie- wie für Ladungsstrom) ein Gerät betreiben. Allerdings kann das Wasser (die Energie, die Ladung) nur strömen, wenn es einen Antrieb gibt. Die Stärke dieses Antriebs (in der Elektrik: die Spannung) lässt sich analogisieren durch eine Höhendifferenz oder eine Druckdifferenz.

4 Siehe Lehrplan S. 110

Analogie Höhendifferenz – Potenzialdifferenz

Ein mögliches Tafelbild, das den Zusammenhang aufzeigt und die Begriffe einführt, könnte so aussehen:

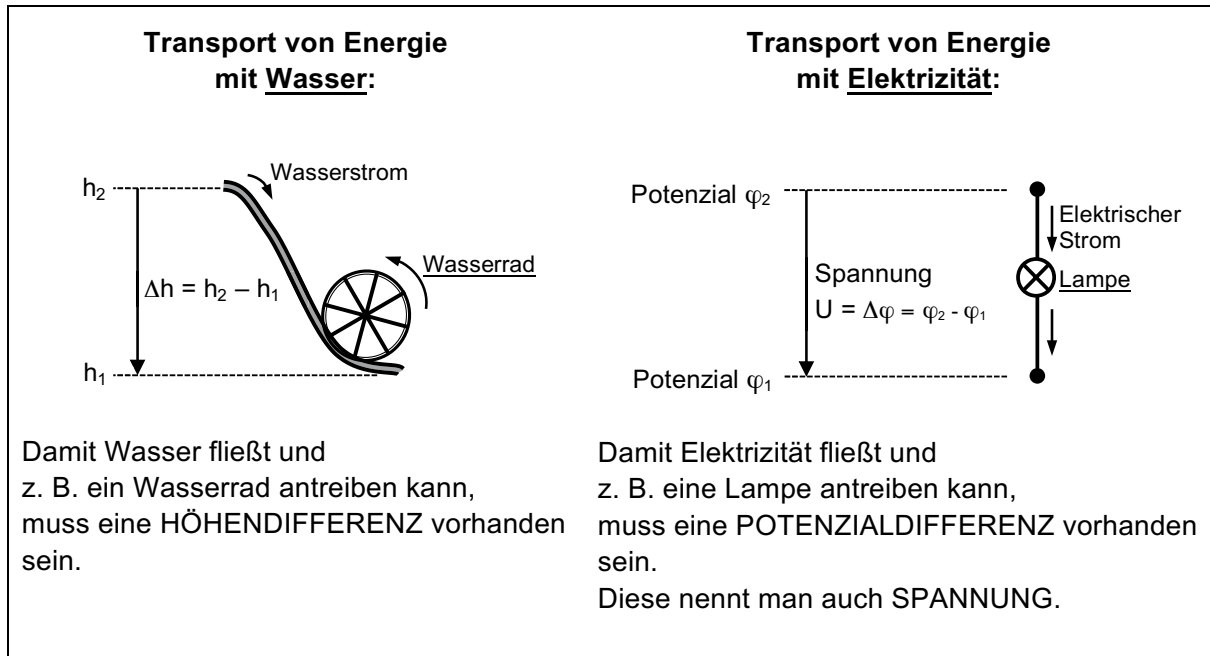


Abb. 19: Tafelbild: Analogie Höhendifferenz

Didaktisch ist es vorteilhaft und für den folgenden Unterricht tragfähig, Schaltungen stets so zu skizzieren, dass der höhere Potenzialwert weiter oben ist. Das erleichtert den Bezug zur Höhenvorstellung und entspricht zudem der in der Elektrotechnik üblichen Konvention.

Fachlich ist die Analogie weitreichend: Die Höhe hängt direkt zusammen mit dem Potenzial im Gravitationsfeld. Dieses ist wiederum direkt analog zum Potenzial im elektrischen Feld, das hinter dem hier eingeführten Verständnis als „Antriebsgröße“ steht. Genau wie beim Potenzial im Gravitationsfeld und der den Schülern bekannten Höhenangabe ist es sinnvoll, den Bezugspunkt (der Höhe, aber auch des Potenzials) anzugeben. Der Bezug „Höhe über NN“ sollte den Schülerinnen und Schülern bekannt sein oder kann plausibel gemacht werden. Entsprechend ist es sinnvoll, in den betrachteten Stromkreisen explizit den Punkt mit Nullpotenzial („Erde“) anzugeben und eventuell zu kennzeichnen.

Im Unterricht kann das z. B. mittels zweier über einen Schlauch mit Wasserrädchen verbundenen Gefäßen demonstriert werden. Um zu zeigen, dass es von der Höhendifferenz, nicht aber von der Füllmenge abhängt, wechselt man vorteilhaft einen der Behälter aus.



Abb. 20: Analogie Höhendifferenz

Analogie Druckdifferenz – Potenzialdifferenz

Mit einem geeigneten Wasserkreislaufmodell (siehe Bild) lässt sich der Generator als Elektrizitätspumpe darstellen, bei dem am Ausgang ein höherer Druck herrscht als am Eingang. Diese Druckdifferenz treibt das Wasser im Kreislauf an. In Analogie herrscht auf der einen Seite des Generators ein höheres Potenzial als auf der anderen, was die Elektrizität antreibt.

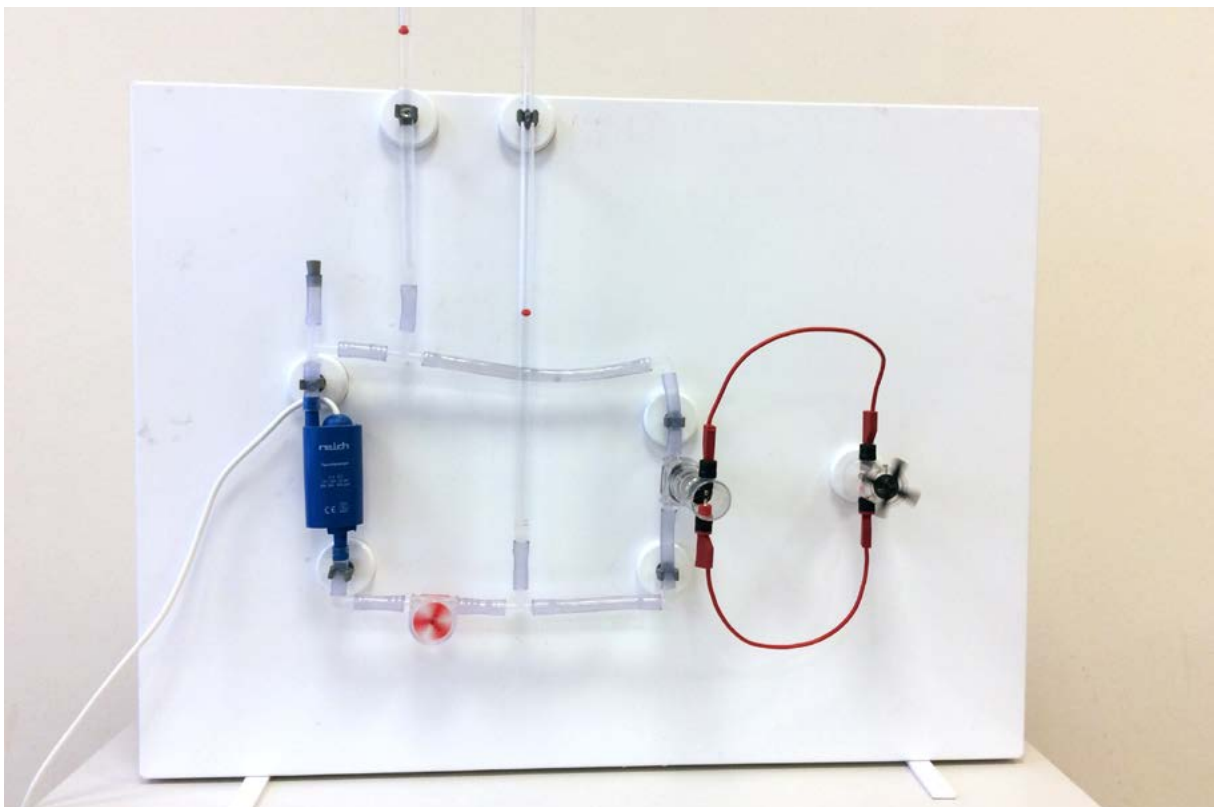


Abb. 21: Analogie Druckdifferenz

In dem dargestellten Modell wird ein geschlossener Wasserkreislauf von einer Pumpe angetrieben. An einem Wasserrad ist ein Generator angekoppelt, der wiederum einen Stromkreis mit einem Motor antreibt. Die Druckanzeige vor und hinter der Pumpe erfolgt mittels Steigrohren.

Ein Tafelbild könnte entsprechend dem oben dargestellten Höhenmodell so aussehen:

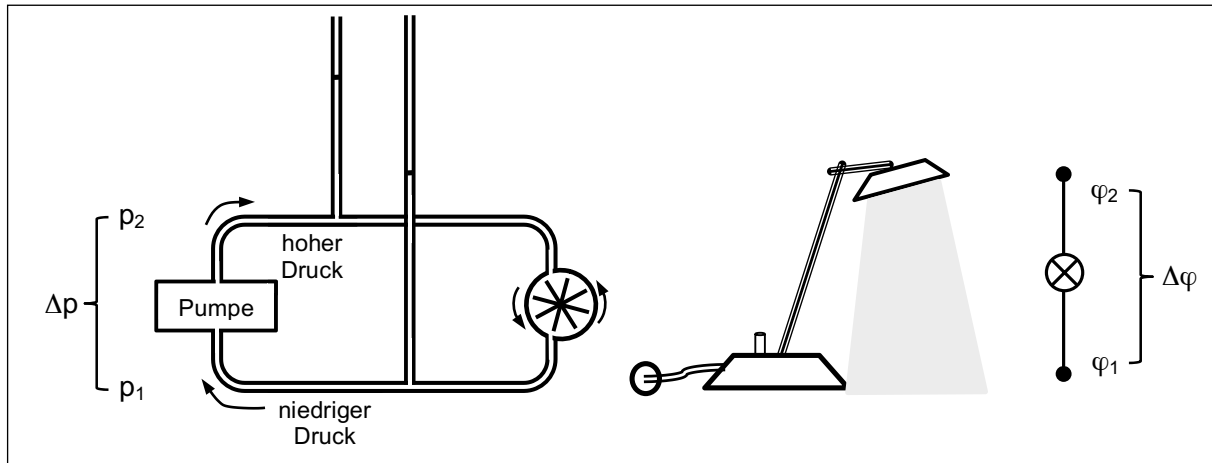


Abb. 22: Tafelbild: Analogie Druckdifferenz

Zum Verständnis der Druckanalogie genügt die Alltagsvorstellung von Druck (die Definition von p als $p = F/A$ wird nicht benötigt, ebenso keine weitere Formel). Meist wird im Nawi-Unterricht im dortigen Themenfeld 5 „Sonne-Wetter-Jahreszeiten“ eine Vorstellung in Hinblick auf Luftdruck gebildet. Die Druckanzeiger können ohne weitere ablenkende Problematisierung als einfache „Messgeräte“ verwendet werden, deren absolute Anzeige dem Druck am Ort entspricht. Entsprechend dem hydrostatischen Druck ist bei Druckgleichheit (Pumpe aus) der Wasserspiegel in beiden Rohren gleich. Um eventuelle Verwirrungen bei cleveren Schülerinnen und Schülern zu vermeiden, kann man das Modell auch liegend verwenden oder so aufbauen, dass die Anzeigen auf gleicher Höhe anschließen.

Da die Schülerinnen und Schüler üblicherweise keinerlei Erfahrungen mit geschlossenen Wasserkreisläufen haben, sollten hier im Unterricht Möglichkeiten dazu geschaffen werden, solche zu sammeln, bevor eine Abstraktion hin zum Potenzial erfolgt. Dazu kann das Verhalten des Wassers, der Wasserräder und der Druckanzeiger im Kreislauf unter verschiedenen Bedingungen beschrieben werden (Pumpe an, aus, stärker, schwächer, verengter Schlauch etc.).

