

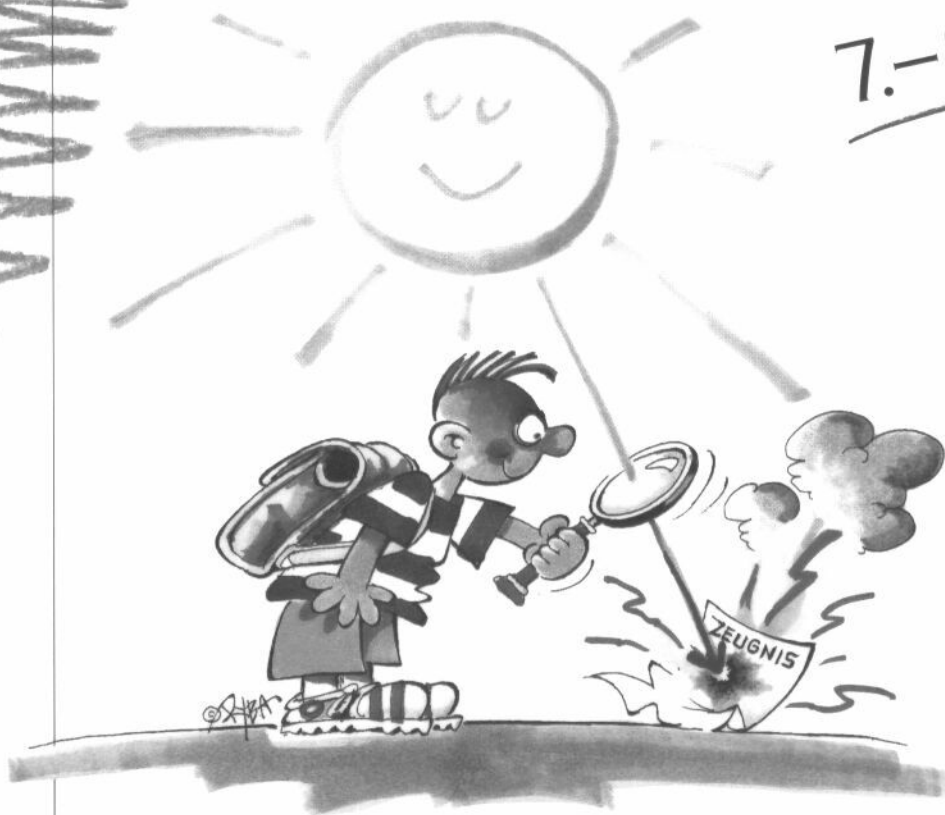
Alexander Simon/Martin Sumbert

BELTZ Lern-Trainer

Physik

Optik und Wärmelehre

7.-9. Klasse



€
Lernteam
ENDRES

Einleitung

Hallo!

Gestatten, mein Name ist Clever. Bist du auch einer von den vielen Schülerinnen und Schülern, die einfach keinen Draht zur Physik bekommen? Ist für dich der Physikunterricht ein Buch mit sieben Siegeln? Dann bist du hier genau richtig. Dieses Buch soll keine Siegel haben. Vielmehr soll es dir den Zugang zu zwei Teilgebieten der Physik öffnen: Optik und Wärmelehre. Dabei wirst du häufig Gelegenheit haben ohne viel zu rechnen, die Dinge selbst auszuprobieren.



Laß dir mit dem Lesen ruhig Zeit. Das Buch ist in dreizehn Kapitel aufgeteilt. Wenn du dir täglich eines vornimmst, hast du in zwei Wochen für den Physikunterricht die Grundlagen in Optik und Wärmelehre gelegt. Bevor du aber mit einem Kapitel beginnst, solltest du dich etwas aufwärmen. Nicht, daß du nun täglich Gymnastikübungen machen sollst. Nein, als kurzes Aufwärmprogramm erzähle ich dir am Anfang eines jeden Kapitels eine Episode aus einer kleinen Geschichte. Die Geschichte zieht sich durch das ganze Buch hindurch. Am Ende eines jeden Kapitels findest du schließlich das A-Feld. Wenn du dort einen Aufkleber einklebst, sollst du dich daran erinnern, daß Pausen genauso zum Lernen gehören wie konzentriertes Arbeiten. Dann hast du nämlich eine große Pause verdient.

Bist du nun bereit voll einzusteigen? Dann laß uns mit der Optik beginnen.

Viele Phänomene aus der Optik will ich dir mit Versuchen zeigen, die du zu Hause ohne großen Aufwand durchführen kannst. Du brauchst dazu nur eine **Taschenlampe**, eine **Kerze**, ein weißes Blatt **Papier**, einen Taschenspiegel und bei den letzten Experimenten noch eine Lupe (falls du keine hast, frage einfach einen Briefmarkensammler in deinem Bekanntenkreis).

Außerdem will ich dir ein paar optische Zaubereien zeigen, mit denen du deine Freunde, Geschwister oder Eltern leicht verblüffen kannst. Wenn du Lust hast, kannst du dir auch eine einfache Lochkamera bauen, mit der du dann experimentieren kannst. Eine Bauanleitung dazu findest du im dritten Kapitel. Wenn du nun die obigen Dinge besorgst, damit du sie in den folgenden Kapiteln immer schnell zur Hand hast, hast du für heute genug getan.



Das A-Feld



Anhalten

Immer, wenn du an ein solches Feld kommst, ist es Zeit, anzuhalten und über das Gelesene oder Geübte kurz nachzudenken.

Auswählen

Im Buch findest du eine große Auswahl an Merksätzen, flotten oder dummen Sprüchen. Such dir einen aus, der dir jetzt im Moment am besten paßt.

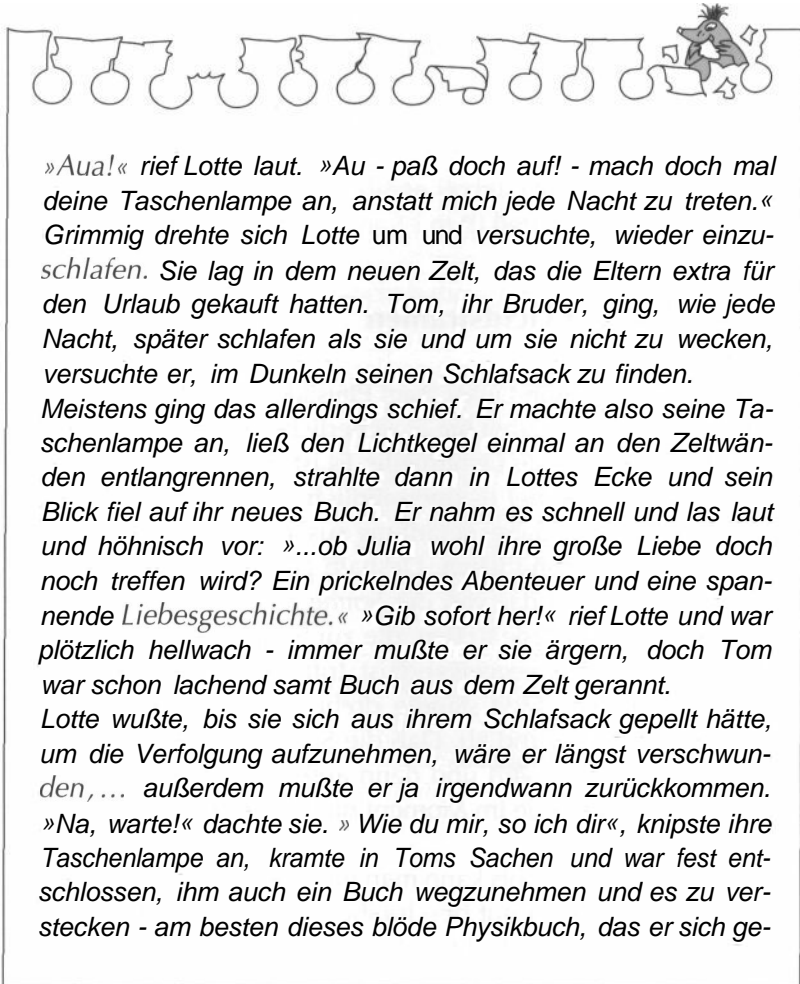
Aufhören

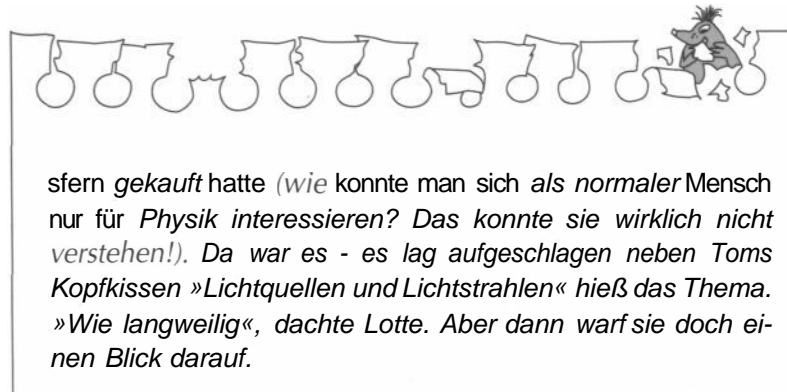
Dann hast du auch genug geschafft. Du weißt ja, wer allzu-große Schritte macht, läuft auch Gefahr, daß ihm schnell die Puste ausgeht.

Aufkleben

Zu guter Letzt klebst du den ausgesuchten Aufkleber in dieses Feld - als Belohnung sozusagen. Mit der Zeit entsteht auf diese Weise dein ganz persönlicher Lern-Trainer.

Erstes Kapitel Lichtquellen und Lichtstrahlen





sfern gekauft hatte (wie konnte man sich als normaler Mensch nur für Physik interessieren? Das konnte sie wirklich nicht verstehen!). Da war es - es lag aufgeschlagen neben Toms Kopfkissen »Lichtquellen und Lichtstrahlen« hieß das Thema. »Wie langweilig«, dachte Lotte. Aber dann warf sie doch einen Blick darauf.

Lichtquellen und Lichtstrahlen

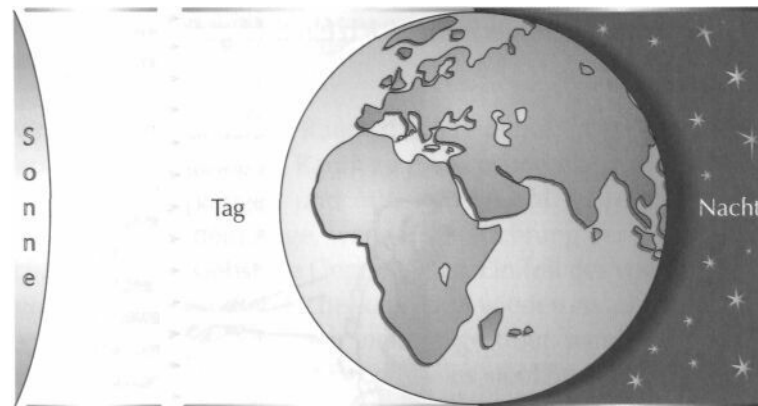
»Ohne Lichtquelle kein Licht«, sagt Physiklehrer Zweistein immer seinen Schülern und damit hat er sicherlich recht. Wahrscheinlich kennst du die wichtigste Lichtquelle: Es ist die Sonne. Sie erzeugt ständig Licht und sendet es unermüdlich in alle Richtungen aus. Das Licht breitet sich dabei geradlinig aus, das heißt, es kann nicht um Kurven oder Ecken fliegen. Deshalb gibt es auf der Erde auch Tag und Nacht, denn das von der Sonne ausgesandte Licht kann nur auf die Seite der Erde treffen, die zur Sonne zeigt. Auf die Seite, die von der Sonne weggewandt ist, trifft kein Licht und es bleibt dunkel. Da sich die Erde ständig dreht, wechseln sich Tag und Nacht bei uns andauernd ab. Daß die Sonne in vielen Milliarden Jahren doch »müde« wird und dann aufhört, Licht auszusenden braucht uns auf der Erde im Moment nicht zu stören.

Die Ausbreitung des Lichts kann man mit Hilfe von geraden Linien, den Lichtstrahlen sehr gut beschreiben. Die Lichtstrahlen beginnen an einem Punkt der Lichtquelle und verlaufen geradlinig weiter bis sie an irgendeinem Körper enden.

Zur Entstehung von Tag und Nacht kannst du selbst ein kleines Experiment machen: Du nimmst eine Kerze und zündest sie in einem abgedunkelten Raum an. Die **brennende** Kerze stellt die Sonne dar. Als Erde nimmst du einfach einen Tennisball. Du siehst **dann**, daß die eine Seite des Tennisballs hell ist und die andere dunkel. Wenn du den Ball noch **drehst**, werden immer wieder verschiedene Stellen des Balls beleuchtet. Es entsteht Tag und Nacht auf dem Ball. Sogar die Dämmerung kannst du damit erklären.

Übrigens: Wenn man die Größenverhältnisse im Weltall richtig darstellen **will** müßte man das folgende Modell bauen: Eine Sonne mit 22 cm Durchmesser (z.B. Fußball), eine Erde mit 2 mm Durchmesser (z.B. eine sehr kleine Perle). Der Abstand von Sonne und Erde müßte dann ungefähr 24 m (!) betragen.

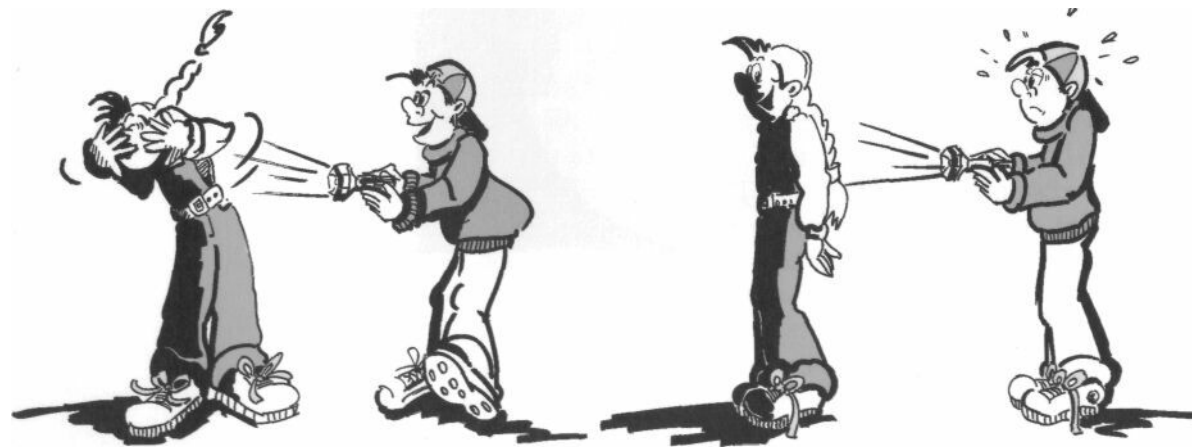
Zur Erklärung von Tag und Nacht habe ich für dich eine Zeichnung gemacht:



Lichtstrahlen von der Sonne

Außer der Sonne gibt es noch eine ganze Reihe anderer Lichtquellen: Feuer, Kerze, Petroleumlampe, Gaslampe, Glühlampe, Leuchtstoffröhre, Laser, Glühwürmchen ... Alle Lichtquellen senden Licht in verschiedene Richtungen aus. Wenn du eine Kerzenflamme siehst, so liegt das daran, daß von der Flamme Licht in alle Richtungen gesendet wird. Das Licht, das in die Richtung deiner Augen gesendet wird, gelangt in dein Auge und du siehst die Flamme. Selbst wenn du von der Flamme wegschaust, sendet sie Licht in deine Richtung aus, allerdings gelangt das Licht dann nicht in deine Augen. Es trifft zum Beispiel auf deinen Hinterkopf, und im Hinterkopf hast du nun mal keine Augen, die dieses Licht wahrnehmen. Folglich siehst du die Kerzenflamme auch nicht. Logisch, oder?

Eine Lichtquelle siehst du also nur, wenn das von ihr ausgehende Licht in dein Auge gelangt. Du kannst dir die Lichtquelle als Sender von Licht vorstellen und dein Auge als Empfänger von Licht. Nur wenn dein Auge Licht aus der Lichtquelle empfängt, siehst du die Lichtquelle. Auch hierzu habe ich ein Bild gemacht:



Damit ist erst einmal geklärt, wie du Lichtquellen siehst. Wenn wir aber nur Lichtquellen sehen könnten, wäre das eine ziemlich geisttötende Sache. Stell dir vor, du gehst an einem sonnigen Tag spazieren und siehst außer der Sonne gar nichts. Warum kannst du auch Gegenstände sehen, die nicht von selbst leuchten?

Wenn du in einem stockfinsternen Raum bist und ein Streichholz bei dir hast, kannst du erst mal gar nichts sehen. Erst wenn du das Streichholz angezündet hast, kannst du verschiedene Gegenstände im Raum erkennen. Ohne Lichtquelle kannst du nicht einmal deine eigene Hand vor den Augen sehen. Erst wenn eine Lichtquelle vorhanden ist, kannst du Gegenstände, die nicht selbst leuchten, sehen. Wie kann man das erklären? Hast du schon eine Idee?

Wenn auf einen Gegenstand Licht trifft, so sendet der Gegenstand selbst Licht in alle Richtungen aus. Gegenstände, die nicht von selbst leuchten, kannst du dir also als Zwischensender von Licht vorstellen. Wenn sie Licht empfangen, senden sie es in alle möglichen Richtungen weiter. Das nennt man in der Physik auch Streuung von Licht.

Wird im abgedunkelten Raum das Streichholz angezündet, werden die Gegenstände im Raum zu Zwischensendern, die Licht vom Streichholz empfangen und nun selbst Licht aussenden. Dieses Licht gelangt in dein Auge, wenn du in Richtung der Gegenstände schaust, und du siehst die Gegenstände. Ein Teil des von einem Gegenstand ausgesandten Lichts kann nun wiederum auf einen anderen Körper treffen und von neuem gestreut werden. Geht das Streichholz wieder aus, ist wieder alles stockfinster und du siehst gar nichts mehr. Ein Zwischensender kann also nur dann Licht aussenden, wenn er selbst Licht empfängt. In dem Bild auf der folgenden Seite ist die Maus Zwischensender von Licht.



Extra

Was ist eigentlich ein Lichtjahr?

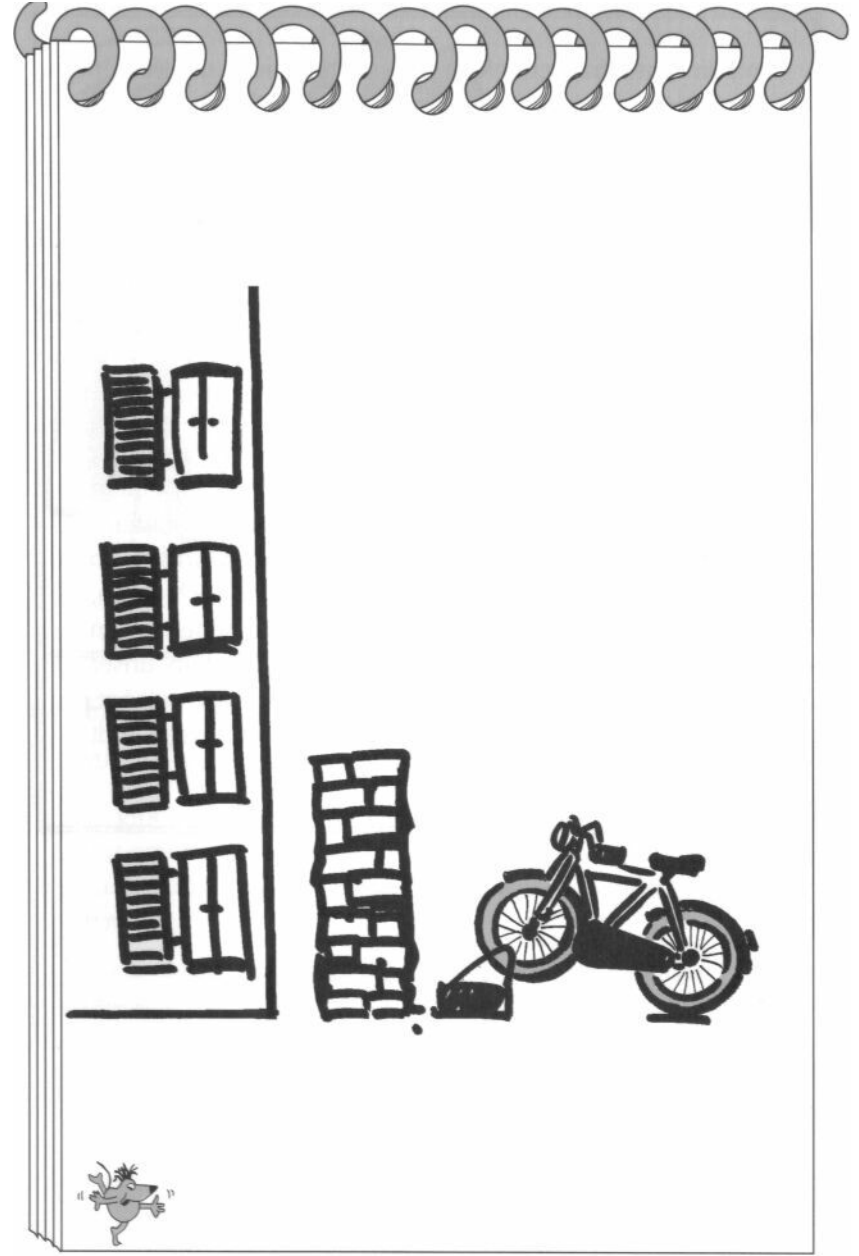
Es gibt viele Sterne am Himmel, die viele Lichtjahre von uns entfernt sind. Unter einem Lichtjahr versteht man eine ganz bestimmte Entfernung. Aber wie groß ist diese Entfernung?

Dazu mußt du wissen, daß das Licht eine gewisse Zeit braucht, um von einem Ort zum anderen zu kommen. Wenn man z.B. mit einem Laser Licht zum Mond schickt, braucht es etwas länger als eine Sekunde bis es dort ankommt. Das Licht legt in einer Sekunde ungefähr 300000 km zurück. Es breitet sich also mit einer Geschwindigkeit von ungefähr $300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ aus und ist so-

mit unvorstellbar schnell. Wenn das Licht auch um Kurven fliegen könnte, so könnte es in einer Sekunde die Erde siebeneinhalbmals umkreisen. Von der Sonne zur Erde braucht das Licht ungefähr acht Minuten. Würde die Sonne plötzlich kein Licht mehr aussenden, dann würde es erst acht Minuten später auf der Erde dunkel werden.

Ein Lichtjahr ist nun die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Das sind ungefähr neun Billionen Kilometer (eine neun mit zwölf Nullen dahinter!).

Wenn du einmal nachts den Sternenhimmel betrachtest, könnte es sein, daß du einen Stern siehst, den es heute gar nicht mehr gibt! Wie das möglich ist, will dir an einem Beispiel erklären: Ist der Stern zum Beispiel 100 Lichtjahre von uns entfernt und vor 90 Jahren verschwunden, so sehen wir ihn noch 10 Jahre lang. Erinnerst du dich daran, was du in diesem Kapitel gelesen hast? Wir sehen einen Körper, wenn das von ihm ausgesandte Licht in unser Auge gelangt. Das Licht, das heute in unser Auge gelangt, wurde vom Stern aber schon vor 100 Jahren ausgesandt und damals existierte er ja noch.



