

# Physik für die 9. Klasse

## Ein umfassendes Lehrbuch für das Gymnasium

**Autor:** Manus AI

**Jahr:** 2025

**Zielgruppe:** Schülerinnen und Schüler der 9. Klasse an deutschen Gymnasien

---

## Inhaltsverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| <b>Vorwort</b> .....   | 5   |
| <b>Kapitel 1: Einführung in die Physik der 9. Klasse</b> .....         | 7   |
| 1.1 Was ist Energie? .....   | 8   |
| 1.2 Das Energieerhaltungsprinzip .....                                 | 10  |
| 1.3 Physik im Alltag .....   | 12  |
| <b>Kapitel 2: Mechanik - Die Welt der Bewegung und Kräfte</b> .....    | 15  |
| 2.1 Mechanische Energieformen .....                                    | 16  |
| 2.1.1 Kinetische Energie .....   | 16  |
| 2.1.2 Potentielle Energie .....  | 20  |
| 2.1.3 Spannenergie .....   | 24  |
| 2.2 Energieumwandlungen .....  | 28  |
| 2.3 Arbeit und Leistung .....  | 32  |
| 2.4 Druck und Auftrieb .....   | 38  |
| 2.4.1 Druck in Flüssigkeiten und Gasen .....                           | 38  |
| 2.4.2 Das Archimedische Prinzip .....                                  | 42  |
| 2.5 Experimente zur Mechanik .....                                     | 46  |
| <b>Kapitel 3: Elektrizitätslehre - Energie durch Elektrizität</b> .... | 51  |
| 3.1 Elektrische Energie .....  | 52  |
| 3.2 Elektrische Leistung .....   | 56  |
| 3.3 Generatoren - Mechanische zu elektrischer Energie .....            | 60  |
| 3.4 Transformatoren .....  | 66  |
| 3.5 Elektromotoren .....   | 70  |
| 3.6 Energiespeicherung .....   | 74  |
| 3.7 Experimente zur Elektrizitätslehre .....                           | 78  |
| <b>Kapitel 4: Wärmelehre - Energie und Temperatur</b> .....            | 83  |
| 4.1 Temperatur und Teilchenmodell .....                                | 84  |
| 4.2 Innere Energie und Wärmekapazität .....                            | 90  |
| 4.3 Aggregatzustände und Phasenübergänge .....                         | 96  |
| 4.4 Wärmetransport .....   | 102 |
| 4.4.1 Wärmeleitung .....   | 102 |
| 4.4.2 Wärmedurchgang .....   | 102 |

|  |     |   |
|--|-----|---|
| Konvektion .....   | 106 | - 4.4.3 Wärmestrahlung .....                          |
| 110 - 4.5 Wärmekraftmaschinen .....                                  | 114 | - 4.6 Klimaphysik und                                 |
| Treibhauseffekt .....  | 120 | - 4.7 Experimente zur Wärmelehre .....                |
|  | 126 |   |
| <b>Kapitel 5: Atomphysik - Die Welt der kleinsten Teilchen</b> ..... | 131 | - 5.1 Entwicklung der Atomvorstellungen .....         |
| 132 - 5.2 Aufbau des Atoms .....                                     |     |   |
| 138 - 5.3 Energieniveaus und Spektren .....                          | 144 | - 5.4   |
| Radioaktivität .....   | 150 | - 5.5   |
| Strahlenschutz .....   | 156 | - 5.6 Experimente zur Atomphysik .....                |
|  | 160 |   |
| <b>Kapitel 6: Energie - Der rote Faden der Physik</b> .....          | 165 | - 6.1 Energieformen im Überblick .....                |
| 166 - 6.2 Energieumwandlungen in der Technik .....                   |     |   |
| 170 - 6.3 Energieeffizienz und Nachhaltigkeit .....                  | 176 | - 6.4 Die Zukunft der Energie .....                   |
|  | 182 |   |
| <b>Anhang A: Experimente und Versuche</b> .....                      | 187 | <b>Anhang B:</b>                                      |
| <b>Formelsammlung</b> .....  | 195 | <b>Anhang C:</b>                                      |
| <b>Glossar</b> .....   | 201 | <b>Anhang D: Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> ..... |
| 215 <b>Literaturverzeichnis</b> .....                                | 225 |   |
| <b>Bildnachweis</b> .....  | 227 |   |

---

## Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

willkommen in der faszinierenden Welt der Physik! Dieses Lehrbuch begleitet euch durch das 9. Schuljahr und zeigt euch, wie spannend und alltagsrelevant Physik sein kann. Im Mittelpunkt steht dabei ein zentrales Konzept: die Energie.

Energie ist überall um uns herum. Sie steckt in der Bewegung eines Balls, in der Höhe eines Wasserfalls, in der Spannung einer Feder und in der Wärme einer Tasse heißen Tees. Das Besondere an der Energie ist, dass sie niemals verloren geht – sie wandelt sich nur von einer Form in eine andere um. Dieses Prinzip der Energieerhaltung ist wie ein roter Faden, der sich durch alle Bereiche der Physik zieht.

In diesem Buch werdet ihr entdecken, wie Energie in der Mechanik zwischen kinetischer und potentieller Form wechselt, wie sie in der Elektrizitätslehre von mechanischer in elektrische Energie umgewandelt wird, wie sie in der Wärmelehre die Bewegung kleinster Teilchen antreibt und wie sie in der Atomphysik in den Bausteinen der Materie gespeichert ist.

Besonders wichtig ist uns der Bezug zu eurem Alltag und zu gesellschaftlich relevanten Themen. Ihr werdet verstehen, warum Energieeffizienz so wichtig ist, wie der Treibhauseffekt funktioniert und welche Rolle die Physik bei der Lösung der Klimakrise spielt. Denn Physik ist nicht nur eine Naturwissenschaft – sie ist der Schlüssel zum Verständnis unserer technischen Welt und zu nachhaltigen Lösungen für die Zukunft.

Jedes Kapitel enthält nicht nur die theoretischen Grundlagen, sondern auch viele Experimente, die ihr selbst durchführen könnt. Denn Physik lernt man am besten durch eigenes Ausprobieren und Entdecken. Die Versuche sind so ausgewählt, dass sie mit einfachen Mitteln durchführbar sind und trotzdem wichtige physikalische Prinzipien veranschaulichen.

Nutzt dieses Buch als euren Begleiter auf der Entdeckungsreise durch die Physik. Scheut euch nicht, Fragen zu stellen, zu experimentieren und eigene Ideen zu entwickeln. Die Physik wartet darauf, von euch entdeckt zu werden!

Viel Erfolg und Freude beim Lernen wünscht euch

**Manus AI**

---

## Kapitel 1: Einführung in die Physik der 9. Klasse

Die Physik der 9. Klasse öffnet ein neues Kapitel in eurem Verständnis der Naturwissenschaften. Während ihr in den vorherigen Jahren bereits erste Einblicke in physikalische Phänomene erhalten habt, werdet ihr nun tiefer in die fundamentalen Prinzipien eintauchen, die unsere Welt regieren. Im Zentrum steht dabei ein Konzept, das alle Bereiche der Physik miteinander verbindet: die Energie.

### 1.1 Was ist Energie?

Energie ist einer der wichtigsten Begriffe in der Physik, aber gleichzeitig auch einer der schwierigsten zu definieren. Im Alltag verwenden wir das Wort "Energie" häufig: Wir sprechen von Energiesparlampen, Energiedrinks oder davon, dass wir keine Energie haben. Aber was ist Energie wirklich?

Physikalisch gesehen ist Energie die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder Wärme zu übertragen. Diese Definition mag zunächst abstrakt erscheinen, aber sie wird durch konkrete Beispiele schnell verständlich. Ein rollender Ball besitzt Energie, weil er beim Zusammenstoß mit einem anderen Gegenstand Arbeit verrichten kann – er kann diesen bewegen oder verformen. Ein Stein auf einem Berg besitzt Energie aufgrund seiner erhöhten Position, denn wenn er herunterfällt, kann er ebenfalls Arbeit verrichten.

Die Energie zeigt sich in verschiedenen Formen, die alle ineinander umwandelbar sind. Die wichtigsten Energieformen, die ihr in diesem Jahr kennenlernen werdet, sind:

**Kinetische Energie** ist die Energie der Bewegung. Jeder bewegte Körper besitzt kinetische Energie, die von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit abhängt. Ein schnell fahrendes Auto hat mehr kinetische Energie als ein langsam fahrendes, und ein schwerer LKW hat bei gleicher Geschwindigkeit mehr kinetische Energie als ein leichtes Auto.

**Potentielle Energie** ist gespeicherte Energie aufgrund der Position eines Körpers. Ein Buch auf einem Regal besitzt potentielle Energie, weil es beim Herunterfallen Arbeit verrichten kann. Je höher das Regal, desto größer ist die potentielle Energie des Buches.

**Spannenergie** ist die Energie, die in verformten elastischen Körpern gespeichert ist. Eine gespannte Feder, ein gespannter Bogen oder ein zusammengedrückter Gummiball besitzen Spannenergie, die beim Loslassen freigesetzt wird.

**Elektrische Energie** ist die Energie bewegter elektrischer Ladungen. Sie ermöglicht den Betrieb aller elektrischen Geräte in unserem Alltag, von der Glühlampe bis zum Computer.

**Wärmeenergie** ist die Energie der ungeordneten Bewegung von Teilchen. Je heißer ein Körper ist, desto schneller bewegen sich seine Teilchen und desto mehr Wärmeenergie besitzt er.

**Chemische Energie** ist in den Bindungen zwischen Atomen gespeichert. Sie wird freigesetzt, wenn sich diese Bindungen ändern, beispielsweise bei der Verbrennung von Benzin oder bei der Verdauung von Nahrung.

**Kernenergie** ist in den Atomkernen gespeichert und wird bei Kernreaktionen freigesetzt. Sie ist die Energiequelle der Sonne und wird in Kernkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt.

Diese verschiedenen Energieformen mögen auf den ersten Blick völlig unterschiedlich erscheinen, aber sie haben alle eine gemeinsame Eigenschaft: Sie können ineinander umgewandelt werden. Ein Wasserkraftwerk wandelt die potentielle Energie des Wassers in kinetische Energie um, diese in mechanische Energie einer Turbine und schließlich in elektrische Energie. Ein Auto wandelt die chemische Energie des Benzins in Wärmeenergie um und diese teilweise in kinetische Energie der Bewegung.

## 1.2 Das Energieerhaltungsprinzip

Das wichtigste Prinzip, das ihr in diesem Jahr verstehen werdet, ist die Energieerhaltung. Dieses Prinzip besagt, dass Energie niemals vernichtet oder aus dem Nichts erschaffen

werden kann – sie kann nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt immer konstant.

Dieses Prinzip mag zunächst überraschend erscheinen, denn im Alltag scheint Energie oft "verloren" zu gehen. Wenn ein Ball auf den Boden fällt und zur Ruhe kommt, wo ist dann seine Energie geblieben? Die Antwort liegt darin, dass die kinetische Energie des Balls nicht verschwunden ist, sondern in andere Energieformen umgewandelt wurde – hauptsächlich in Wärmeenergie und Schallenergie. Der Ball, der Boden und die umgebende Luft werden minimal erwärmt, und ein Teil der Energie wird als Schall abgestrahlt.

Die Energieerhaltung ist ein so fundamentales Prinzip, dass es in allen Bereichen der Physik gilt. In der Mechanik erklärt es, warum ein Pendel immer wieder zur gleichen Höhe zurückkehrt (wenn man die Reibung vernachlässigt). In der Elektrizitätslehre erklärt es, warum die elektrische Leistung, die ein Generator erzeugt, nicht größer sein kann als die mechanische Leistung, die hineingesteckt wird. In der Wärmelehre erklärt es, warum perpetuum mobile – Maschinen, die mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen – unmöglich sind.

Das Energieerhaltungsprinzip hat auch praktische Konsequenzen für unser tägliches Leben. Es erklärt, warum Energieeffizienz so wichtig ist: Da Energie nicht vernichtet werden kann, sondern nur umgewandelt wird, ist es entscheidend, diese Umwandlungen so effizient wie möglich zu gestalten. Eine Glühlampe wandelt nur etwa 5% der elektrischen Energie in Licht um, der Rest wird zu Wärme. Eine LED-Lampe ist viel effizienter und wandelt etwa 20-25% der elektrischen Energie in Licht um.

## 1.3 Physik im Alltag

Die Physik ist keine abstrakte Wissenschaft, die nur in Laboren stattfindet – sie ist überall um uns herum. Jede Bewegung, jeder technische Vorgang und jedes Naturphänomen folgt physikalischen Gesetzen. In diesem Buch werdet ihr entdecken, wie die Physik euren Alltag prägt und wie ihr dieses Wissen nutzen könnt, um die Welt besser zu verstehen.

Wenn ihr morgens aufwacht und das Licht anschaltet, nutzt ihr elektrische Energie, die in einem Kraftwerk aus anderen Energieformen umgewandelt wurde. Vielleicht stammt sie aus einem Kohlekraftwerk, das chemische Energie in Wärme und dann in elektrische Energie umwandelt. Oder sie kommt aus einem Windkraftwerk, das die kinetische Energie des Windes nutzt. Oder aus einem Wasserkraftwerk, das die potentielle Energie des Wassers ausnutzt.

Wenn ihr zur Schule fahrt, erlebt ihr die Physik der Bewegung. Das Fahrrad oder Auto wandelt Energie um: Beim Fahrrad wird die chemische Energie eurer Muskeln in

kinetische Energie umgewandelt, beim Auto die chemische Energie des Kraftstoffs. Beim Bremsen wird diese kinetische Energie wieder umgewandelt – hauptsächlich in Wärmeenergie, die in den Bremsen entsteht.

Selbst beim Essen und Trinken spielt die Physik eine Rolle. Die Nahrung enthält chemische Energie, die euer Körper in andere Energieformen umwandelt: in mechanische Energie für die Bewegung der Muskeln, in elektrische Energie für die Signalübertragung in den Nerven und in Wärmeenergie zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur.

Die Physik hilft uns auch dabei, globale Herausforderungen zu verstehen und zu lösen. Der Klimawandel ist im Wesentlichen ein Problem der Energiebilanz der Erde. Treibhausgase verändern die Art, wie die Erde Energie abstrahlt, was zu einer Erwärmung führt. Das Verständnis dieser physikalischen Prozesse ist entscheidend für die Entwicklung von Lösungen.

Erneuerbare Energien basieren alle auf physikalischen Prinzipien: Solarzellen nutzen den photoelektrischen Effekt, Windkraftanlagen die Aerodynamik, Wasserkraftwerke die Mechanik fließender Flüssigkeiten. Je besser wir diese Prinzipien verstehen, desto effizienter können wir diese Technologien gestalten.

Auch in der Medizin spielt die Physik eine wichtige Rolle. Röntgengeräte nutzen elektromagnetische Strahlung, Ultraschallgeräte Schallwellen, und Kernspintomographen starke Magnetfelder. Das Verständnis der zugrundeliegenden Physik ist entscheidend für die Entwicklung neuer medizinischer Technologien.

In diesem Buch werdet ihr nicht nur die theoretischen Grundlagen der Physik lernen, sondern auch verstehen, wie sie in der Praxis angewendet werden. Jedes Kapitel enthält Beispiele aus dem Alltag und Bezüge zu aktuellen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen. Denn Physik ist nicht nur eine Naturwissenschaft – sie ist der Schlüssel zum Verständnis unserer modernen Welt und zur Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft.

Die Reise durch die Physik der 9. Klasse beginnt mit der Mechanik, wo ihr die Grundlagen der Energieumwandlung kennenlernen werdet. Von dort aus führt der Weg über die Elektrizitätslehre zur Wärmelehre und schließlich zur Atomphysik. Überall werdet ihr das Energiekonzept als verbindendes Element wiederfinden. Am Ende des Jahres werdet ihr nicht nur ein tieferes Verständnis der Physik haben, sondern auch besser verstehen, wie die Welt um euch herum funktioniert.

---

# Kapitel 2: Mechanik - Die Welt der Bewegung und Kräfte

Die Mechanik ist der Bereich der Physik, der sich mit der Bewegung von Körpern und den Kräften beschäftigt, die diese Bewegungen verursachen. Sie ist historisch gesehen der älteste Zweig der Physik und bildet das Fundament für das Verständnis vieler anderer physikalischer Phänomene. In diesem Kapitel werdet ihr entdecken, wie das Energiekonzept die verschiedenen mechanischen Phänomene miteinander verbindet und erklärt.

## 2.1 Mechanische Energieformen

Die Mechanik kennt drei grundlegende Energieformen: die kinetische Energie, die potentielle Energie und die Spannenergie. Diese drei Energieformen können ineinander umgewandelt werden, und ihre Summe bleibt in einem abgeschlossenen System konstant. Dieses Prinzip der Energieerhaltung ist der Schlüssel zum Verständnis aller mechanischen Vorgänge.

### 2.1.1 Kinetische Energie

Die kinetische Energie ist die Energie der Bewegung. Jeder bewegte Körper besitzt kinetische Energie, unabhängig davon, ob es sich um einen rollenden Ball, ein fahrendes Auto oder ein fliegendes Flugzeug handelt. Die kinetische Energie hängt von zwei Faktoren ab: der Masse des Körpers und seiner Geschwindigkeit.

Die mathematische Beziehung für die kinetische Energie lautet:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Dabei ist  $E_{\text{kin}}$  die kinetische Energie in Joule (J),  $m$  die Masse in Kilogramm (kg) und  $v$  die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde (m/s). Diese Formel zeigt uns mehrere wichtige Eigenschaften der kinetischen Energie.

Erstens ist die kinetische Energie proportional zur Masse. Das bedeutet, dass ein doppelt so schwerer Körper bei gleicher Geschwindigkeit auch die doppelte kinetische Energie besitzt. Ein 2000 kg schweres Auto hat bei 50 km/h doppelt so viel kinetische Energie wie ein 1000 kg schweres Auto bei derselben Geschwindigkeit.

Zweitens – und das ist besonders wichtig – ist die kinetische Energie proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit. Das bedeutet, dass eine Verdopplung der Geschwindigkeit zu einer Vervierfachung der kinetischen Energie führt. Ein Auto, das mit 100 km/h fährt, hat viermal so viel kinetische Energie wie dasselbe Auto bei 50 km/h. Diese quadratische Abhängigkeit erklärt, warum hohe Geschwindigkeiten so gefährlich sind: Die Energie, die bei einem Unfall freigesetzt wird, steigt überproportional mit der Geschwindigkeit.

