

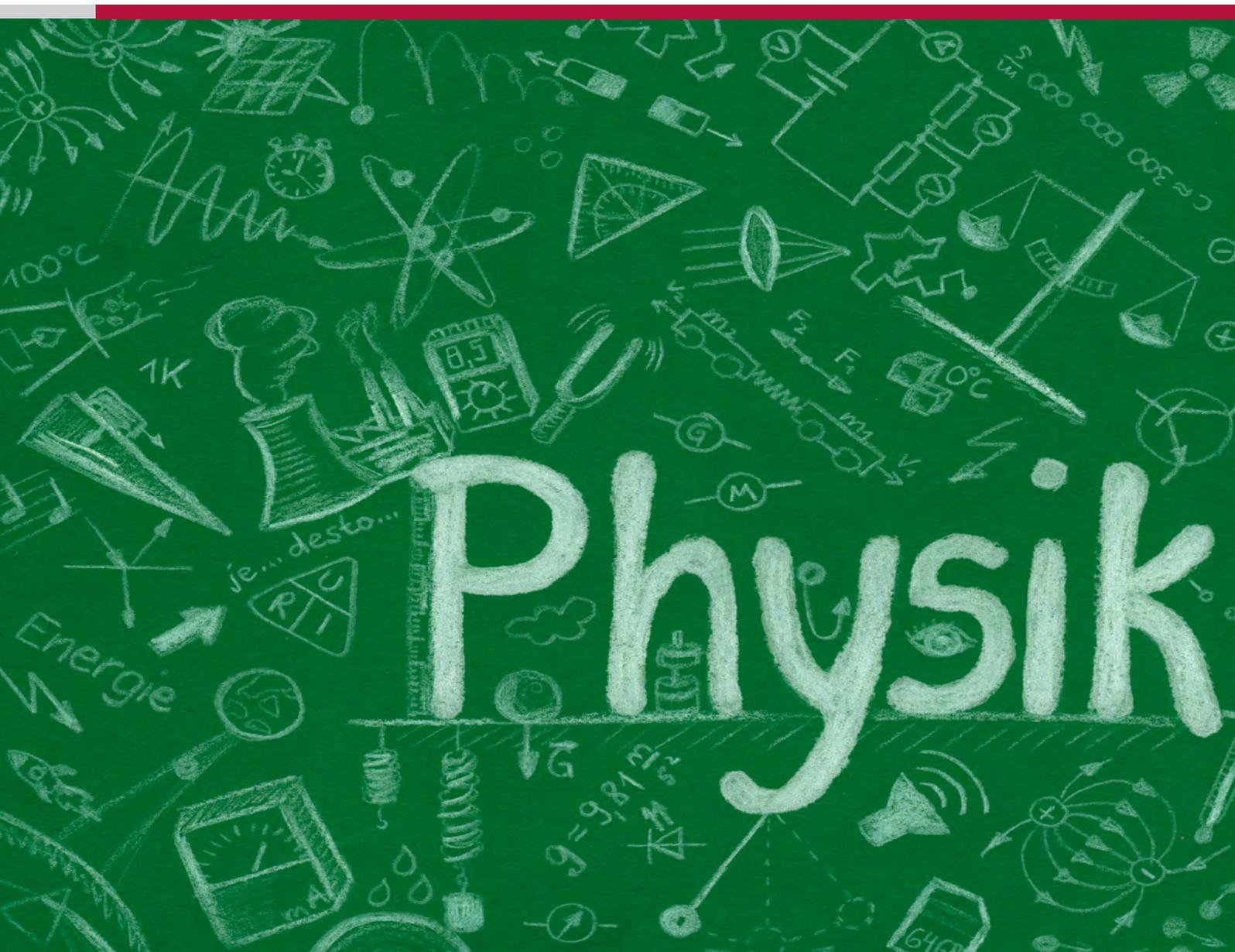


Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES  
LANDESINSTITUT

# ENERGIEBILANZEN UND WIRKUNGSGRADE – MASCHINEN IM BASISKONZEPT ENERGIE

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Physik – Themenfeld 10



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

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

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

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

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

---

# IMPRESSUM

## **Herausgeber:**

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

## **Redaktion:**

Benjamin Hinkeldey, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Skriptbearbeitung:**

Corina Blumenröder-Zimmer, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

## **Titelbild:**

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Juli 2018

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2018

ISSN 2190-9148

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

# INHALT

<b>1</b>	<b>Themenfeld 10: Energiebilanzen und Wirkungsgrade – Maschinen im Basiskonzept Energie</b>	<b>3</b>
1.1	Überblick über das zehnte Themenfeld	3
1.2	Die Themenfeld-Doppelseite	4
1.3	Vom Themenfeld zur Unterrichtsplanung	6
1.3.1	Intention	6
1.3.2	Kompetenzen	6
1.3.3	Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe	7
1.3.4	Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung	7
1.3.5	Differenzierungsmöglichkeiten	8
1.3.6	Bezüge	8
1.4	„Der rote Faden“ – Themenfeld 10 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern	10
1.5	Didaktische Anmerkungen	12
<b>2</b>	<b>Unterrichtsbeispiele</b>	<b>25</b>
2.1	Vorüberlegungen	25
2.2	Vorschläge für Unterrichtsgänge	28
2.2.1	Unterrichtsgang 1: Energie am Aufzug	28
2.2.2	Unterrichtsgang 2: Maschinen im Wandel der Zeit	57
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>66</b>
	<b>Autorinnen und Autoren</b>	<b>67</b>



# 1 THEMENFELD 10: ENERGIEBILANZEN UND WIRKUNGSGRAD – MASCHINEN IM BASISKONZEPT ENERGIE

## 1.1 Überblick über das zehnte Themenfeld

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

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

Das zehnte Themenfeld bietet im Rahmen des spiralig angelegten Curriculums die Möglichkeit, Inhalte aus den Themenfeldern 4, 6, 8 und 9 wieder aufzugreifen und bei der Betrachtung von Maschinen unter energetischen Gesichtspunkten sowohl Aspekte der Mechanik, der Thermodynamik und der Elektrizitätslehre zu reaktivieren und zu vertiefen. Zudem führt die Betrachtung von Wirkungsgraden unmittelbar zur Auseinandersetzung mit der effizienten Energienutzung und Energiebereitstellung und rückt damit Fragen von hoher gesellschaftlicher Relevanz und Zukunftsbedeutung ins Blickfeld.

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

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen werden die in dieser PL-Information vorgestellten Materialien (z. B. Arbeitsblätter) nicht 1:1 abgedruckt. Handreichung und Materialien (in editierbarer Form) stehen deshalb zum kostenlosen Download auf dem Bildungsserver Rheinland-Pfalz bereit unter: <https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/physik/unterricht.html>

## 1.2 Die Themenfeld-Doppelseite

### TF 10: Energiebilanzen und Wirkungsgrade Maschinen im Basiskonzept Energie

Maschinen erleichtern und beeinflussen unseren Alltag. Bereits im NaWi-Unterricht wurde dies mit den Schwerpunkten Kompartimentierung, elektrische Stromkreise und Getriebe thematisiert. Im Themenfeld 4 wurde die Kraft als physikalische Größe in dynamischen Zusammenhängen eingeführt und in statischen Zusammenhängen gemessen. Die Energie ist als physikalische Größe bereits aus NaWi bekannt, Energieflussdiagramme wurden vielfältig genutzt. Im Themenfeld 6 wurde Leistung als pro Zeiteinheit fließende Energie eingeführt.

Hier im Themenfeld 10 erfolgt eine weitere Ausschärfung der Begriffe Energie und Kraft. Energieerhaltung wird als nie widerlegte Erfahrung verwendet. Der Wirkungsgrad wird als Größe zur Beschreibung der energetischen Effizienz von Maschinen eingeführt. Seine Erhöhung spielt eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung und Optimierung von Geräten sowie beim Versuch, Energieverluste zu minimieren. Der Zusammenhang  $\Delta E = P \cdot \Delta t = F \cdot \Delta s$  bildet die Grundlage zur Beschreibung der Funktion einfacher Maschinen.

Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Vorgänge mit Hilfe von Energieflussdiagrammen, ermitteln Wirkungsgrade als Quotient aus genutzter und aufgewendeter Energie und nutzen den oben genannten Formelzusammenhang für Berechnungen. Sie experimentieren mit einfachen Maschinen (z. B. Flaschenzug) und berechnen Wirkungsgrade komplizierterer Maschinen (z. B. Elektromotor).

#### Kompetenzen:

Die Schülerinnen und Schüler

- nutzen gegebene oder erarbeitete Formeln zum Aufstellen von Energiebilanzen, zum Treffen von Vorhersagen und zur Berechnung von Wirkungsgraden,
- nutzen Energieflussdiagramme zur Darstellung von Energieumladungen,
- bewerten den sinnvollen Einsatz von Maschinen unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades,
- bewerten das Optimieren von Maschinen unter praktischen und energetischen Gesichtspunkten.

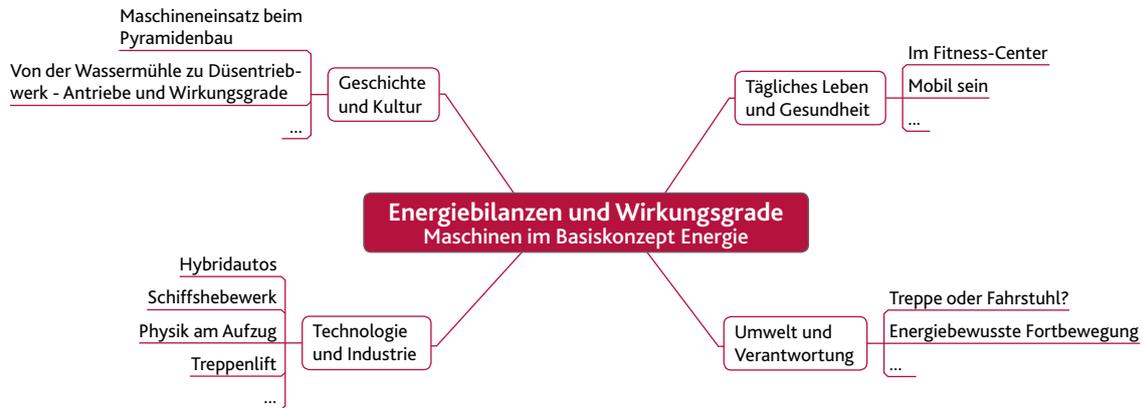
#### Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:

- Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, d. h. die Gesamtenergie bleibt konstant. (E)
- Bei der Nutzung von Energie wird meistens der Träger gewechselt (z. B. Generator, Verbrennungsmotor, Elektromotor, Solarzelle). (E)
- Energie ist immer gekoppelt an Objekte (z. B. Körper, Stoffe, aber auch Teilchen, Felder). Mittels daran gemessener physikalischer Größen kann man ihren Wert indirekt bestimmen. (E)
- Vorhersagen über Größen sowie die Herleitung von Zusammenhängen sind möglich über das Aufstellen von Energiebilanzen. (E)
- Der Wirkungsgrad gibt an, welcher Anteil der Energie auf den gewünschten Träger wechselt. Die Optimierung des Wirkungsgrades und die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe tragen zur Nachhaltigkeit bei. (E)

#### Fachbegriffe:

Energie  
Wirkungsgrad

**Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:**



**Differenzierungsmöglichkeiten:**

Die Erarbeitung der aufgeführten Inhalte erfolgt an einfachen realen Beispielen, die Berechnung der aufgewendeten und der genutzten Energie sowie des Wirkungsgrades mittels vorgegebener Formeln. Lose Rolle und Flaschenzug können zum einen unter dem Aspekt der Idealisierung (Energieerhaltung) betrachtet werden, zum anderen als reale Maschinen (Wirkungsgrad <1). Kräfte und Wege können einfach gemessen, die aufgewendete und die genutzte Energie daraus berechnet werden.

Komplexere Beispiele ergeben sich je nach gewähltem Kontext. Durch das Erstellen von Energiebilanzen unter Nutzung des Energieerhaltungssatzes können Vorhersagen für den Wert einzelner Größen getroffen werden. Einzelne Formeln können auch hergeleitet, verschiedene einfache Maschinen vergleichend betrachtet werden.

**Bezüge:**

**NaWi**

TF 6 Maschinen, Energie

**Biologie**

TF 3 Energieträger Glukose  
 TF 4 Fotosynthese  
 TF 5 Energiefluss im Ökosystem, Trophiestufen, Wirkungsgrad  
 TF 8 Energieerhaltung, Energiebilanzen

**Chemie**

TF 3 Verbrennungsreaktionen, Energieträgerwechsel  
 TF 8 Wirkungsgrad bei industriellen Verfahren  
 TF 11 fossile Brennstoffe  
 TF 12 Batterien und Akkus

**Physik**

TF 4 Kraft  
 TF 6 Leistung als pro Zeiteinheit fließende Energie  
 TF 11 Maschinen optimieren mit Sensoren

Abb. 1: Auszug aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Physik“, S. 118/119

## 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** „Energiebilanzen und Wirkungsgrade – Maschinen im Basiskonzept Energie“ liefert eine fachsystematische Einordnung und gibt Aufschluss darüber, welches Basiskonzept schwerpunktmäßig weiterentwickelt werden soll. Inhaltlich können Maschinen verschiedenster Art betrachtet werden, wobei der Schwerpunkt auf dem Aspekt der Energie und auf der Betrachtung der Energiebilanzen sowie des Wirkungsgrades der jeweiligen Maschinen liegt.

### 1.3.1 Intention

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

Der zentrale Aspekt dieses Themenfeldes ist die Betrachtung von Maschinen unter dem Aspekt „Energie“. Dabei bietet sich z. B. bei der Behandlung der „einfachen Maschinen“ wie Hebel und Flaschenzug die Möglichkeit einer Ausschärfung und Differenzierung der beiden Größen „Energie“ und „Kraft“. Im Zusammenhang mit der Betrachtung der Effizienz von Maschinen stellt sich die Frage, welcher Anteil der eingesetzten Energie für den gewünschten Vorgang bzw. Effekt zur Verfügung steht. Bei der näheren Untersuchung dieser Fragestellung wird man zum einen auf die unerwünschte Energieabgabe aufgrund von Reibung zu sprechen kommen, zum anderen sollten jedoch auch physikalisch bedingte Grenzen des Wirkungsgrades wie z. B. der Carnot-Faktor bei thermodynamischen Maschinen thematisiert werden.

Ausgangspunkt für diese Untersuchungen können sowohl eher technisch orientierte als auch historisch orientierte Fragestellungen sein. Diese Handreichung bietet mit „Energie am Aufzug“ und „Maschinen im Wandel der Zeit“ dazu je einen beispielhaft skizzierten Unterrichtsgang.

### 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 10 werden Beiträge insbesondere zur Weiterentwicklung der Kompetenzbereiche „Umgang mit Fachwissen“ und „Bewertung“ geleistet.

Die Schülerinnen und Schüler können in Themenfeld 10 ihre Kompetenzen im Bereich des Umgangs mit Fachwissen weiterentwickeln, wenn sie mit Hilfe von gegebenen oder erarbeiteten Formeln Energiebilanzen aufstellen, Vorhersagen treffen oder Wirkungsgrade berechnen. Auch bei der Darstellung von Energieumladungen mit Hilfe von Energieflussdiagrammen greifen sie erworbenes Fachwissen auf und nutzen dieses zur Erklärung von Vorgängen.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse und Darstellungen haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, den sinnvollen Einsatz von Maschinen oder aber auch die Möglichkeiten der Optimierung unter energetischen Aspekten zu bewerten.

### 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 10 zielt schwerpunktmäßig auf die Entwicklung des Basiskonzeptes Energie ab. Dabei werden die in den vorangegangenen Themenfeldern bereits erarbeiteten Aspekte wieder aufgegriffen und gefestigt. Grundlage aller Betrachtungen und Berechnungen ist die Energieerhaltung. Im Zusammenhang mit der Nutzung von Energie ist meistens ein Wechsel des Energieträgers zu beobachten. Die Schülerinnen und Schüler haben bereits in den Themenfeldern 4, 8 und 9 in Bezug auf mechanische, elektrische und thermische Energietransporte erfahren, dass eine Messung der Energie auf direktem Wege nicht möglich ist, sondern dass die Bestimmung der Energie indirekt über die Messung (und rechnerische Verknüpfung) mehrerer für die Art des jeweiligen Energietransports charakteristischer Messgrößen erfolgt. Dieses Vorwissen wird nun bei der Ermittlung von Wirkungsgraden wieder herangezogen.

Das Themenfeld bietet erneut und in besonderem Maße die Gelegenheit, die Universalität des Energiebegriffs sowie den Aspekt der Energieerhaltung herauszustellen. Egal, ob die Energie elektrisch, mechanisch, thermisch oder auf anderem Wege transportiert oder gespeichert wird, es handelt sich immer um die gleiche physikalische Größe, die immer in der gleichen Einheit gemessen wird. Bei der Nutzung kann keine Energie verloren gehen, sondern es kann lediglich ein bestimmter Anteil der „angelieferten“ Energie für den gewünschten Zweck genutzt werden, der Rest der Energie wird ungenutzt auf anderem Weg abgegeben.

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 zehnte Themenfeld kontextuell angebunden werden kann. Weder die Abdeckung der vier Äste der Mindmap noch die Umsetzung dort aufgeführter Kontexte sind verbindlich. Sie sollen lediglich die Vielfalt der Möglichkeiten aufzeigen und entsprechende Anregungen geben.

Bei der Wahl geeigneter Kontexte für die eigene Unterrichtsplanung sollten neben individuellen Interessen der Lernenden auch schulische Besonderheiten beachtet werden:

- fächerverbindende oder integrierte Lernangebote (z. B. Biologie),
- Möglichkeit für Projekte, z. B. im Ganztagsunterricht,
- Zusammenarbeit mit nicht-naturwissenschaftlichen Fächern oder 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 macht deutlich, dass ein Grundverständnis bereits durch die Betrachtung an „einfachen Maschinen“ erreicht werden kann. Dabei stehen nicht die Erarbeitung bzw. Herleitung der Formeln im Vordergrund, sondern die Betrachtung und der Vergleich von aufgewendeter und genutzter Energie. Um diesem gewünschten Schwerpunkt mehr Zeit zu geben, können benötigte Formeln den Schülern vorgegeben werden (z. B. „Kraft mal Weg“ für die mechanisch umgesetzte Energie). Durch Messungen an realen Maschinen (z. B. Hebel, Flaschenzug) kann gezeigt werden, dass nur ein Teil der Energie tatsächlich genutzt werden kann. Der Wirkungsgrad kann bestimmt und Möglichkeiten zur Optimierung der Maschinen können diskutiert werden.

Im zweiten Abschnitt wird aufgezeigt, dass für eine Vertiefung verschiedene Möglichkeiten sowohl hinsichtlich mathematischer als auch experimenteller Schwerpunktsetzung bestehen. So können Energiebilanzen aufgestellt und im Blick auf den Wert bestimmter Größen umgeformt werden, oder aber es werden exemplarisch Formeln hergeleitet oder vergleichende Betrachtungen angestellt.

### 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 10 des Physiklehrplans inhaltliche Verbindungen zu Themenfeld 6 des NaWi-Lehrplans, zu den Themenfeldern 3, 4, 5 und 8 des Biologielehrplans, zu den Themenfeldern 3, 8, 11 und 12 des Chemielehrplans und zu den Themenfeldern 4, 6 und 11 des vorliegenden Physiklehrplans aufweist.

Im NaWi-Unterricht der Orientierungsstufe haben die Schülerinnen und Schüler in Themenfeld 6 bei der Untersuchung von Geräten und Maschinen im Alltag auch energetische Aspekte betrachtet.

In der Biologie werden mit dem Energieträger Glukose in Themenfeld 3, der Fotosynthese in Themenfeld 4, dem Energiefluss im Ökosystem in Themenfeld 5 sowie Energieerhaltung und Energiebilanzen in Themenfeld 8 ebenfalls energetische Fragestellungen behandelt.

Bei der Betrachtung von Verbrennungsreaktionen in Themenfeld 3, beim Wirkungsgrad in Themenfeld 8, fossilen Brennstoffen in Themenfeld 11 oder Batterien und Akkus in Themenfeld 12 werden im Chemieunterricht ebenfalls Fragestellungen im Hinblick auf Energiebilanzen und Wirkungsgrade thematisiert.

Die angegebenen Bezüge zum Physik-Lehrplan machen noch einmal deutlich, dass erste Grundlagen zum Energiebegriff in Themenfeld 4 gelegt wurden. In Themenfeld 6 wurde die Leistung bzw. Energiestromstärke als pro Zeiteinheit fließende Energie eingeführt. Themenfeld 11 bietet eine Vertiefungsmöglichkeit in Bezug auf die Nutzung von Sensoren zur Optimierung von Maschinen. Zu weiteren Bezügen innerhalb der Physik, insbesondere auch unter dem Aspekt der Entwicklung des Basiskonzepts Energie, siehe auch Kapitel 1.4.

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

## 1.4 „Der rote Faden“ – Themenfeld 10 und seine Bezüge zu anderen Themenfeldern

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 weiterentwickelt werden und einzelne Themenfelder jeweils auf unterschiedliche Weise Beiträge zur Entwicklung dieser Basiskonzepte leisten.

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

Basiskonzept verpflichtend ■ Basiskonzept fakultativ |||||

Abb. 2: Entwicklung von Basiskonzepten

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

Das Basiskonzept Energie wurde im vorangegangenen Unterricht schwerpunktmäßig in den Themenfeldern 4, 6, 8 und 9 entwickelt. Dabei wurde in Themenfeld 4 die Energie vor allem im Zusammenhang mit Bewegungsvorgängen betrachtet. In Themenfeld 6 haben sich die Lernenden mit dem Transport und den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Energie befasst. Dabei stand neben dem Transport von Energie auf dem Träger Elektrizität auch die Umladung der Energie auf andere Träger in verschiedenen Elektrogeräten im Zentrum der Betrachtung. Auch im Umgang mit den Einheiten für die Energie sowie für die Energiestromstärke (Leistung) sollte eine gewisse Vertrautheit erreicht worden sein. Die Betrachtung thermischer Energieströme in Themenfeld 8 leistete weitere Beiträge zur Entwicklung des Basiskonzepts Energie.