Aufgaben

1. Stelle dich heute abend nach Einbruch der Dunkelheit an ein offenes Fenster und leuchte mit deiner Taschenlampe in den Himmel. Warum siehst du das von der Taschenlampe ausgesendete Licht nicht?
Wenn du nun einen dreckigen Staubklappen vor der Taschenlampe ausschüttelst, siehst du einen Lichtkegel. Woran liegt das? (Übrigens würdest du diesen Lichtkegel auch bei Nebel sehen.)
2. Physiklehrer Zweistein hat sein Fahrrad vor der Schule abgestellt. Da seine Schüler ihm in letzter Zeit manchmal die Luft aus dem Reifen lassen, möchte er seinen Drahtesel im Auge behalten. Durch welche Fenster der Schule (siehe Abbildung auf Seite 18) kann er das Fahrrad sehen?
3. Woher kommt das Licht das es dir ermöglicht, diese Aufgabe zu lesen?
4. Hast du eine Idee, was man unter indirekter Beleuchtung versteht?
Kleiner Tip: Es hat etwas mit Zwischensendern zu tun.



Für heute haben wir die Optik genügend beleuchtet. Es wird wieder Zeit für einen

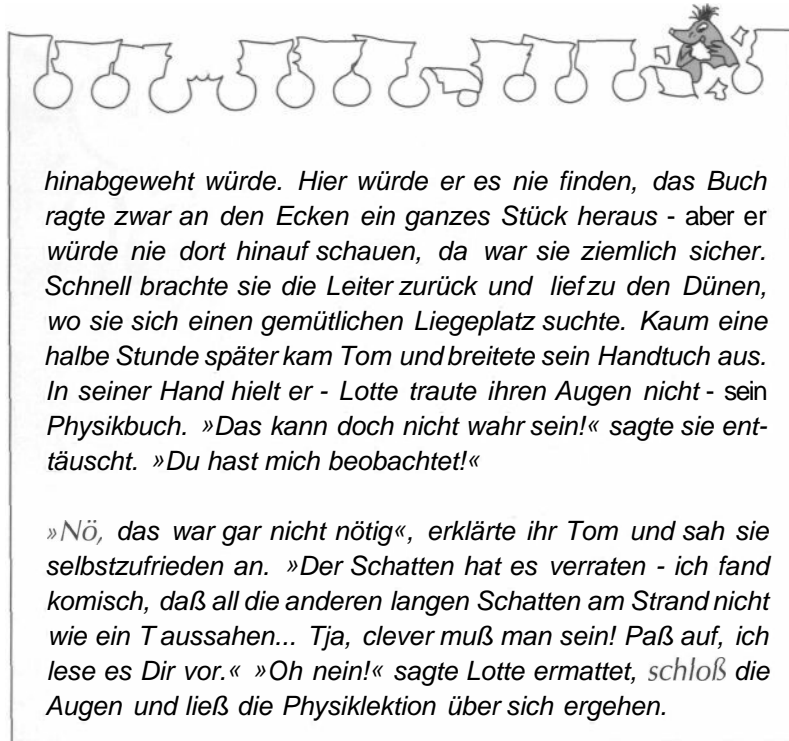


Zweites Kapitel **Entstehung von Schatten**



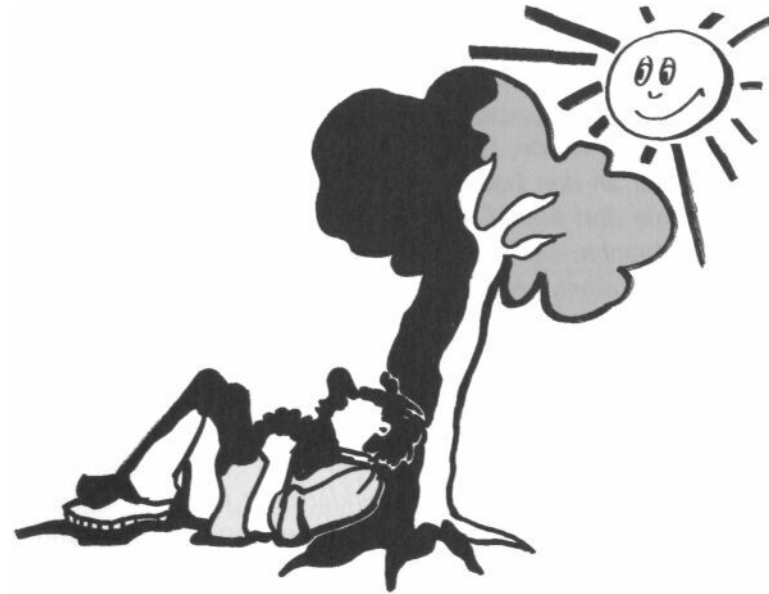
Am nächsten Morgen wachten Tom und Lotte gleichzeitig auf. Draußen war es schon *lange hell* und die Sonne schien. »Endlich«, dachte Lotte. Die letzten drei Tage hatte es nur geregnet, und sie waren mit den Eltern in allen alten Dörfern, Kirchen und Museen der Insel gewesen. »Jetzt beginnt der lustige Teil des Urlaubs«, dachte sie und freute sich auf einen gemütlichen Lesetag am Strand. Doch Tom, der ihre Gedanken zu erraten schien, lächelte sie verschmitzt an. »Wo ist mein Buch?« fragte ihn Lotte. Tom zuckte grinsend die Schultern, wurschtelte sich aus seinem Schlafsack und ging zu den Eltern frühstücken. Lotte faßte einen Plan, der sollte sich wundern, so schnell würde der sein Physikbuch nicht wiederfinden. Sie wickelte das Buch in ihr Handtuch und verließ ungesehen das Zelt.

Und jetzt? Wo konnte sie es verstecken? Lotte lief zum Strand und überlegte. In den Sand vergraben? Nein, womöglich würde sie es dann selbst nie wiederfinden. Da hatte sie eine Idee. Sie ging zu einem der hohen Holzpfeiler, von denen sowieso niemand wußte, für was sie gut waren, besorgte sich bei dem netten Bootsverleiher eine Leiter, kletterte nach oben und legte das Buch als eine Art Dach oben drauf. Dann nahm sie eine Schnur und band es fest, damit es nicht vom Wind

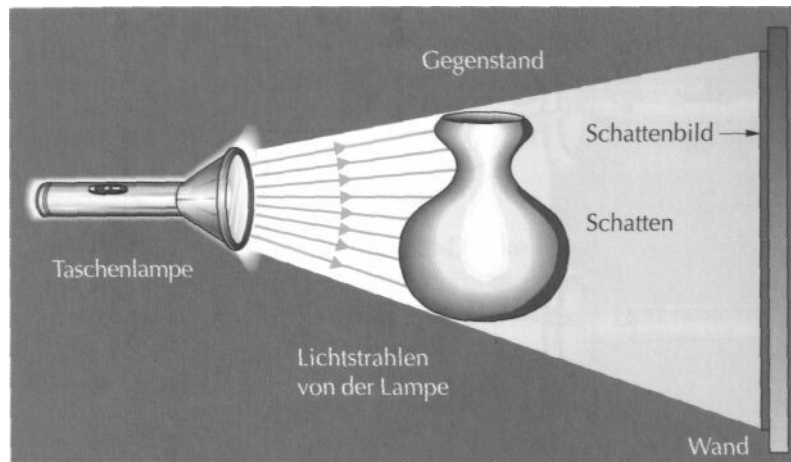


Entstehung von Schatten

Im Sommer, wenn die Sonne brennt und es unheimlich heiß ist, lieben die meisten Menschen ein schattiges Plätzchen: zum Beispiel unter einem Baum. Dort brennt einem die Sonne nicht so sehr auf den Kopf. Woran liegt das? Die Lichtstrahlen von der Sonne treffen dich nicht mehr **direkt**, sondern enden an den Blättern des Baumes. **Trotzdem** ist es im Schatten nicht **dunkel**, denn die **Zwischen-sender** um dich **herum**, die vom Licht der Sonne getroffen werden, **senden** nun selbst Licht **aus**, das in dein Auge gelangt. Das Licht der Sonne kommt über einen Umweg, also **indirekt**, zu dir. So kannst du es im Schatten ganz gut aushaken. Auch Physiklehrer Zweistein bevorzugt im Sommer ein schattiges Plätzchen, wie du auf dem folgenden Bild sehen kannst.



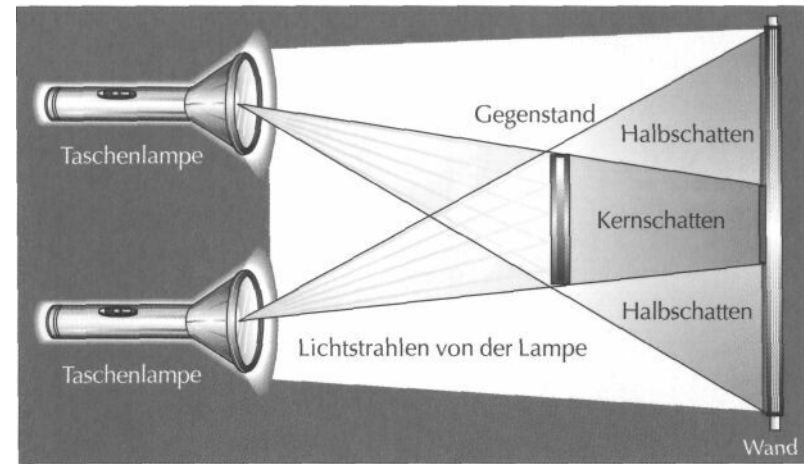
Du kannst auch zu Hause Schattenspiele machen: Dazu legst du eine Taschenlampe an den Rand eines Tisches (oder du stellst eine Kerze auf einen Tisch) und beleuchtest damit eine möglichst helle Wand. Nun kannst du mit deiner Hand (oder anderen Dingen) Schattenspiele an der Wand machen. Das Bild deiner Hand, das dabei auf der Wand zu sehen ist, nennt man das Schattenbild. Beobachte einmal, wie sich das Schattenbild **verändert**, wenn du die Entfernung zwischen deiner Hand und der Lichtquelle änderst. Je näher du zur Lichtquelle kommst, desto größer wird das Schattenbild. **Mit** der Zeichnung auf der gegenüberliegenden Seite kann ich dir die Entstehung eines Schattenbildes schnell erklären:



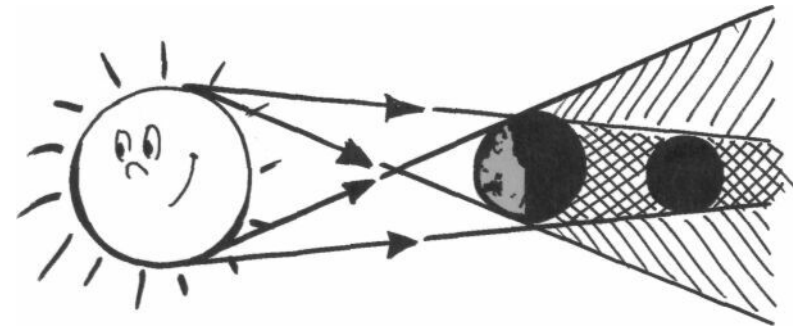
Der Schatten ist der Bereich, in den das Licht nicht direkt gelangt.

Wenn du das gleiche Experiment mit zwei nebeneinander liegenden Taschenlampen (oder zwei nebeneinander stehenden Kerzen) machst, wirst du den Unterschied zwischen Halb- und Kernschatten erkennen. Wenn du z.B. ein Taschenbuch einen halben Meter von den beiden Lampen weg hältst, erkennst du verschiedene Schattenbereiche an der Wand. Einen dunklen Teil in der Mitte und zwei etwas hellere Teile rechts und links davon. Wenn du die Taschenlampen oder Kerzen immer weiter auseinander ziehst, wird der dunkle Bereich in der Mitte immer schmaler, bis er schließlich ganz verschwindet. Die helleren Bereiche werden breiter und gehen schließlich auseinander.

Wie du auf dem Bild der nächsten Seite sehen kannst, ist die Erklärung gar nicht so schwer: Die beiden helleren Teile sind die Halbschatten. Der Teil in der Mitte ist der Kernschatten. Der Kernschatten ist der Bereich, der im Schatten beider Lampen liegt, die Halbschatten liegen nur im Schatten von einer Lampe. Du kannst das ausprobieren, wenn du eine der Taschenlampen (oder Kerze) ausmachst und schaust, welcher Schatten übrigbleibt.



Hast du schon einmal eine Mondfinsternis gesehen? Das ist ein echt interessantes Spektakel, das ich hier gar nicht näher beschreiben will. Nur soviel wird verraten: Der Mond verschwindet für eine Zeit und taucht dann wieder auf. Du solltest es aber auch mal selbst sehen. Das Entstehen einer solchen Mondfinsternis hat auch etwas mit Schatten zu tun! Der Mond sendet nämlich nur dann Licht aus, wenn er von der Sonne Licht empfängt. Er ist nur ein Zwischensender von Licht. Wenn er kein Licht mehr von der Sonne empfängt, sendet er auch keines mehr aus und wir sehen ihn nicht mehr. Gelangt der Mond nun in den Kernschatten der Erde, empfängt er kein Licht mehr, sendet deshalb auch keines mehr aus, und wir können ihn nicht mehr sehen. Wir haben eine Mondfinsternis!

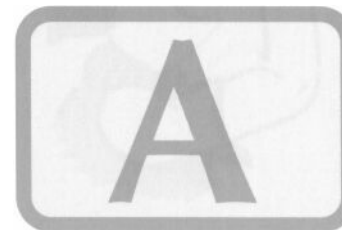


Aufgaben

1. Warst du schon einmal bei Dunkelheit in einem Sportstadion? Der Platz, auf dem die Sportler ordentlich schwitzen, ist hell erleuchtet. Das Licht kommt dabei von mehreren Lichtmasten. Warum haben die Sportler im Stadion dann mehrere Schatten?
2. Harry Hecht macht nach einem anstrengenden Tag in der Schule (die Klasse 8b war am Morgen wieder besonders schlimm) einen kleinen Abendspaziergang. Nachdem er unter einer Straßenlampe durchgelaufen ist, merkt er, daß sein Schatten immer länger wird. Hast du eine Erklärung dafür? (Vielleicht hilft dir eine kleine Zeichnung weiter.)
3. Wenn ein Schatten sich bewegt, kann das zwei verschiedene Ursachen haben. Die erste verrate ich: Der Gegenstand, der den Schatten wirft, bewegt sich und damit auch sein Schatten. Und die zweite mögliche Ursache? (Wenn du keine Idee hast, kannst du in einem dunklen Raum mit einer Taschenlampe und irgendeinem Gegenstand einmal daran tüfteln.)



Eigentlich ist es jetzt an der Zeit, einen Spruch fürs A-Feld auszusuchen und dann ein gemütliches, schattiges Plätzchen aufzusuchen.



Drittes Kapitel Eine geheimnisvolle Kamera



Als es am nächsten Tag schon wieder regnete, ging Tom in das Schreibwarengeschäft, kaufte sich Tonpapier, Uhu und Schere und verzog sich damit in sein Zelt. »Was machst du?« fragte ihn Lotte neugierig. »Ich bastle mir eine Kamera!« »Ach so, ja klar, natürlich - ich wollte mir heute auch einen CD-Player basteln«, sagte Lotte und verzog ihr Gesicht. »Jetzt spinnt er total«, murmelte sie noch vor sich hin, dann zog sie es vor, mit ihren Eltern im Wohnwagen Karten zu spielen.

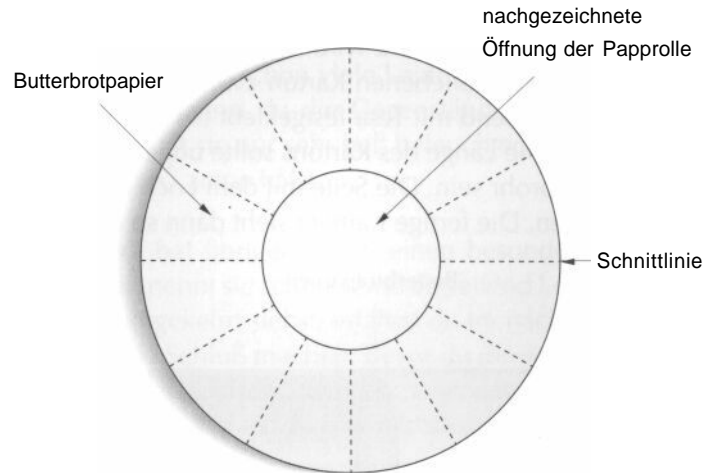
Eine geheimnisvolle Kamera

Hast du Lust heute einmal zu basteln? Ich kann dir garantieren, daß sich die (geringe) Mühe bestimmt lohnen wird.

Also los geht es: Nimm Schere, Klebstoff, Tesa, etwas schwarzen Karton (er muß leicht zu biegen sein und darf kein Licht durchlassen), Butterbrotpapier und eine Papprolle (am besten eine leere Klopapierrolle). Damit kannst du eine echt merkwürdige Kamera bauen, mit der du verblüffende Entdeckungen machen wirst.

Hast du alles gerichtet? Dann können wir ja starten! In drei Schritten sind wir am Ziel:

7. *Schritt:* Du nimmst das Butterbrotpapier und schneidest einen Kreis *aus*, der ungefähr doppelt so groß ist wie die Öffnung der Papprolle. Danach legst du die Papprolle mit einer Öffnung nach unten auf die Mitte des Kreises und zeichnest mit einem Stift die Öffnung auf dem Papier nach. Das Butterbrotpapier sieht dann so aus:



An den gestrichelten Linien *mußt* du noch mit der Schere bis zu dem gezeichneten Kreis einschneiden.

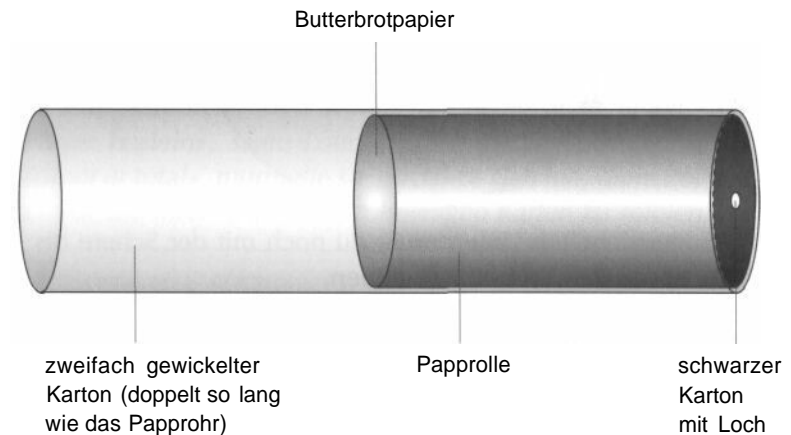
2. *Schritt:* Du bearbeitest den schwarzen Kasten genauso wie das Butterbrotpapier. Danach klebst du ihn so auf das Papprohr, daß die Öffnung des Papprohrs vom schwarzen Kreis bedeckt ist. Die *Streifen*, die beim Einschneiden entstanden *sind*, klebst du mit Klebstoff am Papprohr fest. Wenn du auf Nummer sicher gehen *willst*, kannst du die festgeklebten Streifen noch mit Tesa umwickeln.

Damit die Kamera später auch gut *funktioniert*, *mußt* du nun den Lichttest machen: Halte das Papprohr dicht an dein *Auge*, so daß kein Licht von der Seite eindringen kann. Wenn das Papprohr im Innern ganz dunkel ist, hast du gut gearbeitet. Falls *nicht*, *mußt* du die *Löcher*, durch die noch Licht *eindringt*, ausbessern.



Wenn du nun dasselbe mit dem Butterbrotpapier und der anderen Öffnung des Papprohrs machst, bist du schon fast fertig. (Der Lichttest entfällt hierbei.)

3. *Schritt:* Du mußt nun in die Mitte des schwarzen Kartons ein Loch mit 2 mm Durchmesser stechen (z.B. mit einem Bleistift, den du vorsichtig in den Karton hineinstichst, bis die Öffnung groß genug ist). Die fast fertige Kamera wird nun mit einem rechteckigen Stück von dem übriggebliebenen Karton zweimal umwickelt und der Karton anschließend mit Tesa festgeklebt (so daß er sich nicht wieder aufrollt!). Die Länge des Kartons sollte ungefähr doppelt so lang wie das Papprohr sein. Die Seite mit dem Loch im schwarzen Karton liegt außen. Die fertige Kamera sieht dann so aus:



Damit kannst du nun an einem hellen, sonnigen Tag interessante Beobachtungen machen. Es darf dabei kein Licht von der Seite in dein Auge fallen. Dazu kannst du wieder den Lichttest machen: Halte die kleine Öffnung, die du gemacht hast, mit einem Finger zu und halte deine Kamera fest an dein Auge. Jetzt muß es völlig dunkel sein. Wenn du nun den Finger wegnimmst, kannst du verschiedene sehr helle Gegenstände betrachten. Siehst du sie alle auf dem Kopf? Das braucht dich nicht zu wundern! Du hast dieselbe Erkenntnis gemacht wie schon viele Leute vor dir! Falls du schlechtes Wetter hast, kannst du die Gegenstände auch zu Hause betrachten. Du mußt sie nur sehr hell beleuchten, indem du sie z. B. direkt unter eine Lampe halst.

Deine Kamera hat übrigens auch einen besonderen Namen bekommen: Man nennt sie schlicht und ergreifend Lochkamera. Warum du alles umgekehrt siehst, erfährst du im nächsten Kapitel. Für heute kannst du Schluß machen. Bevor du dir noch ein Sprüchlein aussuchst, habe ich noch eine Idee: Wie wäre es, wenn du deine Eltern oder Freunde auch mal durch diese merkwürdige Kamera schauen läßt?



Viertes Kapitel **Abbildungen**



Am nächsten Morgen: Sonnenschein!

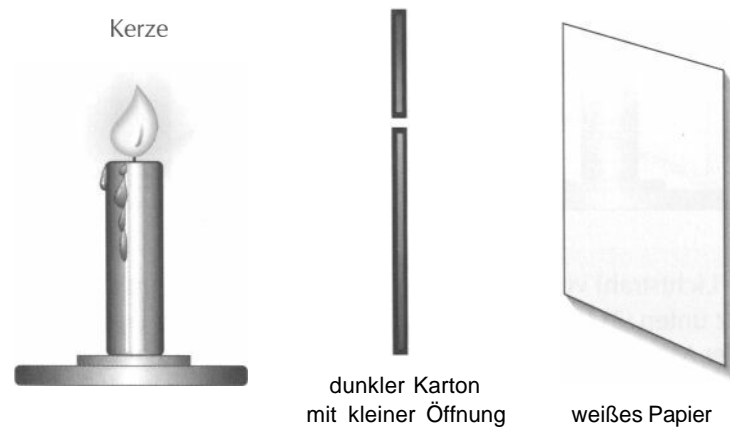
Freudig sprang Lotte auf. Doch dann fiel ihr ein, daß ihr Buch immer noch verschwunden war. »Toomm!« sagte Lotte so lieb und versöhnend sie überhaupt nur konnte. »Tooom, sagst du mir heute, wo mein Buch ist?« »Hmm, mal sehen«, sagte er, » - ich geb' dir einen Tip!« Er drehte sich um und schrieb schnell etwas auf einen weißen Zettel, dann schaute er sich um, als sei es eine geheime Botschaft für den König von Havanna.

