

Physik

GYMNASIUM

Mittelstufe 1

TRAINING

90301

TRAINING

MEHR
ERFAHREN

Gymnasium | Physik

P



Mittelstufe 2

90302



TRAINING

Gymnasium

Physik – Mittelstufe 2

STARK



**MEHR
ERFAHREN**

TRAINING

Gymnasium

Physik – Mittelstufe 2



STARK

Inhalt

Vorwort

1	Atome	1
1.1	Aufbau der Atome	1
	Atommodelle	1
	Periodensystem der Elemente (PSE)	4
1.2	Aufnahme und Abgabe von Energie	6
	Kontinuierliches Spektrum	6
	Diskretes Spektrum	8
	Wasserstoffspektrum	9
	Licht als Strom von Energiepaketen	11
	Fotoeffekt	12
	Röntgenspektren	13
1.3	Kernumwandlungen	19
	Kernspaltung	20
	Kernfusion	22
1.4	Strahlung radioaktiver Nuklide	25
	Strahlungsarten und Eigenschaften	25
	Nachweis der Radioaktivität	26
	Zerfall radioaktiver Stoffe	29
	Altersbestimmung mithilfe der Radioaktivität: C14-Methode	32
	Strahlenschutz	33
2	Kinematik und Dynamik geradliniger Bewegungen	39
2.1	Bewegungsgesetze	39
2.2	Darstellung von Bewegungsabläufen	47
3	Newton'sche Mechanik	63
3.1	Die Newton'schen Gesetze	63
3.2	Eindimensionale Bewegungen	67
	Bewegungen mit konstanter Beschleunigung	67
	Bewegungen bei veränderlicher Beschleunigung	68
3.3	Zweidimensionale Bewegungen	74
	Waagerechter und schräger Wurf	74
	Kreisbewegungen	77

Fortsetzung siehe nächste Seite

4	Wellen und Quanten	89
4.1	Ausbreitung von Wellen	89
	Eindimensionale Wellenausbreitung	89
	Zweidimensionale Wellenausbreitung	94
4.2	Interferenz und Beugung	99
4.3	Wellen- und Teilcheneigenschaften von Licht und Materie	107
	Interferenz von Licht am Doppelspalt	107
	Licht – Welle und Teilchen!	111
	Elektronen – Teilchen und Welle!	114
5	Astronomische Weltbilder	121
5.1	Geozentrisches und heliozentrisches Weltbild	121
5.2	Die Kepler'schen Gesetze	125
	Lösungen	131

Autor: Florian Borges

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

das „Training Physik Mittelstufe“ hilft dir, **physikalische Zusammenhänge zu verstehen** und das **Rechnen von Physikaufgaben** zu trainieren. Der Physikstoff der Klassen 8 bis 10 wird dabei in zwei Trainingsbänden ausführlich dargestellt.

Der Band 2, den du in Händen hältst, vermittelt dir alle wichtigen Themen, die du im Physikunterricht des zweiten Abschnitts der gymnasialen Mittelstufe kennenlernst: Das erste Kapitel befasst sich mit der Welt der kleinsten Teilchen, den **Atomen**, das zweite und dritte Kapitel handelt von der **Mechanik**, deren Gesetzmäßigkeiten entscheidend unseren ganz normalen Alltag bestimmen. Das vierte Kapitel setzt sich im ersten Teil mit **Wellenerscheinungen** wie den bekannten Wasserwellen auseinander, aber auch mit Schall- und Lichtwellen. Dass Licht sich manchmal auch verhält, als ob es aus Teilchen oder **Quanten** bestünde, umgekehrt – und noch rätselhafter – Materieteilchen sich manchmal wie Wellen verhalten, stellt sich im zweiten Teil des Kapitels heraus. Den Abschluss bildet das Kapitel zu den **Astronomischen Weltbildern**, die die Bewegung der Sonne, unserer Erde und der anderen Planeten erklären.

Jedes Kapitel dieses Buches ist einheitlich gegliedert:

- Zunächst werden der Unterrichtsstoff besprochen, **Fachausdrücke** erklärt und **Formeln** erläutert. Dabei sind die wichtigsten **Regeln** immer in Kästen zusammengefasst und hervorgehoben, sodass sie auch beim Durchblättern leicht auffindbar sind.
- Zu jedem Stoffgebiet lernst du anhand von **Beispielaufgaben** die typischen Fragestellungen zu diesem Thema kennen. Ausführliche Lösungen zeigen dir unmittelbar anschließend, wie man derartige Aufgaben am besten angeht.
- Ganz wichtig sind die zahlreichen **Aufgaben**, die nach jedem neuen Sinnabschnitt folgen. Dadurch, dass du diese Aufgaben **selbstständig** löst, lernst du den Stoff und das Lösen von Physikaufgaben am besten. Orientiere dich dabei an den Beispielaufgaben. Die mit einem Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind etwas anspruchsvoller und regen in besonderer Weise zum Nachdenken an; du kannst sie beim ersten Durcharbeiten auch überspringen.
- Zur **Kontrolle** des Lösungsweges und deiner Ergebnisse findest du am Ende des Buches im Lösungsteil die **ausführlichen Lösungen** zu jeder Aufgabe.

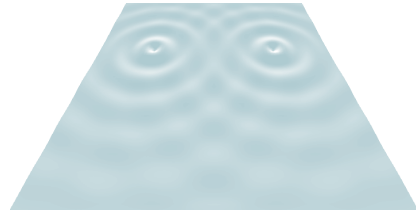
Ich wünsche dir viel Erfolg bei deinem Physiktraining mit diesem Buch!



4.2 Interferenz und Beugung

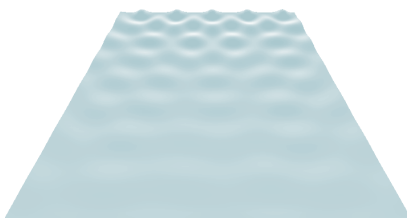
Bisher haben wir ein- und zweidimensionale Wellen betrachtet, die sich von einem Erregerzentrum aus fortgepflanzt haben. Was passiert, wenn zwei oder mehr getrennt erzeugte Wellen aufeinander treffen?

Um diese Frage zu klären, konzentrieren wir uns auf Wasserwellen, die phasengleich von punktförmigen, gleichartigen Erregern in konstantem Abstand erzeugt werden. Erreichen beide Wellen einen gemeinsamen Punkt der Wasseroberfläche, kommt es zur Überlagerung oder

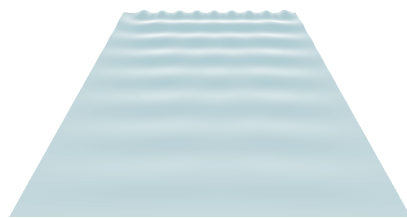


Interferenz der Wellen d. h., es wirken auf das Wasserteilchen in diesem Punkt die Auslenkungskräfte beider Wellen. An den Stellen, die gerade von zwei Wellenbergen getroffen werden, findet sich demnach ein besonders hoher Wellenberg, beim Aufeinandertreffen zweier Täler ein besonders tiefes Tal. Treffen Berg und Tal aufeinander, kommt es zur gegenseitigen **Auslöschung**: das Wasserteilchen bleibt unausgelenkt wie im Ruhezustand. Die Gesamtheit der interferierenden Wellenfronten zweier solcher **Elementarwellen** (punktförmig erzeugte Einzelwellen) bildet das sogenannte **Interferenzmuster**.

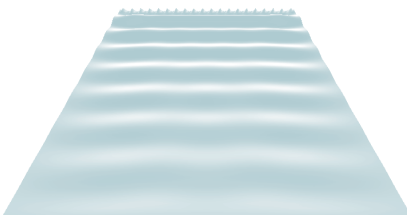
Lässt man viele Elementarwellen von kammförmig angeordneten Punkten in einer Linie erzeugen, so entsteht mit zunehmender Erregerdichte durch Interferenz von immer mehr Elementarwellen nahezu das gleiche Wellenmuster wie bei einem langgestreckten, geradlinigen Erreger, dessen Wellenfronten Parallelen zur Balkenrichtung sind (die in den Bildern dargestellten Wellen werden im Bildhintergrund erzeugt und laufen auf den Betrachter zu):



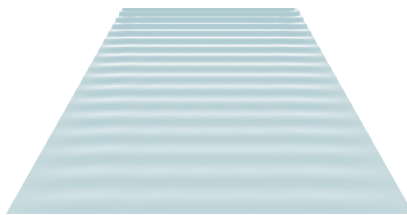
5 Punkterreger



9 Punkterreger



20 Punkterreger



waagerechter Balken als Erreger

Grundsätzlich kann man das Verhalten der Wellen sehr gut verstehen, wenn man sich das sogenannte „**Prinzip von Huygens**“ vor Augen hält:

Regel

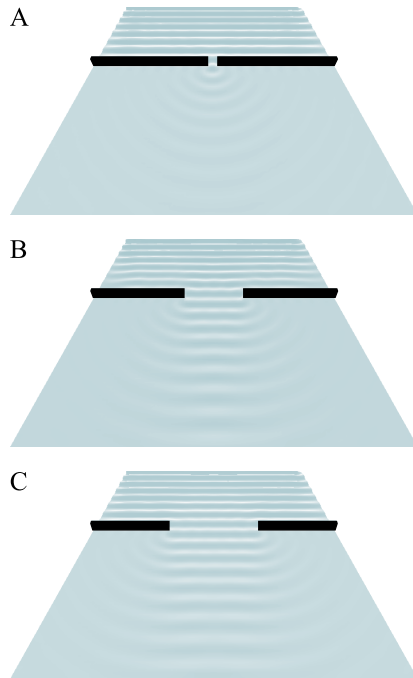
Jede Welle erzeugt in jedem Punkt, den sie erreicht, eine neue Elementarwelle.
Alle neu erzeugten Elementarwellen interferieren miteinander.