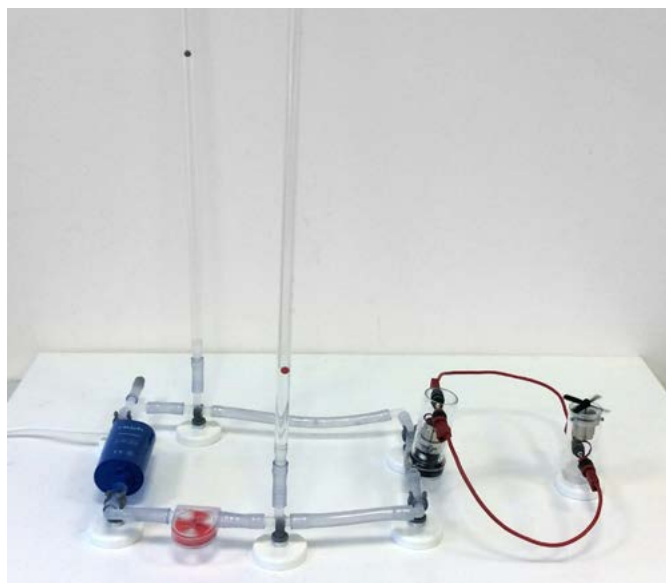
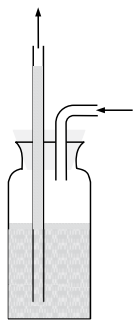


Abb. 23: Analogie Druckdifferenz



Abb. 24: Verbundene Wasserspritzen

Eine Sicherung des propädeutischen Druckverständnisses kann auch ohne das Modell geschehen, um die Druckanalogie aufzuzeigen. Die Lernenden können ohne großen Aufwand den Zusammenhang zwischen Druck und Antrieb körperlich erfahren. Eine Möglichkeit ist das Drücken auf zwei fest verbundene wassergefüllte Spritzen – wenn auf einer Seite „der Druck größer ist“, wird sich das Wasser zur anderen Seite hin bewegen. Dazu verwendet man medizinische Spritzen mit Luer-Lock-Verbindung über einen Schlauch oder man klebt den Schlauch fest, um ein Abspringen des Schlauchs unter Druck zu verhindern. Anschließend füllt man Wasser ein (dazu bei einer Spritze den Kolben herausnehmen und von hier mit Wasser befüllen, dann die andere Spritze aufziehen, die Luft herausdrücken und erneut auffüllen, bevor der Kolben wieder eingesetzt wird). Hinweis: Es empfiehlt sich aus Sicherheitsgründen (und aus Kostengründen) nicht, diese Demonstration mit Kolbenproben durchzuführen.



Alternativ kann man die Schülerinnen und Schüler in eine Waschflasche pusten lassen. Dabei ist der nötige Druck beim Pusten spürbar, um Wasser nach oben zu bewegen. (Hinweis: aus Sicherheits- und Hygienegründen sollte die gläserne Waschflasche am Tisch fixiert und mit auswechselbarem Schlauchmundstück versehen werden).

Abb. 25: Waschflasche

Das Potenzial und verwendete Modelle im weiteren Unterricht:

Im Anschluss an die Einführung von Potenzial und Spannung kann nun in Stromkreisen deutlich gemacht und durch Messung gezeigt werden, dass an Generatoren, Batterien und ähnlichen „Elektrizitätspumpen“ das Potenzial in (technischer) Stromrichtung hin zunimmt und an jedem elektrischen Gerät wieder abnimmt. Das lässt sich durch (auch farbliche) Kennzeichnung der einzelnen Bereiche im Stromkreis verdeutlichen. Geeignete Applets können die Bearbeitung unterstützen, z. B. http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/stromkreis.swf.

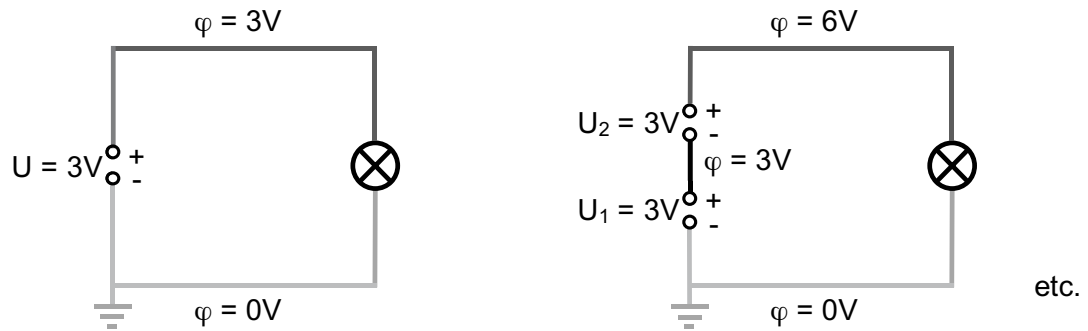


Abb. 26: Potenziale im Stromkreis

Auch Demonstrationsaufbauten können auf diese Weise mit verschiedenfarbigen Kabeln erfolgen:

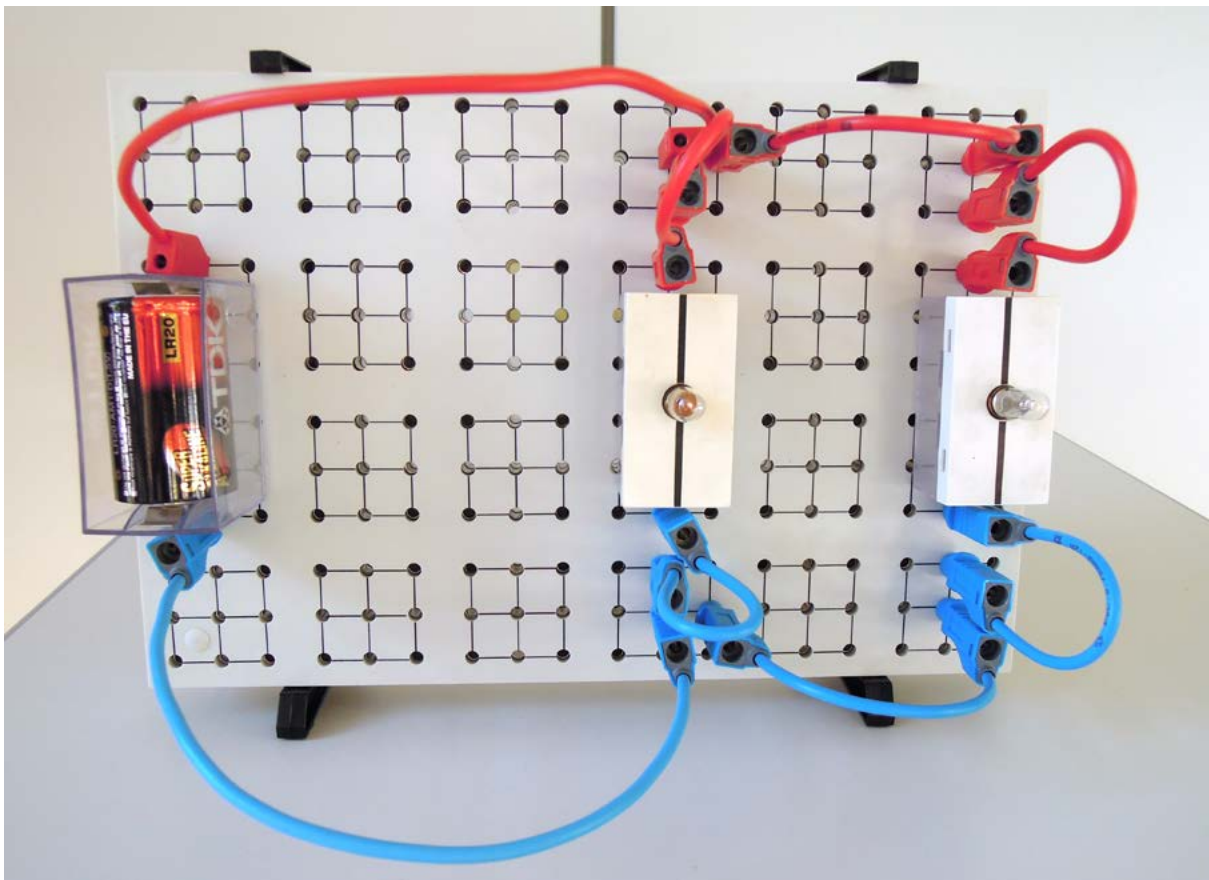
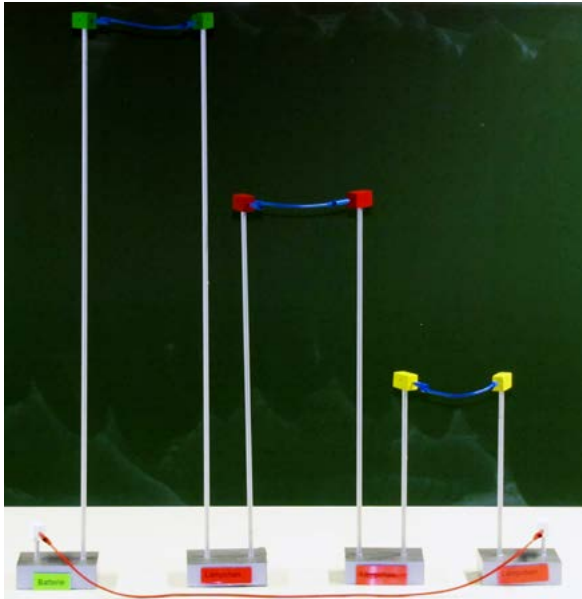


Abb. 27: Demonstrationsaufbau: Parallelschaltung



Eine Möglichkeit zur Visualisierung der Höhenanalogie der Potenziale besteht in der Verwendung eines Stäbchenmodells, bei dem das Potenzial im Verlauf des Stromkreises qualitativ dargestellt wird. Auf den Füßen der Stäbe steht jeweils der Name des Bauteils, z. B. „Batterie“ oder „Lampe“.⁵ Das Modell kann selbst gebaut werden,⁶ eine mögliche Bezugsquelle ist die aktuelle Schülerfirma (Stand 2015/16) der IGS Ernst-Bloch Ludwigshafen:

IGS Ernst Bloch – Schülerfirma
z. Hd. Herrn Fischer
Hermann-Hesse-Str. 11
67071 Ludwigshafen

Abb. 28: Stäbchenmodell

Eine genauere Betrachtung und Berechnung von Potenzialen und Spannungen in komplexen Schaltungen wird in Themenfeld 9 vorgenommen. So ist zwar hier in Messungen erkennbar, dass bei einer Reihenschaltung elektrischer Geräte das Potenzial schrittweise abfällt, der lokale Wert sich aber nicht genau berechnen lässt, ohne alle im Kreis befindlichen Geräte zu berücksichtigen (Gesamtsystem).

Die gebildete Vorstellung „elektrischer Strom fließt zwischen Punkten mit verschiedenen Potenzialen“ trägt weit und ist didaktisch fruchtbar. So entfällt die Notwendigkeit, stets nach dem gesamten Stromkreis zu suchen (Schwierigkeit bei Fahrradbeleuchtung und Oberleitungen). Alltägliche Beobachtungen sind oft ebenfalls leichter zu erklären („Vögel auf der Leitung bekommen keinen Stromschlag, weil beide Füße auf gleichem Potenzial sind“ ist erheblich einfacher als die Betrachtung einer Parallelschaltung zwischen Leitung und Vogel). Nicht zuletzt ist das Konzept übertragbar auf andere Teilgebiete der Physik. So fällt es den Schülerinnen und Schülern durch analoge Betrachtung in der Wärmelehre (Themenfeld 8) leichter, den Energietransport („Wärmefluss“) zwischen Punkten verschiedener Temperatur zu beschreiben.

5 Eine nähere Beschreibung dieses Modells findet sich in Koller, D.; Waltner, Ch.; Wiesner, H.(2008): Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. In: Praxis der Naturwissenschaften, 6/57, September 2008, S. 6.

6 Eine Anleitung findet sich in den Online-Materialien unter HR_Ph_UG_S3_Info_Staebchenmodell in Anlehnung an Späth, S. (2009): Einführung in die Elektrizität. http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/konzept.zip.

An dieser Stelle soll neben dem Fahrradkettenmodell, dem Höhenmodell und dem Wasserkreislaufmodell (die alle sinnvoll eingesetzt werden können) noch ein weiteres verbreitetes Modell nicht unkommentiert bleiben. Gerade im Unterricht unterer Klassen wird gelegentlich ein „Energiehutmodell“ bzw. „Gummibärchenmodell“ verwendet, wonach die (nicht näher definierten) Ladungsträger in der Batterie mit Energie beladen werden und diese dann in der Lampe abgeben. Dieses Modell erklärt einzig und allein einen einfachen Stromkreis mit einer Batterie und einem Gerät, ist nicht übertragbar und bildet ein zwar leicht verständliches (und damit fest sitzendes), aber falsches Konzept. Schon bei einer zweiten Lampe im Stromkreis ist unklar, woher die Ladungsträger „wissen“, wo sie wie viel Energie abgeben sollen. Im folgenden Unterricht verhindert diese Vorstellung ein tiefer gehendes korrektes Verständnis zu den Vorgängen im Stromkreis als Gesamtsystem und sollte daher nicht eingesetzt werden, auch wenn es sich mit Gummibärchen als Energieportion nachspielen lässt. Das oben beschriebene Fahrradkettenmodell erfüllt für einen einfachen Stromkreis die gleiche erklärende Funktion und ermöglicht ein erfolgreiches Weiterlernen.

