

1.1 Arbeitsweise der Physik

Die Physik leistet ihren Beitrag zum Verständnis komplexer Naturerscheinungen, indem sie diese beobachtet und in Versuchen sowie Modellen nachbildet. Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen der durchgeführten Experimente führen zu den physikalischen Aspekten dieser Erscheinungen.

Unsere Umgebung, sprich unsere Lebenswelt wird also von der Physik aufgegriffen, mit geeigneten Methoden untersucht und dadurch erklärt. Zudem wird ein grundlegendes Wissen gelegt, um die natürliche und technische Umwelt bewusst zu erfassen und zu verstehen.

Physik als Grundlagenforschung, die elementare Zusammenhänge untersucht und erschließt und die Technik als Anwendung dieser Zusammenhänge sind eng miteinander verbunden. Daher erfolgt die Erschließung physikalischer Zusammenhänge über die Analyse mittels technischer Geräte und Naturphänomene.

Die Arbeitsweise der Physik besteht seit jeher darin, Fragen zu stellen, Vermutungen zu formulieren, diese mit Hilfe einfacher Experimente zu überprüfen, Versuche zu protokollieren und Ergebnisse zu dokumentieren.

Es geht ferner darum, Versuchsergebnisse zu quantifizieren, das heißt mathematisch zu erfassen und als Berechnungsformel darzustellen, sowie Modellvorstellungen zu entwickeln und damit zu arbeiten.

Einfacher ausgedrückt: Formeln fallen nicht „vom Himmel“ oder stehen „halt“ im Tabellenbuch bzw. in der Formelsammlung.



Formeln sind das Ergebnis einer physikalischen Vorgehensweise!

1.1.1 Physikalische Größenangaben

Im Alltag werden häufig Größenangaben verwendet, die, physikalisch betrachtet, unvollständig sind: „Wie alt bist du?“ – „17!“

Korrekt hätte die Antwort lauten müssen: 17 Jahre. Trotzdem weiß im Alltag jeder aus dem Zusammenhang heraus, um welche – nicht genannte – Einheit es sich jeweils handelt.

Ein weiteres Beispiel? Wenn in der Metzgerei „noch 150 Schinken“ verlangt werden, schneidet die Fachverkäuferin 150 Gramm Schinken ab und verkauft nicht etwa 150 ganze Schinken.



Bild 1.1: Was eine fehlende Einheit im Alltag bewirken kann.

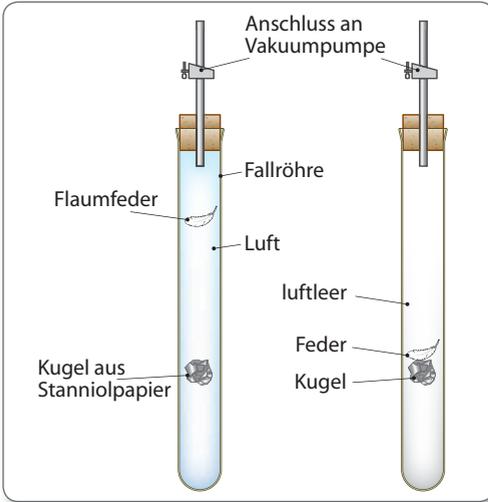


Bild 2.17: Die Luft behindert den freien Fall der Flaumfeder. Im luftleeren Glasrohr fallen beide Körper gleich schnell.

Versuch

Spielt bei Körpern gleicher Oberfläche die unterschiedliche Masse eine Rolle? Anders gefragt: Fallen schwere Gegenstände schneller als leichte?

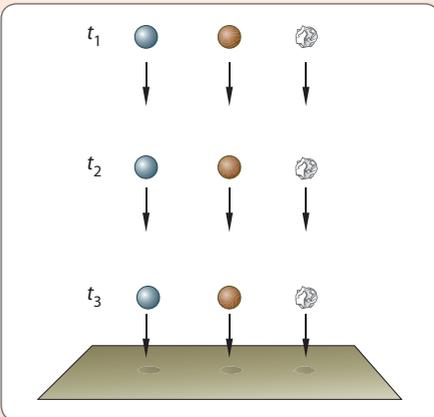


Bild 2.18: Fallversuch

Um das zu untersuchen, lässt man eine Papierkugel, eine Holzkugel und eine Stahlkugel gleicher Größe aus gleicher Höhe fallen (► Bild 2.18).

Wenn Sie die von der Bewegung aufgenommene Bilder betrachten oder den Versuch selbst durchführen, so stellen Sie fest, dass die drei Kugeln gleich schnell fallen. Die Körper befinden sich zu gleichen Zeitpunkten jeweils in der gleichen Höhe.

Man gewinnt also die Erkenntnis, dass alle Körper unabhängig von ihrer Masse gleich schnell fallen. Aber welche Bewegung führen sie im Fallen aus? Ist es eine gleichförmige Bewegung? Ist sie gleichmäßig beschleunigt?

Versuch

Eine Kugel wird aus verschiedenen Höhen fallen gelassen, die Falldauer gestoppt und der jeweilige Wert notiert.

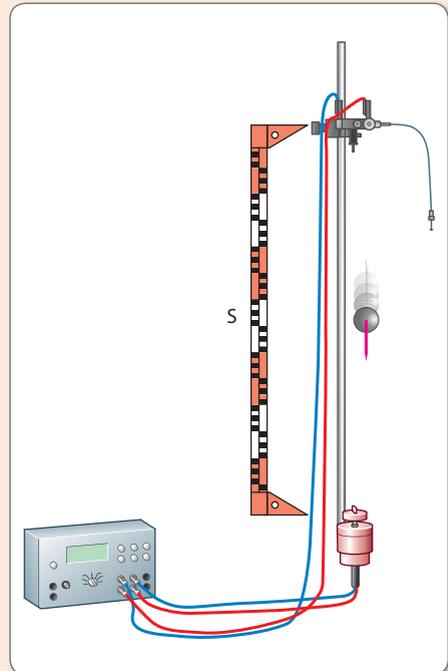


Bild 2.19: Versuchsaufbau „Freier Fall“

Tabelle 2.5: Weg- und Zeit-Messwerte des Falls einer Kugel

s in m	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
t in s	0	0,2	0,28	0,35	0,4	0,45	0,49	0,55

2.2.7 Federkraft

Die Federkraft beschreibt, welche Kraft notwendig ist, um einen elastischen Körper zu dehnen, sprich ihn um eine gewisse Strecke zu verlängern.