Betrachte nun nochmals das erste Bild mit den 5 Erregungszentren: Man sieht noch deutlich die 5 Elementarwellen, die miteinander interferieren. Im zweiten Bild mit den 9 Zentren erkennt man schon deutlich die nahezu geradlinigen Wellenfronten, die meisten seitlichen Anteile der 9 Elementarwellen interferieren sich gegenseitig weg. Bei 20 Punkten im dritten Bild unterscheidet sich das Wellenmuster kaum noch von dem eines geraden Balkens, der anstelle der 20 Punkte eintaucht.

Mit dem Huygens'schen Prinzip lassen sich viele weitere grundlegende Wellenphänomene erklären, etwa die **Beugung**: Warum setzen sich Wellen hinter einem Hindernis auch in dessen „Schatten“ fort?

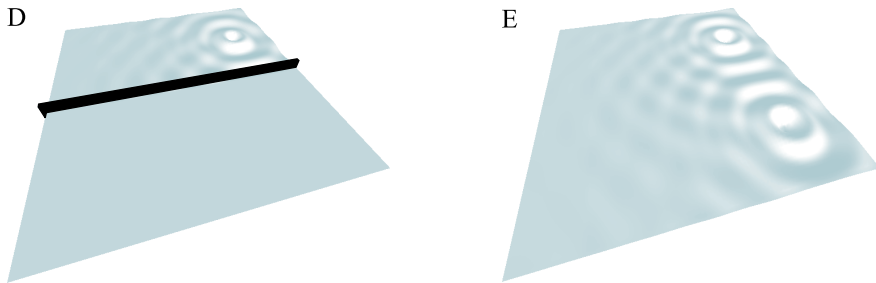
Stellen wir uns hierzu eine Wand als Hindernis vor, die an einer Stelle ein Loch hat (kleinen Einfachspalt, Bild A). Schickt man geradlinige Wellenfronten senkrecht auf das Hindernis zu, treten hinter dem Einfachspalt kreisförmige Wellen auf, die auch den Bereich seitlich hinter dem Hindernis erreichen. Nach Huygens wird im Loch des Hindernisses durch die von hinten kommende Welle eine Elementarwelle ausgelöst, die sich dann hinter dem Hindernis kreisförmig ausbreitet.

Wird der Spalt sehr breit, dann kommt in der Mitte die Welle ungestört durch und die Beugung tritt nur im Randbereich auf (Bilder B und C).



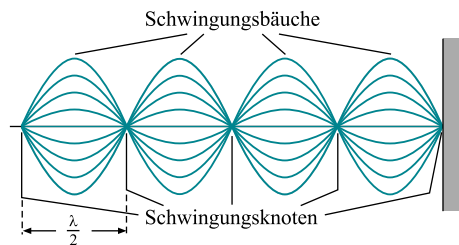
Die **Reflexion** von elastischen Wellen haben wir in Abschnitt 4.1 für eindimensionale Wellen bereits kennen gelernt, wir können dir dort getroffenen Aussagen auf zweidimensionale Wellen übertragen: Die Reflexion einer Wasserwelle an einer Wand ist eine Reflexion am losen Ende (die Randteilchen des Wassers sind schließlich nicht in der Wand verankert), erfolgt also ohne Phasensprung. Die

Ausbreitungsrichtungen von einfallender und reflektierter Welle gehorchen dabei dem gleichen Reflexionsgesetz, das auch in der Optik für Lichtstrahlen gültig ist: Der Einfallswinkel – also der Winkel zwischen der Normalen auf die Wand und der Wellennormalen der einfallenden Welle – ist gleich dem Ausfallwinkel. Dass das so ist, liegt wieder am Huygens'schen Prinzip: Die Ausgangswelle interferiert mit den an der Wand erzeugten Elementarwellen, die zusammengekommen die reflektierte Welle bilden. Das entstehende Muster (Bild D) sieht so aus, als würde die Ausgangswelle mit einer spiegelsymmetrisch gegenüber der Wand liegenden Elementarwelle interferieren, nachdem die Wand entfernt worden ist (Bild E):



Eine Besonderheit tritt bei der Reflexion einer senkrecht auf ein Hindernis eintreffenden Welle ein; im Fall unserer Wasserwelle liegen die Wellenfronten also parallel zur Wand. Die Welle wird in sich zurückgeworfen, die Wellenfronten der reflektierten Welle verlaufen ebenfalls parallel zur Wand.

Da einlaufende und reflektierte Welle gleiche Wellenlänge und gleiche Ausbreitungsgeschwindigkeit besitzen (beide Größen werden bei der Reflexion nicht geändert), kompensieren sich die gegenläufigen Phasenbewegungen und die Wellen interferieren zu einer **stehenden Welle**: Die resul-



tierende Welle scheint sich nicht von der Stelle zu bewegen; vielmehr bleibt als Bewegung nur die Schwingung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung übrig, wobei die Amplitude dieser Schwingung längs der Wellennormalen periodisch zu- und abnimmt. Die Stellen mit maximaler Amplitude heißen **Schwingungsbäuche**, diejenigen, an denen die Amplitude null ist, **Schwingungsknoten**. Der Abstand zweier aufeinander folgender Bäuche bzw. Knoten ist halb so groß wie die Wellenlänge der Ausgangswelle.

Die beschriebenen Bedingungen, die zur Ausbildung einer stehenden Welle führen, sowie deren Eigenschaften gelten allgemein für alle Quer- und Längswellen:

Regel

Stehende Wellen entstehen durch Interferenz zweier Wellen mit gleicher Wellenlänge λ , aber entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass

- ihr räumliches Wellenbild steht;
- die Schwingungsamplituden ortsabhängig sind und sich im Abstand $\frac{\lambda}{2}$ wiederholen;
- sich ortsfeste Schwingungsbäuche und Schwingungsknoten ausbilden.

Beispiel

Manchmal kann man an Steilküsten bei starkem Seegang braune Streifen beobachten, die parallel zur Küstenlinie verlaufen und nicht mit den Meereswellen treiben, sondern stillstehen. Wie entstehen sie?

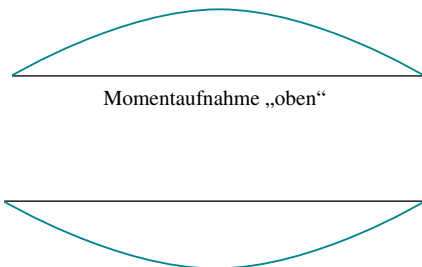
Lösung:

Im Gegensatz zu flachen Sandstränden laufen sich die Wasserwellen an Steilküsten nicht tot, sondern werden reflektiert. Ein- und auslaufende Wellen interferieren zu einer stehenden Welle, an deren Knoten das Wasser still steht und sich Tang ansammeln kann.

Begrenzt man die Ausbreitung von Wellen nicht nur von einer, sondern von beiden Seiten senkrecht zur Wellennormalen, werden die Teilwellen fortwährend ineinander reflektiert. Im Allgemeinen löschen sie sich dadurch nach einer gewissen Zeit vollständig aus, weil irgendwann immer ein Wellenberg auf ein Wellental trifft. Beträgt der Abstand der Begrenzungen aber ein Vielfaches der halben Wellenlänge, dann können die Teilwellen zu einer stehenden Welle interferieren, die dauerhaft innerhalb der Begrenzungen schwingt.

Solche stehende Wellen treten beispielsweise bei den Musikinstrumenten auf, bei denen Schallwellen durch Schwingungen eines begrenzten Wellenträgers (die Saite bei Streich-, Zupf- und Tasteninstrumenten wie dem Klavier; die eingeschlossene Luftsäule in einem Blasinstrument) erzeugt werden.

Bei den **Saiteninstrumenten** schwingt ein dünner Strang aus Stahl, Kunststoff oder Tierdarm, der an beiden Enden eingespannt ist. Wird diese Saite ausgelenkt, dann entstehen verschiedenste Schwingungen, die sich als Welle entlang der Saite ausbreiten. An den Enden geschieht eine Reflexion am festen Ende, also mit Phasensprung von 180° .