Er ging zurück ins Zelt und holte seine Lochkamera. »Hier müssen Sie bitte durchschauen«, sagte er streng und verkniff dabei die Augen wie sein alter Chemielehrer. »jawohl!« gehorchte Lotte sofort und dachte: »Was man nicht alles so tut - na, ja ...«. Sie schaute also durch die Box und war ganz verwundert, als sie tatsächlich etwas sah. Tom hielt den Zettel vor die Kamera. Es war zwar alles verdreht, dennoch konnte sie die Botschaft entschlüsseln. Damit hatte Tom wohl überhaupt nicht gerechnet, denn er schaute sie ganz verdutzt an, als sie sagte: »O.K., danke« und sich auf den Weg machte.

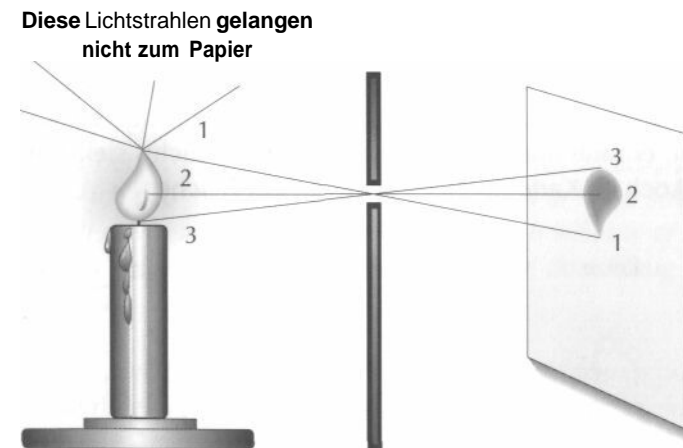
Abbildungen

Na, hattest du Erfolg beim Bau deiner Kamera, oder hat dich der Arbeitsaufwand etwa abgeschreckt? Falls du die Kamera gebaut und an einem sonnigen Tag hindurch geschaut hast, ist dir sicher etwas aufgefallen. Man sieht alles verkehrt herum auf dem Butterbrotpapier. Woran liegt das? Bevor ich dir das erkläre, habe ich für die Nichtbastler noch ein Miniexperiment, das man schnell in einem dunklen Raum ausführen kann.

Du nimmst eine Kerze und stellst sie vor einen Schuhkarton. Nun stichst du mit einem nicht zu dicken Nagel ein Loch in den Schuhkarton (in Höhe des Kerzendochts). Wenn du die Kerze anzündest, den Raum abdunkelst und auf die andere Seite des Kartons ein weißes Blatt Papier hältst, machst du eine Entdeckung. Natürlich kannst du anstatt des Schuhkartons auch einen anderen Karton nehmen, er muß nur groß genug sein. Falls du nichts siehst, mußt du das Loch im Karton einfach etwas größer machen.



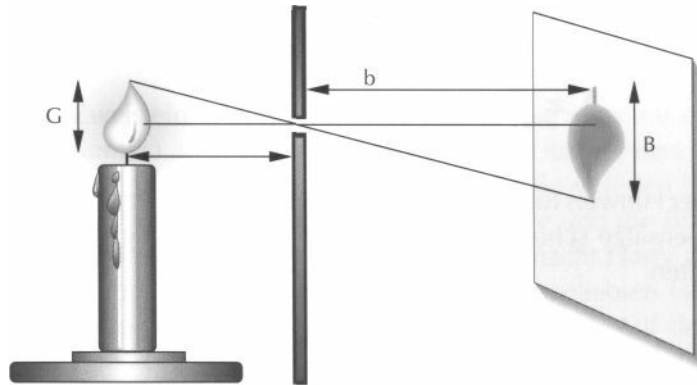
Auf dem Papier erscheint die Kerzenflamme umgekehrt. Wenn sich die Kerzenflamme durch Blasen in eine Richtung **neigt**, dann neigt sie sich auf dem Blatt genau in die entgegengesetzte Richtung. Außerdem kannst du **ausprobieren**, was **passiert**, wenn du das weiße Blatt vom Karton **wegbewegst**: Die Kerzenflamme auf dem Papier wird immer größer. Die Erklärung dieses Phänomens ist mit Hilfe der Lichtstrahlen ganz einfach: Von jedem Punkt der Kerze gehen Lichtstrahlen in alle Richtungen. Aber nur die **Lichtstrahlen**, die durch die kleine Öffnung des Kartons **gehen**, können auch zum weißen Papier gelangen und dort ein Bild erzeugen. Ich habe dir mal den Weg von drei Lichtstrahlen aufgezeichnet:



Der Lichtstrahl von ganz oben (1) landet am Papier **unten**, der von ganz unten (3) landet oben und der von der Mitte (2) landet wieder in der Mitte. Deshalb steht die Kerzenflamme auf dem Blatt Papier auf dem Kopf. Die ganzen anderen **Lichtstrahlen**, die nicht durch die Öffnung des Kartons **gehen**, kommen auch nicht am weißen Papier an.

Vielleicht ahnst du auch schon, warum das Bild der Flamme immer größer wird, je weiter man das weiße Blatt weg bewegt. Die Strahlen 1 und 3, die den oberen und unteren Rand der Kerzenflamme bilden, gehen ja immer weiter auseinander. Ach so, fast hätte ich das vergessen: Die Bilder auf dem Butterbrotpapier deiner selbst gebauten Kamera entstehen genauso wie das Bild der Kerzenflamme auf dem weißen Papier. Das Prinzip ist absolut gleich.

Die Größenverhältnisse von echter Flamme (oder irgendeines Gegenstandes) und der Flamme auf dem Papier erhält man, wenn man den Abstand des Gegenstandes von der Öffnung und den Abstand des Bildes von der Öffnung kennt:



- G ist die Größe des Gegenstandes,
- B ist die Bildgröße des Gegenstandes,
- g ist die Entfernung des Gegenstandes von der Öffnung (**Gegenstandsweite**),
- b ist die Entfernung des Bildes von der Öffnung (**Bildweite**).

Für die vier Entfernungen gilt nun das Abbildungsgesetz:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Wenn du *willst*, kannst du bei dieser Gleichung auch Zähler und Nenner vertauschen. Sie gilt immer noch.

$$\frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

Den Abbildungsmaßstab (Abkürzung A) erhältst du, wenn du die Bildgröße durch die Größe des Gegenstandes teilst. Also:

$$A = \frac{B}{G}$$

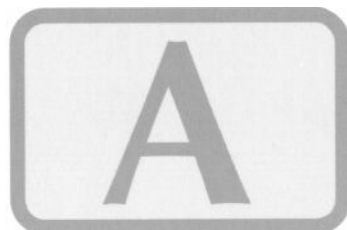
Kleiner Hinweis für Matheprofis: Wer gut in Mathematik ist und die Strahlensätze schon *kennt*, kann sich das Abbildungsgesetz auch herleiten.

Aufgaben

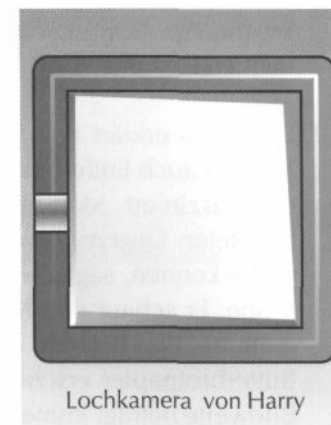
1. Harry Hecht macht eine große Geburtstagsparty. Zur Feier des Tages hat er von Zweistein eine selbstgebaute Lochkamera bekommen. Mit dieser geht Harry sofort nach draußen und experimentiert. Als erstes schaut er sein Haus durch die Kamera an. Es hat auf dem Butterbrotpapier eine Bildgröße von 5 cm. Der Abstand vom Butterbrotpapier zur Öffnung (Bildweite) beträgt 10 cm. Wie hoch ist Harrys Haus, wenn er neun Meter vom Haus entfernt ist?
2. Zweistein erklärt nun Harry Hecht, wie man mit der Kamera auch Entfernungen bestimmen kann. Harry ist total fasziniert. Man muß nur die Größe von den betrachteten Gegenständen, die Bildweite und die Bildgröße kennen, sagt Zweistein. Sofort macht Harry die Probe. Er schaut den Kirchturm seines geliebten Heimatortes durch seine »Wunderkamera« an. Auf dem Butterbrotpapier erscheint die Kirche 6 cm groß. Die Bildweite beträgt immer noch 10 cm. Wie weit entfernt vom Kirchturm wohnt Harry, wenn der Kirchturm 60 m hoch ist?
3. Wie groß ist der Abbildungsmaßstab in Aufgabe 1 und 2?



So, Schluß für heute!
Such dir einen
Aufkleber, drück ihn
aufs A-Feld und leg
das Buch weg.



4. Die Gäste sind von Harrys Experimentiererei schon etwas genervt und zünden schon mal die drei Kerzen auf seinem Geburtstagskuchen an (Harry möchte auf keinen Fall so viele Kerzen wie es seinem Alter entsprechen würde). Voll im Experimentierfieber schaut Harry auch noch die Kerzen durch seine Kamera an. Wo sieht er die Kerzen in seiner Lochkamera?



Lochkamera von Harry



Lösungen auf Seite 97ff.

Fünftes Kapitel Reflexion



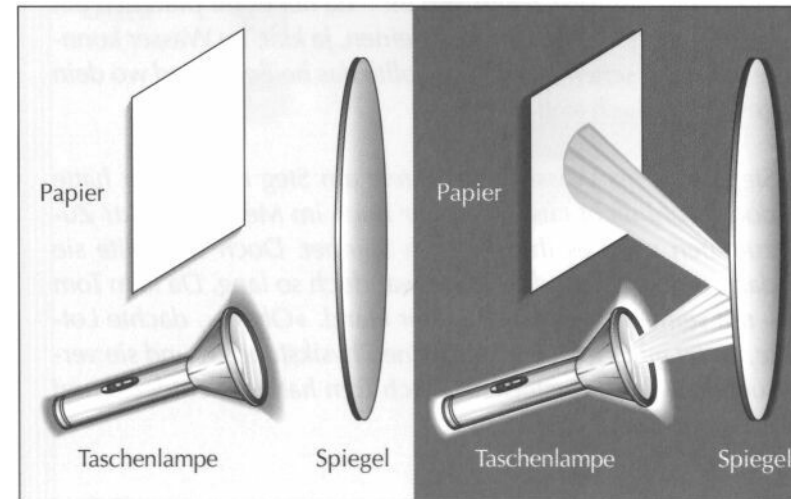
Lotte ging zum *Bootssteg*. Was hatte *geheimnisvolles* auf dem Zettel gestanden? »Gehe dorthin, wo du dich *siehst* und dein gesuchtes Buch sich *bricht*.« Was konnte das nur heißen? Sie hatte einfach so getan, als wüßte sie genau, wo sie zu suchen hatte, aber jetzt war sie doch ziemlich ratlos. Sie setzte sich auf den Steg und überlegte, sie ließ ihre Füße im Wasser baumeln, schaute ins Wasser und sah verschwommen ihr Gesicht, ihre blonden Zöpfe und ihr - da fiel es ihr plötzlich ein - natürlich, er mußte Wasser meinen, ja klar, im Wasser konnte man sich sehen - aber was sollte das heißen: »und wo dein gesuchtes Buch sich bricht«?

Sie sprang ins Wasser und watete am Steg entlang. Er hatte doch wohl nicht tatsächlich ihr Buch im Meer versenkt? Zutrauen wäre es ihm ja, dem Spinner. Doch wo sollte sie dann nur suchen - der Strand war doch so lang. Da kam Tom - mit seinem Physikbuch in der Hand. »Oh, je«, dachte Lotte, »jetzt gibt's gleich wieder eine Physikstunde«, und sie versuchte, sich zu verstecken. Doch Tom hatte sie entdeckt und lief geradewegs auf sie zu.

Reflexion

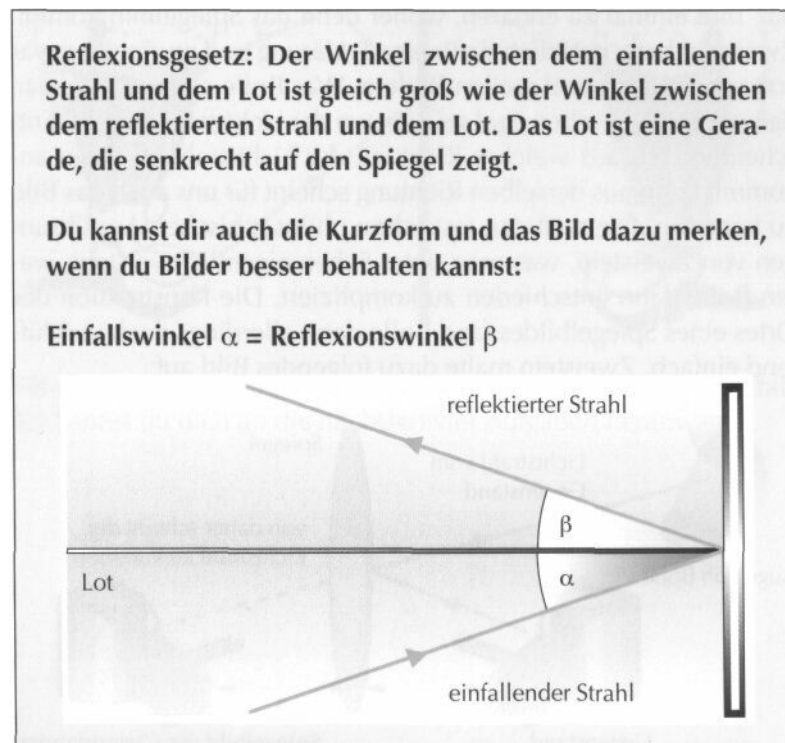
Bolle Bierbauch steht vor seinem Spiegel und betrachtet sich von oben bis unten. Na ja, etwas weniger Gewicht würde ihm wohl schon ganz gut tun, aber beim Essen schmeckt es ihm halt immer besonders gut.

Nun, wir wollen Bolle Bierbauch keinen Tip geben, wie er seine Gewichtsprobleme in den Griff kriegt. Dazu gibt es genügend Zeitschriften, die ihm mit Schlankheitskuren weiterhelfen können. Wir wollen lieber klären, wie das mit dem Spiegelbild von Bolle so funktioniert. Dazu möchte ich dir erst ein kleines Experiment zeigen, das du in einem abgedunkelten Raum zu Hause leicht selbst ausprobieren kannst. Du brauchst nur einen kleinen Spiegel, ein Blatt Papier und eine Taschenlampe. Nun leuchtest du mit der Taschenlampe auf den Spiegel und versuchst, das Blatt Papier so zu halten, daß es von der Taschenlampe über den Spiegel beleuchtet wird. Das könnte dann so aussehen:



Das Bild auf der vorhergehenden Seite zeigt dir, wie die Lichtstrahlen von der Taschenlampe auf das Blatt Papier gelangen. Der Spiegel reflektiert den Lichtstrahl, das heißt, er lenkt ihn in eine ganz bestimmte Richtung um. Der Unterschied zwischen einem Spiegel und einem gewöhnlichen Blatt Papier ist für den Lichtstrahl von der Taschenlampe folgender: Wenn er am Papier ankommt, wird er von neuem in alle möglichen Richtungen ausgesendet. Der Spiegel dagegen lenkt den Lichtstrahl in eine ganz bestimmte Richtung um! Diese Richtung kannst du nun selbst untersuchen, wenn du die Taschenlampe etwas drehst und beobachtest, wie sich der Lichtfleck auf dem Papier bewegt.

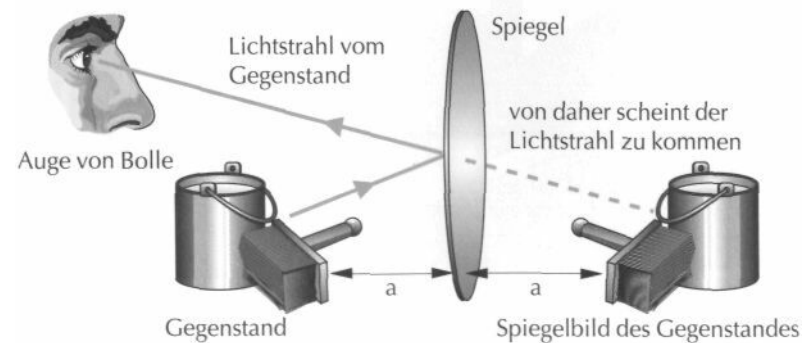
Für die Richtungen des einfallenden und reflektierten Strahls gilt das Reflexionsgesetz.



So, damit wissen wir *genüg*, um zu *klären*, wie ein Spiegelbild zustande kommt. Vorher kannst du aber noch ein paar Spiegelbeobachtungen machen:

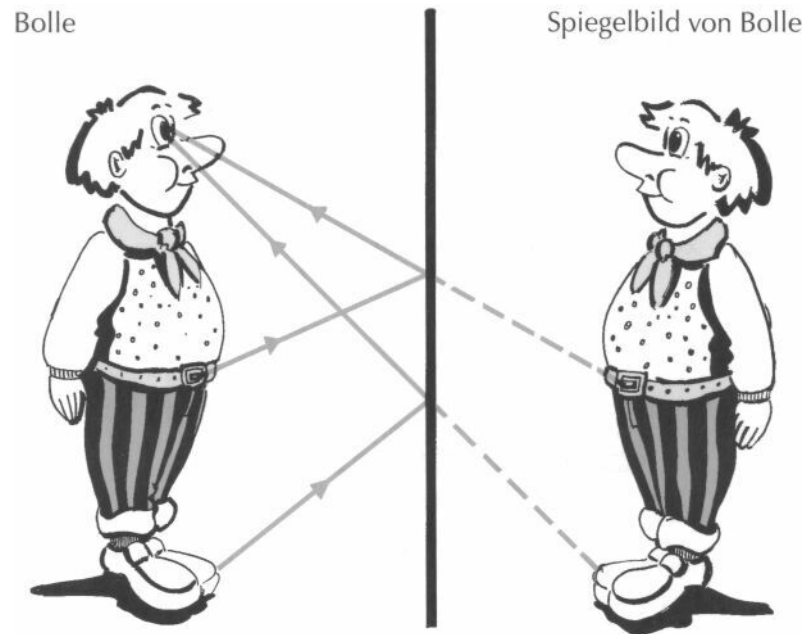
1. Wenn du in einen Spiegel *schaust*, scheint es, als ob sich dein Spiegelbild hinter dem Spiegel befindet. Guckst du jedoch hinter den Spiegel, merkst du *sofort*, daß hinter dem Spiegel gar kein Bild ist.
2. Willst du einen *Text*, den du vor den Spiegel *hältst*, im Spiegel *lesen*, so wird es dir kaum gelingen: Die Schrift erscheint im Spiegel *seitenverkehrt*.
3. Entfernst du dich vom Spiegel, so geht auch dein Spiegelbild immer weiter zurück.

Das wußte auch Bolle Bierbauch, als er seinen Nachbarn Zweistein bat, ihm einmal zu *erklären*, woher denn das Spiegelbild kommt. Zweistein hatte natürlich dafür eine Erklärung und murmelte etwas von scheinbaren und reellen Bildern. Was Bolle einleuchtete *war*, daß es dem Auge eben egal *sei*, von wo der Lichtstrahl losgeht. Entscheidend ist, aus welcher Richtung der Lichtstrahl im Auge *ankommt*, denn aus derselben Richtung scheint für uns auch das Bild zu kommen. Die weiteren fast schon philosophischen Ausführungen von *Zweistein*, was man unter Sehen eigentlich *versteht*, waren Bolle dann entschieden zu kompliziert. Die Konstruktion des Ortes eines Spiegelbildes fand Bolle dann allerdings doch verblüffend einfach. Zweistein malte dazu folgendes Bild auf:



Der Abstand (a) des Gegenstandes vom Spiegel ist dabei genauso groß wie der Abstand des Spiegelbildes vom Spiegel.

Voller Stolz stellt sich nun Bolle vor den Spiegel und denkt sich dazu ein paar Lichtstrahlen, die sein Spiegelbild erzeugen.

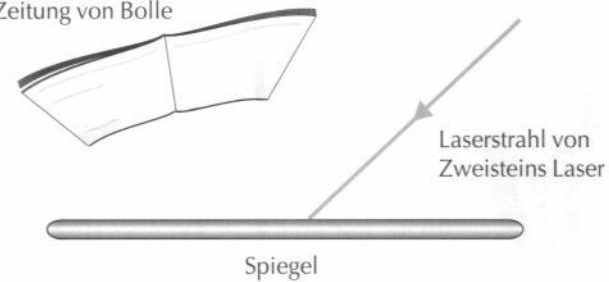


Mit deinem Wissen über das Reflexionsgesetz und die Spiegelbilder kannst du dich an die nächsten vier Aufgaben heranwagen.

Aufgaben

1. Bolle Bierbauch experimentiert mit einem Laser, den er sich von Zweistein übers Wochenende ausgeliehen hat. Als Kenner des Reflexionsgesetzes will er dieses nochmals in der Praxis überprüfen. An welcher Stelle trifft der Laserstrahl auf Bolles Zeitung?

Zeitung von Bolle

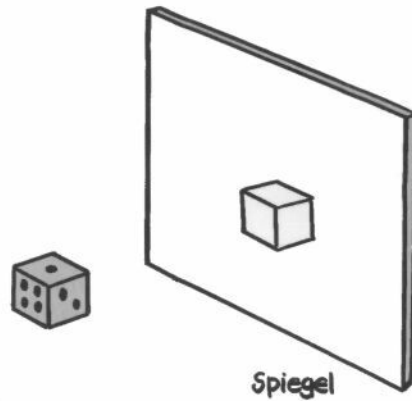


2. Bei der nächsten Zeichnung fehlt leider Bolles Spiegel. Kannst du ihn in der richtigen Lage einzeichnen?

Zeitung von Bolle



3. Harry Hecht hat sich einen neuen Taschenspiegel gekauft und hält voller Stolz einen Würfel davor. Kannst du einzeichnen, welche Augenzahlen im Spiegelbild zu sehen sind?



4. Harry betrachtet sein Gesicht im Spiegel und fragt sich, ob er mehr von sich sehen kann, wenn er sich etwas von dem Spiegel entfernt. Meinst du, daß das funktioniert? Du kannst es ja mal ausprobieren.



Wenn du die nächsten zwei Kapitel noch durcharbeitest, bist du in Optik schon ganz fit.

Wenn du diesen Text in Spiegelschrift lesen hast, dann hast du eine Pause verdient.