Beim Versuch darf die Feder nicht über den elastischen Bereich hinaus beansprucht werden.

Versuch

Man dehnt eine Zugfeder mit verschiedenen Kräften und misst die Verlängerung (► Bild 2.41). Die Verlängerung (Δl) ist die Länge unter Belastung (l_{belastet}) abzüglich der Länge der unbelasteten Feder ($l_{\text{unbelastet}}$).

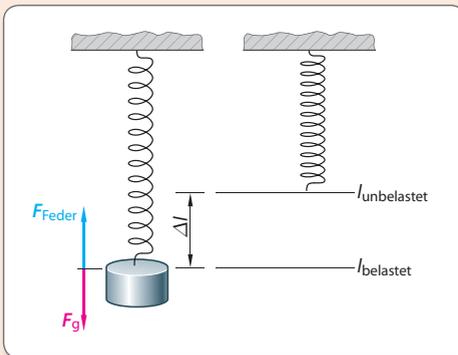


Bild 2.41: Versuchsaufbau zur Federkraft

$$\Delta l = l_{\text{belastet}} - l_{\text{unbelastet}}$$

Um in dem Experiment Kräfte zu erzeugen, hängt man verschiedene Massen an die Feder. Die Feder dehnt sich so weit, bis ihre Gegenkraft die Gewichtskraft, welche die Massen erfahren, ausgleicht.

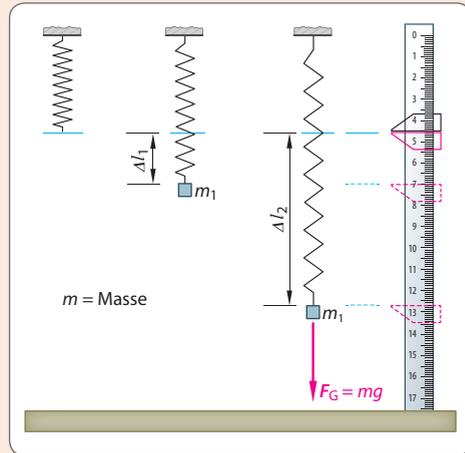


Bild 2.42: Versuchsanordnung mit unterschiedlichen Massen (a) und daraus resultierende Längenänderung (b)

Tabelle 2.8: Kraft-Verlängerung-Messwerte einer Zugfeder

F in N	0	1	2	3	4	5	10
Δl in m	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,5

Aus diesen Messwerten ergibt sich das Kraft-Verlängerungs-Diagramm (► Bild 2.43).

Die Gerade im Diagramm zeigt an, dass die aufgetragenen Größen – Kraft und Verlängerung – proportional zueinander ansteigen.

Die Verlängerung der Feder (z. B. um etwa 5 Zentimeter) benötigt stets den gleichen Kraftzuwachs (hier 1 Newton).

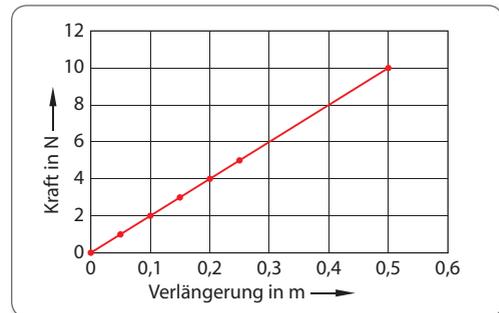


Bild 2.43: Kraft-Verlängerungs-Diagramm einer Zugfeder

3.6 Wärmeausdehnung

Wird einem Körper Wärme zugeführt oder entzogen, so ändert er seine Temperatur, dehnt sich aus bzw. schrumpft und entwickelt dabei mitunter große Kräfte.

Diese Temperaturexpansion muss beispielsweise beim Bau von Brücken, aber auch beim Verlegen von Rohren und Eisenbahnschienen berücksichtigt werden.



Bild 3.39: Berücksichtigung der Temperaturexpansion (a, b) und Verzug durch Wärmeausdehnung bei Schienen (c)

3.6.1 Längenausdehnung

Versuch 1

Mit einem Bolzensprenger kann veranschaulicht werden, wie stark die Kräfte infolge der Ausdehnung von Materialien bei Temperaturänderungen sind.

Versuchsbeschreibung

Ein Messingrohr ist beidseitig gelagert. Auf der einen Seite ist es an einem Bolzen, der durch die Ausdehnung zerstört werden soll, aufgehängt. Auf der anderen hängt es an einem Keil, der den Grad der Einspannung reguliert (► Bild 3.40).

Das Rohr wird erhitzt und anschließend mit einem Keil so festgestellt, dass beim Abkühlen auf den losen Bolzen sofort eine Scherkraft (Kraft senkrecht zur Querschnittsfläche des Bolzens) wirkt. Kühlt das erhitzte Rohr nun ab, biegt sich der Bolzen durch und bricht.