Momentaufnahme „unten“

Durch die Befestigungspunkte sind zwei Schwingungsknoten bereits vorgegeben. Damit sich die Teilwellen nicht auslöschen, muss sich eine stehende Welle ausbilden. Dies ist z. B. dadurch möglich, dass sich in der Mitte der beiden Knoten ein Schwingungsbauch bildet. Die Länge der Saite ist dann gleich der doppelten Wellenlänge der Teilwellen, die Saite befindet sich in der **Grundschwingung**. Die Abbildung zeigt zwei Momentaufnahmen.

Es gibt aber noch weitere mögliche stehende Wellen, die am Ende jeweils einen Knoten aufweisen: Es könnten zwischen den Befestigungspunkten auch zwei, drei oder mehr Schwingungsbauche sein. Man nennt diese Schwingungen **Oberschwingungen** der Saite.

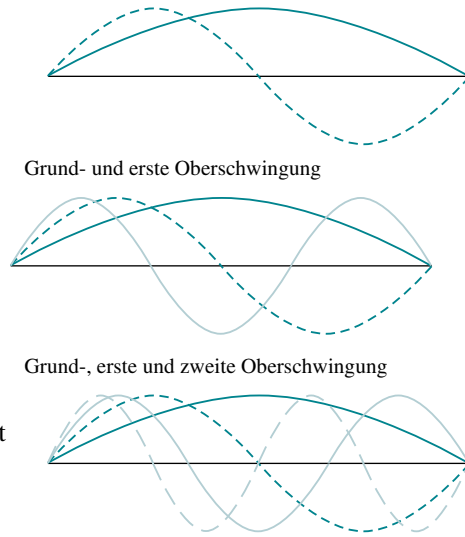
Die Wellenlängen der Grund- und Oberschwingungen sind eindeutig durch die Saitenlänge L bestimmt. Nummerieren wir den Schwingungstyp gemäß der Anzahl n der auftretenden Schwingungsbauche durch, gilt für die zugehörigen Wellenlängen $\lambda_{n,g}$:

$$L = n \cdot \frac{\lambda_{n,g}}{2} \Leftrightarrow \lambda_{n,g} = \frac{2L}{n} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Da die Tonhöhe der angeregten Einzeltöne durch ihre Frequenz gegeben ist, folgt weiter (c : Schallgeschwindigkeit):

$$f_{n,g} = \frac{c}{\lambda_{n,g}} = \frac{c}{2L} \cdot n \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Bei den **Blasinstrumenten** schwingt eine Luftsäule im Inneren des Instrumentes. Es werden wiederum nur solche Schwingungen durch Interferenz verstärkt, die in geeigneter Weise am Ende der Luftsäule reflektiert werden, deren Wellenlängen also im richtigen Verhältnis zur Länge der Luftsäule stehen, sodass sich stehende Wellen ausbilden können. Bei schwingenden Luftsäulen sind aber im Vergleich zur Saitenschwingung nicht nur Reflexionen am festen Ende, sondern auch am offenen Ende möglich, je nachdem, ob eines der Blasrohrenden oder beide geschlossen oder offen sind (Beispiel: Flöte, Klarinette). Bei geschlossenem Rohrende erfahren die Wellen bei der Reflexion wie bei der Saite einen Phasensprung; dort liegt ein Schwingungsknoten der stehenden Welle. Bei offenem Rohrende findet kein Phasensprung statt, es bildet sich dort ein Schwingungsbauch der stehenden Welle aus.



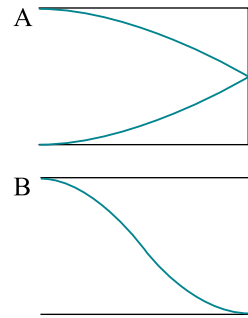
Grund- und erste Oberschwingung

Grund-, erste und zweite Oberschwingung

Grund- sowie die ersten drei Oberschwingungen

Bild A zeigt die Grundschiwingung in einer links offenen und rechts geschlossenen Orgelpfeife, Bild B die Grundschiwingung in einer beidseitig offenen Orgelpfeife. Im ersten Fall ist die Wellenlänge das Vierfache der Pfeifenlänge, im zweiten Fall das Doppelte der Pfeifenlänge. Die Frequenzen der Oberschwingungen ergeben sich beim **beidseitig offenen Rohr** wieder als Vielfache der Grundfrequenz; n bedeutet hier aber die Zahl der Schwingungsknoten:

$$f_{n,b} = \frac{c}{\lambda_{n,b}} = \frac{c}{2L} \cdot n \quad (n = 1, 2, \dots)$$



Um beim **einseitig offenen Rohr** Oberschwingungen zu erzeugen, die auf der einen Seite einen Bauch, auf der anderen Seite einen Knoten aufweisen, muss man die Grundwellenlänge $\lambda_{1,e} = \frac{L}{4}$ so verkleinern, dass die Rohrlänge L ein ungeradzahliges Vielfaches der Wellenlänge $\lambda_{n,e}$ wird:

$$L = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda_{n,e}}{4} \Leftrightarrow \lambda_{n,g} = \frac{4L}{2n - 1} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Daraus folgt für die Frequenz der Grund- und Oberschwingungen des einseitig geschlossenen Rohres:

$$f_{n,e} = \frac{c}{\lambda_{n,e}} = \frac{c}{4L} \cdot (2n - 1) \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Zupft oder streicht man eine Saite an oder bläst man einen Ton auf einem Blasinstrument an, bilden sich Grund- und Oberschwingungen gleichzeitig aus, deren Zusammensetzung hinsichtlich ihrer Zahl und Stärke charakteristisch für das betreffende Saiteninstrument sind und für den typischen Klang des Instruments sorgen. Dies gilt generell für alle „akustischen“ Musikinstrumente, in denen die Töne durch ein schwingendes Medium erzeugt werden (im Gegensatz zu den synthetisch erzeugten Tönen von elektronischen Instrumenten).

Verantwortlich für die Gewichtung der Obertöne und damit der Klangfarbe ist neben der Art der Tonerzeugung das sogenannte **Resonanzverhalten** des Instrumentenkörpers, also seine Eigenschaft, bestimmte Frequenzen zu verstärken oder abzuschwächen (die schwingende Saite allein macht noch keine Geige!). Diese Resonanzeigenschaft weisen nicht nur Musikinstrumente, sondern alle schwingfähigen Systeme auf. Jeder solche Körper besitzt eine oder mehrere „Lieblingsfrequenzen“, bei denen er besonders „gerne“ schwingt; man bezeichnet diese Lieblingsfrequenzen als **Eigenfrequenzen** des Systems. Wird eine dieser Frequenzen angeregt, dann schaukeln sich die Schwingungen dieser Frequenz bei weiterer Anregung immer stärker auf, die Amplituden werden immer größer. Die Form einer Geige oder einer Trompete ist daraufhin optimiert, diese Eigenfrequenzen kontrolliert herauszuarbeiten, sodass ein „schöner“ Ton entsteht. Das Aufschaukeln, das nur durch Energieverluste aufgrund von Reibung begrenzt ist, kann aber auch unkontrolliert erfolgen und das Amplitudenmaximum sehr groß werden:

- Typische Fälle sind Brücken, deren Eigenfrequenz etwa im Bereich um 0,5 Hz liegt. Wenn eine Soldatengruppe im Gleichschritt darüber marschieren würde, könnte die Brücke so stark in Schwingung versetzt werden, dass sie einstürzt. Deswegen vermeiden die Militärs diese Gefahr.
- Die Tacoma-Bridge in Amerika wurde durch Wind zur Resonanzschwingung angeregt, bis sie schließlich einstürzte.
- Bei alten Autos kennt man das Phänomen, dass immer bei einer bestimmten Geschwindigkeit manche Fahrzeugteile kräftig scheppern, also etwa bei Tempo 50 km/h die Türverkleidung, bei 60 km/h das Armaturenbrett, bei 80 km/h der Innenspiegel oder ähnliches; bei größeren Geschwindigkeiten verschwindet das Geräusch dann wieder. Auch hier handelt es sich um Resonanzschwingungen, die durch die Drehbewegungen in Motor und Fahrwerkteilen angeregt werden.

Beispiel Eine zunächst beidseitig offene Orgelpfeife wird an einem Ende verschlossen („gedackt“). Wie verändert sich der Ton?

Lösung:

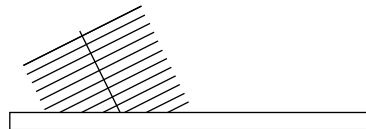
Am offenen Ende geschieht Reflexion „am losen Ende“ und damit ohne Phasensprung, folglich muss dort ein Schwingungsbauch liegen. Im Grundton passt also gerade eine halbe Wellenlänge in die Pfeife. Bei der gedackten Orgelpfeife muss auf der geschlossenen Seite ein Knoten liegen, also hat eine Viertelwellenlänge Platz. Die Wellenlänge des Grundtons verdoppelt sich also, die Frequenz halbiert sich: Der Ton wird um eine Oktave tiefer.