Sechstes Kapitel Lichtbrechung



Als Tom Lotte das Kapitel zu Ende vorgelesen hatte, legte er das Buch zur Seite und sah ins Wasser. Plötzlich sprang er auf und rief: »Schau mal da - ein Fisch!«

Er rannte zum Bootshaus und holte eine lange, dünne Holzstange. Lotte vermutete, daß er vorhatte, damit den Fisch zu fangen. »Nie im Leben klappt das!« rief sie. »Du wirst es ja sehen«, sagte Tom und lief mit der Stange in der Hand durchs Wasser. Lotte beobachtete ihn vom Steg aus und tatsächlich - jetzt schien er ihn erwischt zu haben, sie hatte es von oben aus genau gesehen. Doch der Fisch war weg - und plötzlich vermutete Lotte, was es mit der Brechung auf sich hatte.

Toms Holzstange machte da, wo sie ins Wasser kam einen Knick. Ja, klar, das mußte das sein, was Tom mit Brechung gemeint hatte. Während Tom unermüdlich seinem Fisch hinterherlief, blätterte Lotte schnell heimlich in dem Physikbuch, um Genaueres darüber zu erfahren.

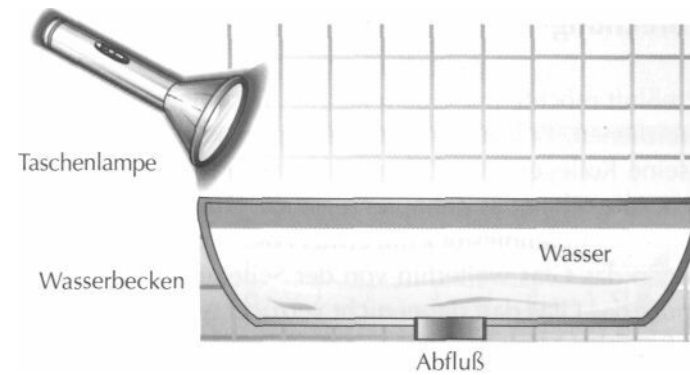
Lichtbrechung

Paul Preßluft möchte mit einem kleinen Trick bei seinen Kollegen Geld verdienen. Er legt ein Zehnpfennigstück unter ein Glas und bittet seine Kollegen, das Zehnpfennigstück von der Seite zu betrachten. Alle sehen das Zehnpfennigstück. Nun behauptet Paul, er könne das Zehnpfennigstück mit etwas Wasser unsichtbar machen, wenn man das Glas weiterhin von der Seite anschaut. Das Geldstück oder das Glas darf dabei nicht verrückt werden. Seine Kollegen wetten eine Mark dagegen.

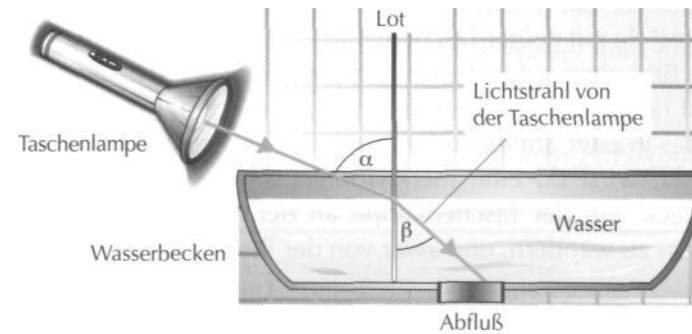
Paul grinst, füllt das Glas mit Wasser und siehe da: Seine Kollegen können die Münze von der Seite nicht mehr sehen (höchstens noch von oben, aber das war ja nicht erlaubt). So kann man auch an Geld kommen, denkt Paul und steckt das Geld mit einem breiten Grinsen ein.

Wenn du Lust hast, kannst auch du diesen kleinen Trick mit deinen Freunden durchführen.

Damit du verstehen kannst, warum das funktioniert, möchte ich dir erst ein kleines Experiment zeigen, das du zu Hause mit einer Taschenlampe an einem Waschbecken leicht ausführen kannst: Zuerst läßt du das Waschbecken mit Wasser voll laufen. Danach leuchtest du mit deiner Taschenlampe von der Seite auf den Abfluß (siehe Bild oben auf Seite 46). Der Lichtfleck von der Taschenlampe auf dem Abfluß sollte dabei möglichst schmal sein. Wenn du nun das Wasser abfließen läßt und die Taschenlampe nicht mehr bewegst, wirst du eine merkwürdige Entdeckung machen. Der Lichtfleck von der Taschenlampe an der Abflußöffnung beginnt langsam zu wandern, und zwar von der Taschenlampe weg!

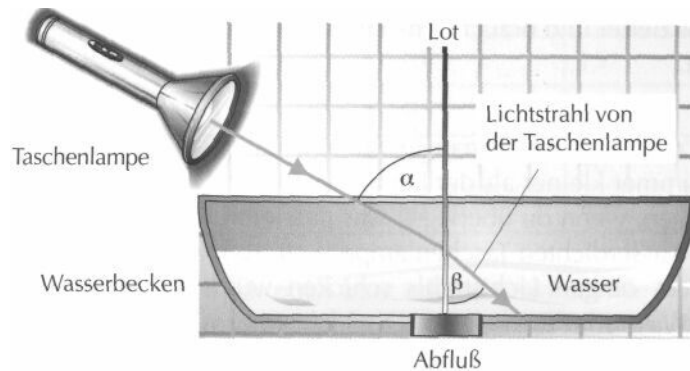


Warum beginnt der Lichtfleck zu wandern, wenn das Wasser abgelassen wird und die Taschenlampe nicht bewegt wird? Das liegt an der Brechung des Lichts, die ich dir nun erklären will. Wenn ein Lichtstrahl von Luft in einen anderen Stoff (zum Beispiel Wasser) gelangt, ändert er seine Richtung (ein kleiner Teil des Lichts wird dabei auch reflektiert). Der Lichtstrahl bekommt also einen »Knick«. Wie stark dieser Knick ist, hängt davon ab, unter welchem Winkel der Lichtstrahl auf die Oberfläche des anderen Stoffs trifft und auf was für einen Stoff er trifft. Das folgende Bild erklärt das noch ein wenig deutlicher:

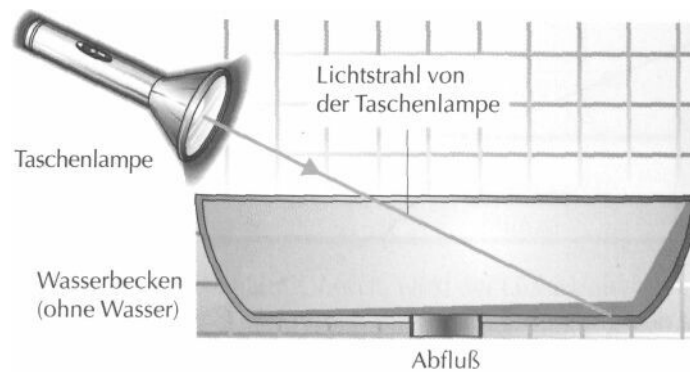


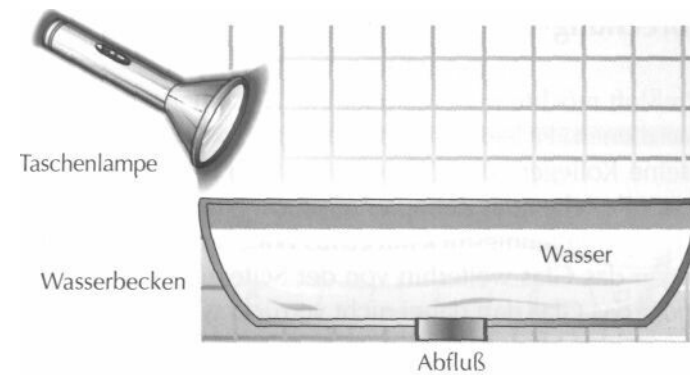
Den Winkel α nennt man wie bei der Reflexion den Einfallswinkel. Den Winkel β nennt man den Brechungswinkel (schließlich haben wir es ja mit Lichtbrechung zu tun).

Wenn das Wasser zur Hälfte ausgelaufen ist, sieht das ganze dann so aus:

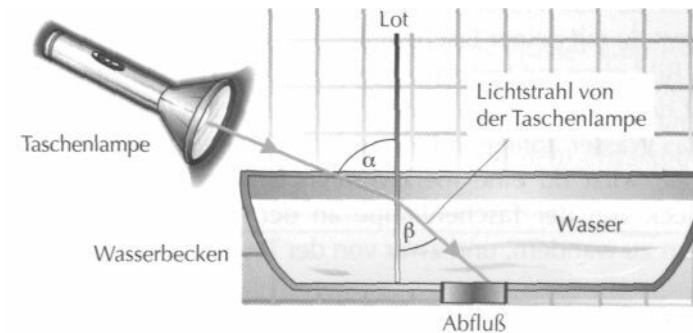


Der Lichtfleck am Boden des Waschbeckens hat sich also schon bewegt. Wenn das Wasser ganz abgelaufen ist, wird der Lichtstrahl nicht mehr gebrochen. Er geht ja nur noch durch die Luft! Der Lichtfleck ist dann noch weiter vom Abfluß weg, wie das folgende Bild zeigt:



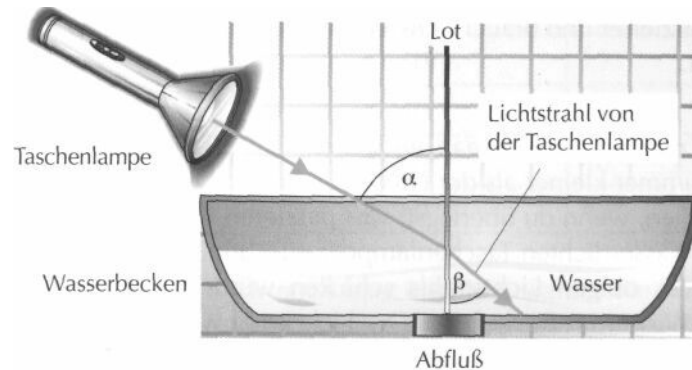


Warum beginnt der Lichtfleck zu wandern, wenn das Wasser abgelassen wird und die Taschenlampe nicht bewegt wird? Das liegt an der Brechung des Lichts, die ich dir nun erklären will. Wenn ein Lichtstrahl von Luft in einen anderen Stoff (zum Beispiel Wasser) gelangt, ändert er seine Richtung (ein kleiner Teil des Lichts wird dabei auch reflektiert). Der Lichtstrahl bekommt also einen »Knick«. Wie stark dieser Knick ist, hängt davon ab, unter welchem Winkel der Lichtstrahl auf die Oberfläche des anderen Stoffs trifft und auf was für einen Stoff er trifft. Das folgende Bild erklärt das noch ein wenig deutlicher:

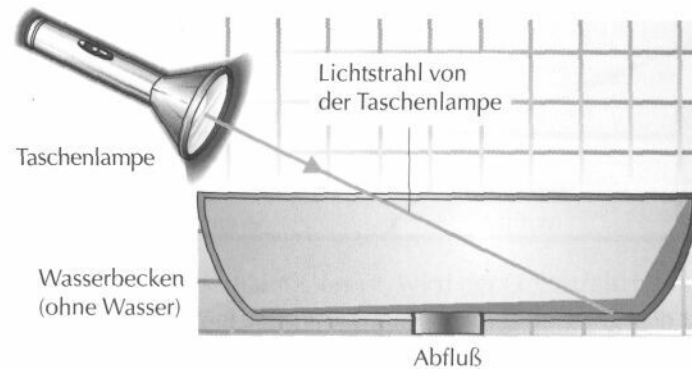


Den Winkel α nennt man wie bei der Reflexion den Einfallswinkel. Den Winkel β nennt man den Brechungswinkel (schließlich haben wir es ja mit Lichtbrechung zu tun).

Wenn das Wasser zur Hälfte ausgelaufen ist, sieht das ganze dann so aus:



Der Lichtfleck am Boden des Waschbeckens hat sich also schon bewegt. Wenn das Wasser ganz abgelaufen ist, wird der Lichtstrahl nicht mehr gebrochen. Er geht ja nur noch durch die Luft! Der Lichtfleck ist dann noch weiter vom Abfluß weg, wie das folgende Bild zeigt:

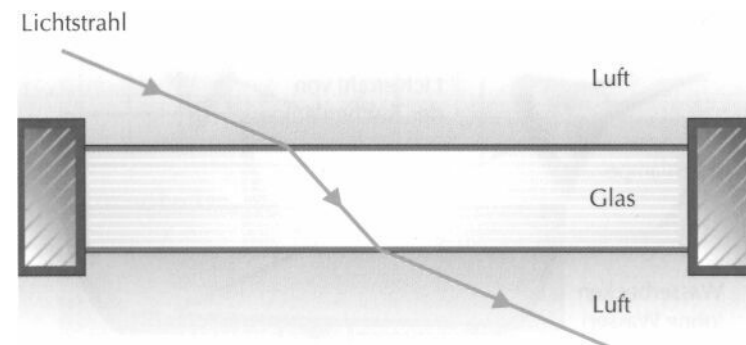


Die Physiker haben den Zusammenhang zwischen Brechungswinkel und Einfallswinkel genauer untersucht:

Als erstes hat man festgestellt, daß der Brechungswinkel größer wird, wenn der Einfallswinkel größer wird. Allerdings wird der Brechungswinkel nicht doppelt so groß, wenn sich der Einfallswinkel verdoppelt. Die Beziehung zwischen den beiden Winkeln ist etwas komplizierter und braucht uns im Moment nicht weiter zu interessieren.

Zum zweiten konnte man feststellen, daß der Brechungswinkel nicht immer kleiner als der Einfallswinkel ist. Das kannst du leicht verstehen, wenn du überlegst, was passieren würde, wenn du mit einer wasserdichten Taschenlampe vom Abfluß aus Licht in Richtung des obigen Lichtstrahls schicken würdest (natürlich wenn noch Wasser im Becken ist). Der Lichtstrahl wäre genau der gleiche, er hätte nur die entgegengesetzte Richtung. Der Winkel β wäre dann eben der Einfallswinkel und der Winkel α der Brechungswinkel.

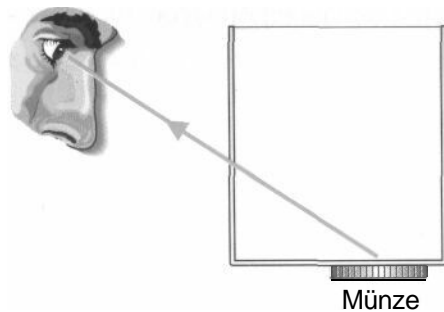
Ich habe dir noch einen Lichtstrahl, der zuerst durch Luft, dann durch Glas und anschließend wieder durch Luft geht, aufgezeichnet. Wie du siehst, wird er zweimal gebrochen.



Wenn man Lichtstrahlen zeichnen will, ist es ganz nützlich, für ein paar Einfallswinkel die Brechungswinkel zu kennen:

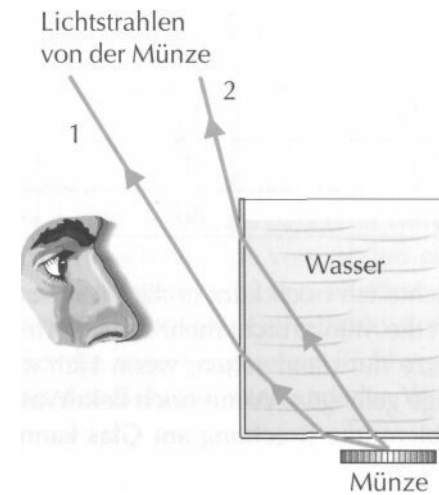
Übergang von Einfallswinkel	Luft in Glas: Brechungswinkel	Übergang von Einfallswinkel	Luft in Wasser: Brechungswinkel
0°	0°	0°	0°
20°	13°	20°	15°
40°	25°	40°	29°
60°	35°	60°	40°
80°	40°	80°	47°

Zum Schluß möchte ich noch kurz erklären, warum die Kollegen von Paul Preßluft die Münze nicht mehr sehen. Wie du weißt, können sie die Münze nur dann sehen, wenn Lichtstrahlen von der Münze in ihr Auge gelangen. Wenn noch kein Wasser im Glas ist, ist das kein Problem (die Brechung am Glas kann man hier vernachlässigen):



Wenn das Wasser dann im Glas ist, wird der Lichtstrahl beim Übergang ins Wasser und dann nochmals beim Übergang von Wasser in Luft gebrochen (die Brechung am Glas kann man wieder ver-

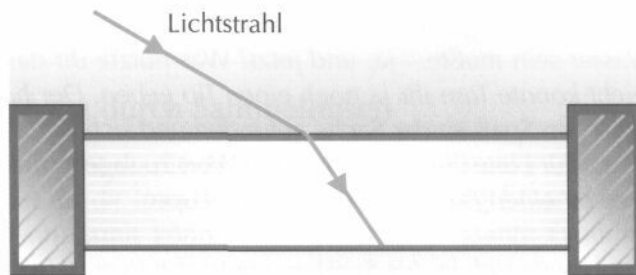
nachlässigen). Kein Lichtstrahl schafft es dann ins Auge zu gelangen. Als Beispiel habe ich einen Lichtstrahl (1) eingezeichnet, der fast waagrecht unter dem Glas verläuft. Wenn der nicht ins Auge gelangt, schaffen es die anderen auch nicht! Das wird am Lichtstrahl (2) klar, der noch mehr am Auge vorbei geht. Der Abstand zwischen Glas und Münze wurde vergrößert gezeichnet.



Wenn du die nächsten zwei Aufgaben noch schaffst, wird es Zeit für eine dicke Pause und einen Aufkleber für das A-Feld.

Aufgaben

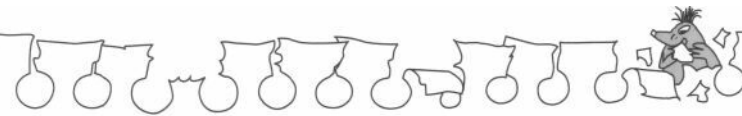
1. Hier habe ich einen Lichtstrahl beim Übergang von Luft in Glas für dich eingezeichnet. Zeichne zuerst das Einfallslot ein. Auf welcher Seite ist die Luft, auf welcher das Glas? Zeichne zum Schluß noch den Einfallswinkel und den Brechungswinkel ein.



2. Ein Lichtstrahl trifft unter dem Einfallswinkel von 60° auf eine 1,5 cm dicke Glasplatte. Kannst du den Verlauf dieses Lichtstrahls zeichnen?



Siebttes Kapitel **Abbildungen durch Sammellinsen**



Viel weiter war Lotte nun auf der Suche nach ihrem Buch wirklich nicht gekommen. Sie wußte, daß es irgendwo im Wasser sein mußte – ja, und jetzt? Was nützte ihr das? Vielleicht konnte Tom ihr ja noch einen Tip geben. Der hatte inzwischen Spaß an der Sache gefunden und sich schon etwas Neues für Lotte überlegt. Ohne ein Wort zu sagen, überreichte er ihr einen Papierwürfel und eine Lupe.

Lotte setzte sich in den Sand und betrachtete nun den Würfel von allen Seiten, bestimmt hatte er irgendwo ganz klein eine Nachricht aufgeschrieben. Immer wieder überprüfte Lotte mit Hilfe der Lupe alle Seiten des Würfels - doch sie fand einfach nichts. »Witzbold«, dachte sie und fühlte sich ziemlich hinters Licht geführt.

Doch da fiel ihr ein, was man mit einer Lupe ja noch alles so machen konnte. Sie hielt die Lupe solange in die Sonne, den Würfel direkt dahinter, bis tatsächlich eine Seite des Würfels erst zu rauchen und dann schließlich zu brennen begann. Als sich ein kleines Loch eingebrannt hatte, blies Lotte die Flamme aus und schüttelte den Würfel. Es fiel tatsächlich eine kleiner Zettel heraus. Nur mit der Lupe konnte sie lesen, was darauf stand: »Nimm morgen ein Gerät mit, mit dem du Dinge



festhalten kannst und du wirst auf deiner Suche weiterkommen. Noch ein 77p: Wenn du verstanden hast, warum du das hier lesen konntest, weißt du, was für ein Gerät ich meine.«

»Warum konnte ich das hier lesen?«, überlegte Lotte »klar, weil eine Lupe alles vergrößert - aber woher weiß ich jetzt, was für ein Gerät er meint? Womit kann man Dinge festhalten? Mit einer Schnur? Aber das ist kein Gerät. Mit einer Beißzange?« Sie wußte, wie sie der Sache auf die Spur kommen konnte - heimlich holte sie sich Toms Physikbuch und las...

Abbildungen durch Sammellinsen

Bestimmt kennst du die wohl bekannteste Sammellinse. Es ist die Lupe. Hast du dir inzwischen eine Lupe besorgt? Das wäre echt **spitze**, denn damit können wir einige interessante Experimente machen. Du brauchst dazu nur ein Blatt Papier und eben die **Lupe**, die wir als echte Physiker in Zukunft Sammellinse nennen.

Erster Versuch: Du gehst an ein Fenster und hältst die Sammellinse zwischen das Fenster und ein Blatt Papier (siehe Bild auf der nächsten Seite). Wenn du nun den Abstand zwischen Papier und Sammellinse **veränderst**, siehst du irgendwann ein deutliches Bild der Fensteröffnung auf dem Papier. Das Bild steht dabei auf dem Kopf.

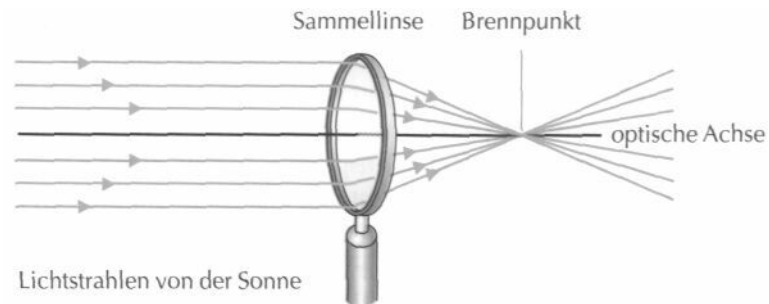
Zweiter Versuch: Du verdunkelst den Raum und stellst eine Kerze in ungefähr einem Meter Entfernung vor eine helle Wand. Du zündest die Kerze an und hältst deine Sammellinse zwischen Kerze und Wand. Wenn du die Sammellinse zwischen Kerze und Wand langsam hin- und **herbewegst**, siehst du irgendwann das Bild der Kerze auf dem Kopf stehend an der Wand. (Falls **nicht**, mußt du die Abstände zwischen Kerze und Wand verändern und das Ganze nochmals probieren.)



Dritter Versuch: Diesen Versuch kannst du an einem sonnigen Tag im Freien machen. Du nimmst ein Blatt Papier und hältst die Sammellinse so zwischen Papier und Sonne, daß der helle Fleck auf dem Papier fast punktförmig ist. Wenn du die Sammellinse lange genug so hältst, fängt das Papier bald an zu brennen (das ist natürlich nicht ganz ungefährlich!).

Übrigens: Physiklehrer Zweistein hat beim letzten Klassenausflug seinen Beliebtheitsgrad enorm gesteigert. Als die Klasse ein Lagerfeuer machen wollte, aber niemand ein Streichholz dabei hatte, war das für Zweistein kein Problem. Er hatte wie immer eine kleine Sammellinse in seiner Tasche und ein Stück Papier war auch da. Das Entzünden des Feuers war dann bei Sonnenschein kein Problem mehr.