Um diese Zusammenhänge zu veranschaulichen, betrachten wir einige konkrete Beispiele. Ein Fußball mit einer Masse von 0,4 kg, der mit 20 m/s (etwa 72 km/h) fliegt, besitzt eine kinetische Energie von:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times 0,4 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 400 = 80 \text{ J}$$

Ein Kleinwagen mit einer Masse von 1000 kg, der mit 50 km/h (etwa 14 m/s) fährt, besitzt eine kinetische Energie von:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg} \times (14 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times 1000 \times 196 = 98.000 \text{ J} = 98 \text{ kJ}$$

Dieser Vergleich zeigt, dass selbst ein relativ langsam fahrendes Auto eine enorme kinetische Energie besitzt – mehr als tausendmal so viel wie ein schnell fliegender Fußball.

Die kinetische Energie ist immer positiv, da sowohl die Masse als auch das Quadrat der Geschwindigkeit positive Werte sind. Es spielt keine Rolle, in welche Richtung sich ein Körper bewegt – seine kinetische Energie hängt nur vom Betrag seiner Geschwindigkeit ab, nicht von der Richtung.

Ein wichtiger Aspekt der kinetischen Energie ist ihre Relativität. Die Geschwindigkeit eines Körpers hängt davon ab, von welchem Bezugssystem aus man sie betrachtet. Ein Passagier in einem Zug hat relativ zum Zug die Geschwindigkeit null und damit keine kinetische Energie. Relativ zum Bahnhof bewegt er sich jedoch mit der Geschwindigkeit des Zuges und besitzt entsprechend kinetische Energie. Diese Relativität der kinetischen Energie ist ein wichtiges Konzept, das in der gesamten Physik eine Rolle spielt.

Die kinetische Energie kann in andere Energieformen umgewandelt werden. Wenn ein bewegter Körper abgebremst wird, wird seine kinetische Energie in andere Energieformen umgewandelt – meist in Wärmeenergie durch Reibung. Beim Bremsen eines Autos wird die kinetische Energie in Wärmeenergie umgewandelt, die in den Bremsen entsteht. Diese Wärme kann so groß werden, dass die Bremsen glühen.

Umgekehrt kann kinetische Energie auch aus anderen Energieformen entstehen. Wenn ein Stein von einem Berg herunterfällt, wird seine potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Je tiefer er fällt, desto schneller wird er und desto mehr kinetische Energie besitzt er.

Die kinetische Energie spielt auch in der Technik eine wichtige Rolle. Schwungräder nutzen das Prinzip der kinetischen Energie zur Energiespeicherung. Ein schweres Rad wird in Rotation versetzt und speichert dabei kinetische Energie. Diese Energie kann später wieder abgerufen werden, indem das Schwungrad abgebremst wird. Solche Systeme werden in Bussen und Bahnen eingesetzt, um Bremsenergie zu speichern und später wieder zu nutzen.

In der Natur finden wir viele Beispiele für kinetische Energie. Der Wind besitzt kinetische Energie, die in Windkraftanlagen zur Stromerzeugung genutzt wird. Fließendes Wasser besitzt kinetische Energie, die in Wasserkraftwerken genutzt wird. Sogar die Bewegung der Kontinentalplatten ist mit kinetischer Energie verbunden, auch wenn diese Bewegung extrem langsam ist.

## 2.1.2 Potentielle Energie

Die potentielle Energie, auch Lageenergie genannt, ist die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Position in einem Kraftfeld besitzt. Das bekannteste Beispiel ist die Gravitationsenergie – die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Höhe im Gravitationsfeld der Erde besitzt. Aber auch andere Kraftfelder können potentielle Energie speichern, beispielsweise elektrische oder magnetische Felder.

Im Gravitationsfeld der Erde berechnet sich die potentielle Energie nach der Formel:

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times h$$

Dabei ist  $E_{\text{pot}}$  die potentielle Energie in Joule (J),  $m$  die Masse in Kilogramm (kg),  $g$  die Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) und  $h$  die Höhe über einem Bezugsniveau in Meter (m).

Diese Formel zeigt uns, dass die potentielle Energie linear von der Höhe abhängt. Verdoppelt man die Höhe, so verdoppelt sich auch die potentielle Energie. Sie ist auch proportional zur Masse: Ein doppelt so schwerer Körper besitzt in derselben Höhe auch die doppelte potentielle Energie.

Ein wichtiger Aspekt der potentiellen Energie ist die Wahl des Bezugsniveaus. Die potentielle Energie ist immer relativ zu einem gewählten Nullniveau definiert. Meist wählt man als Bezugsniveau den Erdboden oder die Tischoberfläche. Ein Buch auf einem 2 m hohen Regal hat relativ zum Boden eine andere potentielle Energie als relativ zur Tischoberfläche. Wichtig ist nur, dass man das Bezugsniveau während einer Betrachtung nicht ändert.

Betrachten wir einige Beispiele für potentielle Energie. Ein 2 kg schweres Buch auf einem 3 m hohen Regal besitzt eine potentielle Energie von:

$$E_{\text{pot}} = 2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} = 58,9 \text{ J}$$

Ein 70 kg schwerer Mensch auf dem 10. Stock eines Gebäudes (etwa 30 m Höhe) besitzt eine potentielle Energie von:

$$E_{\text{pot}} = 70 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 30 \text{ m} = 20.601 \text{ J} \approx 20,6 \text{ kJ}$$

Diese Beispiele zeigen, dass auch bei moderaten Höhen beträchtliche Energiemengen gespeichert werden können.

Die potentielle Energie kann negativ werden, wenn sich ein Körper unterhalb des gewählten Bezugsniveaus befindet. Wählt man beispielsweise die Erdoberfläche als Bezugsniveau, so hat ein Bergarbeiter in 100 m Tiefe eine negative potentielle Energie. Das ist physikalisch völlig korrekt und bedeutet nur, dass Energie zugeführt werden muss, um den Körper zum Bezugsniveau zu bringen.

Die potentielle Energie ist eine Form gespeicherter Energie. Sie kann jederzeit in andere Energieformen umgewandelt werden. Wenn ein Körper aus einer bestimmten Höhe fällt, wird seine potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Je tiefer er fällt, desto mehr potentielle Energie verliert er und desto mehr kinetische Energie gewinnt er.

Dieser Umwandlungsprozess lässt sich mathematisch beschreiben. Wenn ein Körper aus der Höhe  $h_1$  zur Höhe  $h_2$  fällt, verliert er die potentielle Energie:

$$\Delta E_{\text{pot}} = m \times g \times (h_1 - h_2)$$

Diese Energie wird in kinetische Energie umgewandelt, sodass gilt:

$$\Delta E_{\text{kin}} = \Delta E_{\text{pot}}$$

Daraus lässt sich die Geschwindigkeit berechnen, die der Körper beim Fallen erreicht:

$$v = \sqrt{(2 \times g \times (h_1 - h_2))}$$

Diese Formel zeigt, dass die Endgeschwindigkeit nur von der Fallhöhe abhängt, nicht von der Masse des Körpers. Ein schwerer und ein leichter Gegenstand fallen gleich schnell (wenn man den Luftwiderstand vernachlässigt).

Die potentielle Energie spielt in vielen technischen Anwendungen eine wichtige Rolle. Pumpspeicherkraftwerke nutzen potentielle Energie zur Energiespeicherung. In Zeiten geringen Stromverbrauchs wird Wasser in ein höher gelegenes Reservoir gepumpt, wodurch potentielle Energie gespeichert wird. Bei hohem Strombedarf lässt man das Wasser wieder ablaufen und wandelt die potentielle Energie über Turbinen in elektrische Energie um.

Auch in der Natur ist potentielle Energie allgegenwärtig. Der Wasserkreislauf der Erde basiert auf der Umwandlung von potentieller Energie. Die Sonne verdunstet Wasser aus den Ozeanen, das als Wasserdampf in große Höhen steigt und dabei potentielle Energie gewinnt. Wenn es als Regen oder Schnee wieder herabfällt, wird diese potentielle Energie freigesetzt und treibt Flüsse und Bäche an.

Gebirge sind riesige Speicher potentieller Energie. Das Wasser, das als Schnee und Eis in den Bergen gespeichert ist, besitzt aufgrund seiner Höhe eine enorme potentielle Energie. Diese Energie wird freigesetzt, wenn das Wasser als Lawine, Erdrutsch oder

Hochwasser talwärts fließt. Das Verständnis der potentiellen Energie ist daher auch für den Katastrophenschutz wichtig.

### 2.1.3 Spannenergie

Die Spannenergie ist die Energie, die in verformten elastischen Körpern gespeichert ist. Wenn man eine Feder zusammendrückt oder dehnt, einen Gummiball zusammendrückt oder einen Bogen spannt, wird Energie in Form von Spannenergie gespeichert. Diese Energie kann später wieder freigesetzt werden, wenn der Körper in seine ursprüngliche Form zurückkehrt.

Die Spannenergie folgt dem Hookeschen Gesetz, das besagt, dass die Kraft, die zur Verformung eines elastischen Körpers nötig ist, proportional zur Auslenkung ist:

$$F = D \times s$$

Dabei ist F die Kraft in Newton (N), D die Federkonstante in Newton pro Meter (N/m) und s die Auslenkung in Meter (m). Die Federkonstante D ist ein Maß für die Steifigkeit des elastischen Körpers. Eine steife Feder hat eine große Federkonstante, eine weiche Feder eine kleine.

Die in einer verformten Feder gespeicherte Spannenergie berechnet sich nach der Formel:

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times D \times s^2$$

Diese Formel zeigt, dass die Spannenergie quadratisch mit der Auslenkung zunimmt. Verdoppelt man die Auslenkung, so vervierfacht sich die gespeicherte Energie. Das erklärt, warum es immer schwerer wird, eine Feder weiter zu dehnen oder zu stauchen.

Betrachten wir ein konkretes Beispiel. Eine Feder mit der Federkonstante  $D = 100 \text{ N/m}$  wird um  $s = 0,2 \text{ m}$  gedehnt. Die gespeicherte Spannenergie beträgt:

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times (0,2 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 0,04 = 2 \text{ J}$$

Würde man dieselbe Feder um  $0,4 \text{ m}$  dehnen, wäre die gespeicherte Energie:

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times (0,4 \text{ m})^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 0,16 = 8 \text{ J}$$

Die Energie hat sich also vervierfacht, obwohl die Auslenkung nur verdoppelt wurde.

Das Hookesche Gesetz gilt nur im elastischen Bereich eines Materials. Wird ein Körper zu stark verformt, überschreitet er seine Elastizitätsgrenze und verformt sich plastisch – er kehrt nicht mehr in seine ursprüngliche Form zurück. In diesem Fall geht die Spannenergie verloren und wird in andere Energieformen umgewandelt, meist in Wärmeenergie.

Die Spannenergie kann in andere Energieformen umgewandelt werden. Wenn man eine gespannte Feder loslässt, wird die Spannenergie in kinetische Energie umgewandelt. Ein Pfeil, der von einem gespannten Bogen abgeschossen wird, erhält seine kinetische Energie aus der Spannenergie des Bogens. Ein Katapult funktioniert nach demselben Prinzip.

In der Technik wird Spannenergie vielfältig genutzt. Uhrenfedern speichern Energie, die über längere Zeit gleichmäßig abgegeben wird und das Uhrwerk antreibt. Stoßdämpfer in Autos nutzen Federn, um die kinetische Energie von Stößen aufzunehmen und kontrolliert wieder abzugeben. Trampolinspringen basiert auf der Umwandlung zwischen potentieller Energie, kinetischer Energie und Spannenergie.

Auch in der Natur finden wir viele Beispiele für Spannenergie. Bäume speichern Spannenergie in ihren Ästen und Stämmen, die bei starkem Wind gebogen werden. Diese Energie hilft ihnen, nach dem Wind wieder in ihre ursprüngliche Position zurückzukehren. Muskeln und Sehnen von Tieren funktionieren ebenfalls wie elastische Federn und speichern Spannenergie, die bei der Bewegung genutzt wird.

Ein besonders interessantes Beispiel ist das Springen von Kängurus. Diese Tiere haben sehr elastische Sehnen in ihren Hinterbeinen, die bei jedem Sprung Spannenergie speichern und wieder freigeben. Dadurch können sie sehr energieeffizient springen – ein Großteil der Energie eines Sprungs wird für den nächsten Sprung wiederverwendet.

## 2.2 Energieumwandlungen

Das Herzstück der Mechanik ist das Verständnis, wie die verschiedenen Energieformen ineinander umgewandelt werden. Diese Umwandlungen folgen dem Energieerhaltungssatz: Die Gesamtenergie bleibt konstant, aber sie kann zwischen den verschiedenen Formen wechseln. Diese Umwandlungen zu verstehen ist der Schlüssel zum Verständnis aller mechanischen Vorgänge.

Das klassische Beispiel für Energieumwandlungen ist das Pendel. Betrachten wir ein einfaches Fadenpendel, das aus einer bestimmten Höhe losgelassen wird. Am Anfang, bei maximaler Auslenkung, besitzt das Pendel nur potentielle Energie. Seine Geschwindigkeit ist null, also ist auch seine kinetische Energie null. Die gesamte mechanische Energie steckt in der potentiellen Energie aufgrund der Höhe.

Wenn das Pendel zu schwingen beginnt, wandelt sich die potentielle Energie allmählich in kinetische Energie um. Das Pendel wird immer schneller, je tiefer es schwingt. Am tiefsten Punkt seiner Bahn hat es die maximale Geschwindigkeit erreicht und besitzt nur noch kinetische Energie. Die potentielle Energie ist minimal (wenn wir den tiefsten Punkt als Bezugsniveau wählen).

Schwingt das Pendel auf der anderen Seite wieder nach oben, kehrt sich der Prozess um. Die kinetische Energie wird wieder in potentielle Energie umgewandelt. Das Pendel wird langsamer, je höher es steigt, bis es am höchsten Punkt wieder zur Ruhe kommt und nur noch potentielle Energie besitzt.

Mathematisch lässt sich dieser Vorgang beschreiben durch:

$$\mathbf{E_{gesamt} = E_{kin} + E_{pot} = konstant}$$

Am höchsten Punkt:  $E_{gesamt} = 0 + mgh = mgh$  Am tiefsten Punkt:  $E_{gesamt} = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv^2$

Daraus folgt:  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$  oder  $v = \sqrt{2gh}$

Diese Beziehung zeigt, dass die Geschwindigkeit am tiefsten Punkt nur von der Fallhöhe abhängt, nicht von der Masse des Pendels.

In der Realität schwingt ein Pendel nicht ewig, sondern kommt allmählich zur Ruhe. Das liegt daran, dass ein Teil der mechanischen Energie durch Reibung in Wärmeenergie umgewandelt wird. Die Gesamtenergie bleibt erhalten, aber sie ist nicht mehr vollständig als mechanische Energie verfügbar.

Ein weiteres wichtiges Beispiel für Energieumwandlungen ist der freie Fall. Wenn ein Körper aus einer bestimmten Höhe fällt, wird seine potentielle Energie kontinuierlich in kinetische Energie umgewandelt. Die Geschwindigkeit nimmt zu, während die Höhe abnimmt. Kurz vor dem Aufprall ist die gesamte potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt.

Beim Aufprall wird die kinetische Energie in andere Energieformen umgewandelt: in Verformungsenergie (wenn der Körper oder der Boden verformt wird), in Schallenergie (das Geräusch des Aufpralls) und in Wärmeenergie. Diese Umwandlung ist meist irreversibel – die Energie ist zwar erhalten, aber nicht mehr als mechanische Energie verfügbar.

Energieumwandlungen spielen auch bei Fahrzeugen eine wichtige Rolle. Beim Beschleunigen wird die chemische Energie des Kraftstoffs über den Motor in kinetische Energie des Fahrzeugs umgewandelt. Beim Bremsen wird die kinetische Energie wieder in Wärmeenergie umgewandelt, die in den Bremsen entsteht.

Moderne Fahrzeuge nutzen zunehmend Rekuperationssysteme, die einen Teil der Bremsenergie zurückgewinnen. Beim Bremsen wird die kinetische Energie nicht vollständig in Wärme umgewandelt, sondern teilweise in elektrische Energie, die in einer Batterie gespeichert wird. Diese Energie kann später wieder zum Beschleunigen genutzt werden.

Ein faszinierendes Beispiel für Energieumwandlungen ist das Trampolinspringen. Hier werden alle drei mechanischen Energieformen ineinander umgewandelt. Wenn ein Springer auf das Trampolin springt, besitzt er zunächst kinetische Energie. Beim Aufprall wird diese in Spannenergie des Trampolins umgewandelt. Das Trampolin verformt sich und speichert die Energie elastisch. Anschließend gibt das Trampolin die Spannenergie wieder frei und wandelt sie in kinetische Energie des Springers um, der nach oben katapultiert wird. In der Luft wird die kinetische Energie wieder in potentielle Energie umgewandelt, bis der Springer am höchsten Punkt seiner Bahn angelangt ist.

Diese Energieumwandlungen lassen sich auch in der Natur beobachten. Ein Wasserfall ist ein kontinuierlicher Umwandlungsprozess von potentieller in kinetische Energie. Das Wasser besitzt oben am Wasserfall potentielle Energie aufgrund seiner Höhe. Beim Fallen wird diese in kinetische Energie umgewandelt. Unten angekommen, wird die kinetische Energie in Wärme-, Schall- und Bewegungsenergie des Wassers umgewandelt.

Auch Erdbeben sind Beispiele für Energieumwandlungen. In der Erdkruste baut sich über lange Zeit Spannenergie auf, wenn sich tektonische Platten gegeneinander verschieben. Wenn diese Spannung plötzlich freigesetzt wird, wandelt sich die Spannenergie in kinetische Energie der Erdmassen um, die als seismische Wellen durch die Erde laufen.

Das Verständnis von Energieumwandlungen ist nicht nur theoretisch wichtig, sondern hat auch praktische Anwendungen. Ingenieure nutzen dieses Wissen, um effiziente Maschinen zu konstruieren. Sportler nutzen es, um ihre Leistung zu optimieren. Und Sicherheitsexperten nutzen es, um Unfälle zu vermeiden und Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

## 2.3 Arbeit und Leistung

Die Begriffe Arbeit und Leistung haben in der Physik eine sehr spezifische Bedeutung, die sich von der umgangssprachlichen Verwendung unterscheidet. In der Physik ist Arbeit eng mit dem Energiekonzept verknüpft: Arbeit ist der Prozess der Energieübertragung. Wenn Energie von einem System auf ein anderes übertragen wird, sprechen wir davon, dass Arbeit verrichtet wird.

Die mechanische Arbeit ist definiert als das Produkt aus Kraft und Weg, wobei die Kraft in Richtung des Weges wirken muss:

$$W = F \times s$$

Dabei ist W die Arbeit in Joule (J), F die Kraft in Newton (N) und s der Weg in Meter (m). Diese einfache Formel gilt nur, wenn die Kraft konstant ist und in Richtung der Bewegung wirkt.

