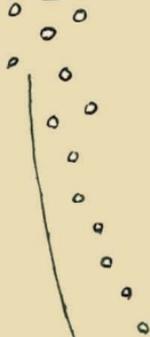
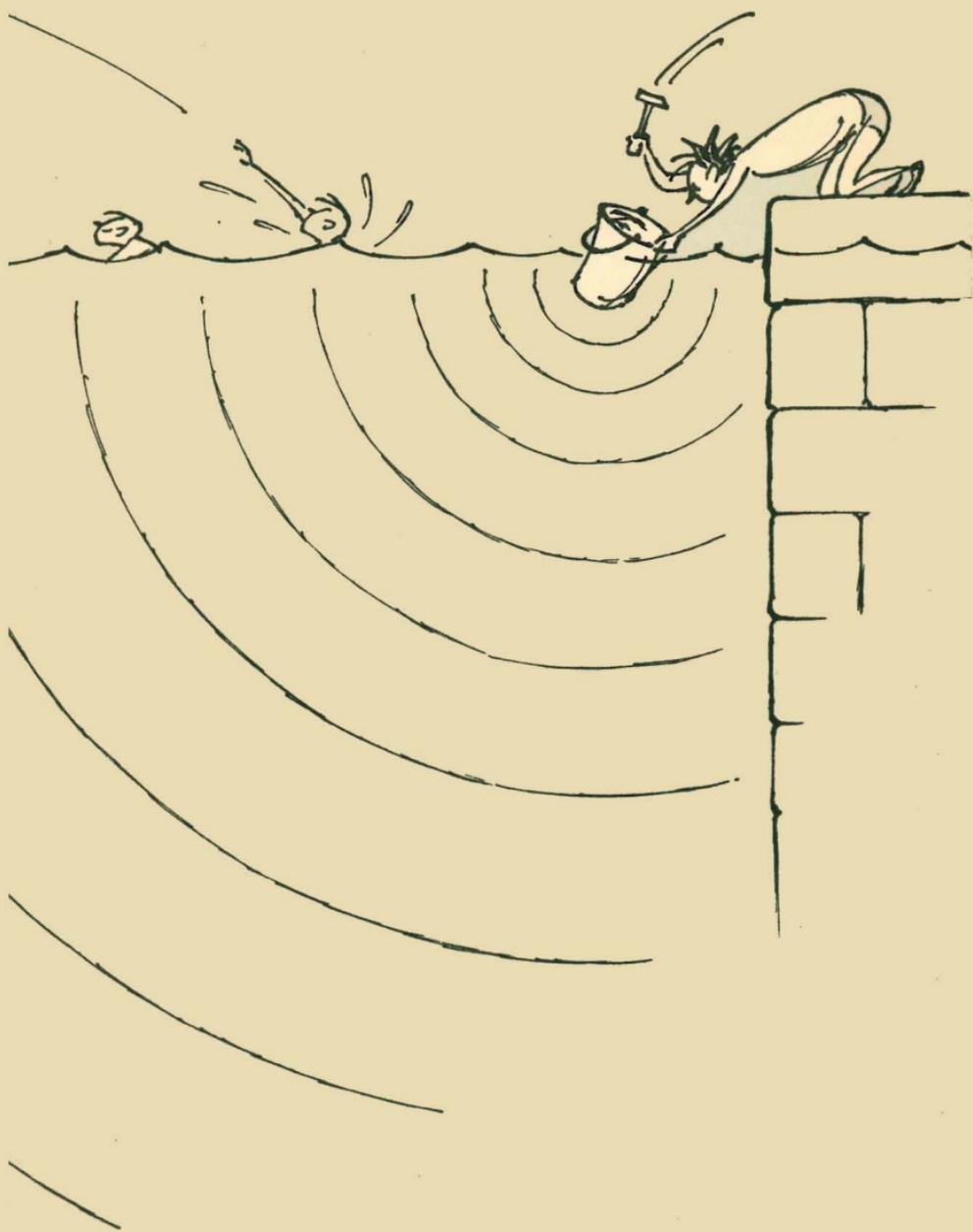


HANS BACKE



Halt dich senkrecht!





HANS BACKE · HALT DICH SENKRECHT!



HANS BACKE

Halt dich senkrecht!

Ein Buch von den Gesetzen, die uns
und die Welt zusammenhalten,
und von tausend Gelegenheiten
zum Beobachten und zum Ausprobieren

DER KINDERBUCHVERLAG
BERLIN

Einband und Illustrationen von Wilmar Riegenring

Alle Rechte vorbehalten

Printed in the German Democratic Republic

Lizenz-Nr. 304-270/84/68-(10)

Satz und Druck: Karl-Marx-Werk Pößneck V 15/30 · 1. Auflage

ES 9 F · Preis: 5,20

Für Leser von 10 Jahren an

Lieber Leser, liebe Leserin!

Du hast dieses Buch geschenkt bekommen oder dir gar von deinem Taschengeld selbst gekauft. Vielleicht hast du auch hier und da schon einmal kurz hineingeschaut und an den Bildern gemerkt, daß kleine Experimente beschrieben werden.

Du hast recht: Die sind auch dabei. Aber Experimentierbücher gibt es schon mehrere; warum sollte hier noch eines geschrieben sein? Du kannst es dir schon denken: Dieses Buch will dir mehr geben als nur einige hübsche Experimente, die Spaß machen und über die deine Zuschauer staunen. Das sowieso; aber wir beide, du und ich, wollen zugleich manches Merkwürdige und Wissenswerte entdecken, was dir bisher noch gar nicht aufgefallen ist.

Entdeckungsfahrten – da denkt man an Reisende, die in ferne Länder fahren, allerlei Abenteuer bestehen und Neues finden, das noch kein Mensch gesehen hat. Wir beide haben es leichter! Wir brauchen nicht fortzureisen; trotzdem werden wir im Hause und auf der Straße, überhaupt in unserer nächsten Umgebung und sogar an uns selbst Neues entdecken. Unser Reisegepäck haben wir zur Hauptsache immer bei uns: unsere Sinne nämlich, mit denen wir sehen, hören, fühlen, riechen und schmecken.

Richtig – ein Gepäckstück hätte ich fast vergessen, und dabei ist es so wichtig: das Köpfchen! Ich meine den Verstand darin, mit dem du denken kannst.

Denken ist Glückssache? Nein, Denken ist vor allem Übungssache; außerdem muß man es erst einmal lernen.

Du hast sicherlich schon viel denken müssen, lieber Leser, oft richtig, gelegentlich auch falsch; je mehr man es übt, um so seltener macht man Fehler. Das große Geheimnis beim Üben liegt darin, daß man sich und andere immer wieder fragt:

„WARUM?“

Warum ist das so und nicht anders? Warum geht etwas so vor sich und nicht anders?

Es gibt keine Frage, die so dumm ist, daß du sie nicht stellen darfst; es ist nur eine große Dummheit, wenn du nicht fragen magst! Wir wollen das in diesem Buche an Dingen, die Spaß machen, üben. Du paßt scharf auf, beobachtest genau, und ich werde deine Fragen beantworten. Und wenn hier oder da noch eine Frage übrigbleibt, dann schreibe an den Kinderbuchverlag in 108 Berlin, Wilhelm-Külz-Straße 30; der schickt mir deinen Brief, und ich antworte dir dann.

Wollen wir mal?



Warum eigentlich immer wieder?

Ja, warum geschieht so vieles immer wieder in derselben Art und Weise?

Du wäschst dir jeden Tag auch den Hals. **WARUM?**

Weil deine Mutter es verlangt. Tust du es einmal nicht, dann bekommst du Ärger und mußt dich vor deinen sauber gewaschenen Freunden schämen.

Es ist immerhin möglich, daß du dich einmal darum drückst; die Welt bricht dadurch nicht zusammen. Du wäschst dir also auch den Hals, weil die Menschen gefunden haben, daß es so besser ist, daß es sich für einen sauberen Jungen und ein sauberes Mädels einfach so gehört. Das ist eine *Regel*, die die Menschen aufgestellt haben: Unsauberkeit ist etwas Schlechtes.

Platsch! Dir ist die glitschige Seife ins Waschbecken gefallen, so weit nach unten, wie es ihr nur möglich ist. Beim Frühstück fängst du an nachzudenken: WARUM?

Hat jemand der Seife gesagt, daß sie nach unten fallen soll? Kann sie plötzlich keine Lust mehr haben, nach unten zu fallen, und dann irgendwo in der Luft frei schweben bleiben oder gar nach oben an die Decke sausen? Komischer Gedanke, ja? Unangenehm ist er außerdem; du müßtest die Seife mit einer Leiter von der Zimmerdecke herunterholen.

Überlege doch mal: Wenn du das Wort *fallen* hörst, dann denkst du sofort an den Fall nach unten. Tatsächlich fällt jeder Körper auf dem kürzesten Wege nach unten auf die Erde, wenn er nicht aufgehalten wird. Immer und immer tut er das. Täte er das eines Tages nicht mehr, sondern sauste nach oben, so würden alle anderen Körper, Menschen, Tiere, Häuser und so weiter, folgen, und die Erde würde auseinanderbrechen.

Daß das nicht geschehen kann, dafür sorgt ein *Naturgesetz*.

Es gibt eine ganze Reihe solcher Gesetze und Regeln der Natur. Wir werden einige besonders wichtige kennenlernen, solche nämlich, die sozusagen täglich vor unserer Nase wirken.

Das Gute bei den Naturgesetzen ist, daß sie immer und überall wirken. Beim Beobachten und Nachdenken finden wir sie bald als gute alte Bekannte wieder.

Das Beste an den Naturgesetzen ist, daß die Menschen sie für sich ausnutzen können. Man muß nur genau aufpassen, daß man von der Natur nichts Falsches verlangt,

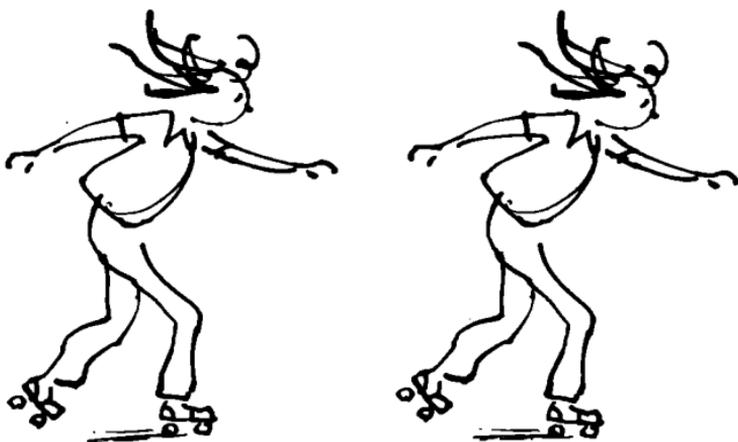
etwa daß Wasser bergauf läuft. Wir müssen also die Gesetze der Natur erst lernen und ihnen dann gehorchen. Wenn wir das tun, dann hilft uns die Natur sehr. Wir merken dann auch bald, daß es keinen Zufall gibt; alles, was geschieht, hat einen Grund.

Das Rollschuh-Wettrennen

Hast du dir einmal überlegt, was an einem Tage alles geschieht, was du alles machst, siehst und hörst? Das ist eine ganze Menge! Angenehmes und Unangenehmes, Wichtiges und Nichtwichtiges ist dabei, alles schön gemischt. Wo sollen wir da nur anfangen, um das Geheimnis der Natur an einem Zipfelchen zu entdecken?

Ich schlage vor, wir nehmen ein Spiel; das können wir uns einrichten, wie wir wollen, und Spaß macht es auf jeden Fall. Ein Wettrennen mit Rollschuhen vielleicht. Beim Rollerrennen und beim Radfahren beobachten wir das gleiche; nur der Start ist da etwas anders. Rufen wir also unsere Freunde zu einem kleinen Rollschuh-Wettrennen zusammen!

Natürlich fährt ihr nicht auf einer Verkehrsstraße, denn das ist lebensgefährlich und daher verboten. Wir suchen eine möglichst glatte, breite Spielstraße aus, 200 m lang soll unsere sein, mit einer schönen Kurve mittendrin. Ihr



habt eure Rollschuhe nachgesehen, vielleicht auch frisch geölt und dann angeschnallt. Nun steht ihr in einer Reihe nebeneinander: du, Angelika, Fritz, Herbert und Rolf.

Du gibst das Kommando „Los“, und bums, da liegt Fritz auf der Nase. Die anderen fahren schnell an ihm vorbei, während Fritz sich aufrappelt und hinterherfährt.

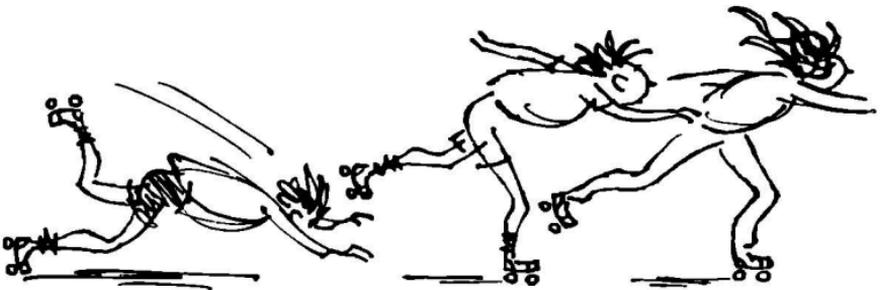
Es dauert gar nicht lange, da haben gleich noch zwei andere Pech: Rolf gerät mit einem Rollschuh in ein Schlagloch, stolpert und fällt ebenfalls auf die Nase. Es war nicht so schlimm, wie es aussah; Rolf läuft schon wieder weiter.

Zur selben Zeit hat Herbert die Kurve nicht richtig genommen; er fährt aus der Kurve heraus in der alten Richtung weiter gegen einen Baum. Auch nicht weiter schlimm; aber er hat *Zeit* verloren.



Angelika hat alle Gefahren geschickt überstanden und kommt als erster Sieger ans Ziel, einen Kreidestrich auf dem Asphalt. Du bist fast ebenso schnell gefahren und nun zweiter Sieger.

Rolf ist als Dritter über die Zielgerade gefahren und gerade eben stehengeblieben, noch mit dem Gesicht



nach vorn. Da kommt auch schon Fritz über das Ziel, paßt nicht auf und prallt auf Rolfs Rücken! Und ehe die beiden sich versehen, fährt Rolf in der alten Richtung weiter, während Fritz ganz verblüfft ebenso plötzlich stillsteht. Rolf fährt einen kurzen Bogen und kommt zurück.

Herbert ist ebenfalls angelangt, und ihr seid am Ziel alle wieder zusammen.

Ein Zeitlupenfilm

Das ist die ganze Geschichte vom Rollschuh-Wettkampf, wenn man nur kurz erzählt, was da geschehen ist und was jeder, der dabei war, mit seinen Augen hat sehen können. So berichten auch die Reporter, die Berichterstatter, immer in den Zeitungen, im Rundfunk und Fernsehen von Sportveranstaltungen.

Wir wollen den Wettkampf aber heute einmal anders betrachten und sehen, was dabei herauskommt; wir wollen das Ereignis gewissermaßen unter die Lupe nehmen, dabei nachdenken und die Gründe finden, warum das alles im einzelnen so abgelaufen ist! Hast du schon einen *Zeitlupenfilm* gesehen? Da geht alles ganz langsam vor sich, viel langsamer als in Wirklichkeit. Man macht solche Filme, um schnelle Bewegungen genau beobachten zu können.

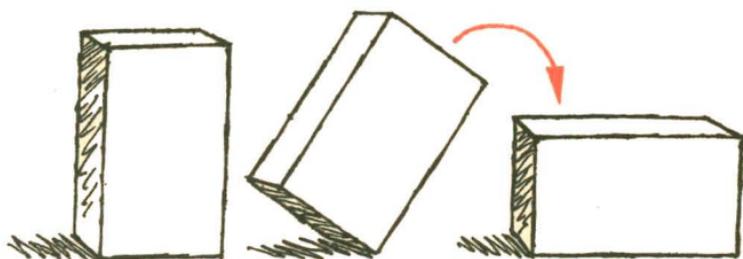
Hier im Buch müssen wir das ähnlich machen und einzelnes herausnehmen, um es genau anzuschauen und zu überlegen.

Fritz verliert das Gleichgewicht

Da ist zuerst der Fritz, der eben auf die Nase gefallen ist. Wir fragen sofort: WARUM? Antwort: Er hat sich mit viel Kraft einen Schwung geben, sich abstoßen wollen. Dabei ist ein Fuß nach hinten gerutscht, Fritz hat seinen Körper zu weit vornüber gebeugt. Der Körper hat keinen festen Boden mehr unter sich gehabt und ist nach unten gefallen. Wie deine Seife, die dir aus der Hand gerutscht ist.

Vom Schwerpunkt und vom Gleichgewicht

Als du noch jünger warst, hast du sicherlich mit Bauklötzen Türme gebaut. Wenn ein Turm schön senkrecht über seiner Grundfläche hochgebaut wurde, dann blieb er brav stehen. Wenn du die Klötze schief aufeinandersetztest, dann kippte er um. Das kannst du im Versuch leicht nachmachen: Du stellst einen Ziegelstein oder eine Zigarrenkiste oder einen kleinen Pappkarton mit der kleinsten

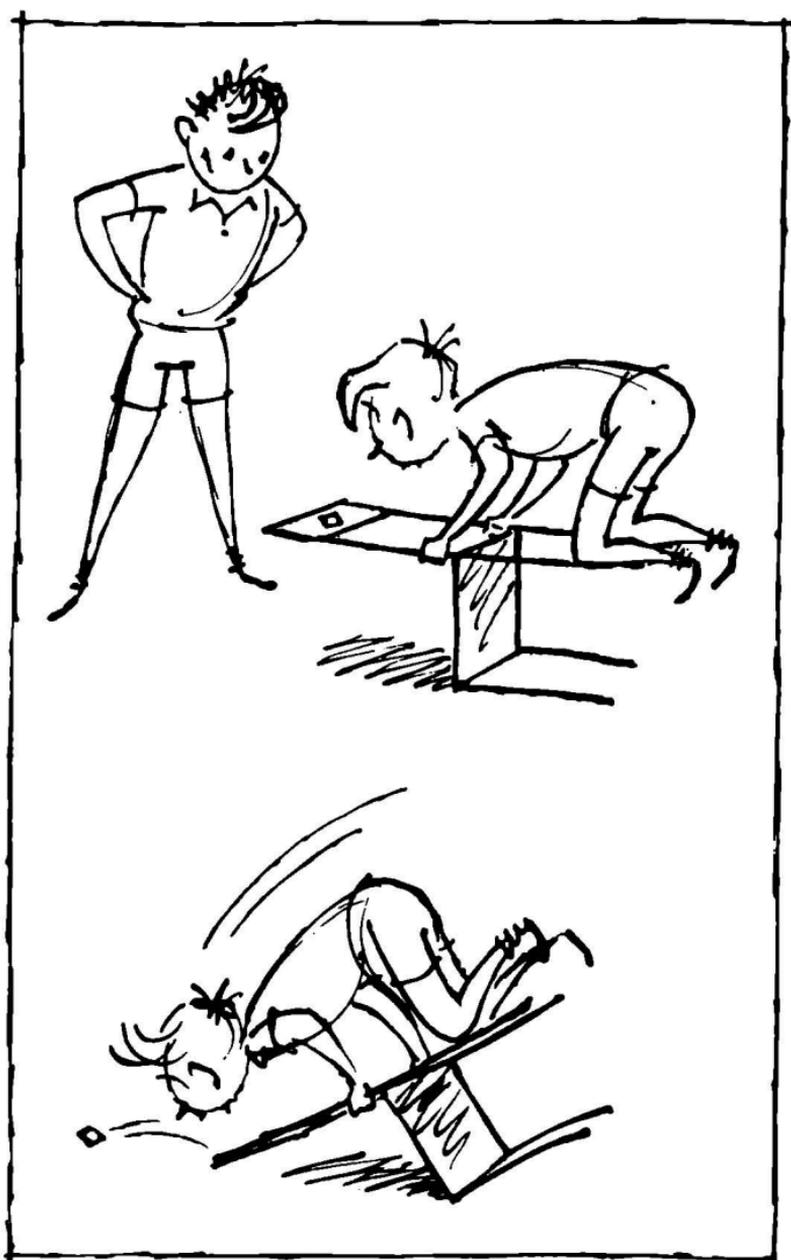


Fläche auf den Tisch. Die langen Kanten ragen senkrecht über der Aufstellfläche in die Höhe. Jetzt drückst du ganz oben den Stein oder was du sonst hast zur Seite. Eine Weile geht das gut; dann kippt die Sache um! Sie hat ihr *Gleichgewicht* verloren. Wenn so etwas geschehen kann, dann sagt man, die Sache war im *unsicheren Gleichgewicht*.

Fritz ist auch zu weit über seine Aufstellfläche hinausgekommen und kippte daher um.

Wenn er dir das nicht glauben will, dann mache folgenden Versuch mit ihm: Du legst einen Stuhl mit beiden Vorderbeinen auf den Fußboden; die Stuhllehne schwebt waagrecht frei in der Luft. Du legst ein Stück Zucker auf den äußersten Rand der Stuhllehne. Fritz kniet auf den Hinterbeinen des Stuhles oder, wenn es vorhanden ist, auf dem Querstück zwischen den Hinterbeinen und hält sich mit beiden Händen an der Lehne fest, gleich am Sitz. Die Aufgabe heißt nun: Fritz soll den Zucker mit dem Mund wegholen! Er beugt sich vor und denkt, das sei sehr leicht getan; und schon ist er mit der Lehne nach unten gekippt! Er hat sein Gleichgewicht verloren, weil er zuviel von seinem Körper über die Auflagefläche des Stuhles hinausgeschoben hat. Wenn der Stuhl eine sehr lange Lehne hat, kann man nicht viel machen; ist die Lehne kurz, dann gelingt der Versuch. Fritz muß versuchen, den größten Teil seines Körpergewichtes über den Stuhlbeinen zu lassen.

Du kannst das unsichere Gleichgewicht auch beim Reckturnen erleben: Wenn du so auf der Reckstange liegst – Kopf nach vorn, Beine nach hinten –, so daß deine Hände an der Stange keine Kraft mehr ausüben müssen. Du



liegst waagrecht, ohne zu fallen. Dein ganzes Gewicht wird von der Stange getragen. Das ist so, als wäre deine ganze Schwere jetzt in dem schmalen Streifen, der auf der Reckstange liegt; wir könnten ihn Schwerestreifen nennen.

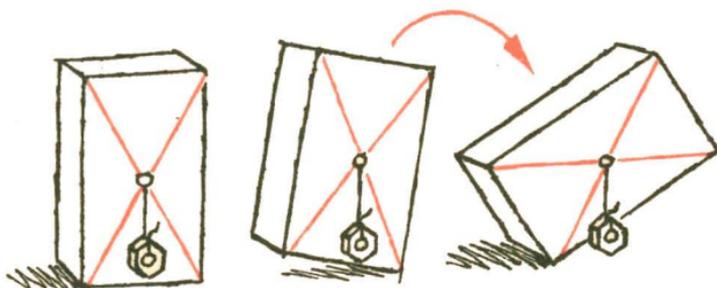
Du kannst dir nun denken, daß ein Körper auch in einem Punkt gehalten werden kann; der würde wohl in der Mitte unseres Schwerestreifens liegen. Einen solchen Punkt könnte man dann Schwerepunkt, den *Schwerpunkt* nennen. Den gibt es wirklich; er liegt mitten im Körper. Dieser Schwerpunkt muß von unten unterstützt werden. Er muß genau über der Fläche sein, auf welcher der Körper ruht; dann fällt dieser Körper nicht um, sondern ist im unsicheren Gleichgewicht.