Versuchsanordnung

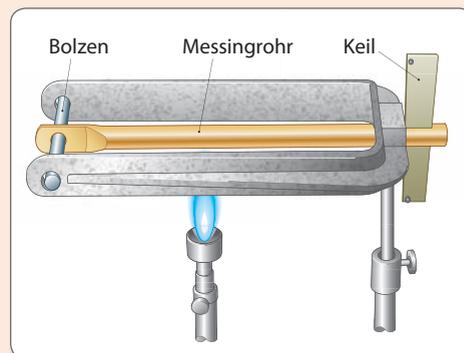


Bild 3.40: Sprengung durch Wärmeausdehnung

Die kleinste Reihenschaltung kann mit zwei elektrischen Verbrauchern realisiert werden. Im folgenden Beispiel vergleichen wir eine Reihenschaltung aus zwei Widerständen mit dem Wassermodell (► Bild 4.31).

Betrachten wir zuerst den elektrischen Strom. Analog zu dem Wassermodell werden die bewegten Elektronen als Wassertropfen betrachtet. So wie die Wassertropfen durch alle drei Wasserräder fließen, so fließen alle Elektronen, die durch den Widerstand R_1 fließen, auch durch den Widerstand R_2 und R_3 .

In einer Reihenschaltung ist der Strom durch alle Verbraucher gleich groß.

Auch die Spannungen in einer Reihenschaltung mit drei Widerständen lassen sich an dem Wassermodell erläutern.

Die Spannung ist ein Maß für die elektrische Potentialdifferenz und die Ursache für den elektrischen Stromfluss. In dem Wassermodell ist die Höhendifferenz die Ursache für den Fluss der Wassertropfen. Die Höhendifferenz vor und nach jedem Rädchen im Wasserkreislauf entspricht der gesamten Höhendifferenz. Auf die Reihenschaltung übertragen bedeutet dies, dass die Teilspannungen über den Widerständen die Gesamtspannung ergeben.

In einer Reihenschaltung ergibt sich die Gesamtspannung aus der Summe der Teilspannungen.

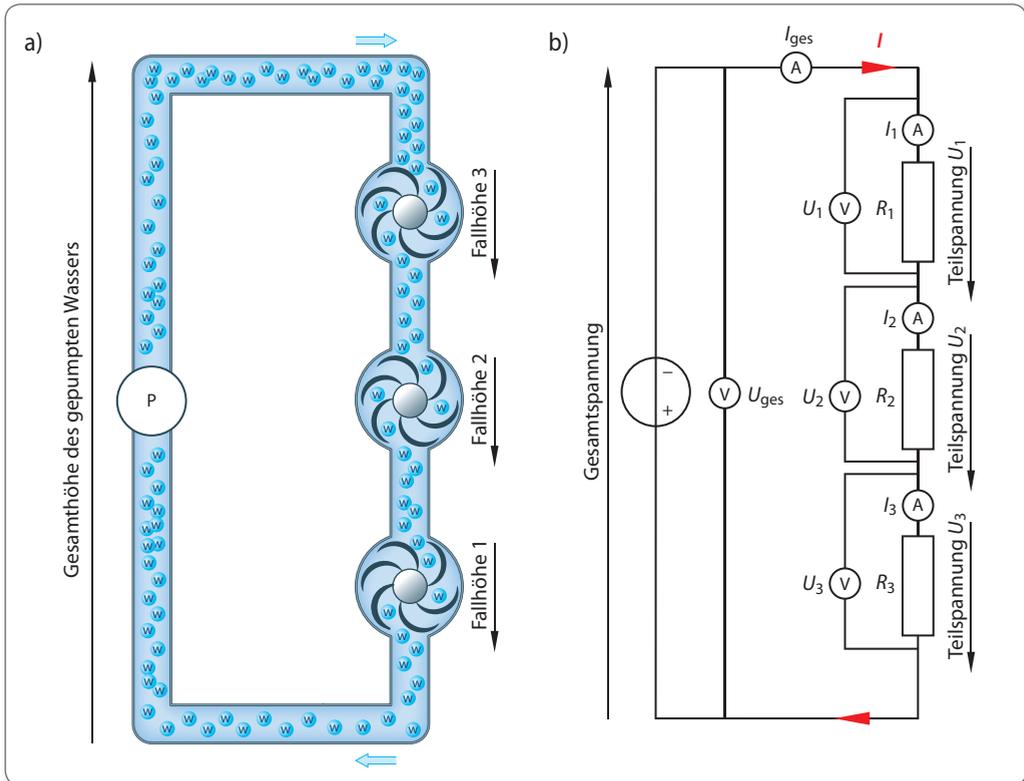


Bild 4.32: Analogie: Wassermodell und Reihenschaltung / Spannung

Versuch

Um diese Überlegungen zu überprüfen, wird an drei in Reihe geschaltete bekannte Widerstände eine Spannung von 9 Volt angelegt.

Durch die skizzierte Messschaltung (► Bild 4.32b) werden die Ströme sowie die Spannungen gemessen:

Tabelle 4.3: Messwerte

R in Ω	$R_1 = 20 \Omega$	$R_2 = 30 \Omega$	$R_3 = 40 \Omega$	
U in V	$U_1 = 2V$	$U_2 = 3V$	$U_3 = 4V$	$U_{\text{ges}} = 9V$
I in mA	$I_1 = 100 \text{ mA}$	$I_2 = 100 \text{ mA}$	$I_3 = 100 \text{ mA}$	$I_{\text{ges}} = 100 \text{ mA}$

Erkenntnisse

Der Gesamtstrom sowie die Ströme durch die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 sind gleich groß. Das gilt natürlich auch für Reihenschaltungen mit mehr als drei Widerständen, was durch den Platzhalter N berücksichtigt wird.

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3 = I_N$$

Die Teilspannungen über den Widerständen ergeben in der Summe die Gesamtspannung.