Zuerst will ich mal den dritten Versuch erklären. Die Lichtstrahlen von der Sonne kommen praktisch parallel bei uns an. Sie ändern beim Durchgang durch eine Sammellinse wegen der Lichtbrechung ihre Richtung. Nach dem Durchgang durch die Sammellinse treffen sie sich in einem Punkt. Diesen Punkt nennt man den Brennpunkt der Sammellinse. Wenn nun der Brennpunkt auf das Papier fällt, kann sich dieses entzünden, denn dort wird es sehr heiß. Eigentlich klar, daß dieser Punkt Brennpunkt heißt, findest du das nicht auch?



Die optische Achse verläuft senkrecht zur Sammellinse durch deren Mittelpunkt.

Wenn du den zweiten Versuch mit der Kerze gemacht hast, hast du sicher etwas bemerkt: Das Bild wird nur dann scharf, wenn die Sammellinse an einer ganz bestimmten Stelle steht. Du kannst die Wand auch durch ein Blatt Papier ersetzen. Änderst du nun den Abstand zwischen Sammellinse und Gegenstand, so mußt du auch den Abstand zwischen Papier und Lupe ändern, um ein scharfes Bild zu erhalten.

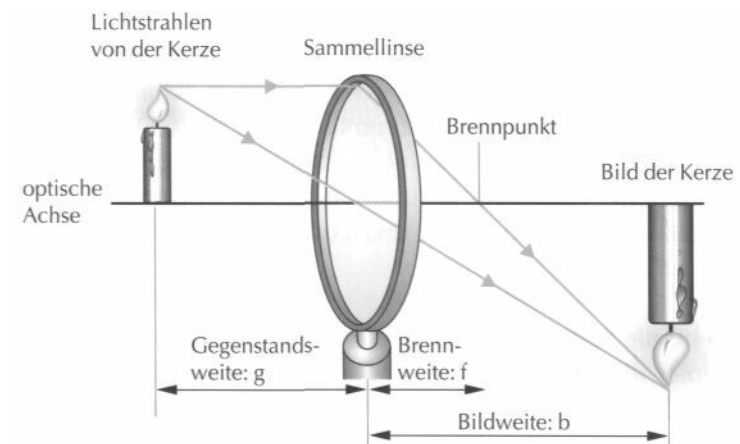
Wenn du die Sammellinse näher an die Kerze hinbringst, mußt du das Papier immer weiter von der Sammellinse weghalten, um ein scharfes Bild zu erhalten. Das Bild der Kerze auf dem Papier wird dabei immer größer. Irgendwann jedoch erhältst du überhaupt kein Bild mehr, egal wie weit du das Papier von der Sammellinse entfernst.

Entfernst du die Kerze immer mehr von der Sammellinse, so mußt du dafür das Blatt immer näher an die Sammellinse bringen. Das Bild der Kerze wird dabei wieder kleiner, irgendwann sogar kleiner als die Kerze selbst.

Man kann den Ort und die Größe des Bildes (auf dem Papier) eines Gegenstandes, der durch eine Sammellinse abgebildet wird, ganz einfach erhalten, wenn man den Abstand des Brennpunktes einer Sammellinse von deren Mittelpunkt kennt. Diesen Abstand nennt

man die Brennweite. Ich möchte dir das am Beispiel der Flammenspitze der Kerze erklären.

Das Bild der Flammenspitze entsteht dort, wo sich die einzelnen Lichtstrahlen, die von der Flammenspitze ausgehen, wieder treffen. Aber keine Angst: wir müssen nicht alle Lichtstrahlen, die von der Flammenspitze ausgehen, untersuchen! Es reichen zwei Vertreter. Die ganzen anderen Lichtstrahlen, die am Papier ankommen, kommen zum gleichen »Treffpunkt«. Zur Erklärung habe ich wieder ein kleines Bild gemacht:



Der erste Vertreter der Lichtstrahlen, die von der Flammenspitze ausgehen, ist der Lichtstrahl, der parallel zur optischen Achse verläuft. Dieser wird von der Sammellinse gebrochen und geht durch den Brennpunkt. Der zweite Vertreter geht durch den Mittelpunkt der Linse und ändert seine Richtung nicht. Der Treffpunkt der beiden Lichtstrahlen ist der Bildpunkt der Flammenspitze. Hast du Lust, irgendeinen anderen Punkt der Kerze abzubilden? Es geht ganz einfach: Zuerst zeichnest du von dem Punkt der Kerze, dessen Bildpunkt du willst, eine Parallele zur optischen Achse. Diese endet an der Sammellinse. Von diesem Punkt zeichnest du eine Gerade durch den Brennpunkt der Linse. Jetzt mußt du nur noch

eine Gerade von demselben Punkt der Kerze durch den Mittelpunkt der Linse zeichnen. Der Schnittpunkt der beiden Geraden ergibt den Bildpunkt. Wenn du nun jeden einzelnen Punkt der Kerze abbildest, erhältst du irgendwann das gesamte Bild der Kerze, wie es in der Zeichnung zu sehen ist.

Ist der Abstand der Kerze zur Sammellinse kleiner als die Brennweite, so klappt diese Konstruktion nicht mehr. Du kannst es ja mal ausprobieren. Aber bei unserem Experiment konnten wir bei diesem Abstand auch kein Bild der Kerze mehr auf dem Blatt Papier hinter der Sammellinse erkennen.

Ach so, fast hätte ich es vergessen: Für die Konstruktion des Bildes kann man die Sammellinse auch durch einen einfachen Strich symbolisch darstellen. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Sammellinse in Wirklichkeit kleiner ist.

Für das Verhältnis von Gegenstandsgröße zu Bildgröße gilt wieder das Abbildungsgesetz. Du kennst es ja bereits aus dem vierten Kapitel.

G ist die Größe des Gegenstandes,

B ist die Bildgröße des Gegenstandes,

g ist die Entfernung des Gegenstandes von der Sammellinse (Gegenstandsweite),

b ist die Entfernung des Bildes von der Sammellinse (Bildweite).

Es gilt:

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

Wenn du willst, kannst du bei dieser Gleichung auch Zähler und Nenner vertauschen. Sie gilt immer noch.

$$\frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

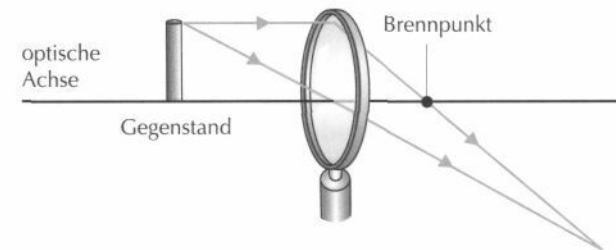
Wenn du die nächsten drei Aufgaben noch machst, bist du schon ein halber Optikprofi.

Nun gibt es noch einen Zusammenhang zwischen Brennweite f , Gegenstandsweite g und Bildweite b . Es ist das sogenannte Linsengesetz:

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$$

Aufgaben

1. Kannst du das Bild des Gegenstandes konstruieren?



2. Wenn du eine Kerze mit deiner Sammellinse abgebildet hast, kannst du die Bildweite und die Gegenstandsweite messen. Wie groß ist dann die Brennweite deiner Sammellinse?

3. Bolle Bierbauch will ein möglichst großes Bild einer Kerze mit einer Sammellinse erzeugen. Wie muß er Gegenstandsweite und Bildweite wählen?





Jetzt wußte Lotte zwar, wie eine Lupe funktionierte, aber was für ein Gerät sie am nächsten Tag mitnehmen sollte, das wußte sie immer noch nicht

Doch plötzlich fiel ihr die Verbindung ein: wenn sie verstehen sollte, womit sie die Nachricht lesen konnte, dann meinte Tom sicherlich die Art, wie man etwas sieht. Eine Lupe vergrößert, z.B. ein Bild. Es muß sich also um etwas handeln, mit dem man festhalten kann, was man sieht »ja klar«, wurde ihr plötzlich klar »er meint einen Fotoapparat - ja, mit einem Fotoapparat kann man Dinge festhalten, Situationen, Sonnenuntergänge, alles mögliche.« Zufrieden schlüpfte Lotte in ihren Schlafsack und war gespannt, wie sie mit Hilfe ihres Fotoapparats ihr Buch wiederfinden sollte.

Am nächsten Morgen machten sich Lotte und Tom früh auf den Weg. Sie wollten eine Wanderung am Strand entlang machen, Lotte wollte in erster Linie ihr Buch wiederhaben, Tom wußte auch noch nicht, wie er da den Zusammenhang herstellen sollte, aber das konnte er Lotte ja schlecht sagen. Er sah sie geheimnisvoll an, und sie liefen los.

Sie kamen an wirklich interessanten Dingen vorbei, sahen weit draußen auf dem Meer große Segelschiffe, sammelten Muscheln, bauten eine große Sandburg, fanden eine angespülte Holzkiste und machten viele, viele Fotos.

Als Lotte am abend völlig erschöpft ins Zelt kroch, fragte sie Tom: »Woher weiß ich jetzt, wo mein Buch ist?« »Tja!«, sagte Tom und hielt sich schützend sein Kissen vors Gesicht, »das weiß ich eigentlich auch nicht, aber es war doch ein schöner Tag!« »Na, warte!« rief Lotte erbost und warf ihm alle Gegen-



stände, die sie im Zelt nur finden konnte, entgegen. Aber eigentlich *mußte* sie ihm *recht* geben, der Tag war wirklich schön gewesen. » Und wir haben eine Menge schöner Fotos gemacht!«, sagte sie schon fast wieder versöhnt.

Doch da tat Tom etwas, was er besser nicht hätte tun sollen. Er wedelte mit seinem Physikbuch und sagte ernsthaft wie sein Vater: »Ja, und nun erkläre ich dir mal, wie dein Fotoapparat überhaupt funktioniert.« »Oh, *nein!*«, rief Lotte, vergrub sich unter ihrem Kopfkissen und strampelte mit den Beinen.

Extra

Wie funktioniert eigentlich ein Fotoapparat?

Wir wollen unsere Lochkamera aus dem dritten Kapitel mit einer richtigen Kamera vergleichen:

1. Anstatt des Butterbrotapiers hat ein Fotoapparat einen lichtempfindlichen Film.
2. Vor dem Fotofilm ist beim Fotoapparat noch ein Verschuß, der das Licht nur für eine kurze Zeit auf den Fotofilm läßt. Der Verschuß wird durch den Auslöser geöffnet.
3. Das kleine Loch unserer Lochkamera entspricht der Blendenöffnung des Fotoapparats.
4. Vor der Blendenöffnung des Fotoapparats befindet sich noch eine Linse, um schärfere Bilder zu erhalten.
5. Der Abstand zwischen Linse und Fotofilm ist veränderlich, um für verschiedene Gegenstandsweiten scharfe Bilder zu bekommen.
6. Die Linse (bei den meisten Kameras sind es gleich mehrere) bildet zusammen mit der Blendenöffnung das Objektiv des Fotoapparats.

So, jetzt hast du dir
aber wirklich eine
Pause verdient.



Achtes Kapitel Die Temperatur



»Der Junge schafft mich«, dachte Lotte am nächsten Morgen, als sie aufwachte und Tom mit dem aufgeschlagenen Physikbuch hellwach im Schlafsack lag. »Oh jee, und das Wetter auch«, sagte sie frustriert, als sie den Reißverschluß des Zelts öffnete und sah, daß es schon wieder regnete. Das bedeutete bestimmt wieder irgendeine Erkundungsfahrt mit den Eltern.

Warum änderte sich dieses blöde Wetter bloß dauernd? Richtig kalt war es geworden. Lotte verkrümelte sich wieder in ihren Schlafsack und wollte am liebsten gar nicht aufstehen. Wenn sie doch jetzt endlich ihr Buch hätte, aber sie hatte sich entschlossen, Tom einfach nicht mehr darauf anzusprechen, irgendwann würde es ihm langweilig werden und er würde ihr das Buch zurückgeben, da war sie sicher. Lieber wartete sie ein wenig und mußte nicht irgendwelche sinnlosen Rätsel lösen und sich dazu physikalische Erklärungen anhören. Na, Tom las sicher schon wieder Irgendetwas Passendes! Lotte blinzelte heimlich zu ihm herüber – tatsächlich »Temperatur« - das durfte doch nicht wahr sein!

Die Temperatur

Das Wort Temperatur ist dir bestimmt geläufig. Ob bei der Wettervorhersage, beim Heizen oder Kochen, fast täglich hast du mit Temperaturen zu tun. Mit dem Begriff der Temperatur kann man kalt, warm und heiß sehr genau unterscheiden.

Stell dir vor, es ist Winter und bitter kalt. Du möchtest einem Freund in Südamerika am Telefon erzählen, wie kalt es hier in Deutschland ist. Du sagst nicht einfach »Es ist kalt draußen«, sondern du erzählst ihm »Draußen hat es $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$!« So kann sich dein Freund aus Südamerika ein viel besseres Bild davon machen, wie kalt es bei dir ist.

Die Temperatur wird durch eine Zahl und eine Einheit ausgedrückt. Sie ist demnach eine physikalische Größe wie die Länge oder die Zeit. Und wie jede physikalische Größe erhält auch die Temperatur ein Formelzeichen. Wir nehmen dazu ein großes T wie Temperatur.

Bei den Einheiten der Temperatur gibt es manchmal etwas Verwirrung, denn die Temperatur besitzt zwei verschiedene Einheiten. Sie wurden nach zwei Physikern benannt, zum einen nach dem Schweden Celsius und zum anderen nach dem Engländer Lord Kelvin. Die Einheit Grad Celsius kennst du wahrscheinlich. Sie wird mit $^{\circ}\text{C}$ abgekürzt. Die andere Einheit, das **Kelvin**, hat die Abkürzung K.

Größe	Symbol für Größe	Einheit	Abkürzung für Einheit
Temperatur	T	Grad Celsius	$^{\circ}\text{C}$
		Kelvin	K

Da die beiden Einheiten $^{\circ}\text{C}$ und K gleichermaßen Temperaturen bezeichnen, kann man sie auch ineinander umrechnen. Zum Beispiel ist 10°C die gleiche Temperatur wie 283 K. Die Umrechnung geht so:

Um von $^{\circ}\text{C}$ nach K umzurechnen, mußt du zu der Temperaturangabe in $^{\circ}\text{C}$ die Zahl 273 addieren.

Beispiel: $25^{\circ}\text{C} = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$

Um von K nach $^{\circ}\text{C}$ umzurechnen, mußt du von der Temperaturangabe in K die Zahl 273 abziehen.

Beispiel: $283 \text{ K} = (283 - 273) ^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$

Sicher fragst du dich jetzt, warum es in der Physik überhaupt zwei Einheiten für die Temperatur gibt. Die Antwort ist sehr einfach. Als die Physiker vor einigen 100 Jahren die Einheit $^{\circ}\text{C}$ festgelegt hatten, benutzten sie dazu Wasser. Das heißt, 0°C wurde die Temperatur genannt, bei der Wasser zu gefrieren beginnt. Kochendes Wasser wurde mit 100°C bezeichnet. Mit 0°C hatte man einen vernünftigen Nullpunkt für die Temperatur festgelegt, denn aus Wasser bestehen etwa 70 % unserer Erde. Später entdeckte man, daß die tiefste Temperatur bei -273°C liegt. Weil das nun aber der eigentliche Nullpunkt der Temperaturskala ist, führte man eine neue Einheit ein. Die absolut tiefste Temperatur hieß von nun an 0 K. 0 K bzw. -273°C ist so kalt, daß es in der Natur gar nicht vorkommt. Selbst im Weltraum ist es nicht so kalt. Dort herrscht immerhin eine Temperatur von 3 K.

Jetzt weißt du schon so viel über Temperatur, daß du das folgende Problem lösen kannst.

Aufgabe

Wandle in dem folgenden Text die Temperaturangabe von °C in Kelvin um und schreibe die Zahlen in die Kästchen.

Lehrer Zweistein hat Blasenschmerzen und sitzt mit der Wärmflasche auf dem Bauch in seinem Schaukelstuhl. Nach dem Ratschlag des Arztes muß die Wärmflasche genau 40 °C [. . . . K] warmes Wasser enthalten. Zweistein, der bekanntlich sehr korrekt und übervorsichtig ist, befürchtet, daß die Flasche auf seinem Bauch sehr schnell abkühlt und so ihre Wirkung rasch verliert. Schon nach 5 Minuten geht er also ins Bad, um die Temperatur des Wassers in der Wärmflasche zu überprüfen. In der Tat ist die Temperatur dann nur noch 38 °C [. . . . K].

Was meinst du, um wieviel °C ist die Temperatur des Wassers in der Wärmflasche gefallen?

$$40\text{ °C} - 38\text{ °C} = 2\text{ °C}$$

Sie ist um 2 °C gefallen.

Kannst du nun berechnen, um wieviel Kelvin die Temperatur gefallen ist?

$$\text{. . . . K} - \text{. . . . K} = \text{. . . . K}$$

Man kann also auch sagen, die Temperatur ist um K gefallen.



Ob man den Unterschied zwischen zwei Temperaturen in °C oder in K **ausrechnet**, in beiden Fällen erhält man das gleiche Ergebnis. Das ist immer so. Man nennt diesen Unterschied zwischen zwei Temperaturen **Temperaturdifferenz**. Das Wörtchen »Differenz« heißt dabei nichts anderes als »voneinander abziehen«. Du siehst bei Temperaturdifferenzen ist es **egal**, welche Einheit man verwendet. Ob °C oder K, die Zahl ist immer die gleiche. Daher haben sich alle Physiker der Erde **geeinigt**, immer Kelvin zu **schreiben**, wenn man eine Temperaturdifferenz angibt. Zum Beispiel

$$125\text{ °C} - 45\text{ °C} = 80\text{ K}$$

oder zum Beispiel

$$273\text{ K} - 50\text{ K} = 223\text{ K}$$

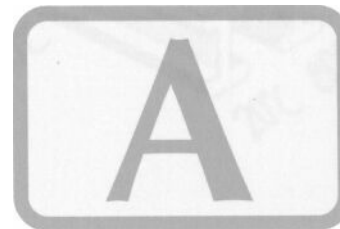
Aufgepaßt, die beiden Temperaturangaben, die du voneinander abziehst, müssen dieselbe Einheit haben, entweder °C oder K. Das Ergebnis allerdings bekommt immer die Einheit K.

Temperaturdifferenzen, also der Unterschied zwischen zwei Temperaturen, spielen in der Wärmelehre eine große Rolle. Man gibt der Temperaturdifferenz sogar ein eigenes **Formelzeichen**, das **ΔT**. Das kleine Dreieck vor dem T ist der griechische Buchstabe Delta und steht für Differenz. Die Einheit der Größe **ΔT** hast du ein paar Zeilen weiter oben kennengelernt.

Zwei Übungen **noch**, bevor du für heute fertig bist.

Aufgaben

1. Harry Hecht backt einen Kuchen nach Rezept. Den Teig hat er schon angerührt, da muß er mit Schrecken feststellen, daß bei der Temperaturangabe für den Ofen die Einheit nicht abgedruckt wurde. Jetzt steht da die Zahl 200 und Harry weiß nicht, ob $^{\circ}\text{C}$ oder Kelvin gemeint ist. Kannst Du ihm helfen?
2. Bolle Bierbauch stellt fest, daß es draußen einen Temperatursturz gegeben hat. Als er gestern abend ins Bett ging, zeigte sein Außenthermometer noch 18°C an. Heute morgen las er nur noch 5°C ab. Was ist die Temperaturdifferenz zwischen der Außentemperatur von gestern abend und heute morgen?



Neuntes Kapitel Temperatur und Ausdehnung



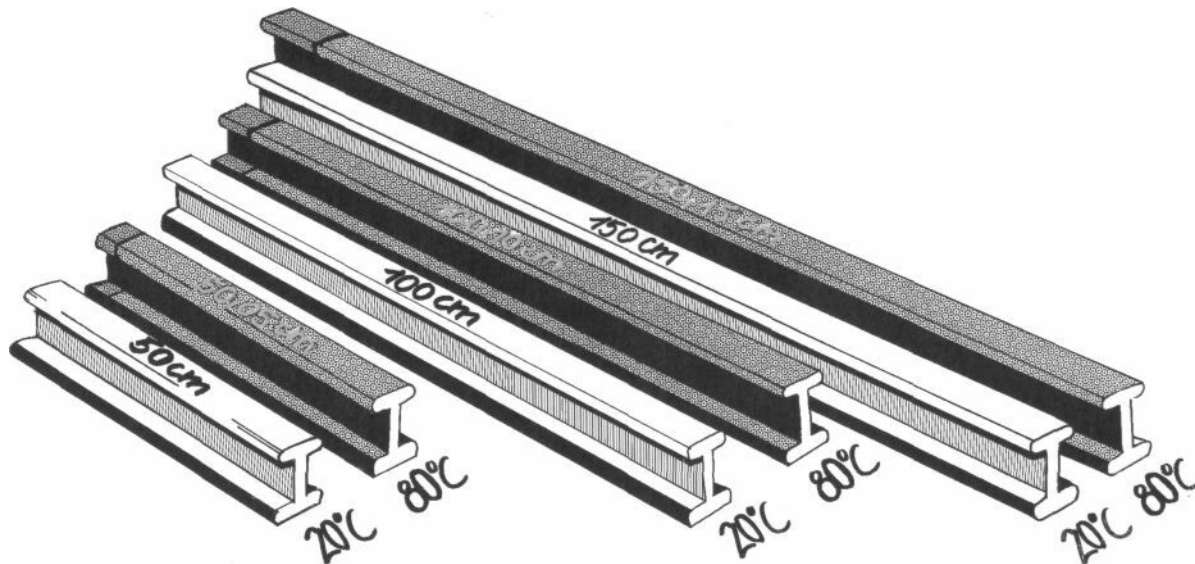
Lotte *sollte Recht behalten*, die *Eltern* haften für diesen Tag einen *Ausflug nach Dänemark* geplant. Auf *Autofahren* hatte Lotte zwar gar keine Lust, aber was sollte man schon tun, an so einem *Regentag*? Außerdem konnte man so verhindern, daß Tom wieder irgendwelche *mysteriösen Geräte* baute!

Fröhlich stiegen die vier ins Auto und machten sich auf den Weg. Als sie schon eine Weile gefahren waren, an Windmühlen, kleinen Seen und Schafherden vorbei, über viele Brücken und Fjorde hinweg und sie schließlich über eine große Autobahnbrücke fuhren, fragte der Vater: »Wißt ihr eigentlich, wieso am Anfang und am Ende einer Brücke immer diese Metallstreifen beziehungsweise, Freiräume zwischen Brücke und Straße sind?« »Ja, klar«, sagte Lotte schnell, wie gut, daß sie das gerade vor den Ferien in der Schule behandelt hatten. »Das liegt daran, daß sich die Betonbrücke bei Wärme ausdehnt und bei Kälte wieder zusammenzieht, also ich meine, wenige Millimeter, aber wenn es diese Freiräume nicht geben würde, dann hätten die Brücken bald Risse und so.« »Prima!«, sagte der Vater, und Lotte blickte triumphierend zu Tom, der aus dem Fenster sah und so tat, als hätte er das selbstverständlich auch alles gewußt. Aber später sah Lotte, wie Tom heimlich in seinem Physikbuch nachlas.