Selbst mit deinem Körper auf einer ganz kleinen Unterstützungsfläche liegen kannst du nicht, weil das weh tut. Aber du kannst eine Zigarrenkiste mit dem Zeigefinger von unten im unsicheren Gleichgewicht halten. Nimm aber eine leere; fallen die Zigarren heraus, gibt es Ärger mit Vater!

Wir haben jetzt so viel gelernt, daß wir unser voriges Experiment mit dem Ziegel oder der Zigarrenkiste noch besser verstehen: Das Ding fällt erst um, wenn sein *Schwerpunkt* nicht mehr über der Fläche ist, mit der es auf dem Tisch oder sonstwo steht.

Kipp-Experimente

Da gibt es einen einfachen Versuch: Du zeichnest auf die eine lange Schmalseite des Kistchens oder Kartons die beiden geraden Verbindungslinien von je zwei gegenüberliegenden Ecken, in der Mathematik Diagonalen genannt; das Bild zeigt sie dir. Wo die einander schneiden, ist der Schwerpunkt dieser Seitenflächen. Dort befestigst du mit einer Heftzwecke einen dünnen Bindfaden, der etwa halb so lang wie die Seitenfläche ist. Am anderen, unteren Ende des Fadens wird ein Stück Metall angebunden, etwa eine Gewindemutter, damit der Faden glatt hängt.



Steht das Kistchen schön senkrecht, dann hängt der Faden unten mitten über der Auflagefläche. Läßt du das Kistchen langsam kippen, so bleibt der Faden senkrecht und gleitet unten immer mehr an das Ende des Kistchens und auch der Auflagefläche. In dem Augenblick, wo er unten von der Kante nach außen gleitet, kippt alles um! Du weißt, warum: Weil der Schwerpunkt nicht mehr über der Auflagefläche liegt. Der immer senkrechte Faden hat uns

genau angezeigt, wie sich der Schwerpunkt beim Kippen allmählich verschoben hat.

Vielleicht hast du noch etwas bemerkt? Eigentlich hätten wir den Faden, den man auch Lot nennt, mitten in dem Kistchen anbringen müssen! Dort ist ja der Schwerpunkt wirklich. Aber solange wir das Kistchen nur nach links oder rechts – und nicht nach hinten oder vorn – kippen, war unser Versuch richtig. Wir können ihn auch mit dem Faden im Schwerpunkt einer großen Fläche wiederholen; er geht da auch. Dann machst du es wie die großen Naturforscher: Die waren nie mit einem einzigen Versuch zufrieden.



Dieses unsichere Gleichgewicht benutzen viele Künstler, wenn sie auf der Bühne ihre Kunststücke vorführen. Man denkt, jetzt fällt ihnen alles herunter – aber dann haben sie den Schwerpunkt auch schon wieder eingefangen, und das Spiel geht weiter. Hast du schon versucht, einen langen Stab senkrecht auf einer Fingerspitze im Gleichgewicht zu halten? Gar nicht so leicht – aber es geht, wenn man den Finger schnell genug wieder unter den fortrutschenden Schwerpunkt bringt! Viel leichter ist es, den Stab waagrecht genau in seiner Mitte mit einem Finger zu halten; der Schwerpunkt ist dann näher an der Unterstutzungsfläche. Bei unregelmäßigen Flächen erhält man den Schwerpunkt durch Probieren.

Das Rollschuh-Wettrennen ist inzwischen weitergegangen. Fritz ist natürlich längst aufgestanden und richtig abgefahren. Er hat einen Fuß seitlich umgebogen; dann drehten sich die Räder nicht, und Fritz konnte sich abstoßen. Unser Zeitlupenfilm im Nachdenken ist freilich noch nicht zu Ende. Mittendrin aufhören – das soll man nicht; man muß jede gute Sache auch zu Ende führen.

Sehr merkwürdige Pendel

Du fragst jetzt: Wie sieht es denn aus, wenn ein Körper nicht von unten unterstutzt wird, also steht, sondern *von oben gehalten* wird?

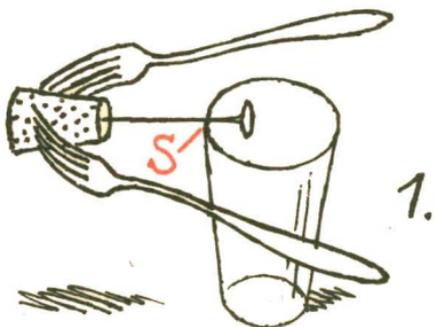
Dann liegt der Schwerpunkt *unter* der Unterstutzungsfläche.

Nun, das kennst du auch: Du hängst mit den Händen an der Reckstange, und wenn dich einer anstößt, dann pendelst du ein wenig hin und her, bis dein Schwerpunkt von selber wieder genau unter der Stange ist. Eine sichere Sache ist das; deshalb spricht man hier vom *sicheren Gleichgewicht*.

Du pendelst; dabei denkst du gleich an das Pendel einer Uhr, vielleicht einer alten Kuckucksuhr oder einer Standuhr. Wir wollen jetzt einige höchst merkwürdige Pendel bauen, daß unsere Zuschauer staunen! Einige Korken, Nadeln, Gabeln, Taschenmesser, Bleistifte und anderes Alltägliche brauchen wir dazu. Niemand wird dabei mehr an ein Pendel denken. Dennoch ist das Geheimnis aller unserer Aufbauten nur das eine: Der Schwerpunkt muß unter der Stelle liegen, wo das merkwürdige Gebilde aufliegt. Dann bleiben Teller, Tassen und Gläser heil, und deine Mutter wird aufatmen.

Die Bilder helfen dir beim Bauen.

Du wirst etwas sehr Merkwürdiges dabei sehen und erleben: Dieser Schwerpunkt braucht durchaus nicht in einer



Gabel oder in einem anderen Gegenstand drinzustecken; nein, unsichtbar liegt er beispielsweise im ersten Gleichgewichtsbild zwischen den Gabeln und unter dem Punkt, wo der Nagel auf dem Glasrand aufsetzt. Er *muß* dort sein, denn sonst gäbe es für unser Gabelgebäude kein sicheres Gleichgewicht.

Du mußt nun scharf nachdenken: Solch ein Schwerpunkt ist offenbar kein Ding, das man aus einem Körper herauschälen kann wie den Kern aus einer Nuß. Wir *denken* uns den Schwerpunkt, weil wir damit alle Fragen vom Gleichgewicht wunderschön erklären können!

So erklärt der Forscher sich und anderen die Natur und was sich in ihr tut. Damit es schön deutlich wird, zeichnet er es auf, malt er einen Punkt hin, ein S daneben und sagt dann: „Hier liegt der Schwerpunkt!“

Müssen die Menschen das einfach glauben? O nein, wir wollen es *wissen*. Deshalb werden viele, viele Experimente gemacht; und wenn es immer wieder klappt, dann können wir schließlich sagen: „Ja, das stimmt offenbar. Jetzt wissen wir es und haben ein Naturgesetz kennengelernt.“

Du kannst dir vorstellen, wie mühsam es ist, auf diese Weise die Natur zu erforschen. Viele Jahrhunderte haben die Forscher so gearbeitet; manche haben auf gutes Essen und eine schöne Wohnung verzichtet, nur um experimentieren zu können. Besonders gut konnte das ein Italiener mit Namen Galileo *Galilei*. Er lebte von 1564 bis 1642, also vor vier Jahrhunderten, und hat als erster gezeigt, wie man richtig experimentieren muß, um ein Naturgesetz zu entdecken. Heute forscht niemand mehr für sich allein.

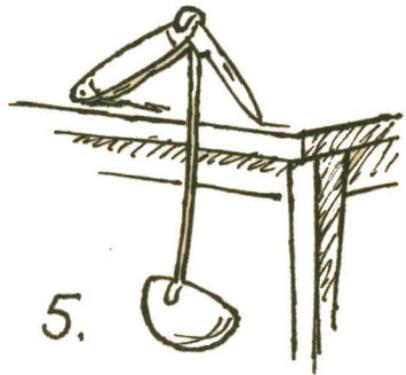
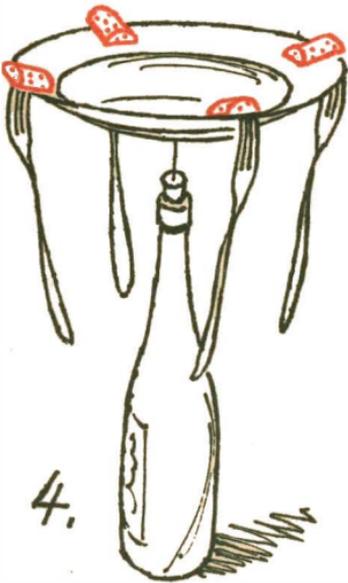
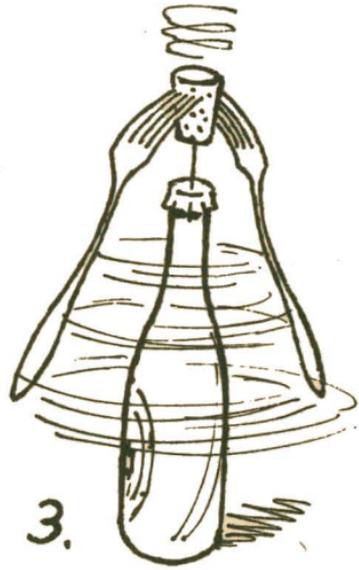
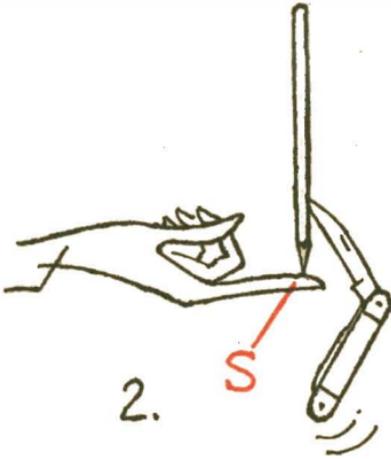
Was noch zu erforschen ist, wird immer schwieriger; da arbeiten stets mehrere, manchmal sehr viele, in besonderen Laboratorien zusammen, die oft viel größer als deine Schule sind.

Wir wollen weiterexperimentieren! Bekannt ist der einfache Versuch mit dem Bleistift, der durch ein Taschenmesser senkrecht auf der Fingerspitze gehalten wird; schau aufs zweite Gleichgewichtsbild!

Deinen Korken mit den beiden Gabeln wollen wir noch weiterverwenden: Du steckst statt des Nagels eine Nähnadel hinein, mit der Spitze nach außen. In den Kronenverschluß einer Flasche schlägst du vorsichtig eine kleine Vertiefung und stellst die Nadel mit der Spitze dort hinein. Jetzt kannst du Korken und Gabel wie ein Karussell sich drehen lassen – schau aufs dritte Gleichgewichtsbild!

Weniger zum Drehen eignet sich der Versuch nach dem vierten Bild. Vier Gabeln hängen mit kleinen Korkstückchen an einem Teller und halten ihn im Gleichgewicht auf einer Nadelspitze. Die Nadel steckt in einem Flaschenkorken. Das sieht gefährlich aus. Aber auf die Naturgesetze kann man sich verlassen; man muß sich nur genau nach ihnen richten.

Schöpflöffel sind sehr brauchbar für diese Versuche, weil ihr Schwerpunkt in der Löffelhöhlung oder dicht davor liegt. Mit dem Taschenmesser geht es noch leichter: Bild 5. Bei dem Aufbau mit einem Teller und zwei leichten Aluminiumschöpflöffeln nach Bild 6 wird es deinen Zuschauern angst und bange werden. Der Teller soll recht schwer sein, damit der Schwerpunkt unter der Stelle liegt,

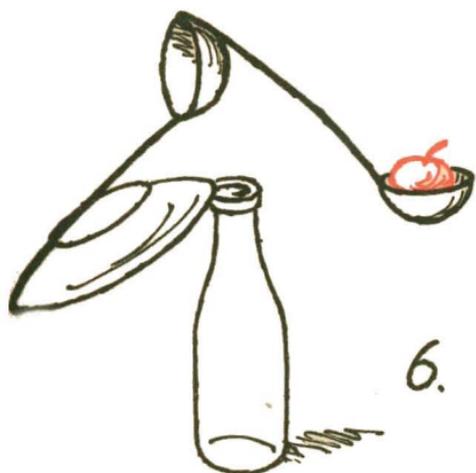


wo der Teller die Flaschenöffnung berührt. Eine Tasse kannst du auf einer Messerspitze halten, wenn du mit Hilfe eines Korkens am Henkel eine Gabel oder kreuzweise zwei Messer, wie in Bild 7, anbringst. Das mag genügen; du wirst dir sicherlich noch andere schöne Versuche ausdenken, zum Beispiel mit gebogenen Drähten.

Kennst du die Stehaufmännchen, die immer wieder aufstehen, wenn man sie hingelegt hat? Wir wollen zum Schluß der Gleichgewichtsversuche noch etwas Ähnliches, ein Stehauf-Ei, anfertigen. Aus einem frischen Hühnerei blasen wir den Inhalt durch zwei kleine Löcher, oben und unten je eines, aus. Über einer Flamme wird die Eischale innen vorsichtig getrocknet. Jetzt machst du ein Loch mit etwas Wachs oder Stearin von einer Kerze zu und bringst durch das andere Loch ganz feinen Streusand hinein, bis die Eischale ein Viertel voll ist. Dann wird auch das andere Loch verschlossen.

Das Ei bleibt nun in jeder Lage stehen, die du willst; du mußt es nur in dieser Stellung ein wenig schütteln, damit der schwere Sand und zugleich auch der Schwerpunkt nach unten rutscht. Auf deiner Nasenspitze, auf einem Flaschenhals, auf einem Messer – überall bleibt das Ei stehen.

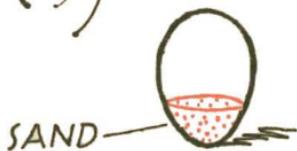
Noch ein Letztes zum Gleichgewicht, damit wir wirklich alles zusammenhaben, was zum Naturgesetz des Gleichgewichts gehört! Du kennst natürlich ein Fahrrad oder hast gar eines. Schau dir einmal das Vorderrad genau an. Wenn es keinen Mantel und keinen Schlauch hat, kannst du das Rad – Felge mit der Achse – drehen, wohin du willst; es bleibt überall stehen. Der Schwerpunkt ist zugleich Mittelpunkt des Rades; genau da wird es aber durch



6.



7.



die Achse unterstützt. Ein ganz besonderer Fall ist das also; der Schwerpunkt fällt mit der Unterstützungsfläche zusammen.

Hier hast du die dritte Art: das Gleichgewicht, das immer da ist, gleichgültig, wie der Körper auch steht. Wir können es also das *gleichgültige* oder *Immer-Gleichgewicht* nennen.

Warum fällt denn alles nach unten?

Fritz ist, weil er nicht aufpaßte, auf die Nase gefallen. Wir sagen besser: Er ist auf die Erde gefallen. Alle Dinge fallen nach unten auf die Erde, wenn sie nicht festgehalten werden. Ein gasgefüllter Luftballon ist keine Ausnahme, denn er wird von der Luft hochgehoben – das wollen wir später noch untersuchen. Ein Ball, den du hochwirfst, fliegt eine Strecke durch die Luft; dann fällt er sicherlich wieder herunter. WARUM?

Über die Erdanziehung

Die Forscher haben es herausgefunden: *Alle Körper ziehen sich gegenseitig an!* Sie tun das immer, ohne jemals aufzuhören. Das ist auch ein Naturgesetz; wir erleben es

täglich, ohne besonders darauf zu achten. Eine richtige *Kraft* ist das, was die Körper anzieht. Das merkst du, wenn du einen Eimer voll Wasser hochheben willst, den die Erde natürlich auch anzieht. Ihr zieht beide am Eimer, du nach oben, die Erde nach unten; das ist fast wie beim Tauziehen. Einen Eimer voll Kohlen aus dem Keller mehrere Treppen hoch tragen – das ist eine richtige *Arbeit*, bei der wir die Erdanziehung besiegen müssen!

Diese Naturkraft Erdanziehung wird auch *Schwerkraft* genannt. Sie ist um so stärker, je größer und zugleich je dichter die Körper und je näher sie beieinander sind. Eisen ist zum Beispiel dichter als ein Stein, und beide sind dichter als ein Schwamm, der sehr viele kleine Räume voll Luft hat und sich leicht zusammendrücken läßt. Der größte Körper ist für uns die Erde. Sie ist, verglichen mit allem, was auf ihr liegt und lebt, riesengroß; entsprechend groß



ist ihre Anziehungskraft. Zwei Fußbälle ziehen sich gegenseitig auch an, aber mit so winzig kleiner Kraft, daß wir sie nicht messen können. Der Fußball zieht auch die Erde an; davon merken wir nichts, weil die Erdanziehung soviel stärker ist. Sie ist die wichtigste und größte Kraft bei uns. Ohne sie könnten wir überhaupt nicht leben.

Wir können uns den Spaß machen, einmal auszudenken, was ohne die Erdanziehung geschähe! Die Weltraumfahrer haben schon allerlei Erfahrungen gesammelt, weil sie lange Zeit ohne Schwerkraft geflogen sind. Was tut sich also? Ein Ball, den du angestoßen oder hochgeworfen hast, verschwindet im Weltraum. Alle die schönen Gleichgewichtsversuche, die du gemacht hast, werden unmöglich, weil kein Körper mehr einen Schwerpunkt hat; er schwebt ja, solange er in Ruhe gelassen wird, frei in der Luft. Jedes Pendel, auch das eurer Wanduhr, bleibt dort stehen, wo du es losläßt.

Mit dem Trinken wird es schwierig: Weder aus der Flasche noch aus der Tasse läuft etwas heraus. Du kannst nur mit Trinkröhrchen ansaugen; das geht noch. Oder du ziehst den Boden der Flasche und der Tasse plötzlich weg; dann rutscht die Flüssigkeit heraus und bleibt als Kugel in der Luft hängen. Freilich hast du sie damit noch nicht im Mund, wohin sie soll. Wie ein Indianer auf dem Kriegspfad mußt du dich ganz langsam heranschleichen, damit die Kugel nicht fortgestoßen wird, ehe du sie mit dem Mund oder dem Röhrchen aufsaugen kannst. Und mit dem Anschleichen ist das auch schwierig – du schwebst ja selbst! Jede Bewegung, die du machst, treibt dich in die entgegengesetzte Richtung.



Es ist doch wohl besser, wir behalten die beim Heben und Tragen so unangenehme Erdanziehung; sie hat auch ihre guten Seiten. Wem sie zu stark ist, der muß mit dem nächsten Raumschiff auf den Mond fliegen. Der ist nur ein Sechstel so groß wie unsere Erde und zieht alles nur ein Sechstel so stark an. Dort kann er sechsmal so hoch und so weit springen wie auf der Erde; jedes Ding wiegt nur den sechsten Teil seines Gewichtes auf der Erde. Aber wir bleiben einstweilen hier!

Jedes Ding ist träge

Beim Nachdenken ist dir eines vielleicht besonders deutlich geworden, was wir täglich in Wirklichkeit auch beobachten: Jeder Körper will immer das beharrlich weiter-

machen, was er gerade tut. Liegt er ruhig da, so will er liegenbleiben, bewegt er sich, so will er sich weiterbewegen – in derselben Richtung und gleich schnell. Ist dir das schon einmal aufgefallen?

Von der Trägheitskraft

Alle Körper beharren in ihrer Ruhe oder in ihrer Bewegung. Das ist eine wichtige Eigenschaft aller Körper; man nennt sie das *Beharrungsvermögen*. Natürlich weißt du das längst: Ein Ball fängt nicht von selbst an zu rollen oder zu fliegen. Da muß erst eine Kraft kommen, die ihn anstößt; dann läuft er los. Soll ein Fußball in eine andere Richtung laufen, braucht er einen neuen Stoß; ebenso wenn er schneller oder langsamer laufen oder wieder still liegen soll.

Die Forscher haben daraus wieder ein Naturgesetz erkannt, das Gesetz vom Beharrungsvermögen der Körper, auch *Trägheit* genannt: *Jeder ruhende Körper bleibt in Ruhe, solange keine Kraft auf ihn einwirkt; jeder bewegte Körper bewegt sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit in gerader Richtung weiter, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.*

Wenn du das verstanden hast, dann wirst du vielleicht den Spieß umdrehen und sagen: „Dann ist also *Kraft* das, was die Trägheit besiegt, was einen ruhenden Körper in Bewegung setzt und seine Geschwindigkeit oder Richtung verändert.“

So ist es.



Das klingt alles sehr gelehrt; aber du hast schon tausendmal ahnungslos gemerkt, daß es stimmt.

Vielleicht hast du einmal deinen Teller mit Suppe bei Tisch mit zuviel Kraft an dich gezogen; die träge Suppe blieb zurück und – lag auf dem Tisch. Sollte es dir aus Versehen noch mal so geschehen, dann rate ich dir, deinen Eltern schnell einen kleinen Vortrag über das Gesetz der Trägheit zu halten! Vielleicht lenkt sie das etwas von dem ab, was du dir da geleistet hast.

Wenn du morgens zu träge bist, nach dem Wecken aus deiner Ruhe hochzukommen, so ist das keine naturgesetzliche Trägheit, wie wir sie hier betrachten, sondern einfach Müdigkeit oder – Faulheit. Das steht auf einem ganz anderen Blatt. Wenn du aber beim Gehen oder Laufen mit dem Fuß irgendwo anstößt, so meldet sich die richtige Trägheit, das Beharrungsvermögen deines Körpers: Er bewegt sich weiter nach vorn, während dein Fuß steckenbleibt. Mit anderen Worten: Du fällst ebenfalls auf die



Nase – aber aus einem anderen Grunde als Fritz. Wie dir, so ist es Rolf gegangen, der beim Rollschuh-Wettrennen mit einem Rollschuh in ein kleines Schlagloch geriet. Die Trägheit kann also auch in unserem eigenen Körper entstehen; wir müssen gut aufpassen, daß sie uns nicht umwirft.

Unter anderem ist die Trägheit daran schuld, daß es besonders schwer ist, einen stehenden Wagen in Fahrt zu bringen. Fährt er erst einmal, dann läßt er sich viel leichter ziehen. Stehst du in einem fahrenden Wagen und bremst der ganz plötzlich, dann fällst du nach vorn um, wenn du dich nicht festhältst. Beim plötzlichen Anfahren bist du vielleicht schon nach hinten gefallen? Die Trägheit ist eben auch eine Kraft, und sie kann ganz schön stoßen!

Arbeit und Energie

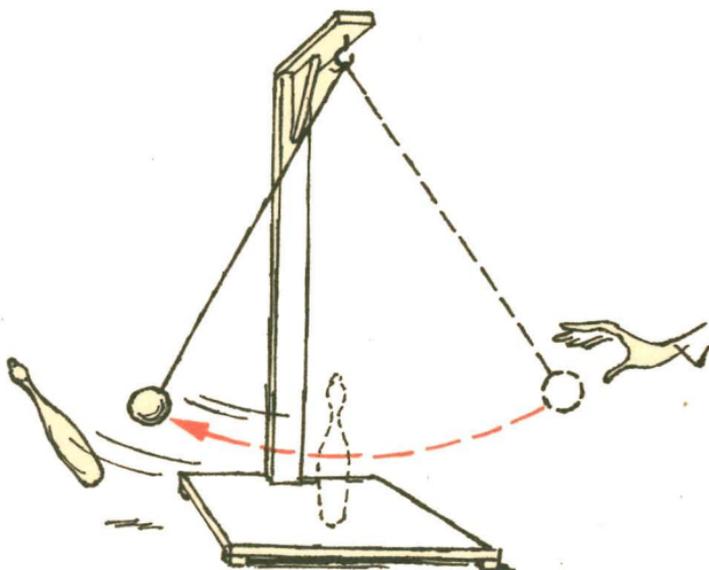
Denke mal an das Pendel aus unserem ersten Kipp-Experiment! Du hebst das Metallstück, das an einem Bindfaden hängt, zur Seite hoch, hältst es fest und – denkst

scharf nach: Dadurch, daß ich es hochgehoben habe, ist etwas hineingekommen; denn wenn ich es loslasse, muß es nach dem Naturgesetz herabfallen.