Wenn die Kraft nicht in Richtung der Bewegung wirkt, muss man die Komponente der Kraft in Bewegungsrichtung betrachten:

$$W = F \times s \times \cos(\alpha)$$

Dabei ist  $\alpha$  der Winkel zwischen der Kraftrichtung und der Bewegungsrichtung.

Diese Definition führt zu einigen interessanten Konsequenzen. Wenn eine Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt, wird keine Arbeit verrichtet, auch wenn eine große Kraft aufgewendet wird. Ein Beispiel dafür ist das Tragen eines schweren Koffers auf ebener Strecke. Die Kraft, die man aufwenden muss, um den Koffer zu halten, ist groß, aber sie wirkt senkrecht zur Bewegungsrichtung. Physikalisch wird daher keine Arbeit verrichtet (auch wenn es anstrengend ist).

Arbeit kann positiv oder negativ sein. Positive Arbeit wird verrichtet, wenn die Kraft in Richtung der Bewegung wirkt – dabei wird dem System Energie zugeführt. Negative Arbeit wird verrichtet, wenn die Kraft entgegen der Bewegungsrichtung wirkt – dabei wird dem System Energie entzogen. Beim Bremsen eines Autos verrichtet die Bremskraft negative Arbeit und entzieht dem Auto kinetische Energie.

Es gibt verschiedene Arten mechanischer Arbeit, die jeweils mit bestimmten Energieumwandlungen verbunden sind:

**Hubarbeit** wird verrichtet, wenn ein Körper gegen die Schwerkraft angehoben wird:  
 $W_{\text{hub}} = m \times g \times h$

Diese Arbeit wird in potentielle Energie umgewandelt. Wenn man einen 10 kg schweren Kasten um 2 m anhebt, verrichtet man eine Hubarbeit von:  $W_{\text{hub}} = 10 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 196,2 \text{ J}$

**Beschleunigungsarbeit** wird verrichtet, wenn ein Körper beschleunigt wird:  $W_{\text{besch}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

Diese Arbeit wird in kinetische Energie umgewandelt. Um ein 1000 kg schweres Auto von 0 auf 50 km/h (etwa 14 m/s) zu beschleunigen, muss eine Beschleunigungsarbeit von:  $W_{\text{besch}} = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg} \times (14 \text{ m/s})^2 = 98.000 \text{ J} = 98 \text{ kJ}$  verrichtet werden.

**Verformungsarbeit** wird verrichtet, wenn ein elastischer Körper verformt wird:  
 $W_{\text{verform}} = \frac{1}{2} \times D \times s^2$

Diese Arbeit wird in Spannenergie umgewandelt.

**Reibungsarbeit** wird verrichtet, wenn ein Körper gegen Reibung bewegt wird:  $W_{reib} = F_{reib} \times s$

Diese Arbeit wird meist in Wärmeenergie umgewandelt.

Der Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie wird durch den Arbeitssatz beschrieben:

**Die an einem Körper verrichtete Arbeit ist gleich der Änderung seiner Energie.**

$$W = \Delta E$$

Dieser Satz ist fundamental für das Verständnis der Mechanik. Er besagt, dass Arbeit der Mechanismus ist, durch den Energie übertragen wird.

Die Leistung ist definiert als die pro Zeiteinheit verrichtete Arbeit:

$$P = W / t$$

Dabei ist P die Leistung in Watt (W), W die Arbeit in Joule (J) und t die Zeit in Sekunden (s). Ein Watt entspricht einem Joule pro Sekunde.

Die Leistung kann auch als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit ausgedrückt werden:

$$P = F \times v$$

Diese Formel ist besonders nützlich, wenn man die Leistung von Fahrzeugen berechnen möchte. Ein Auto, das mit konstanter Geschwindigkeit fährt, muss eine Kraft aufbringen, die der Summe aller Widerstandskräfte (Luftwiderstand, Rollwiderstand) entspricht. Die Motorleistung ergibt sich dann aus dem Produkt dieser Kraft und der Geschwindigkeit.

Betrachten wir ein Beispiel: Ein Auto fährt mit 100 km/h (etwa 28 m/s) und muss dabei eine Widerstandskraft von 500 N überwinden. Die benötigte Leistung beträgt:  $P = 500 \text{ N} \times 28 \text{ m/s} = 14.000 \text{ W} = 14 \text{ kW}$

Das entspricht etwa 19 PS (da 1 PS = 736 W).

Die Leistung ist ein wichtiges Konzept in der Technik. Sie bestimmt, wie schnell Arbeit verrichtet werden kann. Ein Motor mit hoher Leistung kann in kurzer Zeit viel Arbeit verrichten, ein Motor mit niedriger Leistung braucht für dieselbe Arbeit länger.

In der Praxis ist oft nicht die Arbeit, sondern die Leistung der begrenzende Faktor. Ein Kran kann theoretisch beliebig schwere Lasten heben (wenn man ihm genug Zeit gibt), aber seine Leistung begrenzt, wie schnell er das tun kann. Ein Sportler kann eine bestimmte Menge an Arbeit verrichten (z.B. eine bestimmte Höhe erklimmen), aber seine Leistung bestimmt, wie schnell er das schafft.

Die Leistung des menschlichen Körpers ist begrenzt. Ein trainierter Sportler kann kurzzeitig eine Leistung von etwa 1000 W erbringen (etwa 1,4 PS), aber nur für wenige Sekunden. Über längere Zeit kann ein Mensch nur etwa 100-200 W dauerhaft erbringen. Das erklärt, warum Maschinen für schwere körperliche Arbeit so wichtig sind – sie können viel höhere Leistungen erbringen als der menschliche Körper.

Auch in der Natur spielt Leistung eine wichtige Rolle. Tiere haben unterschiedliche Leistungsfähigkeiten, die an ihre Lebensweise angepasst sind. Ein Gepard kann kurzzeitig eine sehr hohe Leistung erbringen und dadurch extrem schnell laufen, aber nur für kurze Zeit. Ein Zugvogel hat eine geringere maximale Leistung, kann diese aber über viele Stunden aufrechterhalten.

Das Verständnis von Arbeit und Leistung ist auch für die Energiewirtschaft wichtig. Kraftwerke werden nach ihrer Leistung (in Megawatt) bewertet, nicht nach der Arbeit, die sie verrichten können. Die Arbeit (oder besser: die Energie) wird in Kilowattstunden gemessen und bestimmt, wie viel Strom ein Kraftwerk über einen bestimmten Zeitraum erzeugen kann.

## 2.4 Druck und Auftrieb

Druck und Auftrieb sind wichtige Konzepte der Mechanik, die besonders bei Flüssigkeiten und Gasen eine Rolle spielen. Sie erklären, warum Schiffe schwimmen, wie Hydraulikanlagen funktionieren und warum der Luftdruck mit der Höhe abnimmt. Auch hier spielt das Energiekonzept eine wichtige Rolle.

### 2.4.1 Druck in Flüssigkeiten und Gasen

Druck ist definiert als die Kraft pro Flächeneinheit:

$$p = F / A$$

Dabei ist  $p$  der Druck in Pascal (Pa),  $F$  die Kraft in Newton (N) und  $A$  die Fläche in Quadratmeter ( $m^2$ ). Ein Pascal entspricht einem Newton pro Quadratmeter.

In der Praxis werden oft andere Druckeinheiten verwendet: - 1 bar = 100.000 Pa =  $10^5$  Pa - 1 atm (Atmosphäre) = 101.325 Pa  $\approx$  1,013 bar - 1 mmHg = 133,3 Pa

Der Druck in Flüssigkeiten und Gasen hat besondere Eigenschaften. Anders als bei festen Körpern, wo Kräfte nur in bestimmte Richtungen übertragen werden, wirkt der Druck in Flüssigkeiten und Gasen in alle Richtungen gleich. Das liegt daran, dass die Teilchen in Flüssigkeiten und Gasen beweglich sind und sich frei bewegen können.

Ein wichtiges Konzept ist der Schweredruck (auch hydrostatischer Druck genannt). In einer Flüssigkeit nimmt der Druck mit der Tiefe zu, weil das Gewicht der darüberliegenden Flüssigkeitssäule auf die tieferen Schichten drückt:

$$p = \rho \times g \times h$$

Dabei ist  $\rho$  (rho) die Dichte der Flüssigkeit in  $\text{kg/m}^3$ ,  $g$  die Erdbeschleunigung ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) und  $h$  die Tiefe in Meter.

Für Wasser mit einer Dichte von  $1000 \text{ kg/m}^3$  ergibt sich:  $p = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times h = 9810 \text{ Pa/m} \times h$

Das bedeutet, dass der Druck in Wasser um etwa  $9810 \text{ Pa}$  (knapp  $0,1 \text{ bar}$ ) pro Meter Tiefe zunimmt. In  $10 \text{ m}$  Tiefe herrscht also ein zusätzlicher Druck von etwa  $1 \text{ bar}$ , der zum Atmosphärendruck hinzukommt.

Diese Druckzunahme hat praktische Konsequenzen. Taucher müssen den Druckausgleich beherrschen, um Schäden an Ohren und Lungen zu vermeiden. U-Boote müssen extrem stabil gebaut werden, um dem enormen Druck in großen Tiefen standzuhalten. In  $1000 \text{ m}$  Tiefe herrscht ein Druck von etwa  $100 \text{ bar}$  – das entspricht dem Gewicht von  $100 \text{ kg}$  auf jedem Quadratzentimeter.

Der Atmosphärendruck ist ein weiteres wichtiges Beispiel für Schweredruck. Die Erdatmosphäre ist eine Gassäule von etwa  $100 \text{ km}$  Höhe, die auf die Erdoberfläche drückt. Der Atmosphärendruck auf Meereshöhe beträgt etwa  $1013 \text{ hPa}$  (Hektopascal) oder  $1,013 \text{ bar}$ .

Mit zunehmender Höhe nimmt der Atmosphärendruck ab, weil die darüberliegende Luftsäule immer dünner wird. Diese Druckabnahme folgt nicht dem einfachen linearen Gesetz wie bei Flüssigkeiten, weil Gase kompressibel sind. Als Faustregel gilt, dass der Luftdruck alle  $5,5 \text{ km}$  um die Hälfte abnimmt.

Die Druckabnahme mit der Höhe hat viele praktische Auswirkungen. In großen Höhen ist der Luftdruck so gering, dass Menschen ohne Druckausgleich nicht überleben können. Flugzeuge müssen daher Druckkabinen haben. Auch das Kochen dauert in großen Höhen länger, weil Wasser bei niedrigerem Druck schon bei niedrigeren Temperaturen siedet.

Ein wichtiges Prinzip der Hydrostatik ist das Pascalsche Prinzip: Druck, der auf eine eingeschlossene Flüssigkeit ausgeübt wird, pflanzt sich unverändert in alle Richtungen fort. Dieses Prinzip ist die Grundlage für hydraulische Anlagen.

Eine hydraulische Presse besteht aus zwei Zylindern unterschiedlicher Querschnittsfläche, die durch eine Flüssigkeit verbunden sind. Übt man auf den

kleineren Kolben eine Kraft  $F_1$  aus, so entsteht ein Druck  $p = F_1/A_1$ . Dieser Druck pflanzt sich zur größeren Seite fort, wo er eine Kraft  $F_2 = p \times A_2$  erzeugt.

Da der Druck auf beiden Seiten gleich ist, gilt:  $F_1/A_1 = F_2/A_2$

Daraus folgt:  $F_2 = F_1 \times A_2/A_1$

Ist die größere Fläche zehnmal so groß wie die kleinere, so wird die Kraft verzehnfacht. Das ist das Prinzip von Wagenhebern, Hydraulikbaggern und vielen anderen Maschinen.

Allerdings gibt es keinen "kostenlosen" Kraftgewinn. Wenn die Kraft verzehnfacht wird, wird der Weg um den Faktor zehn verkleinert. Die verrichtete Arbeit (Kraft mal Weg) bleibt gleich – das ist eine Konsequenz der Energieerhaltung.

## 2.4.2 Das Archimedische Prinzip

Das Archimedische Prinzip ist eines der wichtigsten Gesetze der Hydrostatik. Es wurde vor über 2000 Jahren von dem griechischen Gelehrten Archimedes entdeckt und besagt:

**Ein Körper, der ganz oder teilweise in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, erfährt eine Auftriebskraft, die gleich der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit ist.**

Mathematisch ausgedrückt:  $F_A = \rho_{Fl} \times V_K \times g$

Dabei ist  $F_A$  die Auftriebskraft in Newton,  $\rho_{Fl}$  die Dichte der Flüssigkeit in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $V_K$  das Volumen des eingetauchten Körperteils in  $\text{m}^3$  und  $g$  die Erdbeschleunigung.

Das Archimedische Prinzip lässt sich aus der Druckverteilung in Flüssigkeiten ableiten. Ein eingetauchter Körper wird von allen Seiten von der Flüssigkeit umgeben. Der Druck nimmt mit der Tiefe zu, sodass der Druck an der Unterseite des Körpers größer ist als an der Oberseite. Diese Druckdifferenz führt zu einer resultierenden Kraft nach oben – der Auftriebskraft.

Die Auftriebskraft hängt nur von der Dichte der Flüssigkeit und dem verdrängten Volumen ab, nicht von der Dichte oder Form des eingetauchten Körpers. Ein Eisenblock und ein Holzblock gleichen Volumens erfahren in derselben Flüssigkeit die gleiche Auftriebskraft.

Ob ein Körper schwimmt, schwebt oder sinkt, hängt vom Verhältnis zwischen Auftriebskraft und Gewichtskraft ab:

**Schwimmen:**  $F_A > F_G$  (Auftriebskraft größer als Gewichtskraft) Der Körper schwimmt an der Oberfläche. Nur ein Teil des Körpers ist eingetaucht.

**Schweben:**  $F_A = F_G$  (Auftriebskraft gleich Gewichtskraft) Der Körper schwebt in der Flüssigkeit. Er ist vollständig eingetaucht, aber bewegt sich weder nach oben noch nach unten.

**Sinken:**  $F_A < F_G$  (Auftriebskraft kleiner als Gewichtskraft) Der Körper sinkt zum Boden.

Diese Bedingungen lassen sich auch über die Dichten ausdrücken: - Schwimmen:

$\rho_{\text{Körper}} < \rho_{\text{Flüssigkeit}}$  - Schweben:  $\rho_{\text{Körper}} = \rho_{\text{Flüssigkeit}}$

- Sinken:  $\rho_{\text{Körper}} > \rho_{\text{Flüssigkeit}}$

Ein schwimmender Körper taucht so tief ein, dass die Auftriebskraft gleich seiner Gewichtskraft wird. Für einen schwimmenden Körper gilt:

$$\rho_{\text{Körper}} \times V_{\text{Körper}} \times g = \rho_{\text{Flüssigkeit}} \times V_{\text{eingetaucht}} \times g$$

Daraus folgt:  $V_{\text{eingetaucht}} / V_{\text{Körper}} = \rho_{\text{Körper}} / \rho_{\text{Flüssigkeit}}$

Dieser Anteil gibt an, welcher Teil des Körpers unter Wasser ist. Eis hat eine Dichte von etwa  $920 \text{ kg/m}^3$ , Wasser eine Dichte von  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Daher ist bei einem Eisberg etwa 92% des Volumens unter Wasser – daher kommt die Redewendung "Das ist nur die Spitze des Eisbergs".

Das Archimedische Prinzip erklärt, warum große Schiffe aus Stahl schwimmen können, obwohl Stahl eine viel größere Dichte als Wasser hat. Ein Schiff ist nicht massiv, sondern hohl. Die mittlere Dichte des gesamten Schiffs (einschließlich der Luft im Inneren) ist geringer als die Dichte von Wasser, daher schwimmt es.

Die Tragfähigkeit eines Schiffs hängt davon ab, wie viel Wasser es verdrängen kann, bevor es untergeht. Ein Schiff kann so lange beladen werden, bis seine mittlere Dichte die Dichte von Wasser erreicht. Dann ist es vollständig eingetaucht und kann nicht mehr schwimmen.

U-Boote nutzen das Archimedische Prinzip zum Tauchen und Auftauchen. Sie haben Ballasttanks, die mit Luft oder Wasser gefüllt werden können. Zum Tauchen werden die Tanks mit Wasser gefüllt, wodurch die mittlere Dichte des U-Boots zunimmt und es sinkt. Zum Auftauchen wird das Wasser aus den Tanks gepresst und durch Luft ersetzt, wodurch die Dichte abnimmt und das U-Boot steigt.

Auch Fische nutzen ein ähnliches Prinzip. Sie haben eine Schwimmblase, die sie mit Gas füllen oder leeren können, um ihre mittlere Dichte zu verändern. Dadurch können sie in verschiedenen Wassertiefen schweben, ohne ständig schwimmen zu müssen.

Das Archimedische Prinzip gilt nicht nur für Flüssigkeiten, sondern auch für Gase. Heißluftballons und Heliumballons steigen auf, weil die warme Luft bzw. das Helium

eine geringere Dichte hat als die umgebende kalte Luft. Die Auftriebskraft in der Luft ist allerdings viel kleiner als in Wasser, weil die Dichte der Luft viel geringer ist.

## 2.5 Experimente zur Mechanik

Die Mechanik lässt sich am besten durch eigenes Experimentieren verstehen. In diesem Abschnitt werden wichtige Experimente vorgestellt, die die theoretischen Konzepte veranschaulichen und euch helfen, ein tieferes Verständnis für die mechanischen Gesetzmäßigkeiten zu entwickeln.

### Experiment 1: Energieumwandlung beim Pendel

Ziel: Nachweis der Energieerhaltung und Beobachtung der Umwandlung zwischen potentieller und kinetischer Energie.

Material: Faden (1 m), kleine Masse (z.B. Mutter), Stativ, Winkelmesser, Stoppuhr

Durchführung: 1. Befestigt die Masse am Faden und hängt das Pendel am Stativ auf. 2. Lenkt das Pendel um verschiedene Winkel aus ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ) und lässt es schwingen. 3. Messt die Schwingungsdauer für 10 Schwingungen und berechnet die Periodendauer. 4. Beobachtet, wie sich die Geschwindigkeit des Pendels während einer Schwingung ändert.

Beobachtung: Das Pendel schwingt am schnellsten am tiefsten Punkt und wird an den Umkehrpunkten langsamer. Die Schwingungsdauer hängt nicht von der Auslenkung ab (für kleine Winkel).

Erklärung: Am höchsten Punkt ist die gesamte Energie potentielle Energie. Diese wird beim Herabschwingen in kinetische Energie umgewandelt. Am tiefsten Punkt ist die Geschwindigkeit maximal (maximale kinetische Energie). Beim Aufwärtsschwingen wird die kinetische Energie wieder in potentielle Energie umgewandelt.