Aufgaben 119. Der Wolf und die sieben Geißlein

In dem Märchen frisst der Wolf Kreide, damit er eine sanftere Stimme bekommt. Er könnte zum gleichen Zweck auch Helium einatmen, sodass seine Stimme höher wird. Erkläre dieses Phänomen anhand einer (zunächst luftgefüllten) Flöte, die gerade einen bestimmten Ton von sich gibt und in der die Luft nach und nach durch Helium ersetzt wird.

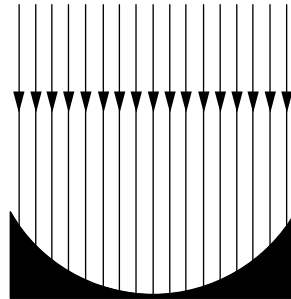
Hinweis: Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist etwa $c_{\text{Luft}} 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, in Helium dagegen $c_{\text{Helium}} = 980 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- 120.** Überlege dir anhand einer Zeichnung die Richtigkeit des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallwinkel“ mithilfe des Huygens'schen Prinzips. Zeichne dazu eine geradlinige Schar paralleler Wellenfronten, die schräg auf eine Wand fallen.

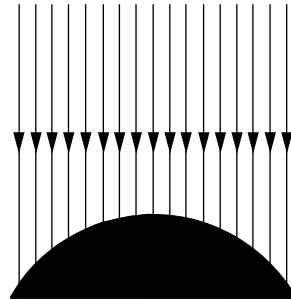


Ergänze nun (beispielhaft nur an den Auftreffpunkten der Fronten) die am Hindernis erzeugten Huygens'schen Elementarwellen als Halbkreise geeigneter Radien und kennzeichne gleichzeitig entstandene Elementarwellen durch gleiche Farbe. Ermittle zeichnerisch die gemeinsamen Tangenten jeweils einer Elementarwellen-Generation, sie stellen die reflektierten Fronten dar.

- 121.** Wie wird eine Schar paralleler gerader Wellenfronten an einem „Hohlspiegel“ (also einer kreisförmig zur Welle hin gekrümmten Wand) reflektiert? (In der Skizze ist die Richtung, nicht die Front eingezeichnet!)



- 122.** Wie wird eine Schar paralleler gerader Wellenfronten an einem „Wölbspiegel“ (einer kreisförmig von der Welle weg gekrümmten Wand) reflektiert? (Wieder ist in der Skizze die Richtung, nicht die Front eingezeichnet.)



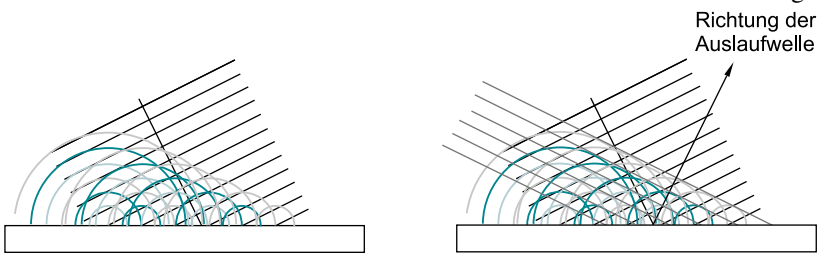
- 123.** Der tiefste Ton, den ein durchschnittlich hörender Mensch wahrnehmen kann, ist das Subkontra-C (C_2) mit 16,35 Hz. Welche Länge muss eine
- a) beidseitig offene Orgelpfeife,
 - b) eine gedackte Orgelpfeife
- haben, um diesen Ton zu erzeugen (Schallgeschwindigkeit in Luft bei 20 °C $c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)?
- 124.** Eine Saite wird angezupft und liefert den Kammerton a' ($f = 440 \text{ Hz}$).
- a) Berechne die Frequenzen der ersten drei Oberschwingungen.
 - b) Jetzt wird durch Drücken der Saite auf das Griffbrett der schwingende Teil der Saite um die Hälfte verkürzt. Welche Frequenz ergibt sich im Grundton und welcher Ton ist das?
 - c) Welcher Bruchteil der Saite darf noch schwingen, wenn der Grundton a' eine Quarte (Verhältnis 4 : 3) höher werden soll, also ein d'' ?

Es macht also einen Unterschied, ob die Quelle ruht und der Beobachter sich bewegt oder umgekehrt: Die *Tendenz* der Frequenzänderung ist zwar die gleiche (Erhöhung bei Annäherung, Erniedrigung bei Entfernung), aber der *Betrag* dieser Änderung unterscheidet sich. Der Unterschied wird dabei umso größer, je größer die Geschwindigkeit v ist.

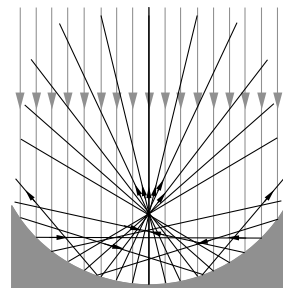
- 119.** Der Schall breitet sich in Helium schneller aus, die Geometrie des Klangkörpers (Flöte oder auch Wolf) ändert sich aber nicht, d. h. die Länge der schwingenden Gassäule bleibt gleich. Außerdem ist $c = \lambda \cdot f$ oder $\lambda = \frac{c}{f}$. Damit Töne erzeugt werden können, muss eine konstruktive Interferenz zwischen einfallenden und reflektierten Wellen ermöglicht werden. Da hierbei die Wellenlänge nur von der Länge der Gassäule abhängt und diese konstant ist, bleibt auch die Wellenlänge und damit $\frac{c}{f}$ gleich. Beim Helium ist aber die Schallgeschwindigkeit (und damit der Zähler) größer, folglich auch der Nenner: Die Frequenz steigt und der Ton wird höher.

- 120.** Zunächst die Halbkreise:

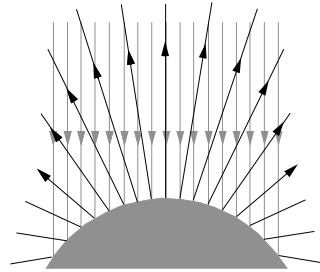
Mit Wellenfronten und Auslaufrichtung:



- 121.** An jeder Stelle gilt das Reflexionsgesetz „Einfallswinkel = Ausfallwinkel“, wobei dieser jeweils wegen der krummen Oberfläche zur Tangente gemessen wird. Bei einer kreisförmigen Wand ergibt sich (wie auch in der Optik) nicht ein exakter Brennpunkt, in dem alle Wellen zusammenlaufen (das wäre bei parabelförmiger Wand der Fall!), sondern ein Bereich heftiger Wellenbewegungen („Kauistik“).



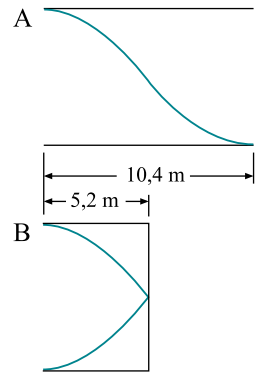
- 122.** Auch hier ergeben sich nicht etwa (wie man beim ersten Nachdenken vermuten könnte) radiale „Strahlen“, sondern eine nach außen hin schwächere Verteilung der Wellenanteile.



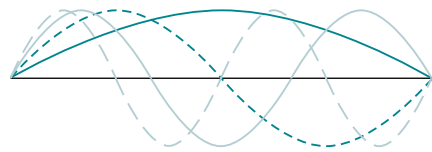
- 123.** Die Wellenlänge ergibt sich mit der Gleichung $c = \lambda \cdot f$ zu

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{16,35 \frac{1}{\text{s}}} = 20,8 \text{ m}.$$

- a) In einer beidseitig offenen Orgelpfeife ist an beiden Enden ein Bauch der stehenden Schallwelle. Folglich muss in der Grundschiwingung die Wellenlänge das Doppelte der Pfeifenlänge sein, also hat die Pfeife eine Länge von 10,4 m (Bild A).
- b) Bei der gedackten Pfeife befindet sich auf der geschlossenen Seite ein Schwingungsknoten. Demzufolge findet gerade eine viertel Wellenlänge in der Pfeife Platz und die Pfeife hat eine Länge von 5,2 m (Bild B).



- 124.** a) Bei der Saite befinden sich an beiden Enden Schwingungsknoten, in der Grundschiwingung liegt eine halbe Wellenlänge dazwischen. Bei den ersten drei Oberschwingungen treten zusätzlich ein, zwei bzw. drei weitere Knoten zwischen den Befestigungspunkten auf:
- Die erste Oberschwingung hat gerade die halbe Wellenlänge, also die doppelte Frequenz und damit 880 Hz. Der Ton a" („zweigestrichenes“ a) klingt eine Oktave höher.
 - Die Wellenlänge der zweiten Oberschwingung passt gerade 1,5-mal auf die Saite. Sie beträgt also $\frac{2}{3}$ der Saitenlänge bzw. $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Wellenlänge, die Frequenz ist folglich dreimal so hoch und damit 1 320 Hz. Der Ton liegt eine Quinte (Verhältnis 3 : 2) über dem ersten Oberton (ein e''').