Richtig! Du hast dir die *Arbeit* gemacht, das Gewichtstück zu heben. Sie war gewiß nicht groß; aber diese Arbeit steckt jetzt in dem Metallstück. Sie wartet darauf, daß du sie freigibst; dann könnte sie zum Beispiel unten einen Ball fortschleudern oder ein Türmchen umwerfen.

Solche Arbeit, die darauf wartet, etwas anzurichten, nennt man *Energie*.

Die Natur vergißt nichts, sie verliert nichts und bekommt nichts dazu. Die Summe bleibt gleich, auch wenn das einzelne seine Form ändert. Die Energie ändert ihre Form gern! Bei unserem Pendel ist es mechanische Energie. In



den Stromerzeugern wird mechanische Energie in elektrische verwandelt, in der Dampfmaschine wird Wärmeenergie zu mechanischer.

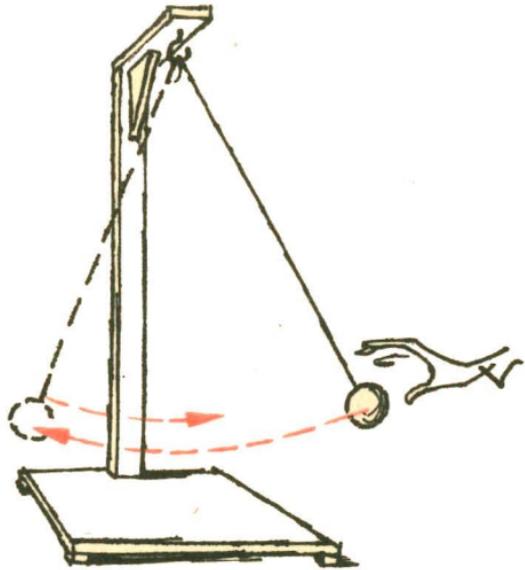
Hast du deine Schultasche hochgehoben, so enthält sie in ihrer neuen Lage Energie. Läßt du sie dir auf den Fuß fallen, so merkst du sehr deutlich, wie die Tasche ihre Energie wieder abgegeben hat – diesmal an deinen Fuß!

Du kannst dich auch selbst mit solcher Energie aufladen, beispielsweise auf der Achterbahn. Wenn du oben auf dem Abfahrtsturm angelangt bist, hast du so viel Energie gewonnen, daß sie für eine höchst vergnügliche Abwärtsfahrt mit den tollsten Kurven ausreicht.

Du meinst, du brauchtest nur die Treppen im Schulhaus hochzulaufen und dann auf dem Geländer hinunterzurutschen? Das Naturgesetz sagt dazu ja, aber die Schulordnung, das Gesetz der Schule, ist dagegen. Du kennst die Gründe und machst das Experiment nicht.

Kräfte im Pendel

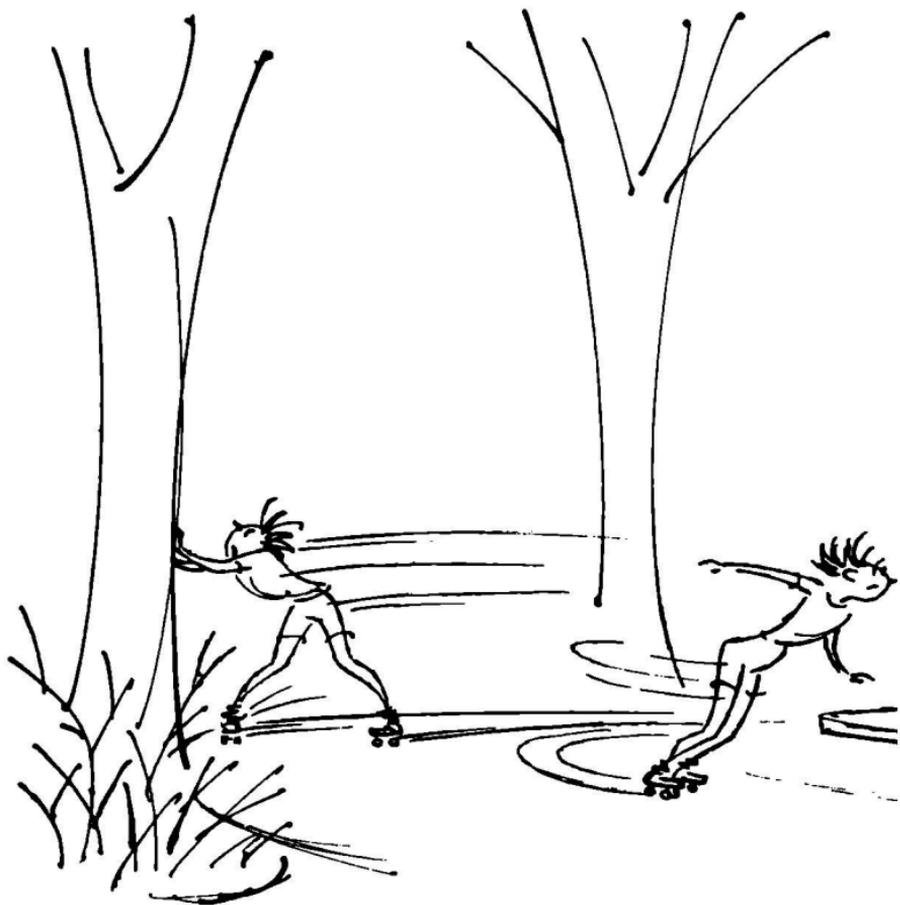
Ebenso wie bei der Achterbahn ist es bei unserem Pendel: Oben losgelassen, bewegt sich die Kugel abwärts. Hast du bemerkt, daß sie sich erst ganz langsam und dann immer schneller bewegte? Am tiefsten Punkt angelangt, müßte sie eigentlich zufrieden sein, denn diese Lage ist doch das Ziel aller Dinge. Und was tut die Kugel? Sie saust auf der anderen Seite wieder hoch, nicht ganz so hoch, wie sie bei der Abfahrt war. WARUM?



Hier sind mehrere Kräfte im Wettstreit. Die Schwerkraft will die Kugel am tiefsten Punkt halten, aber die Trägheitskraft läßt sie weiterschwingen. Du merkst aber beim Hochschwingen genau, wie die Bewegung im selben Maße langsamer wird, wie sie vorher, beim Abwärtsschwingen, schnell geworden ist. Die Schwerkraft zieht die Kugel zurück nach unten. Am höchsten Punkt der Schwingung bleibt die Kugel einen kurzen Augenblick stillstehen; Trägheitskraft und Schwerkraft heben sich gegenseitig gerade auf. Aber die Trägheitskraft ist verbraucht, und nun fängt die Erdanziehung, die Schwerkraft, allein an zu wirken. Das Spiel des Pendels beginnt von neuem; es schwingt nach der anderen Seite.

Die Reibung bremst

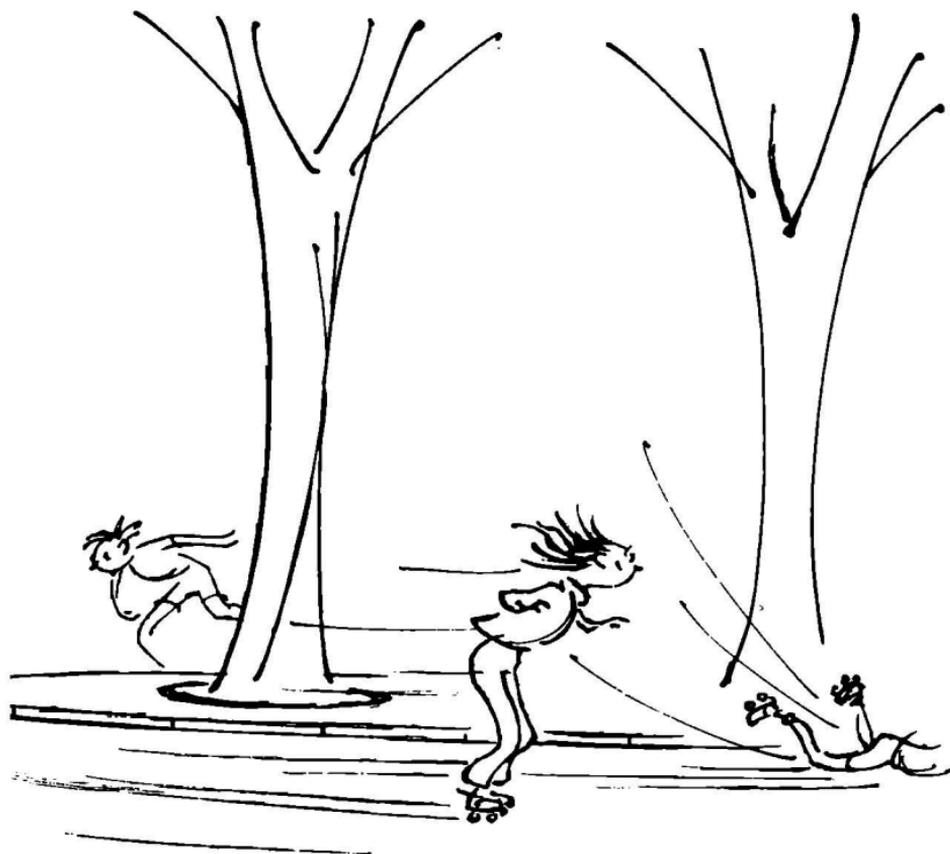
Das ginge in alle Ewigkeit so weiter, wenn die *Reibung* nicht wäre! Aber die ist immer da – im Bindfaden und zwischen Pendel und Luft. Das Pendel schwingt immer kürzer und kommt schließlich ganz unten zur Ruhe; die Reibungskraft hat die Trägheitskraft besiegt. Der erste Sieger auf die Dauer ist jedoch wieder die Schwerkraft! Ist das nicht allerhand, was du am Pendel beobachten kannst? Von der Reibung erzähle ich dir später noch einiges.



Der Fluchtversuch

Eure Spielstraße macht einen scharfen Bogen; der gehört mit zur Rennstrecke. Warum legt ihr euch beim Rennen schräg in die Kurve hinein? Herbert hat es nicht getan und ist aus der Kurve hinaus an einen Baum gefahren. WARUM?

Seine Trägheit, sein Beharrungsvermögen, ließ ihn in derselben geraden Richtung weiterfahren! Was tut



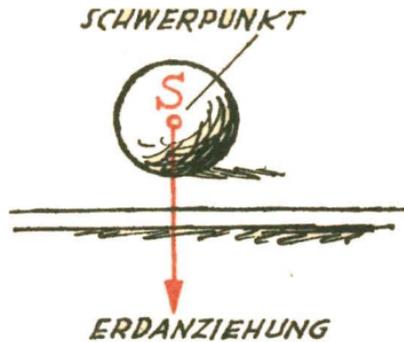
man in einem solchen Fall gegen die hier sehr lästige Trägheit? Man holt eine andere Kraft zu Hilfe – diesmal unsere gute, alte Schwerkraft, die Erdanziehung. Wir beugen uns zur Seite, der Schwerpunkt rutscht über die Rollschuhe als Unterstützungsfläche hinaus, und wir müßten eigentlich umfallen; aber die Trägheitskraft zieht nach der anderen Seite und hält uns im Gleichgewicht.

Ist das nicht erstaunlich? Solange man nicht weiß, wie das zugeht, muß man sich wundern; weiß man erst Bescheid, dann freut man sich darüber.

Fliehkraft gegen Schwerkraft

Wenn du in einem Wagen sitzt, der schnell durch eine Kurve fährt, dann taucht in dir eine Kraft auf, die dich aus der Kurve hinausziehen will. Es ist nicht anders, als wenn du dich mit einem Glas voll Wasser ganz schnell drehst. Dann saust das Wasser aus dem Glas heraus – es flieht sozusagen. Diese Kraft heißt deshalb *Fliehkraft*; sie ist eine Trägheitskraft, die bei allen Kreisbewegungen auftritt, zum Beispiel beim Schleuderball. Der *soll* dann fliehen!

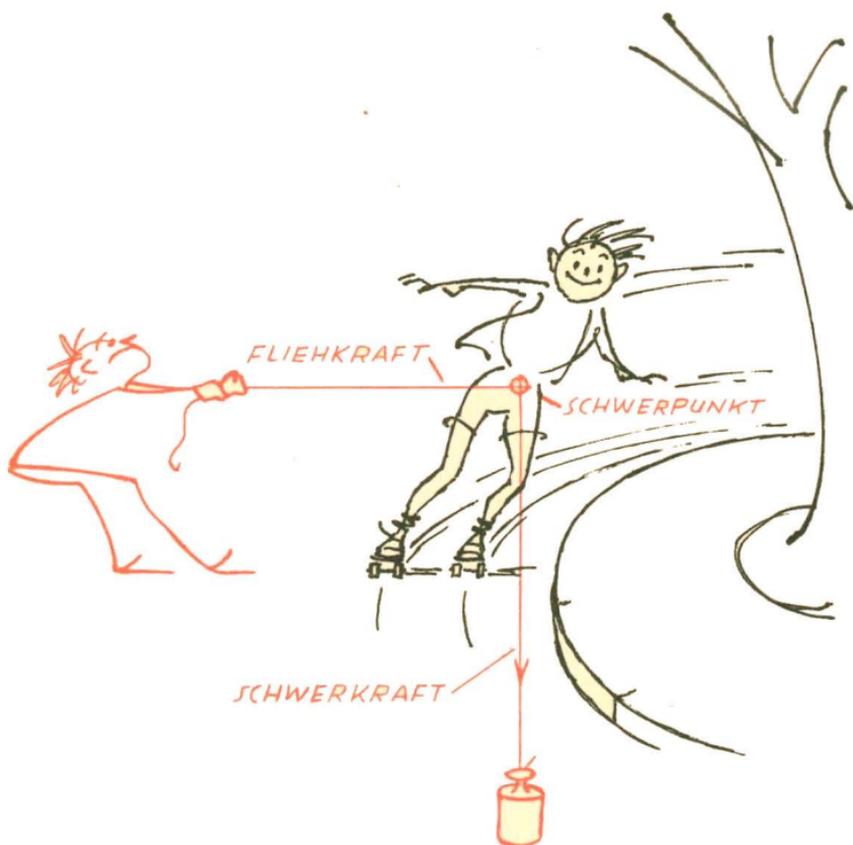
Wer an der Mathematik eine besondere Freude hat, der kann sich die Sache mit dem Kurvenfahren sogar aufzeichnen! Wer es nicht gleich versteht, liest es später noch einmal und kommt dann dahinter. Eines mußst du vorweg wissen, und das ist ganz leicht: Die Naturforscher haben schon vor langer Zeit verabredet, eine Kraft einfach als



Pfeil zu malen. Das geht wunderschön. Ein kurzer Pfeil ist eine kleine Kraft, ein langer Pfeil eine große. Wo der Pfeil anfängt, da packt die Kraft an; wo er hinzeigt, dahin wirkt die Kraft. Eine Kugel wird durch die Erdanziehung senkrecht nach unten gezogen. Das sieht in der Zeichnung dann so aus:

Schwieriger wird es natürlich – wirklich ganz natürlich! –, wenn du schräg durch die Kurve fährst. Dann wirken, wie du weißt, *zwei* Kräfte zugleich auf den Schwerpunkt in deinem Körper, nämlich die Erdanziehung und die Trägheit. Die Erdanziehung zeigt sich in deinem Gewicht, und die Trägheitskraft ist die Fliehkraft, die dich aus der Kurve herausziehen will. Du merkst, daß das hier ähnlich wie beim Pendel ist! Dort schwang das Metallstück hin und her; hier hast du das Pendel abgenommen und läßt das Metallstück am Bindfaden schnell im Kreise um dich herumfliegen.

Hier ist dein Bild, wie du auf Rollschuhen durch die Kurve saust, lieber Leser; ob es ähnlich geworden ist, weiß ich leider nicht. Aber der Schwerpunkt und die beiden Kräfte sind gut zu sehen:



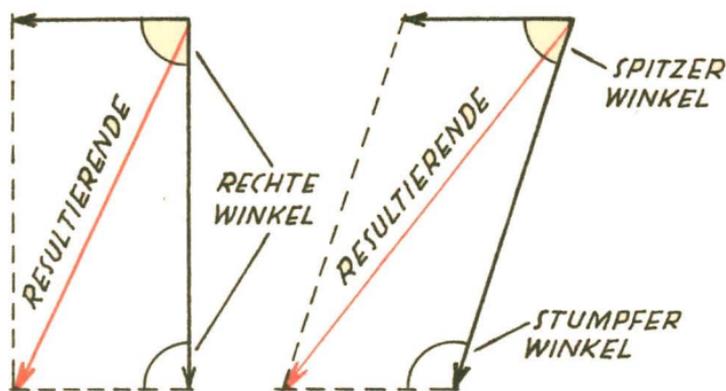
Die Erdanziehung, die wir auch Schwerkraft und Gewichtskraft nennen, zieht dich nach unten; die Trägheitskraft, die beim Fahren in Kurven auch Fliehkraft heißt, zieht dich waagrecht nach außen aus der Kurve. Und da haben die Forscher lange nachgedacht und dann eine großartige Lösung für alle solchen Fälle mit zwei verschiedenen Kräften gefunden:

Sie haben die Kraftpfeile durch zwei Parallelen zu einem Rechteck ergänzt und eine Diagonale gezogen, eine gerade Verbindungslinie zweier gegenüberliegender Ecken. Diese

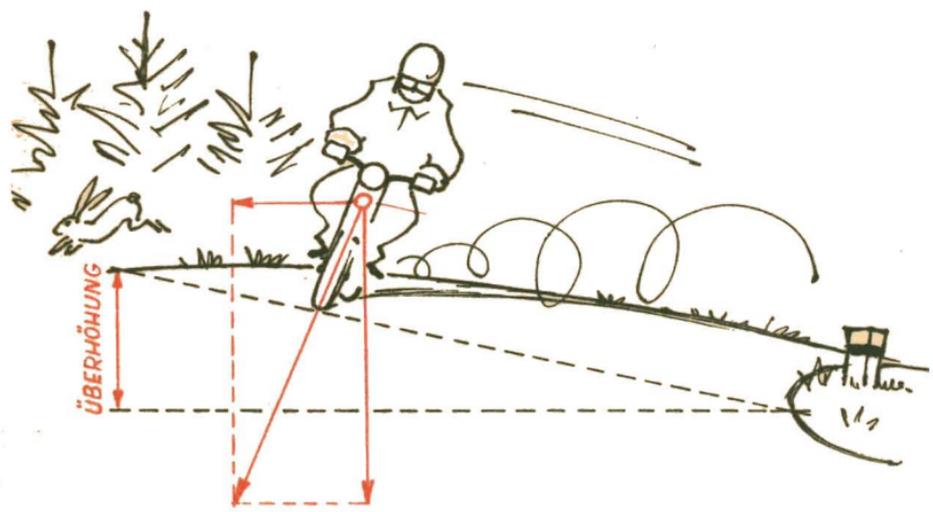
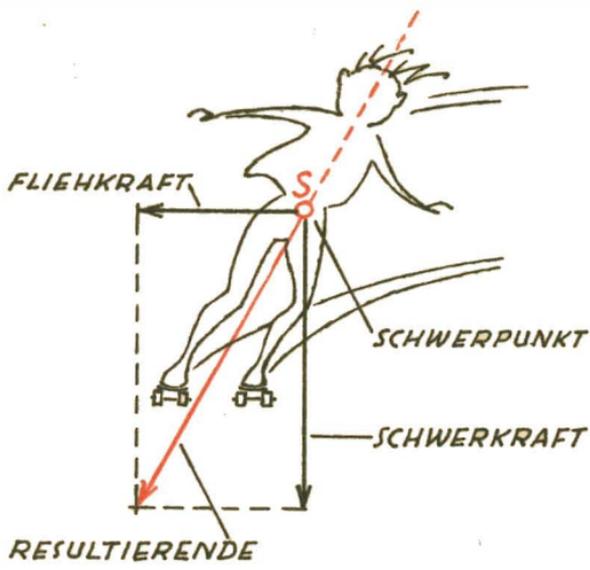
Diagonale gibt nun ganz genau an, zu welcher gemeinsamen, wirklichen Kraft sich die beiden ursprünglichen Kräfte vereinigt haben! Sie zeigt die Richtung der wirklichen Kraft und gibt auch an, wie stark diese Kraft ist, wenn sie mit den ersten beiden Kräften verglichen wird. Ist das nicht eine fabelhafte Art, solche Aufgaben zu lösen?

Wie sich Kräfte zusammensetzen

Wenn die ursprünglichen Kräfte nicht, wie bei uns, senkrecht zueinander liegen, sondern in irgendeinem kleineren oder größeren Winkel, dann macht man es ebenso. Es entsteht dann irgendein Parallelogramm; unser Rechteck ist auch ein Parallelogramm, aber der besondere Fall mit



PARALLELOGRAMM DER KRÄFTE



rechten Winkeln. Weil es aus Kräften entstanden ist, nennt man es das *Parallelogramm der Kräfte*. Weil die Diagonale das Resultat unserer Aufgabe ist, nennt man sie die *Resultierende*.

Jetzt weißt du schon allerlei von den Kräften und hast auch gemerkt, wie gut man die Mathematik bei den Naturgesetzen verwenden kann.

Eines hast du sicherlich schon selber gemerkt: Beim Kurvenfahren mußt du deinen Körper genau in der Richtung der wirklichen Kraft halten, das heißt der Resultierenden. Glücklicherweise merkt man genau, wann das so ist, denn nachmessen – das kann man natürlich nicht.

Du kannst mehrmals durch die Kurve fahren oder laufen, und immer verschieden schnell; dann liegt dein Körper um so schräger, je schneller du fährst. Die Fliehkraft wird ja immer größer, je schneller man durch eine Kurve fährt. Schließlich liegst du so schräg, daß die Räder unten wegrutschen und du aus der Kurve fliegst. Mancher Kraftfahrer, vor allem Motorradfahrer, hat das schon erlebt. Wo es möglich ist, überhöht man daher die Straßen in Kurven; man läßt sie nach der Außenseite der Kurve zu ansteigen. Dann kommt die wirkliche Kraft schön senkrecht auf der Fahrbahn an.

Bei der Eisenbahn tut man das auch, weil die mit unveränderter Geschwindigkeit durch die Kurven fahren muß, wenn sie nicht zu spät kommen will. Auf dem Jahrmarkt kannst du erleben, wie man die Naturgesetze mit viel Vergnügen verbindet – auch die Fliehkraft. Achterbahn, Karussell, Teufelsrad und anderes kennst du sicherlich.

Vielleicht hast du auch den Todesfahrer gesehen? Der

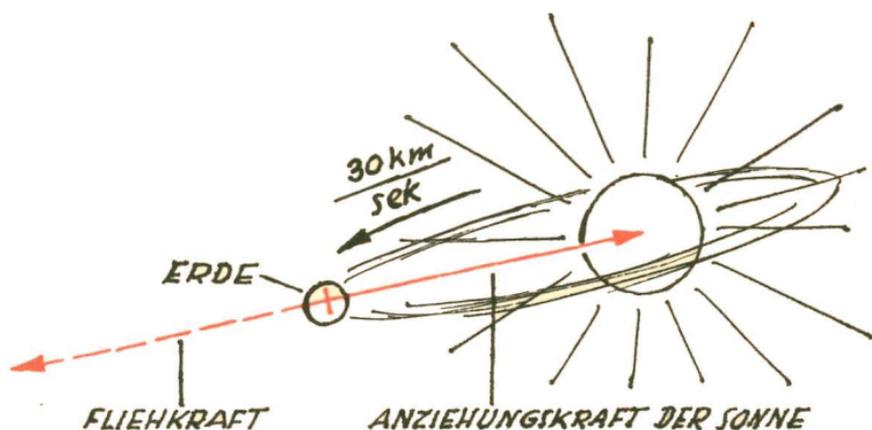
Name ist gruselig, damit die Leute recht neugierig werden und das Eintrittsgeld bezahlen. In Wirklichkeit nutzt der Mann das Naturgesetz aus. Er rast auf seinem Motorrad so schnell, daß die Fliehkraft viel, viel größer als seine Schwerkraft wird. Dadurch ist die Richtung der wirklichen Kraft fast waagrecht; der Fahrer saust an einer fast senkrechten Wand entlang, und es sieht so aus, als habe er kein Gewicht mehr. Du weißt es besser!