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

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

Bezogen auf das Themenfeld 10 zeigt die folgende Darstellung noch einmal auf, wie das Basiskonzept zur Erklärung der Beobachtungen und Messungen an einfachen und komplexeren Maschinen sowie zur Beantwortung der damit zusammenhängenden Fragen beiträgt.

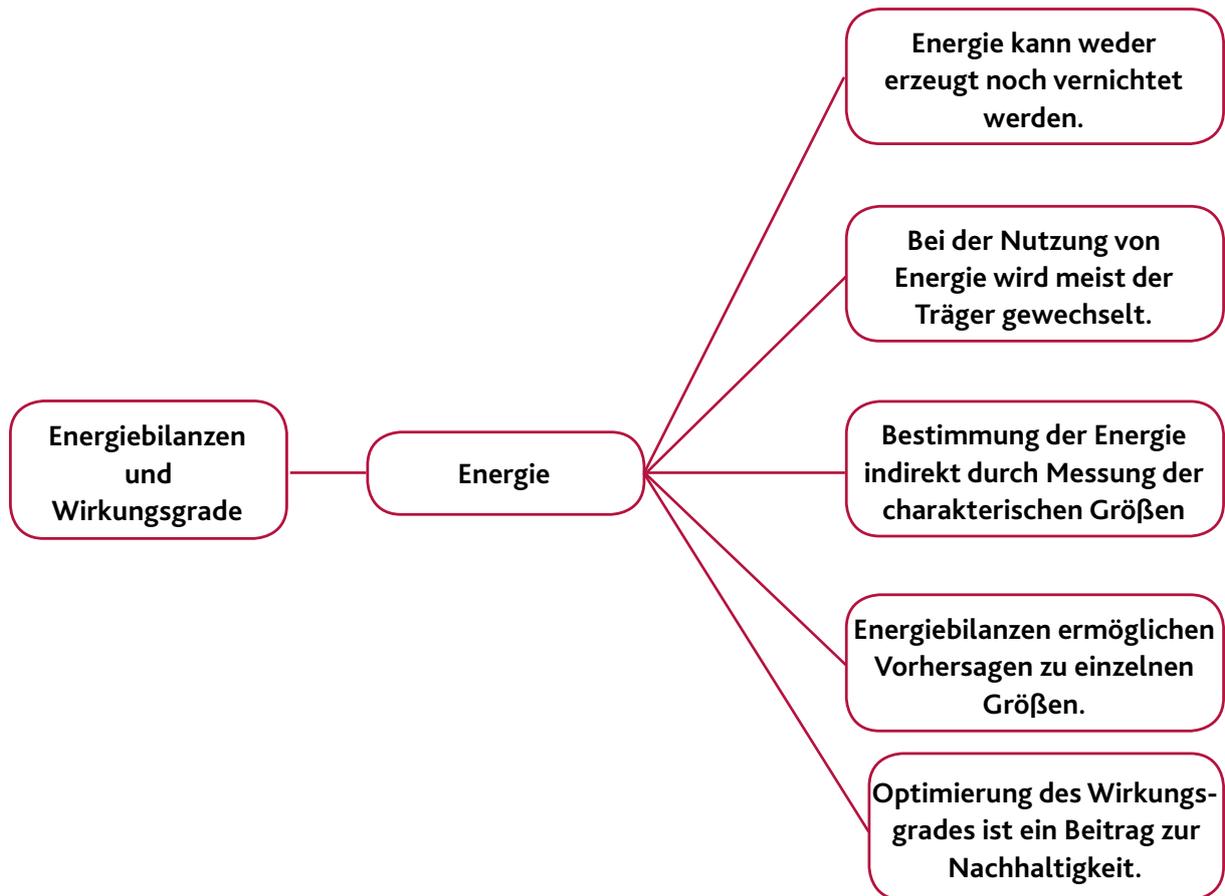


Abb. 3: Energiebilanzen und Wirkungsgrade – Basiskonzepte

## 1.5 Didaktische Anmerkungen

### Bemerkungen zum Begriff „Wirkungsgrad“

Betrachtet man eine Maschine unter energetischen Gesichtspunkten, so handelt es sich dabei vom Grundsatz her um ein Gerät, mit dessen Hilfe man Energie für einen bestimmten Zweck nutzt. In den meisten Fällen ist es dabei so, dass nur ein Teil der zugeführten Energie für den gewünschten Zweck eingesetzt werden kann. Da Energie eine Erhaltungsgröße ist, kann die restliche Energie nicht verschwunden sein, sie steht für die Anwendung jedoch nicht zur Verfügung. Dieser Anteil kann größer oder weniger groß ausfallen. (Abbildungen 4a und b)

Insgesamt kann aber nur so viel Energie abgegeben werden, wie auch anfangs zugeführt wird. In der Darstellung wird dies durch die Dicke der Pfeile verdeutlicht. Das Verhältnis von genutzter Energie zu zugeführter Energie entspricht dem Wirkungsgrad  $\eta$ . Bei der in Abbildung 4b dargestellten Maschine wäre dieser kleiner als bei der Maschine aus Abbildung 4a.

In manchen Schulbüchern taucht in diesem Zusammenhang der Begriff der „Energieentwertung“ auf. Der Begriff erscheint u. a. schon deshalb problematisch, weil es keine physikalische Größe für den Wert der Energie gibt. Unterrichtet man nach dem vorgeschlagenen Konzept, so kann auf diesen Begriff jedoch ganz verzichtet werden. Es wird jeweils die gesamte am Prozess beteiligte Energie betrachtet – und diese bleibt immer konstant.

Beschreibt man die Zusammenhänge im Energieträgerkonzept, so ist die genutzte Energie die Energie auf einem gewünschten Träger. Die nicht genutzte Energie verlässt das Gerät auf einem unerwünschten Träger. (Abbildung 4c)

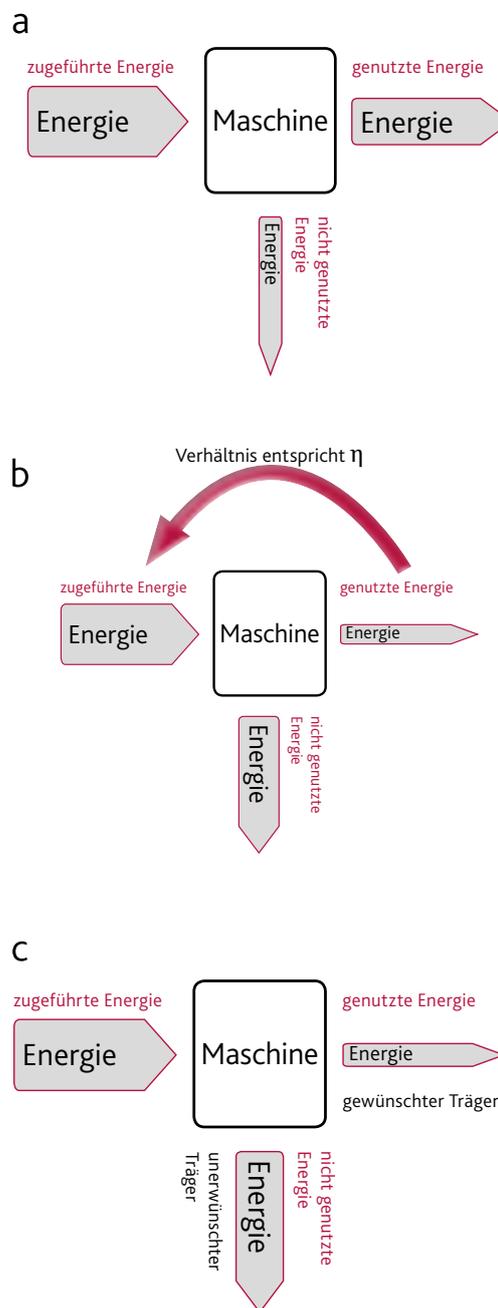


Abb. 4: Energieflussdiagramm realer Maschinen

### **Die Rolle der „einfachen Maschinen“ in Bezug auf dieses Themenfeld**

Betrachtet man die „einfachen Maschinen“ unter energetischem Aspekt, so stehen bei dieser Schwerpunktsetzung die mechanisch umgesetzte Energie und damit die zurückgelegten Wege sowie die wirkenden Kräfte im Mittelpunkt. Traditionelle Schwerpunkte, wie z. B. das Drehmoment (typischerweise etwa bei der Behandlung des Hebels über die Betrachtung der Länge der Hebelarme eingeführt), spielen dabei keine Rolle. Es ergibt sich also ein gegenüber dem früheren Vorgehen stark verändertes Unterrichtskonzept.

Das Basiskonzept Energie und damit der Energieerhaltungssatz sind den Lernenden bereits vertraut. Die allgemeine Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes, angewandt auf die in idealisierter Betrachtung als reibungsfrei angenommene Maschine, führt unmittelbar zur goldenen Regel der Mechanik: Das Produkt aus Kraft und Weg muss (bei vorausgesetzter Kollinearität) immer den gleichen Wert haben. Ausgehend von dieser Voraussetzung können die Schülerinnen und Schüler z. B. verschiedene Vorrichtungen „erfinden“, bei denen Energie mit Einsatz geringer, mittlerer oder großer Kraft vom Punkt 1 zum Punkt 2 transportiert wird (vergleiche Abbildung 5).

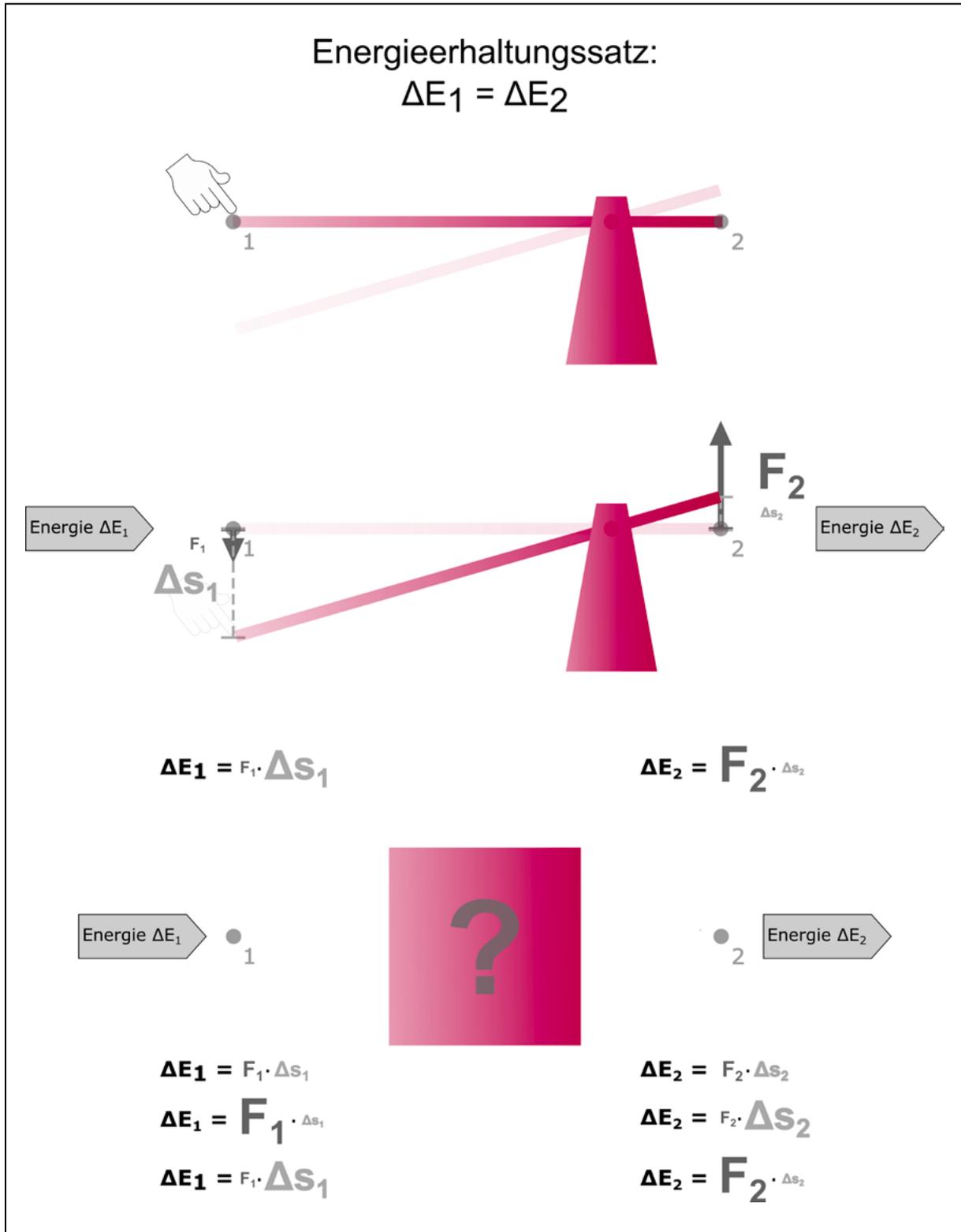


Abb. 5: Goldene Regel der Mechanik (nach Leisen, Josef)

## Die Rolle der Reibung bei mechanischen Vorgängen

Bei den sogenannten „einfachen Maschinen“ wird die Energie mechanisch geliefert und mechanisch genutzt, Es findet also kein Trägerwechsel statt. Doch auch wenn kein Trägerwechsel stattfindet, ist der Wirkungsgrad realer Maschinen kleiner als 1 (bzw. 100 %), denn die Apparatur erwärmt sich – in der Sprache der Mechanik heißt das: Es tritt Reibung auf. Die dabei erzeugte Entropie trägt einen Teil der zugeführten Energie in die Umgebung. Mit Hilfe einer Infrarot-Kamera kann diese Erwärmung z. B. an einem Flaschenzug (Abbildung 6) demonstriert werden. Mechanisch aufgewendete und mechanisch abgegebene Energie können einfach berechnet und damit der Wirkungsgrad bestimmt werden.



Abb. 6: Reibung beim Flaschenzug

Anmerkung: Unter dem Aspekt des fehlenden Trägerwechsels ist die Situation bei „einfachen Maschinen“ ähnlich wie beim elektrischen Transformator. Auch bei letzterem soll die Energie auf dem gleichen Träger genutzt werden, auf dem sie geliefert wird, und auch hier ist der Wirkungsgrad wegen der Erwärmung kleiner als 1. Man kann daher die „einfachen Maschinen“ im Grunde genommen wie „Kraft-Transformatoren“ behandeln.

## Den Begriff Wirkungsgrad „be-greifbar“ machen

Um das Verständnis für die Bedeutung des Wirkungsgrades zu unterstützen, sind eigene Experimente und vor allem sinnliche Erfahrungen hilfreich. Beim Flaschenzug kann man, wie oben geschildert, leicht zeigen, dass der Wirkungsgrad kleiner ist als 1, doch ist die Wahrnehmung des Unterschieds zwischen eingesetzter und abgegebener Energie aufgrund der unterschiedlich großen Kräfte schwierig. Zudem kann der Eindruck entstehen, dass ein geringer Wirkungsgrad immer Folge von großen Reibungseffekten ist. Es sollte jedoch herausgestellt werden, dass nicht einzig die Reibung Ursache für Wirkungsgrade kleiner als 1 ist, sondern dass es immer um die Frage geht, welcher Anteil der eingesetzten Energie letztendlich für den gewünschten Zweck zur Verfügung steht.

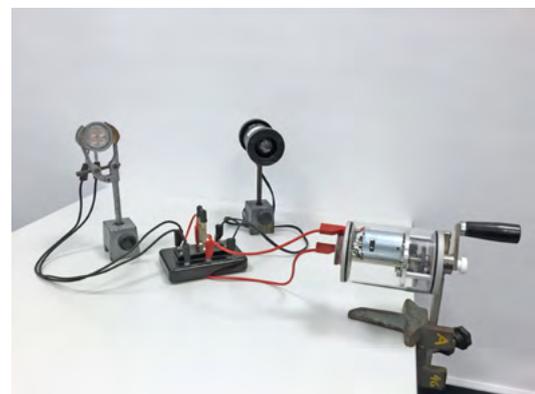


Abb. 7: Experiment zum Wirkungsgrad elektrischer Bauteile

Ein hoher Wirkungsgrad bedeutet also, dass mit Einsatz von möglichst wenig Energie ein bestimmter Zweck erreicht wird. Eindrücklich kann dies mit Hilfe eines Handgenerators und einer Glüh- sowie LED-Lampe erfahrbar gemacht werden (Abbildung 7). Der „gewünschte Zweck“ ist eine Beleuchtung mit vergleichbarer Helligkeit. Über einen Umschalter wird der Handgenerator mit einer LED (z. B. LED-Ersatz für 30 W-Halogenstrahler) sowie mit einer Glühlampe verbunden. Fast mühelos lässt sich durch Kurbeln die LED zum Leuchten bringen – es ist also nur ein geringer Energiestrom nötig. Um hingegen die 30 W-Glühlampe gleich hell leuchten zu lassen, muss die Kurbel mit erheblicher Anstrengung gedreht werden – ein viel höherer Energiestrom wird also für den gleichen Zweck benötigt. Die eigene sinnliche Erfahrung zeigt bei diesem Experiment sehr eindrücklich, wie wichtig es ist, bei der Nutzung von Energie den Aspekt des Wirkungsgrades im Auge zu behalten.

Eine weitere Möglichkeit den Wirkungsgrad anschaulich zu machen, besteht in folgendem Experiment: Zwei Handgeneratoren werden elektrisch miteinander verbunden. An beiden werden gleiche Gewichtsstücke angehängt, wobei einmal der Faden aufgerollt, einmal abgerollt ist. Lässt man das obere Gewichtsstück nun absinken, wird auf dieser Seite die Energie im Generator auf die Elektrizität umgeladen, die den zweiten Generator antreibt, der daraufhin das dort angehängte Gewichtsstück anhebt (Abbildung 8). Da der Wirkungsgrad insgesamt kleiner als 1 ist, wird das zweite Gewichtsstück nicht bis auf die Anfangshöhe des ersten angehoben. Aus der Differenz der Höhen lässt sich der Wirkungsgrad abschätzen.



Abb. 8: Wirkungsgrad anschaulich

Anmerkung: Die verwendeten Gewichtsstücke müssen ausreichend schwer sein, damit der mechanische „Anlauf-Widerstand“ der Handgeneratoren überwunden wird. Das Experiment eignet sich auch für eine Darstellung mit Hilfe von Energieflussdiagrammen.

## Die Rolle des Wirkungsgrades bei der Bewertung verschiedener Beispiele von Energienutzung

Ein Ziel des Unterrichts zu diesem Themenfeld sollte darin liegen, die Lernenden für einen nachhaltigen Umgang mit Energie zu sensibilisieren. In diesem Zusammenhang sollte auch an geeigneten Beispielen deutlich gemacht werden, dass die alleinige Betrachtung des Wirkungsgrades für eine Bewertung hinsichtlich der Nachhaltigkeit nicht ausreicht.

Betrachtet man verschiedene Möglichkeiten zur Bereitstellung von Energie, so stellt man beispielsweise fest, dass Solarzellen einen verhältnismäßig niedrigen Wirkungsgrad haben (für gebräuchliche Solarzellen liegt dieser bei ca. 10-15 %), während der Wirkungsgrad eines Kohlekraftwerks mit ca. 30 % zwei- bis dreimal so hoch ist. Unter dem Aspekt des Wirkungsgrades müsste also die Entscheidung eindeutig für das Kohlekraftwerk fallen. Zieht man jedoch in Betracht, dass eine Solarzelle Energie aus dem kostenlos von der Sonne gelieferten Energiestrom auskoppelt, ein Kohlekraftwerk hingegen den Einsatz fossiler Ressourcen erfordert, so ergibt sich eine andere Bewertungsgrundlage. Zieht man weitere Faktoren wie z. B. die Gesamtenergiebilanz (zur Produktion, Instandhaltung und zur Entsorgung notwendige Energie) hinzu, so kann sich die Bewertungsgrundlage nochmals verändern.

Auch die Nutzung von Energie im Haushalt, z. B. beim Erwärmen von Wasser, kann Gegenstand der Bewertung sein. Verglichen wird das Erwärmen der gleichen Wassermenge um die gleiche Temperaturdifferenz, einmal mit einem elektrischen Wasserkocher und einmal mittels Gas (Abbildung 9). Betrachtet man einen Wasserkocher, so scheint er zumindest auf den ersten Blick sehr effektiv – nahezu alle Energie fließt offenbar in das Wasser. Demgegenüber stellt man fest, dass der Wirkungsgrad beim Erwärmen mit Gas geringer sein muss, denn man spürt deutlich, dass hier auch viel Energie zur Erwärmung der Umgebung beiträgt.



Abb. 9: Wirkungsgrad im Haushalt

Für beide Vorgänge können die Wirkungsgrade experimentell bestimmt werden: Beim Wasserkocher geht das recht einfach mit Hilfe eines dazwischengeschalteten digitalen Energiemessgerätes oder aber „klassisch“ durch Messung von Stromstärke, Spannung und Zeit. Erwärmt man das Wasser mit Hilfe eines Gaskartuschenbrenners, kann durch Wägung die für das Erwärmen des Wassers notwendige Gasmenge bestimmt und mit Hilfe der Angabe aus der Brennwerttabelle die eingesetzte Energiemenge berechnet werden.