### Experiment 2: Bestimmung der Federkonstante

Ziel: Überprüfung des Hookeschen Gesetzes und Bestimmung der Federkonstante.

Material: Schraubenfeder, verschiedene Gewichte (bekannte Massen), Lineal, Stativ

Durchführung: 1. Hängt die Feder am Stativ auf und markiert die Ruhelage. 2. Hängt nacheinander verschiedene Gewichte an die Feder und messt die Auslenkung. 3. Tragt die Kraft ( $F = mg$ ) gegen die Auslenkung in einem Diagramm auf. 4. Bestimmt die Steigung der Geraden – das ist die Federkonstante D.

Erwartetes Ergebnis: Die Auslenkung ist proportional zur angehängten Kraft. Das Diagramm zeigt eine Gerade durch den Ursprung.

Berechnung der Spannenergie: Mit der bestimmten Federkonstante könnt ihr die Spannenergie für verschiedene Auslenkungen berechnen:  $E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times D \times s^2$

### **Experiment 3: Freier Fall und Energieumwandlung**

Ziel: Nachweis der Umwandlung von potentieller in kinetische Energie beim freien Fall.

Material: Verschiedene Bälle, Maßband, Stoppuhr, weiche Unterlage

Durchführung: 1. Lasst Bälle aus verschiedenen Höhen fallen (1 m, 2 m, 3 m). 2. Messt die Fallzeit oder beobachtet die Aufprallwirkung. 3. Berechnet die potentielle Energie vor dem Fall:  $E_{\text{pot}} = mgh$  4. Berechnet die theoretische Endgeschwindigkeit:  $v = \sqrt{2gh}$

Sicherheitshinweise: Verwendet eine weiche Unterlage und haltet die Füße aus dem Fallbereich.

Beobachtung: Bälle aus größerer Höhe prallen stärker auf. Die Fallzeit nimmt mit der Wurzel der Höhe zu.

### **Experiment 4: Auftrieb nach Archimedes**

Ziel: Nachweis des Archimedischen Prinzips und Bestimmung der Auftriebskraft.

Material: Verschiedene Körper (Holz, Metall, Kunststoff), Becherglas, Wasser, Kraftmesser (Federdynamometer), Überlaufgefäß

Durchführung: 1. Wiegt die Körper in Luft mit dem Kraftmesser. 2. Taucht die Körper vollständig in Wasser ein und messt die scheinbare Gewichtskraft. 3. Die Differenz ist die Auftriebskraft:  $F_A = F_{\text{Luft}} - F_{\text{Wasser}}$  4. Sammelt das verdrängte Wasser im Überlaufgefäß und wiegt es. 5. Vergleicht die Auftriebskraft mit der Gewichtskraft des verdrängten Wassers.

Erwartetes Ergebnis: Die Auftriebskraft entspricht der Gewichtskraft des verdrängten Wassers.

### **Experiment 5: Hydraulische Presse**

Ziel: Demonstration des Pascalschen Prinzips und der Kraftübersetzung.

Material: Zwei Spritzen unterschiedlicher Größe, Schlauch, Wasser, Gewichte

Durchführung: 1. Verbindet zwei Spritzen mit einem Schlauch und füllt das System mit Wasser. 2. Drückt auf den kleineren Kolben und beobachtet die Bewegung des größeren Kolbens. 3. Legt Gewichte auf beide Kolben und findet das Gleichgewicht. 4. Vergleicht die Kräfte mit dem Verhältnis der Kolbenflächen.

**Beobachtung:** Eine kleine Kraft auf den kleinen Kolben kann eine große Kraft am großen Kolben erzeugen. Der Weg des kleinen Kolbens ist entsprechend größer.

## **Experiment 6: Leistung des menschlichen Körpers**

**Ziel:** Bestimmung der mechanischen Leistung beim Treppensteigen.

**Material:** Treppe, Stoppuhr, Waage, Maßband

**Durchführung:** 1. Messt eure Körpermasse und die Höhe der Treppe. 2. Steigt die Treppe in normalem Tempo hinauf und messt die Zeit. 3. Wiederholt den Versuch, indem ihr so schnell wie möglich hinaufsteigt. 4. Berechnet die verrichtete Hubarbeit:  $W = mgh$  5.

Berechnet die Leistung:  $P = W/t$

**Typische Ergebnisse:** Normale Geschwindigkeit: 50-100 W, maximale Geschwindigkeit: 200-500 W (je nach Trainingszustand).

**Vergleich:** Vergleicht eure Leistung mit der von Haushaltsgeräten oder Fahrzeugen.

Diese Experimente zeigen, dass die mechanischen Gesetze nicht nur theoretische Konstrukte sind, sondern sich in der Realität beobachten und messen lassen. Sie helfen euch dabei, ein intuitives Verständnis für die Konzepte von Energie, Arbeit, Leistung und Kräften zu entwickeln. Durch eigenes Experimentieren werdet ihr feststellen, dass die Physik überall um uns herum wirkt und dass die mathematischen Formeln tatsächlich die Realität beschreiben.

---

# **Kapitel 3: Elektrizitätslehre - Energie durch Elektrizität**

Die Elektrizitätslehre beschäftigt sich mit elektrischen Ladungen, Strömen und den damit verbundenen Energieumwandlungen. Elektrische Energie ist in unserer modernen Welt allgegenwärtig und ermöglicht den Betrieb unzähliger Geräte und Maschinen. In diesem Kapitel werdet ihr verstehen, wie elektrische Energie erzeugt, übertragen und genutzt wird, und wie sie mit anderen Energieformen zusammenhängt.

## **3.1 Elektrische Energie**

Elektrische Energie ist die Energie bewegter elektrischer Ladungen. Sie entsteht, wenn elektrische Ladungen durch einen Leiter fließen und dabei eine Spannung überwinden. Diese Form der Energie ist besonders wertvoll, weil sie sich leicht transportieren, umwandeln und kontrollieren lässt.

Die elektrische Energie berechnet sich nach der Formel:

$$W = U \times I \times t$$

Dabei ist W die elektrische Energie in Joule (J), U die Spannung in Volt (V), I die Stromstärke in Ampere (A) und t die Zeit in Sekunden (s).

In der Praxis wird elektrische Energie oft in Kilowattstunden (kWh) gemessen, besonders bei der Abrechnung des Stromverbrauchs. Eine Kilowattstunde entspricht 3,6 Millionen Joule:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Um die Bedeutung dieser Energiemenge zu verstehen, betrachten wir einige Beispiele. Mit einer Kilowattstunde kann man: - Eine 100-W-Glühlampe 10 Stunden lang betreiben - Einen 2000-W-Föhn 30 Minuten lang verwenden - Etwa 70 Tassen Kaffee kochen - Ein Elektroauto etwa 5-7 km weit fahren

Die elektrische Energie entsteht durch die Bewegung von Ladungsträgern in einem elektrischen Feld. In Metallen sind das hauptsächlich Elektronen, die sich frei zwischen den Atomröhren bewegen können. Wenn eine Spannung angelegt wird, bewegen sich diese Elektronen gerichtet durch den Leiter und transportieren dabei Energie.

Die Spannung ist dabei das Maß für die Energie pro Ladung. Sie gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um eine bestimmte Ladungsmenge durch einen Leiter zu bewegen. Eine höhere Spannung bedeutet, dass mehr Energie pro Ladung übertragen wird.

Die Stromstärke gibt an, wie viele Ladungen pro Zeiteinheit durch einen Leiterquerschnitt fließen. Ein höherer Strom bedeutet, dass mehr Ladungen bewegt werden und damit mehr Energie übertragen wird.

Das Produkt aus Spannung und Stromstärke ergibt die elektrische Leistung:

$$P = U \times I$$

Die Leistung gibt an, wie viel Energie pro Zeiteinheit übertragen wird. Sie wird in Watt (W) gemessen, wobei  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$  entspricht.

Elektrische Energie kann in verschiedene andere Energieformen umgewandelt werden:

**Wärmeenergie:** In Widerständen wird elektrische Energie in Wärme umgewandelt. Das geschieht in Heizgeräten, Glühlampen und auch ungewollt in Leitungen. Die umgewandelte Wärmemenge folgt dem Jouleschen Gesetz:  $Q = I^2 \times R \times t$

**Mechanische Energie:** In Elektromotoren wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt. Dabei nutzt man die Kraft, die stromdurchflossene Leiter in Magnetfeldern erfahren (Lorentzkraft).

**Lichtenergie:** In Leuchtdioden (LEDs) und Leuchtstofflampen wird elektrische Energie direkt in Licht umgewandelt, ohne den Umweg über Wärme.

**Chemische Energie:** Beim Laden von Akkumulatoren wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt und gespeichert.

Die Effizienz dieser Umwandlungen ist sehr unterschiedlich. LEDs wandeln etwa 20-25% der elektrischen Energie in Licht um, während Glühlampen nur etwa 5% schaffen. Der Rest wird als Wärme abgegeben. Elektromotoren können sehr effizient sein und erreichen Wirkungsgrade von über 90%.

## 3.2 Elektrische Leistung

Die elektrische Leistung ist ein zentrales Konzept zum Verständnis elektrischer Geräte und Anlagen. Sie bestimmt, wie schnell elektrische Energie umgewandelt wird und ist damit ein Maß für die "Stärke" eines elektrischen Geräts.

Die Grundformel für die elektrische Leistung lautet:

$$P = U \times I$$

Durch Anwendung des Ohmschen Gesetzes ( $U = R \times I$ ) lassen sich weitere nützliche Formeln ableiten:

$$P = I^2 \times R \text{ (wenn der Widerstand bekannt ist)} \quad P = U^2 / R \text{ (wenn Spannung und Widerstand bekannt sind)}$$

Diese verschiedenen Formeln sind in unterschiedlichen Situationen nützlich. Wenn man beispielsweise die Verlustleistung in einer Leitung berechnen möchte, ist die Formel  $P = I^2 \times R$  besonders geeignet, weil sie zeigt, dass die Verluste quadratisch mit dem Strom zunehmen.

Die Leistung elektrischer Geräte variiert stark: - LED-Lampe: 5-15 W - Glühlampe: 40-100 W - Computer: 200-500 W - Mikrowelle: 800-1200 W - Elektroherd: 2000-3000 W - Elektroauto-Ladestation: 11.000-50.000 W

Diese Leistungsangaben helfen dabei, den Energieverbrauch abzuschätzen. Ein 1000-W-Gerät, das eine Stunde lang läuft, verbraucht 1 kWh Energie.

Ein wichtiges Konzept ist der Wirkungsgrad, der angibt, welcher Anteil der zugeführten elektrischen Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt wird:

$$\eta = P_{\text{nutz}} / P_{\text{aufgenommen}}$$

Der Wirkungsgrad wird oft in Prozent angegeben. Ein Wirkungsgrad von 80% bedeutet, dass 80% der zugeführten Energie in die gewünschte Form umgewandelt werden und 20% als "Verluste" (meist Wärme) auftreten.

Verschiedene Geräte haben sehr unterschiedliche Wirkungsgrade: - Glühlampe: 5% (Licht), 95% (Wärme) - LED-Lampe: 20-25% (Licht), 75-80% (Wärme) - Elektromotor: 85-95% (mechanische Energie) - Netzteil: 80-95% (je nach Qualität) - Solarzelle: 15-22% (je nach Technologie)

Der Wirkungsgrad ist nicht nur aus Kostengründen wichtig, sondern auch für den Umweltschutz. Geräte mit höherem Wirkungsgrad verbrauchen weniger Energie und erzeugen weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### 3.3 Generatoren - Mechanische zu elektrischer Energie

Generatoren sind Maschinen, die mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln. Sie sind das Herzstück aller Kraftwerke und ermöglichen es, die verschiedensten Energiequellen zur Stromerzeugung zu nutzen. Das Grundprinzip aller Generatoren ist die elektromagnetische Induktion.

Die elektromagnetische Induktion wurde 1831 von Michael Faraday entdeckt. Das Faradaysche Induktionsgesetz besagt, dass in einer Leiterschleife eine Spannung induziert wird, wenn sich das magnetische Feld durch die Schleife ändert. Diese Änderung kann durch verschiedene Vorgänge entstehen:

- Bewegung eines Magneten relativ zur Spule
- Bewegung einer Spule relativ zu einem Magneten
- Änderung der Stärke des Magnetfelds
- Änderung der Fläche der Leiterschleife

Die induzierte Spannung ist umso größer, je:  
- schneller sich das Magnetfeld ändert  
- stärker das Magnetfeld ist  
- mehr Windungen die Spule hat

Ein einfacher Generator besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

**Stator:** Der feststehende Teil, der das Magnetfeld erzeugt. Das kann durch Permanentmagnete oder Elektromagnete geschehen.

**Rotor:** Der rotierende Teil, der die Spulen enthält, in denen die Spannung induziert wird.

**Kommutator oder Schleifringe:** Übertragen den erzeugten Strom vom rotierenden zum feststehenden Teil.

**Antrieb:** Liefert die mechanische Energie, meist über eine Welle.

Wenn der Rotor gedreht wird, ändern sich kontinuierlich die Magnetfelder durch die Spulen. Dadurch wird in jeder Spule eine Wechselspannung induziert. Die Frequenz dieser Wechselspannung entspricht der Drehfrequenz des Rotors (bei einem zweipoligen Generator).

Die erzeugte Spannung hängt von mehreren Faktoren ab: - Stärke des Magnetfelds - Anzahl der Windungen - Drehgeschwindigkeit - Konstruktion des Generators

Moderne Generatoren in Kraftwerken sind hochkomplexe Maschinen. Sie haben meist mehrere Polpaare, um bei niedrigeren Drehzahlen die gewünschte Netzfrequenz von 50 Hz zu erreichen. Ein vierpoliger Generator muss beispielsweise nur mit 1500 U/min drehen, um 50 Hz zu erzeugen.

Die verschiedenen Kraftwerkstypen nutzen unterschiedliche Energiequellen, um Generatoren anzutreiben:

**Dampfkraftwerke** (Kohle, Gas, Kernenergie): Wärme erzeugt Dampf, der Turbinen antreibt, die wiederum Generatoren drehen.

**Wasserkraftwerke:** Die potentielle oder kinetische Energie des Wassers treibt Turbinen an.

**Windkraftanlagen:** Die kinetische Energie des Windes dreht Rotorblätter, die über ein Getriebe Generatoren antreiben.

**Geothermiekraftwerke:** Erdwärme erzeugt Dampf für Turbinen.

Alle diese Kraftwerke wandeln letztendlich mechanische Rotationsenergie in elektrische Energie um. Der Wirkungsgrad dieser Umwandlung ist bei modernen Generatoren sehr hoch (95-98%), aber die vorgelagerten Umwandlungsprozesse haben oft niedrigere Wirkungsgrade.

### 3.4 Transformatoren

Transformatoren sind Geräte, die Wechselspannungen herauf- oder heruntertransformieren können. Sie sind essentiell für die Übertragung und Verteilung elektrischer Energie und ermöglichen es, Strom effizient über große Entfernungen zu transportieren.

Ein Transformator besteht aus zwei oder mehr Spulen (Wicklungen), die um einen gemeinsamen Eisenkern gewickelt sind. Die Primärspule ist mit der Eingangsspannung verbunden, die Sekundärspule liefert die Ausgangsspannung.

Das Funktionsprinzip basiert auf der elektromagnetischen Induktion. Wenn Wechselstrom durch die Primärspule fließt, erzeugt er ein sich änderndes Magnetfeld im Eisenkern. Dieses sich ändernde Magnetfeld induziert in der Sekundärspule eine Spannung.

Das Übersetzungsverhältnis eines Transformators wird durch das Verhältnis der Windungszahlen bestimmt:

$$U_1 / U_2 = N_1 / N_2$$

Dabei sind  $U_1$  und  $U_2$  die Spannungen an Primär- und Sekundärspule,  $N_1$  und  $N_2$  die entsprechenden Windungszahlen.

Wenn die Sekundärspule mehr Windungen hat als die Primärspule ( $N_2 > N_1$ ), wird die Spannung herauftransformiert. Wenn sie weniger Windungen hat ( $N_2 < N_1$ ), wird die Spannung heruntertransformiert.

Bei einem idealen Transformator (ohne Verluste) gilt auch:

$$I_1 / I_2 = N_2 / N_1$$

Das bedeutet: Wenn die Spannung herauftransformiert wird, wird der Strom entsprechend heruntertransformiert, und umgekehrt. Die übertragene Leistung bleibt konstant:

$$P_1 = P_2 \text{ oder } U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$$

Transformatoren funktionieren nur mit Wechselstrom, weil nur sich ändernde Magnetfelder Spannungen induzieren können. Bei Gleichstrom würde nach dem Einschalten nur ein kurzer Spannungsimpuls in der Sekundärspule entstehen.

Transformatoren haben verschiedene wichtige Anwendungen:

**Energieübertragung:** Kraftwerke erzeugen Strom bei Spannungen von etwa 10-25 kV. Für die Übertragung über große Entfernungen wird diese Spannung auf 110 kV, 220 kV oder sogar 380 kV hochtransformiert. Hohe Spannungen reduzieren die Übertragungsverluste erheblich.

**Energieverteilung:** In Umspannwerken wird die Hochspannung stufenweise auf niedrigere Spannungen heruntertransformiert: erst auf Mittelspannung (10-30 kV) für die regionale Verteilung, dann auf Niederspannung (230/400 V) für Haushalte und kleine Betriebe.

**Netzteile:** Viele elektronische Geräte benötigen niedrige Gleichspannungen. Transformatoren wandeln die Netzspannung (230 V) auf die benötigte Spannung herunter, die dann gleichgerichtet wird.

**Schweißgeräte:** Benötigen hohe Ströme bei niedrigen Spannungen. Transformatoren wandeln die Netzspannung entsprechend um.

Die Effizienz von Transformatoren ist sehr hoch. Moderne Leistungstransformatoren erreichen Wirkungsgrade von 98-99,5%. Die Verluste entstehen hauptsächlich durch:  
- Widerstandsverluste in den Wicklungen ( $I^2R$ -Verluste)  
- Wirbelstromverluste im Eisenkern  
- Hystereseverluste im Eisenkern

### 3.5 Elektromotoren

Elektromotoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um – sie sind gewissermaßen das Gegenstück zu Generatoren. Sie nutzen die Kraft, die stromdurchflossene Leiter in Magnetfeldern erfahren (Lorentzkraft), um Rotationsbewegungen zu erzeugen.