Wenn übrigens mehrere Kräfte auf derselben Linie wirken, dann ist das viel einfacher als beim Parallelogramm der Kräfte. Bei dem Wettrennen können wir das allerdings nicht beobachten, wohl aber beim Tauziehen. Wirken mehrere Kräfte nach derselben Richtung auf derselben Linie, so addieren sie sich. Vier Freunde auf der einen Seite des Taus könnte man durch einen Mann ersetzen, der so stark wie alle vier Freunde zusammen ziehen kann. Wenn dagegen entgegengesetzte Kräfte auf derselben Linie wirken – man sagt daher Wirkungslinie –, dann bleibt die Differenz der Kräfte übrig.

Ziehen auf der einen Seite vier und auf der anderen Seite drei Kinder, alle gleich stark, dann gleichen sich die Kräfte von dreien auf beiden Seiten aus. $4 - 3 = 1$; das vierte Kind zieht das Tau zu sich. Man wählt deshalb von Anfang an zwei möglichst gleich starke Mannschaften aus.

Ein Blick in den Weltraum

Das Großartige an den Naturgesetzen ist, daß sie nicht nur in den kleinen Dingen und Bewegungen auf unserer



Erde wirken, sondern in gleicher Weise auch im Welt-
raum! Die Erde rast mit riesiger Geschwindigkeit um die
Sonne. Fast 30 Kilometer legt sie in einer einzigen Se-
kunde zurück; bedenke einmal: 30 Kilometer läuft sie,
während du ein-und-zwan-zig sagst! Das gibt eine ge-
waltige Fliehkraft in der Erde.

Trotzdem saust die Erde nicht in den Weltraum.
WARUM?

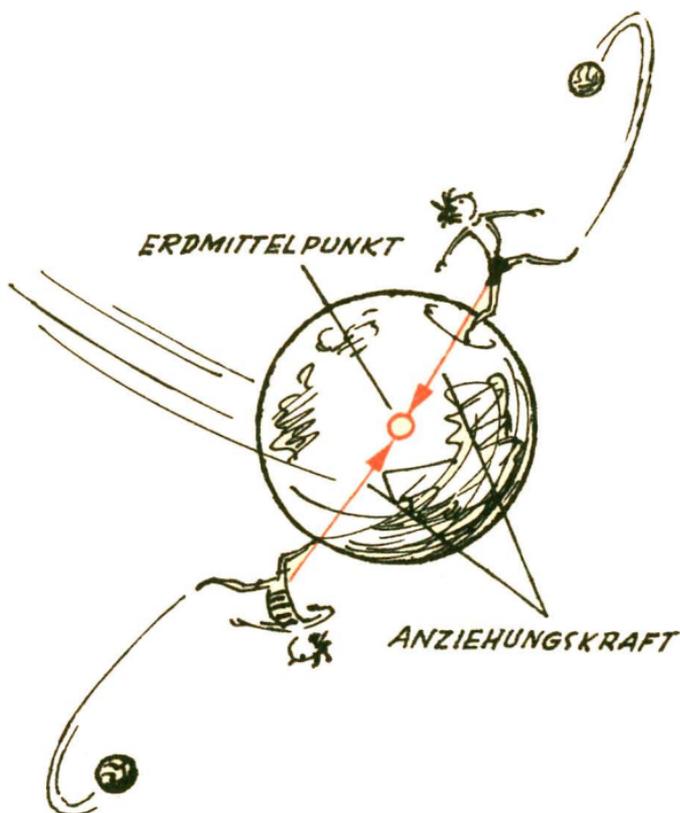
Die Anziehungskraft zwischen Sonne und Erde hält sie
fest! Die Fliehkraft verhindert dagegen, daß die Erde in
die Sonne fällt – was für uns sehr unangenehm wäre. Es
besteht also ein Gleichgewicht zwischen Anziehungskraft
und Fliehkraft, ähnlich wie bei deinem Kurvenfahren.
Die Erde hält wiederum durch ihre eigene Anziehungs-
kraft alles in und auf ihr fest. Die Weltraumschiffe müs-
sen eine sehr große Kraft aufbringen und sehr schnell
fliegen, wenn sie dieser Kraft entfliehen wollen; min-
destens 11,2 Kilometer in der Sekunde müssen sie zu-
rücklegen.

Mit der Erde und dem Mond ist es ebenso; nur sind hier die beiden Kräfte viel kleiner. Immerhin müßte man ohne die Erdanziehung den Mond mit einem Stahlseil von nicht weniger als 600 Kilometer Durchmesser an der Erde festbinden, wenn er nicht in den Weltraum entweichen sollte. Daß der Mond seinerseits die Erde anzieht, merken wir an den Gezeiten Ebbe und Flut. Die Wasserteilchen, die senkrecht unter dem Monde liegen, werden von ihm angezogen; hier ist Flut.

Der Mond ist nur ein Sechstel so groß wie die Erde, also beträgt die Mondanziehung nur den sechsten Teil der Erdanziehung. Wie schon erwähnt, hast du auf dem Monde nur noch ein Sechstel deines Gewichtes; damit kannst du sechsmal so hoch springen! Du wirst es vielleicht noch selber ausprobieren können, wenn eines Tages ein regelmäßiger Flugverkehr zwischen Erde und Mond eingerichtet sein wird.

Hast du übrigens schon einmal daran gedacht, daß wir immer die Richtung zum Mittelpunkt der Erde meinen, wenn wir „nach unten“ sagen? Unten sind die Füße, auf der Erde; oben ist der Kopf beim Aufrechtstehen. Und wie ist es mit den Menschen auf der anderen Seite der Erdkugel, beispielsweise in Neuseeland? Auch die stehen mit den Füßen zum Erdmittelpunkt – genau wie wir in Europa. Wäre die Erdkugel durchsichtig, so könnten wir auf ihre Fußsohlen sehen. WARUM? Weil alle denselben Erdmittelpunkt haben; zu ihm hin wirkt die Anziehungskraft.

Ein Oben und ein Unten, das überall gilt, gibt es daher gar nicht.



Angelika war die schnellste

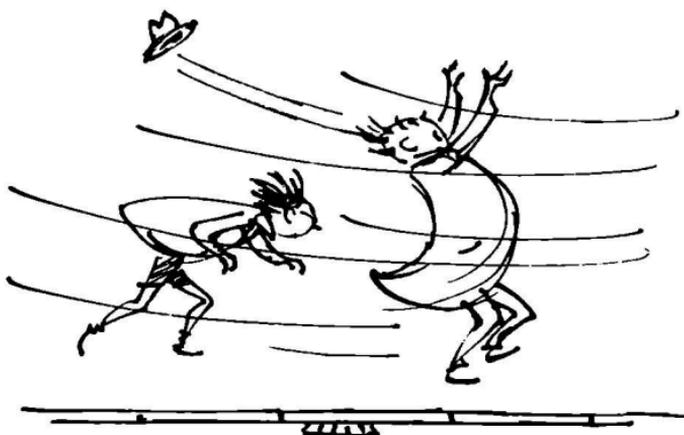
Angelika hat also in dem Wettrennen gesiegt. Das heißt, sie hat die Rennstrecke in der kürzesten Zeit zurückgelegt. Sie ist geübt im Rollschuhlaufen; ihren Sieg hat sie sicherlich verdient. Etwas hat Angelika dabei geholfen: Rollschuhe mit Kugellagern! Du weißt – die laufen besonders leicht. **WARUM?**

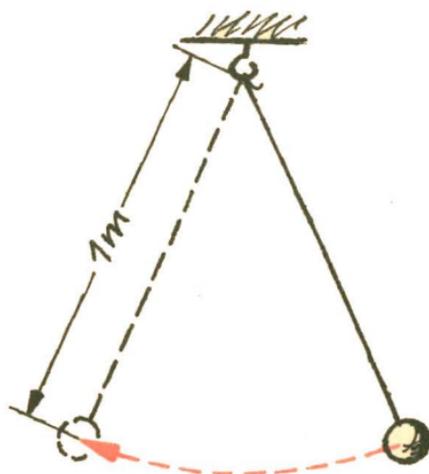
Weil sie wenig Reibung haben. Fahrräder und Kraftfahrzeuge haben alle solche Kugellager.

Die Reibung wird besiegt

Die *Reibung* nannte ich schon beim Pendel. In jedem Pendel entsteht Reibung an der Stelle, wo es aufgehängt ist; vor allem aber reibt sich das Gewichtstück am unteren Ende an der Luft. Luft ist auch ein Körper, ein gasförmiger zwar – aber wenn du gegen einen starken Sturm laufen muß, merkst du einen ganz schönen Widerstand! Du mußt die Reibungskraft überwinden; du brauchst dazu deine Muskelkraft. Bei der Uhr gibt ein Uhrwerk nach jeder Schwingung dem Pendel einen Stoß, der neue Kraft zuführt und die Reibungskraft überwindet.

Bei großen Standuhren kommt diese zugeführte Kraft aus der Energie eines schweren Metallzylinders, der an einer Kette hängt. Er zieht durch sein Gewicht dauernd nach unten und übt dadurch die nötige Zugkraft aus. Daß der Metallzylinder ein Gewicht hat, liegt, wie du weißt, an der Erdanziehung. Er muß aber erst einmal hochgezogen





1 ganze Schwingung
(hin und her) = 2 sek

werden, und das tust du, wenn du die Uhr aufziehst. Dazu brauchst du ebenfalls deine Muskelkraft. Du siehst: Geschenkt wird keine Kraft; sie kommt immer irgendwoher und ändert nur ihre Art und ihre Richtung. Das gilt auch für Uhren mit Federwerk; bei ihnen speicherst du deine Aufziehkraft in einer Spiralfeder aus Stahl.

Übrigens dauert eine ganze Schwingung beim Pendel, einmal hin *und* einmal her, gerade zwei Sekunden, wenn du das Pendel genau einen Meter lang machst. Das kann man für manche Versuche gut gebrauchen. Eine Sekunde kannst du gut mit einer halben Schwingung messen, einmal hin *oder* einmal her.

Jedes Kraftfahrzeug bleibt auf ebener Straße durch die Reibung in den Lagern und zwischen Rädern und Straße

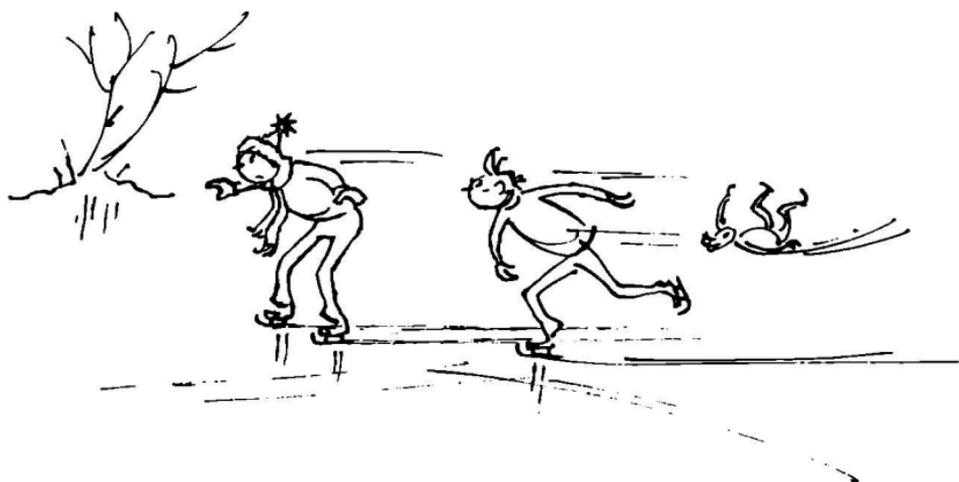
allmählich stehen, wenn nicht der Motor nachhilft. Er ersetzt mit seiner Kraft ständig die Reibungsverluste. Beim Anfahren und wenn das Fahrzeug schneller fahren soll, dann muß der Motor auch noch die Trägheit des Fahrzeuges überwinden; die ist recht groß.

Zwischen zwei festen Körpern ist die Reibungskraft stärker als bei der Luft. Der eine Körper ist meist in Ruhe, beispielsweise fest eingebaut; der andere gleitet an ihm entlang. Dabei entsteht eine Reibungskraft, die die Bewegung langsamer macht.

Je stärker die beiden reibenden Körper aneinandergedrückt werden, um so größer ist die Reibung. Ferner ist die Oberfläche wichtig; bei rauher Oberfläche ist die Reibung größer als bei glatter. Auf einer Feile gleitet dein Finger schlechter als auf einer Fensterscheibe; und je mehr du aufdrückst, um so schwerer geht es.

Die meisten Menschen mögen die Reibung nicht leiden; sie bedeutet Verlust an Kraft. Das Schlimmste dabei ist, daß sich die Reibungskraft stets in Wärme verwandelt, die niemand haben will und die manchmal zu Bränden führt. Du hast schon von heißgelaufenen Lagern bei der Eisenbahn oder Straßenbahn gehört. Dabei sind schon Wagen in Brand geraten.





Solche Reibung macht man mit glatten Oberflächen, besonderen Werkstoffen und mit Schmiermitteln, wie Fett und Grafit, möglichst klein. Man legt auch Kugeln oder Walzen aus Stahl zwischen die beiden Flächen; so etwas hat Angelika an ihren Rollschuhen. Beim Skilaufen, Schlittenfahren und Schlittschuhlaufen freust du dich über eine glatte Fläche von Schnee und Eis; da fährt und läuft es sich wunderschön. Deine Mutter freut sich über glatte Schulbänke; da hält dein Hosenboden länger.

Nützliche Reibung

Aber du darfst die Reibung nicht immer nur schelten; manchmal braucht man sie dringend! Ohne sie könntest du nicht gehen, kein Wagen könnte fahren, keine Bremse würde bremsen, du könntest keinen Federhalter zwischen den Fingern halten. Alles würde gleiten, rutschen und auseinander fallen – sogar die Häuser! Jeder Nagel fiel

aus der Wand. Ich glaube, diese erschreckenden Beispiele genügen; du kannst dir noch andere dazu ausdenken.

Denke nur noch daran, was die Trägheitskraft alles anrichten würde, wenn es keine Reibung gäbe: Ein bewegter Körper, zum Beispiel ein fahrendes Auto, würde sich so lange bewegen, bis er irgendwo gegenstieße und vermutlich zerbräche. Kein erfreulicher Gedanke; wir wollen froh sein, daß wir die Reibungskraft dort haben, wo sie uns hilft.

In den vergangenen Jahrhunderten haben viele Menschen, darunter auch sehr kluge, versucht, eine Maschine zu bauen, die sie *Perpetuum mobile* nannten. Das ist Lateinisch und bedeutet ein Ding, das sich ewig weiterdreht, wenn es einmal angestoßen wurde. Diese Menschen kannten das Gesetz der Reibungskraft nicht; sie glaubten, sie könnten die Reibung mit ganz feinen Achsen und Lagern überlisten und ausschalten. Du weißt, daß das nicht möglich ist. Überall, wo sich auf der Erde oder auf anderen Weltkörpern etwas bewegt, da ist auch sofort die Reibung da. Sie verwandelt immer einen Teil der Antriebskraft in Wärme. Diesen Teil kann niemand gebrauchen; er geht der Maschine verloren. Daher kann niemals ein *Perpetuum mobile* gebaut werden.

Was ist eigentlich Geschwindigkeit?

Zum Schluß unseres Zeitlupen-Nachdenkens über das Wettrennen etwas über Angelikas Schnelligkeit!

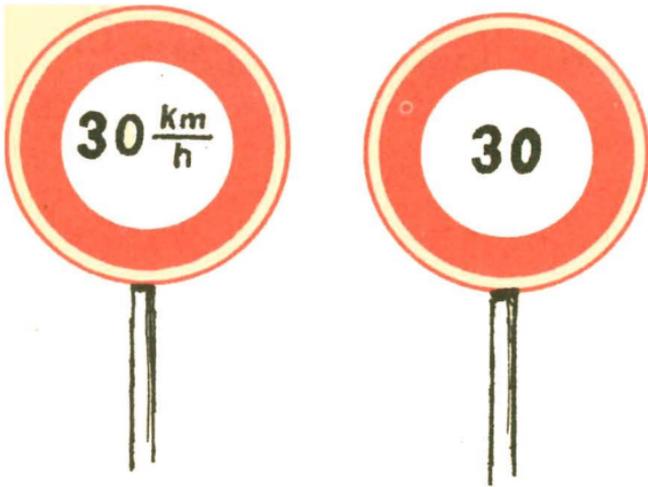
Einer denkt schnell, ein anderer langsam; einer geht

schnell, ein anderer langsam. Beim Gehen, Laufen und Fahren kannst du die Schnelligkeit gut nachmessen; du brauchst dazu ein Längenmaß, möglichst viele Meter lang, und eine Uhr, auf der man die Sekunden ablesen kann. Mit einer Stoppuhr geht es am einfachsten und genauesten.

Wir sagen statt Schnelligkeit besser *Geschwindigkeit*; von der hast du schon oft gehört. Sie gibt uns das *Maß der Schnelligkeit* an, so, wie die Zensur deines Lehrers angibt, wie deine Klassenarbeit ausgefallen ist. Dein Lehrer schreibt dann eine Zahl zwischen 1 und 5 darunter, bei dir hoffentlich nur 1 oder 2! Die Eltern sehen dann mit einem Blick, was los ist. Und so auf den ersten Blick will man auch die Geschwindigkeit lesen können!

Das ist einfacher, als du vielleicht denkst. Man mißt die Länge der Rennstrecke und die Zeit, die Angelika braucht, um sie vom Start bis zum Ziel abzufahren. Du





willst nun wissen, worin man beides messen muß; denn du kennst für die Länge das Zentimeter, das Meter, gleich 100 Zentimeter, und das Kilometer, gleich 1000 Meter. Für die Zeit können wir natürlich nur die Sekunde oder die Minute, gleich 60 Sekunden, oder die Stunde, gleich 60 Minuten, gebrauchen.

Du hast schon die Verkehrsschilder mit dem roten Kreis und einer Zahl darin gesehen. Ganz richtig muß es da beispielsweise heißen: $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; das bedeutet, der Kraftfahrer darf hier nur 30 Kilometer in der Stunde fahren. h kommt vom lateinischen Wort *hora* für Stunde; das ist in allen Ländern so eingeführt, ebenso wie die anderen Abkürzungen. Manchmal steht nur die Zahl im roten Kreis. Das geht auch, weil der Fahrer sich das andere dazu denkt. Die Buchstaben hinter der Zahl nennt man Einheiten; sie geben immer an, was die Zahl vor ihnen bedeutet. Wenn du „3 Fußbälle“ schreibst, ist die Einheit ein Fußball; dreimal diese Einheit, das sind 3 Fußbälle. Wenn man die Geschwindigkeit messen und angeben

will, dann braucht man zunächst die Länge des Weges und die Zeit, die nötig war, um diesen Weg entlangzufahren. Wir nehmen die bequemsten Einheiten Meter und Sekunde; umrechnen können wir immer noch.

Nun rechne mit!

200 m ist eure Rennstrecke lang, als Beispiel genommen. 57 Sekunden hat Angelika als schnellster Rollschuhläufer dafür gebraucht. Die Geschwindigkeit gibt stets an, welcher Weg in der Zeiteinheit zurückgelegt wurde. Nicht schwierig: Wenn in 57 Sekunden 200 m gefahren wurden, dann sind es in einer einzigen Sekunde 200 m durch 57 gewesen. Also ist Angelikas Geschwindigkeit $\frac{200 \text{ m}}{57 \text{ Sekunden}}$ gewesen. Man schreibt Zahl und Einheiten gern etwas getrennt, also Geschwindigkeit = $\frac{200 \text{ m}}{57 \text{ Sekunden}}$. Genauer brauchen wir es nicht.

Du willst das noch auf km in der Stunde umrechnen, um besser vergleichen zu können?

Da 1000 m = 1 km sind, ergeben 3,5 m also 0,0035 km. Und wenn Angelika in einer Sekunde 3,5 m fährt, dann fährt sie in einer Minute 60 mal so weit, weil eine Minute ja 60 Sekunden hat. 60 Minuten machen eine Stunde – also wiederum mit 60 multiplizieren, und wir haben den Weg in der Stunde!

So leicht ist das, und so sieht das aus:

$$3,5 \frac{\text{m}}{\text{Sekunde}} = 0,0035 \frac{\text{km}}{\text{Sekunde}} = 0,0035 \cdot 60 \cdot 60 = 12,6 \frac{\text{km}}{\text{Stunde}}$$

Eine so hohe Geschwindigkeit kann man auf Rollschuhen wohl nur auf einer guten Straße und auf kurzer Strecke

erreichen. Oder irre ich mich da? Wieviel hast du geschafft?

Du fährst auch nicht die ganze Strecke mit genau dieser Geschwindigkeit, sondern zu Anfang und in Kurven langsamer; was wir hier gemessen und berechnet haben, ist eine durchschnittliche Geschwindigkeit. Aber die genügt. Nebenbei – auf manchen Verkehrsschildern steht im roten Kreis hinter der Zahl nur „km“. Ein Kilometer ist doch eine Länge, aber niemals eine Geschwindigkeit! Wenn du auf der Autobahn fährst, kannst du diesen Unsinn leider noch oft sehen. Die das gemacht haben, sollten noch mal zur Schule gehen oder dieses Buch lesen.



Noch zwei Anmerkungen

Eine Rennstrecke läßt sich leicht mit einem Fahrrad abmessen, das einen Kilometerzähler hat. Um die Zeit zu messen, stellst du dich am Ziel auf. Vom Augenblick des Startes an zählst du mit der Uhr die Sekunden. Wenn du den Startplatz vom Ziel aus sehen kannst, dann kannst du mit einer Fahne selbst ein sichtbares Startzeichen geben. Siehst du den Startplatz wegen einer Kurve in der Rennstrecke nicht, so mußt du ein hörbares Signal geben, ähnlich, wie es bei großen Wettkämpfen mit der Startpistole gemacht wird.