Es zeigt sich: Ein Wasserkocher hat einen deutlich höheren Wirkungsgrad als ein Gaskocher. Die Entscheidung scheint auf den ersten Blick eindeutig. Betrachtet man jedoch die Tatsache, dass die Energie für den Wasserkocher etwa durch ein Kohlekraftwerk bereitgestellt wird, so wird der Gesamtwirkungsgrad beim Wasserkocher deutlich schlechter (unter 30 %), so dass der Gaskocher unter Umständen wieder besser abschneidet.

## Physikalische Grenzen der Erhöhung des Wirkungsgrades

Bei der Betrachtung von Optimierungsmöglichkeiten von Automobilantrieben wie z. B. Elektromotor und Ottomotor spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. So ist beim Elektromotor vor allem die Frage nach den Kosten und technischen Möglichkeiten zur Erhöhung des – ohnehin schon beachtlichen – Wirkungsgrades interessant. Beim Verbrennungsmotor hingegen ist es wichtig zu wissen, dass es physikalisch bedingt eine prinzipielle Obergrenze des Wirkungsgrades gibt: den Carnot-Faktor. Diese Grenze kann auch durch keine noch so großen technischen Anstrengungen überschritten werden.

Wenn in Themenfeld 8 die Entropie eingeführt wurde, so kann dieser Faktor mit einfachen mathematischen Mitteln hergeleitet werden:

Für den thermisch übertragenen Energiestrom gilt:  $P_{\text{therm}} = T \cdot I_s$

wobei  $T$  die absolute Temperatur und  $I_s$  die Entropiestromstärke ist. Mit anderen Worten: Ein Entropiestrom der Stärke  $I_s$  trägt einen Energiestrom der Stärke  $T \cdot I_s$ . Je nach Temperatur trägt derselbe Entropiestrom einmal wenig, einmal viel Energie. Der Unterschied liegt in der Temperatur.

Die Nutzung dieses Zusammenhangs in Kombination mit den bereits eingeführten Energieflussdiagrammen ermöglicht eine sehr einfache Herleitung der Formel für den Carnot'schen Wirkungsgrad:

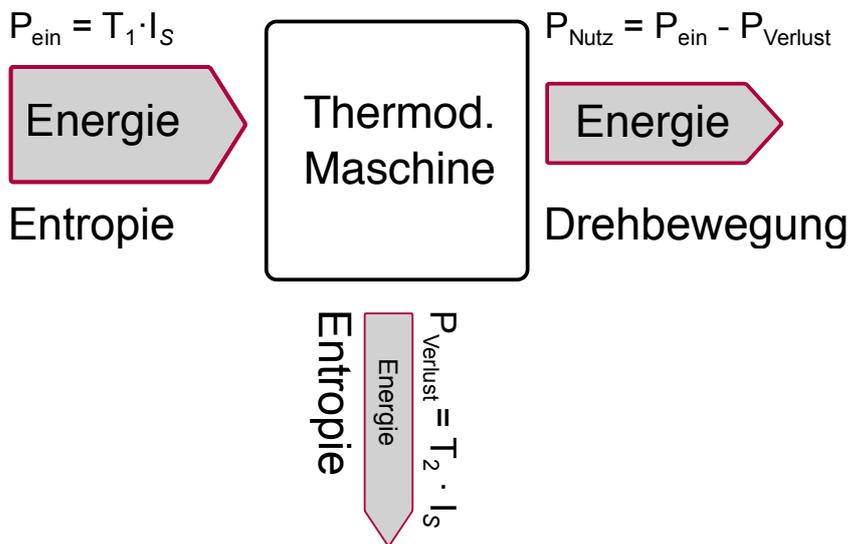


Abb. 10: Energieflussdiagramm einer thermodynamischen Maschine

Bei einer thermodynamischen Maschine (Abbildung 10) wird die Energie auf dem Träger Entropie zugeführt. Da Entropie nicht vernichtet werden kann, muss sie die Maschine wieder verlassen und trägt dabei noch Energie mit sich. Der Wirkungsgrad einer Maschine gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie letztlich genutzt werden kann. Aus dem Flussbild ist ersichtlich, dass der nutzbare Energiestrom maximal so groß sein kann wie die Differenz zwischen dem Energiestrom am Eingang der Maschine und dem Energiestrom, der auf dem Träger Entropie die Maschine wieder verlässt. Für den Wirkungsgrad gilt also:

$$\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Ein}}} = \frac{P_{\text{Ein}} - P_{\text{Verlust}}}{P_{\text{Ein}}} = \frac{T_1 \cdot I_s - T_2 \cdot I_s}{T_1 \cdot I_s} = \frac{(T_1 - T_2) \cdot I_s}{T_1 \cdot I_s} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Dies ist der Carnot'sche Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Er beschreibt den maximal erreichbaren Wirkungsgrad einer thermodynamischen Maschine.

Man erkennt: Der Wirkungsgrad wird umso größer, je kleiner  $T_2$  ist. Er wäre maximal für  $T_2 = 0 \text{ K}$ , d. h. wenn die Entropie auf einem Temperaturniveau von  $0 \text{ K}$  „entsorgt“ werden könnte. Diese Temperatur wird aber nirgendwo in unserer Umgebung erreicht – nicht einmal im Weltraum ist es so kalt. Damit wird deutlich, dass ungeachtet aller denkbaren technischen Fortschritte eine beliebige Steigerung dieses Wirkungsgrades nicht möglich ist und thermodynamische Maschinen daher in Bezug auf die Nutzung der eingesetzten Energie einer physikalisch gegebenen Limitierung unterliegen. Übliche Umgebungstemperaturen auf der Erde liegen im Bereich von  $300 \text{ K}$ , technisch gut beherrschbare Prozesstemperaturen im Bereich  $800 \text{ K}$ , was zu einem Wert von

$$\eta = \frac{800 \text{ K} - 300 \text{ K}}{800 \text{ K}} = \frac{5}{8} = 0,625 \quad \text{führt.}$$

### **Sprechen über Energie: Vorgänge und Sachverhalte konsistent und didaktisch tragfähig beschreiben**

Das zehnte Themenfeld bietet in besonderem Maße die Möglichkeit, die zentrale Rolle des Energiebegriffs für die Physik deutlich werden zu lassen. Das bedeutet zum einen, die Universalität des Begriffes herauszustellen. Dies gelingt, wenn immer wieder (und nicht nur in Themenfeld 10) verschiedene Prozesse, Maschinen, Situationen und Zusammenhänge – seien es mechanische, thermische, elektrische, sei es auf der atomaren Ebene oder auf der Stoffebene – durch die „Energiebrille“ betrachtet werden. Zum anderen bedeutet es, tragfähige Vorstellungen und „Bilder im Kopf“ zu generieren. Dabei sollte deutlich werden, dass Energie immer Energie ist und immer Energie bleibt – d. h. dass es sich in allen Fällen, in denen sich Energie zeigt, immer um die gleiche physikalische Größe handelt, deren Wert auch immer in der gleichen Einheit angegeben werden kann.

Das Ziel ist, auf diese Weise eine Vorstellung von Energie als einer mengenartigen Größe zu entwickeln, die weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Richard Feynman erläutert ihr Wesen an einem Beispiel mit Bauklötzen (vgl. Feynman, 2001, S. 59-60): „*Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Terme, mit denen man je nach Situation ihre Zahl bestimmen kann – aber das Ergebnis ist immer die Zahl der Bauklötze.*“

Hat man eine solche Vorstellung von der Mengenartigkeit sowie der Erhaltung der Energie entwickelt, so erscheint der Begriff der „Umwandlung“ eher sonderbar. Wer würde beim Umschütten von Milch aus einer Tüte in eine Flasche von einer „Umwandlung von Tütenmilch in Flaschenmilch“ sprechen? Als didaktische Konsequenz daraus erscheint es sinnvoll, von vorneherein auf den Begriff der „Energieumwandlung“ bzw. „Energiewandlung“ zu verzichten – suggeriert er doch, dass es sich hinterher um etwas ganz anderes handelt als vorher. Die angestrebte Vorstellungsbildung kann vielmehr dadurch unterstützt werden, dass bei allen Vorgängen jeweils betrachtet wird, wo die Energie herkommt und wo sie hingeht, wo sie vorher war und wo sie hinterher ist und woran ich erkenne, dass die Energie da oder dort ist.

Bei der Formulierung des Basiskonzepts „Energie“ im Lehrplan wurde aus diesem Grund darauf verzichtet, von Energieformen zu sprechen und Vorgänge mit dem Begriff der Energieumwandlung zu beschreiben. Stattdessen wird der Aspekt stärker betont, dass Energie immer gekoppelt ist an Objekte bzw. physikalische Größen und die Energie bei der Übertragung von einem System in ein anderes den „Träger“ wechselt. Der Lehrplan greift damit eine Anregung auf, wie sie auch bei der Neukonzeption der US-amerikanischen Bildungspläne 2012 formuliert wurde:

*„Die Vorstellung der Existenz unterschiedlicher Energieformen, wie thermischer, mechanischer oder chemischer Energie, ist irreführend, da durch sie impliziert wird, die Energie manifestiere sich in jedem dieser Zusammenhänge auf eine ganz bestimmte Art. Auf atomarer Ebene handelt es sich aber letztendlich bei allen genannten Energieformen um eine Mischung von kinetischer Energie, gespeicherter Energie und Strahlung. Genauso irreführend ist es Schall oder Licht als Energieformen zu bezeichnen; beides sind Erscheinungen, die unter anderem die Eigenschaft haben, Energie von einem Ort zum anderen zu transportieren und zwischen Körpern auszutauschen.“*

(National Research Council, 2012, S. 122, Übersetzung der Redaktion)

Die Beschreibung mit Hilfe von Energieformen sowie Energieumwandlungen kann also zu falschen Vorstellungen führen, da sie impliziert, dass es sich um jeweils verschiedene Dinge handelt. Um die Begrifflichkeit „Energieformen“ noch konsequenter zu umgehen, kann man im vorangegangenen Zitat „kinetische Energie“ als „Energie auf dem Träger Impuls“, „gespeicherte Energie“ als „im Feld gespeicherte Energie“ und „Strahlung“ als „über Strahlung transportierte Energie“ lesen. Zur Übertragung von Energie konstatiert der gleiche Lehrplanentwurf an späterer Stelle:

*„Die Gesamtänderung der Energie eines beliebigen Systems ist immer gleich der Summe der zu- oder abfließenden Energiemengen. Man bezeichnet dies als Energieerhaltung. Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden, sie kann aber von einem Ort zum anderen transportiert und zwischen Systemen ausgetauscht werden. Viele verschiedene Phänomene können über den Transport von Energie erklärt werden.“*

(National Research Council, 2012, S. 124, Übersetzung der Redaktion)

Um Vorgänge energetisch zu beschreiben, bieten sich also Begriffe wie Energie-Transport oder Energie-Transfer an.

Wenn bei solchen Energietransporten der Träger gewechselt wird, so kann man sich das anschaulich auch als „Umladung“ von Energie vorstellen. Beispielsweise wird bei einem Windrad die Energie von der bewegten Luft „angeliefert“, „abtransportiert“ wird sie anschließend von der Elektrizität. Um die Entwicklung solcher Vorstellungen zu unterstützen, wird in den Handreichungen die Nutzung von Energieflussdiagrammen vorgeschlagen. Diese machen sowohl den Erhaltungsaspekt von Energie deutlich als auch die Tatsache, dass Energie auf verschiedene Art transportiert werden kann. Sinnvollerweise sollte man als Lehrkraft bei der Beschreibung solcher Vorgänge auf Formulierungen wie „kinetische Energie“ oder „elektrische Energie“ verzichten und stattdessen Beschreibungen wie „Energie der bewegten Luft“ und „elektrisch transportierte Energie“ wählen.



Abb. 11: Energieumladung

### Umgang mit den tradierten Bezeichnungen und Fachbegriffen

Die obigen Ausführungen legen nahe, dass man sich als Lehrkraft nun fragt:

„Aber wie gehe ich mit den ‚klassischen‘ Formulierungen wie z. B. kinetische Energie, elektrische Energie, potenzielle Energie oder auch mit den Fachbegriffen Arbeit und Wärme um? Diese Begriffe werden in vielen Büchern benutzt, und die Schülerinnen und Schüler sollen auch wissen, was damit gemeint ist.“

Diese fachsprachlichen Formulierungen und Fachbegriffe sind nicht falsch, sie sind jedoch ungünstig in Bezug auf das Entwickeln tragfähiger Vorstellungen zur Energie bzw. Energieerhaltung. Fachsprache ist eine hochgradig spezialisierte und kondensierte Sprache, die für Außenstehende (die Lernenden) zunächst schwer verständlich ist. Unter Fachleuten jedoch ermöglicht sie eine schnelle Kommunikation, da sie Begriffe enthält für Dinge oder Sachverhalte, die man sonst langwierig umschreiben müsste. Für den Unterricht bedeutet dies: Sind die Vorstellungen zur Energie erst einmal entwickelt, so können Fachausdrücke durchaus hilfreich sein, um die Kommunikation zu beschleunigen. So ist es natürlich sinnvoll, dass Schülerinnen und Schüler dann auch lernen, dass z. B. die Energie eines bewegten Körpers auch als „kinetische Energie“ bezeichnet wird und mit einer bestimmten Formel berechnet werden kann. Ebenso können sie lernen, dass der physikalische Fachbegriff „(mechanische) Arbeit“ die mechanisch übertragene Energie bezeichnet – und zwar nur während der Übertragung. Gleiches gilt für den physikalischen Fachbegriff „Wärme“, der die thermisch übertragene Energie bezeichnet.

Als Schlussfolgerung aus diesen Überlegungen ergibt sich: Im Mittelpunkt des Unterrichts sollten nicht Begrifflichkeiten und sprachliche Formulierungen stehen, sondern die Entwicklung tragfähiger Vorstellungen. Es ist also zum Beispiel nicht die zentrale Frage, wie man die Energie eines bewegten Körpers bezeichnet, ob man nun „kinetische Energie“ oder „Energie auf dem Träger Impuls“ sagen soll. Wichtiger ist die Erkenntnis: Wenn sich ein Körper bewegt, so hat er Energie.

## Sprechen über Energie: Wo ist die Energie?

In manchen Situationen scheint es nicht so einfach, den Ort der Energie anzugeben. Wie ist das z. B., wenn man eine Kugel hochhebt? Die Bezeichnung ist ja noch klar – man spricht von potenzieller Energie. Aber wo ist sie? In vielen Schulbüchern und auch in akademischen Lehrbüchern wird die potenzielle Energie dem Körper zugeschrieben:

*„Man muss dem Körper Energie zuführen, was zu einer Erhöhung seiner potentiellen Energie ( $E(P_2) > E(P_1)$ ) führt, während die Arbeit, die vom Körper geleistet wird ( $F \cdot dr > 0$ ), seine potentielle Energie verringert und damit für andere Systeme genutzt werden kann (z. B. Wasser, das beim Herabfallen eine Turbine antreibt)“.*  
(Demtröder, 2006, S. 61)

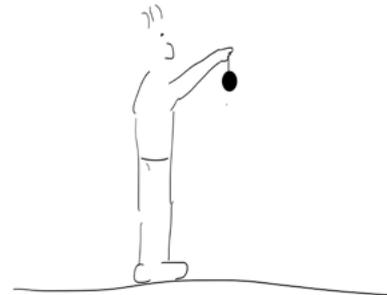


Abb. 12: Wo ist die potenzielle Energie?

Heißt das dann auch, dass der Körper die potenzielle Energie **hat** (im Sinne von besitzen)? Potenziell heißt „möglich, denkbar, erwartbar“ – kann man das haben? Oder wo ist die Energie? Eine Antwort auf die Frage kann das nächste Beispiel liefern.

Stellt man in der rechts dargestellten Situation Lernenden die Frage „Wo ist hier die Energie?“, so lautet die Antwort vermutlich: „Die Energie ist in der Feder“. Die Beschreibung des Vorgangs könnte lauten: Der Mensch hat Energie mit der Nahrung aufgenommen. Wenn er die Feder spannt, so wird Energie in der Feder gespeichert. Lässt er die Kugel los, so wird die in der Feder gespeicherte Energie auf die Kugel übertragen.

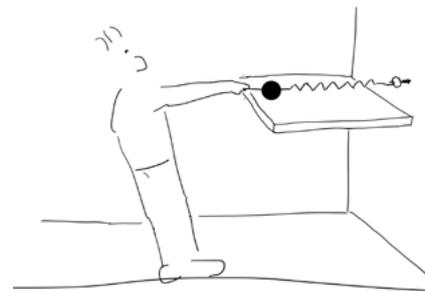


Abb. 13: Energie in der Feder

Die Beschreibung des Vorgangs fällt also offensichtlich leichter, wenn man eine Vorstellung davon hat, wo die Energie sich befindet. Dies lässt sich nun auch auf den ersten Fall übertragen. Dort gibt es auch so etwas wie eine unsichtbare Feder – das Gravitationsfeld. Und so wie wir sagen: Die Energie ist in der Feder (genau genommen natürlich in der kompletten Anordnung Mensch – Gebäude – Feder), so ist sie im ersten Beispiel im Gravitationsfeld. Eine Beschreibung des Vorgangs könnte demnach lauten: Der Mensch hat Energie mit der Nahrung aufgenommen. Wenn er die Kugel hochhebt, so wird Energie im Gravitationsfeld gespeichert. Lässt er die Kugel los, so wird die im Gravitationsfeld gespeicherte Energie auf die Kugel übertragen.

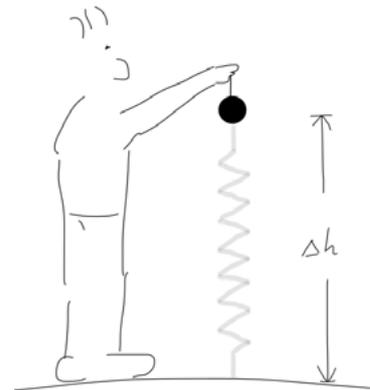


Abb. 14: unsichtbare Feder

Erweitert man das Beispiel auf das Hochwerfen eines Balles, so hat zunächst der Ball die Energie. Sie wird beim Hochsteigen nach und nach in das Gravitationsfeld übertragen – im obersten Punkt der Flugbahn ist die Energie komplett im Gravitationsfeld. Beim Herunterfallen wird die im Gravitationsfeld gespeicherte Energie wieder nach und nach auf den Ball übertragen.

Eine vergleichbare Fragestellung ergibt sich auch, wenn man zwei bewegliche Magnete mit gleichen Polen einander nähert. Lässt man sie los, so bewegen sich die Magneten voneinander weg – sie haben nun offensichtlich Energie. Doch woher kam diese Energie?

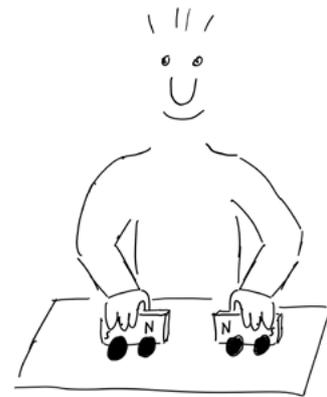


Abb. 15: Energie im Feld

Auch hier kann der Vergleich mit einer ähnlichen Situation eine Antwort liefern. Nimmt man statt der Magneten zwei Holzklötze mit einer Feder dazwischen, so kann die Argumentation lauten: Um die Feder zwischen den Klötzen zusammenzudrücken, muss man Energie aufwenden. Die Energie wird in der Feder gespeichert. Lässt man die Klötze los, so wird die in der Feder gespeicherte Energie auf die Klötze übertragen.

Im oberen Fall ist das Magnetfeld so etwas wie eine unsichtbare Feder – und so, wie die Energie in der zusammengedrückten Feder gespeichert ist, so ist sie dort im zusammengedrückten Magnetfeld gespeichert.

Nebenbei bemerkt: Wenn man sich die Feder auf der Teilchenebene anschauen würde – wo ist dann die Energie? Auch hier ist sie im Feld – im elektromagnetischen Feld „zwischen“ den Atomen!

Eine Auseinandersetzung mit der potenziellen Energie findet man auch in Schwarze, Heiner, 2016, S. 35-36.

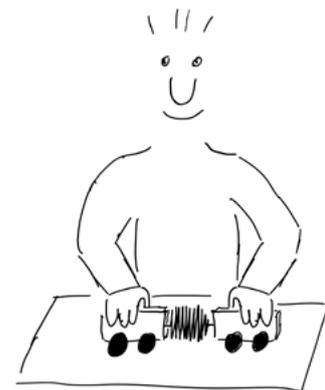


Abb. 16: Energie in der Feder

### **Sprechen über Energie: Bewusstsein für die Stolpersteine der Alltagssprache**

Für die Lehrkraft ist es ebenfalls wichtig, sich der vielen sprachlichen Inkonsistenzen im Zusammenhang mit der Beschreibung energetischer Aspekte bewusst zu sein. Diese finden sich häufig in der Alltagssprache, vielfach jedoch auch in der Fachsprache. Hier nur ein paar Beispiele:

Wir reden über Kernenergie, sprechen aber vom Kern**kraft**werk. Auch bei Windenergie sprechen wir vom Windkraftwerk. Die Schülerinnen und Schüler lesen von Energie**erzeugung** – aber wie passt das zum Aspekt der Energieerhaltung, den wir ihnen nahe bringen wollen? Wenn es dann um die elektrische Energieversorgung geht, so wird es mit der Verwendung des Wortes „Strom“ vollkommen verwirrend. Mal bezeichnet der Begriff einen Ladungsstrom, mal einen Energiestrom, mal bezeichnet er „das was strömt“ (d. h. je nachdem Energie oder elektrische Ladung).