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_N$$

Je mehr Rädchen sich im Wasserkreislauf befinden, desto größer ist der mechanische Widerstand, der sich dem Wasserfluss entgegenstellt. Aus der Anzahl aller Rädchen ergibt sich folglich der Gesamtwiderstand. Diese Erkenntnis lässt sich auch auf den elektrischen Widerstand übertragen. Zudem kann man diesen Zusammenhang herleiten:

Aus $U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + U_3$ folgt mit $U = R \cdot I$

$$R_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3$$

da $I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3$ kann man durch die Stromstärken kürzen und es ergibt sich:

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3$$

In einer Reihenschaltung ergibt sich der Gesamtwiderstand aus der Summe der Teilwiderstände.

Übung

Eine Reihenschaltung besteht aus den Widerständen $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 13 \Omega$ und $R_3 = 17 \Omega$. Der Strom durch den Widerstand R_1 beträgt $I_1 = 4 \text{ A}$.

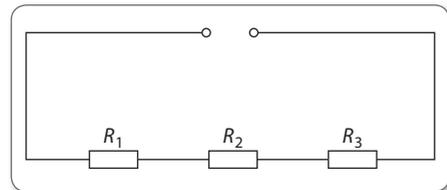


Bild 3.33: Reihenschaltung von drei Widerständen

Berechnen Sie U_{ges} , U_1 , U_2 , U_3 , I_{ges} , I_1 , I_2 und R_{ges}

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{\text{ges}} = 10 \Omega + 13 \Omega + 17 \Omega$$

$$R_{\text{ges}} = 40 \Omega$$

Der Gesamtwiderstand der Schaltung beträgt 40Ω .

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = I_3$$

Der Gesamtstrom und alle Teilströme durch die Widerstände betragen 4 A .

Die Spannung U_1 über dem Widerstand R_1 wird mit dem Ohm'schen Gesetz berechnet.

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1$$

$$U_{R1} = 10 \Omega \cdot 4 \text{ A}$$

$$U_{R1} = 40 \text{ V}$$



5.1 Permanentmagnetismus

Das Magnetfeld der Erde existiert bereits seit Millionen von Jahren. Da wir Menschen (im Gegensatz zu Zugvögeln beispielsweise) kein Sinnesorgan besitzen, das darauf reagiert, blieb es uns allerdings lange Zeit verborgen. Schließlich waren die es Griechen, die im 5. Jahrhundert vor Christus Steine mit ‚ungewöhnlichen‘ Eigenschaften entdeckten. Das Gestein nannten sie Magnetit nach der Stadt Magnesia, in der viel davon gefunden wurde. Den ersten Nutzen aus diesen besonderen Steinen zog man im 12. Jahrhundert, und zwar in der Navigation der Seefahrt.

Wieder war es die griechische Wissenschaft, die das Grundprinzip unseres heutigen Kompasses entdeckte. Befestigte man einen Magnetit auf einem im Wasserbecken schwimmenden Holzbrett, so richtete es sich immer in Richtung der Pole aus.

5.1.1 Grundbegriffe

Für die genaue Positionsbestimmung wurde die Erde in 360 Längen- und 360 Breitengrade unterteilt. So kann jeder Punkt auf unserem Planeten exakt dargestellt werden.

Die Breitengrade verlaufen ohne Kreuzungspunkt parallel zum Äquator. Alle Längengrade kreuzen sich hingegen an zwei Punkten, im Bereich des geografischen Nordpols und des geografischen Südpols der Erde.

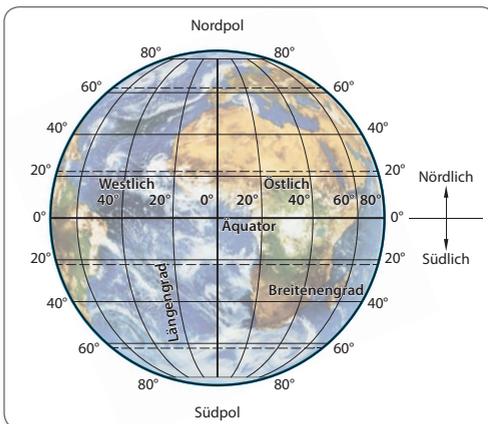


Bild 5.2: Längen- und Breitengrade der Erde



Bild 5.1: Magnetit: Stein mit magnetischen Eigenschaften

Sowohl das schwimmende Holzbrett mit dem Magnetit des griechischen Altertums als auch moderne Magnetnadeln richten sich parallel zu den Längengraden aus. Insofern zeigen, vereinfacht ausgedrückt, die Enden einer Magnetnadel immer zu den geografischen Polen der Erde. Man definierte: Die Spitze einer Kompassnadel, die in Richtung des geografischen Nordpols der Erde zeigt, ist der Nordpol, und die Spitze, die zum geografischen Südpol der Erde zeigt, der sogenannte Südpol.

Der Nachweis von Magnetismus kann, wie das Beispiel der Erde zeigt, mit Hilfe einer Kompassnadel geführt werden: Sie richtet sich zu den magnetischen Polen hin aus.

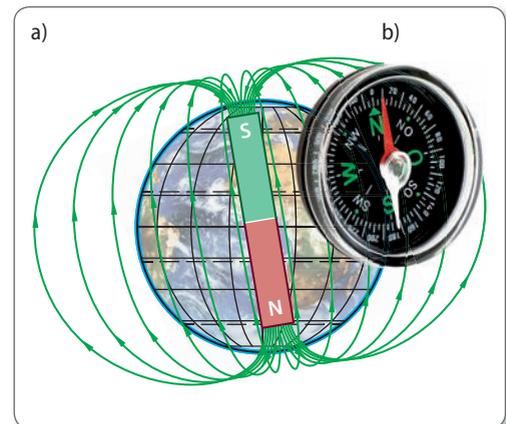


Bild 5.3: Magnetfeld der Erde (a) und Ausrichtung einer Kompassnadel (b)