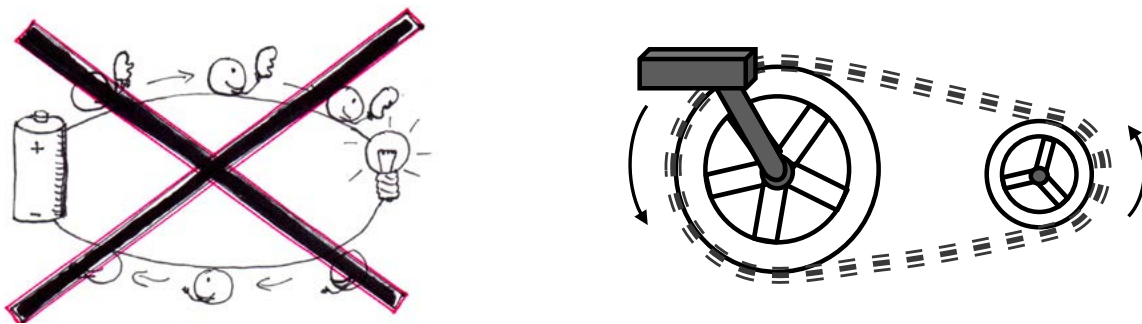


Abb. 29: Zum Energietransport im Stromkreis – Fahrradkettenmodell

Einen Überblick über verschiedene Modelle geben auch folgende Quellen:

Härtel, H. (2012): Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, S. 17.

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

Müller, R. (2012): Was ist Spannung? In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, S. 5.

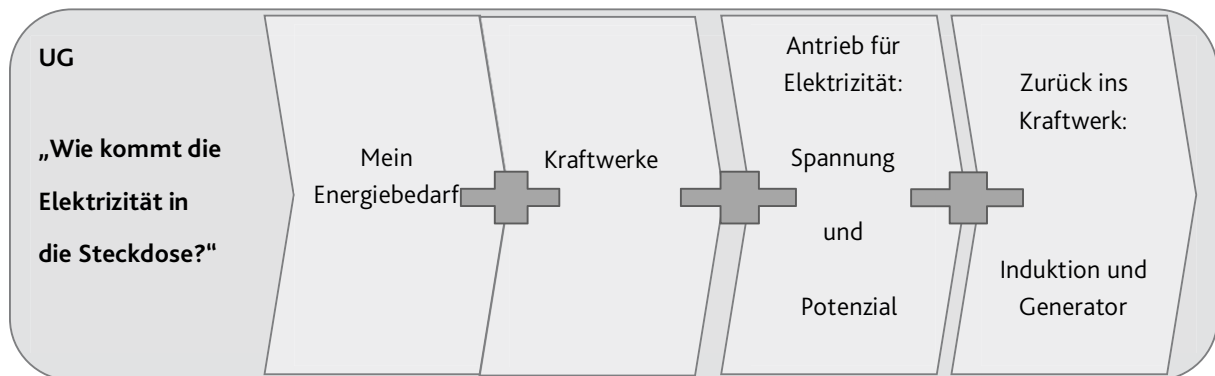
Wilhelm, Th. (2015): Kapitel 14: Elektrizitätslehre. In: Ausgewählte Probleme der Didaktik der Physik für LA Gym. <http://www-4.physik.uni-augsburg.de/did/downloads/scripts/physikdidaktik/gymnasium/alles.pdf>.

Wilhelm, Th. (2015): Moment mal ... (18): Elektronen als Energieträger? In: Naturwissenschaften Physik in der Schule 6/64, September 2015, S. 47-49.

2 UNTERRICHTSBEISPIELE

2.1 Vorüberlegungen

Im Folgenden wird an einem Unterrichtsgang (UG) gezeigt, wie das sechste Themenfeld kompetenz- und konzeptorientiert im Rahmen eines sinnstiftenden Kontextes umgesetzt werden kann. Der Unterrichtsgang besteht aus vier Sequenzen, die jeweils einen Teilbereich des Themenfelds beleuchten.



Ausgehend von ihrer eigenen Erfahrungswelt wird das Augenmerk der Schülerinnen und Schüler auf ihren eigenen **Energiebedarf** bei elektrischen Geräten gelenkt und der Zusammenhang zwischen Energiemenge und Leistung der einzelnen Geräte hergestellt. Berechnungen zu den Kosten befähigen die Schülerinnen und Schüler zu selbstständigem Handeln.

Die vergleichende Betrachtung von **Kraftwerken** erweitert die Sichtweise und erleichtert durch grundlegende Kenntnis der unterschiedlichen Funktionsweisen das Verständnis gesellschaftlicher Diskussionen zur Energiethematik. Als gemeinsames Bauteil der meisten verwendeten Kraftwerke wird der Generator erkannt.

Im Folgenden werden physikalische und technische Grundlagen für den Energie- und Elektrizitätstransport betrachtet: die Spannung als **Antrieb der Elektrizität** und die **Induktion** als Funktionsprinzip eines Generators. Da bei der Induktion Messungen der Spannung sinnvoll und nötig sind, steht diese Sequenz am Ende der Reihe.

Somit folgt die Unterrichtsreihe dem Aufbau „Abholen des Lernenden in seiner Lebenswelt – Erweitern des Blicks – fachliche Vertiefung – Rückübertragung des Gelernten in die Lebenswelt“.

Die vorgestellten Sequenzen lassen sich im Prinzip mit wenig Anpassung auch in anderer Reihenfolge unterrichten. Trotzdem empfiehlt sich begründet aus obiger Darstellung die vorgestellte Reihenfolge.








Der Unterrichtsgang ist im Unterricht erprobt worden, erfüllt die Anforderungen des Lehrplanes Physik und beinhaltet die Teilthemen der Elektrizitätslehre Spannung und Potenzial, Energie und Leistung sowie Generator und Induktion. Durch Nutzung der vorgeschlagenen sowie von weiteren individuellen Differenzierungen können alle bereitgestellten Materialien für die eigene Schulform angepasst werden.

Bei der Beschreibung der Unterrichtsgänge werden folgende Abkürzungen verwendet:

TF – Themenfeld, S – Sequenz, GA – Gruppenarbeit, AB – Arbeitsblatt, Info – Informationsmaterial, Merk – Merkblatt, LE – Lerneinheit, LK – Lernkontrolle, mind – Mindmap.

Alle vorgestellten Materialien stehen zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter: <http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/physik/unterricht.html>.

2.2 Übersicht über den Unterrichtsgang

TF6	Sequenz	Fachlicher Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
UG: Wie kommt die Elektrizität in die Steckdose?	S1: Mein Energiebedarf	Energiebedarf im Haushalt, Zusammenhang zwischen Energie und Leistung, Energieumladung in elekt- rischen Geräten (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none">  Ablesen des Stromzählers zu Hause/in der Schule  Berechnen des Energiebedarfs elektrischer Geräte über $E=P \cdot t$ und evtl. Messung  Darstellung der Energieumladung in elektrischen Geräten (Anbindung an NaWi)
	S2: Kraftwerke	Verschiedene Kraftwerkstypen, Generator als gemeinsa- mes Bauteil (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> ▲ Beschreibung und Vergleich des Aufbaus verschiedener Kraftwerkstypen ▲ Darstellung der Energieumladung in verschiedenen Kraftwerkstypen ▲ Kriteriengeleitete Bewertung und Diskussion zu verschiede- nen Kraftwerken
	S3: Antrieb für Elektrizität: Spannung und Potenzial	Potenzialdifferenz als Be- dingung für das Strömen von Elektrizität, Spannungsmessung (4-6 Unterrichtsstunden)	<p>Schrittweise Modellbildung und Abstraktion:</p> <ul style="list-style-type: none">  Übertragung des Systems „Kraftwerk – elektrisches Gerät“ durch „Stromkreismodell mit Generator und elektrisches Gerät“  Darstellen des Zusammenhangs von Elektrizitätsstrom und Energiestrom  Veranschaulichung der Potenzialdifferenz mittels geeigneter Modelle (Höhenmodell, Wasserstrommodell)  Übungen zu Potenzial im Stromkreis  Messen von Spannungen (=Potenzialdifferenzen)
	S4: Zurück ins Kraftwerk: Induktion und Generator	Spannungserzeugung durch Induktion, Aufbau des Generators (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none">  Zerlegen eines Generators und identifizieren der wesentli- chen Bauteile  Experimente mit Magnet und Spule zur Induktion  Darstellung des Magnetfelds zur Verdeutlichung des Funkti- onsprinzips eines Generators

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 „Mein Energiebedarf“

Neben der Schaffung des formalen Rahmens für den Kontext zum eigenen Energiebedarf dient die Sequenz der Bewusstmachung der Kosten von Energie auf dem Träger Elektrizität. Zudem wird das im Fach Naturwissenschaften eingeführte Energiekonzept reaktiviert und auf die Basis des Energie-Träger-Modells übertragen, um Beschreibungen energetischer Vorgänge im weitergehenden Unterricht formal und konzeptionell zu ermöglichen.

Das **Ablesen des Stromzählers** als einführende Aktivität ist je nach Wohnort der Schülerinnen und Schüler unterschiedlich gut zu bewerkstelligen. Wenn es als (wie in HR_Ph_TF6_UG_S1_AB1_Ablesen_des_Stromzaehlers beschrieben) vorbereitende Hausaufgabe mit einer Woche Vorlauf gegeben wird, sollte beachtet werden, dass der Stromzähler in einigen Mietshäusern nicht zugänglich ist. Eine Variante ist, gemeinsam den Stromzähler der Schule in Augenschein zu nehmen, evtl. zu fotografieren und im weiter gehenden Unterricht zu thematisieren. Hier sollte das Ablesen im Abstand von 30 Minuten (oder von einer zur nächsten Schulstunde) bereits zu einer Abschätzung des Energiebedarfs der Schule ausreichen.



Die Bestimmung von Leistungen und Energiemengen als Hausaufgabe kann bei einzelnen Geräten mangels Information über deren Leistung unvollständig ausfallen, die Energiemessung mittels Energiezähler sollte im Vorfeld im Unterricht ebenso vorgeführt werden wie eine Beispielrechnung. Energiezähler, die zwischen Steckdose und dem Stecker eines Gerätes eingeschaltet werden, sind in vielen Haushalten vorhanden, können vor Ort gelegentlich bei Energieversorgern ausgeliehen oder in der Schule für diesen Zweck bereitgestellt werden.

Die Ergebnisse können Anlass für eine Diskussion über Energiesparen im Haushalt sein, möglicherweise verbunden mit einer erneuten Vergleichsmessung nach durchgeführten Maßnahmen.

Auch wenn das Joule als **Einheit der Energie** als universell und SI-konform herausgestellt werden muss, ist die Einheit kWh für das Berechnen von Energiemengen und -kosten ausgehend vom Stromzähler und für Betrachtungen im Alltag zunächst gewinnbringend zu verwenden. Der physikalische Zusammenhang $E = P \cdot t$ ist der gleiche, die Berechnung aber zunächst erheblich einfacher. Die aus dem Fach Naturwissenschaften bekannte Einheit Joule sollte durch den Umrechnungsfaktor $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ angebunden werden. Falls die Einheit nicht als bekannt vorausgesetzt wird, empfiehlt sich eine kurze Reaktivierung bzw. Einführung über den Energiegehalt von Nahrungsmitteln, der auf den Zutatenlisten angegeben ist (z. B. Müsliriegel). Die darin enthaltene Energie geht auf den Körper über, von wo aus sie weiter auf Bewegung und Erwärmung „umgeladen“ wird.

In diesem Zusammenhang ist auch die Übung zur Darstellung der **Energieumladung in elektrischen Geräten** zu sehen. Sie dient der Reaktivierung des im Fach Naturwissenschaften eingeführten Energiekonzepts, dem Aufbau des Energie-Träger-Konzepts und der Bereitstellung einer tragfähigen Darstellungsform für den weitergehenden Unterricht, z. B. in Themenfeld 10, wo Energiebilanzen

aufgestellt und für weitergehende Berechnungen verwendet werden. Beim Energie-Träger-Modell steht im Mittelpunkt, dass Energie eine universelle mengenartige Größe ist, die stets erhalten bleibt und lediglich den Träger wechselt. Diese Darstellung hat gegenüber der Darstellung von Energieformen den Vorteil, dass bei gleichem physikalischem Gehalt erheblich weniger Begriffe gelernt werden müssen, die Vorstellung „verschiedener“ Energien vermieden wird und die Träger je nach Niveau alltagssprachlich („Energie im Benzin“) oder im Gibbs'schen Sinne formuliert („Energie auf dem Träger Ladung“) benannt werden können, was die Anschlussfähigkeit erhöht. Genauere Ausführungen finden sich im Kapitel 1.6.1.