Um das Bewusstsein für die Problematik zu schärfen, sollte im Unterricht explizit die zum Teil irreführende Verwendung der Begriffe thematisiert werden. Um im eigenen Sprachgebrauch diesbezüglich mehr Klarheit und Konsistenz zu erreichen, sollte die Benutzung der Begriffe sorgfältig überlegt werden. So kann beispielsweise vom „Preis für elektrisch gelieferte Energie“ gesprochen werden anstatt vom „Strompreis“. Anstelle von Energieerzeugung kann besser der Begriff Energiebereitstellung verwendet werden.

## 2 UNTERRICHTSBEISPIELE

An zwei möglichen Unterrichtsgängen (UG) wird gezeigt, wie das zehnte Themenfeld kompetenz- und konzeptorientiert im Rahmen sinnstiftender Kontexte umgesetzt werden kann.

### 2.1 Vorüberlegungen

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

In diesem Themenfeld erfolgt der letzte Schritt der Entwicklung eines Verständnisses des Energiebegriffs von einem ersten, weitgehend qualitativen Konzept mit wenigen Zusammenhängen hin zu einem tragfähigen quantitativen Energiekonzept.

Dazu soll zunächst nochmals zusammengefasst werden, was im bisherigen Unterricht behandelt wurde und welche Vorstellungen bzw. Fähigkeiten die Schülerinnen und Schüler bislang aufbauen konnten:

Im Fach Naturwissenschaften wurden folgende Zusammenhänge erarbeitet:

- Energie wird benötigt, um Dinge in Bewegung zu versetzen oder zu erwärmen.
- Energie geht nicht verloren oder entsteht aus dem Nichts, sondern wechselt den Träger (bzw. taucht in anderer Form auf).
- Energie ist an Träger gekoppelt und an (Mess-)Größen erkennbar, z. B.  
„Je schneller ein Gegenstand ist, desto mehr Energie besitzt er“ oder  
„Je mehr Benzin im Tank ist, desto mehr Energie steckt darin“.
- Energieflussdiagramme werden eingeführt.

Im Lehrplan Physik begegnet man dem Begriff Energie schon im ersten Themenfeld („Schallwellen transportieren Energie“). Danach wird er kontinuierlich weiterentwickelt. Im Themenfeld 6 werden Energieflussdiagramme verwendet, um die Wechsel des Energieträgers zu verdeutlichen (Abbildung 17).

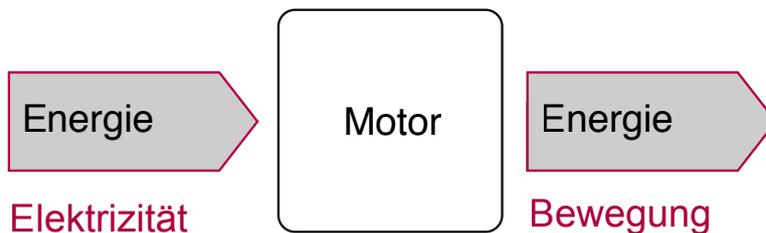


Abb. 17: Einfaches Energieflussdiagramm

Den nächsten Schritt stellt die Mathematisierung dar; die Energie wird zu einer berechenbaren Größe, wodurch die Abhängigkeiten von anderen Größen verdeutlicht werden.

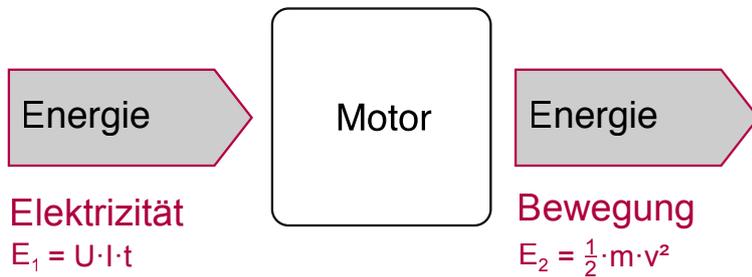


Abb. 18: Energieflussdiagramm mit Formeln

In Themenfeld 10 wird schließlich berücksichtigt, dass ein Teil der Energie auf einen unerwünschten Träger umgeladen wird.

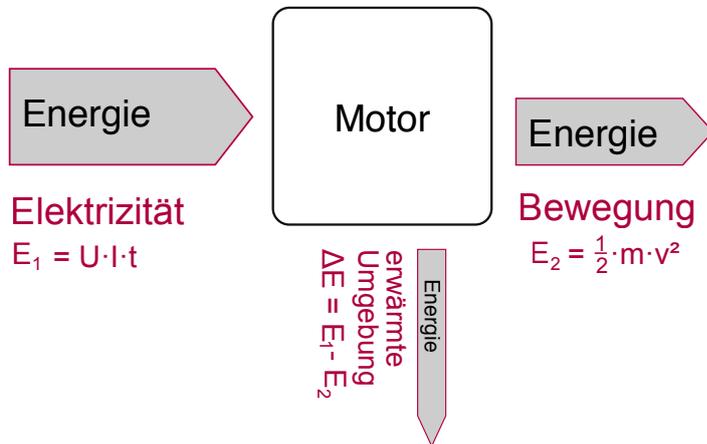


Abb. 19: Energieflussdiagramm mit Berücksichtigung des Wirkungsgrades

Somit werden in diesem Themenfeld die bislang erworbenen Vorstellungen über Energie miteinander verknüpft. Die bisherigen Kompetenzen in diesem Zusammenhang (Nutzen von Energieflussdiagrammen, Durchführen einzelner Berechnungen) werden durch das Aufstellen von Energiebilanzen und das Berücksichtigen des Wirkungsgrades ergänzt.

Zudem werden bei quantitativen Experimenten zu „einfachen Maschinen“ und zur Wirkungsgradbestimmung die experimentellen und mathematischen Fähigkeiten ausgebaut.

## Grundsätzliches zu den vorgestellten Unterrichtsgängen

Es werden zwei Unterrichtsgänge vorgestellt, wobei der eine („Aufzug“) in etwa 12-14 Unterrichtsstunden umfasst. Die Dauer des anderen („Maschinen im Wandel der Zeit“) hängt vom Umfang der Gruppenarbeitsphase und der Wahl der bearbeiteten Maschinen ab und erfordert ein straffes Zeitmanagement.

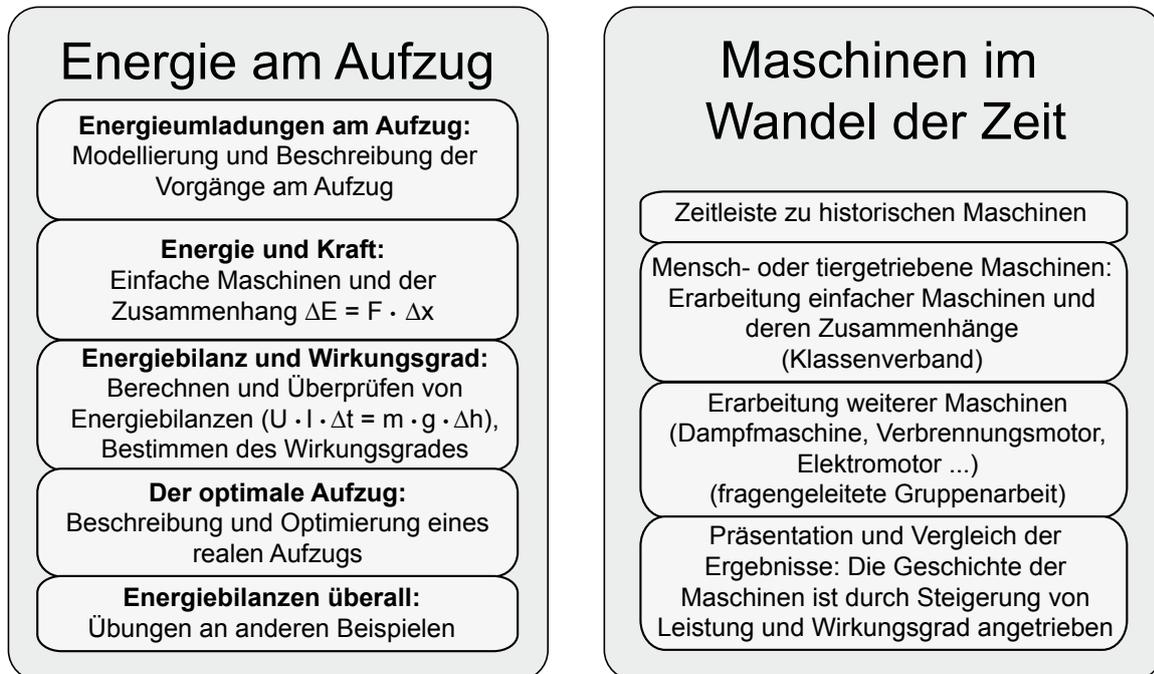


Abb. 20: Übersicht der Unterrichtsgänge

Der erste Unterrichtsgang wird ausführlich beschrieben, der zweite in einer Planungsübersicht skizziert.

Die Fokussierung auf die zentralen Inhalte des Themenfelds (siehe voriger Abschnitt und Lehrplan S. 118 f.) helfen bei der zeitlichen Beschränkung des Unterrichts und erleichtern zudem die Übersicht für die Schülerinnen und Schüler.

Themenfeld 10 stellt den Umgang mit Formeln und die mathematische Kompetenz in den Mittelpunkt und schließt somit an Themenfeld 9 an. Um an möglichst vielen Beispielen den Umgang mit den energiebeschreibenden Formeln zu üben, können für einzelne Beispiele Formeln auch lediglich mitgeteilt werden. Je nach Niveau des Unterrichts oder den Fähigkeiten der einzelnen Schülerinnen und Schüler können unterschiedlich viele Energieformeln hergeleitet oder plausibel gemacht werden.

So ist es für einen Übergang in den Physikunterricht der Oberstufe sicher unerlässlich, dass an einigen Beispielen (z. B. dem Energie-Kraft-Zusammenhang  $\Delta E = F \cdot \Delta x$  oder der Formel für die beim Anheben nötige Energie  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$ ) eine experimentell fundierte Herleitung erfolgt – das bedeutet aber nicht, dass jede weitere für das Aufstellen einer Energiebilanz nötige Formel ebenfalls sauber hergeleitet werden muss, denn das würde den Blick von dem zentralen Inhalt des Unterrichts ablenken und somit das Lernen eher erschweren. Bei ausreichendem Zeitrahmen kann im Einzelfall im Anschluss an das Einüben

der Bilanzen unter der Fragestellung „Wie kommt man überhaupt auf diese Formel?“ das nachträgliche Herleiten ergänzt werden. Mit geringerem zeitlichen Aufwand ist häufig das kurze Plausibilisieren eines mitgeteilten Zusammenhangs möglich.

So gilt für die Energie, die zur Beschleunigung eines Körpers aus der Ruhe aufgebracht werden muss:  $\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (\Delta v)^2$ . Die Gültigkeit dieser Formel kann veranschaulicht werden, wenn man die Endgeschwindigkeiten einer aus verschiedenen Höhen fallenden Kugel misst. Für eine Verdopplung der Endgeschwindigkeit ist eine Vervierfachung der Fallhöhe nötig ( $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$ ).

Allgemein gilt: Ändert sich die Geschwindigkeit eines Körpers der Masse  $m$  um den Betrag  $\Delta v$ , so ändert sich die Energie um  $\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (v_0 + \Delta v)^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$ .

Nur dann, wenn man Bewegungen mit der Anfangs- oder Endgeschwindigkeit  $v_0 = 0$  m/s betrachtet, vereinfacht sich diese Formel zu  $\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (\Delta v)^2$ .

Gleiches gilt auch für die Formel, mit der die Energieänderung einer Feder beschrieben wird:

$$\Delta E = \frac{1}{2} D \cdot (x_0 + \Delta x)^2 - \frac{1}{2} D x_0^2.$$

Nur dann, wenn man die Längenänderung aus der Ruhelage ( $x_0 = 0$  m) heraus betrachtet, vereinfacht sich diese Formel zu  $\Delta E = \frac{1}{2} D \cdot (\Delta x)^2$ .

## 2.2 Vorschläge für Unterrichtsgänge

### 2.2.1 Unterrichtsgang 1: Energie am Aufzug

Dieser Unterrichtsgang macht an einem Beispiel energetische Betrachtungen deutlich. Im Anschluss wird das im Kontext des Aufzugs Erarbeitete auf andere Beispiele übertragen.

TF 10	Sequenz	Fachlicher Schwerpunkt	Tätigkeiten/Lernprodukte
UG : Energie am Aufzug	S1: Energieumladungen am Aufzug	Reaktivieren des Energie-Träger-Konzeptes und der Darstellungsformen, Modellierung eines Aufzugs  (1-2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>📄 Beschreibung eines Aufzugs</li> <li>📄 Modellierung der Vorgänge am Aufzug mit Elektromotor und Massestück im Physiksaal</li> <li>📄 Beschreibung der Energieumladungen am Aufzug</li> <li>📄 Aufzeigen von indirekten Messgrößen für Energiemengen am Modell (Höhendifferenz, Geschwindigkeit, Stromstärke, Helligkeit ...)</li> </ul>
	S2: Energie und Kraft	Zusammenhang zwischen der Kraft bei einer Wechselwirkung und der dabei übertragenen Energiemenge $\Delta E = F \cdot \Delta x$ , Energieänderung durch Anheben $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$  (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>⤴ Darstellung der Kräfte beim Aufzug (Wiederholung)</li> <li>⤴ Messung von Kräften mittels Kraftmesser (Wiederholung)</li> <li>⤴ Sammeln von Geräten zur Kraftverringerng beim Anheben: Flaschenzug, Rampe, Hebel ...</li> <li>⤴ Experimente zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Energiemenge beim Anheben <math>\Delta E = F \cdot \Delta x</math></li> <li>⤴ Formulieren des Zusammenhangs <math>\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h</math></li> </ul>
	S3: Energiebilanz und Wirkungsgrad	Aufstellen von Energiebilanzen mit und ohne Wirkungsgrad, experimentelle Überprüfung, Bestimmung des Wirkungsgrades  (3-4 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>🕒 Treffen von Vorhersagen mit <math>\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h</math> durch Berechnungen, z. B. durch <math>U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h</math></li> <li>🕒 Überprüfen der Vorhersagen durch Messung</li> <li>🕒 Erklärung der Differenz von Vorhersage und Messung durch den Wirkungsgrad</li> <li>🕒 Experimentelle Bestimmung des Wirkungsgrades einer Maschine</li> </ul>
	S4: Der optimale Aufzug	Betrachtung eines realistischen Aufzugs mit Gegengewicht und seine energetische Optimierung  (1-2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>👤 Beschreibung eines realistischen Aufzugs mit Gegengewicht und Berechnungen zu den Energien</li> <li>👤 Sammlung von Optimierungsmöglichkeiten</li> </ul>
	S5: Energiebilanzen überall	Dekontextualisierung: Anwenden des Gelernten an verschiedenen Beispielen  (1-2 Unterrichtsstunden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>🛠️ Aufstellen von Energiebilanzen an anderen Beispielen als dem Aufzug</li> <li>🛠️ Üben von Berechnungen zu Energien</li> </ul>

## Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 1 „Energieumladungen am Aufzug“

Schwerpunkte:

- Reaktivieren des Energie-Träger-Konzeptes und der Darstellungsformen
- Modellierung eines Aufzugs

Aktivitäten und Lernprodukte:

-  Beschreibung eines Aufzugs
-  Modellierung der Vorgänge am Aufzug mit Elektromotor und Massestück im Physiksaal
-  Beschreibung der Energieumladungen am Aufzug
-  Aufzeigen von indirekten Messgrößen für Energiemengen am Modell (Höhendifferenz, Geschwindigkeit, Stromstärke, Helligkeit ...)

Die **Beschreibung eines Aufzugs** dient als Einstieg in den Kontext des Aufzugs und kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- Vorbereitende Hausaufgabe mit anschließender Präsentation:  
Erstellt einen Steckbrief eines Aufzugs, den ihr selbst verwendet habt! Macht Bilder und beschreibt ihn kurz!
- Aufzug fahren in der Schule mit dem Auftrag, die Bewegungen und die Funktion des Aufzugs zu beschreiben.
- Film eines besonderen Aufzugs in Aktion zeigen, z. B. Autoaufzug im alten Elbtunnel Hamburg oder einen gläsernen Aufzug an einem Hochhaus.

Im Anschluss können Fragen gesammelt und Hypothesen zur Funktion aufgestellt werden. Hier kann durch die Lenkung der Lehrkraft der Kontext unterschiedlich weit geöffnet werden.

Durch lenkende Leitfragen bei der Auswertung kann eine Konzentration auf die physikalischen Inhalte des Kontextes und eine überschaubare Anzahl von Fragen erfolgen:

- Sammelt Antriebsmöglichkeiten für einen Aufzug und skizziert in einer Vierergruppe einen möglichen Aufzug.
- Sammelt physikalische Fragen zum Aufzug und einigt euch in einer Vierergruppe auf eine Frage.

Hingegen wird durch die einfache Anregung „Welche Fragen habt ihr zum Thema Aufzug?“ oder „Skizziert, wie ein Aufzug funktionieren könnte!“ der Kontext weiter geöffnet. Das kann die Lernenden stärker ansprechen, bringt aber erfahrungsgemäß auch Probleme mit der zur Verfügung stehenden Zeit und mit der Einbindung der Schülerbeiträge und -fragen in die Unterrichtsstruktur mit sich.

Die gestellten Fragen können im Verlauf des Unterrichts eingebunden werden, entweder in Verbindung mit dem bearbeiteten Inhalt oder als Kurzreferate oder Recherche-Hausaufgabe. Die skizzierten Aufzüge können nacheinander vorgestellt und diskutiert werden. Mit Sicherheit ist ein Elektromotor unter den vorgeschlagenen Antrieben oder kann leicht im Unterrichtsgespräch ergänzt werden.

Die **Modellierung der Vorgänge am Aufzug mittels Elektromotor und Gewichtsstück** stellt den ersten Schritt hin zu einer abstrakteren physikalischen Betrachtung und zur Zerlegung in überschaubare Einheiten dar. Im einfachsten Fall besteht der Aufbau nur aus einem Elektromotor an einem Stativ, der mittels Seil ein Gewichtsstück anheben kann. Es ist aber bereits hier sinnvoll, Batterien und Glühlampen bereitzuhalten, um die stattfindenden Energieumladungen zu verdeutlichen.

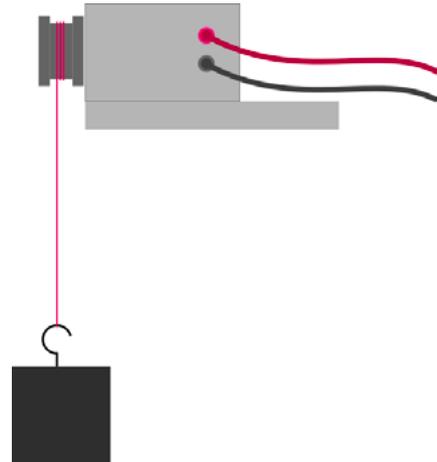


Abb. 21: Modellaufzug mit Masse und Elektromotor

Es wird durch den reduzierten Aufbau leicht erkennbar, dass die Aufzugskabine durch einen Motor nach oben gezogen wird und durch die Gravitation von selbst wieder sinkt, so dass eine Bremseinrichtung vonnöten ist.

<b>LE:</b> Beschreibung eines Aufzugs und Modellierung der Vorgänge am Aufzug mit Elektromotor und Massestück im Physiksaal	
<b>Kompetenz</b> Schülerinnen und Schüler ...  ... modellieren ein technisches Gerät aus dem Alltag.	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b>
<b>Lernprodukt</b> - Sammlung von Hypothesen zu Aufbau und Funktion eines Aufzugs  - Sammlung physikalischer Fragestellungen zum Aufzug  - Modell eines Aufzugs mit Materialien des Physikunterrichts und Beschreibung der Vorgänge am Modell	<b>Differenzierung</b> - Fahren im Aufzug im Schulgebäude
<b>Materialien und Literatur</b>  --	

Die **Beschreibung der Energieumladungen am Aufzug**, aufgeworfen durch die Frage „Woher stammt die Energie für den Aufzug und wo bleibt sie?“, ist der nächste Schritt. Dabei werden die bisherigen Energievorstellungen reaktiviert und es können (entweder als direkte Aufgabe oder nach einer schrittweisen Besprechung) Energieflussdiagramme (Abbildungen 22 und 23) für einzelne Phasen der Aufzugbewegung erstellt werden, was gleichzeitig eine Reaktivierung dieser Darstellungsweise darstellt. Durch die Angabe des Trägers wird geklärt, wo die Energie verortet werden kann.