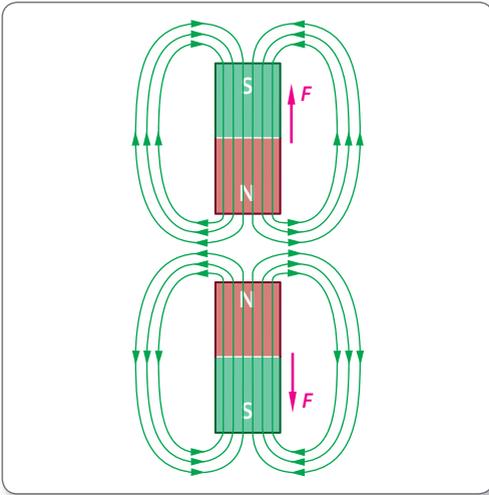


Bild 5.4: Nordpol-Nordpol: gleichnamige Magnetpole stoßen sich ab

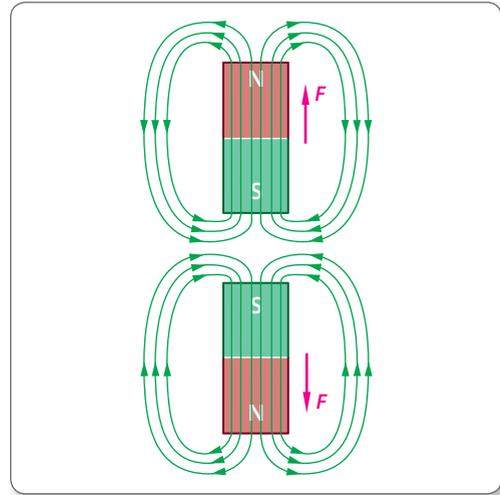


Bild 5.5: Südpol-Südpol: gleichnamige Magnetpole stoßen sich ab

Die Ausrichtung der Kompassnadel kann nur durch eine Kraft erfolgen (siehe Abschnitt 5.1.3), wobei sich die Existenz dieser Kraft sehr einfach nachweisen lässt. Versucht man, zwei Stabmagneten an den Nordpolen zusammenzubringen, spürt man deutlich eine abstoßende Kraftwirkung zwischen den Magneten.

Wird der Versuch mit den beiden Südpolen wiederholt, ist die abstoßende Kraft zwischen den beiden Stabmagneten ebenfalls spürbar. Beim dritten Versuch befinden sich jeweils ein Nord- und ein Südpol einander gegenüber. Nun wirkt die Kraft zwischen den Magneten nicht abstoßend, sondern anziehend.

Die Erkenntnisse aus den Versuchen können wie folgt zusammengefasst werden:

**Zwischen zwei gleichnamigen magnetischen Polen wirkt eine abstoßende Kraft.
Zwischen zwei ungleichnamigen magnetischen Polen wirkt eine anziehende Kraft.**

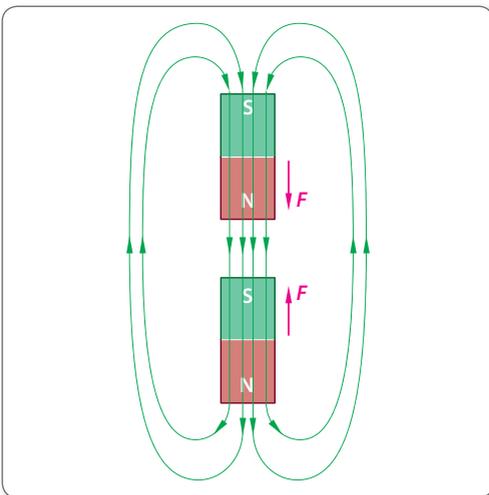


Bild 5.6: Südpol-Nordpol: ungleichnamige Magnetpole ziehen sich an

Umgangssprachlich werden diese Erkenntnisse oft physikalisch falsch wiedergegeben. Die Aussage „ungleichnamige Pole ziehen sich an“ und „gleichnamige Pole stoßen sich ab“ ist nicht richtig (vgl. Abschnitt 4.1.2 am Beispiel von elektrischen Ladungen). Nicht die Pole sind die Ursache für die anziehende oder abstoßende Kraftwirkung, sondern das magnetische Feld zwischen den Polen (siehe Abschnitt 5.1.3).

6.7 Lichtbrechung

Trifft ein Lichtstrahl schräg auf eine Grenzfläche, beispielsweise von Luft und Wasser, wird er „geknickt“, das heißt, er ändert seine Richtung (► Bild 6.12): Das Licht wird an der Grenzfläche beider Stoffe gebrochen. Dieses Verhalten nennt man Brechung.

Beispiele: ein Pinsel in einem Wasserglas (► Bild 6.13) oder ein Stock in einem Teich (► Bild 6.14). Der Strahlenverlauf „knickt“ beim Übergang von Luft zu Wasser ab.



Bild 6.14: Ist der Stab wirklich geknickt?

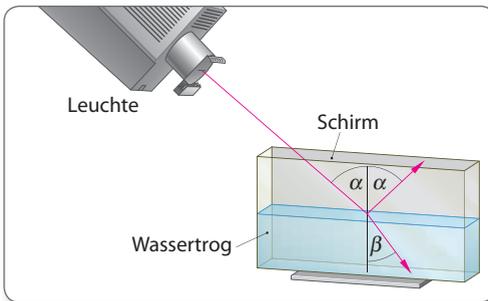


Bild 6.12: Brechung und Reflexion an einer Wasseroberfläche

Begriffsfestlegung

Bei der Brechung liegen der einfallende Lichtstrahl, der gebrochene Lichtstrahl sowie das Einfallslot in einer Ebene. Der von dem einfallenden Strahl und dem Einfallslot gebildete Winkel wird als Einfallswinkel α bezeichnet. Brechungswinkel β nennt man den Winkel zwischen gebrochenem Strahl und Einfallslot.