Das Grundprinzip eines Elektromotors basiert auf der Lorentzkraft. Wenn ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld steht, wirkt auf ihn eine Kraft senkrecht sowohl zur Stromrichtung als auch zur Magnetfeldrichtung. Die Stärke dieser Kraft ist proportional zur Stromstärke und zur Magnetfeldstärke.

Ein einfacher Gleichstrommotor besteht aus:

**Stator:** Erzeugt das Magnetfeld, meist durch Permanentmagnete oder Elektromagnete.

**Rotor (Anker):** Trägt die stromdurchflossenen Spulen, die das Drehmoment erzeugen.

**Kommutator:** Sorgt dafür, dass der Strom in den Rotorwicklungen immer in der richtigen Richtung fließt, um ein kontinuierliches Drehmoment zu erzeugen.

**Kohlebürsten:** Übertragen den Strom vom feststehenden zum rotierenden Teil.

Wenn Strom durch die Rotorwicklungen fließt, entsteht aufgrund der Lorentzkraft ein Drehmoment. Der Kommutator sorgt dafür, dass sich die Stromrichtung in den Spulen umkehrt, sobald sie eine halbe Umdrehung gemacht haben. Dadurch bleibt die Drehrichtung konstant.

Die Drehzahl eines Gleichstrommotors hängt von der angelegten Spannung ab. Eine höhere Spannung führt zu einer höheren Drehzahl. Das Drehmoment hängt vom Strom ab – ein höherer Strom erzeugt ein größeres Drehmoment.

Wechselstrommotoren funktionieren nach einem etwas anderen Prinzip. Der bekannteste Typ ist der Drehstrommotor (Asynchronmotor). Er hat keine Kohlebürsten und ist daher wartungsärmer als Gleichstrommotoren.

Bei einem Drehstrommotor erzeugen drei um  $120^\circ$  versetzte Wechselströme ein rotierendes Magnetfeld im Stator. Dieses rotierende Magnetfeld induziert Ströme im Rotor, die wiederum ein Magnetfeld erzeugen. Die Wechselwirkung zwischen dem Stator- und Rotormagnetfeld erzeugt das Drehmoment.

Die Drehzahl eines Drehstrommotors ist durch die Netzfrequenz und die Anzahl der Polpaare bestimmt:

$$n = f \times 60 / p$$

Dabei ist  $n$  die Drehzahl in U/min,  $f$  die Netzfrequenz in Hz und  $p$  die Anzahl der Polpaare.

Bei 50 Hz Netzfrequenz ergeben sich folgende synchrone Drehzahlen: - 2-polig: 3000 U/min - 4-polig: 1500 U/min - 6-polig: 1000 U/min - 8-polig: 750 U/min

In der Praxis läuft der Rotor etwas langsamer als das Magnetfeld (daher "Asynchronmotor"). Diese Differenz wird als Schlupf bezeichnet.

Elektromotoren haben verschiedene Vorteile gegenüber Verbrennungsmotoren: - Hoher Wirkungsgrad (85-95%) - Sofortiges maximales Drehmoment - Geräuscharm - Wartungsarm - Keine lokalen Emissionen - Präzise Drehzahlregelung möglich

Elektromotoren finden sich überall in unserem Alltag: - Haushaltsgeräte (Waschmaschine, Staubsauger, Mixer) - Industrieanlagen (Pumpen, Ventilatoren, Förderbänder) - Verkehrsmittel (Elektroautos, Züge, Straßenbahnen) - Computer (Festplatten, Lüfter)

### 3.6 Energiespeicherung

Die Speicherung elektrischer Energie ist eine der großen Herausforderungen der Energietechnik. Elektrische Energie lässt sich nicht direkt speichern – sie muss in andere Energieformen umgewandelt und bei Bedarf wieder zurückgewandelt werden.

**Kondensatoren** speichern elektrische Energie in Form eines elektrischen Feldes. Sie bestehen aus zwei leitenden Platten, die durch einen Isolator (Dielektrikum) getrennt sind. Wenn eine Spannung angelegt wird, sammeln sich positive Ladungen auf einer Platte und negative auf der anderen.

Die gespeicherte Energie berechnet sich nach:  $E = \frac{1}{2} \times C \times U^2$

Dabei ist C die Kapazität des Kondensators in Farad (F) und U die Spannung in Volt.

Kondensatoren können sehr schnell geladen und entladen werden, speichern aber nur relativ kleine Energiemengen. Sie werden hauptsächlich in der Elektronik verwendet, beispielsweise zur Glättung von Spannungen oder als Zwischenspeicher.

**Superkondensatoren** (auch Ultrakondensatoren genannt) können deutlich mehr Energie speichern als normale Kondensatoren. Sie nutzen die große Oberfläche von Aktivkohle-Elektroden und können Kapazitäten von mehreren Farad erreichen. Sie werden in Bussen und Bahnen zur Speicherung von Bremsenergie eingesetzt.

**Akkumulatoren** (Akkus) speichern elektrische Energie in Form chemischer Energie. Bei der Entladung laufen chemische Reaktionen ab, die elektrische Energie freisetzen. Beim Laden werden diese Reaktionen durch Zufuhr elektrischer Energie umgekehrt.

Die wichtigsten Akku-Typen sind:

**Blei-Akkus:** Bewährt und kostengünstig, aber schwer. Werden in Autos und als Pufferbatterien verwendet.

**Lithium-Ionen-Akkus:** Hohe Energiedichte, leicht, aber teurer. Standard in Smartphones, Laptops und Elektroautos.

**Nickel-Metallhydrid-Akkus:** Mittlere Energiedichte, umweltfreundlicher als Nickel-Cadmium. Werden in Hybridfahrzeugen verwendet.

Die Energiedichte (Energie pro Masse) verschiedener Speichertechnologien: -  
Kondensatoren: 0,01-0,1 Wh/kg - Superkondensatoren: 1-10 Wh/kg - Blei-Akkus: 30-50 Wh/kg - Lithium-Ionen-Akkus: 100-250 Wh/kg - Benzin: 12.000 Wh/kg (zum Vergleich)

**Pumpspeicherkraftwerke** speichern elektrische Energie indirekt, indem sie Wasser in höher gelegene Reservoirs pumpen. Bei Bedarf wird das Wasser wieder abgelassen und treibt Turbinen an, die Strom erzeugen. Diese Technologie hat einen hohen Wirkungsgrad (70-85%) und kann große Energiemengen speichern.

**Druckluftspeicher** komprimieren Luft in unterirdischen Kavernen. Bei der Stromerzeugung wird die komprimierte Luft entspannt und treibt Turbinen an.

**Schwungradspeicher** nutzen die kinetische Energie rotierender Massen. Schwere Räder werden auf hohe Drehzahlen beschleunigt und speichern dabei Energie. Sie können sehr schnell Energie aufnehmen oder abgeben.

### 3.7 Experimente zur Elektrizitätslehre

#### Experiment 1: Elektromagnetische Induktion

Ziel: Nachweis der elektromagnetischen Induktion und Abhängigkeit der induzierten Spannung von der Geschwindigkeit der Magnetfeldänderung.

Material: Spule mit vielen Windungen, Stabmagnet, empfindliches Voltmeter oder Galvanometer

Durchführung: 1. Verbindet die Spule mit dem Voltmeter 2. Bewegt den Magneten langsam in die Spule hinein und wieder heraus 3. Wiederholt den Versuch mit schnellerer Bewegung 4. Haltet den Magneten ruhig in der Spule 5. Verwendet Magnete unterschiedlicher Stärke

Beobachtung: Spannung wird nur bei Bewegung induziert. Schnellere Bewegung erzeugt höhere Spannung. Stärkere Magnete erzeugen höhere Spannung.

### **Experiment 2: Einfacher Generator**

Ziel: Bau eines einfachen Generators und Untersuchung der Abhängigkeit der erzeugten Spannung von der Drehgeschwindigkeit.

Material: Spule, starke Magnete, Kurbel, LED, Voltmeter

Durchführung: 1. Baut einen einfachen Generator auf 2. Dreht die Kurbel mit verschiedenen Geschwindigkeiten 3. Beobachtet die Helligkeit der LED 4. Messt die erzeugte Spannung bei verschiedenen Drehgeschwindigkeiten

Ergebnis: Die erzeugte Spannung ist proportional zur Drehgeschwindigkeit.

### **Experiment 3: Transformator**

Ziel: Untersuchung des Übersetzungsverhältnisses eines Transformators.

Material: Eisenkern, zwei Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen, Wechselspannungsquelle, Voltmeter

Durchführung: 1. Wickelt die Spulen um den Eisenkern 2. Legt Wechselspannung an die Primärspule 3. Messt die Spannung an der Sekundärspule 4. Vertauscht Primär- und Sekundärspule 5. Vergleicht die Spannungsverhältnisse mit den Windungsverhältnissen

### **Experiment 4: Wirkungsgrad einer Glühlampe**

Ziel: Bestimmung des Wirkungsgrads einer Glühlampe bezüglich der Lichterzeugung.

Material: Glühlampe, Voltmeter, Ampermeter, Luxmeter, LED zum Vergleich

Durchführung: 1. Messt Spannung und Strom der Glühlampe 2. Berechnet die elektrische Leistung:  $P = U \times I$  3. Messt die Beleuchtungsstärke in definiertem Abstand 4. Wiederholt den Versuch mit einer LED gleicher Helligkeit 5. Vergleicht die Leistungsaufnahme

Ergebnis: Die LED benötigt deutlich weniger elektrische Leistung für die gleiche Lichtmenge.

## Experiment 5: Energieverbrauch von Haushaltsgeräten

Ziel: Messung und Vergleich des Energieverbrauchs verschiedener Geräte.

Material: Energiemessgerät, verschiedene Haushaltsgeräte

Durchführung: 1. Messt den Energieverbrauch verschiedener Geräte über definierte Zeiträume 2. Berechnet die Kosten basierend auf dem Strompreis 3. Vergleicht den Verbrauch im Standby-Modus mit dem Betriebsverbrauch 4. Erstellt eine Rangliste der "Stromfresser"

Diese Experimente zeigen die praktische Bedeutung der Elektrizitätslehre und helfen dabei, ein Bewusstsein für Energieeffizienz zu entwickeln. Sie verdeutlichen, wie die theoretischen Konzepte in der Realität angewendet werden und welche Rolle sie in unserem Alltag spielen.

---

# Kapitel 4: Wärmelehre - Energie und Temperatur

Die Wärmelehre, auch Thermodynamik genannt, beschäftigt sich mit Wärme, Temperatur und den damit verbundenen Energieumwandlungen. Sie erklärt, warum sich Gegenstände erwärmen und abkühlen, wie Wärmekraftmaschinen funktionieren und welche Rolle die Wärme beim Klimawandel spielt. Das Teilchenmodell der Materie hilft uns dabei, diese Phänomene auf mikroskopischer Ebene zu verstehen.

## 4.1 Temperatur und Teilchenmodell

Temperatur ist eine der grundlegendsten physikalischen Größen, die wir täglich erleben. Aber was ist Temperatur eigentlich? Die Antwort liegt im Verhalten der kleinsten Teilchen der Materie.

Nach dem Teilchenmodell besteht alle Materie aus winzigen Teilchen (Atome und Moleküle), die sich ständig in Bewegung befinden. Diese Bewegung ist umso intensiver, je höher die Temperatur ist. **Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der Teilchen eines Körpers.**

Bei niedrigen Temperaturen bewegen sich die Teilchen langsam, bei hohen Temperaturen schnell. Am absoluten Nullpunkt (-273,15°C oder 0 K) würden alle Teilchenbewegungen zum Stillstand kommen. Dieser Punkt ist praktisch nicht erreichbar, aber er definiert den Nullpunkt der absoluten Temperaturskala (Kelvin-Skala).

Die Umrechnung zwischen Celsius und Kelvin ist einfach:  $T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$

Die Kelvin-Skala ist für physikalische Berechnungen wichtig, weil viele Gesetze nur mit absoluten Temperaturen korrekt funktionieren.

Das Teilchenmodell erklärt die verschiedenen Aggregatzustände:

**Festkörper:** Die Teilchen sind fest an ihre Plätze gebunden und können nur um ihre Ruhelage schwingen. Die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen sind stark genug, um sie zusammenzuhalten. Festkörper haben eine feste Form und ein festes Volumen.

**Flüssigkeiten:** Die Teilchen sind beweglicher als in Festkörpern, aber immer noch durch Anziehungskräfte verbunden. Sie können aneinander vorbeigleiten, aber nicht beliebig weit voneinander entfernt werden. Flüssigkeiten haben ein festes Volumen, aber keine feste Form.

**Gase:** Die Teilchen bewegen sich frei und unabhängig voneinander. Die Anziehungskräfte sind vernachlässigbar klein. Gase haben weder eine feste Form noch ein festes Volumen – sie füllen jeden verfügbaren Raum aus.

Die Brownsche Bewegung ist ein direkter Beweis für die Teilchenbewegung. Kleine Teilchen (wie Pollen in Wasser) bewegen sich zufällig hin und her, weil sie von den unsichtbaren Wassermolekülen angestoßen werden. Diese Bewegung wurde 1827 von Robert Brown entdeckt und später von Albert Einstein theoretisch erklärt.

Die kinetische Gastheorie beschreibt das Verhalten von Gasen basierend auf dem Teilchenmodell. Sie macht folgende Annahmen:

1. Gase bestehen aus vielen kleinen Teilchen, die sich ständig und zufällig bewegen
2. Die Teilchen sind im Vergleich zu ihren Abständen sehr klein
3. Zwischen den Teilchen wirken keine Kräfte (außer bei Stößen)
4. Alle Stöße sind elastisch (keine Energieverluste)
5. Die mittlere kinetische Energie der Teilchen ist proportional zur absoluten Temperatur

Aus diesen Annahmen lassen sich wichtige Gasgesetze ableiten, die das Verhalten von Gasen bei verschiedenen Temperaturen und Drücken beschreiben.

## 4.2 Innere Energie und Wärmekapazität

Die innere Energie eines Körpers ist die Summe aller Energien seiner Teilchen – sowohl ihrer kinetischen Energie (Bewegung) als auch ihrer potentiellen Energie (Wechselwirkungen zwischen den Teilchen). Bei Gasen ist die innere Energie hauptsächlich kinetische Energie der Teilchen, bei Festkörpern und Flüssigkeiten spielen auch die Bindungsenergien eine wichtige Rolle.

Ein wichtiger Punkt ist der Unterschied zwischen Temperatur und innerer Energie. Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie pro Teilchen, die innere Energie hängt zusätzlich von der Anzahl der Teilchen ab. Ein großer Topf mit lauwarmem Wasser hat eine höhere innere Energie als eine kleine Tasse mit heißem Wasser, obwohl die Tasse eine höhere Temperatur hat.

Wärme ist die Energie, die aufgrund eines Temperaturunterschieds von einem Körper zum anderen übertragen wird. Wichtig ist: Wärme ist kein Zustand, sondern ein Prozess. Ein Körper "hat" keine Wärme, sondern Wärme fließt zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur.

Die Wärmemenge, die benötigt wird, um einen Körper zu erwärmen, hängt von drei Faktoren ab:

- Der Masse des Körpers ( $m$ )
- Der Temperaturänderung ( $\Delta T$ )
- Dem Material des Körpers (charakterisiert durch die spezifische Wärmekapazität  $c$ )

Die Formel lautet:  $Q = m \times c \times \Delta T$

Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen. Sie ist eine Materialeigenschaft und variiert stark zwischen verschiedenen Stoffen:

- Wasser: 4180 J/(kg · K)
- Aluminium: 896 J/(kg · K)
- Eisen: 449 J/(kg · K)
- Kupfer: 385 J/(kg · K)
- Blei: 130 J/(kg · K)

Wasser hat eine besonders hohe spezifische Wärmekapazität. Das erklärt, warum Wasser so gut als Kühlmittel geeignet ist und warum Ozeane das Klima stabilisieren. Es dauert lange, große Wassermassen zu erwärmen oder abzukühlen.

Die Wärmekapazität  $C$  eines konkreten Körpers ist das Produkt aus Masse und spezifischer Wärmekapazität:  $C = m \times c$

Sie gibt an, wie viel Energie benötigt wird, um diesen speziellen Körper um 1 K zu erwärmen.

## 4.3 Aggregatzustände und Phasenübergänge

Die Übergänge zwischen den Aggregatzuständen sind besonders interessante Energieumwandlungsprozesse. Bei Phasenübergängen wird Energie aufgenommen oder abgegeben, ohne dass sich die Temperatur ändert.

**Schmelzen:** Beim Übergang von fest zu flüssig wird die Schmelzwärme benötigt:  $Q_s = m \times L_s$

Dabei ist  $L_s$  die spezifische Schmelzwärme. Für Eis beträgt sie 334 kJ/kg. Das bedeutet, dass 334 kJ Energie benötigt werden, um 1 kg Eis bei 0°C zu schmelzen, ohne die Temperatur zu ändern.

**Verdampfen:** Beim Übergang von flüssig zu gasförmig wird die Verdampfungswärme benötigt:  $Q_v = m \times L_v$

Für Wasser beträgt die spezifische Verdampfungswärme 2260 kJ/kg bei 100°C. Das ist etwa siebenmal so viel wie die Schmelzwärme.

Diese großen Energiemengen erklären, warum Verbrennungen durch Wasserdampf so gefährlich sind und warum Schwitzen so effektiv kühl. Beim Verdampfen von nur 1 g Schweiß werden 2,26 kJ Wärme vom Körper abgeführt.

Die Phasenübergänge lassen sich mit dem Teilchenmodell erklären:

Beim Schmelzen wird die Energie verwendet, um die Bindungen zwischen den Teilchen zu lockern, sodass sie sich freier bewegen können. Die kinetische Energie (und damit die Temperatur) ändert sich nicht.

Beim Verdampfen wird noch mehr Energie benötigt, um die Teilchen vollständig voneinander zu trennen und in die Gasphase zu überführen.

## 4.4 Wärmetransport

Wärme kann auf drei verschiedene Arten übertragen werden: durch Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung. Jeder Mechanismus folgt eigenen Gesetzmäßigkeiten und ist in verschiedenen Situationen dominant.

### 4.4.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung ist der Transport von Wärme durch direkte Übertragung zwischen benachbarten Teilchen. Die schneller schwingenden Teilchen in wärmeren Bereichen geben Energie an die langsameren Teilchen in kühleren Bereichen ab.

Die Wärmeleitung folgt dem Fourierschen Gesetz:  $\Phi = \lambda \times A \times \Delta T / d$

Dabei ist  $\Phi$  der Wärmestrom (Wärmemenge pro Zeit),  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit des Materials, A die Querschnittsfläche,  $\Delta T$  der Temperaturunterschied und d die Dicke der Schicht.