Temperatur und Ausdehnung

Lehrer Zweistein bereitet gerade ein Experiment für die Schule vor. Er möchte mit den Schülern seiner Klasse herausfinden, um wieviel sich ein Stück Eisen verlängert, wenn man es erwärmt. Und weil er sicher gehen will, daß das Experiment in der Schule wirklich klappt, probiert er es vorher im Physiklabor aus.

Er hat sich drei Stücke aus einer alten Eisenbahnschiene mit den Längen 150 cm, 100 cm und 50 cm besorgt. Zunächst ist die Temperatur der Stücke 20 °C. Mit einer Gasflamme erhitzt Zweistein die drei Schienenteile auf 80 °C. Die Temperaturdifferenz beträgt also $\Delta T = 60 \text{ K}$. Nun mißt er die Länge der drei Schienenstücke mit einem genauen Metermaß erneut und erhält folgende Ergebnisse: 150,15 cm, 100,1 cm und 50,05 cm.



Mit diesen Ergebnissen ist Zweistein sehr zufrieden. Das kurze Schienenstück mit 50 cm dehnt sich weniger aus als das lange Stück mit 150 cm. Man sieht also sehr schön, daß die Verlängerung der Eisenbahnschienen durch Erwärmen umso größer ist, je länger die Stäbe zu Beginn sind.

Plötzlich fällt Zweistein etwas sehr Merkwürdiges ein und er macht sich Sorgen. Je länger die Eisenbahnschiene ist, um so mehr dehnt sie sich aus. Was bedeutet das aber für echte Eisenbahnschienen? Diese sind bekanntlich sehr lang. Von München nach Hamburg messen sie etwa 600 km. Würden nun Tausende von Bauarbeitern und Physiklehrern die Schienen zwischen München und Hamburg mit einer Gasflamme um $\Delta T = 60 \text{ K}$ erwärmen, um wieviel dehnten sich die Schienen dann aus? Zweistein rechnet auf einem Stück Papier:

1 m Schiene verlängert sich um 1 mm.

2 m Schiene verlängern sich um 2 mm.

10 m Schiene verlängern sich um 10 mm = 1 cm.

100 m Schiene verlängern sich um 100 mm = 10 cm.

1 000 m, d.h. 1 km, Schiene verlängern sich um 1 000 mm = 1 m.

600 000 m, d.h. 600 km, Schiene verlängern sich dann um 600 m!

Der Physiklehrer starrt unglaublich auf das Papier. Zwischen München und Hamburg würden sich die Schienen also um 600 m verlängern. Es ist zwar fast unmöglich den ganzen Schienenstrang zwischen München und Hamburg um $\Delta T = 60 \text{ K}$ zu erwärmen, geht man aber davon aus, daß die Temperatur im Winter bei 0°C und im Sommer bei 30°C liegt, macht die Temperaturdifferenz zwischen Winter und Sommer immerhin $\Delta T = 30 \text{ K}$ aus. Zweistein schreibt noch einmal auf das Papier:

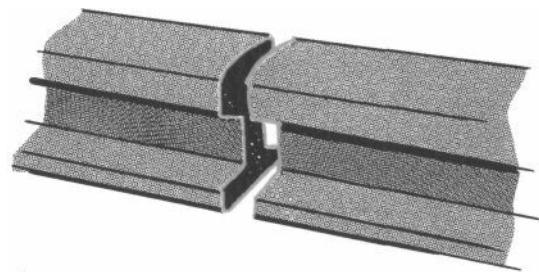
Bei $\Delta T = 60 \text{ K}$ verlängern sich 600 km Schiene um 600 m.

Bei $\Delta T = 30 \text{ K}$ verlängern sich 600 km Schiene um 300 m.

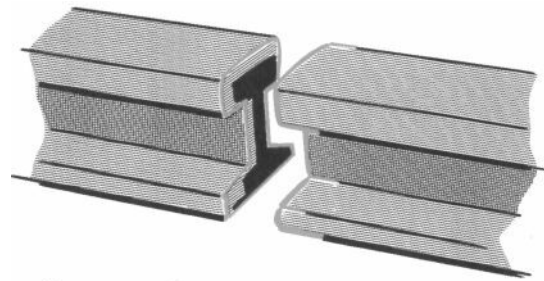
Jetzt laufen dem armen Physiklehrer die Schweißperlen über die Stirn. Ist es möglich, daß sich zwischen München und Hamburg

die Schienen im Sommer um etwa **300 m** verlängern? Das würde **ja** bedeuten, daß der Hamburger Hauptbahnhof im Sommer um **300 m** nach Norden verschoben werden muß. **Um** sich zu beruhigen, beschließt Zweistein, sofort bei der zuständigen Bahnbehörde anzurufen. Es muß einen Trick **geben**, um die Ausdehnung der Eisenbahnschienen zu **ermöglichen**, ohne daß Bahnhöfe verlegt werden müssen.

Und **tatsächlich**, der Bahnexperte am anderen Ende der Telefonleitung hat die Lösung parat. Die Schienen sind in Stücken von ungefähr 10 m Länge verlegt. Dazwischen ist immer eine kleine **Lücke**, die die Ausdehnung des Schienenstücks im Sommer zuläßt. Das heißt, im Sommer rücken die Schienenteile einander **näher**, im Winter dagegen sind die Zwischenräume größer.



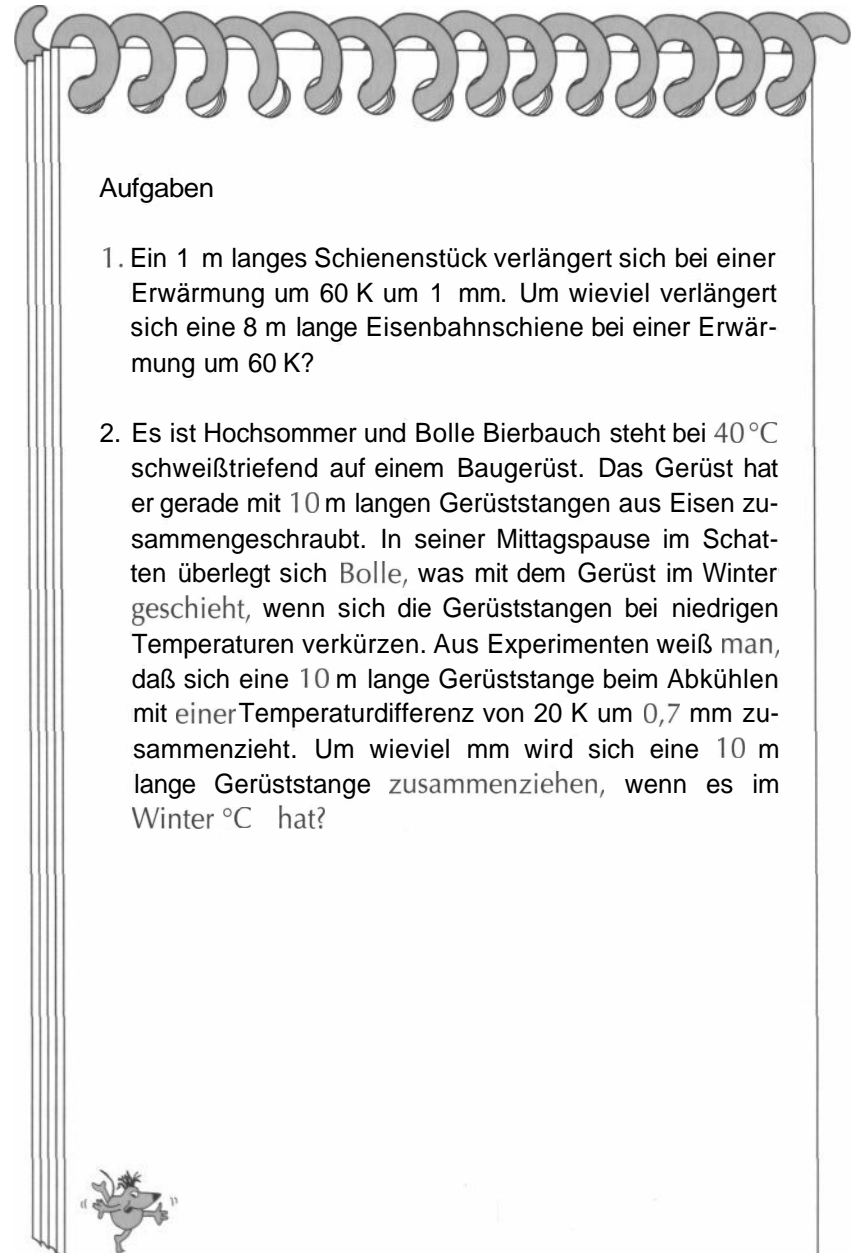
EISENBAHNSCHIENEN IM SOMMER



EISENBAHNSCHIENEN IM WINTER

Zweistein ist **beruhigt**, ärgert sich aber auch ein **wenig**, denn darauf hätte er selbst kommen können. Morgen wird er das gleich seinen Schülern erzählen.

Jetzt hast du **erfahren**, daß sich feste Körper durch Erwärmen ausdehnen. Du **weißt**, die Verlängerung von festen Körpern durch Erwärmen hängt von zwei physikalischen Größen **ab**, von der Länge des Körpers und von der Temperaturdifferenz ΔT . Man **sagt**, die Längenänderung ist proportional zur Länge des Körpers und zur Temperaturdifferenz **ΔT** . Natürlich gilt das gleiche **Prinzip**, wenn sich Körper durch Abkühlung zusammenziehen.



Aufgaben

1. Ein 1 m langes Schienenstück verlängert sich bei einer Erwärmung um 60 K um 1 mm. Um wieviel verlängert sich eine 8 m lange Eisenbahnschiene bei einer Erwärmung um 60 K?
2. Es ist Hochsommer und Bolle Bierbauch steht bei 40 °C schweißtriefend auf einem Baugerüst. Das Gerüst hat er gerade mit 10 m langen Gerüststangen aus Eisen zusammengeschraubt. In seiner Mittagspause im Schatten überlegt sich Bolle, was mit dem Gerüst im Winter geschieht, wenn sich die Gerüststangen bei niedrigen Temperaturen verkürzen. Aus Experimenten weiß man, daß sich eine 10 m lange Gerüststange beim Abkühlen mit einer Temperaturdifferenz von 20 K um 0,7 mm zusammenzieht. Um wieviel mm wird sich eine 10 m lange Gerüststange zusammenziehen, wenn es im Winter °C hat?



Zehntes Kapitel **Energie und ihre Träger**



Sie fuhren in die Nähe der höchsten Düne Dänemarks, die wie ein kleiner Berg aussehen sollte, und deren Gipfel sie besteigen wollten. Als sie schon mehrere Stunden im Wald herumgelaufen waren und immer noch nichts erblickten, was wie ein Berg oder auch nur wie ein Hügel aussah, hatte Lotte keine Lust mehr, außerdem hatte sie Hunger. »Meint ihr, wir finden diese dumme Düne heute noch? Ich kann nicht mehr.« Da zauberte ihr Vater - wie er es in solchen Momenten immer tat - einen Energieriegel aus der Tasche und sagte: »Da, iß das, das macht dich fit, ist wert...« »... voll und gesund!«, beendete Lotte seinen Satz. »Ich weiß!« Eigentlich glaubte ihm das niemand, daß diese sogenannten Energieriegel mehr Energie lieferten als z.B. Schokolade, aber ihr Vater war so überzeugt davon, daß sie es aufgeben hatten, dagegen anzureden - außerdem freute sich Lotte jetzt darüber. »Was ist das eigentlich ›Energie‹?«, fragte Lotte. »Das kann ich dir erklären!«, sagte Tom. Doch dazu kam er erstmal nicht, denn die Eltern hatten tatsächlich die Düne entdeckt.

Später, auf der Heimreise las er aus seinem Buch vor.

Energie und ihre Träger

Es ist Montag morgen und unser Lehrer Harry Hecht fühlt sich pudelwohl. Das ganze Wochenende über hat er nur **gefaulenz**t, lange geschlafen und gut gegessen. Da kommt der Physiklehrer Zweistein auf ihn zu und **fragt**, ob er ihm nicht helfen **könne**, einen schweren Apparat aus dem Physiksaal in einen benachbarten Raum zu tragen. »Kein **Problem**, heute bin ich voller Energie!« antwortet Harry Hecht. »Heute könnte ich Berge versetzen.«

Weißt du was Harry Hecht mit »Energie« meint? Er meint **wohl**, daß er heute große Lust hat und in der Lage **ist**, viel zu arbeiten. Ob diese Energie allerdings **ausreicht**, um Berge zu **versetzen**, wage ich zu bezweifeln. Harry hat Energie **aufgetankt**, indem er gut gegessen und seinem Körper Ruhe gegönnt hat. **Sportler**, wie **Marathonläufer**, die große Leistungen **vollbringen**, müssen ebenfalls Energie aufladen. Einen Tag vor dem Wettkampf essen sie viele Nudeln. Nudeln enthalten Energie für den menschlichen Körper. Man sagt Nudeln sind Energieträger oder Nudeln besitzen Energie. Die Energie ist in Nudeln in einer ganz besonderen Form **gespeichert**, als sogenannte chemische Energie.

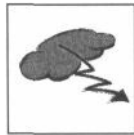
Außer als chemische **Energie**, kann Energie aber noch in vielen anderen Formen vorkommen. Einige wichtige Energieformen zähle ich für dich jetzt auf:



- Lageenergie (potentielle Energie). Ein Körper, der sich in bestimmter Höhe über dem Erdboden befindet, besitzt Lageenergie. Beispiele: die Ziegel auf dem Dach, ein Buch auf einem Regal. Solche Körper sind Energieträger für Lageenergie.



- Bewegungsenergie (kinetische Energie). Ein Körper, der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt, besitzt Bewegungsenergie. Beispiele: ein fahrendes Auto, ein rollender Fußball. Solche Körper sind Energieträger für Bewegungsenergie.



- Elektrische Energie. Ein Körper, der elektrisch geladen ist, besitzt elektrische Energie. Beispiele: ein statisch geladener Kamm, eine Gewitterwolke. Solche Körper sind Energieträger für elektrische Energie.



- Chemische Energie. Ein Körper, der durch Verbrennen oder andere chemische Vorgänge, Energie weitergeben kann, besitzt chemische Energie. Beispiele: Holz, Benzin, Essen. Solche Körper sind Energieträger für chemische Energie.



- Innere Energie. Ein Körper, der sich warm anfühlt (eine bestimmte Temperatur hat), besitzt innere Energie. Beispiele: warmes Wasser, eine heiße Glühbirne. Solche Körper sind Energieträger für innere Energie. Sobald ein Körper eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt 0 K hat, trägt er innere Energie. Insofern trägt jeder Körper etwas innere Energie.

Du merkst schon, Energie findet sich überall. Sie ist nahezu der wichtigste Begriff in der Physik. Zwei ihrer Eigenschaften hast du nun schon kennengelernt. Sie taucht niemals ohne einen Träger auf, und sie nimmt verschiedene Formen an. Benzin zum Beispiel

ist ein Träger für chemische Energie. Ein in der Luft fliegender Ball trägt Lageenergie und Bewegungsenergie. Kommt er auf dem Boden zum Liegen, sind Lageenergie und Bewegungsenergie weg. Aber was ist mit dieser Energie passiert? Ist sie wirklich einfach verschwunden? Nein, niemals! Ein ausgesprochen wichtiger Satz der Physik besagt:

Energie geht niemals verloren, sie wechselt nur ihre Form.

Der Ball, der hoch oben in der Luft fliegt, fällt zum Erdboden zurück. So wandelt er seine Lageenergie in Bewegungsenergie um. Das heißt, er wird im Fall immer schneller. Kurz vor dem Aufprall auf dem Erdboden, trägt der Ball fast nur noch Bewegungsenergie. Beim Aufprall wird der Ball etwas eingedrückt und der Sand um die Aufprallstelle herum wird ein wenig durcheinander gebracht. Vielleicht entsteht sogar eine kleine Delle im Sand. So wandert ein Teil der Bewegungsenergie in den Sand und verschiebt die Körnchen, und ein Teil geht zurück in den Ball, der wieder etwas nach oben springt. Dieser Vorgang wiederholt sich ein paarmal, bis fast die ganze Energie im Sand steckt und der Ball zum Stillstand gekommen ist.

In welcher Form trägt der Sand die Energie? Nun, einige der Sandkörner haben gegenüber ihrer alten Position etwas mehr Lageenergie. Du wirst es kaum glauben, aber am meisten hat der Sand an innerer Energie gewonnen. Das heißt, die Temperatur des Sandes hat sich ein wenig erhöht. Auch der Ball hat etwas an innerer Energie dazugewonnen. Man merkt davon nur nichts, weil sich die innere Energie sehr gut verteilt. Sie wird auch schnell an die Luft abgegeben, die viel innere Energie speichern kann, ohne daß man es spürt. Nur die Sonne schafft es, die Luft um uns herum, also unsere Atmosphäre, so richtig warm zu bekommen. Sie strahlt viel Wärme ab und erhöht somit die innere Energie unserer Erde und der Atmosphäre. Diese innere Energie wiederum schafft es, Wasser verdunsten zu lassen, so daß schließlich Wolken und Wind entstehen.

Extra

Was ist ein Molekül und warum zittert es?

Wie du sicher schon gehört hast, besteht unsere Welt aus Atomen. Davon gibt es viele verschiedene, zum Beispiel Eisenatome, Bleiatome, Sauerstoffatome, Heliumatome etc. Diese sind so winzig klein, daß man sie mit dem bloßen Auge niemals sehen kann. Die Atome haben die Fähigkeit sich fest miteinander zu verhaken. Man nennt eine solche Verbindung chemische Bindung. Zwei oder mehrere solcher verbundenen Atome heißen Molekül. Jeder Körper besteht aus vielen Atomen und Molekülen. Da ist zum Beispiel eine Eisenstange, wie du sie an deinem Fahrrad findest. Sie besteht zum größten Teil aus vielen Milliarden von Eisenatomen. Dabei geht es unter den Atomen recht unruhig zu. Stell dir vor, alle Schüler deiner Schule treffen sich in der Turnhalle und stellen sich in der Mitte auf. Würde dieser riesige Haufen von Menschen ganz ruhig stehen bleiben? Wohl kaum. Jeder würde sich unterhalten und sich ein wenig auf seiner Stelle hin und her bewegen. So sitzen auch die Atome und Moleküle nicht einfach ruhig nebeneinander, sondern sie zittern hin und her und drehen sich um sich selbst. Dieses Zittern und Drehen aller Atome und Moleküle eines Körpers bezeichnen Physiker als die innere Energie des Körpers. Je mehr die kleinen Teilchen zittern und sich drehen, um so größer ist die innere Energie des Körpers. Woran erkennst du nun, daß ein Körper eine große innere Energie hat? Er fühlt sich warm an oder glüht sogar. Im letzteren Fall faßt man ihn natürlich am besten nicht an, denn die innere Energie ist so hoch, daß sie die Haut der Hand zerstören würde. Das tut weh. Die innere Energie hat also etwas mit Temperatur zu tun.

So werden Energieformen ständig in andere Energieformen umgewandelt, ohne daß dabei Energie verloren geht. Dieses Naturgesetz heißt Energieerhaltung und ist für Physiker sehr wichtig. Die Energieform »innere Energie« spielt dabei eine große Rolle.

Ein berühmter Physiker, der sich viel mit innerer Energie beschäftigt hat, heißt James Prescott Joule. Zu seinen Ehren wurde die Einheit der Energie Joule genannt. Das Symbol für die Energie ist ein großes E.

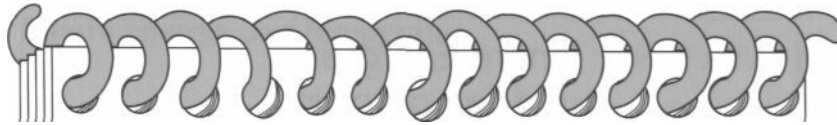
Größe	Symbol der Größe	Einheit	Abkürzung der Einheit
Energie	E	Joule	J
		Kilojoule	kJ

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

Wenn man es mit elektrischer Energie zu tun hat, trifft man häufig noch auf eine andere Einheit der Energie, die Kilowattstunde, abgekürzt mit kWh. Kilowattstunde und Joule sind sehr leicht umzurechnen:

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

Zum Abschluß dieses Kapitels zwei kleine praktische Aufgaben.



Aufgaben

1. Schau von dem Buch hoch und betrachte die Umgebung in der du dich gerade befindest. Suche dir einen Gegenstand aus der Umgebung heraus und überlege dir, welche Formen von Energie er tragen könnte.
2. Gehe in die Küche und schaue auf verschiedene Lebensmittelpackungen. Auf den meisten wirst du eine Angabe aufgedruckt finden, wieviel Energie 100 g des bestimmten Lebensmittels enthalten. Überprüfe, ob Nudeln tatsächlich mehr Energie tragen als andere Lebensmittel, so daß es seinen Sinn hat, daß Marathonläufer sie vor einem Wettkampf essen.

Um welche Energieform handelt es sich bei Lebensmitteln?

Lösungen auf Seite 104.



Elftes Kapitel Innere Energie und Temperatur



Tom überreichte Lotte am nächsten Morgen einen prall aufgeblasenen knallroten Luftballon und sagte: »Da, weil du dich mit Ausdehnung doch so gut auskennst!« Ihm war anzumerken, daß es ihn immer noch ärgerte, daß Lotte die Sache mit der Brücke besser gewußt hatte als er.

Lotte erriet, was sie mit dem Luftballon zu tun hatte. Wenn sie ihn in die Sonne halten würde, würde er sich ausdehnen - weil sich Körper bei Wärme ja ausdehnten - und wahrscheinlich zerplatzen und, wie sie Tom kannte, hatte er im Luftballon einen Hinweis auf ihr Buch versteckt. Tatsächlich! Der Luftballon platzte und ein kleiner weißer Zettel flog auf den Boden. »Ha!« stand darauf. »Daß die Ausdehnung eines Luftballons etwas mit innerer Energie zu tun hat - das weißt du sicherlich nicht (wenn es dich interessieren sollte, weißt du ja, wo du es nachlesen kannst!). Und noch ein Tip: Dein Buch befindet sich zwischen zwei Orten. Den einen kannst du rausfinden, wenn du das entsprechende Kapitel in meinem »Buch für alle Fälle« liest und dir dann überlegst, wer ein Fahrzeug verleiht, das auf einem Stoff fährt, der eine hohe spezifische Wärmekapazität hat.

Beschreibung des anderen Ortes folgt! Hochachtungsvoll!
Tom«

Innere Energie und Temperatur

Wie erkennst du, welche Art von Eisen ein Körper hat? Bei Lageenergie und Bewegungsenergie ist das einfach. Dazu **mußt** du nur schauen, ob sich der Körper über dem Erdboden **befindet**, dann hat er Lageenergie. Bewegt er **sich**, hat er Bewegungsenergie. Die Höhe über dem Erdboden und die Geschwindigkeit sind ein Maß **dafür**, wieviel Energie der Körper trägt. Elektrische **Energie**, chemische Energie und innere Energie sind schwieriger zu erkennen. Nehmen wir einmal die innere Energie etwas genauer unter die Lupe.