Bild 6.13: Strahlenverlauf beim Übergang von Luft zu Wasser. Ist der Pinsel wirklich geknickt?

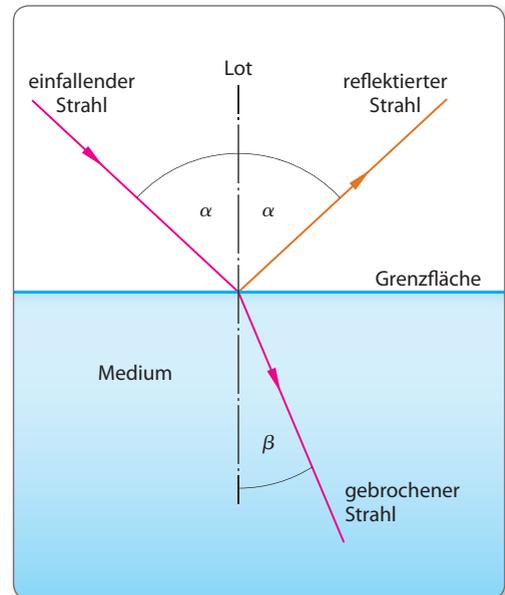


Bild 6.15: Lichtbrechung

Versuch

Von dem Licht einer Halogenlampe wird nur ein enges Bündel durch einen schmalen Spalt durchgelassen. Diese Strahlen treffen auf die Wasseroberfläche und werden bei diesem Übergang gebrochen (vgl. ► Bild 6.12).

Mittels der angebrachten Winkelscheiben kann man sowohl den Einfallswinkel (der durch Drehen der Lampe verändert wird) als auch den Brechungswinkel messen.

Beobachtungen

Wird die Lampe so ausgerichtet, dass der einfallende Strahl senkrecht auf die Grenzfläche fällt (Einfallswinkel $\alpha = 0^\circ$), so ändert sich seine Richtung nicht, das heißt, es findet keine Brechung statt.

An der Grenzfläche Luft-Wasser wird der einfallende Strahl sowohl reflektiert als auch gebrochen. Für die Reflexion gilt das oben genannte Gesetz „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“.

Bei der Brechung am Übergang von Luft zu Wasser wird der Strahl zum Einfallslot hin gebrochen. Die Ablenkung aus der ursprünglichen Richtung ist hierbei umso stärker, je größer der Einfallswinkel ist. Es ist jedoch keine proportionale Änderung zu beobachten.

Der einfallende Strahl, der reflektierte Strahl, der gebrochene Strahl und das Einfallslot liegen in einer Ebene.

Messwerte

Tabelle 6.2: Messwerte zum Versuch Lichtbrechung

Einfallswinkel α in Luft	Brechungswinkel β in Wasser
0	0,0
5	3,8
10	7,5
15	11,2
20	14,9
30	22,1
40	28,9
50	35,2
60	40,6
70	45,0
80	47,8

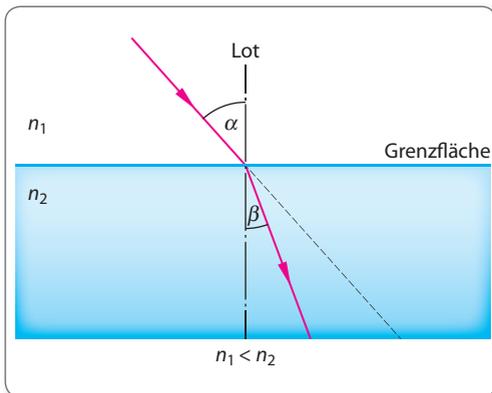


Bild 6.16: Lichtablenkung

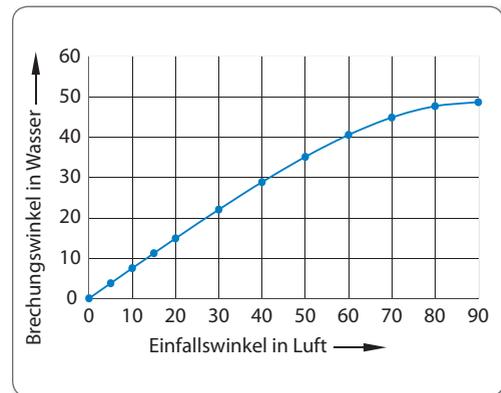
Diagramm

Bild 6.17: Abhängigkeit des Brechungswinkels vom Einfallswinkel

7.1 Schallquellen

Viele Lebewesen verständigen sich mit Lauten. Die Menschen haben die Kommunikationsform mit Sprache perfektioniert. Doch was ist eigentlich Sprache? Was ist Musik? Was sind Geräusche? Ob nun Sprache, Musik oder ganz allgemein Geräusche, all dies kann unter dem Begriff Schall, genauer Schallwellen zusammengefasst werden. Menschen nehmen Schallwellen mit dem Ohr wahr. Für einen Menschen hörbare Schallwellen liegen im Bereich zwischen 20 und 20 000 Hz.

Schallwellen sind im Gegensatz zu Wasserwellen unsichtbar. Beide Wellenarten werden jedoch mit denselben physikalischen Größen beschrieben. Wenn wir sprechen, bringen wir mit unseren Stimmbändern die Luft zum Schwingen.

Diese Schwingungen breiten sich in Form einer Punktquelle von unseren Stimmbändern in alle Richtungen aus (► Bild 7.3).

Das Ausbreitungsmedium für eine Schallwelle ist in diesem Fall also die Luft. Eine Schallwelle kann sich aber auch in Wasser ausbreiten. Die Gesänge der Wale sind unter Wasser über eine Entfernung

von mehreren Kilometern hörbar. Auch in festen Stoffen kann sich eine Schallwelle sehr gut ausbreiten. Lange bevor man einen Zug sieht, kann man diesen hören, wenn man das Ohr an die Schienen hält. Von diesem Versuch wird wegen der gesundheitlichen Risiken dringend abgeraten. Völlig gefahrlos lässt sich die Schallausbreitung in festen Stoffen mit Hilfe einer Dosen-Sprechanlage zeigen (► Bild 7.4).