**MEHR
ERFAHREN**

TRAINING

Gymnasium

Physik – Mittelstufe 1



STARK

Inhalt

Vorwort

1	Wiederholung physikalischer Grundlagen	1
1.1	Optik	1
	Lichtausbreitung, Reflexion und Brechung	1
	Auge und optische Geräte	15
	Farben und Dispersion	24
1.2	Elektrizitätslehre	29
	Ursache und Wirkung des elektrischen Stromes	29
	Stromkreis und Schaltsymbole	30
	Einfache elektrische Schaltungen	31
1.3	Kräfte	35
	Bewegungen	35
	Wichtige Kräfte in der Natur	37
	Betrag und Richtung von Kräften	39
2	Physikalische Arbeit	43
2.1	Kraftwandler	43
2.2	Arbeit, Energie und Leistung	52
3	Aufbau der Materie und Wärmelehre	61
3.1	Temperaturänderung und Aggregatzustand	61
3.2	Wärmeausdehnung von Gasen	70
3.3	Wärmeausdehnung bei flüssigen und festen Körpern	72
3.4	Wärmestrahlung	75
4	Elektrik	79
4.1	Grundlegende Größen der Elektrik	79
	Das Wasserstromkreis-Modell für den elektrischen Stromkreis	80
	Serien- und Parallelschaltung von Widerständen	83
4.2	Spezifischer Widerstand	94
4.3	Energie und Leistung elektrischer Ströme	97

Fortsetzung siehe nächste Seite

4.4	Elektrisches und magnetisches Feld	103
	Elektrisches Feld	103
	Magnetisches Feld	107
	Magnetisches Feld um Strom durchflossene Leiter und Lorentzkraft ...	108
4.5	Elektromagnetische Induktion	115
4.6	Energietechnik	132
	Energieverluste beim Stromtransport	132
	Transformation der elektrischen Spannung	132
	Elementare Stromquellen	134
	Lösungen	137

Autor: Florian Borges

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielleicht hast du dir ja schon einmal die Frage gestellt, wieso sich Nüsse mit einem Nussknacker leichter knacken lassen als mit der bloßen Hand. Oder du hast dich gefragt, wie ein Fahrraddynamo eigentlich Licht erzeugt. Oder vielleicht hast du eine Brille und wolltest schon immer einmal wissen, wie eine Brille es schafft, dass du wieder besser siehst.

Mit solchen und noch viel mehr Fragen beschäftigt sich das Fach Physik. Die beiden Bücher „Training Physik Mittelstufe“ helfen dir, physikalische Zusammenhänge zu verstehen und das Rechnen von Physikaufgaben zu trainieren. Der Physikstoff der Klassen 8 bis 10 wird in beiden Bänden ausführlich dargestellt.

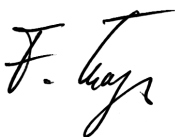
Im vorliegenden Band 1 findest du zunächst eine Zusammenstellung der **physikalischen Grundlagen** aus der Optik, der Elektrizitätslehre und der Mechanik. Du hast einige dieser Stoffgebiete in den vorangegangenen Schuljahren bereits kennen gelernt und hast hier die Möglichkeit, grundlegende Begriffe und Zusammenhänge zu wiederholen. Die folgenden Abschnitte behandeln die wichtigen Themengebiete **Physikalische Arbeit, Aufbau der Materie und Wärmelehre** und **Elektrik** (einschließlich elektromagnetischer Induktion).

Jedes Buchkapitel ist einheitlich gegliedert:

- Zunächst wird der Unterrichtsstoff besprochen, **Fachausdrücke** erklärt und **Formeln** erläutert. Dabei sind die wichtigsten **Regeln** immer in Kästen zusammengefasst und hervorgehoben, sodass sie auch beim Durchblättern leicht auffindbar sind.
- Zu jedem Stoffgebiet lernst du anhand von **Beispielaufgaben** die typischen Fragestellungen zu diesem Thema kennen. Ausführliche Lösungen zeigen dir unmittelbar anschließend, wie man derartige Aufgaben am besten angeht.
- Ganz wichtig sind die zahlreichen **Aufgaben**, die nach jedem neuen Sinnabschnitt folgen. Dadurch, dass du diese Aufgaben **selbstständig** löst, lernst du den Stoff und das Lösen von Physikaufgaben am besten. Orientiere dich dabei an den Beispielaufgaben. Zur **Kontrolle** des Lösungsweges und deiner Ergebnisse findest du die **ausführlichen Lösungen** zu jeder Aufgabe im Lösungsteil am Ende des Buches.

Die mit einem Stern (*) gekennzeichneten Aufgaben sind etwas anspruchsvoller und regen in besonderer Weise zum Nachdenken an; du kannst sie beim ersten Durcharbeiten auch überspringen.

Ich wünsche dir viel Erfolg bei deinem Physiktraining mit diesem Buch!



4 Elektrik

4.1 Grundlegende Größen der Elektrik

Ausgangspunkt für sämtliche Vorgänge, die in diesem Abschnitt besprochen werden, ist der Begriff der **elektrischen Ladung**.

Regel

Alle elektrischen Wirkungen und Vorgänge sind auf die Eigenschaften und das Verhalten von **elektrischen Ladungen** zurückzuführen. Es gibt positive (+) und negative (−) elektrische Ladungen, die aufeinander wechselseitig unterschiedliche Kräfte ausüben: Gleichnamige Ladungen (+|+ oder −|−) stoßen einander ab, ungleichnamige Ladungen (+|− oder −|+) ziehen sich an.

Elektrische Ladungen treten stets in (immer gleich) winzig kleinen Portionen auf, den so genannten **Elementarladungen**. Auf einem neutralen Körper sitzen ebenso viele negative wie positive Ladungen und diese heben sich paarweise in ihrer Wirkung jeweils auf. Ein negativ geladener Körper trägt einen Überschuss an negativen Ladungen, diese stoßen sich gegenseitig ab und versuchen größtmöglichen Abstand voneinander einzunehmen. Verbindet man diesen Körper leitend mit einer neutralen Metallkugel, dann werden die Ladungen sich auch gleichmäßig über die Kugel verteilen. Es entsteht ein **elektrischer Strom**, der von dem negativ geladenen Körper zur Kugel fließt. Wir halten fest:

Regel

Elektrischer Strom entsteht durch die Bewegung elektrischer Ladungen in einem Stromkreis. Die Bewegung dient dem Ladungsausgleich zwischen leitend verbundenen, elektrisch geladenen Körpern.

Für die Erarbeitung der Grundgesetze im Stromkreis hat sich ein anschauliches Modell bewährt, das wir im Folgenden genauer untersuchen wollen.

Das Wasserstromkreis-Modell für den elektrischen Stromkreis

Eine Schwierigkeit beim Verständnis der Elektrizitätslehre liegt darin, dass wir für diesen Bereich der Physik keine geeigneten Sinnesorgane besitzen, denn elektrischer Strom selbst ist unsichtbar, riecht und knistert nicht. Zwar leuchten Strom durchflossene Lampen, es riechen verschmorte Leitungen und unter einem Hochspannungsmasten hört man schon mal ein sonderbares Knistern, das wohl mit der Elektrizität zusammenhängt – aber dies sind eben alles nur einige **Wirkungen des elektrischen Stromes** (und nicht er selbst), die wir wahrnehmen können.

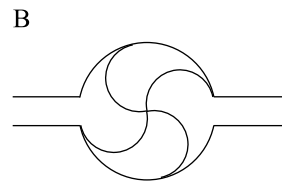
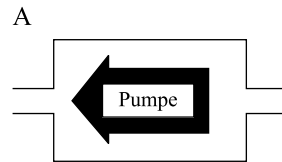
Um dem entgegenzuwirken und den elektrischen Stromkreis sowie die Abläufe darin besser zu verstehen, ist das Wasserstrommodell sehr hilfreich. Es wird zunächst vorgestellt, später wird dann an geeigneter Stelle immer wieder darauf Bezug genommen. Für jeden Vorgang und auch für jeden Bestandteil im elektrischen Stromkreis gibt es einen entsprechenden im Wasserstromkreis.

Als erstes und wichtigstes Bauteil ist hier die **Pumpe** zu nennen, die das Wasser zunächst zum Fließen bringt und anschließend in Bewegung hält. Wie sie genau funktioniert, überlegen wir uns später.

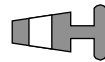
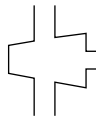
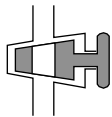
Als „Schaltsymbol“ wählen wir das in Bild A gezeigte Zeichen.

Als Gerät, welches wir mit dem Wasserstrom betreiben wollen, verwenden wir hier ein Schaufelrad (Bild B).