Abb. 22: Anheben der Kabine (anstelle von „Bewegung“ ist auch der Begriff „Impuls“ möglich)



Abb. 23: Absenken der Kabine (anstelle von „Bewegung“ und „erwärmtes Material“ sind auch die Begriffe „Impuls“ und „Entropie“ möglich)

Die Frage nach den Trägern bzw. den Orten der Energie führt schnell zu dem Punkt, an dem man geneigt ist, die Energie nach dem Anheben dem Aufzug selbst zuzuschreiben („Lageenergie“ in der Energie-Formen-Vorstellung). Die Energie steckt aber nicht in der angehobenen Masse selbst, sondern ist potenzielle Energie im Gravitationsfeld (siehe Abschnitt 1.5 dieser Handreichung). Wenn in den Themenfeldern 4, 5 und 6 bereits das Feld als Vermittler der berührungslosen Wechselwirkung eingeführt wurde (mindestens am Beispiel des Magnetfelds, aber auch in Übertragung auf Gravitationsfeld und elektrisches Feld) bereitet diese Vorstellung die Schülerinnen und Schülern keine größeren Schwierigkeiten und unterstützt zudem eine grundlegende, physikalisch korrekte Sichtweise. Das Bilden der Vorstellung ist unproblematisch, wenn man es mit dem Zusammendrücken oder Dehnen einer Feder durch ein Gewichtsstück vergleicht. Hier würde man auch eher die Energie korrekterweise in der Feder verorten. Die korrekte Analogie zur Energie im Feld ist leicht ersichtlich. (Siehe Abschnitt 1.5 dieser Handreichung)

Es lässt sich am Modell leicht zeigen, dass die zuvor beim Anheben eingesetzte Energie beim Sinken des Gewichtsstücks wieder zum Vorschein kommt. Dazu kann man z. B. neben der Beobachtung, dass die fallende Masse beschleunigt wird, auch den Motor als Generator nutzen und eine entsprechend dimensionierte Lampe anschließen. Diese wird beim Sinken der Masse aufleuchten. Eine interessante Beobachtung ist die nun (im Vergleich zu offenen Anschlüssen) gebremste Abwärtsbewegung. Auch dieser Effekt ist mit Blick auf den Energieerhaltungssatz energetisch deutbar: Die in der Lampe umgeladene Energie steht dem System nicht mehr zur Beschleunigung des Massestücks zur Verfügung, während ohne Lampe die gesamte Energie aus dem Gravitationsfeld zur Beschleunigung dient.

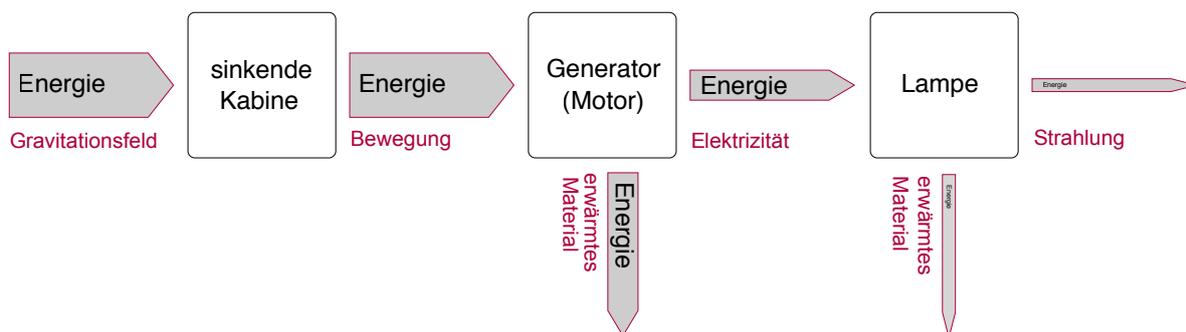


Abb. 24: Sinkender Aufzug mit Lampe (anstelle von „Bewegung“ und „erwärmtes Material“ sind auch die Begriffe „Impuls“ und „Entropie“ möglich)

Die Frage, wie man eine so zentrale Größe wie Energie messen kann, führt zum **Aufzeigen von indirekten Messgrößen für Energiemengen am Modell**. An jeder Stelle lässt sich die Kopplung der Energiemenge an mehrere Messgrößen aufzeigen, eine direkte Energiemessung ist hingegen nicht möglich.

So hängen die Energie eines bewegten Körpers von Masse und Geschwindigkeit ab, die Energie im Gravitationsfeld von Masse und Höhe des gehobenen Körpers und die im elektrischen Stromkreis transportierte Energie von Spannung, Stromstärke und Zeit. Letzteres kann der Anlass für eine Wiederholung der bereits aus der Elektrizitätslehre bekannten Formel  $\Delta E = U \cdot I \cdot \Delta t$  sein, wo der gerade diskutierte Zusammenhang auch formelhaft gefasst ist. Entsprechend stellt sich die Frage nach mathematischen Beschreibungen, wenn die Energie auf einem anderen Träger sitzt.

Möglicherweise wurde bereits eine weitere Formel für Energie im Verlauf des Physikunterrichts kennengelernt. Falls in Themenfeld 8 die Menge der thermisch auf einen Körper übertragenen Energie untersucht wurde, könnte  $\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$  ergänzt werden und zusammen mit  $\Delta E = U \cdot I \cdot \Delta t$  den Beginn einer „Formelsammlung“ bilden.

Als Lernprodukt kann hier eine Tabelle entstehen wie z. B.

Zusammenhang	Energieträger	Messgröße
Je größer die Stromstärke, desto mehr Energie wird elektrisch übertragen.	Elektrizität (bzw. Ladung)	Stromstärke
Je schneller sich ein Körper bewegt, desto mehr Energie enthält er.	Bewegter Körper (bzw. Impuls)	Geschwindigkeit
Je höher ein Körper angehoben wird, desto mehr Energie muss aufgewendet werden.	Gravitationsfeld	Höhe, Masse
...	...	...

Hier können auch gleich mehrere assoziierte Größen erkannt und festgehalten werden, z. B. die Spannung und die Dauer bei der elektrisch übertragenen Energie.

<b>LE:</b> Beschreibung der Energieumladungen am Aufzug, Aufzeigen von indirekten Messgrößen für Energiemengen am Modell	
<b>Kompetenz</b>  Schülerinnen und Schüler ...  ... nutzen Energieflussdiagramme zur Darstellung von Energieumladungen.	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b>  - Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, d. h. die Gesamtenergie bleibt konstant (Energieerhaltung).  - Bei der Nutzung von Energie wird meistens der Träger gewechselt (hier: Elektromotor).  - Energie ist immer gekoppelt an Objekte (Körper, Stoffe ...). Mittels daran gemessener physikalischer Größen kann man ihren Wert indirekt bestimmen.
<b>Lernprodukt</b>  - Energieflussdiagramme für die Vorgänge am Aufzug  - Tabelle mit Zuordnung der energieassoziierten Messgrößen	<b>Differenzierung</b>  - Grad der Offenheit  - Formulierungshilfen/Lückentexte
<b>Materialien und Literatur</b>  --	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 2 „Energie und Kraft“

Schwerpunkte:

- Zusammenhang zwischen der Kraft bei einer Wechselwirkung und der dabei übertragenen Energiemenge  $\Delta E = F \cdot \Delta x$
- Energieänderung durch Anheben  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ✦ Darstellung der Kräfte beim Aufzug (Wiederholung)
- ✦ Messung von Kräften mittels Kraftmesser (Wiederholung)
- ✦ Sammeln von Geräten zur Kraftverringerung beim Anheben: Flaschenzug, Rampe, Hebel ...
- ✦ Experimente zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Energiemenge beim Anheben  $\Delta E = F \cdot \Delta x$
- ✦ Formulieren des Zusammenhangs  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$

Um von der hier eröffneten Energiebetrachtung auf den Zusammenhang zwischen Energie und Kraft überzuleiten ist es sinnvoll, das Wissen über Kräfte zu reaktivieren („Kraft ist ein Maß für Stärke und Richtung einer Wechselwirkung“, Themenfeld 4). Am Aufzugmodell kann man deutlich machen, dass eine Energieumladung mit einer Wechselwirkung verbunden ist: Im Elektromotor (bzw. im Generator beim umgekehrten Betrieb) liegt eine elektromagnetische, beim Anheben eine mechanische Wechselwirkung vor.

Der Begriff der Kraft kann über eine vorbereitende Hausaufgabe wiederholt werden, z. B.:

Suche in deinem Ordner zum Thema „Bewegung und Wechselwirkung“ den Begriff „Kraft“. Übertrage in dein jetziges Heft:

- die Definition der Kraft
- ein Beispiel (Bild abzeichnen), in dem Kräfte mit Kraftpfeilen dargestellt sind
- das Vorgehen zum Messen einer Kraft mit einem Kraftmesser.

Die Hausaufgabe sollte über einen längeren Zeitraum gegeben werden, damit alle Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit haben, sich die alten Aufzeichnungen zu verschaffen, falls sie diese nicht mehr besitzen. Sinnvollerweise sollte zu Beginn jedes Schuljahres darauf hingewiesen werden, dass die Mitschriften zu Hause in einem Ordner gesammelt werden sollen.

In der Stunde, in der die Hausaufgabe genutzt werden soll, können Gruppen gebildet werden, in denen sich die Schülerinnen und Schüler die Hausaufgabe mit den ausgewählten Beispielen gegenseitig vorstellen und die Gelegenheit zur Verbesserung haben. Anschließend stellen einige Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse vor.

Es lässt sich in diesem Zusammenhang auch eine Aufgabe mit eher sprachlichem Schwerpunkt geben, bei der eine gegebene Situation mit Hilfe physikalischer Begriffe beschrieben werden soll, z. B.:

- Ein Arbeiter schiebt einen ruhenden Stein, so dass dieser anfängt, sich zu bewegen.

Bilde zur Beschreibung der Situation mindestens einen physikalisch korrekten Satz mit Hilfe der folgenden Begriffe (es müssen nicht alle Begriffe verwendet werden):

Kraft....Energie....Lage....Stein....Arbeiter....Geschwindigkeit Skateboard....Schülerin....Wechselwirkung....Wechselwirkungspartner
wirken....besitzen....haben....bewegen....verformen

(siehe AB HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S2\_01\_KraftEnergie)

Hierbei wird ein Anlass gegeben, die Begriffe Energie und Kraft an Beispielen korrekt und voneinander abgegrenzt zu verwenden und zudem den korrekten Gebrauch der Fachsprache zu trainieren.

Aufgaben dieser Art lassen sich auch an anderer Stelle des Unterrichtsgangs zur sprachlichen Abgrenzung der Begriffe und zur Stärkung der Kommunikationskompetenz in Hinblick auf korrekten Gebrauch der Fachsprache einsetzen.

Im Anschluss an eine der Reaktivierungsaufgaben werden dann die zentralen Punkte herausgestellt und vorgeführt:

1. Kraft ist ein Maß für die Stärke und Richtung einer Wechselwirkung, bei der ein Gegenstand seinen Bewegungszustand ändert (Definition). Das kann am Beispiel der nach oben oder unten beschleunigten Aufzugskabine auf das Thema übertragen werden. Der Wechselwirkungspartner ist in einem Fall die Aufhängung am oberen Ende des Seils, im anderen Fall die Erde.

2. Diese Beispiele lassen sich nutzen zur **Darstellung der Kräfte beim Aufzug:**

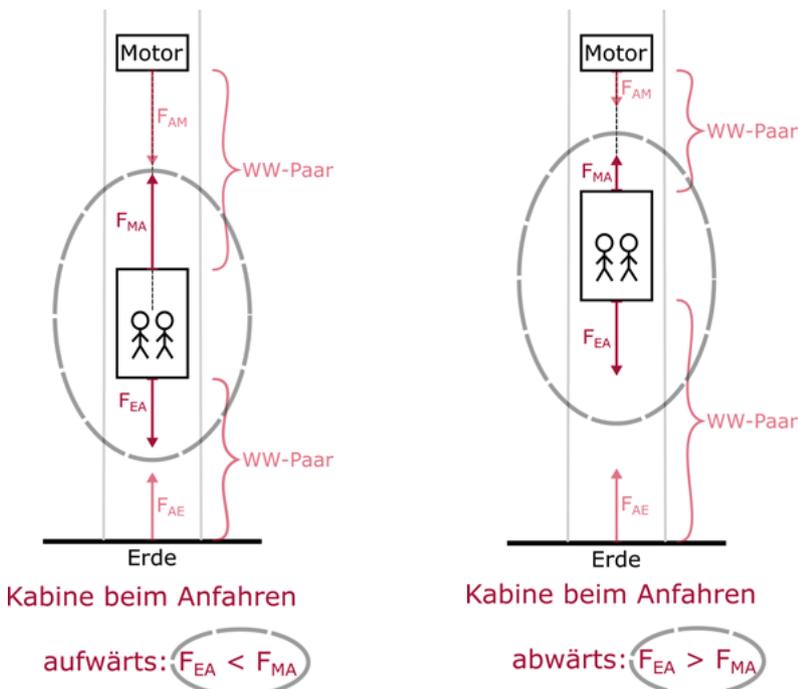


Abb. 25: Kräfte beim Anfahren der Aufzugskabine

Die Darstellung der Kräfte kann hier je nach Lerngruppe und Zeitrahmen unterschiedlich ausfallen (vollständig wie in den Abbildungen oder reduziert auf die Kräfte auf den Aufzug).

Hinweis: Nur beim Anfahren und Abbremsen der Kabine sind die Kräfte ungleich. Während der (gleichförmigen) Fahrt sind die Kräfte im Gleichgewicht!

3. Die **Messung von Kräften mittels Kraftmesser** an dieser Stelle kann durch eine Demonstration reaktiviert werden, z. B. durch das Anheben eines Körpers oder das Beschleunigen eines Wagens mit Kraftmesser in der Zugschnur. Die Schülerinnen und Schüler sollten hier wieder in die Lage versetzt werden, selbstständig mit dem Federkraftmesser umzugehen, da Schülerexperimente folgen.

Insgesamt sollte der Wiederholung des Kraftbegriffs kein zu großer Raum eingeräumt werden, um das Feld nicht in einer Richtung zu öffnen, die vom eigentlichen Thema ablenkt.

LE: Darstellung der Kräfte beim Aufzug und Messung von Kräften mittels Kraftmesser	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... entnehmen ihren alten Unterlagen Informationen sachgerecht, dokumentieren und präsentieren diese.</p> <p>... beschreiben mechanische Vorgänge fachsprachlich korrekt und unterscheiden die Begriffe Energie und Kraft.</p> <p>... nutzen Kraftpfeilpaare zur Darstellung von Wechselwirkungen.</p> <p>... wenden Messverfahren zur Bestimmung von Kräften an.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderungen der Energie sind ein Hinweis auf eine Wechselwirkung.</li> <li>- Die Kraft ist ein Maß für Stärke und Richtung einer Wechselwirkung. An jedem Wechselwirkungspartner misst man die gleiche Kraft, aber in entgegengesetzter Richtung.</li> </ul>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hefteintrag aus der Recherche zum Kraftbegriff anhand von Leitfragen</li> <li>- Sprachübung zur Reaktivierung und korrektem Gebrauch der Fachbegriffe</li> <li>- Darstellung der Kräfte am Beispiel des Aufzugs</li> <li>- Beschreibung und Demonstration der Messung einer Kraft</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Als Alternative zu den alten eigenen Aufzeichnungen kann ein Merkblatt ausgegeben werden, auf dem unter anderem die gesuchten Informationen zu finden sind.</li> <li>- Sprachübungen mit unterschiedlichen Beispielen und stärkerer Vorgabe (Wortgeländer statt Begriffe vorgeben).</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB HR_Ph_TF10_UG1_S2_01_KraftEnergie</p>	

Das **Sammeln von Geräten zur Kraftverringern beim Anheben** ergibt sich entweder aus der Betrachtung eines Flaschenzugs in einem Aufzugschacht („wozu dient das?“) oder aus der Modellbetrachtung, dass der eingesetzte Elektromotor nicht beliebig große Massen anheben kann („wie kann man das verbessern?“).

Dabei soll die Betrachtung der „einfachen Maschinen“ an dieser Stelle nicht dazu verwendet werden, diese in jeder Einzelheit als eigenes Thema zu behandeln. Sinnvoll ist eine Betrachtung von Flaschenzug, schiefer Ebene und Hebel als Konstruktionen, welche die aufzuwendende Kraft reduzieren können. Daran lässt sich der Zusammenhang „Was man an Kraft spart muss man an Weg zulegen, die dabei übertragene Energiemenge bleibt gleich“ darstellen (bzw.  $\Delta E = F \cdot \Delta x$ ). Das entspricht einer um die Energie erweiterten „goldenen Regel der Mechanik“, gleichzeitig wird damit die mechanisch übertragene Energie erfasst (klassisch „Arbeit“). Eine umfangreiche Betrachtung der Funktionsweise z. B. des Flaschenzugs (lose Rolle, feste Rolle) ist an dieser Stelle nicht notwendig und würde neben dem Zeitaufwand von der ursprünglichen Fragestellung des Themenfeldes eher ablenken, zudem ergibt sie sich aus den Experimenten in Anschauung quasi von selbst.

Es bietet sich z. B. an, „Kraftwandler“ an technischen Beispielen in geeigneten Zusammenhängen zu zeigen (Bilder von Flaschenzügen an Kränen, von Rampen beim Pyramidenbau, von Hebeln bei einer Zange, von Getrieben bei der Gangschaltung). Dem sollte sich eine Demonstration anschließen, bei der die Verringerung der Kraft bei gleichzeitiger Zunahme des Wegs erkennbar wird. Es lässt sich erkennen, dass (und eigentlich auch wie) diese Konstruktionen funktionieren, ohne zusätzliche Begriffe wie „Hebelarm“ oder „lose Rolle“ einzuführen.

Das lässt sich auch als Schüleraufgabe stellen. Nach der Präsentation entsprechender Bilder (technische Anwendung) und Aufbauten (mit Schulmitteln, Massestücken und passenden Kraftmessern) lautet z. B. eine Aufgabe gruppenweise:

Zeige am Aufbau des Flaschenzugs (der Rampe, des Hebels ...), dass mit diesem Gerät das Anheben einer Masse mit geringerer Kraft möglich ist als ohne. Erstelle ein Protokoll (Skizze des Aufbaus, Vorgehen und Beobachtungen). Vergleiche die Kraft ohne und mit Kraftwandler. Ändert sich noch etwas außer der Kraft? Suche außerdem 3 weitere technische Anwendungen für den Flaschenzug (die Rampe, einen Hebel ...) im Buch oder im Internet und übertrage die Bilder in dein Heft (nenne auch die Quellen der Bilder).

Dabei ist es sinnvoll, beim Hebel eine kleinere Hubstrecke zu nehmen (z. B. 20 cm), um den Aufbau nicht riesig werden zu lassen.

Man kann differenzierend nur die Materialien zur Verfügung stellen oder den Aufbau bereits vorgeben.

Im Anschluss erfolgt eine Kurzpräsentation. Bilder können z. B. mittels einer Dokumentenkamera an den Beamer übertragen oder am PC gezeigt werden. Zudem präsentieren die Gruppen den anderen „ihren“ Kraftwandler.

Im nächsten Schritt kann im Unterrichtsgespräch herausgearbeitet werden, dass die geringere Kraft ein „Mehr an Weg“ bedeutet:

- Beim Flaschenzug wird mehr Seil gezogen als 50 cm.
- Bei der Rampe ist die zurückgelegte Zugstrecke größer als 50 cm.
- Beim Hebel ist die heruntergedrückte Strecke größer als die Hubstrecke.

Die verwendeten Kraftwandler sollten eine realistische Größe haben. So ist der Einsatz von „Kleinstflaschenzügen“ aus Experimentierkästen nicht überzeugend. Ein etwas größerer Flaschenzug (z. B. aus dem Baumarkt) für Lasten von 10-20 kg ist hier sinnvoll. Aus Sicherheitsgründen dürfen nur Gegenstände, aber keine Personen hochgehoben werden.

Eine Anmerkung zum Hebel: In der hier beschriebenen Unterrichtssituation ist es nicht hilfreich, das klassische Hebelgesetz aufzubringen. Der Zusammenhang „Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm“ beschreibt das Drehmoment, nicht die Energie. Die Betrachtung sollte daher auf die tatsächlichen Wege und Kräfte an den Enden des Hebels bezogen werden, selbst wenn das Hebelgesetz von einer Schülerin oder einem Schüler mit Vorwissen ins Spiel gebracht wird (es gilt ja trotzdem, nur der Vergleich mit den anderen Kraftwandlern ist dabei schwieriger).

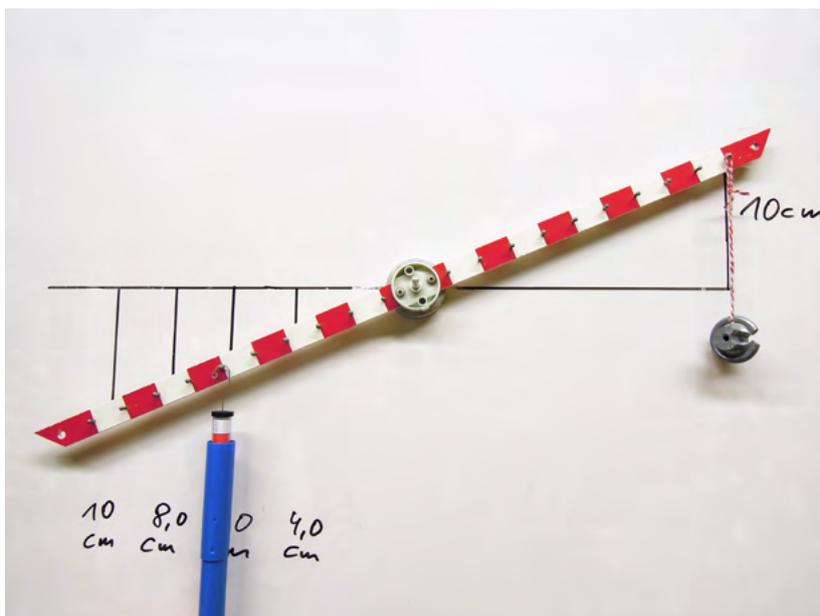


Abb. 26: Hebelwege

LE: Geräte zur Kraftverringerng beim Anheben: Flaschenzug, Rampe, Hebel	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... verwenden Kraftwandler und dokumentieren die Beobachtungen.</p> <p>... bewerten das Optimieren von Maschinen unter praktischen und energetischen Gesichtspunkten.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>- Änderungen der Energie sind ein Hinweis auf eine Wechselwirkung. Die Kraft ist ein Maß für Stärke und Richtung einer Wechselwirkung.</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Protokoll der Anwendung eines Kraftwandlers</p> <p>- Gesammelte Beispiele für technische Anwendungen von Kraftwandlern</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Unterschiedlich weit aufgebaute Kraftwandler, an denen die Beobachtungen gemacht werden.</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>--</p>	

Nach der Einführung der Kraftwandler folgen **Experimente zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Energiemenge beim Anheben ( $\Delta E = F \cdot \Delta x$ )**. Dazu wird von den vorherigen Beobachtungen und Aussagen ausgegangen:

- Was an Kraft gespart wird, wird an Weg zugelegt.
- Die Energie zum Anheben einer Last ist unabhängig von der Art des Anhebens.