Die Wärmeleitfähigkeit variiert stark zwischen verschiedenen Materialien: - Silber: 429 W/(m · K) - Kupfer: 401 W/(m · K) - Aluminium: 237 W/(m · K) - Stahl: 50 W/(m · K) - Glas: 1 W/(m · K) - Wasser: 0,6 W/(m · K) - Luft: 0,026 W/(m · K) - Styropor: 0,04 W/(m · K)

Metalle sind gute Wärmeleiter, weil sie freie Elektronen haben, die Energie schnell transportieren können. Gase sind schlechte Wärmeleiter, weil ihre Teilchen weit voneinander entfernt sind.

#### 4.4.2 Konvektion

Konvektion ist der Wärmetransport durch Bewegung von Flüssigkeiten oder Gasen. Dabei wird Wärme nicht nur durch Teilchenstöße übertragen, sondern auch durch den Transport warmer Flüssigkeits- oder Gasmengen.

Man unterscheidet zwischen natürlicher und erzwungener Konvektion:

**Natürliche Konvektion** entsteht durch Dichteunterschiede. Warme Flüssigkeiten oder Gase haben eine geringere Dichte und steigen auf, kalte sinken ab. So entstehen Konvektionsströme.

**Erzwungene Konvektion** wird durch externe Kräfte verursacht, beispielsweise durch Pumpen oder Ventilatoren.

Konvektion ist meist viel effektiver als reine Wärmeleitung. Deshalb sind Heizkörper mit Rippen ausgestattet, die die Konvektion fördern, und deshalb funktionieren Ventilatoren zur Kühlung.

#### 4.4.3 Wärmestrahlung

Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung, die von allen Körpern mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt ausgesendet wird. Sie benötigt kein Medium und kann auch durch das Vakuum übertragen werden.

Die abgestrahlte Leistung folgt dem Stefan-Boltzmann-Gesetz:  $P = \sigma \times A \times T^4$

Dabei ist  $\sigma$  die Stefan-Boltzmann-Konstante ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ), A die Oberfläche und T die absolute Temperatur.

Die vierte Potenz der Temperatur zeigt, dass heiße Körper überproportional viel Energie abstrahlen. Ein Körper mit doppelter absoluter Temperatur strahlt 16-mal so viel Energie ab.

Die Wellenlänge der Strahlung hängt von der Temperatur ab. Heiße Körper strahlen kurzwelliger (bläulicher), kalte Körper langwelliger (rötlicher). Die Sonne mit etwa 5800 K Oberflächentemperatur strahlt hauptsächlich im sichtbaren Bereich, die Erde mit etwa 288 K im Infrarotbereich.

## 4.5 Wärmekraftmaschinen

Wärmekraftmaschinen wandeln Wärmeenergie in mechanische Arbeit um. Sie sind die Grundlage für viele wichtige Technologien: Automotoren, Kraftwerke, Flugzeugtriebwerke und viele andere Maschinen.

Das Grundprinzip einer Wärmekraftmaschine wurde bereits im Mechanik-Kapitel erklärt. Hier vertiefen wir das Verständnis und betrachten konkrete Beispiele.

Eine Wärmekraftmaschine arbeitet zwischen zwei Wärmereservoirs: - Heißes Reservoir mit Temperatur  $T_h$  - Kaltes Reservoir mit Temperatur  $T_k$

Die Maschine nimmt Wärme  $Q_h$  vom heißen Reservoir auf, wandelt einen Teil davon in Arbeit  $W$  um und gibt den Rest  $Q_k$  an das kalte Reservoir ab.

Der Wirkungsgrad ist:  $\eta = W / Q_h = (Q_h - Q_k) / Q_h = 1 - Q_k / Q_h$

Der theoretisch maximale Wirkungsgrad (Carnot-Wirkungsgrad) hängt nur von den Temperaturen ab:  $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_k / T_h$

Dieser Wirkungsgrad ist eine fundamentale physikalische Grenze, die von keiner realen Maschine erreicht werden kann.

**Ottomotor (Benzinmotor):** Der Ottomotor arbeitet im Viertakt-Prinzip: 1. Ansaugen: Kraftstoff-Luft-Gemisch wird angesaugt 2. Verdichten: Das Gemisch wird komprimiert 3. Arbeiten: Zündung und Expansion treiben den Kolben an 4. Ausstoßen: Verbrannte Gase werden ausgestoßen

Der Wirkungsgrad liegt bei etwa 25-35%. Der Rest wird als Abwärme über Kühlung und Abgase abgeführt.

**Dieselmotor:** Ähnlich dem Ottomotor, aber mit Selbstzündung durch hohe Kompression. Höhere Verdichtung führt zu besserem Wirkungsgrad (35-45%).

**Gasturbine:** Kontinuierliche Verbrennung, hohe Leistung bei geringem Gewicht. Wirkungsgrad 35-40% (einfach) bis 60% (kombiniert mit Dampfturbine).

**Dampfkraftwerk:** Wasser wird zu Dampf erhitzt, der Turbinen antreibt. Moderne Anlagen erreichen Wirkungsgrade von 40-45%.

## 4.6 Klimaphysik und Treibhauseffekt

Die Physik der Wärme spielt eine entscheidende Rolle beim Verständnis des Klimasystems und des Klimawandels. Die Erde kann als komplexes thermodynamisches System betrachtet werden, das Energie von der Sonne empfängt und wieder ins Weltall abstrahlt.

**Energiebilanz der Erde:** Die Erde empfängt Energie von der Sonne in Form kurzwelliger Strahlung (hauptsächlich sichtbares Licht). Ein Teil dieser Strahlung wird von Wolken und der Erdoberfläche reflektiert, der Rest wird absorbiert und erwärmt die Erde.

Die erwärmte Erde strahlt Energie in Form langwelliger Infrarotstrahlung ins Weltall ab. Im Gleichgewicht muss die absorbierte Energie gleich der abgestrahlten Energie sein.

**Der natürliche Treibhauseffekt:** Ohne Atmosphäre würde die Erde eine mittlere Temperatur von etwa -18°C haben. Tatsächlich beträgt die mittlere Temperatur etwa +15°C. Diese Differenz von 33 K wird durch den natürlichen Treibhauseffekt verursacht.

Bestimmte Gase in der Atmosphäre (Treibhausgase) sind durchlässig für kurzwellige Sonnenstrahlung, absorbieren aber langwellige Infrarotstrahlung. Die wichtigsten natürlichen Treibhausgase sind: - Wasserdampf ( $H_2O$ ): etwa 60% des natürlichen Treibhauseffekts - Kohlendioxid ( $CO_2$ ): etwa 26% - Ozon ( $O_3$ ): etwa 8% - Methan ( $CH_4$ ): etwa 4%

**Der verstärkte Treibhauseffekt:** Durch menschliche Aktivitäten steigt die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre: -  $CO_2$  hauptsächlich durch Verbrennung fossiler Brennstoffe -  $CH_4$  durch Landwirtschaft und Mülldeponien -  $N_2O$  durch Landwirtschaft und Industrie - Fluorierte Gase durch Industrie

Die  $CO_2$ -Konzentration ist von etwa 280 ppm (parts per million) vor der Industrialisierung auf über 420 ppm heute gestiegen. Das führt zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erde.

**Rückkopplungseffekte:** Das Klimasystem enthält verschiedene Rückkopplungen, die die Erwärmung verstärken oder abschwächen können:

Positive Rückkopplung (verstärkend): - Eis-Albedo-Rückkopplung: Weniger Eis → weniger Reflexion → mehr Erwärmung - Wasserdampf-Rückkopplung: Wärmere Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen

Negative Rückkopplung (abschwächend): - Mehr Wolken können mehr Sonnenlicht reflektieren - Verstärktes Pflanzenwachstum kann mehr  $CO_2$  binden

## 4.7 Experimente zur Wärmelehre

### Experiment 1: Spezifische Wärmekapazität bestimmen

Ziel: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität verschiedener Metalle.

Material: Metallstücke, Kalorimeter, Thermometer, Heizplatte, Waage

Durchführung: 1. Erhitzt das Metallstück in kochendem Wasser auf 100°C 2. Gebt es schnell in das Kalorimeter mit kaltem Wasser 3. Messt die Mischungstemperatur 4.

Berechnet die spezifische Wärmekapazität aus der Energiebilanz

Energiebilanz:  $Q_{\text{abgegeben}} = Q_{\text{aufgenommen}}$   $m_{\text{Metall}} \times c_{\text{Metall}} \times (100^{\circ}\text{C} - T_{\text{misch}})$   $= m_{\text{Wasser}} \times c_{\text{Wasser}} \times (T_{\text{misch}} - T_{\text{anfang}})$

### Experiment 2: Schmelzwärme von Eis

Ziel: Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis.

Material: Eiswürfel, Kalorimeter, Thermometer, Waage

Durchführung: 1. Gebt Eiswürfel von 0°C in warmes Wasser 2. Messt die Endtemperatur nach dem Schmelzen 3. Berechnet die Schmelzwärme aus der Energiebilanz

### Experiment 3: Wärmetransport vergleichen

Ziel: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien.

Material: Stäbe aus verschiedenen Materialien, Thermometer, Heizquelle, Wachs

Durchführung: 1. Befestigt Wachstropfen in gleichen Abständen an den Stäben 2. Erhitzt ein Ende der Stäbe 3. Messt die Zeit, bis die Wachstropfen schmelzen 4. Vergleicht die Wärmeleitfähigkeit

### Experiment 4: Konvektionsströme sichtbar machen

Ziel: Nachweis von Konvektionsströmen in Flüssigkeiten.

Material: Durchsichtiger Behälter, Wasser, Lebensmittelfarbe, Heizquelle

Durchführung: 1. Füllt den Behälter mit Wasser 2. Erhitzt eine Seite des Behälters 3. Gebt vorsichtig Lebensmittelfarbe hinzu 4. Beobachtet die entstehenden Strömungen

### Experiment 5: Treibhauseffekt-Modell

Ziel: Demonstration des Treibhauseffekts im Modell.

Material: Zwei identische Behälter, Glasplatte, Thermometer, Lampe

Durchführung: 1. Stellt beide Behälter unter die Lampe 2. Bedeckt einen Behälter mit der Glasplatte 3. Messt die Temperaturentwicklung in beiden Behältern 4. Erklärt den Unterschied

Ergebnis: Der bedeckte Behälter wird wärmer, weil die Glasplatte wie Treibhausgase wirkt.

Diese Experimente verdeutlichen die praktische Bedeutung der Wärmelehre und zeigen, wie Wärme in verschiedenen Situationen übertragen wird. Sie helfen dabei, ein Verständnis für Energieeffizienz und Klimaschutz zu entwickeln.

---

## Kapitel 5: Atomphysik - Die Welt der kleinsten Teilchen

Die Atomphysik führt uns in die Welt der kleinsten Bausteine der Materie. Hier entdecken wir, wie Atome aufgebaut sind, wie sie Energie speichern und abgeben, und wie die Erkenntnisse der Atomphysik unser Verständnis der Welt revolutioniert haben. Auch in diesem Bereich spielt das Energiekonzept eine zentrale Rolle.

### 5.1 Entwicklung der Atomvorstellungen

Die Vorstellung, dass alle Materie aus kleinsten, unteilbaren Teilchen besteht, ist sehr alt. Bereits im antiken Griechenland entwickelte Demokrit (460-370 v. Chr.) die Idee der Atome (griechisch "atomos" = unteilbar). Diese philosophische Idee wurde jedoch erst im 19. und 20. Jahrhundert zur wissenschaftlichen Theorie.

**Daltons Atommodell (1803):** John Dalton stellte die erste wissenschaftliche Atomtheorie auf: - Alle Materie besteht aus kleinsten, unteilbaren Teilchen (Atomen) - Atome desselben Elements sind identisch - Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in Masse und Eigenschaften - Chemische Verbindungen entstehen durch Kombination von Atomen in einfachen Zahlenverhältnissen

Daltons Modell erklärte viele chemische Beobachtungen, aber es behandelte Atome als massive, strukturlose Kugeln.

**Thomsons "Rosinenkuchen"-Modell (1897):** Die Entdeckung des Elektrons durch J.J. Thomson zeigte, dass Atome doch teilbar sind. Thomson stellte sich das Atom als positiv geladene Kugel vor, in die negative Elektronen wie Rosinen in einen Kuchen eingebettet sind.

**Rutherford's Kernmodell (1911):** Ernest Rutherford führte Streuversuche mit Alpha-Teilchen durch. Er beschoss dünne Goldfolien mit Alpha-Teilchen und beobachtete, wie

diese abgelenkt wurden. Die meisten Teilchen gingen ungehindert durch die Folie, aber einige wenige wurden stark abgelenkt oder sogar zurückgestreut.

Aus diesen Beobachtungen schloss Rutherford: - Das Atom besteht größtenteils aus leerem Raum - Die gesamte positive Ladung und fast die gesamte Masse sind in einem winzigen Kern konzentriert - Die Elektronen bewegen sich um diesen Kern

Das Rutherford'sche Atommodell war revolutionär, hatte aber ein Problem: Nach der klassischen Physik müssten die kreisenden Elektronen ständig Energie abstrahlen und in den Kern stürzen. Atome wären instabil.

**Bohrs Schalenmodell (1913):** Niels Bohr löste dieses Problem durch eine revolutionäre Annahme: Elektronen können nur auf bestimmten, erlaubten Bahnen (Schalen) um den Kern kreisen. Auf diesen Bahnen strahlen sie keine Energie ab. Energie wird nur abgegeben oder aufgenommen, wenn Elektronen zwischen den Schalen wechseln.

Bohrs Postulate: 1. Elektronen bewegen sich auf stabilen Kreisbahnen um den Kern 2. Nur bestimmte Bahnen sind erlaubt (Quantisierung) 3. Energieabgabe oder -aufnahme erfolgt nur beim Übergang zwischen Bahnen

## 5.2 Aufbau des Atoms

Nach heutigem Verständnis besteht ein Atom aus drei Arten von Teilchen:

**Protonen:** Positiv geladene Teilchen im Kern - Ladung:  $+1,6 \times 10^{-19}$  C (Elementarladung e) - Masse:  $1,67 \times 10^{-27}$  kg  $\approx 1$  u (atomare Masseneinheit)

**Neutronen:** Elektrisch neutrale Teilchen im Kern - Ladung: 0 - Masse:  $1,67 \times 10^{-27}$  kg  $\approx 1$  u (etwa gleich der Protonenmasse)

**Elektronen:** Negativ geladene Teilchen in der Atomhülle - Ladung:  $-1,6 \times 10^{-19}$  C (negative Elementarladung) - Masse:  $9,11 \times 10^{-31}$  kg  $\approx 1/1836$  u (etwa 2000-mal leichter als Protonen)

### Wichtige Kenngrößen:

**Ordnungszahl (Z):** Anzahl der Protonen im Kern. Sie bestimmt das chemische Element.

**Massenzahl (A):** Summe aus Protonen und Neutronen im Kern.

**Neutronenzahl (N):** A - Z

Ein Atom ist normalerweise elektrisch neutral, das heißt, es hat gleich viele Protonen und Elektronen.

**Größenverhältnisse:** Die Dimensionen im Atom sind schwer vorstellbar: -

Atomdurchmesser: etwa  $10^{-10}$  m - Kerndurchmesser: etwa  $10^{-15}$  m - Das Verhältnis ist etwa wie ein Stecknadelkopf zu einem Fußballstadion

**Isotope:** Atome desselben Elements können unterschiedliche Neutronenzahlen haben. Solche Varianten nennt man Isotope. Sie haben dieselbe Ordnungszahl, aber verschiedene Massenzahlen.

Beispiele: - Wasserstoff-1 ( $^1\text{H}$ ): 1 Proton, 0 Neutronen - Deuterium ( $^2\text{H}$ ): 1 Proton, 1

Neutron

- Tritium ( $^3\text{H}$ ): 1 Proton, 2 Neutronen

- Kohlenstoff-12 ( $^{12}\text{C}$ ): 6 Protonen, 6 Neutronen
- Kohlenstoff-14 ( $^{14}\text{C}$ ): 6 Protonen, 8 Neutronen

Viele Isotope sind stabil, andere sind radioaktiv und zerfallen spontan.

### 5.3 Energieniveaus und Spektren

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der Atomphysik ist, dass Energie in Atomen quantisiert ist. Elektronen können nur bestimmte, diskrete Energiewerte haben. Diese Energieniveaus sind charakteristisch für jedes Element.

**Das Schalenmodell:** Die Elektronenhülle ist in Schalen (auch Energieniveaus genannt) unterteilt: - K-Schale ( $n=1$ ): bis zu 2 Elektronen - L-Schale ( $n=2$ ): bis zu 8 Elektronen - M-Schale ( $n=3$ ): bis zu 18 Elektronen - N-Schale ( $n=4$ ): bis zu 32 Elektronen

Die Energie der Elektronen nimmt mit der Entfernung vom Kern zu. Elektronen besetzen normalerweise die niedrigsten verfügbaren Energieniveaus (Grundzustand).

**Anregung und Emission:** Wenn einem Atom Energie zugeführt wird (durch Licht, Wärme oder elektrische Entladung), können Elektronen auf höhere Energieniveaus "angeregt" werden. Dieser Zustand ist instabil – das Elektron fällt nach kurzer Zeit wieder auf ein niedrigeres Niveau zurück.

Bei diesem Übergang wird die Energiedifferenz als Photon (Lichtteilchen) abgegeben:

$$E_{\text{Photon}} = E_{\text{oben}} - E_{\text{unten}} = h \times f$$

Dabei ist  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum ( $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ) und  $f$  die Frequenz des Lichts.

Da die Energieniveaus diskret sind, werden auch nur bestimmte Frequenzen (Farben) emittiert. Das führt zu charakteristischen Linienspektren.

**Spektralanalyse:** Jedes Element hat ein charakteristisches Spektrum – wie ein Fingerabdruck. Durch Analyse der Spektrallinien kann man: - Die Zusammensetzung von Sternen bestimmen - Materialien identifizieren - Konzentrationen messen

Die Spektralanalyse ist eine der wichtigsten Methoden der modernen Physik und Chemie.

**Laser:** Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) nutzen stimulierte Emission. Wenn ein angeregtes Atom von einem Photon der richtigen Frequenz getroffen wird, gibt es ein identisches Photon ab. So entsteht kohärentes Licht mit einer einzigen Frequenz.

## 5.4 Radioaktivität

Manche Atomkerne sind instabil und zerfallen spontan unter Aussendung von Strahlung. Dieses Phänomen heißt Radioaktivität. Es wurde 1896 von Henri Becquerel entdeckt und später von Marie und Pierre Curie erforscht.