Sequenz 1: Mein Energiebedarf																																																																														
LE: Der Stromzähler Stromzähler ablesen, kWh als Einheit der Energie benennen, Elektrizität als wesentlichen Energieträger im Alltag herausstellen																																																																														
<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... beobachten und beschreiben ein technisches Gerät.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>--</p>																																																																													
<p>Lernprodukt</p> <p>Abgelesene Werte vom Stromzähler und ermittelte Energiemenge</p> <p>Evtl. Abbildung eines Stromzählers</p>	<p>Differenzierung</p> <p>Gemeinsames Ablesen vor Ort mit Hilfen durch den Lehrer</p>																																																																													
Materialien und Literatur																																																																														
HR_Ph_TF6_UG_S1_AB1_Ablesen_des_Stromzaehlers, HR_Ph_TF6_UG_S1_AB0_Energie_und_Leistung																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 2px;">Energie und Leistung</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Arbeitsblatt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> In jedem Beispiel werden zwei Situationen gegenübergestellt. Nenne für jedes Beispiel welche Größe eine <u>Menge</u> anzeigt und wie die <u>Veränderung dieser Menge</u> angegeben wird. Vergleiche dann jeweils die Situationen. </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Beispiel 1: Jonas und Connie machen ihre Mathehäusaufgaben. Beide können Mathe gleich gut. Sie schreiben gleich schön, machen beide keine Fehler und vergessen auch beide keine Aufgabe. Sie machen also die gleiche Menge an Hausaufgaben. Connie braucht für die Hausaufgaben 20 Minuten, Jonas fast eine Stunde. </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Beispiel 2: In einem alten Dorf gibt es einen Brunnen. Für den Brunnen gibt es zwei Eimer zum Wasserholen. Einen Großen und einen Kleinen. Herr Trinklviel möchte seinen Wasserkant auffüllen. Dafür muss er fünfmal den kleinen Eimer oder zweimal den großen Eimer voll Wasser aus dem Brunnen holen. </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1000 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer A</td> <td style="width: 50%;">Läufer B</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">5min</td> </tr> </table> </td> <td style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">500 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer C</td> <td style="width: 50%;">Läufer D</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">4min</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Beispiel 4: Du hast im Sportsstudio zwei Runden auf einem Fitnessgerät trainiert. Jeweils 12 Minuten hast du geschwitzt. Einmal bei 150 Watt, einmal bei 120Watt. Das war jeweils die Leistung, die das Gerät angezeigt hat. Bei 150 Watt war es auch viel anstrengender war. </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Beispiel 5: Du feierst deinen Geburtstag und möchtest Sahne für den Kuchen schlagen. Die Sahne kannst du nun von Hand schlagen oder mit einem Stabmixer mit 500W Leistung. </td> </tr> </tbody> </table>	Energie und Leistung		Arbeitsblatt	In jedem Beispiel werden zwei Situationen gegenübergestellt. Nenne für jedes Beispiel welche Größe eine <u>Menge</u> anzeigt und wie die <u>Veränderung dieser Menge</u> angegeben wird. Vergleiche dann jeweils die Situationen.			Beispiel 1: Jonas und Connie machen ihre Mathehäusaufgaben. Beide können Mathe gleich gut. Sie schreiben gleich schön, machen beide keine Fehler und vergessen auch beide keine Aufgabe. Sie machen also die gleiche Menge an Hausaufgaben. Connie braucht für die Hausaufgaben 20 Minuten, Jonas fast eine Stunde.			Beispiel 2: In einem alten Dorf gibt es einen Brunnen. Für den Brunnen gibt es zwei Eimer zum Wasserholen. Einen Großen und einen Kleinen. Herr Trinklviel möchte seinen Wasserkant auffüllen. Dafür muss er fünfmal den kleinen Eimer oder zweimal den großen Eimer voll Wasser aus dem Brunnen holen.			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1000 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer A</td> <td style="width: 50%;">Läufer B</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">5min</td> </tr> </table>	1000 Meter lauf		Läufer A	Läufer B	3min 30s	5min	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">500 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer C</td> <td style="width: 50%;">Läufer D</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">4min</td> </tr> </table>	500 Meter lauf		Läufer C	Läufer D	3min 30s	4min	Beispiel 4: Du hast im Sportsstudio zwei Runden auf einem Fitnessgerät trainiert. Jeweils 12 Minuten hast du geschwitzt. Einmal bei 150 Watt, einmal bei 120Watt. Das war jeweils die Leistung, die das Gerät angezeigt hat. Bei 150 Watt war es auch viel anstrengender war.			Beispiel 5: Du feierst deinen Geburtstag und möchtest Sahne für den Kuchen schlagen. Die Sahne kannst du nun von Hand schlagen oder mit einem Stabmixer mit 500W Leistung.			<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 2px;">Ablesen des Stromzählers</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Arbeitsblatt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> In jedem Haushalt gibt es einen sogenannten Schaltschrank. In ihm findet man den Elektrizitätsanschluss des Hauses oder der Wohnung. Hier wird die Elektrizität, die ein Haushalt benötigt, gemessen und dann von einem Energieanbieter (z.B. den Stadtwerken) in Rechnung gestellt. </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Aufgaben: <ul style="list-style-type: none"> • Frage deine Eltern nach dem Schaltschrank zu deiner Wohnung und schau ihn dir, ggf. zusammen mit deinen Eltern, einmal an. (Beispielbild unten) </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> Richtweg: Im Schaltschrank herrscht gefährliche Netzspannung! Zwar sind alle gefährlichen Teile normalerweise von isolierenden Abdeckungen umgeben, ein bedachter Umgang ist trotzdem unerlässlich. </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> • Identifiziere den Zähler, der den Energiebezug für deine Wohnung misst. • Notiere Datum und Uhrzeit sowie den Zählerstand (Im Beispielbild sind es 100629,1 kWh) in der Tabelle. • Bestimme nach genau einer Woche erneut den Zählerstand. Notiere ihn mit Datum und Uhrzeit. </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">erste Messung</td> <td style="text-align: center;">zweite Messung</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Datum</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Uhrzeit</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Zählerstand</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">Energiebedarf: kWh</td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> • Berechne den Energiebezug in kWh. • Bestimme aus der Jahresrechnung eures Energieversorgers die Kosten pro kWh und berechne die Kosten für die in dieser Woche benötigte Energie. </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table> </td> <td colspan="2" style="padding: 2px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table> </td> </tr> </tbody> </table>	Ablesen des Stromzählers		Arbeitsblatt	In jedem Haushalt gibt es einen sogenannten Schaltschrank. In ihm findet man den Elektrizitätsanschluss des Hauses oder der Wohnung. Hier wird die Elektrizität, die ein Haushalt benötigt, gemessen und dann von einem Energieanbieter (z.B. den Stadtwerken) in Rechnung gestellt.			Aufgaben: <ul style="list-style-type: none"> • Frage deine Eltern nach dem Schaltschrank zu deiner Wohnung und schau ihn dir, ggf. zusammen mit deinen Eltern, einmal an. (Beispielbild unten) 			Richtweg: Im Schaltschrank herrscht gefährliche Netzspannung! Zwar sind alle gefährlichen Teile normalerweise von isolierenden Abdeckungen umgeben, ein bedachter Umgang ist trotzdem unerlässlich.			<ul style="list-style-type: none"> • Identifiziere den Zähler, der den Energiebezug für deine Wohnung misst. • Notiere Datum und Uhrzeit sowie den Zählerstand (Im Beispielbild sind es 100629,1 kWh) in der Tabelle. • Bestimme nach genau einer Woche erneut den Zählerstand. Notiere ihn mit Datum und Uhrzeit. 			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">erste Messung</td> <td style="text-align: center;">zweite Messung</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Datum</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Uhrzeit</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Zählerstand</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">Energiebedarf: kWh</td> </tr> </table>		erste Messung	zweite Messung		Datum				Uhrzeit				Zählerstand	kWh	kWh	Energiebedarf: kWh	<ul style="list-style-type: none"> • Berechne den Energiebezug in kWh. • Bestimme aus der Jahresrechnung eures Energieversorgers die Kosten pro kWh und berechne die Kosten für die in dieser Woche benötigte Energie. 		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	Kosten pro kWh	Kosten der Woche			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>		Kosten pro kWh	Kosten der Woche		
Energie und Leistung		Arbeitsblatt																																																																												
In jedem Beispiel werden zwei Situationen gegenübergestellt. Nenne für jedes Beispiel welche Größe eine <u>Menge</u> anzeigt und wie die <u>Veränderung dieser Menge</u> angegeben wird. Vergleiche dann jeweils die Situationen.																																																																														
Beispiel 1: Jonas und Connie machen ihre Mathehäusaufgaben. Beide können Mathe gleich gut. Sie schreiben gleich schön, machen beide keine Fehler und vergessen auch beide keine Aufgabe. Sie machen also die gleiche Menge an Hausaufgaben. Connie braucht für die Hausaufgaben 20 Minuten, Jonas fast eine Stunde.																																																																														
Beispiel 2: In einem alten Dorf gibt es einen Brunnen. Für den Brunnen gibt es zwei Eimer zum Wasserholen. Einen Großen und einen Kleinen. Herr Trinklviel möchte seinen Wasserkant auffüllen. Dafür muss er fünfmal den kleinen Eimer oder zweimal den großen Eimer voll Wasser aus dem Brunnen holen.																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1000 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer A</td> <td style="width: 50%;">Läufer B</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">5min</td> </tr> </table>	1000 Meter lauf		Läufer A	Läufer B	3min 30s	5min	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">500 Meter lauf</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Läufer C</td> <td style="width: 50%;">Läufer D</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3min 30s</td> <td style="text-align: center;">4min</td> </tr> </table>	500 Meter lauf		Läufer C	Läufer D	3min 30s	4min																																																																	
1000 Meter lauf																																																																														
Läufer A	Läufer B																																																																													
3min 30s	5min																																																																													
500 Meter lauf																																																																														
Läufer C	Läufer D																																																																													
3min 30s	4min																																																																													
Beispiel 4: Du hast im Sportsstudio zwei Runden auf einem Fitnessgerät trainiert. Jeweils 12 Minuten hast du geschwitzt. Einmal bei 150 Watt, einmal bei 120Watt. Das war jeweils die Leistung, die das Gerät angezeigt hat. Bei 150 Watt war es auch viel anstrengender war.																																																																														
Beispiel 5: Du feierst deinen Geburtstag und möchtest Sahne für den Kuchen schlagen. Die Sahne kannst du nun von Hand schlagen oder mit einem Stabmixer mit 500W Leistung.																																																																														
Ablesen des Stromzählers		Arbeitsblatt																																																																												
In jedem Haushalt gibt es einen sogenannten Schaltschrank. In ihm findet man den Elektrizitätsanschluss des Hauses oder der Wohnung. Hier wird die Elektrizität, die ein Haushalt benötigt, gemessen und dann von einem Energieanbieter (z.B. den Stadtwerken) in Rechnung gestellt.																																																																														
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none"> • Frage deine Eltern nach dem Schaltschrank zu deiner Wohnung und schau ihn dir, ggf. zusammen mit deinen Eltern, einmal an. (Beispielbild unten) 																																																																														
Richtweg: Im Schaltschrank herrscht gefährliche Netzspannung! Zwar sind alle gefährlichen Teile normalerweise von isolierenden Abdeckungen umgeben, ein bedachter Umgang ist trotzdem unerlässlich.																																																																														
<ul style="list-style-type: none"> • Identifiziere den Zähler, der den Energiebezug für deine Wohnung misst. • Notiere Datum und Uhrzeit sowie den Zählerstand (Im Beispielbild sind es 100629,1 kWh) in der Tabelle. • Bestimme nach genau einer Woche erneut den Zählerstand. Notiere ihn mit Datum und Uhrzeit. 																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">erste Messung</td> <td style="text-align: center;">zweite Messung</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Datum</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Uhrzeit</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Zählerstand</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">kWh</td> <td style="text-align: center;">Energiebedarf: kWh</td> </tr> </table>		erste Messung	zweite Messung		Datum				Uhrzeit				Zählerstand	kWh	kWh	Energiebedarf: kWh	<ul style="list-style-type: none"> • Berechne den Energiebezug in kWh. • Bestimme aus der Jahresrechnung eures Energieversorgers die Kosten pro kWh und berechne die Kosten für die in dieser Woche benötigte Energie. 																																																													
	erste Messung	zweite Messung																																																																												
Datum																																																																														
Uhrzeit																																																																														
Zählerstand	kWh	kWh	Energiebedarf: kWh																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	Kosten pro kWh	Kosten der Woche			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten pro kWh</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Kosten der Woche</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>		Kosten pro kWh	Kosten der Woche																																																																						
Kosten pro kWh	Kosten der Woche																																																																													
Kosten pro kWh	Kosten der Woche																																																																													

LE: Darstellung der Energieumladung in elektrischen Geräten

Kennenlernen einer Darstellungsmöglichkeit zur Darstellung von Energieumladungen und Einüben der Darstellungsform

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...
 ... dokumentieren und präsentieren sachgerecht (hier: Energieumladungen in Geräten),
 ... diskutieren fachsprachlich (hier: Anwendung des Energie-Träger-Konzepts in der Fachsprache).