Daraus lässt sich die Hypothese bilden, dass das Produkt  $F \cdot \Delta x$  konstant ist und der Energie entspricht. Das soll in geeigneten Experimenten nachgewiesen werden.

Dazu können an verschiedenen Kraftwandlern (jetzt in kleineren Aufbauten) gruppenweise jeweils die Wege variiert und die entsprechenden Kräfte gemessen werden.

Bei der Rampe wird eine immer steilere und kürzere Rampe verwendet. Je länger die Rampe, desto kleiner die aufzubringende Kraft:

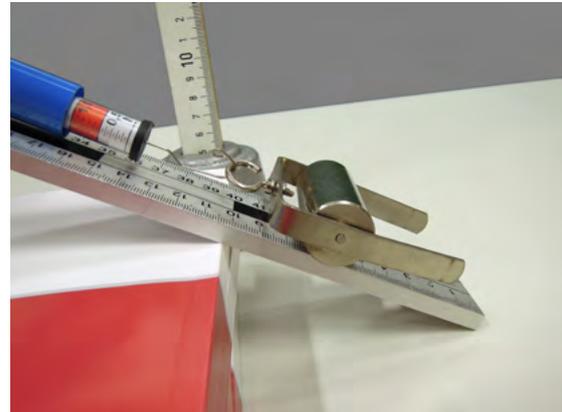
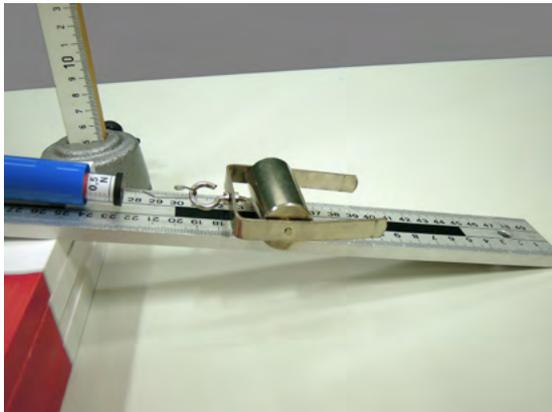


Abb. 27: Rampen

Beim Flaschenzug werden verschiedene Aufbauten mit immer mehr Rollen verwendet. Dadurch erhöht sich die gezogene Seillänge, der Kraftaufwand nimmt dabei ab:

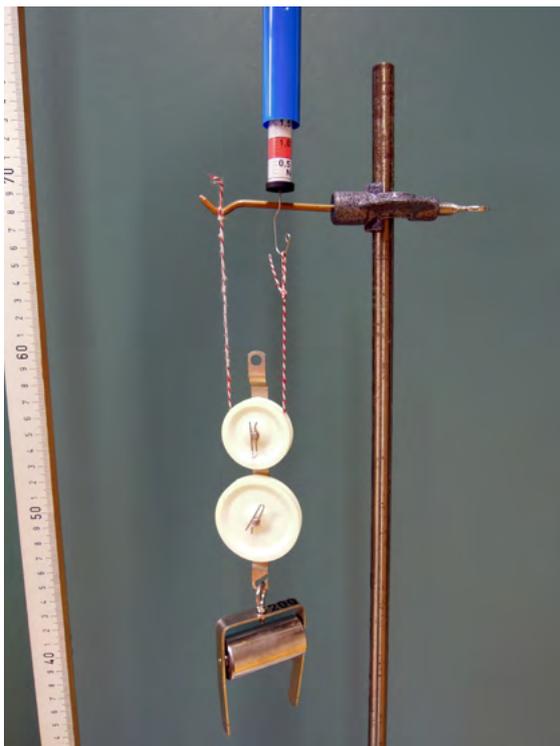


Abb. 28: Flaschenzüge

Beim Hebel werden die Hebelarme variiert, bei längerem „Zugweg“ ist die Kraft geringer:

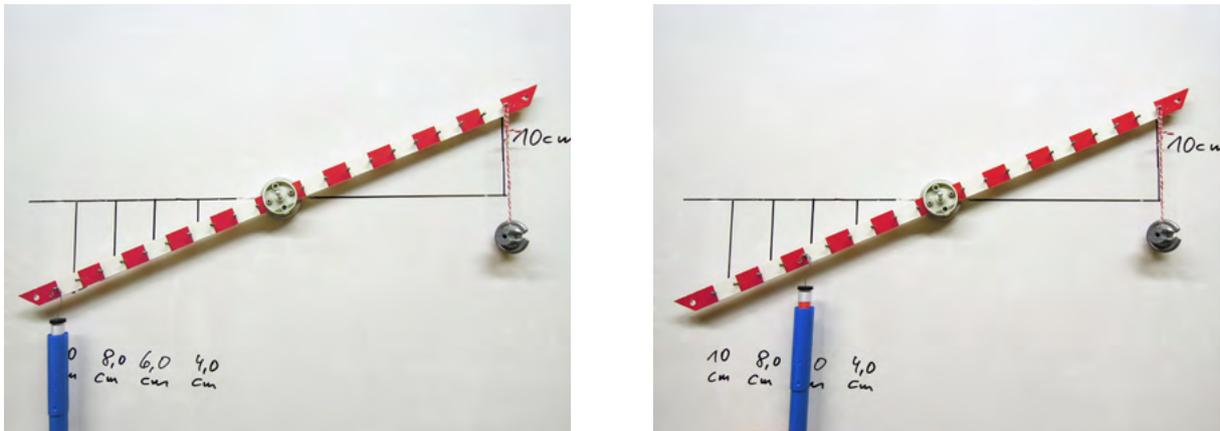


Abb. 29: Hebelwege

Die Werte werden jeweils in eine Tabelle eingetragen:

Weg $\Delta x$			
Zugkraft $F$			
$F \cdot \Delta x$			

Es zeigt sich, dass im Rahmen der Messungenauigkeiten das Produkt aus Kraft und Weg  $F \cdot \Delta x$  konstant ist.

Bei den Aufbauten ist zu beachten, dass die Reibung möglichst gering ist, da sonst zum einen die Ergebnisse schwanken und letztlich nicht der tatsächlichen Energiemenge entsprechen (besonders beim Flaschenzug bei zunehmender Rollenzahl). Das bedeutet für den Flaschenzug wenn möglich geölte Achsen und für die Rampe die Verwendung von gut geölte beschwerten Wagen statt stark reibender Massstücke.

Bei der Auswertung ist es auch sinnvoll, den Flaschenzug als Letztes zu betrachten, da die Werte durch die zunehmende Reibung bei mehr Rollen meist etwas voneinander abweichen. Das kann dann aber durchaus als energetischer Reibungsverlust gedeutet werden, da dieser Effekt bereits im Rahmen der Mechanik (Themenfeld 4) thematisiert wurde. Im Verlauf dieser Unterrichtsreihe kann das bei der Betrachtung des Wirkungsgrades nochmals aufgegriffen werden.

Es liegt nahe, hier bereits den Wirkungsgrad einzuführen. Allerdings wäre der Gewinn an Realitätsbezug durch die große Zahl neuer Begriffe möglicherweise schnell verspielt.

Bei der Auswertung sollten die Schwankungen im Sinne von Messabweichungen thematisiert werden, eine Mittelwertbildung über die Gruppenergebnisse ist entsprechend auch eher plausibel.

Das konstante Produkt  $F \cdot \Delta x$  wird als die Energiemenge interpretiert, die zum Anheben der Masse um die gleiche Höhe nötig ist. Somit ergibt sich die Formel  $\Delta E = F \cdot \Delta x$ . Der Umgang damit kann durch einige Rechenaufgaben geübt werden, z. B. folgendermaßen:

Ein 250 kg schweres Klavier soll auf eine Bühne gebracht werden, die 2 m höher als der Boden davor ist.

- Zeichne eine Skizze der Situation.
- Berechne die Kraft, die zum Anheben auf direktem Weg nötig ist (Gewichtskraft). Berechne dann die aufgebrauchte Energie, wenn das Klavier direkt angehoben wird.
- Nun legt man eine 5 m lange Rampe an der Bühne an und zieht das Klavier auf Rollen hoch. Zeichne auch hier eine Skizze und berechne die nötige Kraft.

Differenzierend können die Skizzen oder sogar die Rechenwege teilweise oder ganz vorgegeben werden.

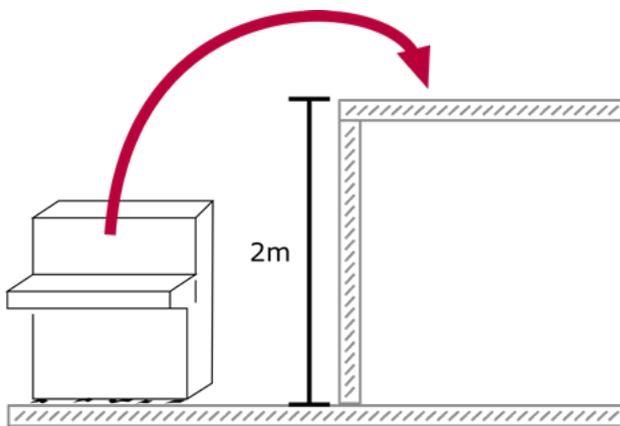


Abb. 30: Klavier

Das Formulieren des Zusammenhangs  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$  für die Energie beim direkten Anheben ergibt sich durch die Bearbeitung der obigen Aufgabe quasi von selbst. Nach dieser schrittweisen Berechnung schließt sich die Herleitung als Tafelanschrieb an. Dadurch wird verdeutlicht, dass man in der Physik neue Formeln auch aus vorhandenen auf mathematischem Weg gewinnen kann:

Bekannt:

- $\Delta E = F \cdot \Delta x$  (Energie – Kraft – Zusammenhang)
- $F_G = m \cdot g$  (Gewichtskraft)
- Weg  $\Delta x$  (allgemein) ist hier der Anhebeweg  $\Delta h$

Herleitung durch Einsetzen:

$$\Delta E = F \cdot \Delta x = F \cdot \Delta h = F_G \cdot \Delta h = m \cdot g \cdot \Delta h$$

Der Zusammenhang lässt sich zudem plausibel machen, indem die freiwerdende Energie eines aus doppelter Höhe fallenden Körpers einen Nagel etwa doppelt so weit in ein Stück Styropor treibt (klassischer Freihandversuch), woraus ersichtlich wird, dass die doppelte Höhe etwa der doppelten Energiemenge entsprechen muss.

Ein Bezug zum Aufzug kann an dieser Stelle wieder hergestellt werden durch tatsächliche Berechnungen der Energiemengen am Aufzugmodell, die vorher nur qualitativ betrachtet wurden. Zudem kann jetzt erneut die Frage aufgeworfen werden, wo die Energie nach dem Anheben ist. Sie befindet sich wie bereits beschrieben im Gravitationsfeld, nicht in der Masse. Das ist analog zur Masse an einer Feder, wo die Energie in der gedehnten Feder verortet wird (siehe 1.5).

LE: Experimente zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Energiemenge beim Anheben $\Delta E = F \cdot \Delta x$ und formulieren des Zusammenhangs $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$	
<b>Kompetenz</b>  Schülerinnen und Schüler ...  ... experimentieren hypothesengeleitet an Kraftwandlern.  ... nutzen erarbeitete Formeln zum Treffen von Vorhersagen.	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b>  - Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, d. h. die Gesamtenergie bleibt konstant. (E)  - Energie ist immer gekoppelt an Objekte (z. B. Körper, Stoffe, aber auch Teilchen, Felder). Mittels daran gemessener physikalischer Größen kann man ihren Wert indirekt bestimmen.
<b>Lernprodukt</b>  - Protokoll der Experimente  - Übungsaufgaben	<b>Differenzierung</b>  - Auswahl/Verteilung der Experimente (Flaschenzug ist etwas diffiziler)  - Teilweise aufgebaute Experimente  - Vorgaben bei den Aufgaben (Skizzen, Rechenweg)  - Vereinfachte Übungsaufgaben
<b>Materialien und Literatur</b>  AB zu Experimenten	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 3 „Energiebilanz und Wirkungsgrad“

Schwerpunkte:

- Aufstellen und experimentelles Überprüfen von Energiebilanzen
- Definition und Bestimmung des Wirkungsgrades

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ⌚ Treffen von Vorhersagen mit  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$  durch Berechnungen, z. B. durch  $U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h$
- ⌚ Überprüfen der Vorhersagen durch Messung
- ⌚ Erklärung der Differenz von Vorhersage und Messung durch den Wirkungsgrad
- ⌚ Experimentelle Bestimmung des Wirkungsgrades einer Maschine

Das Treffen von Vorhersagen mittels Erhaltungsgrößen ist ein Kern physikalischer Tätigkeit. Hier werden entsprechende Vorhersagen durch die Anwendung des Energieerhaltungssatzes möglich. Dieser wird seit dem Unterricht im Fach Naturwissenschaften verwendet, jedoch bislang meist qualitativ. Das Aufstellen von Energiebilanzen mit Hilfe von Formeln der Energie auf verschiedenen Trägern steht im Mittelpunkt der hier beschriebenen Unterrichtssequenz. In der experimentellen Realität lassen sich einfache Energiebilanzen wie  $U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h$  beim Anheben einer Masse durch einen Elektromotor jedoch nicht problemlos nachmessen, da der Wirkungsgrad gerade bei mechanischen Prozessen nicht 100 % beträgt und zudem mit Belastung, Drehzahl etc. variiert. Daher ist es sinnvoll, an verschiedenen Prozessen Vorhersagen zu machen und diese experimentell zu überprüfen. Üblicherweise findet nicht nur eine Umladung der Energie auf einen einzigen (gewünschten) Träger statt.

Bei mechanischen Prozessen treten thermische Verluste durch Reibung auf, bei anderen Prozessen tritt etwa ein Strahlungsverlust auf (z. B. durch Glühen der Drähte beim Toaster). Diese „Verluste“ in eine technisch nicht erwünschte Richtung werden durch Angabe des Wirkungsgrades  $\eta$  erfasst.

In der Praxis und im Kontext des Unterrichtsgangs „Aufzug“ erfolgt nach der Ermittlung erster Formeln für mechanische Energieübertragungen jetzt das **Vorhersagen durch Berechnungen** ( $U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h$ ). Dazu kann das Energiediagramm durch die entsprechenden Formeln ergänzt werden:

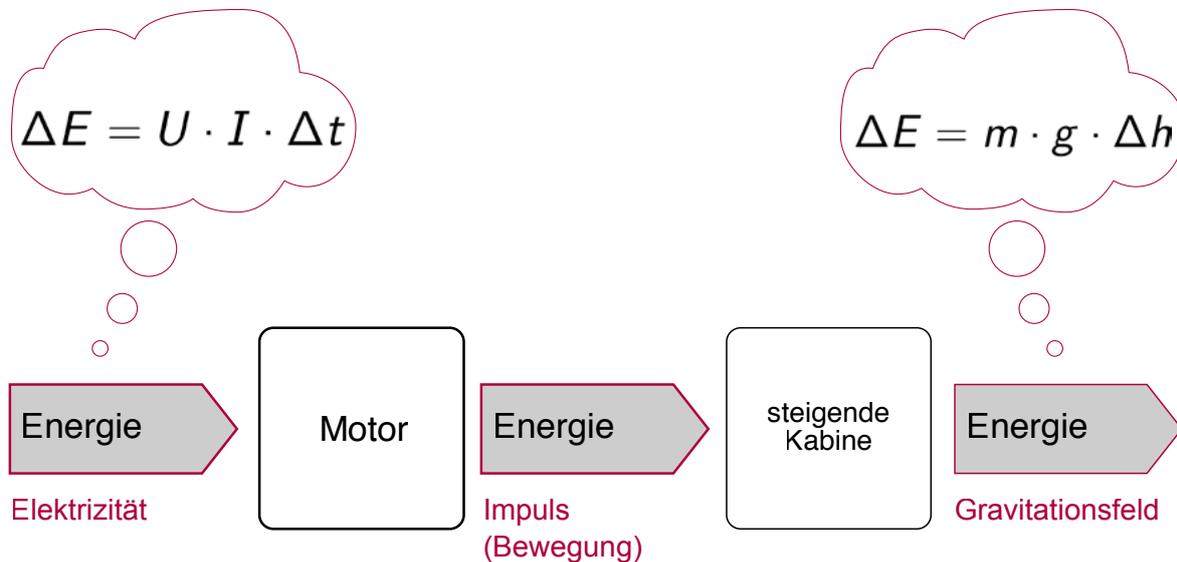


Abb. 31: Energieflussdiagramm mit Formeln

bzw. vereinfacht

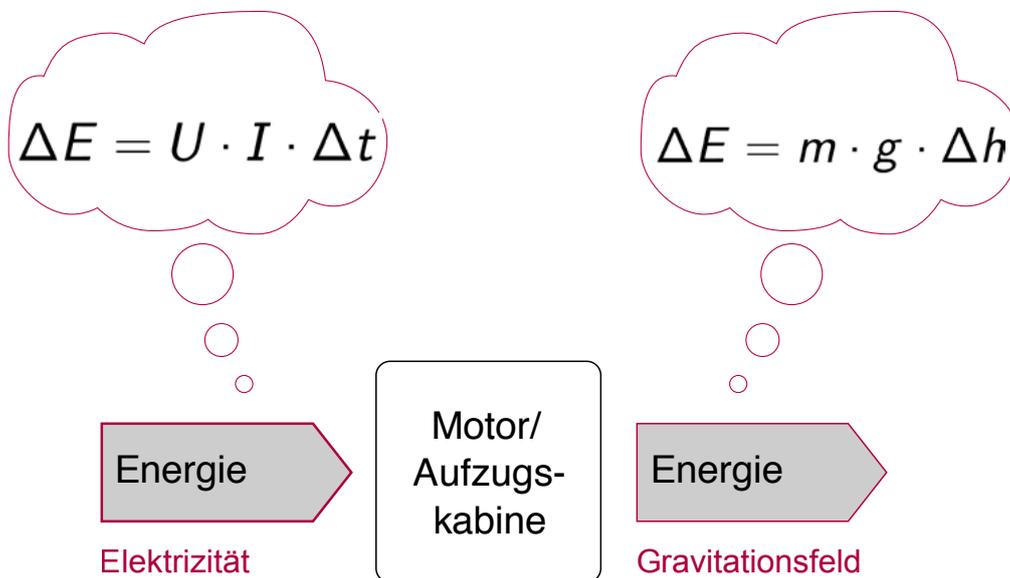


Abb. 32: Vereinfachtes Energieflussdiagramm mit Formeln

Die Formeln sind aus der vorherigen Sequenz bzw. Themenfeld 9 bekannt. Dadurch lassen sich Vorhersagen machen, etwa die erwartete Höhe  $\Delta h$  beim Einsatz des Motors mit der Energiemenge  $\Delta E = U \cdot I \cdot \Delta t$ .

Eine entsprechende Berechnung über die Energiebilanz für realistische Werte von  $U$ ,  $I$  und  $\Delta t$  übt hier den Umgang mit den Formeln ein, z. B.

$$U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$\rightarrow \Delta h = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{m \cdot g}$$

Im Anschluss erfolgt das **Überprüfen der Vorhersagen durch Messung**. Das dazugehörige Experiment wird geplant und durchgeführt. Dabei wird nochmals herausgestellt, dass Energie nie direkt messbar ist, sondern stets über damit verbundene Größen.

In diesem Fall lässt sich die aufgewandte Energie, um eine Masse  $m$  im Gravitationsfeld um den Betrag  $\Delta h$  anzuheben, am Aufzugmodell über die Messung von  $U$ ,  $I$  und  $\Delta t$  bestimmen. Dabei zeigt sich, dass die vorher berechnete Vorhersage nicht erreicht wird, der gemessene Wert von  $\Delta h$  bleibt stets unter dem errechneten.