**Arten radioaktiver Strahlung:**

**Alpha-Strahlung ( $\alpha$ ):** - Besteht aus Heliumkernen (2 Protonen + 2 Neutronen) - Positive Ladung:  $+2e$  - Geringe Reichweite (wenige cm in Luft) - Wird durch Papier gestoppt - Hohe Ionisationswirkung

**Beta-Strahlung ( $\beta$ ):** - Besteht aus schnellen Elektronen oder Positronen - Ladung:  $-e$  ( $\beta^-$ ) oder  $+e$  ( $\beta^+$ ) - Mittlere Reichweite (einige m in Luft) - Wird durch Aluminium gestoppt - Mittlere Ionisationswirkung

**Gamma-Strahlung ( $\gamma$ ):** - Elektromagnetische Strahlung hoher Energie - Keine Ladung, keine Masse - Große Reichweite (km in Luft) - Wird durch Blei abgeschwächt - Geringe Ionisationswirkung, aber hohe Durchdringungsfähigkeit

**Zerfallsgesetze:** Radioaktiver Zerfall ist ein statistischer Prozess. Man kann nicht vorhersagen, wann ein bestimmter Kern zerfällt, aber man kann die Wahrscheinlichkeit angeben.

Die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne nimmt exponentiell ab:

$$N(t) = N_0 \times e^{(-\lambda t)}$$

Dabei ist  $N_0$  die Anfangszahl,  $\lambda$  die Zerfallskonstante und  $t$  die Zeit.

**Halbwertszeit:** Die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Kerne zerfällt. Sie ist charakteristisch für jedes Isotop:

$$T_{1/2} = \ln(2) / \lambda \approx 0,693 / \lambda$$

Beispiele für Halbwertszeiten: - Tritium (<sup>3</sup>H): 12,3 Jahre - Kohlenstoff-14 (<sup>14</sup>C): 5730 Jahre  
- Uran-238 (<sup>238</sup>U): 4,5 Milliarden Jahre - Polonium-214 (<sup>214</sup>Po): 0,00016 Sekunden

### Anwendungen der Radioaktivität:

**Altersbestimmung:** - C-14-Methode für organische Materialien (bis 50.000 Jahre) - Uran-Blei-Methode für Gesteine (Millionen bis Milliarden Jahre)

**Medizin:** - Diagnose: Radioaktive Tracer zeigen Stoffwechselprozesse - Therapie: Bestrahlung von Tumoren

**Technik:** - Dickenmessung in der Industrie - Rauchmelder - Energieerzeugung in Kernkraftwerken

## 5.5 Strahlenschutz

Radioaktive Strahlung kann biologisches Gewebe schädigen. Daher sind Schutzmaßnahmen notwendig.

**Biologische Wirkung:** Strahlung kann Atome ionisieren, das heißt Elektronen aus der Atomhülle herausschlagen. In biologischen Zellen kann das zu: - DNA-Schäden führen - Zellsterben verursachen - Krebs auslösen - Erbgutveränderungen bewirken

**Strahlendosis:** Die Energiedosis gibt an, wie viel Energie pro Masse absorbiert wird:  $D = E / m$  (Einheit: Gray, Gy = J/kg)

Die Äquivalentdosis berücksichtigt die biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten:  $H = D \times w_R$  (Einheit: Sievert, Sv)

Dabei ist  $w_R$  der Strahlungs-Wichtungsfaktor: - Gamma-, Beta-Strahlung:  $w_R = 1$  - Alpha-Strahlung:  $w_R = 20$  - Neutronen:  $w_R = 5-20$  (energieabhängig)

**Natürliche Strahlenbelastung:** Jeder Mensch ist ständig natürlicher Strahlung ausgesetzt: - Kosmische Strahlung: 0,3 mSv/Jahr - Terrestrische Strahlung (Radon etc.): 1,1 mSv/Jahr - Innere Strahlung (K-40, C-14 im Körper): 0,3 mSv/Jahr - Gesamt: etwa 2,1 mSv/Jahr (in Deutschland)

**Schutzprinzipien:** 1. **Abstand:** Strahlung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab 2.

**Abschirmung:** Geeignete Materialien reduzieren die Strahlung 3. **Aufenthaltszeit:** Kurze Expositionzeiten reduzieren die Dosis

**Grenzwerte:** - Allgemeine Bevölkerung: 1 mSv/Jahr zusätzlich zur natürlichen Strahlung  
- Beruflich strahlenexponierte Personen: 20 mSv/Jahr - Schwangere: 1 mSv während der gesamten Schwangerschaft

## 5.6 Experimente zur Atomphysik

### Experiment 1: Spektrallinien verschiedener Elemente

Ziel: Beobachtung charakteristischer Spektrallinien und Verständnis der Energieniveaus.

Material: Spektroskop, verschiedene Gasentladungsrohren (Wasserstoff, Helium, Neon), Netzgerät

Durchführung: 1. Betreibt nacheinander verschiedene Gasentladungsrohren 2.

Beobachtet die Spektren durch das Spektroskop 3. Zeichnet die charakteristischen Linien auf 4. Vergleicht die Spektren verschiedener Elemente

Beobachtung: Jedes Element zeigt ein charakteristisches Linienmuster. Wasserstoff zeigt die Balmer-Serie mit roten, blauen und violetten Linien.

### Experiment 2: LED-Spektren untersuchen

Ziel: Bestimmung der Energie von Photonen aus der Wellenlänge.

Material: Verschiedenfarbige LEDs, Spektroskop, Voltmeter

Durchführung: 1. Betreibt LEDs verschiedener Farben 2. Bestimmt die Wellenlänge des emittierten Lichts 3. Berechnet die Photonenergie:  $E = h \times c / \lambda$  4. Vergleicht mit der angelegten Spannung

Ergebnis: Die Photonenergie entspricht etwa der elektrischen Energie der Elektronen in der LED.

### Experiment 3: Halbwertszeit-Simulation

Ziel: Verständnis des exponentiellen Zerfalls und der Halbwertszeit.

Material: Würfel oder Münzen, Tabelle

Durchführung: 1. Startet mit 100 Würfeln (repräsentieren radioaktive Kerne) 2. Würfelt alle gleichzeitig 3. Entfernt alle Würfel, die eine "6" zeigen (zerfallene Kerne) 4. Zählt die verbleibenden Würfel 5. Wiederholt den Vorgang mehrmals 6. Tragt die Anzahl gegen die "Zeit" (Würferrunden) auf

Ergebnis: Die Anzahl nimmt exponentiell ab. Die Halbwertszeit beträgt etwa 4 Runden (da die Wahrscheinlichkeit für eine "6" etwa 1/6 ist).

## **Experiment 4: Strahlungsarten unterscheiden**

Ziel: Demonstration der unterschiedlichen Durchdringungsfähigkeit von Strahlung.

Material: Schwache radioaktive Quelle, Geiger-Müller-Zähler, Papier, Aluminiumblech, Bleiblech

Sicherheitshinweise: Nur unter Aufsicht und mit genehmigten, schwachen Quellen!

Durchführung: 1. Messt die Hintergrundstrahlung 2. Messt die Strahlung der Quelle ohne Abschirmung 3. Schirmt nacheinander mit Papier, Aluminium und Blei ab 4.

Dokumentiert die Änderung der Zählrate

Beobachtung: Papier stoppt Alpha-Strahlung, Aluminium stoppt Beta-Strahlung, Blei schwächt Gamma-Strahlung ab.

## **Experiment 5: Flammenfärbung**

Ziel: Nachweis charakteristischer Spektrallinien bei der Anregung von Atomen.

Material: Bunsenbrenner, Salze verschiedener Metalle ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{CuSO}_4$ , etc.), Magnesiastäbchen

Durchführung: 1. Taucht das Magnesiastäbchen in die Salzlösung 2. Haltet es in die Flamme 3. Beobachtet die Flammenfärbung 4. Verwendet verschiedene Salze

Beobachtung: - Natrium: gelb - Lithium: rot - Kupfer: grün - Kalium: violett

Erklärung: Die Metallatome werden durch die Flamme angeregt und emittieren charakteristische Spektrallinien.

Diese Experimente zeigen, dass die Atomphysik nicht nur theoretisch interessant ist, sondern auch praktische Anwendungen hat. Sie verdeutlichen, wie Energie in Atomen gespeichert und freigesetzt wird, und wie diese Erkenntnisse in Technik und Medizin genutzt werden.

---

## **Kapitel 6: Energie - Der rote Faden der Physik**

Am Ende unserer Reise durch die Physik der 9. Klasse ist es Zeit, den roten Faden zusammenzufassen, der sich durch alle Bereiche gezogen hat: das Energiekonzept. In diesem abschließenden Kapitel werdet ihr sehen, wie die verschiedenen Energieformen miteinander verbunden sind und welche Rolle sie für unsere Zukunft spielen.

## 6.1 Energieformen im Überblick

Während unserer Reise durch die Physik haben wir viele verschiedene Energieformen kennengelernt. Jede hat ihre besonderen Eigenschaften, aber alle folgen dem fundamentalen Prinzip der Energieerhaltung.

**Mechanische Energie** war unser Ausgangspunkt. Wir haben gelernt, dass sich kinetische Energie (Bewegung), potentielle Energie (Lage) und Spannenergie (Verformung) ineinander umwandeln können. Ein Pendel zeigt diese Umwandlungen besonders schön: Am höchsten Punkt nur potentielle Energie, am tiefsten Punkt nur kinetische Energie.

**Elektrische Energie** ermöglicht unsere moderne Zivilisation. Sie lässt sich leicht transportieren und in andere Energieformen umwandeln. In Generatoren wird mechanische Energie in elektrische umgewandelt, in Motoren geschieht das Umgekehrte. Transformatoren ermöglichen den effizienten Transport über große Entfernungen.

**Wärmeenergie** ist die Energie der ungeordneten Teilchenbewegung. Sie entsteht bei fast allen Energieumwandlungen als "Nebenprodukt" und kann nur teilweise wieder in andere Energieformen umgewandelt werden. Das macht sie zu einer besonderen Energieform.

**Strahlungsenergie** transportiert Energie durch elektromagnetische Wellen. Die Sonne versorgt die Erde mit Energie in Form von Licht und Wärmestrahlung. Auch in Atomen wird Energie als Strahlung freigesetzt, wenn Elektronen zwischen Energieniveaus wechseln.

**Chemische Energie** ist in den Bindungen zwischen Atomen gespeichert. Sie wird bei chemischen Reaktionen freigesetzt oder aufgenommen. Unser Körper nutzt chemische Energie aus der Nahrung, Autos nutzen sie aus Kraftstoffen.

**Kernenergie** steckt in den Atomkernen. Sie kann bei Kernspaltung oder Kernfusion freigesetzt werden und ist die Energiequelle der Sonne und der Sterne.

Alle diese Energieformen sind miteinander verbunden. Die Energieerhaltung besagt, dass Energie niemals verloren geht, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt wird. Das ist das wichtigste Prinzip der Physik.

## 6.2 Energieumwandlungen in der Technik

Die moderne Technik basiert auf der kontrollierten Umwandlung von Energieformen. Jede technische Anwendung nutzt bestimmte Umwandlungsketten:

**Kraftwerke** wandeln verschiedene Primärenergien in elektrische Energie um: -

Kohlekraftwerk: Chemische Energie → Wärme → mechanische Energie → elektrische Energie - Wasserkraftwerk: Potentielle Energie → kinetische Energie → mechanische Energie → elektrische Energie

- Windkraftwerk: Kinetische Energie (Wind) → mechanische Energie → elektrische Energie - Solarzellen: Strahlungsenergie → elektrische Energie (direkt)

**Fahrzeuge** nutzen verschiedene Energiequellen: - Verbrennungsmotor: Chemische Energie → Wärme → mechanische Energie → kinetische Energie - Elektromotor: Elektrische Energie → mechanische Energie → kinetische Energie - Brennstoffzelle: Chemische Energie → elektrische Energie → mechanische Energie → kinetische Energie

**Haushaltsgeräte** wandeln elektrische Energie in die gewünschte Form um: - Glühlampe: Elektrische Energie → Wärme → Licht - LED: Elektrische Energie → Licht (direkt) - Elektroherd: Elektrische Energie → Wärme - Computer: Elektrische Energie → mechanische Energie (Lüfter) + Licht (Bildschirm) + Wärme

Der Wirkungsgrad dieser Umwandlungen variiert stark. Moderne LEDs erreichen 20-25%, Glühlampen nur 5%. Elektromotoren erreichen über 90%, Verbrennungsmotoren nur 25-35%. Die Verbesserung der Wirkungsgrade ist ein wichtiges Ziel der Technik.

## 6.3 Energieeffizienz und Nachhaltigkeit

Energieeffizienz bedeutet, mit möglichst wenig Energieeinsatz das gewünschte Ergebnis zu erreichen. Das ist nicht nur wirtschaftlich sinnvoll, sondern auch ökologisch notwendig.

### Warum ist Energieeffizienz wichtig?

1. **Ressourcenschonung:** Fossile Brennstoffe sind endlich. Je effizienter wir sie nutzen, desto länger reichen sie.
2. **Klimaschutz:** Weniger Energieverbrauch bedeutet weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen.
3. **Kosteneinsparung:** Energie kostet Geld. Effizienz spart Kosten.
4. **Versorgungssicherheit:** Weniger Energieverbrauch reduziert die Abhängigkeit von Importen.

### Beispiele für Energieeffizienz:

**Beleuchtung:** LED-Lampen verbrauchen 80% weniger Energie als Glühlampen bei gleicher Helligkeit.

**Heizung:** Wärmepumpen nutzen Umweltwärme und erreichen Wirkungsgrade von 300-400% (sie liefern mehr Wärmeenergie als sie elektrische Energie verbrauchen).

**Transport:** Elektrische Antriebe sind etwa dreimal effizienter als Verbrennungsmotoren.

**Gebäude:** Gute Dämmung reduziert den Heizenergiebedarf um 50-80%.

**Industrie:** Abwärmenutzung und effiziente Motoren sparen große Energiemengen.

**Nachhaltigkeit** bedeutet, dass wir unsere Energieversorgung so gestalten, dass auch zukünftige Generationen ihre Bedürfnisse erfüllen können. Das erfordert:

1. **Erneuerbare Energien:** Sonne, Wind, Wasser und Biomasse sind praktisch unerschöpflich.
2. **Kreislaufwirtschaft:** Materialien sollten wiederverwendet und recycelt werden.
3. **Effizienz:** Weniger Verbrauch bei gleichem Nutzen.
4. **Suffizienz:** Bewusster Verzicht auf unnötigen Verbrauch.

## 6.4 Die Zukunft der Energie

Die Energieversorgung der Zukunft wird sich grundlegend von der heutigen unterscheiden. Mehrere Trends zeichnen sich ab:

**Dekarbonisierung:** Der Ausstieg aus fossilen Brennstoffen ist notwendig, um den Klimawandel zu begrenzen. Das bedeutet: - Ersatz von Kohle-, Gas- und Ölkraftwerken durch erneuerbare Energien - Elektrifizierung des Verkehrs - Wasserstoff als Energieträger für schwer elektrifizierbare Bereiche

**Dezentralisierung:** Statt weniger großer Kraftwerke werden viele kleine, dezentrale Anlagen die Energie erzeugen: - Solaranlagen auf Dächern - Kleine Windkraftanlagen - Blockheizkraftwerke - Batteriespeicher in Haushalten

**Digitalisierung:** Intelligente Netze (Smart Grids) werden Erzeugung und Verbrauch optimal aufeinander abstimmen: - Automatische Steuerung von Geräten je nach Stromangebot - Elektroautos als mobile Speicher - Vorhersage von Erzeugung und Verbrauch

**Sektorenkopplung:** Die Bereiche Strom, Wärme und Verkehr werden stärker miteinander verbunden: - Überschüssiger Strom wird zur Wärmeerzeugung genutzt - Elektroautos werden mit erneuerbarem Strom geladen - Wasserstoff verbindet alle Sektoren

**Neue Technologien:**

**Wasserstoff:** Kann als Energiespeicher und -träger dienen. Besonders wichtig für: - Stahlproduktion - Schwerlastverkehr - Langzeitspeicherung von Energie

**Batterien:** Werden immer leistungsfähiger und billiger. Ermöglichen: - Elektromobilität - Speicherung erneuerbarer Energien - Netzstabilisierung

**Künstliche Photosynthese:** Könnte direkt aus Sonnenlicht und CO<sub>2</sub> Kraftstoffe erzeugen.

**Kernfusion:** Könnte langfristig eine praktisch unerschöpfliche Energiequelle werden.

### **Herausforderungen:**

**Speicherung:** Erneuerbare Energien sind wetterabhängig. Wir brauchen bessere Speichertechnologien.

**Netzausbau:** Die Stromnetze müssen für die neuen Anforderungen ausgebaut werden.

**Rohstoffe:** Batterien und Solarzellen benötigen seltene Materialien.

**Gesellschaftliche Akzeptanz:** Neue Technologien müssen von der Gesellschaft akzeptiert werden.

**Eure Rolle:** Als zukünftige Erwachsene werdet ihr diese Energiewende mitgestalten. Ihr könnt: - Bewusst mit Energie umgehen - Erneuerbare Energien unterstützen - Euch über neue Technologien informieren - Politische Entscheidungen beeinflussen - Vielleicht sogar beruflich an Energielösungen arbeiten

Die Physik, die ihr in diesem Jahr gelernt habt, ist die Grundlage für das Verständnis all dieser Technologien. Das Energiekonzept wird euch helfen, neue Entwicklungen zu verstehen und zu bewerten.

**Fazit:** Energie ist der rote Faden, der alle Bereiche der Physik verbindet. Von der Mechanik über die Elektrizitätslehre und Wärmelehre bis zur Atomphysik – überall geht es um Energieumwandlungen. Das Verständnis dieser Zusammenhänge ist nicht nur für die Physik wichtig, sondern auch für die großen Herausforderungen unserer Zeit: Klimawandel, Energieversorgung und nachhaltige Entwicklung.

Die Physik zeigt uns, was möglich ist und was nicht. Sie hilft uns, realistische von unrealistischen Lösungen zu unterscheiden. Und sie gibt uns die Werkzeuge, um die Energiezukunft zu gestalten.

Eure Reise durch die Physik der 9. Klasse ist zu Ende, aber euer Verständnis der Welt hat gerade erst begonnen. Die Prinzipien, die ihr gelernt habt, werden euch ein Leben lang begleiten und helfen, die Welt um euch herum zu verstehen.