Ebensogut kann dein Freund am Startplatz das Zeichen geben; dann mußt du es sehen oder hören können, damit die Zeit richtig gemessen wird. Jemand, der alles sehr genau nimmt – dein Mathematiklehrer zum Beispiel –, der könnte noch folgendes sagen: „Ein Lichtzeichen breitet sich mit der höchsten Geschwindigkeit aus, die es überhaupt in der Welt gibt, nämlich mit $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{Sekunde}}$. Um die 200 m Rennstrecke zu durchfliegen, braucht es überhaupt keine meßbare Zeit. Aber der Schall! Der kommt nur etwa 330 Meter je Sekunde vorwärts, braucht also für die 200 m über eine halbe Sekunde!“

Das ist richtig. Genaugenommen müßten wir die halbe Sekunde zur gemessenen Zeit hinzuzählen, wenn der Startschuß am Startplatz abgegeben wurde; wir haben etwa eine halbe Sekunde zu spät angefangen zu zählen. Wird der Startschuß am Ziel gegeben, so laufen die Wettkämpfer eine halbe Sekunde später los, nachdem wir mit Zeitnehmen angefangen haben. Also diesmal die halbe

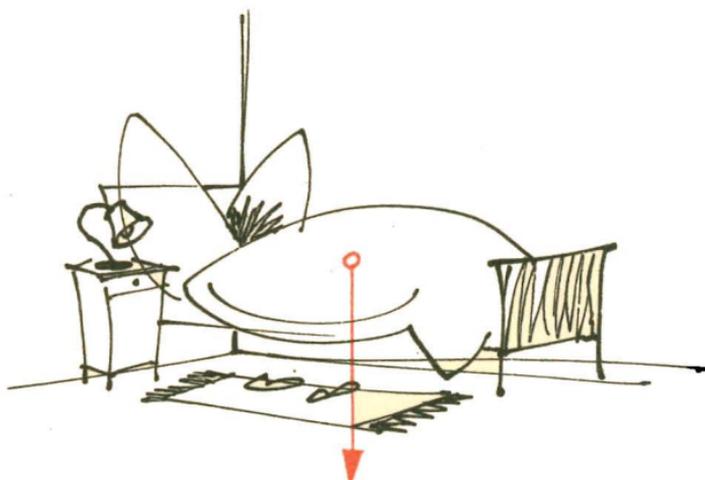
Sekunde abziehen – wenn man es will! Ich glaube, ganz so genau brauchen wir das nicht zu nehmen, weil ihr keinen Weltrekord aufstellen wollt.

Aber mir scheint, wir sollten uns später ein wenig über den *Schall* unterhalten. Da gibt es auch sehr schöne Versuche!

Große Erholungspause!

Du hast sie dir mit deinem fleißigen Mitdenken wohl verdient, lieber Leser.

Manches war nicht ganz leicht, und es war auch nicht gerade wenig: Die Kraft in verschiedenen Arten: Erdanziehung, Trägheitskraft, Fliehkraft, Reibungskraft; dann



ERDANZIEHUNG

die Sache mit den drei Formen des Gleichgewichtes und die Schwierigkeit, die Geschwindigkeit richtig zu verstehen. Und das alles – und noch viel mehr – erleben wir in uns, an uns und um uns herum ununterbrochen, sogar wenn wir schlafend im Bett liegen! Da halten uns, wie du weißt, Erdanziehung und Reibungskraft fest genug.

Dann ist das auch alles gleichzeitig da! Schön abwechselnd wäre es wohl leichter zu erleben; aber du siehst es ein: Das ginge nicht. Schließlich ist das Gleichzeitige ein besonderes Merkmal des Naturgeschehens. Es ist ganz gewiß kein Durcheinander, sondern ein großartiges *Miteinander*, was da alles vor sich geht. Die Menschen können viel davon lernen.

Wunder gibt es nicht

Fast hätte ich gesagt: Es ist etwas Wunderbares. Aber Wunder gibt es nicht, weil es gegen die Naturgesetze wäre. Die sind immer und überall da und wirken. Wo uns etwas wie eine Ausnahme, also wie ein Wunder, vorkommt, da ist stets noch ein weiteres Naturgesetz am Wirken; diese scheinbare Ausnahme wiederholt sich auch immer wieder und wird ebenfalls eine Regel, ein Naturgesetz, mit dem wir fest rechnen können und müssen.

Ein Beispiel dafür ist folgende Tatsache: Alle Körper dehnen sich aus, wenn du sie erwärmst; sie ziehen sich zusammen und werden um so kleiner, je mehr du sie abkühlst. Freilich nur wenig, aber man kann es leicht im Experiment nachmessen.

Und was tut das Wasser, unser ganz gewöhnliches Wasser?

Es zieht sich bis $+4$ °Celsius hinunter zusammen, wie wir das auch erwarten.

Wie warm ein Körper ist, messen wir am Thermometer in Grad Celsius, geschrieben °C – das weißt du doch? Der schwedische Astronom Anders Celsius hat das 1742 vorgeschlagen und eingeführt; in manchen Ländern mißt man heute noch nach anderen Einheiten. Wenn Eis gerade schmilzt, haben wir 0 °C; wenn das Wasser siedet, 100 °C. Dazwischen liegen hundert Grad Celsius, ganz gleichmäßig.

Und nun kommt eine solche erstaunliche, scheinbare Ausnahme:

Bei $+4$ °C nimmt das Wasser den kleinsten Raum ein; kühlst du es weiter ab, dann dehnt es sich wieder aus, wird es wieder größer!

Füllst du eine Bierflasche ganz voll Wasser, verschließt sie gut und läßt das Wasser darin bei 0 °C gefrieren, dann – ja, was meinst du?

Das Wasser dehnt sich unter $+4$ °C und beim Gefrieren wieder weiter aus. Die Flasche tut das nicht, im Gegenteil; das gefrierende Wasser sprengt daher die Flasche entzwei!

Man kann den Versuch auch mit einer dicken hohlen Eisenkugel voll Wasser machen; auch die platzt.

Wir bekommen eine große Hochachtung vor den Naturkräften; sie sind unglaublich stark. Heute noch sprengt man gelegentlich mächtige Felsen im Winter mit Wasser. Man gießt Wasser in die Feisspalten; das gefrierende

Wasser drückt die Felsenteile auseinander. Riesige Kräfte sind dazu nötig; das kannst du dir denken. Aber die kleinsten Teilchen des Wassers bringen diese Kräfte ohne weiteres auf.

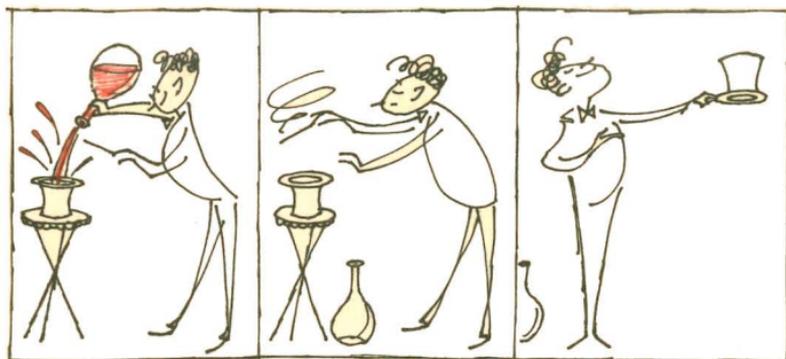
Und nun experimentieren wir weiter

Du hast einige schöne Experimente durchgeführt. Wir suchten sie so aus, daß sie gut zu dem paßten, worüber wir uns bisher unterhalten haben, zum Rollschuh-Wettlauf.

Was ist ein Experiment?

Weil du fragen gelernt hast, fragst du aber nun: „Was ist das denn eigentlich, ein Experiment? Ist das nicht ein Spiel?“

Ja, es kann ein Spiel sein, ein hübsches sogar, wenn du deinen Zuschauern und dir selbst verblüffende Kunststücke vorführst. Wenn dann alle finden: „Das war 'ne Schau!“ und fortgehen, dann war es ein Spiel zur Unterhaltung, ähnlich wie es die Zauberkünstler im Theater machen. Die hüten sich, zu verraten, wie sie es gemacht haben, damit es keiner nachmachen kann. Sie verdienen



ihr Geld damit; deshalb kann man ihnen das nicht übernehmen.

Ein Experiment ist nur äußerlich für den Zuschauer ein Spiel. Für dich ist es etwas ganz anderes.

Das geht schon bei der Vorbereitung los: Du willst nicht irgendeinen Zauber, sondern ein Naturgesetz vorführen. Also überlegst du zuerst, mit welchem Naturgesetz du experimentieren willst, mit der Erdanziehung, mit der Trägheit oder einer anderen Kraft. Danach suchst du aus diesem Buch und aus anderen Büchern Experimente heraus, die das, was du zeigen willst, auch gut bringen. Du suchst die Dinge zusammen, die dazu nötig sind, und baust sie auf. Nun kannst du mit dem Experiment beginnen!

Bald wirst du dir auch selbst neue Versuche ausdenken; das macht besonders viel Spaß. Du wirst merken, daß es bei solchen Experimenten gar nicht sosehr darauf ankommt, viele Zuschauer zu haben. Im Gegenteil: Wenn du so auf Entdeckungen ausgehst und die Natur belau-

schen willst, dann bist du am besten allein oder nur mit einem oder zwei guten Freunden zusammen, die auch Freude daran haben!

Ein berühmter Naturforscher hat einmal gesagt: „Ein Experiment ist eine Frage an die Natur.“ So fragst du auch: „Was wird die Natur tun, wenn ich dies und das so aufgebaut habe und in Gang bringe?“

Die Natur wird dir immer Antwort geben. Nur ist die manchmal leise und nicht leicht zu verstehen; du mußt oft mächtig genau zusehen und zuhören.

Antwortet die Natur nicht, so ist das auch eine Antwort; du hast dann irgend etwas falsch gemacht. Wie der Detektiv den Bösewicht, so suchst du dann die Stelle mit dem Fehler.

Wir suchen uns für den Anfang leichtere Experimente aus, die eigentlich nicht schiefgehen können. Wenn du dann später ein eigenes kleines Laboratorium hast, dann sind die schwierigeren an der Reihe!

Eines wirst du aber schon sehr bald merken: daß ein Experiment eine schöne Sache ist. Und weshalb? Weil du da ein Stück Natur auf deinen Experimentiertisch zauberst, weil du die Natur in aller Ruhe beobachten kannst und weil du das so oft wiederholen kannst, wie du willst und Zeit hast. Die Natur ist unermüdlich! Im Experiment kannst du dir nach Wunsch einzelne Wirkungen der vielfältigen Natur heraussuchen und sie einzeln untersuchen; das ist das allerwichtigste. Du kannst deinen Aufbau für den Versuch ändern und schauen, was nun wird; du kannst etwas höher oder tiefer fallen, etwas langsamer oder schneller laufen lassen, linksherum, rechtsherum,



schwerere oder leichtere Kugeln nehmen – da ist kein Ende mit solchen Möglichkeiten.

Schreibe auf, was du gefunden hast! Du kannst es deinem Vetter schicken, der hundert Kilometer entfernt wohnt. Der macht auch solche Experimente; ihr könnt dann vergleichen. Das ist ein großer Vorteil: Man kann die Natur nicht nur jederzeit, sondern auch überall befragen! Ihre Gesetze gelten überall und immer, und die Natur antwortet überall und immer.

Einen Tip will ich dir noch geben: Wenn du im Experiment etwas, beispielsweise eine Geschwindigkeit, messen willst, so begnüge dich nicht mit einem einzigen Versuch, sondern mache mehrere, aber immer *gleiche!* Du bildest am Schluß den Mittelwert; hast du den in Mathematik gehabt? Alle gemessenen Werte werden addiert, und das Ergebnis wird durch die Anzahl der Versuche dividiert.

Ein Beispiel: Du hast die Geschwindigkeiten 3,0; 2,8; 3,4; 3,2; 3,1 erhalten, alle in $\frac{\text{m}}{\text{Sekunde}}$. Sie ergeben zusammen 15,5; dividiert durch 5, bekommst du den Mittelwert, die mittlere Geschwindigkeit von $3,1 \frac{\text{m}}{\text{Sekunde}}$.

Das ist nicht schwierig. Es kostet nur etwas mehr Geduld. Die hat jeder Forscher – du also auch; denn wenn du deine Experimente mit soviel Nachdenken machst, bist du auch einer.

Vielleicht entdeckst du später einmal ein noch unbekanntes Naturgesetz, bekommst einen Nationalpreis oder Nobelpreis und wirst berühmt wie Otto Hahn, der die Atomkraft entdeckte?

Aber wir wollen mit unseren Experimenten weitermachen.

Stafettenlauf mit Energie

Beim Rollschuh-Wettkampf gab es ein Ereignis, das wir noch nicht mit Zeitlupe betrachtet haben: Fritz war durch sein Pech beim Start später als Rolf am Ziel angelangt. Rolf war über den Zielkreidestrich am Boden hinweggefahren und gerade eben zum Stillstand gekommen, noch mit der Nase nach vorn. Da kam Fritz schnell hinterher, paßte nicht auf und prallte mit seiner ganzen Bewegungsenergie auf den stehenden Rolf auf. Und da geschah etwas Merkwürdiges: Fritz blieb wie festgenagelt stehen, und Rolf fuhr so schnell weiter, wie Fritz angekommen war. WARUM?

Wo ein Körper ist, kann kein anderer sein

Das ist wieder etwas, worüber wir uns zunächst wundern; dann merken wir bald, daß wieder ein Naturgesetz dahintersteckt. Ein Körper kann seinen Schwung, seine Bewegungsenergie an einen anderen ganz oder zum Teil abgeben! Fritz hat sie ganz abgegeben, hatte keine mehr und blieb stehen. Rolf bekam die Energie und fuhr dadurch, sicherlich sehr überrascht, wieder los.

Im Experiment, also mit Absicht und um das zu beobachten, können wir solchen Kraftstoß in vielerlei Weise darstellen. Im Turnunterricht steht die Turnreihe dicht aufgeschlossen da. Stößt du den ersten in der Reihe stark an, dann geht der Stoß wie eine Welle durch die ganze Reihe hindurch. Jeder schwankt nacheinander ein wenig, bleibt aber stehen; nur der letzte kommt aus dem Gleichgewicht oder fällt gar um. Er kann die Energie nicht weitergeben, sondern muß sie auffangen und allein damit fertig werden. Das ist wie bei dem Sprichwort: Den letzten beißen die Hunde!

Das Ganze erinnert uns ein wenig an einen Stafettenlauf; nur wird hier nicht ein Stab, sondern Energie weitergegeben.

Im kleinen kannst du das mit Bällen oder Murmeln zwischen zwei nebeneinandergelegten Linealen machen oder mit rutschenden Dominosteinen oder Steinen vom Dame- und Mühlespiel. Sehr schön geht es auch mit Geldstücken. Dabei kannst du eines gut beobachten: Wenn beide Körper, der stoßende und der gestoßene, gleich groß sind, dann bleibt der erste stehen, und der zweite gleitet

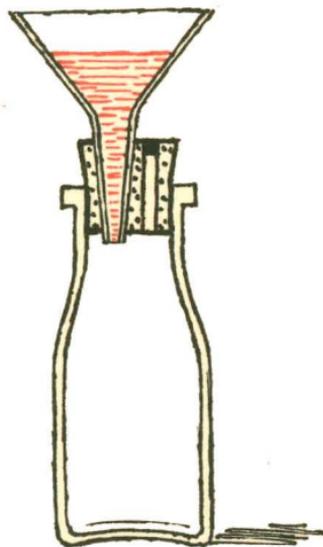
mit ungefähr gleicher Energie weiter. Ein kleiner Körper kann dagegen einen größeren nicht richtig in Schwung bringen, springt sogar zurück, und ein größerer gleitet mit dem kleineren ein Stück weiter, wenn auch nicht so weit wie der kleine angestoßene Körper. Beim Wettlauf waren Fritz und Rolf etwa gleich groß und gleich schwer; deshalb blieb Fritz stehen. Billardspieler kennen dieses Naturgesetz sehr genau, wenn sie ihre Bälle anstoßen und bewegen. Da kommt es sehr genau darauf an, in welchem Winkel und mit wieviel Kraft gestoßen wird.

Aber die Natur zeigt uns bei dieser Begebenheit noch etwas: *Wo ein Körper ist, kann kein zweiter sein.*

Du meinst, daß sei doch selbstverständlich? Ja, bei festen oder flüssigen Körpern schon, aber wie ist es mit den gasförmigen Körpern, beispielsweise der Luft?

Wir wollen wieder die Natur befragen! Du nimmst eine recht breite Glasflasche, einen gut passenden Korken oder Gummistopfen und einen Trichter mit möglichst engem Rohr.

Der Korken erhält zwei verschieden große Löcher. Durch das größere stecken wir das Trichterrohr; das kleinere verschließen wir gut, zum Beispiel mit Wachs, Plastilin oder Stearin. Wer keinen Korkbohrer hat, macht die Löcher mit einer



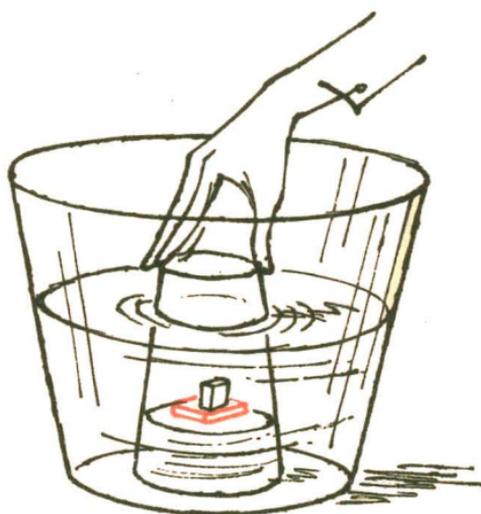
spitzen, runden Feile. Wichtig ist, daß das Trichterrohr fest im Loch sitzt, so daß keine Luft entweichen kann; der Korken wird ebenfalls luftdicht in den Flaschenhals gedrückt. Jetzt füllst du den Trichter sehr schnell ganz voll Wasser. Mancher wird es zunächst nicht glauben wollen: Das Wasser fließt nicht in die Flasche, sondern bleibt im Trichter! WARUM?

Auch Luft ist ein Körper; wo sie ist, kann kein anderer, hier das Wasser, sein! Wenn einige wenige Tropfen in die Flasche gelangen, so liegt das daran, daß sich Luft leicht zusammendrücken läßt; dadurch wird ein wenig Platz für einige Tropfen frei.

Sobald wir nun das kleinere Loch öffnen, strömt das Wasser aus dem Trichter in die Flasche; die Luft entweicht durch das kleine Loch im Korken und gibt den Platz in der Flasche frei. Ist das Trichterrohr zu weit, so entweicht die Luft durch das Rohr am Wasserstrahl entlang.

Noch ein Experiment zu der Eigenschaft der Körper, *undurchdringlich* zu sein: Du füllst eine recht tiefe Glasschüssel zu etwa drei Vierteln voll Wasser. Auf dem Wasser läßt du ein kleines Holzbrettchen mit einem Stück Zucker darauf schwimmen und fragst nun: „Wer kann den Zucker tief in das Wasser tauchen, ohne ihn naß zu machen?“ Das sieht schwierig aus, ist aber ganz leicht; du stülpst ein Trinkglas über Zucker und Brettchen und drückst es senkrecht nach unten, bis der Rand den Boden der Schüssel berührt. Das Brettchen muß also kleiner als die Öffnung des Glases sein. Der Zucker ist unter Wasser und doch trocken!

Wenn du genau hinschaust, siehst du, daß von unten



etwas Wasser in das Glas eingedrungen ist. Du weißt schon vom vorigen Versuch her, warum: Das Gewicht des Wassers drückt von allen Seiten auf die Luft im Glase und preßt sie etwas zusammen. Den frei werdenden Raum nimmt sofort das Wasser ein.

In der Technik macht man das im großen; man baut schwere eiserne *Taucherglocken* und läßt sie bis auf den Grund von Flüssen oder Seen sinken. Statt des Zuckers sind Menschen in der Glocke; sie bauen zum Beispiel Fundamente für Brückenpfeiler. Frische Luft bekommen sie von außen; sie wird unter Druck eingeblasen, damit der Wasserdruck das Wasser nicht in die Glocke eindringen läßt.

Weißt du auch, welche Eigenschaft aller Flüssigkeiten solche Mühe macht? Es ist das Bestreben, überall gleich hoch zu stehen oder, ganz naturwissenschaftlich aus-

gedrückt, überall den gleichen Abstand vom Erdmittelpunkt zu haben.

Wenn wir das wissen, dann ist uns auch klar, daß die Oberfläche der großen Seen und Meere ebenso kugelförmig gekrümmt ist wie die Erdoberfläche selbst. Deshalb verschwinden fortfahrende Schiffe in der Ferne unter dem sogenannten Horizont, das heißt dort, wo Wasser und Himmel in einer Kreislinie scheinbar zusammenstoßen.

So greift in der Natur immer eine Eigenschaft oder Wirkung in die andere, und man muß schon eine ganze Menge lernen, wenn man einigermaßen Bescheid wissen will. Ahnst du jetzt, wie schwierig es ist, einen Kanal oder ein Staubecken mit Stausee vorher richtig zu berechnen? Das Wasser darf doch nirgendwo überlaufen!

Solltest du übrigens einmal das Mißgeschick haben, versehentlich mit einem Stein oder Ball eine Fensterscheibe zu zerbrechen, so kannst du darauf hinweisen, daß auch hier ein Beweis für die Undurchdringlichkeit der Körper vorliegt. Leider bleibt es deine Schuld, daß der fliegende Körper zuviel Energie der Bewegung in der verbotenen Richtung erhalten hat!

Versuche mit dem Pendel

Der berühmte italienische Naturforscher Galileo Galilei, von dem ich schon erzählt habe, war erst 19 Jahre alt, als er im Dom zu Pisa etwas beobachtete, was alle anderen nicht merkten: Einige Lampen pendelten im Luftzug an ihren Ketten hin und her; je länger die Kette war, um so langsamer pendelte die Lampe, um so mehr Zeit brauchte sie für eine Hinundherbewegung. Das war noch niemandem aufgefallen. Galilei war der erste, der es so machte wie wir heute, auch du: Erst genau beobachten, dann scharf nachdenken und vergleichen, schließlich dazu experimentieren. Damit machte er großartige Entdeckungen und wurde sehr berühmt.

Auf Galileis Spuren

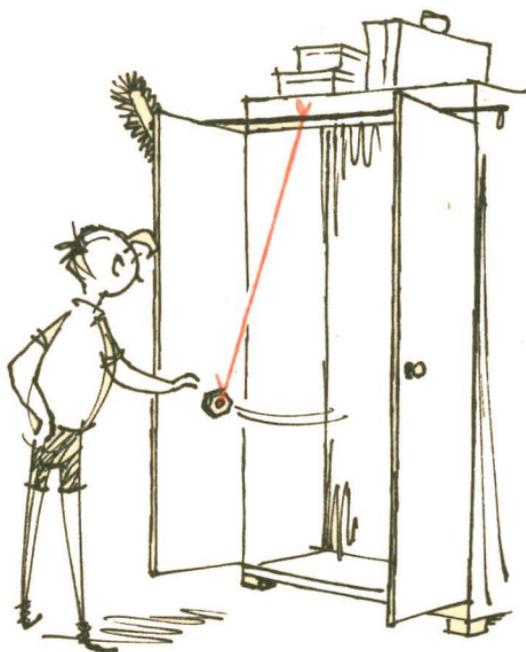
Du sagst nun vielleicht: „Ja, damals war ja auch alles um einen herum noch nicht entdeckt; man brauchte nur genau hinzuschauen – und schon hatte man etwas Neues gefunden!“

Freilich, so sieht es aus, wenn wir es heute betrachten. Und doch machen wir einen Fehler, denn wir müssen eines bedenken: Die Menschen damals kannten die Gesetze der Natur noch gar nicht; sie waren ahnungslos und sahen weder Weg noch Ziel. Weg: das ist die Art, wie man zum Erkennen hinkommt; Ziel: das ist das Erkennen selbst. Sie hatten keine Erfahrung in diesen Dingen,

die Menschen von damals; sie hatten nur den starken Wunsch in sich, mehr zu wissen. Sie arbeiteten unbeirrt immer weiter, oft, wie schon berichtet, unter großen Entbehrungen und auch mit manchen Enttäuschungen. Deshalb bringen wir ihnen größte Achtung entgegen, nicht weniger als den heutigen Forschern.

Du weißt schon, daß Galilei unter anderem etwas ganz besonders Wichtiges gefunden hat: daß man experimentieren kann und muß, wenn man weiterkommen will. Wenn wir unsere Versuche machen, so tun wir also etwas, was Galilei uns gelehrt hat.