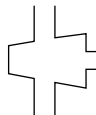
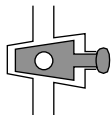
Der **Wasserhahn** dient als „Schalter“; wir stellen uns einen Glaskörper mit einer Querbohrung (Bild C rechts) vor, der passgenau in einem anderen Glasteil (Bild C Mitte) steckt und je nach Drehstellung das Wasser durchfließen lässt (oben) oder nicht (unten).



C

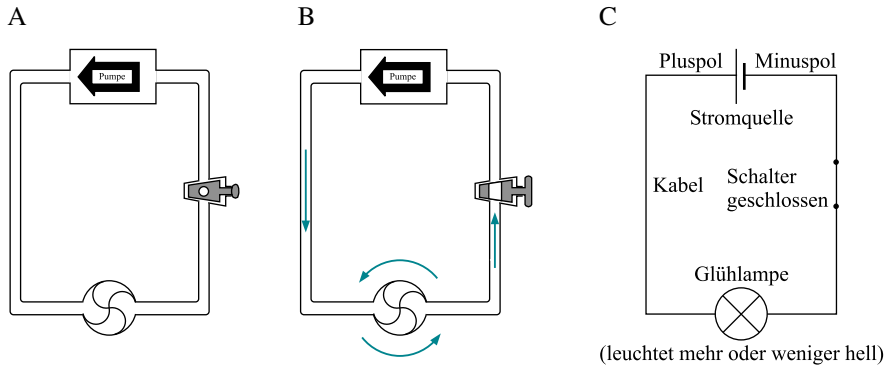


Hahn in Durchlass-Stellung (Schalter geöffnet)



Hahn in Absperr-Stellung (Schalter geschlossen)

Das Wasser wird in **Rohrleitungen** geführt, der Wasserstromkreis hat dann das in der Abbildung gezeigte Aussehen. Ist der Hahn geschlossen (A), kann das Wasser (trotz des von der Pumpe aufgebauten Wasserdruckes) nicht durch den Wasserstromkreis fließen. Nach Öffnen des Hahnes durch Drehen um 90 Grad (B) beginnt es sich zu bewegen, das Schaufelrad als „Stromstärke-Anzeiger“ beginnt sich entsprechend schnell zu drehen (vgl. auch Zapfsäule an der Tankstelle!).



Im **elektrischen Stromkreis** entspricht nun der Pumpe die **Stromquelle**, dem Schaufelrad ein **Verbraucher**, z. B. eine Glühlampe, und dem Absperrhahn ein **Schalter**; verbunden sind diese Teile mit **Kabeln** (statt Rohren); der entsprechende elektrische Schaltplan ist in (C) dargestellt. Dem Wasser entspricht die **elektrische Ladung**, die durch den Stromkreis fließt.

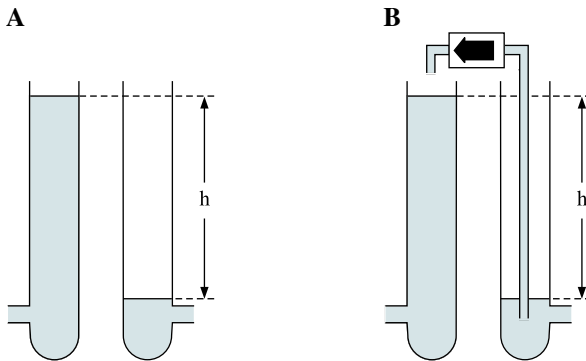
Regel

Die Ladungsmenge, die pro Sekunde durch einen elektrischen Stromkreis fließt, heißt **elektrische Stromstärke I**.

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist 1 Ampere: $[I] = 1 \text{ A}$

Den Druckunterschied, den die Pumpe erzeugt, erklärt ein Blick auf das „Innenleben“ der Pumpe, das in der folgenden Abbildung skizziert ist: Zwei unterschiedlich hoch mit Wasser gefüllte Behälter werden durch Rohrleitungen (unten) miteinander verbunden, wegen des Druckunterschiedes beginnt das Wasser aus dem linken in den rechten Behälter zu fließen, bis beide Wasserstände gleich hoch sind („kommunizierende Röhre“, Bild A).

Dieser Stromfluss ist jedoch nur von kurzer Dauer: Der Höhenunterschied kann nicht gehalten werden, er bricht umgehend zusammen. In unserem Modell können wir uns mit einer weiteren Pumpe behelfen, die (je nach Leistungsfähigkeit) den Höhenunterschied in den Behältern aufrecht erhält (Bild B).



Im elektrischen Stromkreis löst den Stromfluss die **elektrische Spannung U** aus.

Regel

Die **elektrische Spannung U** zwischen zwei Raumpunkten ist ein Maß für das Bestreben der elektrischen Ladungen zum Stromfluss zwischen diesen Punkten. Die Einheit der elektrischen Spannung ist 1 Volt: $[U] = 1 \text{ V}$

Als **technische Stromrichtung** in einem Stromkreis ist die Richtung vom Plus- zum Minuspol einer Spannungsquelle festgelegt. Diese Festlegung ist historisch bedingt. Demgegenüber berücksichtigt die **physikalische Stromrichtung** die tatsächliche Fließrichtung der Ladungsträger. In einem gewöhnlichen Stromkreis sind das Elektronen, die vom Minus- zum Pluspol und somit entgegengesetzt zur technischen Stromrichtung fließen.

Grundsätzlich ist jede Stromquelle auch eine Spannungsquelle und umgekehrt. Als typische Stromquelle bezeichnet man aber meist eine solche, bei der das Zulassen einer großen Stromstärke die Spannung nur geringfügig absinken lässt.

- Eine **typische Stromquelle** ist ein großes Kraftwerk: Auch wenn viele Geräte angeschlossen werden und insgesamt eine hohe Stromstärke zu messen ist, muss doch die Netzspannung von etwa 230 Volt gewährleistet bleiben.
- Dagegen ist der Bandgenerator eine **typische Spannungsquelle**, weil er zwar eine hohe Spannung erzeugen kann, diese aber bei geringstem Stromfluss bereits wieder „verliert“.

Die Begriffe Stromstärke und Spannung sind grundlegend für das Verständnis aller weiteren Größen und Gesetzmäßigkeiten der Elektrizitätslehre, denen wir uns nun zuwenden wollen.

Der **elektrische Widerstand R** ist ein Maß für die Fähigkeit von Leitern, den Strom durch sich fließen zu lassen. Man könnte genauso gut die Leitfähigkeit als („optimistisches“) Maß verwenden mit größeren Werten bei besseren Leitern, stattdessen hat sich der Widerstand als deren Kehrwert durchgesetzt.

Regel

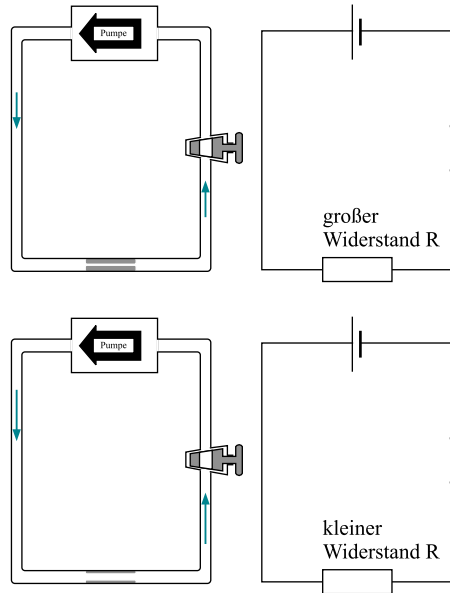
Der **elektrische Widerstand R** ist definiert als Quotient aus elektrischer Spannung U und elektrischer Stromstärke I :

$$R = \frac{U}{I}$$

Die Einheit des Widerstands ist 1 Ohm: $[R] = 1 \Omega$

Der Widerstand gibt also anschaulich an, wie viel Volt Spannung angelegt werden müssen, um 1 A durch den Leiter zu „pressen“. Ein guter Leiter benötigt dazu nur eine geringe Spannung, ein schlechter dagegen eine hohe. Man bezeichnet diesen wichtigen Zusammenhang als **Ohm'sches Gesetz**; es drückt den – in der Praxis nur annähernd erfüllten – Idealfall einer perfekten Proportionalität zwischen Strom und Spannung in einem Stromkreis aus.

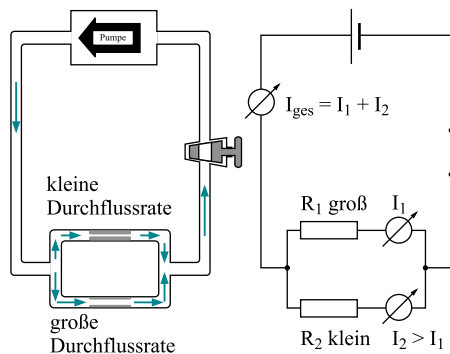
Im Wasserstrom-Modell verwendet man für einen großen bzw. kleinen Widerstand eine mehr bzw. weniger starke Verengung im Rohr, an der das Wasser beim Fließen unterschiedlich stark behindert wird.