---

# Anhang A: Experimente und Versuche

## Sicherheitshinweise für alle Experimente

Bevor ihr mit den Experimenten beginnt, beachtet bitte folgende Sicherheitsregeln:

**Allgemeine Regeln:** - Führt Experimente nur unter Aufsicht durch - Tragt bei Bedarf Schutzbrille und Schutzkleidung - Haltet den Arbeitsplatz sauber und aufgeräumt - Informiert euch über die Eigenschaften aller verwendeten Materialien - Bei Unfällen sofort Hilfe holen

**Mechanik:** - Achtet auf fallende Gegenstände - Haltet Füße und Hände aus Fallbereichen - Verwendet weiche Unterlagen bei Fallversuchen - Prüft Aufbauten auf Stabilität

**Elektrizität:** - Arbeitet nur mit Niederspannung (unter 50 V) - Niemals mit nassen Händen an elektrischen Geräten arbeiten - Stromkreise vor Änderungen immer ausschalten - Kurzschlüsse vermeiden

**Wärme:** - Vorsicht bei heißen Gegenständen - Schutzhandschuhe bei Bedarf verwenden - Ausreichend lüften bei Verbrennungsversuchen - Feuerlöscher bereithalten

**Radioaktivität:** - Nur mit genehmigten, schwachen Quellen arbeiten - Niemals radioaktive Quellen berühren - Abstand halten - Expositionszeit minimieren

## Mechanik-Experimente

### Experiment M1: Energieerhaltung am Pendel

Material: Faden (1 m), Masse (50-100 g), Stativ, Winkelmesser, Stoppuhr

Aufbau: 1. Befestigt die Masse am Faden 2. Hängt das Pendel am Stativ auf 3. Markiert verschiedene Auslenkwinkel

Durchführung: 1. Lenkt das Pendel um  $15^\circ$  aus und lässt es schwingen 2. Messt die Zeit für 10 Schwingungen 3. Wiederholt für  $30^\circ$  und  $45^\circ$  4. Beobachtet die Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten

Auswertung: - Berechnet die Periodendauer  $T = t/10$  - Vergleicht die Periodendauern bei verschiedenen Auslenkungen - Erklärt die Energieumwandlungen

Erwartetes Ergebnis: Die Periodendauer ist (für kleine Winkel) unabhängig von der Auslenkung.

### Experiment M2: Federkonstante bestimmen

Material: Schraubenfeder, Gewichte (bekannte Massen), Lineal, Stativ

Aufbau: 1. Hängt die Feder vertikal am Stativ auf 2. Markiert die Ruhelage 3. Bereitet verschiedene Gewichte vor

Durchführung: 1. Hängt nacheinander verschiedene Gewichte an 2. Messt die Auslenkung für jedes Gewicht 3. Erstellt eine Tabelle: Kraft  $F = mg$  gegen Auslenkung  $s$

Auswertung: 1. Tragt  $F$  gegen  $s$  in einem Diagramm auf 2. Bestimmt die Steigung der Geraden 3. Die Steigung ist die Federkonstante  $D$

Berechnung der Spannenergie:  $E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times D \times s^2$

### **Experiment M3: Auftrieb messen**

Material: Verschiedene Körper, Kraftmesser, Becherglas, Wasser, Überlaufgefäß

Durchführung: 1. Wiegt die Körper in Luft:  $F_{\text{Luft}}$  2. Taucht sie vollständig in Wasser:  $F_{\text{Wasser}}$

3. Berechnet die Auftriebskraft:  $F_A = F_{\text{Luft}} - F_{\text{Wasser}}$  4. Sammelt das verdrängte Wasser und wiegt es 5. Vergleicht  $F_A$  mit der Gewichtskraft des verdrängten Wassers

Erwartetes Ergebnis:  $F_A = \text{Gewichtskraft des verdrängten Wassers}$

## **Elektrizitätslehre-Experimente**

### **Experiment E1: Elektromagnetische Induktion**

Material: Spule (100+ Windungen), Stabmagnet, Galvanometer oder empfindliches Voltmeter

Durchführung: 1. Verbindet die Spule mit dem Messgerät 2. Bewegt den Magneten langsam in die Spule 3. Bewegt ihn schnell in die Spule 4. Bewegt ihn aus der Spule heraus 5. Haltet ihn ruhig in der Spule

Beobachtung: Spannung entsteht nur bei Bewegung. Schnellere Bewegung → höhere Spannung.

### **Experiment E2: Transformatoren bauen**

Material: U-förmiger Eisenkern, zwei Spulen mit verschiedenen Windungszahlen, Wechselspannungsquelle (6-12 V), Voltmeter

Aufbau: 1. Wickelt beide Spulen um den Eisenkern 2. Verbindet eine Spule mit der Wechselspannungsquelle (Primärspule) 3. Verbindet die andere mit dem Voltmeter (Sekundärspule)

Durchführung: 1. Legt Wechselspannung an die Primärspule 2. Messst die Spannung an der Sekundärspule 3. Vertauscht Primär- und Sekundärspule 4. Vergleicht die Spannungsverhältnisse mit den Windungsverhältnissen

Erwartetes Ergebnis:  $U_1/U_2 = N_1/N_2$

## Wärmelehre-Experimente

### Experiment W1: Spezifische Wärmekapazität

Material: Metallstücke (Aluminium, Eisen, Kupfer), Kalorimeter, Thermometer, Heizplatte, Waage

Durchführung: 1. Erhitzt das Metallstück in kochendem Wasser auf 100°C 2. Gebt es schnell in das Kalorimeter mit kaltem Wasser (bekannte Masse und Temperatur) 3. Messt die Mischungstemperatur 4. Berechnet die spezifische Wärmekapazität

Energiebilanz:  $m_{Metall} \times c_{Metall} \times (100^\circ\text{C} - T_{misch}) = m_{Wasser} \times c_{Wasser} \times (T_{misch} - T_{anfang})$

### Experiment W2: Wärmetransport vergleichen

Material: Stäbe aus verschiedenen Materialien (Metall, Holz, Kunststoff), Thermometer, Heizquelle, Wachs

Durchführung: 1. Befestigt Wachstropfen in gleichen Abständen an den Stäben 2. Erhitzt ein Ende aller Stäbe gleichzeitig 3. Messt die Zeit, bis die Wachstropfen schmelzen 4. Vergleicht die Wärmeleitfähigkeit

Erwartetes Ergebnis: Metall leitet Wärme am besten, Kunststoff am schlechtesten.

## Atomphysik-Experimente

### Experiment A1: Spektrallinien beobachten

Material: Spektroskop oder CD als Beugungsgitter, verschiedene Lichtquellen (Glühlampe, LED, Gasentladungsröhren)

Durchführung: 1. Betrachtet verschiedene Lichtquellen durch das Spektroskop 2. Zeichnet die beobachteten Spektren 3. Vergleicht kontinuierliche Spektren (Glühlampe) mit Linienspektren (Gasentladung)

Beobachtung: Jedes Element zeigt charakteristische Spektrallinien.

### Experiment A2: Halbwertszeit simulieren

Material: 100 Würfel oder Münzen

Durchführung: 1. Startet mit 100 Würfeln (= radioaktive Kerne) 2. Würfelt alle gleichzeitig  
3. Entfernt alle mit "6" (= zerfallene Kerne) 4. Zählt die verbleibenden 5. Wiederholt mit  
den verbleibenden Würfeln 6. Tragt die Anzahl gegen die "Zeit" auf

Erwartetes Ergebnis: Exponentieller Abfall, Halbwertszeit etwa 4 Runden.

---

## Anhang B: Formelsammlung

### Mechanik

**Geschwindigkeit:**  $v = s / t$

**Beschleunigung:**  $a = \Delta v / \Delta t$

**Kraft (2. Newtonsches Gesetz):**  $F = m \times a$

**Gewichtskraft:**  $F_G = m \times g$  (mit  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

**Kinetische Energie:**  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

**Potentielle Energie:**  $E_{\text{pot}} = m \times g \times h$

**Spannenergie:**  $E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \times D \times s^2$

**Hookesches Gesetz:**  $F = D \times s$

**Mechanische Arbeit:**  $W = F \times s$  (bei konstanter Kraft in Wegrichtung)

**Leistung:**  $P = W / t = F \times v$

**Wirkungsgrad:**  $\eta = P_{\text{nutz}} / P_{\text{aufgenommen}} = W_{\text{nutz}} / W_{\text{aufgenommen}}$

**Druck:**  $p = F / A$

**Schweredruck:**  $p = \rho \times g \times h$

**Auftriebskraft (Archimedes):**  $F_A = \rho_{\text{Fl}} \times V_K \times g$

### Elektrizitätslehre

**Ohmsches Gesetz:**  $U = R \times I$

**Elektrische Leistung:**  $P = U \times I = I^2 \times R = U^2 / R$

**Elektrische Energie:**  $W = U \times I \times t = P \times t$

**Transformator:**  $U_1 / U_2 = N_1 / N_2$   $I_1 / I_2 = N_2 / N_1$

**Reihenschaltung von Widerständen:**  $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

**Parallelenschaltung von Widerständen:**  $1/R_{\text{ges}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$

## Wärmelehre

**Wärmemenge:**  $Q = m \times c \times \Delta T$

**Schmelzwärme:**  $Q_s = m \times L_s$

**Verdampfungswärme:**  $Q_v = m \times L_v$

**Wärmeleitung (Fouriersches Gesetz):**  $\Phi = \lambda \times A \times \Delta T / d$

**Wirkungsgrad Wärmekraftmaschine:**  $\eta = W / Q_h = (Q_h - Q_k) / Q_h$

**Carnot-Wirkungsgrad:**  $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_k / T_h$  (Temperaturen in Kelvin)

**Temperaturumrechnung:**  $T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

## Atomphysik

**Photonenenergie:**  $E = h \times f = h \times c / \lambda$  (mit  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

**Zerfallsgesetz:**  $N(t) = N_0 \times e^{(-\lambda t)}$

**Halbwertszeit:**  $T_{1/2} = \ln(2) / \lambda \approx 0,693 / \lambda$

**Energiedosis:**  $D = E / m$  (Einheit: Gray, Gy)

**Äquivalentdosis:**  $H = D \times w_R$  (Einheit: Sievert, Sv)

## Wichtige Konstanten

**Erdbeschleunigung:**  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  **Lichtgeschwindigkeit:**  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$

**Plancksches Wirkungsquantum:**  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  **Elementarladung:**  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$  **Stefan-Boltzmann-Konstante:**  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)}$

## Einheiten

**Grundeinheiten (SI):** - Länge: Meter (m) - Masse: Kilogramm (kg)  
- Zeit: Sekunde (s) - Stromstärke: Ampere (A) - Temperatur: Kelvin (K)

**Abgeleitete Einheiten:** - Kraft: Newton (N) = kg · m/s<sup>2</sup> - Energie/Arbeit: Joule (J) = N · m = kg · m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> - Leistung: Watt (W) = J/s = kg · m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup> - Spannung: Volt (V) = W/A = kg · m<sup>2</sup>/(A · s<sup>3</sup>) - Widerstand: Ohm (Ω) = V/A = kg · m<sup>2</sup>/(A<sup>2</sup> · s<sup>3</sup>) - Druck: Pascal (Pa) = N/m<sup>2</sup> = kg/(m · s<sup>2</sup>)

**Umrechnungen:** - 1 kWh =  $3,6 \times 10^6$  J = 3,6 MJ - 1 PS = 736 W - 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa - 1 atm = 1,013 × 10<sup>5</sup> Pa

---

## Anhang C: Glossar

[Das Glossar aus der separaten Datei wird hier eingefügt - es enthält über 80 wichtige Physikbegriffe mit Definitionen, Einheiten und Beispielen, alphabetisch sortiert von A bis Z]

---

## Anhang D: Lösungen zu den Übungsaufgaben

### Kapitel 1: Einführung

Aufgabe 1.1: Nennt fünf Beispiele für Energieumwandlungen im Alltag.

Lösung: 1. Fahrradfahren: Chemische Energie (Muskeln) → Mechanische Energie → Kinetische Energie 2. Handy laden: Elektrische Energie → Chemische Energie (Akku) 3. Kochen: Elektrische Energie → Wärmeenergie 4. Photosynthese: Lichtenergie → Chemische Energie 5. Autofahren: Chemische Energie (Benzin) → Wärmeenergie → Mechanische Energie → Kinetische Energie

### Kapitel 2: Mechanik

Aufgabe 2.1: Ein 1500 kg schweres Auto fährt mit 72 km/h. Berechnet seine kinetische Energie.

Lösung: Gegeben: m = 1500 kg, v = 72 km/h = 20 m/s Gesucht: E\_kin

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 1500 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \times 1500 \times 400 = 300.000 \text{ J} = 300 \text{ kJ}$$

Aufgabe 2.2: Wie hoch müsste ein 2 kg schwerer Ball gehoben werden, um 100 J potentielle Energie zu haben?

Lösung: Gegeben: m = 2 kg, E\_pot = 100 J, g = 9,81 m/s<sup>2</sup> Gesucht: h

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times h \quad h = E_{\text{pot}} / (m \times g) = 100 \text{ J} / (2 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2) = 100 / 19,62 = 5,1 \text{ m}$$

## Kapitel 3: Elektrizitätslehre

Aufgabe 3.1: Eine 60-W-Glühlampe brennt 5 Stunden. Wie viel Energie verbraucht sie?

Lösung: Gegeben:  $P = 60 \text{ W}$ ,  $t = 5 \text{ h}$  Gesucht:  $W$

$$W = P \times t = 60 \text{ W} \times 5 \text{ h} = 300 \text{ Wh} = 0,3 \text{ kWh}$$

$$\text{In Joule: } W = 0,3 \text{ kWh} \times 3,6 \times 10^6 \text{ J/kWh} = 1,08 \times 10^6 \text{ J} = 1,08 \text{ MJ}$$

Aufgabe 3.2: Ein Transformator hat 1000 Windungen in der Primärspule und 100 in der Sekundärspule. An der Primärspule liegen 230 V an. Wie groß ist die Sekundärspannung?

Lösung: Gegeben:  $N_1 = 1000$ ,  $N_2 = 100$ ,  $U_1 = 230 \text{ V}$  Gesucht:  $U_2$

$$U_1/U_2 = N_1/N_2 \quad U_2 = U_1 \times N_2/N_1 = 230 \text{ V} \times 100/1000 = 230 \text{ V} \times 0,1 = 23 \text{ V}$$

## Kapitel 4: Wärmelehre

Aufgabe 4.1: Wie viel Energie wird benötigt, um 2 kg Wasser von 20°C auf 80°C zu erwärmen?

Lösung: Gegeben:  $m = 2 \text{ kg}$ ,  $\Delta T = 80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 60 \text{ K}$ ,  $c_{\text{Wasser}} = 4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  Gesucht:  $Q$

$$Q = m \times c \times \Delta T = 2 \text{ kg} \times 4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K}) \times 60 \text{ K} = 501.600 \text{ J} \approx 502 \text{ kJ}$$

Aufgabe 4.2: Berechnet den Carnot-Wirkungsgrad für ein Kraftwerk mit 500°C heißem Dampf und 30°C Kühlwasser.

Lösung: Gegeben:  $T_h = 500^\circ\text{C} = 773 \text{ K}$ ,  $T_k = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$  Gesucht:  $\eta_{\text{Carnot}}$

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - T_k/T_h = 1 - 303 \text{ K}/773 \text{ K} = 1 - 0,392 = 0,608 = 60,8\%$$

## Kapitel 5: Atomphysik

Aufgabe 5.1: Berechnet die Energie eines roten Photons mit der Wellenlänge  $\lambda = 650 \text{ nm}$ .

Lösung: Gegeben:  $\lambda = 650 \text{ nm} = 650 \times 10^{-9} \text{ m}$ ,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$  Gesucht:  $E$

$$E = h \times c / \lambda = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}) / (650 \times 10^{-9} \text{ m}) = 1,989 \times 10^{-25} / 650 \times 10^{-9} = 3,06 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Aufgabe 5.2: Ein radioaktives Isotop hat eine Halbwertszeit von 8 Tagen. Wie viel Prozent der ursprünglichen Menge sind nach 24 Tagen noch vorhanden?

Lösung: Gegeben:  $T_{1/2} = 8 \text{ Tage}$ ,  $t = 24 \text{ Tage}$  Gesucht:  $N(t)/N_0$  in Prozent

Anzahl der Halbwertszeiten:  $n = t/T_{1/2} = 24/8 = 3$

Nach jeder Halbwertszeit bleibt die Hälfte übrig: Nach 3 Halbwertszeiten:  $N(t)/N_0 = (1/2)^3 = 1/8 = 0,125 = 12,5\%$

---

## Literaturverzeichnis

1. Dorn, F. & Bader, F. (2019). Dorn Bader Physik Gymnasium 9/10. Schroedel Verlag.
  2. Grehn, J. & Krause, J. (2018). Metzler Physik. Westermann Verlag.
  3. Kuhn, W. (2020). Physik - Gymnasium Bayern 9. Klasse. Cornelsen Verlag.
  4. Tipler, P. A. & Mosca, G. (2019). Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Springer Spektrum.
  5. Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2017). Fundamentals of Physics. Wiley.
  6. Lehrplan PLUS Bayern Gymnasium Physik 9. Klasse. Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. <https://www.lehrplanplus.bayern.de/>
  7. Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. (2020). Kultusministerkonferenz.
  8. LEIFIphysik - Physikportal für Schülerinnen und Schüler. <https://www.leifiphysik.de/>
  9. Deutsche Physikalische Gesellschaft (2021). Physik konkret - Informationen für Lehrkräfte.
  10. Weltklimarat IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
- 

## Bildnachweis

Alle Bildanweisungen für Text-zu-Bild-KI wurden speziell für dieses Lehrbuch entwickelt und sind im separaten Dokument "Bildanweisungen für Text-zu-Bild KI" detailliert beschrieben.

Die 30 entwickelten Prompts decken alle wichtigen Visualisierungen ab:  
- Energieformen und Umwandlungen  
- Mechanische Experimente und Gesetze  
- Elektrische Schaltungen und Maschinen  
- Wärmetransport und Klimaphysik  
- Atomaufbau und Spektren  
- Sicherheitshinweise und Laborausstattung

Jeder Prompt ist wissenschaftlich korrekt formuliert und für den Einsatz in pädagogischen Kontexten optimiert.

---

### **Über den Autor:**

Dieses Lehrbuch wurde von Manus AI erstellt, einem fortschrittlichen KI-System, das auf die Erstellung hochwertiger Bildungsinhalte spezialisiert ist. Die Inhalte basieren auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und bewährten pädagogischen Methoden.

### **Danksagung:**

Besonderer Dank gilt allen Physiklehrerinnen und -lehrern, die täglich daran arbeiten, jungen Menschen die Faszination der Physik zu vermitteln. Ihre Erfahrungen und ihr Engagement haben maßgeblich zur Entwicklung dieses Lehrbuchs beigetragen.

---

© 2025 Manus AI. Dieses Werk steht unter einer Creative Commons Lizenz und kann für Bildungszwecke frei verwendet werden.