Konzeptbezogenes Fachwissen

Bei der Nutzung von Energie wird meistens der Träger gewechselt (z. B. Generator, Solarzelle, Elektromotor). (E)

Lernprodukt

Diagramme und Formulierungen zu Energieumladungen, z. B. beim Haartrockner



„Die Energie auf dem Träger Elektrizität wird im Haartrockner umgeladen auf die Träger Wärme und Bewegung (der Luft).“

Hinweis: Hier kann der Begriff der „Wärme“ noch im Alltagssprachlichen Sinn verwendet werden.

Differenzierung

Wenige und einfache Beispiele sowie einfachere Sprache, z. B. „Die Energie der Elektrizität wird im Haartrockner umgeladen auf warme bewegte Luft“

Materialien und Literatur

HR_Ph_TF6_UG_S1_AB3 *_Darstellung_der_Energieumladung_bei_Geraeten

Energieumladung	Information
	Sich selbst oder Gegenstände bewegen, einen Raum beheizen, ein Fahrzeug zum Rollen oder eine Lampe zum Leuchten bringen – überall wird Energie benötigt. Dabei ist die Energie stets an einen Träger gebunden, der sie transportiert oder speichert. Ob durch Heizung, Benzin, Brennstoffe oder Elektrizität, Energie wird immer mittels eines <u>Energieträgers</u> transportiert. Die <u>Energie</u> ist eine physikalische Größe und wird mit dem <u>Symbol E</u> abgekürzt. Die Maßeinheit für die Energie ist das <u>Joule (J)</u> . Bei vielen Vorgängen in der Natur und in der Technik wird Energie von einem Träger auf einen anderen umgeladen. Zur Veranschaulichung dieser Umwandlungsprozesse werden oftmals sogenannte <u>Energieflussdiagramme</u> verwendet: Der <u>Energieerhaltungssatz</u> besagt, dass Energie auf der Erde weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Sie wird stets nur auf andere Träger umgeladen. Ein <u>Beispiel</u> für das Grundprinzip der Energieumladung ist das folgende <u>Energieflussdiagramm</u> :

Energieumladung 1	Arbeitsblatt
	<p>Ergänze die nachstehenden Listen um eigene Ideen.</p> <p>Beispiele für Energieumlader können z.B. sein: Heizkessel, Elektromotor, Solarzelle, Wald, Elektrofen, Wasserkocher, Kompressor, Ventilator, Automotor, Ofen, Windrad, Propeller, Solarkollektor, Glühlampe, Druckluftschrauber, Dynamo, Generator...</p> <p>Eigene Ideen:</p> <hr/> <hr/> <hr/>
	<p>Beispiele für Energieträger können z.B. sein: Elektrizität, bewegte Luft/Wasser, das Gravitationsfeld der Erde, warmes Wasser, warmes Luft/Wasser, Licht, Kohle, Öl, Holz, ein sich drehendes Rad, Benzin...</p> <p>Eigene Ideen:</p> <hr/> <hr/> <hr/>

Energieumladung 2	Arbeitsblatt
	<p>Benenne in den folgenden Bildern die Energieträger bzw. die Energieumlader und erstelle ein möglichst genaues Flussdiagramm der Energieumladung.</p>

Kapitel 1.6.1 dieser Handreichung

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 2 „Kraftwerke“

In dieser Sequenz wird die Betrachtung des eigenen Energiebedarfs erweitert durch einen Blick auf die Bereitstellung der benötigten Energie. Dazu erfolgt ein **Vergleich verschiedener Kraftwerke**. Dabei soll eine grundsätzliche Kenntnis der verschiedenen Funktionsweisen erreicht werden (sinnvolle Vereinfachungen sind hier unumgänglich), um ein erstes Verständnis der auch in der Zukunft anhaltenden gesellschaftlichen Diskussionen zur Energiethematik zu ermöglichen. **Erste vergleichende Bewertungen** anhand ausgewählter Kriterien (z. B. Verfügbarkeit der Ressourcen, Umweltgefährdung ...) können dazu durchgeführt werden. Es wird dabei deutlich, dass das Thema komplexer ist als oft dargestellt. Fachlich wird an den Kraftwerkstypen die **Darstellung der Energieumladung** erneut angewendet und der **Generator als zentrales Bauteil** der meisten Kraftwerkstypen herausgestellt. Ausgehend von dieser Erkundung wird in den weiteren Sequenzen die Abstraktion hin zur Spannung als physikalische Bedingung für den Transport der Elektrizität und die Induktion als physikalischer Effekt, der dem Generator zu Grunde liegt, behandelt.

Die Durchführung des Kraftwerksvergleichs kann auf verschiedene Arten geschehen und hängt stark von der Lerngruppe ab. Wenn diese bereits zielgerecht recherchieren und präsentieren kann, ist eine Recherche in Gruppen möglich. Hierzu sollten im Vorfeld allerdings die zu sichtenden Quellen und die Erwartungen von der Lehrkraft vorgegeben werden (z. B. „selbst erstellte Skizze mit maximal fünf Bauteilen, Diagramm der Energieumladung, zwei Vor- und zwei Nachteile“). Es besteht bei dieser Methode aber erfahrungsgemäß die Gefahr, dass die Recherche lange dauert und vergleichsweise wenig Ertrag bringt. Eine stärkere Lenkung durch vorgegebene kürzere Materialien zu den einzelnen Kraftwerken hat sich als sinnvoller erwiesen (siehe Materialien unten).

Für die vergleichende Bewertung sollten konkrete Kriterien vorgegeben werden, die Durchführung kann von einer Gegenüberstellung in Tabellenform bis zu einer Podiumsdiskussion in der Klasse (oder auch außerhalb vor Publikum) reichen. Dabei sollte aber stets berücksichtigt werden, dass aufgrund der geringen Durchdringungstiefe (was auch der investierten Zeit geschuldet ist) die Argumente oft eher oberflächlich sind und aus recherchierten Aussagen bestehen. Zum Anlegen einer Diskussionskompetenz ist das aber zunächst ausreichend. Es wird erkannt, dass man dabei argumentativ aufeinander eingeht und dass verschiedene Standpunkte existieren, womit man sich auseinandersetzen bzw. diese Tatsache akzeptieren muss. Bereits im Fach Naturwissenschaft sowie in den anderen Naturwissenschaften gibt es im Lehrplan genannte Gelegenheiten, auf dieser Ebene eine argumentative Diskussion zu führen (z. B. im Fach Biologie in TF 4 zu verschiedenen Interessen bei der Waldnutzung, im Fach Chemie in TF 3 zur Bewertung von Treibstoffen aus unterschiedlichen Perspektiven und in TF 4 zur Verwendung von Metallen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit). Eine Abstimmung der Arbeitspläne kann hier zu einer bewussten Kompetenzentwicklung verwendet werden.

LE: Beschreibung und Vergleich des Aufbaus verschiedener Kraftwerkstypen

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...
 ... erarbeiten sich mit Hilfe geeigneter Quellen
 Aufbau und Funktion technischer Geräte (z. B.
 Kraftwerk).

Konzeptbezogenes Fachwissen

--

Lernprodukt

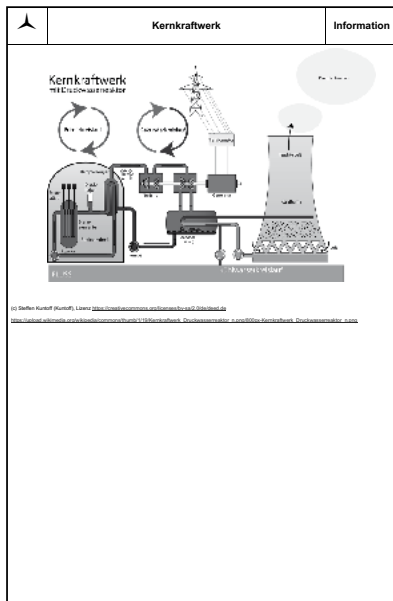
--

Differenzierung

Zuteilung verschieden komplexer Kraftwerke zu
 den Gruppen
 differenzierte Materialien
 Möglichkeit der Zuhilfenahme weiterer Quellen

Materialien und Literatur

HR_Ph_TF6_UG_S2_AB1_*,



Leistung		+ / -
Umwelteinflüsse		+ / -
Sicherheit		+ / -
gesellschaftliche Akzeptanz		+ / -
Kosten		+ / -
Verfügbarkeit der Energiequelle		+ / -
Flexibilität und Grundlastfähigkeit		+ / -
Anteil am Gesamtenergiebedarf		+ / -
Standortabhängigkeit		+ / -

Kapitel 1.6.1 dieser Handreichung

LE: Darstellung der Energieumladung in verschiedenen Kraftwerkstypen

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler ...
 ... dokumentieren und präsentieren sachgerecht
 (hier: Energieumladungen in Geräten).

Konzeptbezogenes Fachwissen

--

Lernprodukt


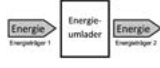
--

Differenzierung

--

Materialien und Literatur

HR_Ph_TF6_UG_S2_AB1_*

	Kraftwerkstypen	Arbeitsblatt Expertengruppe
<p>Bildet Stammgruppen. Jedes Mitglied der Gruppe wird Experte für einen Kraftwerkstyp. Diese Experten arbeiten zunächst in der Expertengruppe zusammen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fülle für „dein“ Kraftwerkstyp die nachstehende Tabelle aus. Vergleiche deine Ergebnisse mit denen der anderen Experten. • Erklärt gemeinsam in der Expertengruppe mit Hilfe der Abbildungen und des Textes, wie in „eurem“ Kraftwerk Energie auf Elektrizität umgeladen wird. • Zeichne für deine Stammgruppe ein Energieflussdiagramm (die Energieumladung) für „dein“ Kraftwerk. <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">  </div> • Suche im Internet nach einer Aufbauskizze für „deinen“ Kraftwerkstyp. Achte auf Nutzungsrechte und urheberrechtliche Vorgaben. (Google-Suchfilter: „zur nicht kommerziellen Wiederverwendung und Veränderung gekennzeichnet“) • Zeichnet eine vereinfachte Skizze des Aufbaus für „euer“ Kraftwerk. (maximal 5 Bauteile) • Stellt gemeinsam in einer Tabelle die Argumente der Gegner und Befürworter für „euren“ Kraftwerkstyp dar. • Erarbeitet anhand der vorgegebenen Quellen eine Beschreibung für einen weiteren Kraftwerkstyp. Achte darauf, die umgangssprachlichen Formulierungen der Texte (Energieverbrauch, Stromverbrauch, etc.) in physikalisch korrekt umzuformulieren. • Erkläre deiner Stammgruppe mit Hilfe der Abbildung, wie in „deinem“ Kraftwerk Energie über Elektrizität bereitgestellt wird – benutze auch das Energieflussdiagramm. • Vergleicht die verschiedenen Kraftwerkstypen und sammelt Gemeinsamkeiten. 		

Kapitel 1.6.1 dieser Handreichung

LE: Krieteriengeleitete Bewertung und Diskussion zu verschiedenen Kraftwerken

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler...

... vergleichen und bewerten Methoden zur Bereitstellung elektrischer Energie.

Konzeptbezogenes Fachwissen

--

Lernprodukt

--

Differenzierung

--

Materialien und Literatur

HR_Ph_TF6_UG_S2_AB1_*

Kohlekraftwerke

In einem Kohlekraftwerk werden fossile Brennstoffe genutzt. Fein gemahlene Braun- oder Steinkohle wird in einem Brennkessel verbrannt. Hierdurch wird Wasser erhitzt und verdampft. Der Wasserdampf treibt eine Turbine an, die wiederum einen Generator bewegt. Die Bruttoleistung eines typischen Kraftwerks beträgt etwa 1000 MW¹. Kohlekraftwerke benötigen allgemein Anlagen zur Kühlung. Das dafür benötigte Wasser kommt meistens aus anliegenden Flüssen.