Spricht man in eine Dose, beginnt die Dose zu schwingen. Die Schwingungen der Dose werden als Welle über die Schnur zur gegenüberliegenden Dose weitergeleitet und setzen sich dort in der Luft als Schallwelle fort.

Ohne Medium, also im Vakuum, kann sich auch die Schallwelle nicht ausbreiten. Diese Erkenntnis wird zum Beispiel bei schallgedämmten Fenstern angewendet: Zwischen der Mehrfachverglasung wird die Luft entnommen. Wegen des Vakuums können sich die Schallwellen nicht ausbreiten, das heißt, durch die geschlossenen Fenster kann der Schall nicht in das Gebäude eindringen.

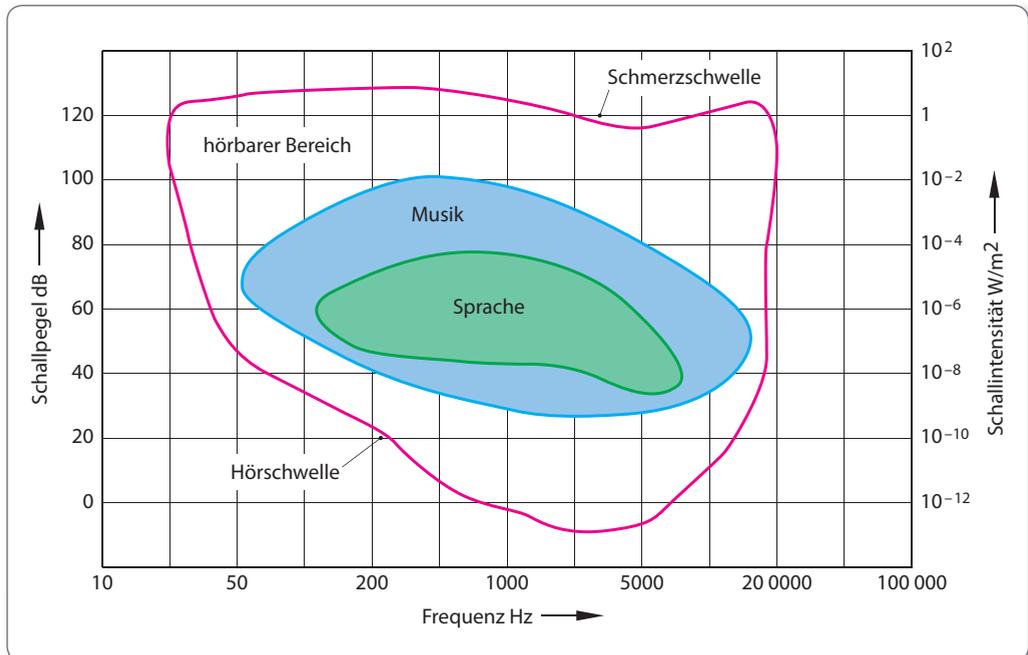


Bild 7.1: Frequenzband im hörbaren Bereich

8.4 Luftfeuchtigkeit

Verursacht durch die Sonnenwärme verdunstet bzw. verdampft Wasser in unterschiedlicher Form in die Atmosphärenluft: als Eis und Schnee (Feststoff), als Regen (Flüssigkeit) und als Wasserdampf (Gas).

Den Anteil an Wasserdampf in der Luft bezeichnet man als Luftfeuchtigkeit. Die Luftfeuchtigkeit wird mit Hygrometern gemessen (► Bild 8.15).

Die maximale Luftfeuchtigkeit gibt an, wie viel Gramm Wasserdampf ein Kubikmeter Luft höchstens aufnehmen kann. Dieser Wert ist temperaturabhängig, denn wärmere Luft kann mehr Wasserdampf speichern als kältere Luft. Dieser Zusammenhang ist uns nicht unbekannt: In heißen Getränken löst sich ein Zuckerwürfel viel besser als in kalten.



Bild 8.15: Hygrometer zur Messung der Luftfeuchtigkeit

Ist mehr Wasserdampf vorhanden, als in der Luft gelöst werden kann (die relative Luftfeuchtigkeit liegt also über 100 %), spricht man von Übersättigung. Der gasförmige Wasserdampf ändert seinen Aggregatzustand und wird flüssig; er kondensiert also zu Wasser. Im Alltag erleben wir das zum Beispiel im Badezimmer, wenn sich nach langem heißen Duschen Tropfen an den Wänden und am Spiegel bilden.

Ähnlich funktioniert die Wolkenbildung: In den Zonen, in denen Wolken entstehen, ist es kalt, und der Wasserdampf kondensiert zu Wassertröpfchen. Die gespeicherte Wärme geht dabei an die umgebende Luft über; deren Dichte sinkt, wodurch sie aufsteigt und auf ihrem Weg weitere Wassertröpfchen „aufammelt“. Einzelne Wassertröpfchen werden nach und nach zu großen Regentropfen.