Serien- und Parallelschaltung von Widerständen

Bei der Parallelschaltung liegt die volle Spannung an allen Zweigen an (vergleiche Wasserhähne auf einem Stockwerk eines Hauses), die Stromstärke teilt sich auf die verschiedenen Zweige auf.

In dem Ast mit dem kleineren Widerstand fließt dabei mehr Strom als in dem anderen, insgesamt fließt aber mehr als durch den kleinsten Widerstand.



Bei zwei Widerständen R_1 und R_2 gilt für den Gesamtwiderstand R_{ges} :

$$\left. \begin{array}{l} R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \\ I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 \\ U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{I_{\text{ges}}}{U_{\text{ges}}} = \frac{I_1 + I_2}{U_{\text{ges}}} = \frac{I_1}{U_1} + \frac{I_2}{U_1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

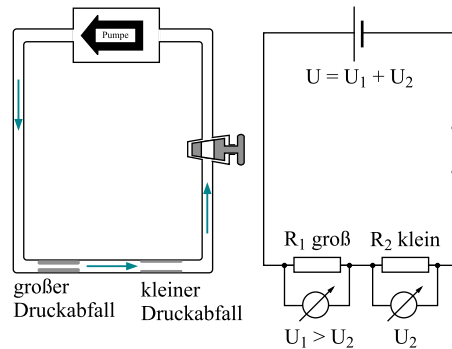
Diese Beziehung lässt sich auf beliebig viele parallel geschaltete Widerstände verallgemeinern:

Regel

Der **Gesamtwiderstand in einer Parallelschaltung** ist stets kleiner als der kleinste der Einzelwiderstände. Liegen n Einzelwiderstände R_1, R_2, \dots, R_n vor, so gilt:

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Bei der **Serien-** oder **Reihenschaltung** muss die volle Stromstärke durch alle Serienwiderstände fließen, die Spannung fällt dabei portionsweise ab.



Für den Gesamtwiderstand gilt:

$$\left. \begin{array}{l} R_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{I_{\text{ges}}} \\ I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 \\ U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 \end{array} \right\} \Rightarrow R_{\text{ges}} = \frac{U_1 + U_2}{I_{\text{ges}}} = \frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} = R_1 + R_2$$

Dieser Zusammenhang lässt sich wiederum auf beliebig viele in Reihe geschaltete Widerstände verallgemeinern:

Regel

Der **Gesamtwiderstand in einer Serienschaltung** ist stets größer als der größte der Einzelwiderstände. Liegen n Einzelwiderstände R_1, R_2, \dots, R_n vor, so gilt:

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Beispiele

1. In einer Parallelschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 ist $R_1 = 200 \, \Omega$, die gesamte Schaltung lässt bei einer anliegenden Spannung von $U = 4,0 \, \text{V}$ eine Stromstärke von $I = 0,100 \, \text{A}$ zu.

a) Berechne R_2 !

Lösung:

Wir zeichnen zunächst einen Schaltplan. Aus der Gesamtstromstärke von $I = 0,100 \, \text{A}$ und der anliegenden Spannung von $U = 4,00 \, \text{V}$ kann man sofort den Gesamtwiderstand der Parallelschaltung berechnen:

$$R_{1,2} = \frac{U}{I_{\text{ges}}} = \frac{4,00 \, \text{V}}{0,100 \, \text{A}} = 40,0 \, \Omega$$

Bei der Parallelschaltung addieren sich die Kehrwerte der Einzelwiderstände zum Kehrwert des Gesamtwiderstandes, also gilt:

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{40 \, \Omega} = \frac{1}{200 \, \Omega} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{5}{200 \, \Omega} = \frac{1}{200 \, \Omega} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{4}{200 \, \Omega} = \frac{1}{R_2}$$

$$R_2 = 50 \, \Omega$$

b) Berechne die Teilströme I_1 und I_2 !

Lösung:

Bei der Parallelschaltung liegt an beiden Zweigen die Spannung $U = 4,00 \, \text{V}$ an, insbesondere auch am oberen Zweig mit $R_1 = 200 \, \Omega$.

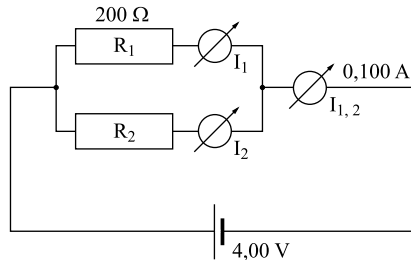
Wegen $R_1 = \frac{U}{I_1}$ ist auch

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{4,00 \, \text{V}}{200 \, \Omega} = \frac{1}{50} \, \text{A} = 0,0200 \, \text{A}.$$

Bei einer Gesamtstromstärke von $0,100 \, \text{A}$ bleiben dann für den unteren Zweig die restlichen

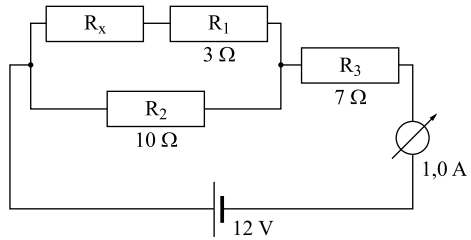
$$I_2 = I_{\text{gesamt}} - I_1 = 0,100 \, \text{A} - 0,0200 \, \text{A} = 0,0800 \, \text{A}.$$

Die Teilströme haben also $I_1 = 0,0200 \, \text{A}$ und $I_2 = 0,0800 \, \text{A}$.



2. Berechne in folgender Schaltung

- den Widerstand R_x ,
- die Stromstärke I_2 durch R_2 sowie
- die Spannung U_1 an R_1 !

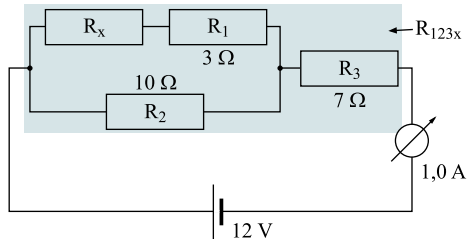


Lösung:

Bei verschachtelten Kombinationen aus Serien- und Parallelschaltungen gibt es prinzipiell zwei Arten von Aufgaben: Bei dem einen Aufgabentyp muss man sich „von außen nach innen“ vorkämpfen in der Schaltung, um das Ziel zu erreichen, bei dem anderen Typ führt der Weg von innen nach außen. Hier liegt eine Aufgabe vom ersten Typ vor.

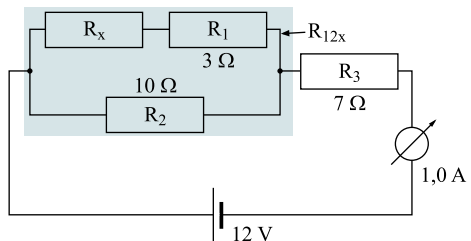
- Zunächst kann man aus der Gesamtspannung von $U = 12\text{ V}$ und der Gesamtstromstärke von $I = 1,0\text{ A}$ sofort den Gesamtwiderstand der Schaltung berechnen, nennen wir ihn R_{123x} (als Ersatzwiderstand für R_1 , R_2 , R_3 und R_x ; er ersetzt den hellgrün markierten Bereich der Schaltung). Er hat den Wert:

$$R_{123x} = \frac{12\text{ V}}{1,0\text{ A}} = 12\ \Omega$$



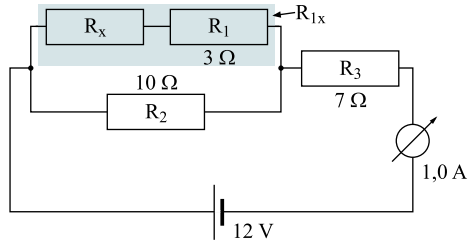
Dieser Gesamtwiderstand $R_{123x} = 12\ \Omega$ resultiert wiederum aus einer Serienschaltung aus dem Ersatzwiderstand R_{12x} und $R_3 = 7\ \Omega$, folglich gilt:

$$R_{12x} = 12\ \Omega - 7\ \Omega = 5\ \Omega$$



Bei $R_{12x} = 5 \Omega$ handelt es sich wiederum um eine Parallelschaltung aus R_{1x} (oberer Zweig) und $R_2 = 10 \Omega$ (unterer Zweig), für R_{1x} ergibt sich:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{1x}} + \frac{1}{10 \Omega} &= \frac{1}{5 \Omega} \\ \frac{1}{R_{1x}} &= \frac{1}{5 \Omega} - \frac{1}{10 \Omega} \\ &= \frac{1}{10 \Omega} \\ R_{1x} &= 10 \Omega \end{aligned}$$



$R_{1x} = 10 \Omega$ ist wiederum eine Serienschaltung aus dem gesuchten R_x und $R_1 = 3 \Omega$, also ist schließlich $R_x = 7 \Omega$.