Hier lassen sich bereits Vermutungen hinsichtlich Reibungsverlust sammeln, eine Umkehrung des Experiments verstärkt diese: Wenn ein um  $\Delta h$  absinkendes Massestück den Motor als Generator in der Zeit  $\Delta t$  antreibt, sind Spannung und Stromstärke auch unter den rechnerisch vorhergesagten Werten. Damit liegt nahe, dass bei der Energieumladung im Motor stets unerwünschte Träger auftreten, was leicht als thermisch an die Umgebung abgegebene Energie in das bestehende Bild integriert werden kann:

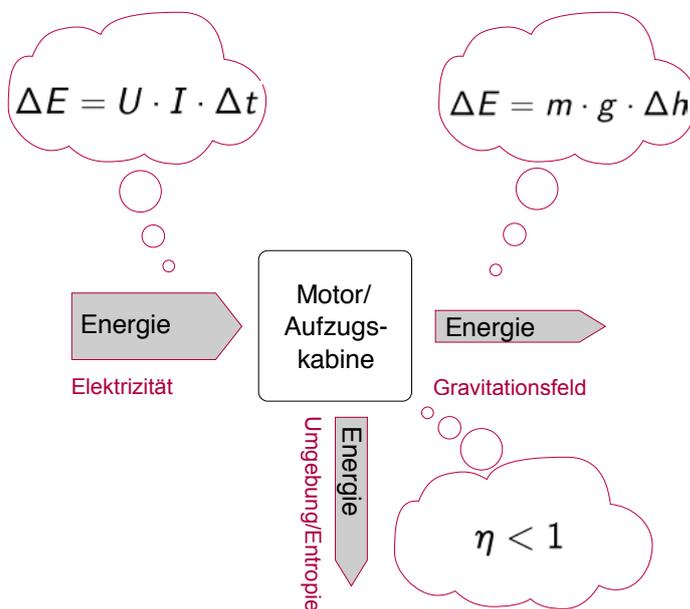


Abb. 33: Energieflussdiagramm mit Wirkungsgrad

LE: Treffen von Vorhersagen mit $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$ durch Berechnungen, z. B. durch $U \cdot I \cdot \Delta t = m \cdot g \cdot \Delta h$ und experimentelle Überprüfung	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler ...</p> <p>... nutzen gegebene oder erarbeitete Formeln zum Aufstellen von Energiebilanzen, zum Treffen von Vorhersagen und zur Berechnung von Wirkungsgraden.</p> <p>... nutzen Energieflussdiagramme zur Darstellung von Energieumladungen.</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie ist immer gekoppelt an Objekte (z. B. Körper, Stoffe, aber auch Teilchen, Felder). Mittels daran gemessener physikalischer Größen kann man ihren Wert indirekt bestimmen. (E)</li> <li>- Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, d. h. die Gesamtenergie bleibt konstant. (E)</li> <li>- Vorhersagen über Größen sowie die Herleitung von Zusammenhängen sind möglich über das Aufstellen von Energiebilanzen. (E)</li> </ul>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufstellen der Energiebilanz für den Modellaufzug und Berechnung erwarteter Größen</li> <li>- Protokoll der Messung am Aufbau und Vergleich</li> </ul>	<p><b>Differenzierung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mathematische Herleitungen</li> </ul>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>--</p>	

Zu Beginn dieser Lerneinheit kann der Wirkungsgrad definiert und an mehreren verschiedenen Beispielen betrachtet werden:

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Ein}}}$$

Einige Beispiele (Glühbirne – LED im Vergleich, Toaster ...) festigen die Vorstellung und beugen dem Fehlkonzept vor, die „Verlustenergie“ wäre stets und ausschließlich durch Reibung bedingt. Es ist sinnvoll, hier in gleicher Weise Energiediagramme erstellen zu lassen.

Im Anschluss erfolgt die Übertragung auf das vorherige Aufzugbeispiel und es kann die **Erklärung der Differenz zwischen Vorhersage und Messung durch den Wirkungsgrad** erfolgen.

An dieser Stelle folgen dazu **Experimente zur experimentellen Bestimmung des Wirkungsgrades einer Maschine**, z. B. in Schülergruppen am zuvor gezeigten Aufbau (Heben einer Last durch Elektromotor). (AB\_HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S3\_ExpWirkungsgradEMotor)

Es können unter Berücksichtigung der Sicherheitsvorschriften auch reale Maschinen zum Anheben verwendet werden:

- Küchenmixer,
- Bohrmaschine,
- Milchschaumer etc.

Es zeigt sich auch am gleichen Aufbau, dass der Wirkungsgrad eines Motors von der Belastung bzw. der Drehzahl abhängig ist. Der Einsatz von Dampfmaschinen (Sicherheitsvorschriften beachten), eventuell mit nachgeschalteten Getrieben wäre sicherlich auch reizvoll.

Experimente mit weiteren Maschinen sind möglich, z. B. mit realen „einfachen Maschinen“ wie einem quietschenden Flaschenzug oder auch bei beliebigen anderen Umladungen.

Es ist möglich, den Wirkungsgrad eines Wasserkochers zu bestimmen (über  $E_{\text{Ein}} = U \cdot I \cdot \Delta t$  und  $E_{\text{Nutz}} = c \cdot m \cdot \Delta T$  (Wasser)), da ein Teil der Energie zur Erwärmung des Wasserkochers aufgebracht wird. Ebenso könnte man den Wirkungsgrad einer kleinen Glühbirne bestimmen, indem man diese wasserdicht verpackt in einem wassergefüllten Gefäß betreibt und über die Temperaturerhöhung die „Abwärme“ im Vergleich zur elektrisch transportierten Energie bestimmt und somit indirekt den Wirkungsgrad. Diese Experimente sind insbesondere sinnvoll und denkbar, wenn in Themenfeld 8 Zusammenhang zwischen Energiemenge und Temperaturänderung (Wärmeäquivalent) thematisiert wurde.

Eventuell kann auch der Kontext „Maschinen“ dazu etwas verlassen werden, z. B. bei Experimenten, bei denen die Energiebilanz  $\frac{1}{2} \cdot F \cdot \Delta x$  bzw.  $\frac{1}{2} \cdot D \cdot (\Delta x)^2 = m \cdot g \cdot \Delta h$  überprüft wird, oder bei der Beschleunigung eines eine Rampe herabfahrenden Wagens ( $\frac{1}{2} \cdot m \cdot (\Delta v)^2 = m \cdot g \cdot \Delta h$ ). Die hier verwendeten Formeln können mitgeteilt und eventuell nach oben differenzierend plausibel gemacht werden.

Der Hinweis sei erlaubt, dass die übliche grafische Herleitung (Fläche unter der Geraden im Diagramm) wahrscheinlich nicht verfängt, da ein Verständnis für Differenzial und Integral, anders als in der Oberstufe, nicht vorhanden sein kann.

Die Bestimmung des Wirkungsgrades bei anderen „Maschinen“ wie einer Solarzelle oder einem Peltier-element ist wegen der schwierigen Bestimmung einzelner Energien eher nicht anzuraten.

Im Verlauf dieser Unterrichtssequenz lassen sich neben der experimentellen Bestimmung weitere Übungen zum Wirkungsgrad einsetzen. (AB AR\_PH\_TF10\_UG1\_S3\_Wirkungsgrad)

Falls in Themenfeld 8 die Entropie als Träger der thermisch transportierten Energie eingeführt wurde, kann an dieser Stelle dargestellt werden, dass der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ebenso wie der einer Wärmepumpe physikalisch begrenzt ist. Die entsprechende Herleitung mittels der Entropie ist überraschend einfach, sie ist dargestellt in Kapitel 1.5 dieser Handreichung.

LE: Definition des Wirkungsgrades und experimentelle Bestimmung des Wirkungsgrades einer Maschine	
<p><b>Kompetenz</b></p> <p>Schülerinnen und Schüler...</p> <p>... nutzen gegebene oder erarbeitete Formeln zum Aufstellen von Energiebilanzen, zum Treffen von Vorhersagen und zur Berechnung von Wirkungsgraden.</p> <p>... experimentieren zu vorgegebenen Fragestellungen (Bestimmung des Wirkungsgrades).</p>	<p><b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b></p> <p>- Der Wirkungsgrad gibt an, welcher Anteil der Energie auf den gewünschten Träger wechselt. Die Optimierung des Wirkungsgrades und die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe tragen zur Nachhaltigkeit bei.</p> <p>- Vorhersagen über Größen sowie die Herleitung von Zusammenhängen sind möglich über das Aufstellen von Energiebilanzen. (E)</p>
<p><b>Lernprodukt</b></p> <p>- Protokollierte Experimente zur Bestimmung des Wirkungsgrades</p>	<p><b>Differenzierung</b></p> <p>- Auswahl der Experimente, Vorentlastung durch vorbereitete Aufbauten, Auswerteschemata</p>
<p><b>Materialien und Literatur</b></p> <p>AB_HR_Ph_TF10_UG1_S3_ExpWirkungsgradEMotor</p> <p>HR_PH_TF10_UG1_S3_Wirkungsgrad</p>	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 4 „Der optimale Aufzug“

Schwerpunkt:

- Betrachtung eines realistischen Aufzugs mit Gegengewicht und seine energetische Optimierung

Aktivitäten und Lernprodukte:

- ⊕ Beschreibung eines realistischen Aufzugs mit Gegengewicht und Berechnungen zu den Energien
- ⊕ Sammlung von Optimierungsmöglichkeiten

Diese kurze Sequenz dient der Rückführung der physikalischen Überlegungen auf die technische Realität und der Ergänzung.

Bei der Betrachtung eines Aufzugschachtes (Video, Bilder, Realbeobachtung) stellt man fest, dass sich die zum Heben der Aufzugskabine nötige Energie nicht einfach aus  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$  ergibt, sondern dass der Betrag durch die in der Realität verwendeten Gegengewichte erheblich kleiner ist. Möglicherweise wurde dieser Punkt bereits früher in der Unterrichtsreihe aufgebracht und kann hier näher betrachtet werden.



Abb. 34: Aufzug mit Gegengewicht (jeweils links im Bild)

Trotz des Gegengewichtes gelten die erarbeiteten Zusammenhänge weiterhin, da das Gegengewicht statisch ist, die Beladung der Aufzugskabine aber schwankt.

Dabei stellt sich die Frage nach der optimalen Masse des Gegengewichtes und es öffnet sich Raum für mögliche Diskussionen zu den Fragen:

- Was ist die optimale Masse des Gegengewichtes?
- Kann man die beim Absenken freigesetzte Energie speichern und wiederverwenden?
- Welche Optimierungsmöglichkeiten gibt es?

### Was ist die optimale Masse des Gegengewichtes?

Wenn die Aufzugkabine die Masse  $m = 500 \text{ kg}$  hat und die max. Zuladung  $z = 600 \text{ kg}$  beträgt, beträgt die Masse  $M$  des Gegengewichtes z. B.

$$M = m + \frac{z}{2} = 500 \text{ kg} + \frac{600 \text{ kg}}{2} = 800 \text{ kg}$$

Dazu wird angenommen, dass ein Gleichgewicht bei durchschnittlich halber Beladung der Kabine besteht ( $600 \text{ kg}/2$ ). Bei dieser Last ist lediglich die Reibung zu überwinden, um den Aufzug anzuheben bzw. abzusenken. Bei voller Kabine müssen noch  $500 \text{ kg} + 600 \text{ kg} - 800 \text{ kg} = 300 \text{ kg}$  angehoben werden, die dazu notwendige Energie beträgt

$$\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h = 300 \text{ kg} \cdot g \cdot \Delta h$$

bzw. unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades entsprechend mehr.

Beim Absenken der leeren Kabine hingegen muss der gleiche Betrag aufgebracht werden, da nun das Gegengewicht angehoben wird.

Diese Überlegungen können grafisch verdeutlicht werden, dazu können auch die Kräfte eingezeichnet werden:

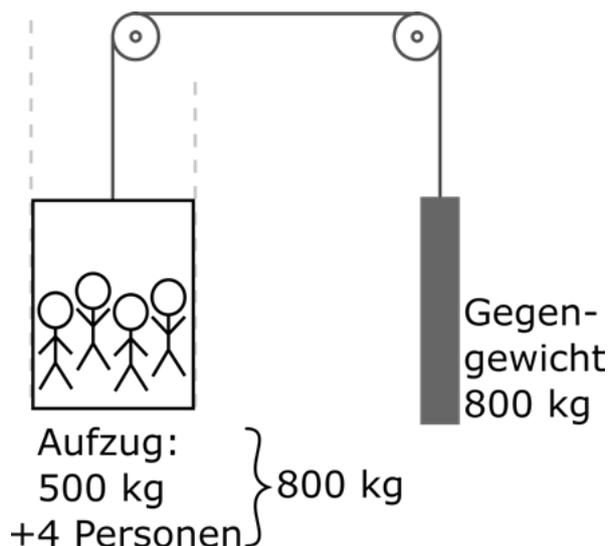


Abb. 35: Aufzug mit Gegengewicht

Die Diskussion kann sich nun darum drehen, ob dieses Gegengewicht so sinnvoll ist. Ein möglicher Einwand wäre das Einbeziehen einer realistischeren Beladung. Wenn im täglichen Betrieb meist nur eine Person im Aufzug ist, wäre es dann günstiger, das Gleichgewicht dafür einzustellen? Dann wäre ein Gegengewicht von z. B.

$$M = m + \frac{z}{2} = 500 \text{ kg} + 75 \text{ kg} = 575 \text{ kg}$$

denkbar, bei dem der Energieaufwand für das Bewegen des Aufzugs minimal wäre. Dafür wäre dann der Aufwand für leeres Absenken bzw. voll beladenes Anheben größer als im anderen Fall.

Andere Argumente wären denkbar, eine entsprechende Strategie oder Optimierung für die jeweiligen Fälle bzw. Ideen kann als Aufgabe gegeben werden inklusive einer Energieabschätzung.

### **Kann man die beim Absenken freigesetzte Energie speichern und wiederverwenden?**

Ein Vorschlag zur Optimierung kann sich auf die Speicherung der Energie beziehen und entsprechend durchdacht werden. Hierzu ist eine Diskussion über die Art der Energiespeicherung angebracht (als angehobene Masse oder Flüssigkeit, in Akkumulatoren etc.). Eine Recherche der Wirkungsgrade von aktuellen Akkus (oder entsprechende Experimente) ermöglicht die Berechnung der zu erwartenden Einsparungen, die auch wieder in Bezug zu den Kosten des Akkus gesetzt werden können.

### **Welche Optimierungsmöglichkeiten gibt es?**

Hier kann bzw. sollte Bezug auf den Wirkungsgrad genommen werden, möglicherweise muss die Frage dahingehend noch präzisiert werden. So kann die Anschaffung von Motoren mit hohem Wirkungsgrad ebenso bedacht werden wie das Beachten von gut geölten Lagern.

Weitere Fragen wie z. B. zum Bremssystem oder der Sicherheit eines realen Aufzugsystems oder Alternativen zum seilgezogenen Aufzug können möglicherweise als Kurzreferate vergeben werden.

LE: Beschreibung eines realistischen Aufzugs und Sammlung von Optimierungsmöglichkeiten	
<b>Kompetenz</b> Schülerinnen und Schüler ... ... bewerten das Optimieren von Maschinen unter praktischen und energetischen Gesichtspunkten.	<b>Konzeptbezogenes Fachwissen</b> - Die Optimierung des Wirkungsgrades und die Vermeidung von unerwünschter Energieabgabe tragen zur Nachhaltigkeit bei.
<b>Lernprodukt</b> - Funktionsskizzen zu realen Aufzügen - Sammlung von Optimierungsmöglichkeiten, unterschiedlich weit ausgeführt	<b>Differenzierung</b> Unterschiedlich weite Ausführung von Optimierungsmöglichkeiten
<b>Materialien und Literatur</b> --	

### Erläuterungen zur Durchführung der Sequenz 5 „Energiebilanzen überall“

Schwerpunkte:

- Dekontextualisierung
- Anwenden des Gelernten an verschiedenen Beispielen

Aktivitäten und Lernprodukte:

- 🛠️ Aufstellen von Energiebilanzen an anderen Beispielen als dem Aufzug
- 🛠️ Üben von Berechnungen zu Energien

Während der Erwerb des Wissens innerhalb des Kontextes „Aufzug“ an einem konkreten Beispiel erfolgt ist, soll das vertiefte Üben im Rahmen des Übertragens auf andere Beispiele vorgenommen werden (Dekontextualisierung). Dieser Transfer ist sinnvoll, um das Erlernte als allgemein gültig zu erleben und damit das Fachkonzept auszubauen.

Hier sollen exemplarisch nur einige Möglichkeiten gezeigt werden.

Geeignet zur Festigung sind Überlegungen zum Vergleich der Wirkung einer bestimmten Energiemenge auf verschiedenen Energieträgern, etwa mit folgender Aufgabe:

Berechne: Mit der Energiemenge 1 kJ kann man

- 1 kg um ..... m anheben,
- 1 kg um ..... m/s beschleunigen,
- 1 kg Wasser um ..... K erhitzen,
- einen Haartrockner (500 W) ..... s lang betreiben.

(HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S2\_05\_UebungenEnergiebilanzen)

Formeln, die noch nicht im Unterricht vorgekommen sind, können hier vorgegeben werden, Herleitungen erscheinen in Hinblick auf das Ziel (Übung im rechnerischen Umgang mit Energiebilanzen) eher ablenkend.

Ebenso, gerade in Hinblick auf die Vorbereitung auf den weiteren Physikunterricht in der Oberstufe, erscheinen vertiefende Berechnungen sinnvoll, etwa:

Berechne,

- welche Geschwindigkeit ein aus 10 m Höhe fallender Stein ( $m = 500 \text{ g}$ ) erreicht,
- welche Höhe ein mit der Anfangsgeschwindigkeit 10 m/s nach oben geworfener Stein erreichen kann,
- welche Leistung ein Elektromotor haben muss, um einen Aufzug der Masse 600 kg in 10 s um 6 m anzuheben,
- wie lange es mindestens dauert, um mittels eines Motors mit 88 kW (= 120 PS) ein Auto (1500 kg) von 0 auf 100 km/h zu beschleunigen (100 km/h = 28 m/s).

(HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S2\_05\_UebungenEnergiebilanzen)

Möglich sind Effizienzbetrachtungen bei Kraftwerken, um den Wirkungsgradbegriff zu festigen, ebenso sind Effizienzbetrachtungen zu alltäglichen Vorgängen wie dem Erhitzen von Wasser denkbar. (HR\_PH\_TF10\_UG1\_S5\_WirkungsgradKraftwerke, HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S5\_WasserErhitzen, HR\_PH\_TF10\_UG1\_S5\_WirkungsgradKraftwerkePuzzle)

Experimentelle Aufgaben sind ebenso denkbar. Beispiele und Anregungen hierfür finden sich in den Onlinematerialien (HR\_PH\_TF10\_UG1\_S5\_EES\_experimental). Vorgegebene Formeln können so etwa plausibilisiert oder überprüft werden. Es ergeben sich dabei Möglichkeiten, unerwünschte Energieumladungen und Messungenauigkeiten zu diskutieren.

## 2.2.2 Unterrichtsgang 2: Maschinen im Wandel der Zeit

Der Leitfaden dieses Unterrichtsgangs ist die historische Entwicklung von Maschinen und Antrieben. Dabei sind die zentralen Gedanken die Energieerhaltung und die Energieumladung. Daraus wird an „einfachen Maschinen“ (Rampe, Hebel, Flaschenzug) gemeinsam der Zusammenhang  $\Delta E = F \cdot \Delta x$  erarbeitet. Das kann auf die gleiche Weise gemacht werden wie im Unterrichtsgang 1 beschrieben (AB HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S2\_02\_ExpKraftEnergie).

Im Anschluss kann gruppenweise ein genauerer Blick auf historisch neuere Maschinen geworfen werden wie Dampfmaschine, Verbrennungsmotor, Elektromotor oder auch Hybridantriebe und Düsentriebwerke. Jede Gruppe hat dabei die gleichen Leitfragen und ähnliche Aufgaben, so dass die erreichten Kompetenzen und fachlichen Inhalte vergleichbar bleiben. So sind neben der Darstellung der Funktionsweise stets die Fragen nach den energetischen Prozessen (inklusive Berechnungen), der Leistung und nach dem Wirkungsgrad enthalten.

Das zentrale Dokument, an dem sich die Unterrichtsreihe orientiert, ist eine zu Beginn erstellte Zeitleiste mit Abbildungen der verschiedenen Maschinen, die dann die Grundlage für die Gruppenarbeiten bilden. Am Ende werden die Präsentationen (in Form von Vorträgen, Postern, Webseiten, Filmen je nach Vorgabe der Lehrperson) wieder auf die Zeitleiste bezogen und ein Zusammenhang hergestellt. So zeigt sich etwa, dass die Geschichte der Maschinen auch angetrieben ist vom Wunsch nach Erhöhung von Leistung bzw. Verbesserung des Wirkungsgrades. Die Einordnung der Maschinen in den historischen Kontext kann hier auch einen Beitrag zur Bewertungskompetenz und zur Allgemeinbildung leisten.

Die Anwendung der gesammelten Ergebnisse in weiteren Aufgaben kann angeschlossen werden wie im ersten Unterrichtsgang, gerade in Hinblick auf eine angestrebte Oberstufenfähigkeit.

Sehr fruchtbar kann im Zusammenhang mit diesem Unterrichtsgang eine Exkursion in ein technisches Museum sein.

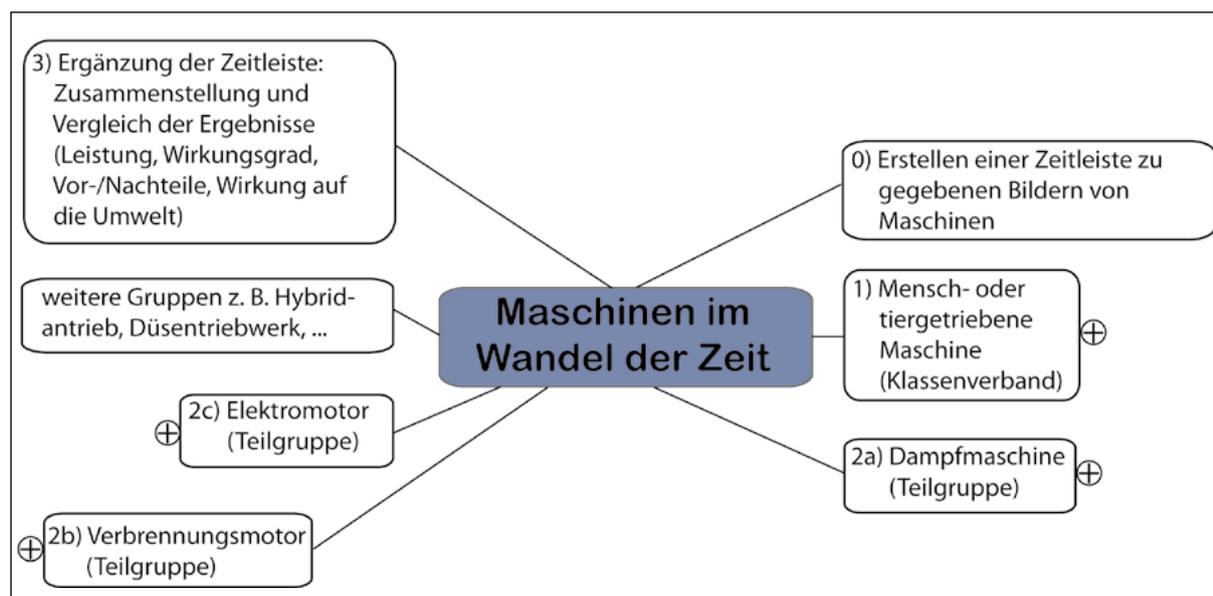


Abb. 36: Maschinen im Wandel der Zeit – Übersicht

Um der Gefahr einer zeitlichen „Überdehnung“ dieses Themas zu begegnen, sollten die Leitfragen eingehalten werden. Eine straffe Organisation, auch etwa durch Vorauswahl der in den Gruppen verwendeten Materialien oder begrenzende Vorgaben zur Präsentation, ist sinnvoll.