Braun- und Steinkohle unterscheiden sich besonders in ihrem Heizwert. Unter diesem Aspekt ist Steinkohle der Braunkohle überlegen, denn sie beinhaltet bei gleicher Menge etwa dreimal so viel Energie wie die Braunkohle².

Auf der anderen Seite ist Braunkohle leichter und günstiger abzubauen und kommt in Deutschland recht häufig vor. Im Jahr 2008 wurden die wirtschaftlich nutzbaren Reserven von Braunkohle in Deutschland auf etwa 41 Milliarden Tonnen geschätzt, bei Steinkohle waren es etwa 100 Millionen Tonnen³.

Der Abbau von Braunkohle geschieht im Tagebau, also an der Oberfläche, während Steinkohle nur in großer Tiefe gefördert werden kann. Tagebau ist schon lange Zeit umstritten, da durch die Minen große Flächen betroffen und viele Landschaftsteile zerstört werden. Wohnsiedlungen und ganze Dörfer müssen dem Abbau weichen. Aber auch der Untertagebau kann Auswirkungen auf Erdschichten darüber haben. Wie störrische Stollen verlaufen und abtauchen, sinkt der Erdboden ab, was verheerende Folgen für gelagerte Häuser und Straßen haben kann, oder auch dazu führt, dass sich der Grundwasserstand verändert⁴.

Die Förderung von Steinkohle ist in anderen Ländern der Welt kostengünstiger, weswegen international mit großen Mengen Kohle gehandelt wird. Die Erzeugung der Steinkohle sind indes politisch weitestgehend stabil, sodass mit einer Versorgungskrise in absehbarer Zeit nicht zu rechnen ist. Von allen fossilen Brennstoffen ist Kohle der häufigste. Die weltweiten Vorräte reichen nach Schätzungen noch mehrere hundert Jahre aus⁵.

Bei der Verbrennung von Kohle werden große Mengen an Stickstoff- und Schwefelverbindungen freigesetzt, die Hauptverantwortlich für die Entstehung sauren Regens ist. Darüber hinaus haben Kohlekraftwerke einen großen Anteil an CO₂, einem klimawirksamen Treibhausgas. Dieser beträgt je nach Kraftwerk und verwendeter Kohle zwischen 750 und 1200 g/kWh⁶. Über aufwendige Filteranlagen wird versucht, Umweltauswirkungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Wirtschaftlich sind Kohlekraftwerke nur im Dauerbetrieb. Wegen langer Anlaufzeiten sind außerdem sowohl das schnelle An- und Abschalten von Kohlekraftwerken nicht möglich als auch schnelle Anpassungen an den Energiebedarf nicht zu bewerkstelligen. Kohlekraftwerke eignen sich daher nur, um Grundlasten zu decken. Der Anteil des gesamtdeutschen Energiebedarfs, den die Verbrennung von Kohle im Jahr 2014 ausmachte, lag bei etwa 43,8%⁷.

Die Baukosten eines Kohlekraftwerks sind von Anlage zu Anlage sehr unterschiedlich. Umgründet auf die Leistung der Kraftwerke lassen sich die Kosten aber auf etwa 800 Euro pro Kilowatt beziffern. Die Laufzeit moderner Kraftwerke liegt bei voraussichtlich 40 Jahren⁸. Die Kosten pro Kilowattstunde belaufen sich auf 60,04 bis 63,06⁹.

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlekraftwerk
² https://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert
³ https://de.wikipedia.org/wiki/Steinkohle#Lagerung_und_Untertagebau
⁴ http://www.sdr.de/konzepte/umwelt/steinkohle/steinkohle.html
⁵ http://www.euractiv.com/de/energy/steinkohle/steinkohle-energie-2015-12-15
⁶ https://www.umwelt.de/DE/Themen/Energie/WirtschaftlicheEnergie/Erzeugung/Tabellen/SteinkohleErzeugung.html
⁷ https://www.euractiv.com/de/energy/steinkohle/steinkohle-energie-2015-12-15
⁸ 988274.html

Kohlekraftwerke

Aufbau und Funktion

In einem Kohlekraftwerk werden fossile Brennstoffe genutzt. Fein gemahlene Braun- oder Steinkohle wird in einem Brennkessel verbrannt. Hierdurch wird Wasser erhitzt und verdampft. Der Wasserdampf treibt eine Turbine an, die wiederum einen Generator bewegt. Kohlekraftwerke benötigen allgemein Anlagen zur Kühlung. Das dafür benötigte Wasser kommt meistens aus anliegenden Flüssen.

Braun- und Steinkohle

Braun- und Steinkohle unterscheiden sich besonders in ihrem Heizwert. In einer Tonne Steinkohle steckt dreimal so viel Energie wie in einer Tonne Braunkohle.

Von allen fossilen Brennstoffen ist Kohle der häufigste. Die weltweiten Vorräte reichen nach Schätzungen noch mehrere hundert Jahre aus.

Umweltauswirkungen

Bei der Verbrennung von Kohle werden große Mengen an Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie CO₂ freigesetzt. Die Folgen sind saurer Regen und Klimaveränderungen.

Braunkohle wird im Tagebau, also an der Oberfläche abgebaut. Steinkohle kommt nur untertage, also tief in der Erde vor. Der Abbau von Braunkohle ist deswegen günstiger. Sowohl Tagebau als auch Untertagebau hat negative Auswirkungen auf Landschaft und Grundwasser.

Leistung und Kosten

Ein typisches Kohlekraftwerk leistet etwa 1000 MW im Dauerbetrieb und kostet fast 800 Millionen Euro. Es dauert sehr lange Kohlekraftwerke ein- und auszuschalten, deswegen kann man mit ihnen große Veränderungen beim Energiebedarf nicht ausgleichen.

Die Gesamtenergie, die 2014 von Kohlekraftwerken in Deutschland bereitgestellt wurde, lag bei etwa 275 TWh, das entspricht etwa 48% des gesamten Energiebedarfs. Die Kosten pro Kilowattstunde belaufen sich auf 60,04 bis 63,06.

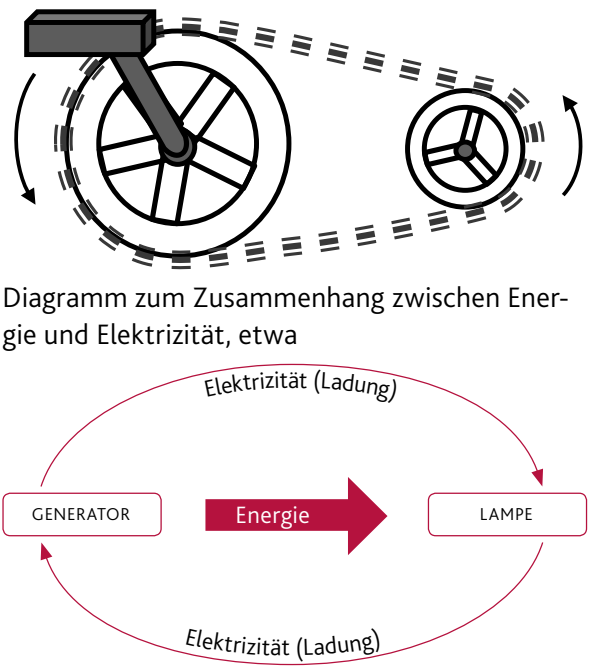
Kraftwerkstypen		Arbeitsblatt Tabelle
Leistung		+ / -
Umwelteinflüsse		+ / -
Sicherheit		+ / -
gesellschaftliche Akzeptanz		+ / -
Kosten		+ / -
Verfügbarkeit der Energiequelle		+ / -
Flexibilität und Grundlastfähigkeit		+ / -
Anteil am Gesamtenergiebedarf		+ / -
Standortabhängigkeit		+ / -

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 3 „Antrieb für Elektrizität: Spannung und Potenzial“

Die Sequenz dient der physikalischen Abstraktion auf die Ebene der messbaren Größen im Zusammenhang mit dem Transport der Elektrizität. Dazu wird ausgehend von der zuvor betrachteten konkreten Ebene (Kraftwerk → elektrische Geräte im Haushalt) schrittweise modelliert, um eine tragfähige Vorstellung von der Spannung als Bedingung für den Transport der Energie auf dem Träger Elektrizität aufzubauen. Ausführliche Erläuterungen zu dem hier verwendeten Konzept sowie den verwendeten Modellen finden sich in „**Didaktische Anmerkungen: Potenzialbegriff und Modellbetrachtungen**“ (Kapitel 1.6.3).

Im Verlauf der Sequenz findet zunächst eine Übertragung des Energietransports auf ein Modell (Stromkreis mit Generator und Motor/Lampe) statt, an dem der Zusammenhang zwischen der im Kreis fließenden Elektrizität (oder Ladung, je nach gewählter Sprachregelung) und dem Energietransport dargestellt wird. Verwendung findet hier das Fahrradkettenmodell (siehe oben). Im Anschluss wird über die Analogie zum Energietransport mittels fließendem Wasser das Potenzial als Grundgröße und schließlich die Spannung als Potentialdifferenz eingeführt (analog zu einer Höhendifferenz oder einer Druckdifferenz, die zum Strömen von Wasser nötig ist, siehe oben). Anschließend werden die Begriffe durch Übungen gefestigt, dabei kann auch ein Applet (siehe Quellen) hilfreich eingesetzt werden. Messungen der Spannung im Stromkreis schließen die Sequenz ab.

LE: Übertragung des Systems „Kraftwerk – elektrisches Gerät“ durch „Stromkreismodell mit Generator und elektrisches Gerät“	
Kompetenz Schülerinnen und Schüler... ... modellieren und abstrahieren durch Übertragung in einen Experimentierkontext.	Konzeptbezogenes Fachwissen Zur kontinuierlichen elektrischen Energieübertragung ist ein geschlossener Stromkreis notwendig, in dem die Energie von der Elektrizitätspumpe (z. B. Generator, Batterie, Solarzelle) zum elektrischen Gerät strömt. (SY)
Lernprodukt Aufbau und Skizze eines im weiteren verwendeten Demonstrations-Aufbaus aus Handgenerator und angeschlossenem elektrischem Gerät	Differenzierung --
Materialien und Literatur Kapitel 1.6.2 und 1.6.3 dieser Handreichung	

LE: Darstellen des Zusammenhangs von Elektrizitätsstrom und Energiestrom	
<p>Kompetenz</p> <p>Schülerinnen und Schüler... ... modellieren und abstrahieren durch geeignete Modelldarstellungen.</p>	<p>Konzeptbezogenes Fachwissen</p> <p>Zur kontinuierlichen elektrischen Energieübertragung ist ein geschlossener Stromkreis notwendig, in dem die Energie von der Elektrizitätspumpe (z. B. Generator, Batterie, Solarzelle) zum elektrischen Gerät strömt. (SY)</p> <p>Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig. (E, SY)</p> <p>Bei der Nutzung von Energie wird meistens der Träger gewechselt (z. B. Generator, Solarzelle, Elektromotor). (E)</p>
<p>Lernprodukt</p> <p>Geeignete Modelldarstellung des Energietransports, z. B.</p>  <p>Diagramm zum Zusammenhang zwischen Energie und Elektrizität, etwa</p>	<p>Differenzierung</p> <p>Aufbau und Verwendung eines Riemenantriebs, bei dem genau wie beim geschlossenen Stromkreis Energie transportiert wird, Anheben der gleichen Last mittels Kurbel-Riemenantrieb-Rad bzw. mittels Generator-Stromkreis-Motor.</p>
<p>Materialien und Literatur</p> <p>Kapitel 1.6.3 dieser Handreichung</p> <p>Thema und Variation: Der elektrische Stromkreis. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 89, Ausgabe 5/05</p> <p>Elektrische Energie: Bereitstellung und Nutzung. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 146, Ausgabe 2/15</p>	

LE: Veranschaulichung der Potenzialdifferenz mittels geeigneter Modelle (Höhenmodell, Wasserstrommodell)

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler...
... modellieren und abstrahieren durch geeignete Modelldarstellungen.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier des Potentials). (E, SY)

Lernprodukt



Darstellung eines geeigneten Modells für Potenzialunterschied bzw. Spannung (Höhenmodell, Druckmodell) wie in Kapitel 1.6.3

Differenzierung

Anbieten verschiedener Modelle oder Beschränkung auf Höhenmodell je nach Lerngruppe
Wasserkreislaufmodell: Möglichkeit, Erfahrungen am aufgebauten Modell zu sammeln