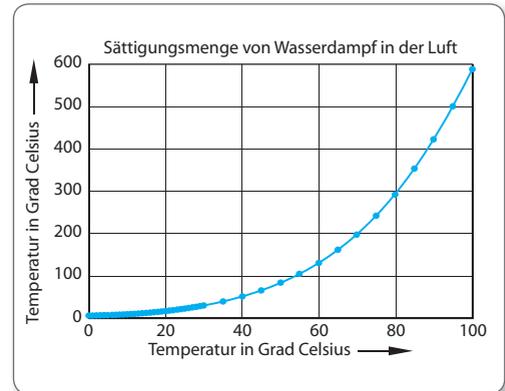


Bild 8.16: Abhängigkeit des Wassergehaltes der Luft von der Temperatur

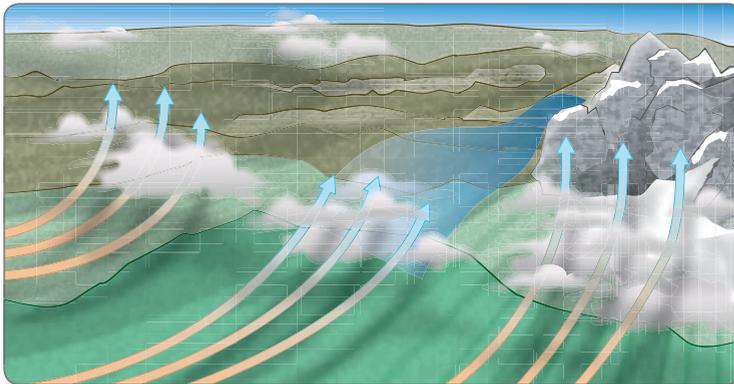


Bild 8.17: Wolkenbildung durch Erwärmung (a), an einem Kaltluftkeil (b) und am Gebirge (c)

9.1 Historische Modellvorstellungen

9.1.1 Geozentrisches Weltbild nach Ptolemäus

Aristoteles und Ptolemäus – zwei griechische Philosophen, die Himmelschau betrieben – vermuteten, dass alle Himmelskörper auf durchsichtigen Kristallkugeln befestigt seien. Diese Kugeln bewegen sich mit gleichbleibender, aber unterschiedlicher Geschwindigkeit auf Kreisen. Ihrem Modell (► Bild 9.1) zufolge gibt es primäre Kristallkugeln, deren gemeinsamer Mittelpunkt die Erde ist. Diesen Überlegungen wohnten mystische und religiöse Motive inne: Nach Aristoteles' und Ptolemäus' Verständnis musste die Erde der Mittelpunkt der Welt sein. Als Umlaufbahn kam nur die perfekte geometrische Form des Kreises infrage. Das Problematische an diesem Modell war, dass es Planeten (vor allem Mars und Venus) gab, deren Schleifenbahnen vor dem Sternenhintergrund gut zu beobachten waren, die aber den Vorhersagen widersprachen: Sie bewegten sich der „normalen“ Richtung entgegen. Dieses Phänomen erklärte Ptolemäus, indem er das Modell erweiterte und sekundäre Kristallkugeln einführte (► Bild 9.2). An diesen waren die Planeten befestigt, einen festen Punkt der primären Kugel umkreisend, die wiederum die Erde umkreiste (Epizyklus).

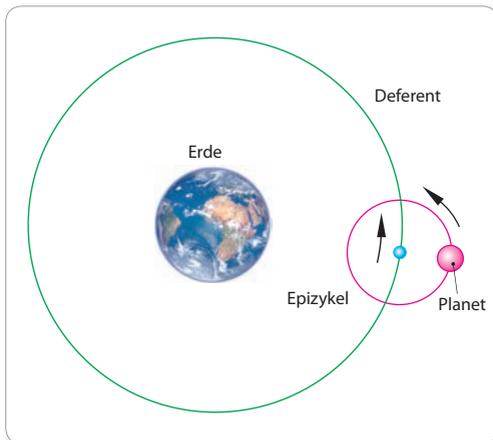


Bild 9.2: Epizyklenbahn eines Planeten um die Erde

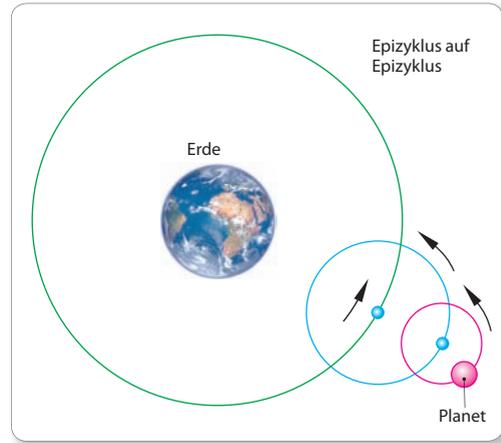


Bild 9.3: Erweiterte Epizyklenbahn eines Planeten um die Erde

Reichte ein Epizyklus nicht aus, um die beschriebene Bahn zu erklären, dann wurde ein weiterer Epizyklus auf den ersten Epizyklus angebracht (► Bild 9.3). Auch wenn das Ptolemäische Weltbild aus heutiger Sicht ebenso abstrus erscheint wie die vorigen religiösen Erklärungen des Himmels, so stellte es doch die beobachtbaren Bahnen dar. Die gravierenden Fehler traten erst zutage, als die Messmethoden infolge der Entwicklung leistungsfähiger Fernrohre im 17. Jahrhundert verfeinert wurden.

9.1.2 Heliozentrisches Weltbild nach Kopernikus

Mehrere Jahrhunderte wurde das Ptolemäische Weltbild in Europa nicht angezweifelt. Die Astronomie war damals eher Astrologie und beschäftigte sich mit der Erstellung von Horoskopern und Vorhersagen.

Neue Ideen brachte schließlich Nikolaus Kopernikus ein, der Anfang des 16. Jahrhunderts am geozentrischen Weltbild zweifelte. Angesichts seiner Beobachtungen des Mondes vor dem Hintergrund der Fixsterne entwickelte er ein Modell, das nicht mehr die Erde, sondern die Sonne im Zentrum sah: das heliozentrische Weltbild (► Bild 9.4). Die Erde bewegt sich auf einer Kreisbahn um die Sonne und dreht sich gleichzeitig um die eigene Achse.