Du gehst nun wie Galilei zwar nicht in den Dom zu Pisa, sondern auf einen Kinderspielfeldplatz und entdeckst dort auch allerlei. Zuerst die Schaukel! Zwei sind in Betrieb, eine lange und eine kurze. Sofort siehst du, worauf es ankommt: Die lange Schaukel schwingt länger, die kurze schwingt kürzer. Das muß seinen Grund haben! Du gehst nach Hause und baust das Wichtigste nach, ein Pendel nämlich, denn die Schaukel ist im Grunde nichts anderes. Beide Türen eines Schrankes machen wir weit auf und legen einen Besenstiel darüber; der Besen stört dabei nicht. Zuerst hängen wir eine Gewindemutter oder ein anderes Gewichtstück an einem 1 m langen Faden auf. Du weißt schon, daß eine ganze Schwingung – hin und her – zwei Sekunden dauert. Laß dein Pendel einmal ganz weit schwingen; der Schrank ist an der Stelle hoffentlich leer. Dann laß es ganz kurze Schwingungen machen und vergleiche die Zeiten: Sie sind gleich! *Die Zeit einer Schwingung ist also unabhängig davon, wie weit das Pendel ausschwingt.*



Nun hänge einmal zur Abwechslung an die Stelle des schweren Gewichtstückes ein leichteres, etwa ein Stück Holz, und beobachte wieder. Merkwürdig: Das Pendel schwingt wieder genauso lange; *die Schwingungsdauer ist also auch unabhängig vom Gewicht des schwingenden Körpers.*

Wovon mag dann aber die Dauer der Schwingung abhängig sein, womit kann ich sie so verändern, wie ich will?

Die beiden Schaukeln haben es dir schon verraten: *Die Länge des Pendels bestimmt die Dauer der Pendelbewegung;* Pendellänge und Dauer der Schwingung hängen zusammen. Die eine ist von der anderen abhängig, sagt man meist.

Pendel, Zahlen und Sekunden

Als junger Naturforscher willst du natürlich wissen, ob man diesen Zusammenhang nicht in Zahlen ausdrücken kann; du hast doch viel Mathematik gehabt und kannst mit Zahlen umgehen.

Die alten Naturforscher haben schon sehr bald etwas entdeckt, was einen zunächst wundert: Ein Pendel hat eine bestimmte Schwingungsdauer, sagen wir: 1 Sekunde. Soll die Dauer zweimal so groß werden, dann muß das neue Pendel gleich zweimal zwei, also viermal so lang wie das erste Pendel, sein. Bei dreifacher Dauer wird das Pendel dreimal drei, also neunmal so lang wie das erste – und so geht es weiter.

Die Schwingungszeit steigt an: 1, 2, 3, 4, 5 und so weiter, die Pendellänge 1 mal 1 = 1, 2 mal 2 = 4, 3 mal 3 = 9, 4 mal 4 = 16, 5 mal 5 = 25 und so fort. Du hast längst gemerkt, daß zu jeder Pendellänge das Quadrat der Schwingungszeit gehört. Solche Zahlenfolgen sind nicht nur schön, sondern auch gut brauchbar im Rechnen.

Nach soviel Nachdenken wollen wir im Experiment nachprüfen, ob alles stimmt!

Dein erstes Pendel mit 2 Sekunden Schwingungszeit paßt hier nicht mehr gut; wir müßten ein zweites von 4 m und ein drittes von 9 m daneben hängen. Das kannst du höchstens bei Gelegenheit in der Turnhalle oder im Treppenhaus machen. Du bekommst dann Schwingungszeiten von 1 mal 2 = 2, 2 mal 2 = 4 und 3 mal 2 = 6 Sekunden, das heißt das Einfache, Zweifache und Dreifache. Wir fangen lieber bei einem viel kleineren an: beispielsweise

20 cm lang. Daneben bauen wir eines mit $4 \text{ mal } 20 \text{ cm} = 80 \text{ cm}$ und als drittes am Besenstiel ein Pendel mit $9 \text{ mal } 20 \text{ cm} = 180 \text{ cm}$ Länge. Hoffentlich ist der Schrank hoch genug!

Du läßt das erste und das zweite Pendel gleichzeitig los-schwingen und beobachtest ganz genau: Wenn das erste, das kürzeste Pendel zwei Schwingungen hinter sich hat, hat das mittlere erst eine gemacht, immer hin und her gerechnet. Und wenn du das kleinste und das größte Pendel gleichzeitig in Schwung bringst, dann muß das kleinste gar dreimal schwingen, ehe das größte mit einer einzigen Schwingung endlich fertig ist! Das mittlere Pendel schwingt also tatsächlich zweimal so langsam und das rechte, größte Pendel dreimal so langsam wie das kurze links. Oder wenn wir es andersherum sagen wollen: Die Schwingungsdauer ist beim mittleren Pendel zweimal so groß und beim rechten Pendel dreimal so groß wie beim linken, kleinen.

Du möchtest auch noch die Zeit in Sekunden wissen? Gern; du läßt einen Freund 30 Sekunden abstoppen – mit dem Sekundenzeiger jeder Uhr leicht zu machen. Während dieser 30 Sekunden zählst du die Schwingungen, also wie oft der Pendelkörper zu dir zurückkommt, immer hin *und* her. Dann teilst du die 30 Sekunden durch die Zahl der Schwingungen und bekommst die Zeit für eine einzige Schwingung. In unserem Fall werden es etwa 34 Schwingungen sein. 30 Sekunden, dividiert durch 34, ergibt etwa 0,9 Sekunden. Das mittlere Pendel wird dann 17 Schwingungen zu je 1,8 Sekunden, doppelt soviel wie 0,9 Sekunden, zurückgelegt haben.

Das längste Pendel – nein, das kannst du nun ganz gewiß allein herausbekommen, was das ergibt.

Wenn du schöne volle Sekundenzahlen haben willst, dann mußt du deine Pendel 25, 100 und 225 Zentimeter lang machen. Mit Leitern ist das vielleicht möglich; aber sei vorsichtig und falle nicht herunter! Du mußt mit den Pendeln Schwingungszeiten von 1, 2 und 3 Sekunden erhalten, wenn du alles richtig gemacht hast.

Allerhand, was man alles mit solch einfachem Pendel anfangen kann, ja?

Aus den Experimenten ist doch allerlei Merkwürdiges herausgekommen: Die Zeit einer Schwingung beim Pendel ändert sich nur mit der Länge des Pendels, nicht aber mit der Größe des Ausschlages und auch nicht mit der Größe des Gewichtstückes unten am Faden. Und wenn ich die Zeit der Schwingung vergrößern will, dann muß ich den Faden in der entsprechenden Quadratzahl verlängern.

Vergiß das nicht; du wirst dieses *Naturgesetz vom Pendel* sicherlich noch manches Mal gebrauchen können. Überhaupt kommen die Schwingungen, diese Hin- und Herbewegungen, in der Natur sehr viel vor – und in der Technik ebenso.

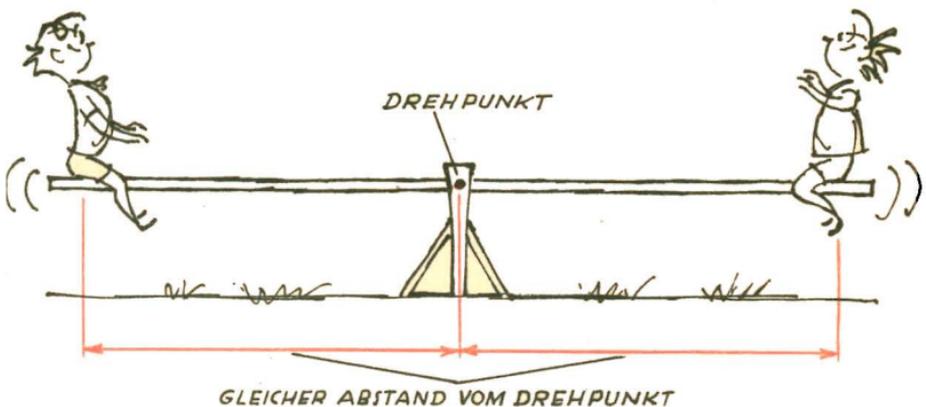
Eine Wippe auf dem Spielplatz

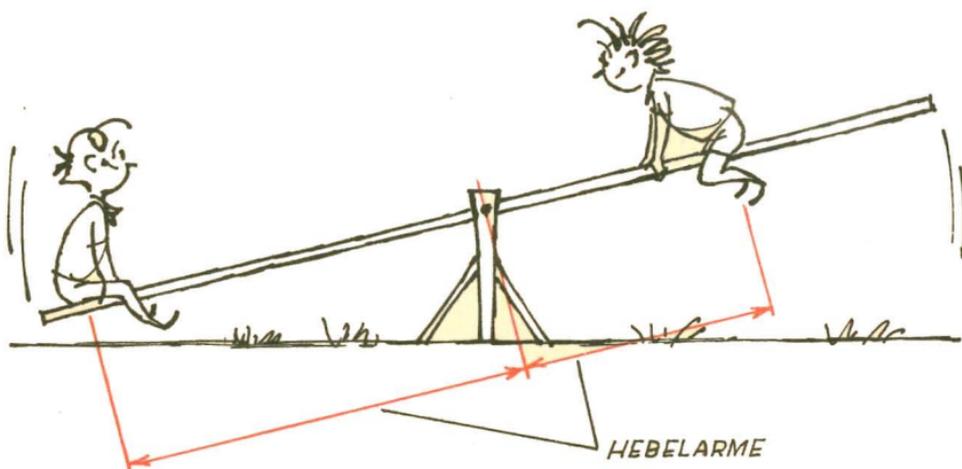
Zwei Kinder schaukelten fröhlich auf der Wippe auf und ab; wenn das eine oben war, saß das andere unten – und umgekehrt. Trotzdem ist das keine richtige Schaukel; mit unserem schönen Pendelgesetz können wir dabei nichts anfangen.

Die Wippe erinnert uns aber an etwas anderes, das wir in diesem Buch schon entdeckt haben: Irgendwie muß da doch die Sache mit dem Gleichgewicht drin stecken!

Der Wippbalken ist um eine Achse zu bewegen; die geht bei einer Bauart mitten durch den Schwerpunkt des Balkens, bei einer anderen liegt sie oberhalb des Schwerpunktes, bei einer dritten Art unterhalb. Mit allen drei Arten kann man gut spielen.

Du kannst aber zusammen mit deinem Freunde Fritz nicht nur damit spielen, sondern auch gut beobachten und dabei Neues entdecken!



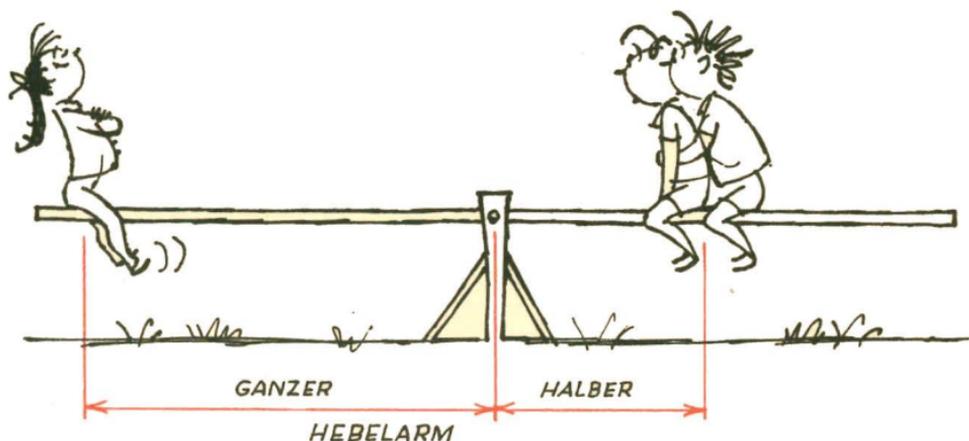


Wenn ihr beide gleich schwer seid und gleich weit von der Achse, also dem Drehpunkt in der Mitte, entfernt sitzt, der eine hier, der andere dort – dann ist die Wippe im Gleichgewicht. Ihr könnt sie bei einiger Übung schön waagrecht halten. Es kommt also offenbar auf die Gewichte an beiden Enden an, ob die gleich sind oder nicht. Die Gewichte sind Kräfte, Gewichtskräfte, wie du weißt. Sie kommen von der Erdanziehung, die man auch Schwerkraft nennt, weil sie die Körper schwer macht.

Was geschieht, wenn einer von euch etwas zur Mitte hin rutscht? Dann geht er in die Höhe; er hat scheinbar weniger Kraft, obwohl er doch ganz gewiß sein Gewicht so schnell nicht verringert hat. Wie sollte er das auch tun? Schuhe und Anzug machen nicht soviel aus. Nein, dahinter steckt wieder ein neues Geheimnis, das entdeckt werden muß: Es ist der Abstand, den ihr von dem Drehpunkt habt. Auf diesen Abstand kommt es genauso an wie auf das Gewicht. Du hast es ja gesehen: Je kleiner

der Abstand ist, um so weniger wirkt das Gewicht. Wir denken scharf nach und finden: Wenn der Abstand, die Länge unserer Wippenseite, kleiner wird, dann muß das Gewicht größer werden, um wieder Gleichgewicht zu haben.

Gedacht, getan: Ihr holt Angelika hinzu, die ebenso schwer ist wie du, und setzt sie ganz ans Ende der einen Wippenhälfte. Du setzt dich dicht hinter Fritz genau auf die Mitte der anderen Hälfte. Und wirklich, jetzt ist wieder Gleichgewicht. Das muß auch stimmen, wenn wir überlegen: Solch eine Wippe, das ist eigentlich ein langer *Hebel* mit zwei Seiten, die wir *Arme* nennen wollen. Am Ende des einen sitzt Angelika und drückt ihren ganzen Hebelarm hinunter; auf der anderen Seite drückt ihr beide, du und Fritz, nur euren halben Hebelarm nach unten. Was vom Hebelarm noch hinter euch ist, spielt nicht mit; wichtig ist nur, was zwischen Drehpunkt und der Stelle ist, wo die Gewichte, die Kinder, sitzen.



Wunderlich, nicht wahr? Hier zählt nur das Gewicht des Menschen im Experiment. Aber zum Nachdenken wird das Köpfchen gebraucht!

Wir denken also nach. Auf einer Seite *ein* Kind und *eine ganze* Armlänge. Auf der anderen Seite *zwei* Kinder und nur *eine halbe* Armlänge. 1 mal 1 ist 1, 2 mal $\frac{1}{2}$ ist auch 1. Auf beiden Seiten die Eins, darum ist Gleichgewicht. Multiplizieren muß man Gewicht und Armlänge auf jeder Seite; das ist das Geheimnis.

Jetzt kannst du leicht weiterexperimentieren. Auf Angelikas Platz, ganz am Ende ihres Hebelarmes, sitzen zwei, in der Mitte des anderen Hebelarmes vier Kinder; wieder ist Gleichgewicht, denn $2 \text{ mal } 1 = 2$ und $4 \text{ mal } \frac{1}{2} = 2$. Dann sitzt Angelika zur Abwechslung wieder allein, auf dem anderen Arm haben sich drei Kinder niedergelassen – aber noch näher am Drehpunkt, nämlich nur noch ein Drittel der ganzen Länge des Hebelarms entfernt. Wir rechnen: $1 \text{ mal } 1 = 1$; $3 \text{ mal } \frac{1}{3} = 1$; es stimmt wieder.

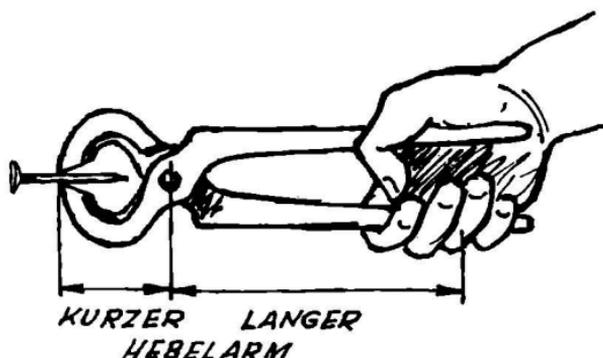
Wir finden das Gesetz vom Hebel

So einfach ist der Zusammenhang von Kraft und Länge des Hebelarmes, wenn man ihn kennt; man nennt ihn das Gesetz vom Hebel, das *Hebelgesetz*. Die Wippe muß natürlich schön lang sein, sonst kann man die Experimente nicht so gut machen.

Du kennst den Hebel schon von anderen Gelegenheiten her. Man benutzt eine lange Stange als Hebel, um eine

schwere Sache hochzuheben; jede Zange und jede Schere besteht aus zwei Hebeln; jede Schranke am Bahnübergang und jeder Riemen, mancher sagt fälschlich Ruder dazu, im Ruderboot ist ein Hebel. Es gibt überhaupt keine Maschine, in der keine Hebel sind! Jedes Zahnrad zum Beispiel wirkt auch wie ein Hebel, der irgendwelche Kraft überträgt. Vielleicht kennst du auch einen Autoheber und eine Brechstange, die beide – ebenso wie der Nußknacker – zur großen Familie der Hebel gehören.

Du willst mit einer Beißzange einen Nagel durchbeißen, abkneifen. Die Kraft deiner Hand ist nicht groß genug, um ohne Zange auszukommen. Die Zange ist so gebaut, daß ihre Hebelarme verschieden lang sind, und darauf kommt es an. Du drückst mit deiner Kraft in der Hand die langen Arme des Griffes zusammen und legst dabei einen Weg von mehreren Zentimetern zurück. Am anderen Ende sind die Hebelarme, die Backen, viel kürzer, und die Schneiden legen beim Beißen einen viel kürzeren Weg zurück. Sie gewinnen dadurch an Kraft. Sie können so viel mal die Kraft unserer Hand vergrößern, wie ihre



Hebelarme kürzer sind als die langen Hebelarme, die Griffe in unserer Hand. Das ist bei allen Zangen so, seien es nun Beiß- oder Loch- oder Spann- oder Rohr- oder Flachzangen. Die größere Kraft bezahlst du sozusagen mit einem größeren Weg.

Bei Bahnschranken und Papierscheren ist es umgekehrt wie bei den Zangen; wir wenden viel Kraft auf, um einen langen Weg zu sperren oder um Papier zu schneiden.

Die alten Ägypter kannten den Hebel schon, als sie ihre Pyramiden von ihren Sklaven bauen ließen. Es war trotzdem eine sehr schwere Arbeit, die großen Steinblöcke in der heißen südlichen Sonne zu bewegen. Rund viereinhalbtausend Jahre ist das schon her, und die Ägypter waren sicherlich nicht die ersten Menschen, die den Hebel kannten und benutzten. Er ist eines der ersten technischen Geräte, die die Menschen angewendet haben.

Ich glaube, du wirst jetzt mit Hebeln, Zangen und Scheren besser umgehen können als vorher; du weißt nun, warum sie so gebaut sind.

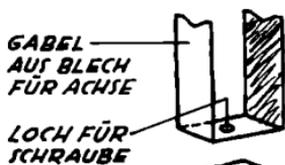
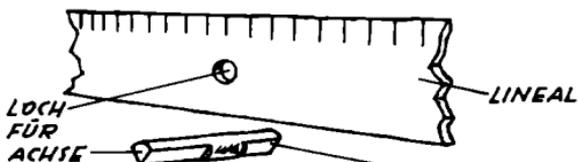
Wir bauen einen Hebel...

Wir verlegen nun wieder ein Stück der Natur und Technik auf unseren Tisch, um zu experimentieren. Aus dem Balken der Wippe wird eine schmale Holzleiste, auf die wir von der Mitte aus nach beiden Seiten eine Zentimeter-einteilung zeichnen. Wer ein 40 cm langes Holzlineal hat, spart das Einteilen; er muß nur von der Mitte aus nach beiden Seiten die Zahlen 1 bis 20 neu auftragen, vielleicht

auf einem aufgeklebten Streifen Papier. Das Lineal bekommt genau in der Mitte ein rundes Loch für eine Achse. Die machen wir aus einem runden Eisenstab, etwa einem großen runden Stift oder Nagel, 5 bis 6 cm lang. Er muß fest im Lineal sitzen; ein Tropfen Plastkleber hilft dabei. Das Lineal sitzt nicht genau auf der Mitte der Achse; diese ragt vielmehr auf der einen Seite 1 bis 2 cm weiter hervor als auf der anderen. Warum, das wird bald verraten werden. Die Zahlen auf dem Lineal müssen immer oben sein.

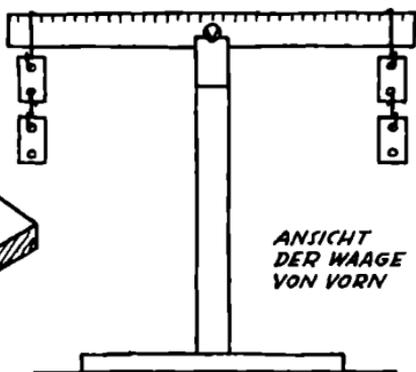
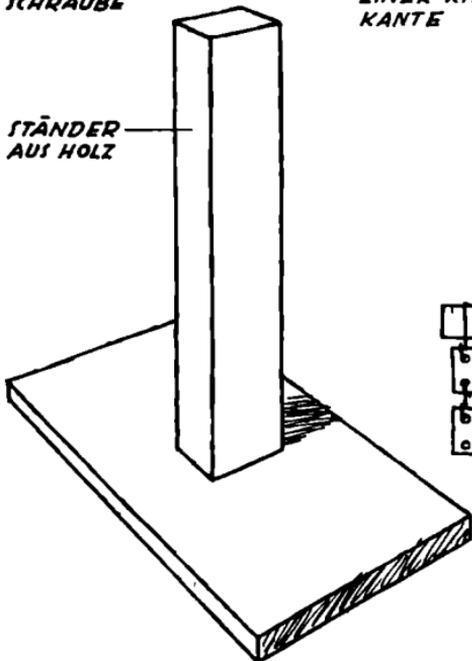
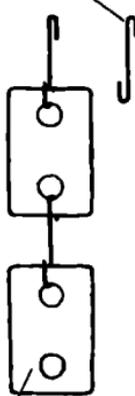
Kerben wir zwei Holzklötze, etwa 5 cm hoch, oben ein und legen die Enden der Achse in die Kerben, dann erinnert die Sache schon an die richtige Wippe. Besser experimentieren können wir, wenn du die Achse viel höher legst. Dazu nimmst du einen möglichst viereckigen Holzstab, etwa 30 cm hoch und 3 cm mal 3 cm im Querschnitt. Du sägst an einem Ende einen V-förmigen Ausschnitt heraus, in dem sich das Lineal um seine Achse bewegen soll. Es entsteht eine Gabel; sie bekommt oben zwei Kerben für die Hebelachse. Damit der Holzstab ein richtiger Ständer wird, also senkrecht steht, schraubst oder leimst du ihn an einem starken Grundbrett fest.