Stell dir vor, ein Physiker kommt zu dir nach Hause. Dort sieht er in der Küche einen Teelöffel auf dem Tisch liegen. Er fragt **dich**, ob der Löffel Lageenergie trägt. Was sagst du dann? **Genau**, du wirst **antworten**, daß der Löffel Lageenergie **besitzt**, denn er befindet sich über dem Erdboden. Auf die **Frage**, wie man diese Lageenergie messen könne, wirst du die Antwort parat **haben**, daß die Lageenergie des Löffels mit der Höhe und seiner Masse zunimmt. Und beides kann man leicht messen.

Jetzt bist du **stolz**, daß du das gewußt hast. Der Physiker aber ist **gemein** und stellt dir noch eine Frage. Er will von dir **wissen**, ob der Löffel auch innere Energie besitzt. Da bist du **platt**. Gerade fällt dir noch **ein**, daß jeder Körper innere Energie **trägt**, besonders **aber**, wenn er sich warm anfühlt. Also nimmst du den Löffel in die Hand. Fühlt er sich **warm an**, wirst du **sagen**, daß er viel innere Energie trägt. Gleichzeitig ahnst du **aber**, daß der Physiker mit dieser Antwort nicht ganz zufrieden ist. Schließlich **ist er ein Physiker**, und diese wollen es immer genau wissen. Vor allem wollen Physiker Eigenschaften messen. Aber wie kann man innere Energie messen? Muß man vielleicht einfach nur die Temperatur des Löffels messen?



Nein, um innere Energie zu bestimmen, reicht es nicht, nur die Temperatur zu messen. Ich will dir erklären warum. Stell dir folgendes vor: Du kommst von einer Schneewanderung und du frierst. Du möchtest dich mit einer Tasse heißem Tee aufwärmen. Auf dem Tisch vor dir stehen zwei Tassen mit heißem Tee. Die eine Tasse ist randvoll, die andere Tasse ist fast leer. Du hältst das Thermometer in beide Tassen und mißt die gleiche Temperatur von $61\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zu welcher Tasse greifst du, um dich aufzuwärmen? Natürlich greifst du zur vollen Tasse. Obwohl in beiden Tassen der Tee gleich heiß ist, wird dich der ganze Tee aus der vollen Tasse mehr wärmen, als das bißchen Tee aus der fast leeren Tasse. Die größere Menge Tee enthält somit mehr innere Energie.

Um die innere Energie eines Körpers oder einer Flüssigkeit zu bestimmen, muß man also neben der Temperatur T auch die Masse m des Körpers oder der Flüssigkeit messen.



Mit den beiden Größen T und m ist die innere Energie nun fast schon bestimmt. Unterscheiden muß man jetzt nur noch, aus welchem Stoff der Körper, von dem man Masse und Temperatur bestimmt hat, ist. Mit anderen Worten, ein Eisenstab, der 1 kg wiegt und $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ heiß ist, trägt etwas weniger innere Energie als Wasser, das 1 kg wiegt und $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ heiß ist. Für diesen Sachverhalt benutzt man in der Physik einen ziemlich komplizierten Begriff, nämlich spezifische Wärmekapazität.

Größe	Symbol der Größe	Einheit	Abkürzung der Einheit
spezifische Wärmekapazität	c	Joule pro Gramm und Kelvin	J g K

Jeder Stoff hat seine eigene spezifische Wärmekapazität. Sie wird mit einem kleinen c abgekürzt und hat eine zusammengesetzte Einheit aus Joule, Gramm und Kelvin.

Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wieviel Energie in Joule man braucht, um 1 Gramm eines Stoffes um die Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zu erhöhen. Ein Stoff, der eine große spezifische Wärmekapazität hat, kann innere Energie gut speichern. Wasser zum Beispiel hat eine sehr große spezifische Wärmekapazität.

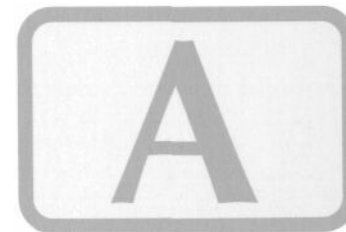
Sie ist $c_{\text{Wasser}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$. Eine Zahl, die du dir ruhig merken

kannst. Eisen dagegen hat eine kleine spezifische Wärmekapazität:

$c_{\text{Eisen}} = 0,45 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$. Daher kann Wasser innere Energie viel besser

speichern als es Eisen kann. Das heißt, ohne daß die Temperatur stark steigt, nimmt Wasser sehr viel innere Energie auf. Man benutzt Wasser deswegen auch häufig als Kühlmittel. Wenn du dich etwas mit Autos auskennst, dann weißt du, daß man dort von Zeit zu Zeit Wasser nachfüllen muß. Das Wasser hat die Aufgabe, den Motor zu kühlen. Er würde sonst heiß laufen und sofort kaputt gehen.

Heute gibt es einmal keine Aufgaben. Gönn dir doch einfach eine längere Pause!



Zwölftes Kapitel Transport von innerer Energie



»Seltsam«, dachte Lotte, »daß die innere *Energie* steigt, wenn die *Temperatur* steigt. Wenn ich zu hohe *Temperatur* - also *Fieber* - habe, dann habe ich immer das Gefühl, ich hätte überhaupt keine *Energie*. Irgendwie paradox! Hm. Aber ich glaube, ich weiß, welchen Ort Tom meint. Allzu schwer ist es ja auch wirklich nicht. Was wird schon verliehen und fährt auf Wasser? Tom meint natürlich den Bootsverleih unten am *Strand*.« »Also den einen Ort weiß ich, was *jetzt?*«, sagte sie zu Tom, der im Sand lag und sich sonnte. »Hier«, sagte er geheimnisvoll und überreichte ihr eine Dose Ravioli. »Was soll ich damit?« fragte Lotte verdutzt. »Damit hat der zweite Ort zu tun. Er befindet sich dort, wo etwas transportiert wird, damit man die Ravioli essen kann.«

»Ach so, ja klar«, sagte Lotte und stand auf. »Was *soll* ich jetzt damit wieder anfangen?« fragte sie sich. »Wo wird etwas transportiert...?« Aber sie wußte, sie brauchte gar nicht lange rumzurätseln, am besten las sie sofort und freiwillig in Toms *Super-Buch* nach, dort würde sie garantiert die Antwort finden. Sie ging also zum Zelt und kramte nach dem Buch.

Transport **von** innerer Energie

Es ist Sommer und die Sonne wärmt deine Haut. Den Asphalt auf den Straßen heizt die Sonne manchmal so stark **auf**, daß man fast nicht barfuß darauf laufen **kann**, ohne sich die Füße zu verbrennen. Hast du dir schon einmal Gedanken darüber **gemacht**, wie die Sonne das eigentlich schafft, wie sie die innere Energie auf die Erde transportiert?

Die Sonne schickt zusammen mit dem **Licht**, das sie zur Erde sendet, auch spezielle Wärmestahlen mit auf den Weg. Es ist also nicht das **Licht**, sondern die **Wärmestrahlung**, die die Wärmeenergie von der Sonne auf die Erde transportiert. Auch eine Glühbirne strahlt neben dem Licht noch etwas Wärmestrahlung ab. Du kannst das **überprüfen**, indem du deine Hand in einem Abstand von ungefähr 20 cm vor die Glühbirne **hältst**, die du gerade eingeschaltet hast. Die **innere Energie**, die du dann auf deinem Handrücken **spürst**, kommt von der Wärmestrahlung der Glühbirne. **Es gibt** aber auch **Lampen**, die fast nur Licht abgeben und kaum Wärmestahlen. Das Licht solcher Lampen heißt daher Kaltlicht. Neonröhren und Energiesparbirnen sind Kaltlichtlampen. Wenn du deine Hand in ihre Nähe **hältst**, wirst du kaum etwas spüren.

Die Wärmestrahlung ist also ein **Weg**, auf dem innere Energie transportiert wird. Ein anderer ist Berührung. Wenn du mit der Hand einen Heizkörper in deinem Zimmer **berührst**, spürst du die **innere Energie**, die der Heizkörper trägt. Auch die Luft in deinem Zimmer berührt den Heizkörper. Der Energietransport, der zwischen zwei Körpern **stattfindet**, die sich **berühren**, heißt Wärmeleitung. Durch Wärmeleitung wandert ein Teil der inneren Energie von dem Heizkörper zur Luft. Die Luft aber ist ständig in Bewegung. Insbesondere steigt warme Luft nach oben und kalte Luft fällt nach unten. Mit dieser Luftbewegung wandert die in der Luft gespeicherte innere Energie im Zimmer herum und wird verteilt. So kann innere Energie transportiert werden. Diesen Vorgang nennt

man Konvektion. Konvektion findet in gleicher Weise in Wasser statt. Warmes Wasser und kaltes Wasser in einem See vermischen sich beispielsweise durch Wasserströmungen.

Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion sind also Wege, auf denen innere Energie von einem Ort zu einem anderen oder von einem Körper zu einem anderen transportiert wird.

Ich möchte dir jetzt gerne die Wärmeleitung etwas genauer erklären. Lehrer Zweistein hat immer noch Blasenschmerzen und er braucht wieder einmal heißes Wasser für seine Wärmflasche. Dazu füllt er Wasser in einen Topf und stellt diesen auf die Herdplatte. Zunächst haben die Herdplatte und der Topf mit dem Wasser die gleiche Temperatur. Dann dreht Zweistein die Herdplatte an. Sie wird heiß, die Temperatur der Herdplatte nimmt zu und damit auch die innere Energie. Durch die Berührung der Herdplatte mit dem Topf und dem Wasser wandert die innere Energie sofort zum Topf und schließlich zum Wasser. Die Temperatur des Wassers steigt so ebenfalls. Wenn das Wasser die richtige Temperatur hat, nimmt Zweistein den Topf vom Herd. Allgemein kann man sagen:

Wenn sich zwei Körper, die unterschiedliche Temperatur haben, berühren, wird innere Energie **vom** wärmeren Körper zum kälteren Körper transportiert.

Diese Energie, die von einem Körper zum anderen fließt, nennen Physiker Wärme. Wärme ist also Energie auf der Wanderung von einem heißen Körper zu einem kühleren Körper. So wandert Wärme von Zweisteins Heizplatte zum Topf und vom Topf zum Wasser. Das Wasser nimmt die Wärme auf und speichert sie als innere Energie. Im Automotor passiert ähnliches. Wärme wandert vom Motor zum Kühlwasser, das den Motor durchfließt, und erhöht somit die innere Energie des Kühlwassers.

Die Menge der Wärme, die die innere Energie des Wassers erhöht, kann man nun auch berechnen. Laß uns das am Beispiel von Zwei-

steins Kochtopf probieren. Die Heizplatte gibt innere Energie ab, die die Temperatur des Topfes und des Wassers erhöht. Als Zweistein den Topf mit dem Wasser auf den Herd stellte, war seine Temperatur 16 °C. Dann dreht Zweistein die Herdplatte an und die Temperatur des Wassers steigt auf 40 °C. In dem Topf befinden sich 1,5 kg Wasser. Die Wärme, die das Wasser aufgenommen und seine innere Energie erhöht hat, berechnet sich nun nach der Formel:

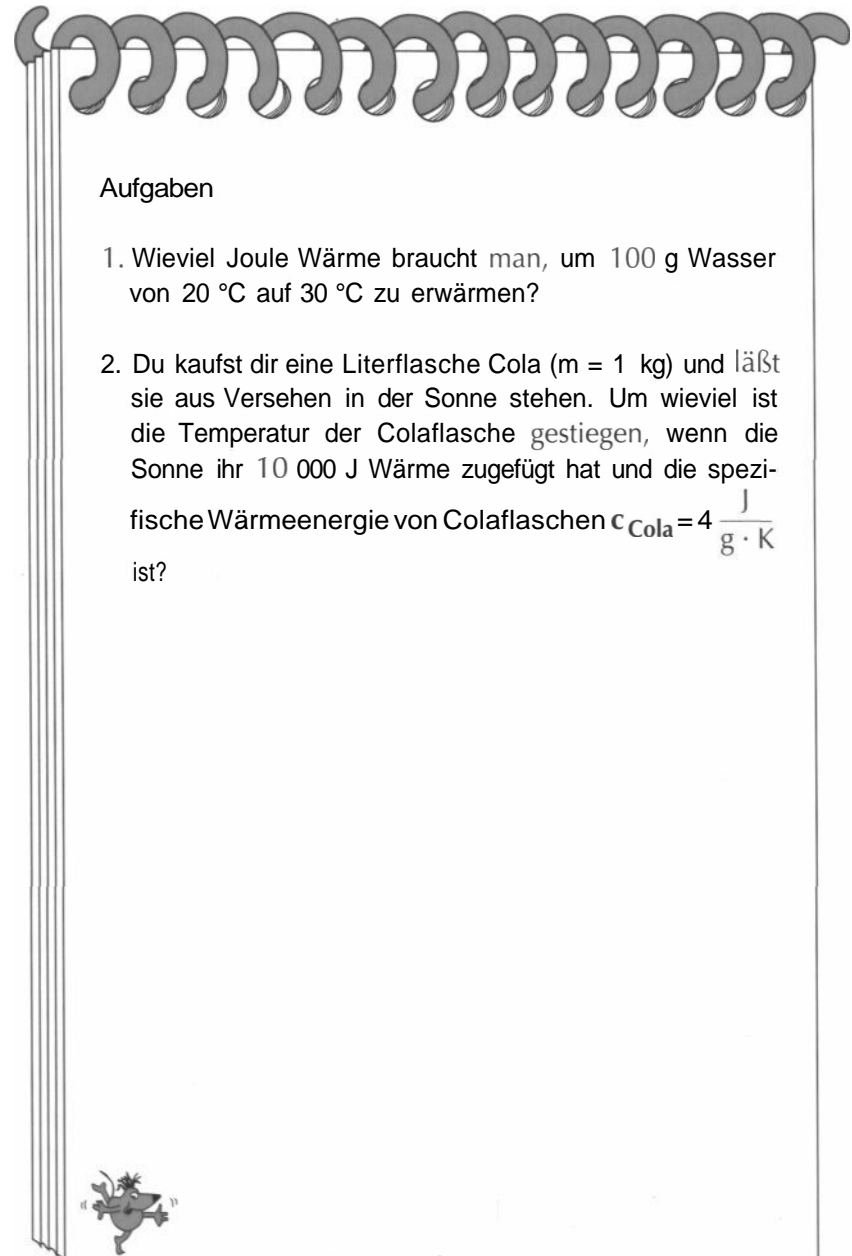
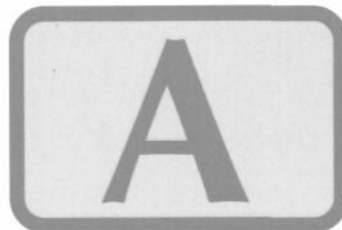
$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q steht für die Wärme, c für die spezifische Wärmekapazität des Wassers, m für die Masse des Wassers und ΔT für die Temperaturdifferenz bei der Erwärmung. Und eingesetzt sieht das dann so aus:

$$Q = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 1500 \text{ g} \cdot 24 \text{ K} = 151200 \text{ J} = 151,2 \text{ kJ}$$

Das Wasser in Zweisteins Kochtopf hat also Wärme von 151,2 kJ aufgenommen. Seine innere Energie ist um 151,2 kJ gestiegen.

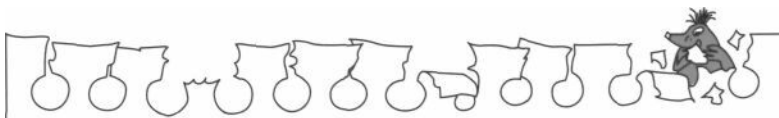
Jetzt hast du etwas sehr wichtiges verstanden: Wärme ist der Übertrag von innerer Energie. Und du weißt sogar wie man sie berechnet. Dazu noch zwei kleine Aufgaben.



Aufgaben

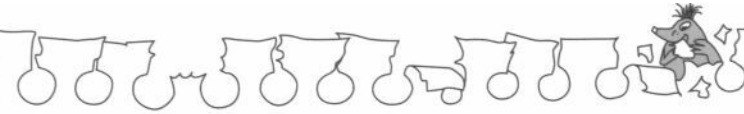
1. Wieviel Joule Wärme braucht man, um 100 g Wasser von 20 °C auf 30 °C zu erwärmen?
2. Du kaufst dir eine Literflasche Cola ($m = 1 \text{ kg}$) und läßt sie aus Versehen in der Sonne stehen. Um wieviel ist die Temperatur der Colaflasche gestiegen, wenn die Sonne ihr 10 000 J Wärme zugefügt hat und die spezifische Wärmeenergie von Colaflaschen $c_{\text{Cola}} = 4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$ ist?

Dreizehntes Kapitel **Verdampfen und Kondensieren**



Lotte wußte also jetzt, daß Tom Energietransport gemeint hatte. Aber er konnte doch schlecht mit dem zweiten Ort den Herd in ihrem Wohnwagen gemeint haben, oder? Lotte ging den Weg vom Wohnwagen zum Bootsverleih ganz genau ab, suchte überall, doch sie fand nichts, was wie ihr Buch aussah. Außerdem war hier nirgends Wasser, und das mußte ja wegen der Reflexion und der Brechung irgendwo sein. Da kam ihr eine Idee. Sie lief hinunter zum Strand. Ja, ungefähr 20 Meter neben dem Bootsverleih fand sie die Feuerstelle, die sie gesucht hatte. Hier konnte ja auch Energietransport stattfinden, und die Dose Ravioli würde erhitzt. Sie setzte sich in den Sand und schaute sich um. Was befand sich jetzt also zwischen Bootsverleih und Feuerstelle und war im Wasser? Sie schaute aufs Meer. Natürlich! Der Steg! Ja, aber da hatte sie doch schon vor Tagen verzweifelt gestanden!

Sie hörte Schritte. Da kam Tom und setzte sich lächelnd zu ihr. »Na?« fragte er. »Weißt du, wo dein Buch ist?« »Ja!« antwortete sie knapp und zeigte auf den Steg. »Clever«, sagte er anerkennend. »Was hältst du davon, wenn wir unser Schwimmzeug holen, dein Buch suchen und solange hier die Ravioli kochen?« fragte Tom. »Du meinst: ihre innere Energie erhöhen«, sagte Lotte belehrend und mußte laut loslachen.



»Genau!« Sie liefen zum Zelt, um ihre Badesachen zu holen. Es wurde schon allmählich dunkel, und sie mußten sich beeilen, wenn sie das Buch finden wollten.

Bevor sie zum Steg liefen, machte Lotte das Feuer an der Feuerstelle an und stellte die Dose Ravioli auf den Eisenrost. Sie machten sich auf die Suche, d.h. Tom wußte ja genau, wo das Buch lag, zumindest hoffte Lotte das. Tom lief also voraus. Sie wateten am Steg entlang durch das Wasser. Dann tauchte Tom unter den Steg und kam nach kurzer Zeit mit einer Plastiktüte wieder nach oben, die Tüte war gut verschnürt und mit einem Seil an einem der Stegpfosten befestigt. Feierlich überreichte Tom Lotte das Buch.

»Jetzt schnell raus aus dem Wasser, mir ist furchtbar kalt! Außerdem sind die Ravioli am Überkochen«, bibberte Lotte.

Als sie am Feuer saßen und aus der übergelaufenen Dose löf-felten, sah Tom Lotte verschmitzt an und sagte: »Du kannst froh sein, daß wir nicht auf einem hohen Berg sind. Erstens wäre dir dort noch kälter und zweitens hätten die Ravioli noch früher gekocht. Interessiert dich, warum Ravioli auf einem Berg früher kochen?« »Natürlich!«, erwiderte Lotte »nichts interessiert mich brennender!«

Verdampfen **und** Kondensieren

Neulich hat der von Blasenschmerzen geplagte Lehrer Zweistein nicht aufgepaßt. Er wollte wieder 40 °C warmes Wasser für seine Wärmflasche herstellen, da klingelte das Telefon. Es war sein Kollege Harry Hecht, der von Zweistein wissen wollte, was innere Energie ist. Zweistein, am Telefon in das Erklären vertieft, merkte nicht, wie das Wasser auf dem Herd anfang zu kochen. Als er den Hörer aufgelegt hatte und zurück in die Küche kam, war der Topf nahezu leer. Fast das gesamte Wasser war verdampft. Zweistein war verärgert, denn jetzt mußte er erneut einen Topf mit frischem Wasseraufsetzen.



Was ist eigentlich mit dem Wasser von Zweistein passiert? Wo ist es? Wir sagen es ist verdampft. Das bedeutet: das Wasser hatte so viel Wärme vom Herd bekommen, daß es schließlich nicht mehr flüssig, sondern gasförmig wurde. Wie du vielleicht weißt, besteht Wasser aus vielen kleinen Teilchen, den Wassermolekülen. Führt man ihnen Wärme zu, so bewegen sie sich immer schneller. Einige Moleküle (die »Raser«) sind dabei immer besonders schnell und verlassen schon bei Temperaturen unter 100 °C die Wasseroberfläche. Wasser verdampft oder verdunstet!

Wenn dem Wasser auf dem Herd durch die Herdplatte immer mehr Wärme zugeführt wird, so bewegen sich die Wassermoleküle immer schneller und die Anzahl der »Raser« nimmt zu. Es verdampft immer mehr Wasser. Bei 100°C angelangt, gibt es dann kein Halten mehr. Die Wassermoleküle sind so schnell, daß sie alle die Wasseroberfläche verlassen wollen. Das Wasser kocht. Man nennt diese Temperatur die Siedetemperatur.

Doch das ganze Wasser kann nicht auf einmal verdampfen. Eine »Massenflucht« der Wassermoleküle ist nicht möglich. Es muß weiterhin Wärme zugeführt werden, damit das Wasser verdampft. Pro Gramm Wasser, das verdampft, muß eine Wärme von 2 258 J zugeführt werden. Diese Wärme erhöht die innere Energie des Wasserdampfes (deshalb ist Wasserdampf auch so gefährlich und führt zu schweren Verbrennungen). In 1 g Wasserdampf mit der Temperatur 100°C stecken also 2 258 J mehr an innerer Energie als in 1 g Wasser, das 100°C heiß ist.

Wieviel Wärme muß Zweisteins Herd dem Wasser (1,5 kg), das schon 100°C heiß ist, zuführen, wenn es verdampfen soll? Die Antwort ist gar nicht schwer: Pro Gramm muß er 2 258 J zuführen. Für 1,5 kg muß er also $1\,500 \cdot 2\,258\text{ J} = 3\,387\,000\text{ J} = 3\,387\text{ kJ}$ zuführen, denn $1,5\text{ kg} = 1\,500\text{ g}$. Die Wärme, die von 100°C bis zum Verdampfen zugeführt wird, nennt man in der Physik Verdampfungswärme.