Der Unterrichtsgang wird im Folgenden nur kurz stichwortartig umrissen, für einige der Aktivitäten kann auf Material aus dem ersten Unterrichtsgang zurückgegriffen werden, so etwa für einige Experimente und Übungen.

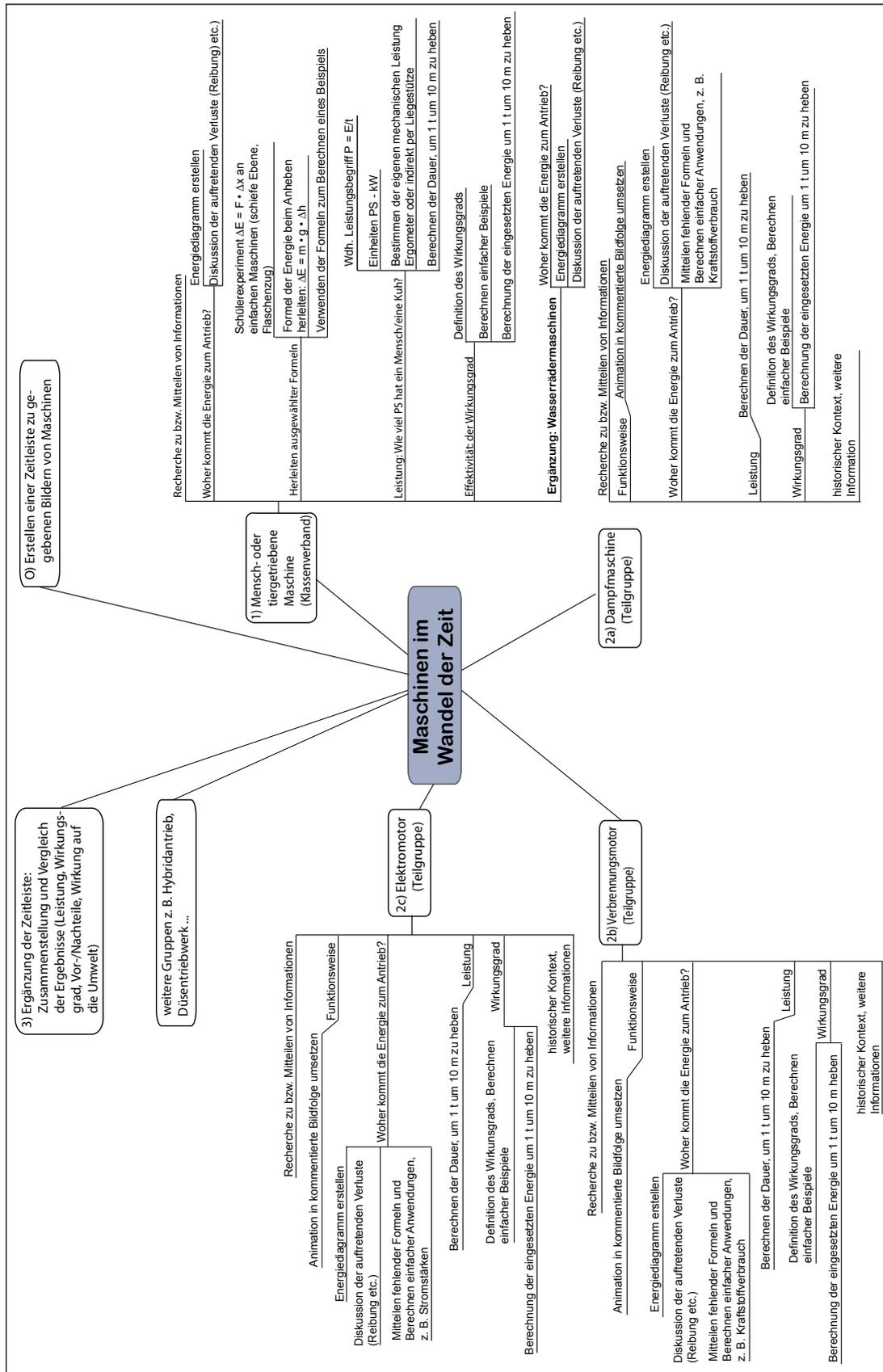


Abb. 37: Maschinen im Wandel der Zeit – Übersicht mit Fragestellungen

### Sequenz 1 : Erstellen einer Zeitleiste zu gegebenen Bildern von Maschinen

Eine Einstiegsaktivität kann aus vorgegebenen Bildern von Maschinen und Benennungen bestehen, wobei gruppenweise die Bilder den Benennungen zugeordnet und anschließend in eine angenommene zeitliche Reihenfolge gebracht werden müssen.

Beispielhaft seien genannt:

- Rampe (mindestens altes Ägypten beim Pyramidenbau)
- Hebel (mindestens Antike, bereits bei Archimedes beschrieben)
- Flaschenzug (mindestens Antike, bereits bei Archimedes beschrieben)
- Tier- bzw. menschgetriebene Mühlen (<https://www.deutsches-museum.de/angebote/jugend-im-museum/erfinderpfad/energie/ochsentretscheibe/>)
- Dampfmaschine
- Automotor
- Elektromotor
- Düsentriebwerk

Informationen und Abbildungen lassen sich z. B. auch bei Wikipedia finden.

Nach Auslegen der folgenden Bilder können die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden, sie zuzuordnen sowie in zeitliche Reihenfolge zu bringen (nach Einschätzung).



Abb. 38: Hebel  
(Bild: wikimedia commons, CC0/gemeinfrei)

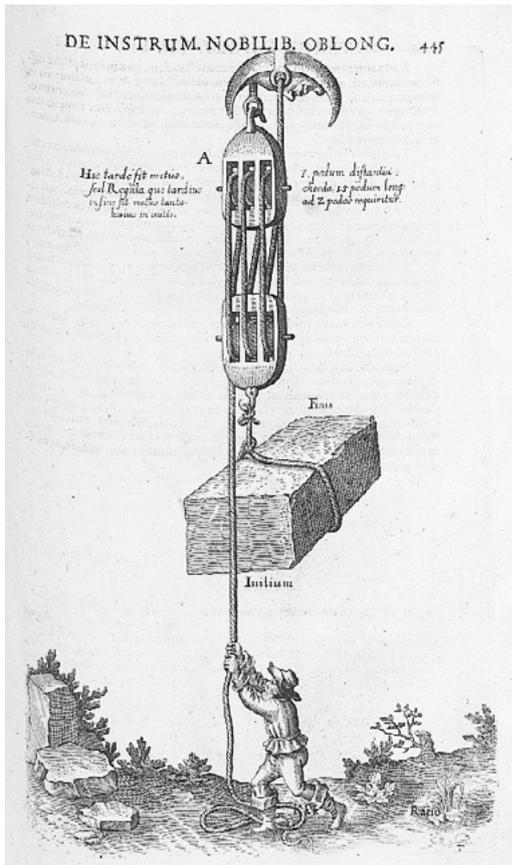


Abb. 39: Flaschenzug  
(Bild: wikimedia commons, CC0/gemeinfrei)

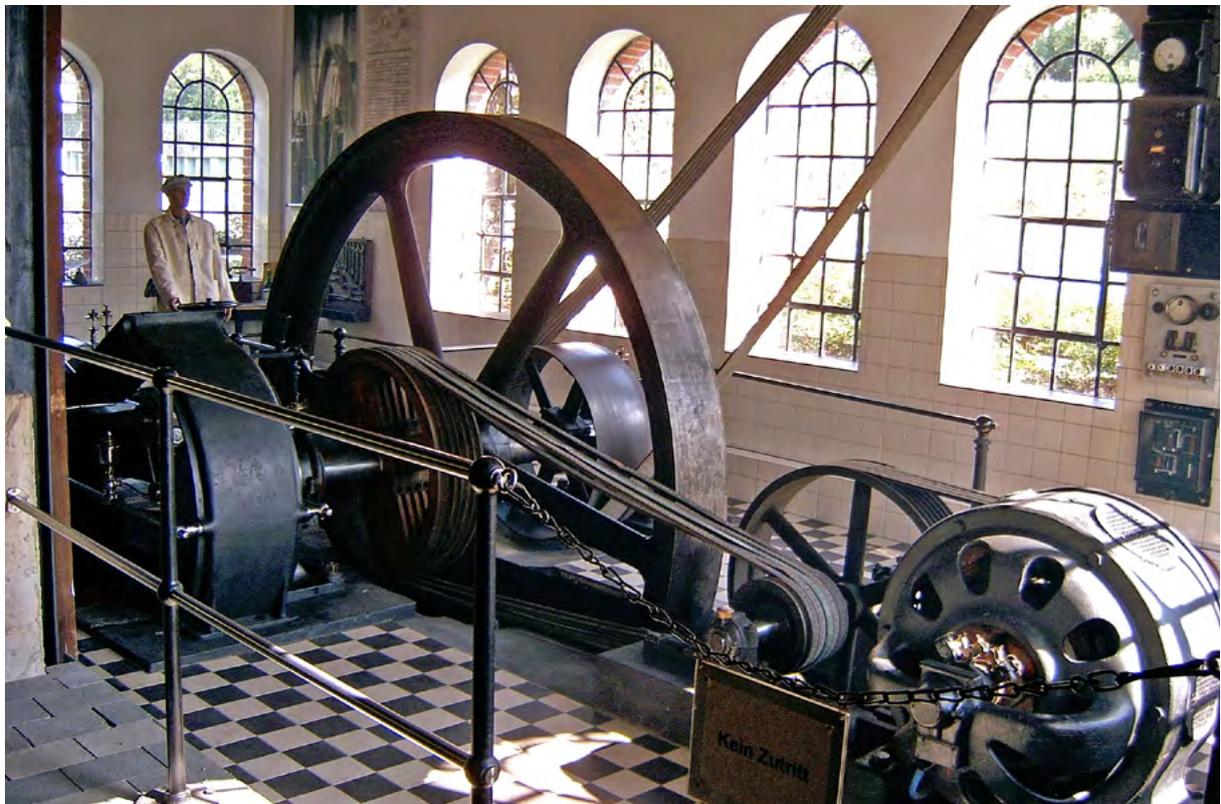


Abb. 40: Dampfmaschine, (Bild: wikimedia commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfmaschine\\_Technikmuseum-Freudenberg.JPG?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfmaschine_Technikmuseum-Freudenberg.JPG?uselang=de), CC BY-SA 3.0 Anntheres)

## Sequenz 2: Mensch- oder tiergetriebene Maschine

Hier können im Klassenverband die „einfachen Maschinen“ wie Hebel, Rampe und Flaschenzug aufgezeigt und ins Zentrum der Betrachtungen gerückt werden. Diese finden sich in vielen Anwendungen von der Antike, etwa beim Pyramidenbau, bis heute. An diesen können dann einige physikalische Betrachtungen in Bezug auf das Energiekonzept gemacht werden, die bei den späteren Gruppenarbeiten analog zu bearbeiten sind.



Abb. 41: Bau einer Pyramide mit Rampe und Hebeln (Bild: wikimedia commons, CC0/gemeinfrei)

Im Einzelnen beinhaltet diese Sequenz folgendes:

- Recherche zu bzw. Mitteilen von Informationen
- Woher kommt die Energie zum Antrieb?
  - Energiediagramm erstellen
  - Diskussion der auftretenden Verluste (Reibung etc.)
- Herleiten ausgewählter Formeln
  - Schülerexperiment zu  $\Delta E = F \cdot \Delta x$  an „einfachen Maschinen“ (schiefe Ebene, Flaschenzug, s. AB HR\_Ph\_TF10\_UG1\_S2\_02\_ExpKraftEnergie)
  - Formel der Energie beim Anheben herleiten:  $\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$
  - Verwenden der Formeln zum Berechnen eines Beispiels

- Leistung: Wie viel PS hat ein Mensch/eine Kuh?  
Wiederholung Leistungsbegriff  $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$   
Einheiten PS und kW  
Eventuell Bestimmen der eigenen mechanischen Leistung: Durch Ergometer oder indirekt per Liegestütze  
Berechnen der Dauer, um 1 t um 10 m zu heben
- Effektivität: der Wirkungsgrad  
Definition des Wirkungsgrades  
Einfache Beispiele, z. B. schlecht laufender Flaschenzug (Berechnung der hier tatsächlich eingesetzten Energie um 1 t um 10 m zu heben)

### Sequenz 3: Gruppenarbeit zu Dampfmaschine, Verbrennungsmotor und Elektromotor

Hier können Schülergruppen anhand der aufgeführten Leitfragen zu einer Maschine/einem Antrieb recherchieren und die Ergebnisse darstellen. Andere Maschinen wie Hybridantrieb oder Düsentriebwerke sind denkbar, aber etwas schwieriger, da beide jeweils die Kenntnis von Verbrennungsmotor bzw. Elektromotor voraussetzen. Eine Eingrenzung durch Materialvorgaben (zumindest Basismaterial zum Einstieg), Zeitbeschränkung und Präsentationsgrenzen (Art und Umfang) ist anzuraten. Vorgaben wie z. B. die Beschränkung auf selbst erstellte Skizzen und Texte statt auf lediglich zusammengestellte und ausgedruckte sind in Betracht zu ziehen, da sie eine vertiefte Auseinandersetzung bewirken (auch wenn sie etwas mehr Zeit beanspruchen).

Der Arbeitsauftrag an die Gruppen kann z. B. lauten:

Erstellt eine Dokumentation (eine selbst ablaufende Präsentation, ein Poster, einen Film ...)  
zur Dampfmaschine (zum Verbrennungsmotor, zum Elektromotor).

- Wann wurde dieser Antrieb erfunden und wo wurde/wird er eingesetzt?
- Wie funktioniert die Maschine? Verwendet geeignete Darstellungen, Animationen oder kommentierte Bildfolgen.
- Woher kommt die Energie zum Antrieb?

Energiediagramm erstellen.

Diskussion der auftretenden Verluste (Reibung etc.)

Dampfmaschine/Verbrennungsmotor: Recherchiert den Kraftstoffbedarf bzw. Energiebedarf von einigen Beispielen („Verbrauch“) und stellt ihn dar. Rechnet ihn wenn möglich auch in Joule um. Recherchiert dazu notwendige Werte bzw. Formeln oder lasst euch dabei vom Lehrer helfen.

Elektromotor: Recherchiert Daten, mit denen ihr den Energiebedarf ermitteln könnt, (z. B. Spannungen und Stromstärken) und stellt den Energiebedarf dar.

- Die Leistung der Maschine
 

Stellt die Leistung ausgewählter Beispiele dar. Berechnet damit, wie lange es bei einem Wirkungsgrad von 100 % dauert, 1 t um 10 m anzuheben, und bestimmt die dabei umgesetzte Energie.
- Wirkungsgrad
 

Recherchiert den Wirkungsgrad ausgewählter Beispiele. Vergleicht, wenn möglich, den recherchierten Energiebedarf (etwa aus dem „Verbrauch“ von Brennstoff) und den tatsächlichen Energiebedarf (aus der Leistung), stellt den Zusammenhang zum Wirkungsgrad dar.

Berechnet damit die tatsächlich eingesetzte Energie, um 1 t um 10 m anzuheben.
- Gibt es weitere interessante Informationen zum Thema? Ergänzt eure Dokumentation damit.

Je nach Lerngruppe können die Leitfragen auch gekürzt, geändert oder ergänzt werden. Es ist auch denkbar, die Betrachtung auf einen Kontext einzuschränken (z. B. Dampflok, Diesellok, Elektrolok). Das Bestimmen des Energiebedarfs stellt eine Schwierigkeit dar, da zum einen die Werte stark vom Modell abhängen, zum anderen eine Normierung hin zur Angabe in Joule meist über den Brennwert erreicht wird. Entsprechende Hinweise dazu und zur Umrechnung (wie viel Joule stecken in einem Liter Benzin/ einer Tonne Kohle?) kann die Lehrkraft in die Gruppe tragen. Im Allgemeinen wird es sicherlich einfacher sein, aus der Leistung auf den Energiebedarf zu schließen und dann soweit wie möglich mit recherchierten Werten zu vergleichen. Hier zeigt sich z. B. gerade der Bezug zum Wirkungsgrad, da sich die Leistungsangabe von Motoren im Allgemeinen auf die mechanische Ausgangsleistung bezieht (im Gegensatz zu Haushaltsgeräten, bei denen meist die elektrische Eingangsleistung angegeben ist). Die Recherche zu Verbrauchswerten bei Dampfmaschinen ist allerdings nicht sehr ergiebig, da diese von zu vielen Faktoren im Betrieb abhängig sind. Bei Verbrennungsmotoren ist dies einfacher zu bewerkstelligen; sie eignen sich daher an dieser Stelle besser.

Differenzierend können hier vorrecherchierte Werte und auszufüllende Rechenschemata vorgegeben werden. Auch die Verteilung der Themen stellt eine Differenzierungsmöglichkeit dar – aufgrund des vorangegangenen Unterrichts ist etwa der Elektromotor einfacher zu behandeln als die Dampfmaschine. Ebenfalls kann man durch mehr oder weniger strikte Vorgabe der Leitfragen und Vorauswahl von Materialquellen eine Differenzierung erreichen.

Materialien zur Recherche finden sich in den Schulbüchern, oder in den üblichen Onlinequellen wie leifiphysik.de. Speziell zur Dampfmaschine sei auf folgende Quellen hingewiesen:

<https://www.deutsches-museum.de/angebote/jugend-im-museum/erfinderpfad/antriebe/dampfmaschine/>

(Deutsches Museum München)

<http://dlok.dgeg.de/312.htm>

(Deutsche Gesellschaft für Eisenbahngeschichte)

#### **Sequenz 4: Ergänzung der Zeitleiste und Zusammenstellung der Ergebnisse**

Nach der Präsentation bzw. Sichtung der Dokumentationen, die auch sinnvollerweise einen genaueren Blick auf die physikalischen Schwerpunkte (z. B. das Ermitteln und Vergleichen von Werten durch konkrete Berechnungen) einschließt, können die Ergebnisse nochmals im Zusammenhang der Zeitleiste betrachtet werden. Jetzt können auch die Entwicklungen in Hinblick auf die gesellschaftlichen Anforderungen diskutiert werden (industrielle Revolution, Beginn des Erdölzeitalters, Individualverkehr, Steigerung von Leistung und Wirkungsgrad, Wirkung auf die Umwelt und Konsequenzen daraus).

Es bietet sich an, die physikalisch fachlichen Kerninhalte erneut zusammenzustellen und auf einige Beispiele außerhalb des Maschinenkontextes anzuwenden. Beispiele und Anregungen dazu finden sich in der letzten Sequenz von Unterrichtsgang 1.

# LITERATURVERZEICHNIS

Demtröder, Wolfgang (2006). Experimentalphysik 1. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer.

Feynman, Richard P. (2001). Vorlesungen über Physik. Band 1. 4. Auflage. München. Oldenbourg.

Leisen, Josef (2014). Vortrag auf der Landestagung MNU am 11.11.2014 in Speyer.  
<http://www.josefleisen.de/speyer.pdf>

National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.  
<https://www.nap.edu/download/13165>

Schwarze, Heiner (2016). Moment mal: Wo ist die potenzielle Energie? In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik 6/65. September 2016. Hallbergmoos. Aulis. S. 35-36.

# AUTORINNEN UND AUTOREN

**Norbert Ames**

Staatliches Eifel-Gymnasium, Neuerburg

**Birgit Becher**

Realschule plus Kirchheimbolanden, Kirchheimbolanden

**Esther Braun**

Integrierte Gesamtschule Nieder-Olm, Nieder-Olm

**Martin Buchhold**

Kurfürst-Balduin-Gymnasium, Münstermaifeld

**Andrea Bürgin**

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

**Silvia Casado-Schneider**

Realschule plus Mainz-Lerchenberg, Mainz

**Katharina Franke**

Gymnasium Nackenheim, Nackenheim

**Wolfgang Heuper**

Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien, Koblenz

**Benjamin Hinkeldey**

Gymnasium Mainz-Oberstadt, Mainz

**Tobias Jung**

Gymnasium Nieder-Olm, Nieder-Olm

**Cordula Mauch**

Peter-Joerres-Gymnasium, Ahrweiler

**Markus Monnerjahn**

Gutenberg-Gymnasium, Mainz

**Christa Müller**

Integrierte Gesamtschule Ludwigshafen-Gartenstadt, Ludwigshafen

**Monika Nikolaus**

Sickingen-Gymnasium, Landstuhl

**Lutz Rosenhagen**

Integrierte Gesamtschule Ernst Bloch, Ludwigshafen

**Nicole Seyler**

Realschule plus Lauterecken-Wolfstein, Lauterecken

**Beate Tölle**

Bischöfliches Angela-Merici-Gymnasium, Trier

**Dr. Anke Winkler-Virnau**

Emanuel-Felke-Gymnasium, Bad Sobernheim

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

Pädagogisches Landesinstitut  
Butenschönstr. 2  
67346 Speyer

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