Jetzt legst du die Achse des Lineals in die Kerben der Ständergabel, und der Hebel mit seinen beiden Armen ist fertig. Er bewegt sich noch leichter auf den Lagerkerben, wenn du die Achse mit einer Feile nach unten spitz zufeilst; dann liegt die Achse nur noch mit zwei Schneiden auf. Weiterhin kannst du die Kerben mit etwas dünnem Blech auslegen oder gar die ganze Gabel U-förmig aus Blech biegen und auf den Ständer schrauben. Es gibt

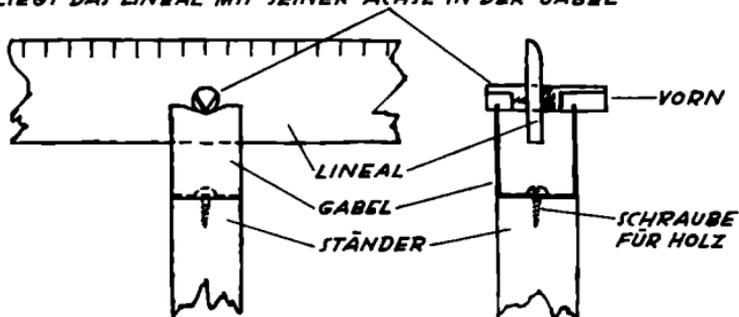


SO FEILEN WIR DIE ACHSE AN BEIDEN ENDEN UNTEN ZU EINER SCHARFEN KANTE

DRAHTHAKEN



SO LIEGT DAS LINEAL MIT SEINER ACHSE IN DER GABEL



VORDERANSICHT

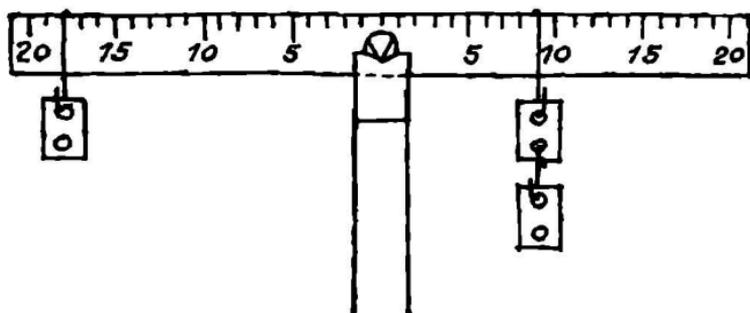
SEITENANSICHT

noch viele Möglichkeiten, die kleine Maschine zu verbessern; die werden dir aber schon allein einfallen. Dazu gehören auch zwei kleine Klammern auf der Achse, die verhindern sollen, daß diese beim Experimentieren von ihrem Lager herunterrutscht. Wenn du sehr genau gebaut hast, müßte der Hebel waagrecht stehenbleiben. Lineale haben oft an einer Seite ein großes Loch zum Aufhängen; das stört das Gleichgewicht. Du mußt entweder das Loch mit Holz ausfüllen oder am anderen Ende ein gleich großes anbringen. Senkt sich eine Seite des Hebels immer nach unten, so bringen wir an der anderen Seite zum Ausgleich etwas Siegelack, Plastilin oder ähnliches an.

Du kannst nun das Spiel mit der Wippe auf deinem Experimentiertisch nachmachen. Der Hebel ist die Wippe; die Kinder werden durch kleine, gleich große Gewichtstücke mit Drahhäkchen dargestellt. Die Stücke lassen sich gut aus Blech schneiden – oben und unten je ein kleines Loch, um Drahhäkchen einzuhaken. Damit die Haken auf der Einteilung nicht abrutschen, feilen wir bei jedem Zentimeter eine kleine Kerbe. Als Lineal ist der Hebel später freilich nicht mehr zu gebrauchen.

... und experimentieren damit

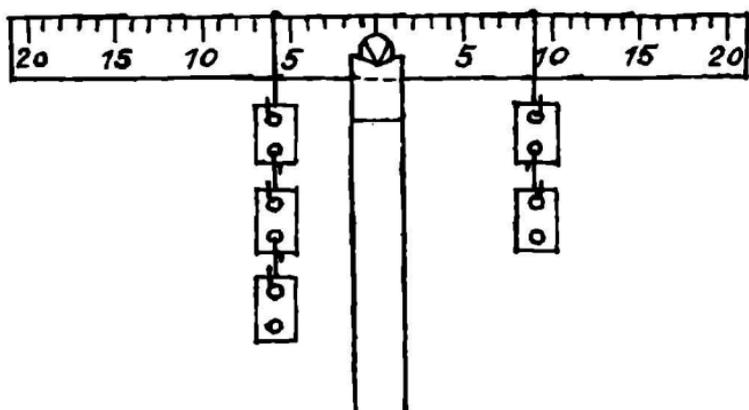
Nun hängen wir fröhlich unsere Gewichtstücke an, zuerst eines, dann zwei oder drei in verschiedenen Armlängen, das heißt Abständen von der Achse. Aber wahllos tun wir das nicht; denn wir wissen, wie Gewicht und



Hebelversuch Nr. 4

Armlänge zusammengehören. Du weißt doch noch, daß man Gewichtskraft durch größere Armlänge am Hebel ersetzen kann? Hier einige Beispiele, bei denen Gleichgewicht vorhanden ist:

Versuch Nr.	Linker Hebelarm		Rechter Hebelarm	
	I Anzahl der Gewicht- stücke	II Länge des Hebelarmes in cm	III Anzahl der Gewicht- stücke	IV Länge des Hebelarmes in cm
1	1	19	1	19
2	1	18	1	18
3	2	9	1	18
4	1	18	2	9
5	3	6	1	18
6	1	18	3	6
7	3	6	2	9
8	2	9	3	6



Hebelversuch Nr. 7

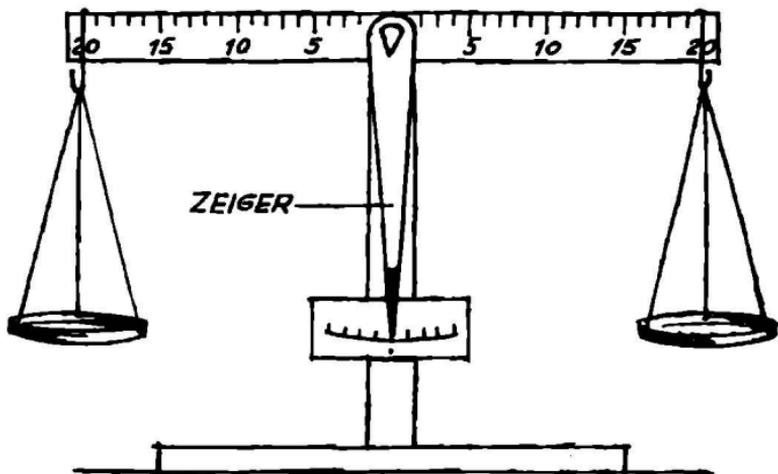
Und so geht es weiter. Du mußt nur darauf achten, daß die Gewichtstücke zusammen mit den Drahthäkchen zum Aufhängen alle gleich schwer sind. Das Häkchen ist stets ein Teil des Gewichtstückes, denn sein Gewicht wirkt ja mit! Kannst du herausfinden, welche Versuche das nachmachen, was du mit Fritz und Angelika auf der Wippe selbst erlebt hast? Mit dem Multiplizieren klappt es hier auch: Bei jedem Versuch ist das Produkt aus der Zahl in Spalte I und der Zahl in Spalte II ebenso groß wie das Produkt aus den Zahlen der beiden letzten Spalten III und IV. Prüfe es einmal nach und überzeuge dich selbst, daß es stimmt.

Aus dem Hebel wird eine Balkenwaage

Endlich sollst du erfahren, was es mit dem herausragenden Ende der Achse auf sich hat! Wir befestigen daran

einen Zeiger aus dünner Pappe, ungefähr 20 cm lang, oben breiter und unten ganz spitz zulaufend. Hinter der Zeigerspitze befestigen wir am Ständer ein postkarten-großes Stück Karton mit einer Zentimereinteilung. Sie hat in der Mitte den Punkt 0; nach links und rechts geht es weiter mit 1, 2, 3 und so fort. Sie ist ein wenig nach oben gebogen, damit die Zeigerspitze immer richtig über dem Strich liegt. Liegt der Hebel genau waagrecht, so steht der Zeiger auf 0, also in der Mitte der Einteilung. Damit wir besser ablesen können, wird die Zeigerspitze rot gefärbt.

Und wozu der Zeiger? Für die Hebeleexperimente ist er nicht nötig. Aber wir hängen noch am Ende eines jeden Hebelarmes eine leichte Waagschale an drei dünnen und festen Fäden auf und haben plötzlich eine regelrechte Balkenwaage, die wir später auch für chemische Ver-



suche benutzen können! Als Waagschalen sind Pillenschachteln aus Plast gut zu gebrauchen. Unser guter alter Hebel ist plötzlich zum Waagebalken befördert worden; mit dieser Waage können wir richtig wägen. Der Zeiger vor der Einteilung zeigt genau an, wann das Gleichgewicht vorhanden ist.

Es heißt übrigens hier nur *wägen*, niemals wiegen; wiegen kann man ganz kleine Kinder, wenn sie nicht einschlafen wollen – mit Wiegenlied, du weißt schon, was ich meine.

Solche Balkenwaagen sind immer im sicheren Gleichgewicht. WARUM? Durch die angehängten Waagschalen rutscht der Schwerpunkt nach unten und liegt damit unter der Unterstützungsfläche, die hier die Achse mit ihren beiden Lagern ist. Da haben wir wieder den Fall, daß der Schwerpunkt im Freien liegt.

Wägen bedeutet allemal, daß man das, was man wägen will, mit bekannten Größen vergleicht – mit Wägestücken nämlich, die jeder Kaufmann für seine Balkenwaage hat. Diese Wägestücke mußt du dir zunächst besorgen oder selbst herstellen, die leichten zu 0,5, 1 und 2 Gramm aus Blech, die schwereren zu 5, 10, 15, 20 und 50 Gramm aus dickerem Blech oder aus Blei. Das Blei läßt sich leicht in einer Gips- oder Holzform flach gießen und dann mit der Blechschere schneiden. In deiner Schule oder bei einem dir bekannten Drogisten mußt du die Stücke eichen; das bedeutet: mit richtigen Wägestücken aus Messing auf einer Waage vergleichen. Du nimmst zunächst ein reichlich großes Stück Blech oder Blei und schneidest dann vorsichtig so lange etwas davon ab, bis dein Wägestück

mit dem anderen genau im Gleichgewicht ist. Von jeder Größe wirst du mehrere Stücke brauchen. Die Grammzahl malst du mit Farbe auf die Bleche und kratzt sie in die Blechstücke ein. Dann kannst du anfangen, mit deiner Waage zu arbeiten.

Die Dezimalwaage

Hast du schon von einer Dezimalwaage gehört? Dezi bedeutet immer den zehnten Teil von etwas, von Meter, Tonne, Gramm zum Beispiel. Eine Dezimalwaage ist so gebaut, daß man nur den zehnten Teil in Wägestücken aufzulegen braucht wie bei einer gewöhnlichen Balkenwaage. Will ich beispielsweise 50 kg Kartoffeln abwägen, dann lege ich nur ein Wägestück von 5 kg auf die Waagschale. Das ist sehr praktisch, denn der Verkäufer müßte sich sonst noch mit Riesenwägestücken abschleppen.

Wie kommt das aber zustande? Du kennst das Hebelgesetz und weißt es gleich: Der Hebelarm des zehnmal kleineren Wägestückes muß zehnmal größer sein als der Hebelarm des Kartoffelsackes! 10 mal 5 ist ebensoviele wie 1 mal 50.

Im kleinen kannst du das ganz leicht an deiner Waage nachahmen; du hängst die eine Waagschale bei 20 cm und die andere bei nur 2 cm Abstand von der Mitte auf. Gibst du in die erste Schale 10 g und in die andere 100 g, so ist Gleichgewicht.

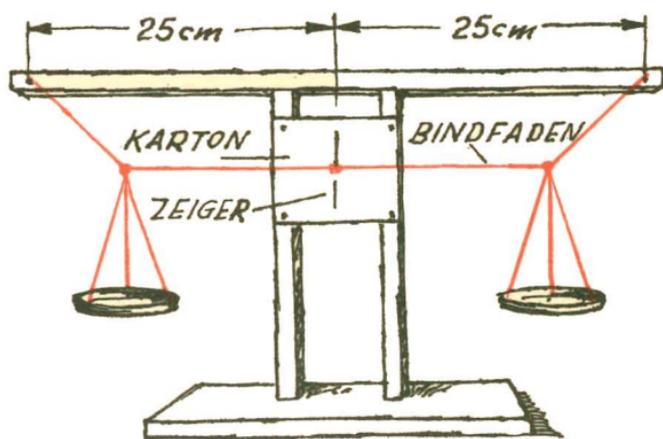
In Wirklichkeit sind Dezimalwaagen verwickelter ge-

baut, damit man trotz dem kleinen Hebelarm auf der Kartoffelseite einen dicken Sack drauf legen kann. Die Waagschale für die Wägestücke ist dagegen ganz gewöhnlich.

Die einfachste Waage der Welt

Jetzt sollst du noch eine recht empfindliche Waage kennenlernen, für die du außer den Schalen nur zwei Nägel, etwas Bindfaden, ein Stück Karton und ein Endchen Draht brauchst. Die Fadenwaage, die einfachste Waage der Welt!

Wir bauen eine etwa 60 cm lange Holzleiste auf zwei senkrechten Ständern ungefähr 25 cm über unserem Tisch auf; du kannst auch ein waagerechtes Brett deines Bücherregals dazu nehmen. Zwei Nägel oder Schrauben werden



in 50 cm Entfernung voneinander auf der Leiste angebracht; an ihnen befestigen wir die Enden eines 56 cm langen, kräftigen, aber nicht zu dicken Bindfadens. Dieser bekommt genau in der Mitte und in 10 cm Abstand von beiden Enden je einen Knoten; das sind zusammen drei Knoten. Das Mittelstück des Fadens ist $56 \text{ cm} - 2 \text{ mal } 20 \text{ cm} = 36 \text{ cm}$ lang.

An den beiden seitlichen Knoten befestigen wir mit drei Fäden je eine Waagschale; sie dürfen auf dem langen Faden nicht rutschen. Das mittlere Fadenstück ist waagrecht gespannt, wenn beide Schalen gleich schwer sind. Am mittleren Knoten bringen wir einen kurzen, senkrechten Zeiger aus Draht an und dahinter ein Stück weißen Kartons, 10 cm mal 10 cm groß. Bei Gleichgewicht steht der Zeiger genau in der Mitte; wir machen hinter ihm einen senkrechten Strich auf den Karton. Und nun kannst du schon wägen! Einfacher und billiger geht es wirklich nicht.

Ehe wir vom Gleichgewicht Abschied nehmen, lassen wir deine Freunde ein fröhliches Gleichgewichtsexperiment an sich selber machen. Jeder muß sich ganz gerade mit dem Rücken an die Wand oder an die Tür stellen, so daß die Hacken ebenfalls die Wand oder Tür berühren. Jetzt kannst du getrost deine neue Waage demjenigen versprechen, der ein Bein heben kann, ohne dabei umzufallen! Das Knie des stehenbleibenden Beines darf nicht vorgedrückt werden. Du kannst deinen Preis behalten, denn jeder fällt um, sobald er auch nur anfängt, einen Fuß vorzustrecken. WARUM?

Der Schwerpunkt des Körpers rutscht über die Unter-

stützungsfläche, die Fußsohle, hinaus! Solche Versuche hast du schon mit dem Ziegelstein oder der Zigarrenkiste gemacht.

Abwärts geht es immer schneller

Du erinnerst dich: Fritz ist beim Start zum Rollschuh-Wettrennen hingefallen. Sein Schwerpunkt rutschte über die Unterstützungsfläche hinaus; die Schwerkraft, die du auch Erdanziehungskraft oder Gewichtskraft nennen kannst, zog ihn zur Erde, weil keine andere Kraft da war, ihm zu helfen. Bei diesem Hinfallen konnte man nicht viel mehr beobachten, als daß Fritz sehr schnell auf der Nase lag.

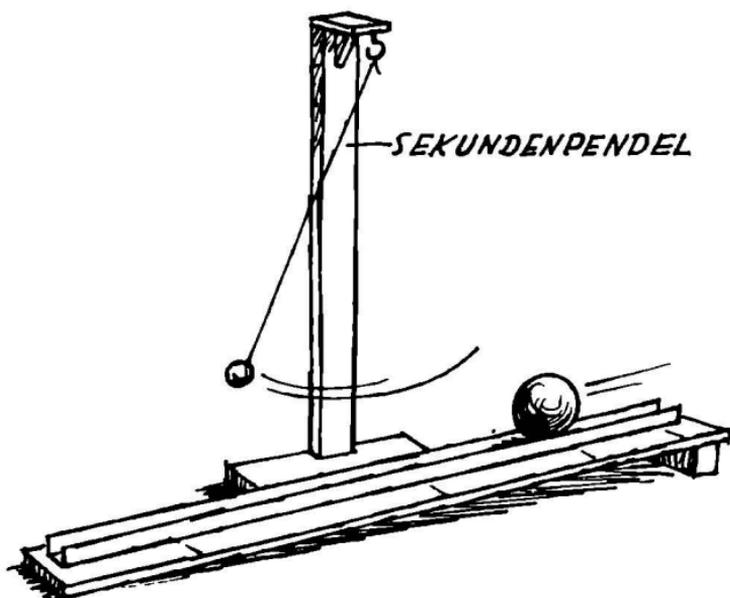
Viel besser ist es schon beim Pendel. Wenn deine Pendelkugel – oder was du sonst am Bindfaden hast – beim Pendeln den höchsten Punkt erreicht hat, dann steht sie einen Augenblick still und beginnt dann zu fallen. Sie fällt zwar nicht senkrecht, sondern brav an der Leine im Bogen, aber das ist hier nicht so wichtig. Du siehst deutlich, wie sich die Kugel erst ganz langsam in Bewegung setzt, immer schneller wird und ganz unten am schnellsten ist. An diesem untersten Punkt, in dem der Faden genau senkrecht ist, läßt die Trägheitskraft die Kugel zwar weitersausen, aber die ganze Fallgeschichte dreht sich um! Die zuerst größte Geschwindigkeit wird jetzt immer kleiner, bis sie da, wo die Kugel wieder ihren höchsten Punkt erreicht hat, gleich Null wird, also ganz verschwindet.

Du kannst auch gut sehen, daß die Kugel beim Steigen in dem gleichen Maße langsamer wird, wie sie vorher beim Fallen schneller geworden ist. Warum sie nie ganz die vorige Höhe erreicht, sondern allmählich immer kürzer schwingt und schließlich zur Ruhe kommt, das weißt du ja: durch die Reibung zwischen Faden und Aufhängestelle, außerdem durch die Reibung zwischen Faden nebst Kugel und Luft. Die Reibungskraft frißt die anderen Kräfte, Schwerkraft und Trägheitskraft, schließlich auf; sie heben einander auf. Sonst wär's ja ein Perpetuum mobile!

Murmelberg und Fallrinne

Hast du früher beim Spielen nicht gelegentlich einen Murmelberg gebaut? Ich meine solch einen breiten Sandberg, der von oben bis unten eine Rollbahn für Murmeln hat; sie läuft als Spirale mit immer größerem Radius am Berg nach unten. Serpentinaen nennt man solche Autostraßen an großen Bergen. Die Murmel rollte immer erst ganz langsam an und blieb deshalb auch oben leicht stehen, niemals weiter unten; denn da lief sie immer schneller. Ganz unten hat sie ihre größte Geschwindigkeit und läuft, wenn sie nicht aufgehalten wird, durch ihre Trägheitskraft noch ein Stück weiter.

Ein Murmelberg ist zum Experimentieren nicht gut geeignet; die Bahn ist zu rauh, und man kann die Kugel nicht gut beobachten. Das wollen wir besser machen, und zwar mit einer langen, geraden Metallschiene, wie sie der



Dekorateur für Gardinen und Vorhänge zum Schleudern anbringt. Sie hat einen Querschnitt wie ein I; das Mittelstück ist etwa 1,5 cm lang. Wir legen sie flach auf eine schräge Fläche, ein langes Brett beispielsweise; die kurzen Seitenteile stehen senkrecht, und das Mittelstück liegt waagrecht. Eine große Kugel aus Metall oder Hartholz läuft darauf leicht, mit nur wenig Reibung. Du kannst dir die Rinne auch aus Winkelbändern eines Metallbaukastens oder aus Metallstreifen bauen. Wenn du eine Eisenbahn hast, kannst du lauter gerade Schienen auf einer schrägen Ebene verlegen und den Wagen dazu nehmen, der am leichtesten läuft. Wir wollen hier bei Kugel und Rinne bleiben, die wir am besten Fallrinne nennen. Zum Experiment brauchen wir außerdem eine Stoppuhr oder ein – natürlich selbstgebautes – Sekundenpendel; das ist, wie du weißt, eines mit einer Fadenlänge von

einem Meter. Jede Hinbewegung und jede Herbewegung dauert eine Sekunde, eine Hinundherbewegung also zwei Sekunden. Die Ebene mit der Fallrinne wird nur ganz wenig geneigt; der Anfang der Rinne wird durch ein Holzstückchen oder ähnliches einige Zentimeter so weit erhöht, daß die losgelassene Kugel von selbst zu laufen beginnt.

Am besten probierst du es aus: In der ersten Sekunde soll die Kugel möglichst genau 10 cm zurücklegen! Du läßt das Pendel erst einige Male schwingen und zählst jede Sekunde laut mit: ein-und-zwan-zig. Wenn das Pendel wieder eine neue Schwingung anfängt, läßt du zugleich die Kugel oben in der Rinne los und zählst mit. Nach der ersten Sekunde hältst du die Kugel fest und mißt die Länge ihres Weges. Ist der Weg zu lang, so legst du den Anfang der Rinne etwas höher, ist der Weg kürzer als 10 cm, dann legst du die Rinne etwas tiefer. Die Stelle, wo die Kugel zu laufen beginnt, bezeichnest du mit einem deutlichen Strich. Die ganze Länge der Rinne ist am besten zwei Meter; im Notfall tut es freilich ein Meter auch.

Die Kugel verrät ihr Geheimnis

Nun wollen wir sehen, ob wir bei dem Experiment wieder so schöne Zahlenfolgen wie beim Pendel bekommen! Stift in die Hand nehmen, Kugel oben festhalten, Pendel anstoßen: ein-und-zwan-zig – ein-und-zwan-zig – ein-und-zwan-zig! Kugel los! Ein-und-zwan-zig – Strich

machen, wo die Kugel jetzt ist! Ist die Rinne richtig eingestellt, so ist der Strich nach der ersten Sekunde 10 cm vom Abfahrtsstrich entfernt.

Das machen wir gleich noch mal und dann noch einmal; mindestens zweimal muß der Strich genau auf einen anderen fallen. Wir wissen jetzt: In 1 Sekunde legt die Kugel 10 cm zurück; das schreiben wir auf.

Nächster Teil des Experimentes, nun schon mit Übung: Wir lassen die Kugel – mehrmals – 2 Sekunden laufen: ein-und-zwan-zig, zwei-und-zwan-zig, HALT! Strich an die Haltestelle. Wir messen nach: 40 cm. Wir schreiben auf: In 2 Sekunden legt die Kugel 40 cm zurück.

Nächster Teil; der geht noch besser, wenn du ohne Helfer auch mehr dabei springen muß: Drei Sekunden lang lassen wir die Kugel laufen, dann HALT! und Strich. Wir messen den neuen Weg; es sind 90 cm! Das wird ebenfalls in das Protokoll geschrieben, wie der Forscher sein Merkbuch nennt. Hast du eine längere Fallrinne, dann machen wir es ein viertes Mal, und jetzt mit 4 Sekunden Laufzeit. Das Ergebnis sind 160 cm, und wir notieren: In 4 Sekunden legt die Kugel 160 cm zurück. Schluß des Experimentierens; jetzt kommt das Nachdenken.

Nach bewährtem Muster stellen wir die Werte zusammen, die wir gemessen haben.