Noch bevor Zweistein neues Wasser aufsetzen konnte, klingelte es an der Tür. Zweistein öffnete und war entsetzt: Vor ihm stand Bolle Bierbauch. Sicherlich hatte der wieder eine physikalische Frage auf Lager. Bolle kam von draußen, wo es heute sehr kalt war. Neulich hatte er sich eine Brille gekauft, um einen besseren Durchblick zu haben. Zweistein führte Bolle in die Küche und schon war es um Bolles Durchblick geschehen: Seine Brille war total beschlagen. - Woher kommt das? Ich will es dir kurz erklären:

Die Wassermoleküle, die verdampft sind, schwirren als Wasserdampf im Raum umher. Wenn der Wasserdampf irgendwo seine hohe innere Energie loswerden könnte, würde er gerne wieder zu Wasser werden. Da bieten sich natürlich kältere Körper an und da Bolles Brille so kalt ist, vereinigen sich die verdampften Wassermoleküle dort wieder zu Wasser. Das nennt man Kondensieren. Die innere Energie, die der Wasserdampf beim Kondensieren los wird, geht auf die Brille über. Wasserdampf kondensiert also vornehmlich an kälteren Körpern. Im Winter kannst du das gut an Fensterscheiben beobachten (Fensterscheiben sind im Winter kalt). Übrigens: Nebel hat nichts mit Wasserdampf zu tun. Vielmehr besteht Nebel aus vielen winzig kleinen **Wassertropfen**.

Da du heute an der letzten Station keine Aufgaben mehr lösen mußt, will ich dir noch kurz einen Extra-Kochtip geben:

Extra

Warum kann man auf hohen Bergen so schlecht Eier kochen?

Der Grund ist eigentlich ganz einfach: Die Siedetemperatur auf einem hohen Berg ist niedriger als im Flachland. je höher der Berg ist, desto niedriger ist die Siedetemperatur. Auf einem hohen Himalayaberg siedet Wasser schon bei ungefähr 80 °C. Das kochende Eierwasser wird also nicht heißer als 80 °C. Die Wärme, die ein Kocher dem Wasser weiterhin zuführt, wird zum Verdampfen benötigt. Nun müßte es eigentlich klar sein. Die Eier brauchen bei 80 °C heißem Wasser eben viel länger, bis sie fertig sind wie bei 100 °C heißem Wasser.

Übrigens: Auch eine Dose Ravioli beginnt auf einem hohen Berg bei geringerer Temperatur zu kochen als auf Meereshöhe.



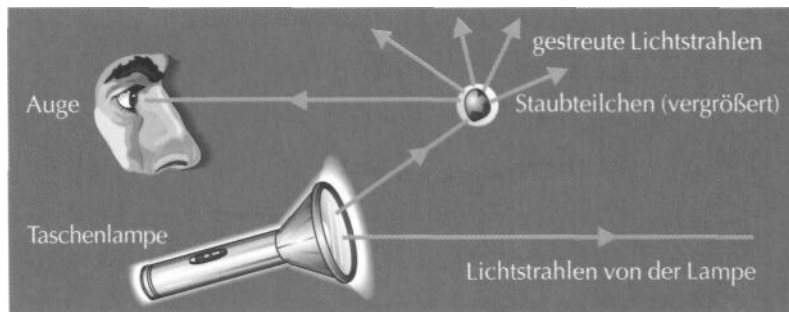
Als sie abends in ihren Schlafsäcken lagen und Tom Lotte das Kapitel über Verdampfungswärme vorgelesen hatte, wurde Lotte bewußt, daß sie am nächsten Tag nach Hause fahren würden. Na ja, sie konnte ihr Buch ja auf der Heimreise lesen. Immerhin hatte sie in diesem Urlaub einiges über Physik gelernt, aber das konnte sie ja schlecht vor Tom zugeben.



Lösungen

Erstes Kapitel: Lichtquellen und Lichtstrahlen

Aufgabe 1: Wenn du mit deiner Taschenlampe in den Himmel leuchtest, gelangt das Licht von der Taschenlampe nicht in deine Augen. Also siehst du das Licht, das von der Taschenlampe ausgeht, nicht. Schüttelst du aber einen Staublappen vor der Taschenlampe aus, so wird das Licht von der Taschenlampe an den kleinen Staubteilchen gestreut und ein Teil davon kann in dein Auge gelangen (im Bild wird das an einem Staubteilchen gezeigt). Du siehst also den Bereich, in den das Licht der Taschenlampe gelangt. Man nennt diesen Bereich auch den Lichtkegel, der von der Taschenlampe ausgeht.



Aufgabe 2: Er sieht sein Fahrrad von den beiden oberen Fenstern aus, denn nur dorthin können die Lichtstrahlen vom Fahrrad hinkommen. Die Lichtstrahlen in Richtung der beiden unteren Fenster enden an der Mauer. Zweistein kann also von den beiden anderen Fenstern sein Fahrrad nicht sehen. Für seine Schüler ist diese Kenntnis natürlich wichtig, wenn sie ihre neuen Streiche planen...

Aufgabe 3: Diese Frage mußt du wohl selbst beantworten. Vielleicht von deiner Schreibtischlampe oder von der Deckenlampe oder von beiden. Bei Tageslicht kommt das Licht von der Sonne. Bist du gezwungen dieses Buch bei Kerzenschein zu lesen? Tja, dann kommt das Licht eben von der brennenden Kerze.

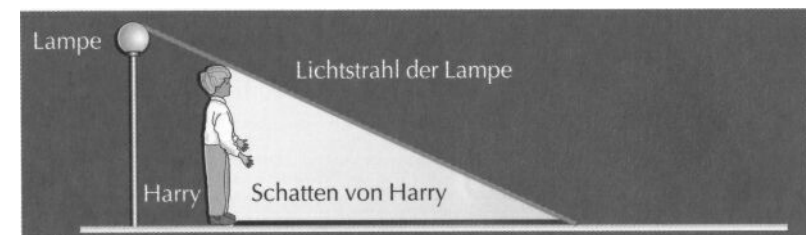
Aufgabe 4: Unter indirekter Beleuchtung versteht man folgendes: Die Lichtquelle (zum Beispiel eine Halogenlampe) sendet ihr Licht nicht direkt in den Raum, sondern beleuchtet eine möglichst helle Wand. Das Licht der Lichtquelle trifft also zuerst auf die Wand. Von dort wird das Licht dann in den Raum gestreut. Die Wand ist ein Zwischensender von Licht. Da das Licht nicht direkt in den Raum gelangt, spricht man von indirekter Beleuchtung (wie beim indirekten Freistoß im Fußball).

Zweites Kapitel: Entstehung von Schatten

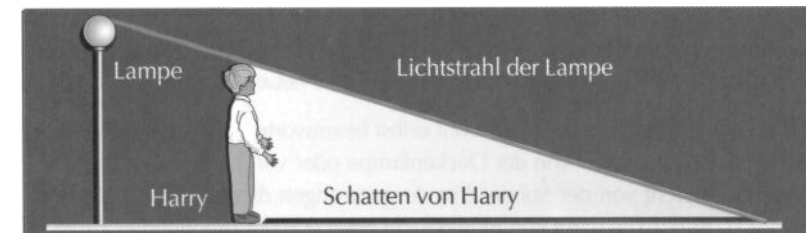
Aufgabe 1: Schatten entsteht immer dann, wenn Licht auf einen lichtundurchlässigen Körper trifft. Wenn die Sportler (sie sind natürlich lichtundurchlässig) im Stadion ihre Höchstleistungen zeigen, werden sie von vielen Lampen, die an den Lichtmasten angebracht sind, beleuchtet. Das Licht von jedem Lichtmast erzeugt nun einen Schatten des Sportlers auf dem Sportplatz. Der Sportler hat also so viele Schatten, wie es Lichtmasten im Stadion gibt.

Aufgabe 2: Um dir das zu erklären, habe ich wieder zwei Zeichnungen gemacht.

1. Harry ist gerade unter der Straßenlampe hindurch gelaufen:



2. Harry ist schon etwas weiter von der Straßenlampe entfernt:



Aufgabe 3: Na klar, da bleibt ja nichts anderes übrig! Die Lichtquelle **muß** sich bewegen. Du kannst das ja mal in einem dunklen Raum mit deiner Taschenlampe ausprobieren. Stelle einfach ein Buch etwas entfernt **voreine** Wand und beleuchte es von unterschiedlichen Positionen mit einer Taschenlampe. Du wirst sehen, wie der Schatten sich bewegt.

Viertes Kapitel: Abbildungen

Aufgabe 1: Die Bildgröße B beträgt 5 cm, also $B = 5 \text{ cm}$. Die Bildweite ist $b = 10 \text{ cm}$ und die Gegenstandsweite ist $g = 9 \text{ m}$, denn diese Entfernung hat die Öffnung der Lochkamera vom Haus. Damit **Bildgröße**, Bildweite und Gegenstandsweite in derselben Einheit angegeben sind, rechnen wir die Gegenstandsweite in cm um, also $g = 900 \text{ cm}$. Die Höhe des Hauses von Harry ist gerade die Gegenstandsgröße G und dafür haben wir ja eine **Gleichung**, nämlich:

$$\frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

Damit können wir die Gegenstandsgröße G leicht berechnen:

$$\frac{G}{5} = \frac{900}{10} = 90$$

Also

$$\frac{G}{5} = 90$$

Dabei habe ich die Einheiten erst mal weggelassen. Wenn wir beide Seiten der **Gleichung** mit 5 multiplizieren und die Einheit wieder dazuschreiben, erhalten wir: $G = 450 \text{ cm} = 4,5 \text{ m}$.

Harrys Haus ist somit 4,5 m hoch.

Aufgabe 2: Die Bildgröße B ist die Größe des Bildes auf dem Butterbrotpapier, also $B = 6 \text{ cm}$. Die Bildweite b beträgt immer noch 10 cm , also $b = 10 \text{ cm}$. Die Gegenstandsgröße G ist die Höhe des Kirchturms, also $G = 60 \text{ m} = 6000 \text{ cm}$. Die Entfernung von Harry zum Kirchturm ist nun gerade die Gegenstandsweite g . Dafür haben wir wieder unsere Gleichung:

$$\frac{G}{B} = \frac{g}{b}$$

Damit können wir die Gegenstandsweite leicht berechnen. Da wir alle Größen in der gleichen Einheit angeben, können wir sie bei der Rechnung auch weglassen:

$$\frac{6000}{6} = \frac{g}{10}$$

Und damit

$$1000 = \frac{g}{10}$$

Wenn wir beide Seiten der Gleichung mit 10 multiplizieren und die Einheit für die Gegenstandsweite wieder dazuschreiben, erhalten wir $g = 10000 \text{ cm} = 100 \text{ m}$.

Harry ist 100 m vom Kirchturm entfernt.

Aufgabe 3: Den **Abbildungsmaßstab** (wir nennen ihn A) für beide Aufgaben erhalten wir mit

der Gleichung $A = \frac{B}{G}$

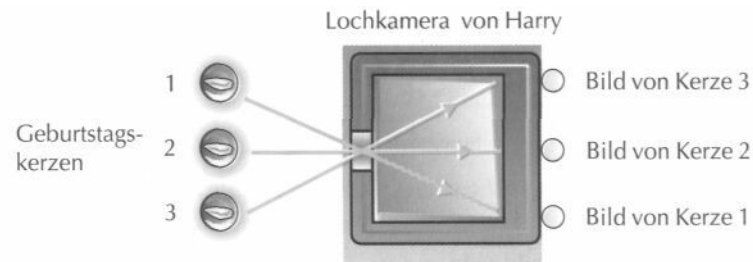
Bei der ersten Aufgabe ist $B = 5 \text{ cm}$ und $G = 4,5 \text{ m} = 4500 \text{ cm}$. Der Abbildungsmaßstab ist somit

$$A = \frac{B}{G} = \frac{5}{4500} = \frac{1}{900}$$

Bei der zweiten Aufgabe ist $B = 6 \text{ cm}$ und $G = 60 \text{ m} = 6000 \text{ cm}$. Der Abbildungsmaßstab ist

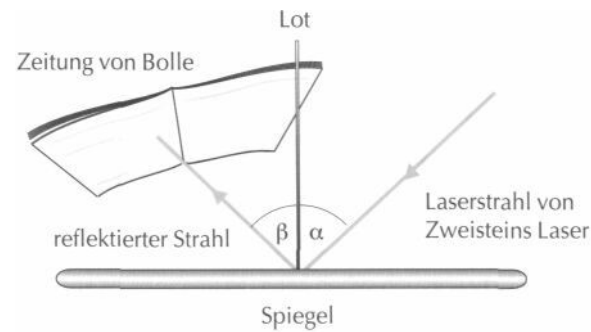
$$A = \frac{B}{G} = \frac{6}{6000} = \frac{1}{1000}$$

Aufgabe 4: Das Bild der Kerzen auf dem Schirm der Lochkamera erhältst du, wenn du die Lichtstrahlen, die von den Kerzen ausgehen und durch die Öffnung der Lochkamera gehen, einzeichnest.

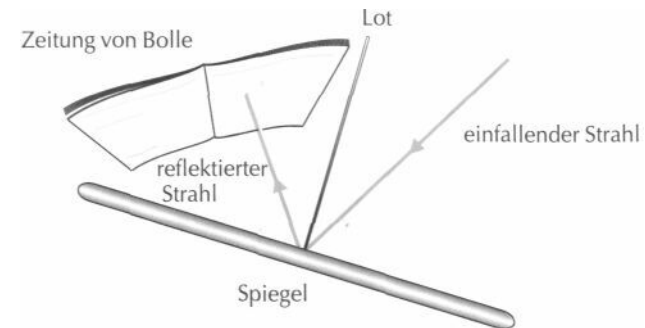


Fünftes Kapitel: Reflexion

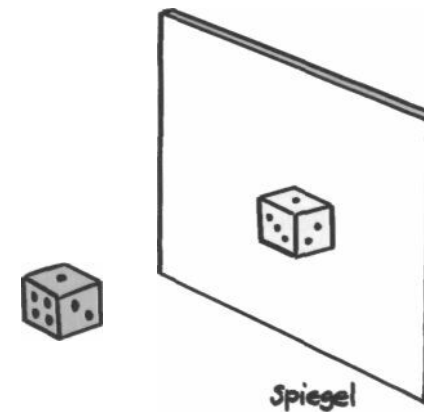
Aufgabe 1: Um herauszufinden, wo der Laserstrahl auf Bolles Zeitung trifft, mußt du zuerst das Lot auf den Spiegel (also eine senkrechte Linie auf den Spiegel) zeichnen. Dann mißt du den Einfallswinkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Lot. Der Reflexionswinkel zwischen dem reflektierten Strahl und dem Lot muß nun genauso groß sein.



Aufgabe 2: Der Spiegel muß senkrecht zum Lot stehen. Das Lot wiederum ist gerade die Winkelhalbierende zwischen einfallendem und reflektiertem Strahl. Du mußt also zuerst die Winkelhalbierende zwischen einfallendem und reflektiertem Strahl einzeichnen und danach den Spiegel.



Aufgabe 3: Das Spiegelbild sieht so aus:

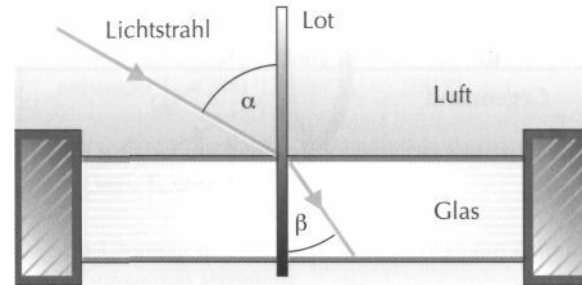


Du kannst es ja mal zu Hause ausprobieren.

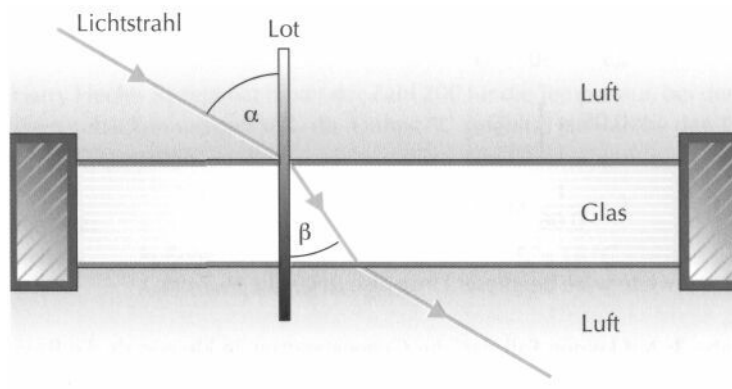
Aufgabe 4: Wenn du es ausprobiert hast, wirst du es bestimmt wissen. Der Ausschnitt, den Harry von sich sehen kann, ist unabhängig von der Entfernung zwischen Harry und dem Spiegel.

Sechstes Kapitel: Lichtbrechung

Aufgabe 1: Der Lichtstrahl geht von Luft in Glas über. Dabei ist α der Einfallswinkel und β der Brechungswinkel.

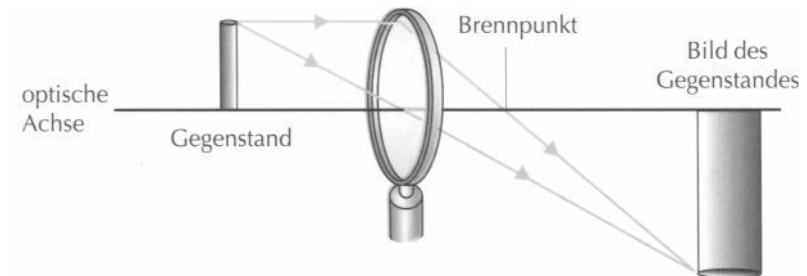


Aufgabe 2: Der Lichtstrahl hat den folgenden Verlauf (den Brechungswinkel kannst du in der Tabelle nachlesen).



Siebttes Kapitel: Abbildungen durch Sammellinsen

Aufgabe 1: Wie man das Bild erhalten kann, kannst du ja noch mal nachlesen.



Aufgabe 2: Nehmen wir mal an deine Bildweite b war 25 cm und deine Gegenstandsweite g 50 cm. Wenn du nun das Linsengesetz anwendest, erhältst du (die Einheiten kannst du erst mal weglassen):

$$\frac{1}{25} + \frac{1}{50} = \frac{1}{f}$$

$$0,06 = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{0,06} \text{ cm} \approx 16,7 \text{ cm}$$

Die Brennweite wäre bei dieser Linse also ungefähr 16,7 cm.

Aufgabe 3: Auf keinen Fall darf die Gegenstandsweite kleiner als die Brennweite sein, denn sonst sieht er nur noch ein verschwommenes Bild. Ansonsten gilt: Je kleiner die Gegenstandsweite, desto größer die Bildweite, und damit wird das Bild größer. Er nähert also die Kerze der Sammellinse und entfernt dabei das Papier immer mehr von der Sammellinse. Bei einer Brennweite von 20 cm hat er bei einer Gegenstandsweite von 25 cm eine Bildweite von 100 cm und damit eine vierfache Vergrößerung. Bei einer Gegenstandsweite von 22 cm hat er eine Bildweite von 220 cm und eine zehnfache Vergrößerung.

Achtes Kapitel: Temperatur

Die Temperaturdifferenz, welche du auf Seite 65 ausrechnen sollst, ist $313\text{K} - 311\text{K} = 2\text{K}$.

Aufgabe 1:

Gegeben: zwei mögliche Ofentemperaturen,
entweder $T_A = 200^\circ\text{C}$ oder $T_B = 200\text{K}$.

Gesucht: Mit welcher der beiden Temperaturen kann man einen Kuchen backen, T_A oder T_B ?

Formel: Zur Umrechnung von K in $^\circ\text{C}$ muß man die Zahl 273 von den Kelvinwerten abziehen.

Lösung: $T_A = 200^\circ\text{C}$ scheint schon einmal eine ganz vernünftige Temperatur um einen Kuchen zu backen.
 $T_B = 200\text{K} = (200 - 273)^\circ\text{C} = -73^\circ\text{C}$ ist allerdings etwas kalt.
Damit kann man den Teig allerhöchstens einfrieren.

In Harry Hechts Rezept hat hinter der Zahl 200 für die Temperatur, bei der der Kuchen gebacken werden soll, die Einheit $^\circ\text{C}$ gefehlt. Harry sollte den Ofen auf 200°C einstellen.

Aufgabe 2:

Gegeben: Außentemperatur abends $T_1 = 18^\circ\text{C}$
Außentemperatur morgens $T_2 = 5^\circ\text{C}$

Gesucht: Temperaturdifferenz ΔT

Formel: $\Delta T = T_1 - T_2$ bzw. $\Delta T = T_2 - T_1$, je nachdem, bei welcher Formel eine positive Zahl herauskommt.

Lösung: $\Delta T = 18^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 13\text{K}$

Bei dem Temperatursturz fiel die Außentemperatur um 13K , das heißt die Temperaturdifferenz zwischen der Außentemperatur abends und morgens war 13K .

Neuntes Kapitel: Temperatur und Ausdehnung

Aufgabe 1: Aus dem Text geht hervor, daß sich bei Erwärmung um $\Delta T = 60 \text{ K}$ ein 1 m langes Schienenstück um 1 mm ausdehnt. In der Aufgabe ist das Schienenstück nun länger, nämlich 8 m. Die Temperaturdifferenz ist die gleiche geblieben. Daher kann man die Aufgabe so lösen:

1 m Schiene verlängern sich um 1 mm

8 m Schiene verlängern sich um 8 mm

8 m Schiene verlängern sich also bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta T = 60 \text{ K}$ um 8 mm.

Aufgabe 2: Als Ausgangspunkt nimmt man, was über die Gerüststangen bekannt ist:

10 m ziehen sich bei Abkühlung um 20 K um 0,7 mm zusammen.

Da es gerade 40°C hat und Bolle sich überlegt, was bei 0°C passiert, heißt die Aufgabenstellung:

10 m ziehen sich bei 40 K Abkühlung um ? mm zusammen?

Die Länge der Gerüststangen bleibt in der Aufgabenstellung gleich. Es ändert sich nur die Temperatur. Daher kann man das Problem so lösen:

Bei 20 K Abkühlung verkürzt sich die Stange um 0,7 mm.

Bei 40 K Abkühlung verkürzt sich die Stange um 1,4 mm.

Die Gerüststange verkürzt sich beim Abkühlen um 1,4 mm.

Zehntes Kapitel: Energie und ihre Träger

Wenn du hier nach Lösungen schaust, machst du etwas falsch. Du sollst doch in der Küche schauen! Lebensmittel tragen Energie in Form von chemischer Energie.

Zwölftes Kapitel: Transport **von** innerer Energie

Aufgabe 1:

Gegeben: Masse $m = 100 \text{ g}$
Temperaturdifferenz $\Delta T = 30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 10 \text{ K}$

spezifische Wärmekapazität $c = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Gesucht: Wärme Q

Formel: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Lösung: $Q = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 100 \text{ g} \cdot 10 \text{ K} = 4200 \text{ J}$

Um 100 g Wasser von 20 °C auf 30 °C zu erwärmen braucht man 4200 J.

Aufgabe 2:

Gegeben: Masse $m = 1000 \text{ g}$
Wärme $Q = 100000 \text{ J}$

Gesucht: spezifische Wärmekapazität $c = 4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
Temperaturdifferenz ΔT

Formel: Umgestellt heißt die Gleichung: $\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m}$

Lösung: $\Delta T = \frac{100000 \text{ J}}{4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 1000 \text{ g}} = 25 \text{ K}$

Die Colaflasche enthält jetzt Cola, die scheußlich schmeckt, denn die Flasche hat sich insgesamt um 25 K erwärmt.