Materialien und Literatur





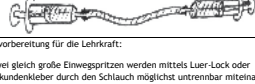
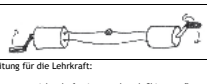
HR_Ph_TF6_UG_S3_Info_Potenzial

Einführung Potenzial und Spannung	Information
<p>Wie in der Handreichung (Kapitel „Didaktische Anmerkungen“) ausführlicher beschrieben, lässt sich eine tragfähige Vorstellung des Spannungsbegriffs, der eine Abgrenzung zu anderen Begriffen der Elektrizitätslehre (z.B. Stromstärke) ermöglicht, durch geeignete Analogiebildungen aufbauen.</p> <p>Hierzu geht man von der Erkenntnis der vorangegangenen Stunden aus, dass Energie (hier: elektrisch) bereitgestellt, aber auch allgemein) stets einen Antrieb benötigt. Der Generator im Kraftwerk und im Demonstrationsaufbau ist ein Bauelement, das hierzu dient (wie z.B. auch Batterien oder Solarzellen). Ziel ist es nun, eine Begrifflichkeit und eine Vorstellung für Art und Stärke dieses Antriebs zu entwickeln.</p> <p>Verwendung findet ein Vergleich mit anderen Formen des Energietransports, sinnvollerweise durch Wasser. Der Antrieb eines Mühlrades durch fließendes Wasser lässt sich mit dem Antrieb eines Motors durch fließende Elektrizität (oder Ladung, je nach Unterricht – siehe auch die Anmerkungen zur Sprache im Unterricht in den Handreichungen) vergleichen. Darauf folgt die Frage nach dem Antrieb des Wassers.</p> <p>Naheliegender und gut übertragbar ist die Tatsache, dass Wasser durch eine Höhendifferenz angetrieben wird („Wasser fließt den Berg hinunter“). Das lässt sich durch geeignete Demonstrationen unterstützen (HR_Ph_TF6_UG_S3_Modellexperiment_Hoehenmodell.docx).</p> <p>Daraus lässt sich analog eine Vorstellung zum Antrieb der Elektrizität ableiten und ein analogisierendes Tafelbild entwickeln:</p> <div data-bbox="204 1288 587 1496"> <p>Transport von Energie mit Wasser: Wasserstrom P_1 P_2 $h_1 = P_1 - P_2 = h$ Wasser Mühlrad Damit Wasser fließt und z. B. ein Wasserrad antreiben kann, muss eine HÖHENDIFFERENZ vorhanden sein.</p> <p>Transport von Energie mit Elektrizität: Potential ϕ_1 Potential ϕ_2 Spannung $U = \phi_1 - \phi_2$ Elektrischer Strom Lampe Damit Elektrizität fließt und z. B. eine Lampe antreiben kann, muss eine POTENZIALDIFFERENZ vorhanden sein. Diese nennt man auch SPANNUNG.</p> </div>	<p>Die Analogie zwischen Höhe und dem neu eingeführten Begriff „Potential“ führt zu einer Vorstellung von Spannung als messbarer Größe im Weiteren. Die Einführung eines zusätzlichen Begriffs „Potential“ im Einführungsunterricht wird durch den Gewinn an Vorstellung gerechtfertigt und kann bei der Betrachtung von Stromkreisen („kennzeichnende Bereiche mit unterschiedlichem Potential“, s. Übungen) hilfreich eingesetzt werden. Die Schülerinnen und Schüler können eine einfache lokale Vorstellung (Potential an einem Ort) verwenden, bevor sie den Schritt zur Spannung zwischen zwei Orten machen.</p> <p>Eine weitere Möglichkeit (oder Ergänzung), den Antrieb des Wassers zum Ausgangspunkt zu machen ist die Analogie zwischen Druck und Potential. Dabei werden Erfahrungen mit fließendem Wasser in geschlossenen Systemen ermöglicht, z.B. beim Drücken an zwei verbundenen Spritzen (HR_Ph_TF6_UG_S3_Modellexperiment_Spritzendruck.docx). Das Wasser fließt in Richtung des geringeren Drucks, genau wie bei einer Wasserpumpe, bei der am Ausgang ein größerer Druck besteht als am Eingang und dadurch das Wasser angetrieben wird. Der Generator wird nun als Elektrizitätspumpe identifiziert, der einen Potenzialunterschied erzeugt. Ähnlich kann Wasser durch Pusten in eine (gut befestigte und mit auswechselbarem Mundstück versehene) Waschflasche bewegt werden.</p>   <p>Für die hier verwendeten Vorstellungen von Druck reicht der Alltagsvorstellung aus, eine Möglichkeit der unmittelbaren Erfahrung im Unterricht sollte aber ermöglicht werden. Daher ist die Verwendung eines Wasserstromkreismodells am sinnvollsten, wenn ein reales Modell im Unterricht verwendet und betrachtet werden kann. Die wenigsten Schülerinnen und Schüler haben Erfahrungen mit geschlossenen Wasserstromkreisen, ein Verständnis des elektrischen Stromkreises wird u.U. durch Verständnisprobleme beim Wasserstromkreis verstellt. Daher sollten zunächst Erfahrungen am realen Modell gesammelt und beschrieben werden.</p> <p>Ein Vorteil des Wasserstromkreismodells ist die Verbindung zur Energieumladung, die hier gut demonstriert werden kann. Daher ist die Verwendung eines realen Modells didaktisch sehr hilfreich.</p>

HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Modellexperiment_1_Hoehenmodell

HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Modellexperiment_2_Spritzendruck

HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Modellexperiment_3_Generatoren

	Damit Elektrizität strömt, ist ein Potenzialunterschied als Antrieb notwendig.	Modellexperiment 1		Damit Elektrizität strömt, ist ein Potenzialunterschied als Antrieb notwendig.	Modellexperiment 2		Damit Elektrizität strömt, ist ein Potenzialunterschied als Antrieb notwendig.	Modellexperiment 3
<p>Damit Wasser strömt, ist ein Höhenunterschied notwendig.</p> <p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • drei Getränkefässer, davon zwei gleich große (Preis je ca. 15€) • Strömungsanzeegerät (Wassermat) • Verbindungsschlauch 			<p>Damit Wasser strömt, ist ein Druckunterschied notwendig.</p> <p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwei Einwegspritzen 50ml (möglicherweise Luer-Lock) • Verbindungsschlauch (möglicherweise Luer-Lock) 			<p>Damit Elektrizität strömt, ist ein Potenzialunterschied notwendig.</p> <p>Materiale:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwei handbetriebene Generatoren (z.B. Dynamo) • Glühlampe • Experimentierleitungen • zwei solide Trachtklemmen zum Befestigen der Generatoren 		
								
<p>Versuchsanleitung:</p> <p>1) Zwei gleich große Getränkefässer werden mittels Schlauch über das Strömungsanzeegerät verbunden und teilweise mit Wasser befüllt.</p> <p>a) Die Fässer stehen auf gleicher Höhe. b) Getränkefass A wird angehoben. c) Getränkefass B wird angehoben. Zu beobachten ist jeweils der Strömungsanzeeger.</p> <p>2) Zwei verschieden große Getränkefässer werden mittels Schlauch über das Strömungsanzeegerät verbunden und teilweise mit Wasser befüllt.</p> <p>a) Die Fässer stehen auf gleicher Höhe. b) Getränkefass A wird angehoben. c) Getränkefass B wird angehoben. Zu beobachten ist jeweils der Strömungsanzeeger.</p> <p>Hinweise für Lehrkräfte:</p> <p>Der Versuch wird erst mit gleich großen Gefäßen durchgeführt, so dass der Höhenunterschied als Antrieb für das strömende Wasser erkennbar ist. Um Fehlvorstellungen bei den Lernenden zu vermeiden, führt man den Versuch mit verschieden großen Gefäßen durch und erkennt, dass die Gefäßgröße keinen Einfluss auf die Strömungsrichtung hat.</p>			<p>Versuchsvorbereitung für die Lehrkräfte:</p> <p>1) Zwei gleich große Einwegspritzen werden mittels Luer-Lock oder Sekundenkleber durch den Schlauch möglichst untrennbar miteinander verbunden. 2) Nach der Trocknung entfernt man den Kolben der Spritze A vollständig und füllt das System, wobei der Kolben der Spritze B fast vollständig herausgezogen ist. Anschließend schiebt man den Kolben der Spritze B vollständig ein, so dass der Wasserpegel in Spritze A maximal ist und dann vorsichtig diesen Kolben einzusetzen. Damit ist das System so gefüllt, dass jede Spritze etwa halbes Maximalvolumen zeigt. 3) Gefahr: Der Schlauch kann möglicherweise von der Spritze abspringen.</p> <p>Versuchsanleitung für das Erfahrungsexperiment:</p> <p>Zwei Schüler drücken im Wettbewerb gegeneinander.</p> <p>Hinweise für Lehrkräfte:</p> <p>Das Experiment ist in erster Linie ein Erfahrungsexperiment für die handelnden Lernenden. Die ganze Klasse erkennt indirekt die Ansteuerung der beiden Aktoren. Solange kein Druckunterschied vorhanden ist, gleichgültig wie stark beide drücken, strömt kein Wasser, d.h. die Kolben bleiben in Ruheposition. Wenn ein Lernender nicht gegenhalten kann, existiert ein Druckunterschied, der als Antrieb für das strömende Wasser dient. Dabei bewegt sich der Kolben aus der Spritze des 'schwächeren' und kennzeichnet damit die Strömungsrichtung. Aus Sicherheitsgründen (Bruch- und Verletzungsgefahr) sollten nicht ersatzweise Kolbenprober verwendet werden</p>			<p>Versuchsvorbereitung für die Lehrkräfte:</p> <p>Zwei Generatoren sicher befestigen und nach Skizze aufbauen. Lampe entweder geeignet mit Präsentationskamera projizieren oder den Raum etwas abdunkeln.</p> <p>Versuchsanleitung für Schüler:</p> <p>a) Zwei Schüler drehen die Generatoren gleich schnell im Uhrzeigersinn. b) Zwei Schüler drehen gleich schnell gegen den Uhrzeigersinn. c) Zwei Schüler drehen verschieden schnell im Uhrzeigersinn. Schüler A dreht schneller. d) Zwei Schüler drehen verschieden schnell im Uhrzeigersinn. Schüler B dreht schneller. e) Zwei Schüler drehen verschieden schnell gegen den Uhrzeigersinn. Schüler A dreht schneller. f) Zwei Schüler drehen verschieden schnell gegen den Uhrzeigersinn. Schüler B dreht schneller. g-h) Die gesamte Versuchsreihe kann nun mit jeweils entgegengesetztem Drehsinn durchgeführt werden. Beobachtet wird jeweils die Helligkeit der Lampe.</p> <p>Hinweise für Lehrkräfte:</p> <p>Wird in gleicher Richtung (z.B. Uhrzeigersinn) mit gleicher Geschwindigkeit gedreht, dann ergibt sich die Potenzialdifferenz 0 und die Lampe leuchtet demnach nicht, weil die Elektrizität nicht strömt.</p>		

Bau des Stäbchenmodells:

HR_Ph_TF6_UG_S3_Info_Staebchenmodell

in Anlehnung an

Späth, S. (2009): Einführung in die Elektrizität. http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/konzept.zip.

Kapitel 1.6.3 dieser Handreichung

Härtel, H. (2012): Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, S. 17.

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

Müller, R. (2012): Was ist Spannung? In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, S. 5.

LE: Übungen zu Potenzial im Stromkreis

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler...
... nutzen ihr Fachwissen zur Bestimmung von Potenzialen.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier des Potentials). (E, SY)

Lernprodukt

Arbeitsblätter mit eingezeichneten Potenzialen bzw. eingetragenen Spannungen

Differenzierung

- Verschiedene Versionen der AB:
- Nur Einzeichnen verschiedener Potentiale
 - Einzeichnen verschiedener Potentiale und Angabe von Spannungen
 - Verschieden viele Aufgaben
 - Komplexität der Schaltungen in den Aufgaben.