- b) Um die Stromstärke I_2 durch $R_2 = 10 \Omega$ berechnen zu können, benötigt man die anliegende Spannung U_2 . Sie ist (wegen der Parallelschaltung zu R_{1x}) ebenso groß wie U_{1x} , die Spannung am oberen Zweig; es ist also $U_2 = U_{1x} = U_{12x}$. Weil die Teilschaltung $R_{12x} = 5 \Omega$ in Reihe geschaltet ist zu $R_3 = 7 \Omega$, fällt die Gesamtspannung von $U = 12 \text{ V}$ anteilig ab, also gilt:

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_{12x}}{U_3} &= \frac{R_{12x}}{R_3} = \frac{5}{7} \\ U_{12x} + U_3 &= 12 \text{ V} \end{aligned} \right\} \Rightarrow U_{12x} = 5 \text{ V}$$

Es ist also auch $U_2 = 5 \text{ V}$, sodass der Strom durch R_2 die Stärke

$$I_2 = \frac{5 \text{ V}}{10 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

besitzt.

- c) Wenn wir die Spannung U_1 an $R_1 = 3 \Omega$ berechnen wollen, müssen wir die Stromstärke I_1 kennen, die diesen Widerstand durchfließt. Weil wir aus den Teilaufgaben a und b wissen, dass die beiden Parallelzweige mit jeweils $R_{1x} = R_2 = 10 \Omega$ bei gleichem Widerstand auch gleiche Stromstärken durchlassen werden, die zusammen laut Angabe 1 A ausmachen, muss diese Stromstärke gerade $I_1 = 0,5 \text{ A}$ sein.

Zusammenfassung

- In einem elektrischen Stromkreis fließt **elektrische Ladung**. Die in jeder Sekunde fließende Ladungsmenge an einer Kontrollstelle bildet die elektrische **Stromstärke**. Das Bestreben der Ladungsträger an den beiden Polen der Stromquelle, zum jeweils anderen Pol zu fließen, ist mit einem Druckunterschied in der Mechanik vergleichbar und heißt **elektrische Spannung**.
- Die Stromstärke beschreibt einen physikalischen **Vorgang**, nämlich die Durchflussmenge pro Zeit. Es kann kein Strom fließen, wenn kein Bestreben der Ladungsträger zum Stromfluss vorhanden ist, also keine Spannung anliegt. Die Spannung beschreibt einen physikalischen **Zustand**, d. h. eine Spannung kann anliegen, auch wenn kein Strom fließt, also keine Vorgänge ablaufen.
- Das **Ohm'sche Gesetz** besagt, dass im elektrischen Stromkreis Spannung und Stromstärke zueinander direkt proportional sind. Die Proportionalitätskonstante heißt **elektrischer Widerstand** und ist ein Maß für die Güte eines Leiters.
- Schaltet man mehrere Widerstände **parallel**, so ist der Gesamtwiderstand der Kehrwert der Kehrwertsumme der Einzelwiderstände; schaltet man die Widerstände **in Serie**, so ist der Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände.

- Aufgaben**
- 116.** In München wird ein Elektroherd eingeschaltet. Wie ändert sich dadurch der Gesamtwiderstand des Münchener Stromnetzes? (Begründung!)
- 117.** Wie sind die einzelnen Steckdosen einer Dreifachsteckdose geschaltet? (Begründung!)
- 118.** Für eine elektrische Christbaumbeleuchtung werden 23 baugleiche Glühlämpchen in Reihe geschaltet.
- a) Welche Betriebsspannung haben die Lämpchen, wenn die ganze Lichterkette an 230 V Netzspannung angeschlossen wird?
 - b) Was geschieht, wenn bei einem Lämpchen der Glühdraht reißt und der Stromkreis in diesem Lämpchen dadurch unterbrochen wird?
- 119.** An einen Widerstand von $5,0\ \Omega$ wird eine Spannung von 2,0 V angelegt. Welche Stromstärke wird erreicht?
- 120.** Welchen Widerstand hat ein Gerät, das bei einer anliegenden Spannung von 12,0 V eine Stromstärke von 6,0 A zulässt?

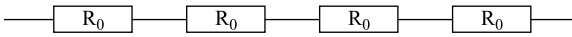
- 114.** In den Rohren wird Warmwasser transportiert, Wärme also durch Konvektion vom Keller zu den Heizkörpern übertragen. Die Heizkörper werden durch das Warmwasser mittels Wärmeleitung (gegenseitige Berührung) erwärmt. Auf die gleiche Weise erwärmt der Heizkörper anschließend die umgebende Raumluft (Wärmeleitung). In der Nähe des Heizkörpers spürt man aber auch ohne Berührung die angenehme Wärme; diese wird durch Wärmestrahlung übertragen.
- 115.** Beim Heizlüfter wird die Luft erhitzt und durch einen Ventilator in den Raum geblasen. Hier handelt es sich vorwiegend um Wärmekonvektion, weil die warme Luft selbst transportiert wird.
Beim Heizstrahler findet man nur Wärmestrahlung.
- 116.** Zunächst muss man wissen: Alle Steckdosen sind **parallel** geschaltet, ebenso alle üblichen Geräte mit 230-Volt-Spannungsversorgung; nur so ist es möglich, dass ein einzelnes Gerät ausgeschaltet werden kann, ohne weitere Geräte ungewollt mit auszuschalten, wie es bei einer Serienschaltung der Fall wäre. Außerdem liegt nur bei einer Parallelschaltung an allen Zweigen die volle Spannung an; bei Serienschaltung würde die Spannung je nach Widerstand der einzelnen Geräte portionsweise abfallen und keines der Geräte hätte volle Betriebsspannung.
Wenn also im Münchener Stromnetz ein Herd zugeschaltet wird, dann wird ein weiterer Parallelast zugeschaltet und dieser bietet (neben allen vorher schon vorhandenen Parallelzweigen) den Ladungen eine zusätzliche Alternative zum Fließen. Die Gesamtstromstärke wird also größer, der Gesamtwiderstand folglich **kleiner**!
- 117.** Die Einzelsteckdosen müssen parallel geschaltet sein, weil sonst nur Strom fließen könnte, wenn alle drei Dosen „besetzt“ sind. Außerdem würde dann ein größerer Widerstand (etwa Radiowecker) den Stromfluss in einem kleineren Widerstand (etwa Heizlüfter) an der anderen Einzeldose begrenzen, sodass dieses Gerät nicht zu betreiben wäre.
- 118.** a) Die Spannung fällt an den in Reihe geschalteten Lämpchen in 23 gleichen Portionen nach und nach ab, folglich besitzt ein Einzellämpchen die Betriebsspannung 10 V.
b) Bei dieser Reihenschaltung erlischt dann die ganze Lichterkette und die volle Netzspannung von 230 V liegt an der defekten Birne an.

119. Wegen $R = \frac{U}{I}$ ist $I = \frac{U}{R} = \frac{2,0 \text{ V}}{5,0 \Omega} = 0,40 \text{ A}$.

120. Es gilt: $R = \frac{U}{I} = \frac{12,0 \text{ V}}{6,0 \text{ A}} = 2,0 \Omega$

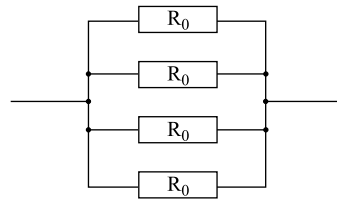
121. Wegen $R = \frac{U}{I}$ ist $U = R \cdot I = 100 \Omega \cdot 2,0 \text{ A} = 200 \text{ V}$.

122. a) Den größtmöglichen Widerstand erhält man durch eine reine Serienschaltung der Einzelwiderstände R_0 .

$$R_S = 4 \cdot R_0$$


- b) Den kleinstmöglichen Widerstand erhält man durch eine reine Parallelschaltung der Einzelwiderstände R_0 .

$$\frac{1}{R_P} = \frac{4}{R_0} \Rightarrow R_P = \frac{1}{4} \cdot R_0$$



123. Systematische Kombination der drei Einzelwiderstände $R_0 = 8 \Omega$ führt zu folgenden **vier** Schaltmöglichkeiten.

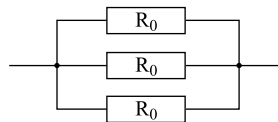
- Reine Serienschaltung:

$$R_1 = 3 \cdot R_0 = 3 \cdot 8 \Omega = 24 \Omega$$


- Reine Parallelschaltung:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{3}{R_0}$$

$$\Leftrightarrow R_2 = \frac{R_0}{3} = \frac{8}{3} \Omega$$



- Serienschaltung von R_0 mit einer Parallelschaltung:

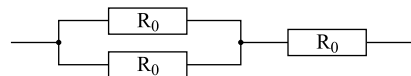
$$\frac{1}{R_{\text{links}}} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{2}{R_0}$$

$$\Leftrightarrow R_{\text{links}} = \frac{R_0}{2}$$

$$R_3 = R_{\text{links}} + R_0$$

$$= \frac{R_0}{2} + R_0 = 1,5 \cdot R_0$$

$$= 1,5 \cdot 8 \Omega = 12 \Omega$$





© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH
ist urheberrechtlich international geschützt.
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung
des Rechteinhabers in irgendeiner Form
verwertet werden.

STARK