Materialien und Literatur

- HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Potenzialuebung1
HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Potenzialuebung2
HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Potenzialuebung3

Potentiale in Schaltungen 1	Arbeitsblatt
<p>Färbe in den Schaltungen unterschiedliche Potentiale mit verschiedenen Farben:</p>	

Potentiale in Schaltungen 2	Arbeitsblatt
<p>In den nachfolgenden Schaltungen sind unterschiedliche Potenzialwerte mit verschiedenen Farben gefärbt. Bestimme die Potenzialwerte an den mit Pfeilen gekennzeichneten Stellen.</p> <p>Anmerkung: beide Lampen sind gleich</p>	

Potentiale in Schaltungen 3	Arbeitsblatt
<p>Überlege Dir, an welchen Stellen der nachfolgenden Schaltungen sich Potenzialdifferenzen befinden, d.h. zwischen welchen Stellen eine elektrische Spannung U gemessen werden kann. Zeichne an diesen Stellen Voltmeter ein. Gib jeweils den Wert für die elektrische Spannung an, die die Voltmeter anzeigen würden!</p> <p>Anmerkung: beide Lampen sind gleich</p>	

Applet

http://www.didaktik.physik.lmu.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/stromkreis.swf

und

http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/stromkreis.swf

Kapitel 1.6.3 dieser Handreichung

LE: Messen von Spannungen (= Potenzialdifferenzen)

Kompetenz

Schülerinnen und Schüler...
... führen einfache Messungen durch.

Konzeptbezogenes Fachwissen

Damit Energie strömt, ist ein „Antrieb“ nötig (hier: Spannung als Potenzialunterschied). Die Energie strömt von alleine nur in Richtung des niedrigeren Wertes (hier des Potentials). (E, SY)

Lernprodukt

Protokollierte Messungen und deren Präsentation (siehe AB)

Differenzierung

Messungen an verschiedenen Elektrizitätspumpen bzw. verschieden komplexen Aufbauten, verschieden schwierige Aufgabenstellungen, Möglichkeit des Messens von Potenzialdifferenzen in Stromkreisen bis hin zur Maschenregel (nur experimentell, theoretisch erst in TF 9 möglich).

Materialien und Literatur

HR_Ph_TF6_UG_S3_AB_Spannungen_messen

Spannungen messen	Arbeitsblatt
<p>Generatoren, Batterien und Solarzellen sind Elektrizitätspumpen, die eine Potenzialdifferenz aufbauen. Diese ist zwischen den Anschlüssen als Spannung messbar.</p> <p>Bearbeite eine der folgenden Aufgaben:</p> <p>Generator: Abhängigkeit der Spannung von der Drehzahl</p> <p>Material: Handgenerator mit Kurbel, Stoppuhr, Spannungsmessgerät, Kabel, Lämpchen</p> <ol style="list-style-type: none"> Baue einen Stromkreis auf, um mit dem Handgenerator eine Lampe zu betreiben und überprüfe die Funktion. Schließe nun das Messgerät an, um die Spannung zwischen den äußeren Anschlüssen der Batterien zu messen. Achte auf die Hinweise des Lehrers und die richtige Einstellung! Zeichne die Schaltkizze deines Aufbaus! Drehe langsam und gleichmäßig für 30 Sekunden an der Handkurbel, während ein zweites Gruppenmitglied die Zahl der Umdrehungen in dieser Zeit zählt. Halte die angezeigte Spannung konstant und Miss nun die Spannung bei mindestens 4 verschiedenen Drehzahlen, notiere sie in einer Tabelle und erstelle ein Diagramm! <p>Solarzelle: Abhängigkeit der Spannung von der Beleuchtungsstärke (Abstand der Lampe)</p> <p>Material: Solarzelle, Reuterlampe (oder anderen Strahler), Maßband, Spannungsmessgerät, Kabel, Lämpchen</p> <ol style="list-style-type: none"> Baue einen Stromkreis auf, um mit der beleuchteten Solarzelle eine Lampe zu betreiben und überprüfe die Funktion. Schließe nun das Messgerät an, um die Spannung zwischen den Anschlüssen der Solarzelle zu messen. Achte auf die Hinweise des Lehrers und die richtige Einstellung! Zeichne die Schaltkizze deines Aufbaus! Stelle die Reuterlampe im Abstand von 20cm von der Solarzelle entfernt auf und bestrahle diese. Miss die Spannung und notiere sie! Miss nun die Spannung bei mindestens 4 verschiedenen Abständen, notiere sie in einer Tabelle und erstelle ein Diagramm! 	

Batterien: Spannungen bei verschiedenen Schaltungen

Material: 3 Batterien 1.5V in Halterungen, Steckbrett, Spannungsmessgerät, Kabel, Lämpchen

- Baue einen Stromkreis mit drei Batterien in Reihe geschaltet auf (Polarung +---+), um mit den Batterien eine Lampe zu betreiben und überprüfe die Funktion.
- Schließe nun das Messgerät an, um die Spannung zwischen den äußeren Anschlüssen der Batterien zu messen. Achte auf die Hinweise des Lehrers und die richtige Einstellung!
- Miss die Spannung zwischen den äußeren Anschlüssen und zeichne die Schaltkizze deines Aufbaus!
- Drehe nun eine, dann zwei der Batterien um (+---+, dann +---+) und miss erneut die Spannung. Zeichne für jeden der Aufbauten eine Schaltkizze und notiere die Spannung. Deute die Beobachtungen!

Potenzialdifferenzen in Stromkreisen

Baue zwei der folgenden Schaltungen auf, miss und notiere die Spannungen zwischen verschiedenen Punkten! Markiere anschließend in den Stromkreisen Bereiche mit gleichem Potenzial in der gleichen Farbe und notiere daran den Wert des Potentials (Erdpotential, d.h. $\varphi=0V$ ist immer an PE A)

- Einfacher Stromkreis:

U_{AB}	U_{CD}
U_{CB}	U_{DA}
U_{CA}	U_{DB}
- Parallelschaltung:

U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}
U_{CB}	U_{DE}	U_{EF}
U_{BA}	U_{DC}	U_{FE}

- Reihenschaltung der Geräte:

U_{AB}	U_{CD}	U_{EF}
U_{CB}	U_{DE}	U_{FE}
U_{CA}	U_{ED}	U_{FD}
- Reihenschaltung der Stromquellen:

U_{AB}	U_{EF}
U_{CB}	U_{FE}
U_{CA}	U_{DE}

Kapitel 1.6.3 dieser Handreichung

Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 4 „Zurück ins Kraftwerk: Induktion und Generator“

Sequenz 4 des hier dargestellten Unterrichtsgangs kann im Wesentlichen aus klassischen Unterrichtsaktivitäten zur Einführung der Induktion in der Mittelstufe bestehen. Da hierzu bei den meisten Lehrkräften Materialien vorhanden bzw. leicht zu beschaffen sein dürften, werden im Rahmen der Handreichung keine Arbeitsblätter und Materialien bereitgestellt.

Hilfreich ist auch der Einsatz von Applets und Simulationen, z. B.
<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/faraday>.

Hier kann eine Einführung der Magnetfelddarstellung durch Feldlinien vorgenommen werden, wenn sie nicht bereits in Themenfeld 4 zur Thematisierung der berührungslosen Wechselwirkung erfolgt ist. Was sich abweichend von der klassischen Behandlung anbietet, ist die Definition der Induktionsspannung in folgender Weise:

„Spannung wird in eine Spule induziert, wenn sich die Zahl der Feldlinien ändert, die sie durchdringen.“ Beispiele zur Verwendung dieses didaktischen Ansatzes finden sich z. B. bei http://www.physikdidaktik.uni-osnabrueck.de/forschung/aktuelle_projekte/elektromagnetische_induktion.html.

Die einzelnen Einheiten der Unterrichtseinheit könnten folgende sein:

Zerlegen eines Generators und Identifizieren der wesentlichen Bauteile

- Identifizieren der wesentlichen Bauteile (Magnet und Spule) eines Generators, evtl. mit einer handbetriebenen Lampe als Einstieg.

Experimente mit Magnet und Spule zur Induktion

- Hier sind übliche Schülerexperimente mit Spulen verschiedener Windungszahl, Stabmagneten und Messgeräten durchführbar. Ob man den Einfluss des Eisenkerns in den Schülerexperimenten danach als Erweiterung und Demonstration oder gar nicht thematisiert, ist offen.
- Auch hier ist es möglicherweise sinnvoll, wie schon bei den vorangegangenen Spannungsmessungen, Stromkreise aufzubauen und an diesen ein Spannungsmessgerät anzuschließen, statt das Voltmeter direkt an die Anschlüsse der Spule zu stecken (hier wäre der Aufbau der gleiche, als wenn man die Stromstärke misst, was später bei der Messung der Stromstärke zu Fehlvorstellungen führen kann).

- Es bietet sich an, im Rahmen der Differenzierung, aber auch für eine zielgerichtete Erarbeitung Handlungen vorzugeben, z. B. „Magnet in Spule mit verschiedener
 - Richtung,
 - Polung,
 - Geschwindigkeit
 einführen“. Oft wird – mit geringem Erkenntnisgewinn – der Magnet irgendwo an der Spule vorbei bewegt.

- Es hat sich auch bewährt, Leitfragen und konkrete Notizen zur Beobachtung vorzugeben: „Notiere, ...
 - ... wie man die Spannung erhöhen kann.“
 - ... wie man das Vorzeichen der Spannung umkehren kann.“

- Darstellung des Magnetfelds zur Verdeutlichung des Funktionsprinzips eines Generators
 - Die Darstellung des Magnetfelds mit Feldlinien kann hier didaktisch gewinnbringend verwendet werden, um zu zeigen, dass sich bei der Induktion stets die Zahl der Feldlinien ändert, die die Spule durchdringt. Das reduziert die verschiedenen Fälle auf ein einfaches Prinzip und zeigt dadurch die Vorteile einer Abstraktion.
 - Die Einführung der Feldliniendarstellung kann z. B. im Schülerversuch durchgeführt werden. Man gibt Stabmagnete und kleine transparente Kompanen aus, wie sie sich in vielen Sammlungen befinden. Der Arbeitsauftrag lautet: „Legt den Magnet auf ein Blatt Papier und markiert seine Position. Führt den Kompass um den Magnet herum und beobachtet die Stellung der Kompassnadel, zeichnet dann diese Stellung an 5 verschiedenen Positionen ein.“ Nach der Verbindung der Positionen können die Feldlinien als Modelldarstellung für die Magnetfeldstärke eingeführt und eingeübt werden. Falls das bereits in Themenfeld 4 geschehen ist, erfolgt hier eine Reaktivierung (z. B. als Hausaufgabe).
 - Das Einzeichnen der Feldlinien bei den experimentellen Beobachtungen (Magnet wird in Spule eingeführt) zeigt, dass sich die Änderung der Zahl der Feldlinien durch die Spule eine Induktionsspannung zur Folge haben. Das kann auch in einem vereinfachten Generatormodell dargestellt werden.
 - Je nach beabsichtigtem Grad der Durchdringung/Differenzierung kann hier z. B. das Prinzip der Wechselspannungserzeugung thematisiert werden.

In jedem Fall sollten die hier gewonnenen Erkenntnisse abschließend auf die bisherigen Unterrichtsgegenstände des Unterrichtsgangs zum Themenfeld angewendet werden. Dazu können z. B. die Begriffe des folgenden Satzes nochmals wiederholend erläutert werden:

In einem Kraftwerk gibt es einen **Generator**, der eine **Potenzialdifferenz** mittels **Induktion** erzeugt, um **Energietransport** zu unseren Haushalten und **Elektrizitätstransport** zwischen ihnen und den Kraftwerken zu ermöglichen.

LITERATURVERZEICHNIS

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

Härtel, H. (2012): Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, S. 17.

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

Koller, D.; Waltner, Ch.; Wiesner, H. (2008): Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. In: Praxis der Naturwissenschaften, 6/57, September 2008, S. 6.

Müller, R. (2012): Was ist Spannung? In: Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule 5/61, Juli 2012, 5.

Neumann, K; Viering, T; Boone, W.J.; Fischer, H.E. (2013): Towards a learning progression of energy. In: Journal of Research in Science Teaching 50, N° 2, S. 162-188.

Rincke, Karsten (2015): (Elektrische) Energie – Unterrichten zu einem schwierigen Begriff mit großer Bedeutung. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 26. Jahrgang, Heft 146, S. 2-10.

Späth, Sebastian (2009): Einführung in die Elektrizität. http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/einf_elektrizitaet/konzept.zip.

Wilhelm, Th. (2015): Moment mal...(18): Elektronen als Energieträger?. In: Naturwissenschaften Physik in der Schule 6/64, September 2015, S. 47-49.

Wilhelm, Th. (2015): Kapitel 14: Elektrizitätslehre. In: Ausgewählte Probleme der Didaktik der Physik für LA Gym. <http://www-4.physik.uni-augsburg.de/did/downloads/scripts/physikdidaktik/gymnasium/alles.pdf>.

Alle genannten Links: letzter Zugriff November 2015

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

Integrierte Gesamtschule Mainz-Hechtsheim, 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

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



Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

Butenschönstr. 2
67346 Speyer

pl@pl.rlp.de
www.pl.rlp.de