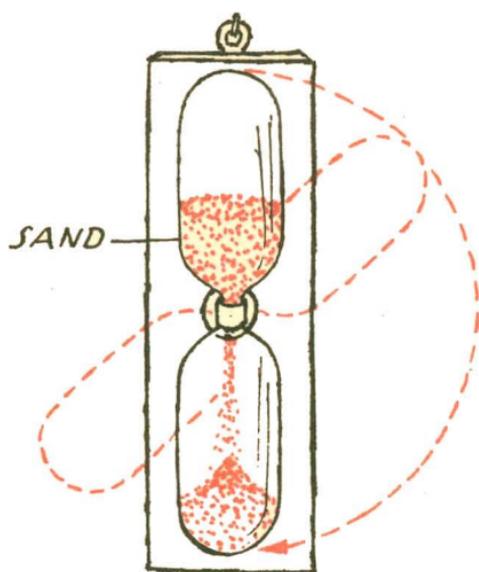
Versuch Nr.	Zahl der Sekunden (Laufzeit)	Länge des Weges der Kugel auf der Fallrinne	Darin stecken die Quadratzahlen der Sekundenzahlen
1	1	10 cm = 10 cm mal 1	$1 = 1^2$
2	2	40 cm = 10 cm mal 4	$4 = 2^2$
3	3	90 cm = 10 cm mal 9	$9 = 3^2$
4	4	160 cm = 10 cm mal 16	$16 = 4^2$

Da hast du's! Wieder diese Zahlenfolgen, wie wir sie ähnlich schon bei den Experimenten mit dem Pendel gefunden haben! Wenn die Laufzeit der Kugel immer um eine Sekunde wächst, dann wird der durchlaufene Weg der Kugel mit dem Quadrat der Sekunden größer. In 1 Sekunde durchläuft die Kugel 10 cm mal $1^2 = 10$ cm, in 2 Sekunden 10 cm mal $2^2 = 40$ cm, in 3 Sekunden 10 cm mal $3^2 = 90$ cm, in 4 Sekunden 10 cm mal $4^2 = 160$ cm.

Du hast recht, wenn du daraus ableitest, daß es wohl so weitergeht: in 5 Sekunden 10 cm mal $5^2 = 250$ cm, in 6 Sekunden 10 cm mal $6^2 = 360$ cm und so fort. Du brauchst nur deine geneigte Ebene mit der Fallrinne entsprechend lang zu machen, dann kannst du es nachprüfen.

Wieder auf den Spuren von Galilei

Denke nur, so hat Galileo Galilei experimentiert, als er die Stärke der Erdanziehung untersuchte! Statt des Pendels hat er allerdings eine Wasseruhr benutzt, um die Zeit zu messen. Kennst du eine Sanduhr, mit der man die 4 bis 5 Minuten beim Eierkochen mißt? Bei der Wasseruhr läuft an Stelle des feinen Sandes Wasser von einem Gefäß in das andere; aus der Menge des ausgeflossenen Wassers konnte Galilei die Zeitabschnitte erkennen. Es war ja gar nicht nötig, daß es jedesmal eine oder mehrere Sekunden waren; wichtig war nur, daß irgendein kurzer Zeitabschnitt festgelegt wurde und daß dann davon das Doppelte, Dreifache und so weiter gemessen werden



Sanduhr

konnte. Wir haben bei unseren Experimenten die Sekunde genommen, weil sie so bequem mit Pendel oder Stoppuhr zu messen ist; außerdem sind wir nun einmal an unsere Zeiteinheiten gewöhnt.

Man erzählt manchmal, Galilei habe die Wirkung der Erdanziehung, die Schwerkraft, am Schiefen Turm von Pisa in Italien untersucht; er habe Steine von oben hinunterfallen lassen und die Fallwege in den einzelnen Zeitabschnitten gemessen. Das hätte er jedoch mit den geringen technischen Möglichkeiten, die er damals hatte, gar nicht durchführen können. Um so mehr müssen wir anerkennen, daß er auf den Ausweg mit der geneigten Fallrinne gekommen ist. Neben den Pendel- und Fallbewegungen hat Galilei auch die Wurfbewegung und die Träg-

heitskraft untersucht und viel in der Astronomie gearbeitet.

Was hat Galilei zur Erdanziehung gefunden, und was haben wir hier ebenfalls festgestellt?

Alle Wege der Kugel wachsen mit den Quadraten der Laufzeiten! Und weil das ebenso beim freien senkrechten Fall gilt, können wir sagen: Die Gesamtwege, immer wieder von oben gerechnet, wachsen mit den Quadraten der Fallzeiten. Das ist das *Fallgesetz*.

Galilei kam auch auf den Gedanken, daß alle Körper gleich schnell fallen. Das gilt nur im luftleeren Raum; wir können es in unserer Stube daher nicht nachprüfen. Da fällt eine Flaumfeder oder ein Stück glattes Papier eben doch langsamer als eine Münze, weil die Reibung der Körper mit der Luft sehr verschieden ist. Wohl aber können wir mit verschiedenen großen Kugeln auf der Fallrinne experimentieren; da wirkt sich die Luftreibung nicht sehr aus, und wir erhalten ungefähr die gleichen Zahlenfolgen. Etwas sehr Wichtiges mußt du dir dabei noch merken: Bei diesen Experimenten bewegt sich der Körper nicht dauernd gleich schnell, das heißt mit gleichbleibender Geschwindigkeit, sondern er fängt bei Null an und wird immer schneller – bis die Reibungskraft auf der Schiene oder mit der Luft ihn soweit bremst, daß er nicht mehr schneller wird. Denken wir einmal nicht an die Reibung, dann sagen wir: Der Körper wird gleichmäßig *beschleunigt*, er ist in gleichmäßig beschleunigter Bewegung. Beschleunigen heißt: die Geschwindigkeit vergrößern. Wenn deine Mutter ruft: „Pack deine Sachen schleunigst zusammen!“, dann mußt du das eben mit größter Beschleu-

nigung tun, sehr, sehr schnell, ehe es Ärger gibt. Beschleunigen bedeutet also, daß die Geschwindigkeit geändert wird. Wenn ein Körper frei herunterfällt, dann ist die Beschleunigung größer, als wenn er unsere geneigte Fallrinne hinunterrollt; aber die Sache mit den Quadraten stimmt immer.

Auf ein Naturgesetz kann man sich allemal verlassen; das ist sehr gut.

Die vielseitige Achterbahn

Auf dem Jahrmarkt, dem Spielplatz der Kinder und der Erwachsenen, kannst du übrigens diese Beschleunigung selbst erleben, und zwar bei der Wasserrutschbahn und auf der Achterbahn. Auf der Achterbahn kannst du noch viel mehr erleben, zum Beispiel folgendes: Wenn dein Wagen hinuntergesaut ist, dann fährt er durch die Trägheitskraft auf der anderen Seite wieder hoch. Da kannst du zweierlei beobachten: Er kommt nicht wieder auf die alte Höhe, weil die Reibungskraft einen Teil der Antriebskraft vernichtet hat; ferner wird er beim Aufwärtsfahren genau in dem gleichen Maße langsamer, wie er beim Abwärtsfahren schneller geworden ist. Lege deine Kugel ganz unten auf die Fallrinne und gib ihr einen Stoß, so daß sie aufwärts rollt; da hast du das gleiche im Experiment.

Das bedeutet, daß die Beschleunigung auch negativ sein kann, daß sie bremsend wirkt; dann nennt man sie Verzögerung. Beide, Beschleunigung und Verzögerung, sind

eine einzige Erscheinung, nämlich immer eine Änderung der Geschwindigkeit; sie hat sozusagen zwei Gesichter. Wirf einen Ball senkrecht hoch, und du hast das gleiche! Er steigt verzögert, immer langsamer, bis zum höchsten Punkt. Hier bleibt er ganz kurz stehen und fällt dann – erst langsam, dann immer schneller – zu dir zurück. Hier fällt er dir, nebenbei bemerkt, mit ungefähr der gleichen Energie auf den Kopf, mit der du ihn hochgeworfen hast. Alles dieses hast du beim Pendel schon in ähnlicher Weise kennengelernt. Das ist auch gut in der Natur: Ihre Gesetze und Dinge hängen alle miteinander zusammen und bilden ein wunderschönes Gebäude von Naturgesetzen und Wirkungen. Es macht nicht nur Spaß, einzelne Gesetze kennenzulernen, sondern auch, den Zusammenhang zwischen mehreren Gesetzen zu begreifen.

Schließlich sollst du dir noch eine schöne natürliche Zahlenfolge entdecken, die längst vor deiner Nase liegt: die Wege, die unsere Kugel in den einzelnen Sekunden zu durchlaufen hat – nicht die Gesamtwege! Das ist sehr einfach; du kannst sie aus der letzten Zahlentafel, Spalte 3, ablesen. In der 1. Sekunde waren es 10 cm, in der 2. Sekunde $40\text{ cm} - 10\text{ cm} = 30\text{ cm}$, in der 3. Sekunde $90\text{ cm} - 40\text{ cm} = 50\text{ cm}$ und in der 4. Sekunde $160\text{ cm} - 90\text{ cm} = 70\text{ cm}$. Es geht dann weiter mit 90 cm, 110 cm, 130 cm und so fort. Das ist die Zahlenfolge 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 oder 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, also die der ungeraden Zahlen! So wachsen die Fallwege in den einzelnen Sekunden – wie die ungeraden Zahlen. Ist das nicht erstaunlich? Ohne die Mathematik kämen die Naturforscher nicht aus.

Versuche mit der Trägheitskraft

Weil alle Kräfte irgendwie und irgendwo miteinander zusammenhängen, haben wir uns schon an mehreren Stellen auch über Trägheit unterhalten; du kennst sie längst. Du erinnerst dich auch, daß Rolf beim Wettrennen in der schönsten Fahrt – gleich hinter Angelika – in ein Schlagloch geriet und stolperte. Sein Rollschuh wurde durch das Loch plötzlich gebremst, Rolfs Körper bewegte sich durch seine Trägheitskraft weiter, sein Schwerpunkt verlor die Unterstützungsfläche, und Rolf fiel.

Taler, Taler, du mußt wandern

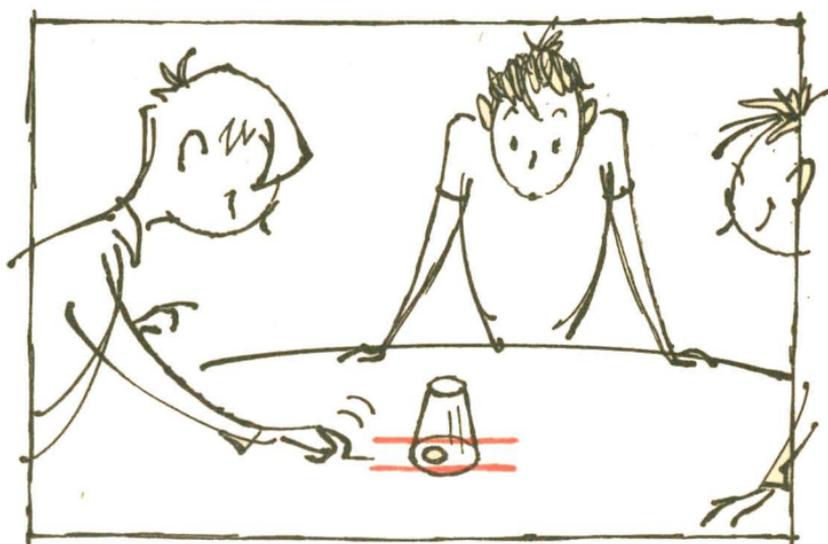
Wir wollen einige Experimente mit der Trägheitskraft machen. Kennst du dieses schon? Du legst auf ein Trinkglas eine Postkarte und auf diese ein größeres Geldstück, das mitten über der Öffnung des Glases liegen soll. Du ziehst die Karte ganz plötzlich – wirklich blitzartig – zur Seite fort; das Geldstück fällt, von seiner Trägheitskraft kurz zurückgehalten, in das Glas! Die Trägheit wirkt nur sehr kurze Zeit, deshalb mußtest du so schnell ziehen. Und warum mußte es ein größeres Geldstück sein? Weil die Trägheitskraft auch von der Größe des Körpers abhängt; ein Pfennigstück entwickelt zuwenig Trägheit. Lege die Postkarte nun so auf den Rand deines Tisches, daß etwa zwei Drittel über den Rand hinausragen, und



stelle eine möglichst große Münze aufrecht auf das Ende der Karte auf dem Tisch. Durch das Gewicht der Münze kann die Karte, die nicht zu steif sein soll, nicht hinabfallen. Die Münze zum Stehen zu bringen, während du die Karte hältst, gelingt nach einigem Probieren. Jetzt ziehst du die Karte ganz schnell waagrecht vom Tisch

fort – die Münze bleibt zurück, sogar stehend, wenn du etwas Glück hast. Du baust die Sache noch einmal auf und schlägst kräftig auf den überhängenden Teil der Karte. Was geschieht jetzt? Versuche es nur!

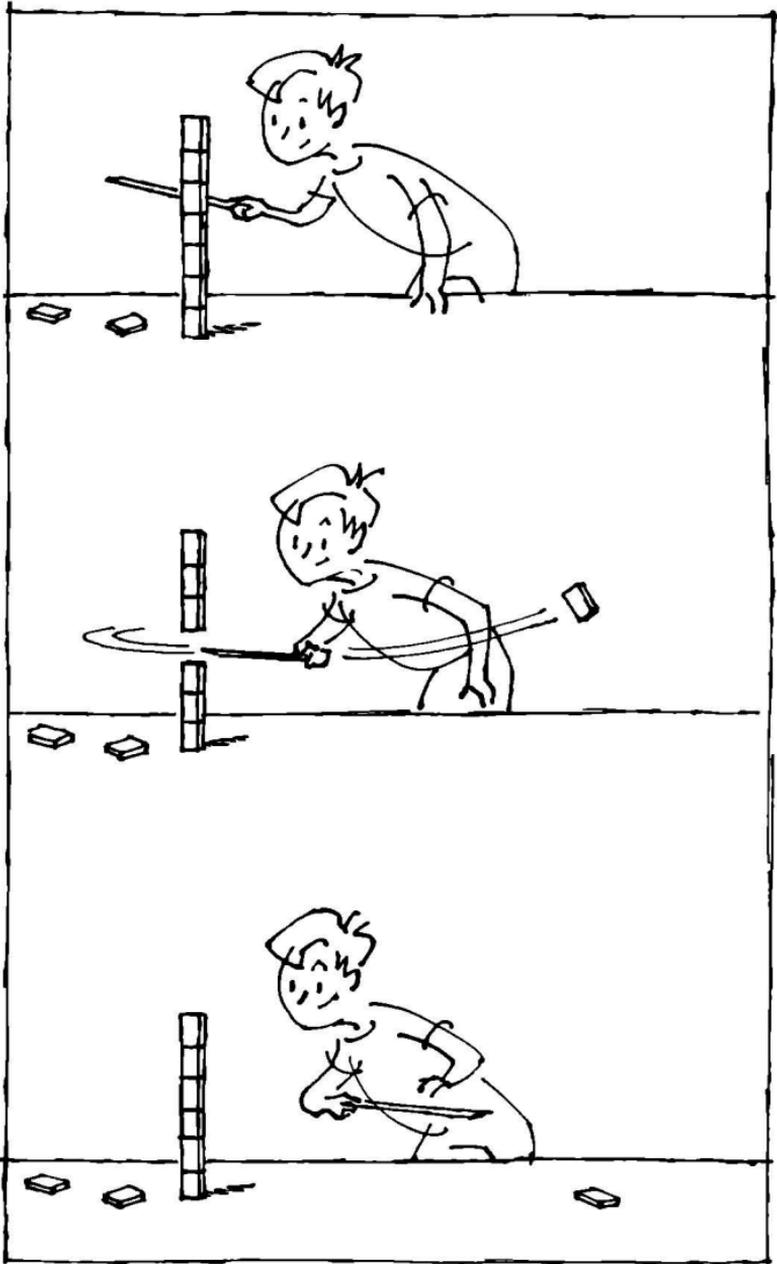
Etwas anderes: Auf die Tischdecke legst du zwei Bleistifte mit so viel Abstand nebeneinander, daß du dein Trinkglas mit der Öffnung nach unten auf sie stellen kannst. Zwischen die Bleistifte, unter die Öffnung des Glases, legst du ein Markstück; die Fläche zwischen den Bleistiften ist zu dir hin offen. Nun behauptest du, du werdest das Geldstück unter dem Glas hervorholen, ohne es zu berühren. Deine Freunde werden staunen: Du kratzt dicht vor dem Glas kurz und kräftig mehrmals mit dem Fingernagel auf dem Tischtuch – in der Richtung vom Geldstück fort. „Komm, komm schon!“ kannst du dabei

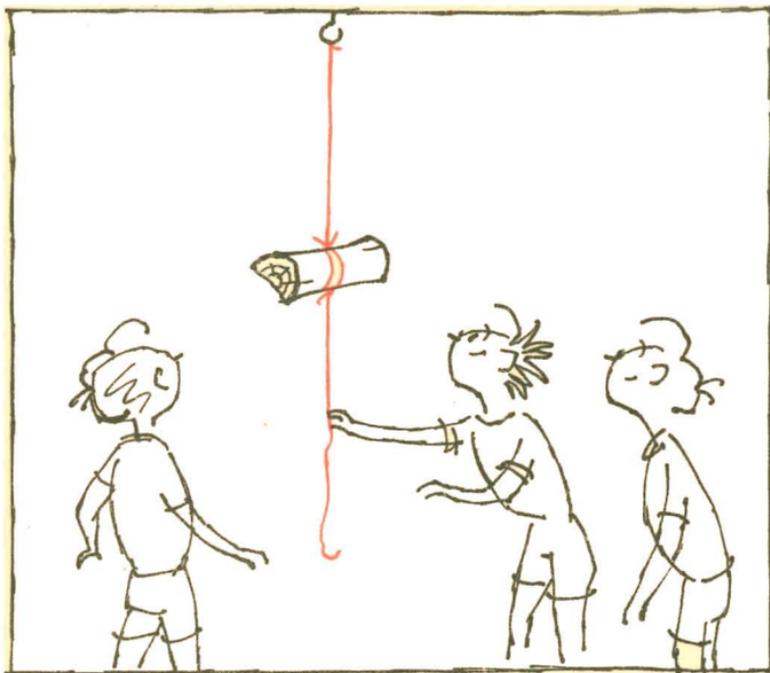


rufen; und das Geldstück kommt tatsächlich herauspa-
ziert! Bei jedem Kratzen ziehst du den Stoff des Tisch-
tuches zusammen mit der Münze ein wenig vor. Hebst du
den Fingernagel, so schnellt der Stoff zurück, die Münze
bleibt infolge ihrer Trägheit auf der neuen Stelle liegen.
Nach genügendem Kratzen ist sie dann draußen.

Bekannter ist das nächste Experiment. Du baust einen
Turm aus Dominosteinen oder Damesteinen oder kleinen,
flachen Bausteinen. Mit einem dünnen Lineal schlägst du
sehr schnell mitten durch den Turm hindurch; ein Stein
fliegt heraus, die darüber liegenden setzen sich auf die
darunter liegenden, die sich überhaupt nicht gerührt ha-
ben. Du kannst auch den Turm auf deiner Postkarte auf-
bauen und diese schnell wegziehen. Das Tischtuch schnell
unter dem Mittagessen wegzuziehen versuche lieber
nicht; das ist mehr etwas für Artisten auf der Bühne.

Ein besonders schönes Experiment zur Trägheitskraft ist
folgendes: An einem festen Haken oder an dem quer
liegenden Besen von den Pendelversuchen – hier dicht an
einer Schranktür – befestigst du einen dünnen Bindfaden,
den du mit einiger Anstrengung zerreißen kannst. Er
reicht bis zum Fußboden. In der Mitte knüpfst du ein
schweres Holzseil oder einen Ziegelstein fest; oben und
unten verknoten. Unter das Ganze legst du eine Fußmatte
oder ähnliches, das einen Stoß vertragen kann. Jetzt
kannst du deine Freunde fragen: „Wo soll der Faden rei-
ßen, oberhalb oder unterhalb des schweren Körpers?“ Du
darfst getrost wetten, daß der Faden genau nach deinem
Willen reißen wird, denn du kennst ja das Naturgesetz
und kannst es für dich ausnutzen.





Ziehst du unten – vorsichtig an der Seite stehend – ganz langsam, so reißt der Faden oben, und das Holzsplit fällt hinunter. Das Gewicht des eingeknoteten Holzes oder Ziegels sorgt dafür, daß das obere Stück Faden besonders stark belastet ist; daher reißt es dort. Ganz anders, wenn du sehr rasch und kurz unten ziehst; dann reißt der Faden unterhalb des Körpers. Du weißt, warum: Beim schnellen Ziehen entsteht in dem schweren Körper eine ziemlich große Trägheitskraft; bis sich der Körper in Bewegung setzt, ist der Faden unten schon gerissen. Der Körper hat den oberen Teil des Fadens geradezu vor dem Zug bewahrt! Ich rate dir allerdings, dieses Experiment vorher besonders sorgfältig auszuprobieren.

Naturgesetze in der Küche

Zum Schluß ein Experiment, mit dem du deiner Mutter bei Gelegenheit helfen kannst. Angenommen, sie hat ein Ei gekocht und versehentlich zu den ungekochten gelegt; nun weiß sie nicht, welches das gekochte ist. Du nimmst einfach ein Ei nach dem anderen und versetzt es wie einen Kreisel in schnelle Drehungen. Dreht es sich ziemlich lange weiter, dann ist es das gekochte. Das Innere des Eies ist nämlich beim Kochen zu einer festen Masse geworden, vor allem beim hartgekochten Ei. Eiweiß und Eigelb haften an der Schale und drehen sich mit; sie vergrößern die Trägheitskraft der Eischale, und das Ei dreht sich lange. Im rohen Ei sind dagegen Eiweiß und Eigelb flüssig; sie drehen sich durch ihre eigene Trägheitskraft gar nicht erst mit, sondern bleiben in Ruhe und bremsen nun die Drehung der Eischale stark. Das rohe Ei hört also sehr bald auf, sich zu drehen.



Und weil wir gerade bei deiner Mutter in der Küche sind, will ich dir eine andere Eiergeschichte erzählen, die eigentlich gar nicht hierhergehört, weil sie nichts mit der Trägheit zu tun hat. Als ich kürzlich in einem Laden Lebensmittel einkaufte, beschwerte sich eine Kundin, sie hätte schlechte Eier bekommen. Der Verkäuferin war das natürlich peinlich, und sie entschuldigte sich damit, daß ihr Gerät entzwei wäre, mit dem die Eier durchleuchtet und so auf ihre Frische geprüft wurden. „Man kann die Eier viel einfacher prüfen“, sagte da eine andere Kundin, „schon meine Großmutter hat das so gemacht“, und sie erklärte folgendes: Man legt das Ei, das man prüfen will, erst mit dem runden Ende und dann mit dem spitzeren Ende an die Lippen. Am runden Ende muß es wärmer wirken als am spitzeren Ende; hier muß es deutlich kühler sein. Dann ist das Ei gut. Sind beide Enden gleich warm oder gleich kühl, dann ist das Ei schlecht.

Ich habe es ausprobiert; glücklicherweise war kein Hühnerdreck an den Eiern. Tatsächlich: Das runde Ende wirkte an den Lippen wärmer als das spitzere, und solche Eier waren auch gut. Dann habe ich lange nachgedacht, warum das wohl so ist, und bin auf folgende Vermutung gekommen: Hinter dem runden Ende liegt immer die Luftblase, aus der sich die Küken im Ei Luft holen, bis sie ausschlüpfen. Luft leitet die Wärme sehr schlecht weiter, hier also die Wärme meiner Lippen; die Stelle wirkt warm, genauso wie Holz, an das du deine Lippen legst. Am anderen Ei-Ende ist keine Luft, sondern flüssiges Eiweiß, und das leitet die Wärme viel besser – etwa so wie Metall an deinen Lippen; das wirkt viel kälter als Holz. Bei

einem schlechten Ei löst sich die Eihaut innen von der Schale, und die Luftblase wandert anderswohin; wohin, weiß ich nicht. Da fühlen sich dann beide Enden vom Ei gleich warm oder gleich kalt an.

Das ist offenbar eine Wirkung der *Wärmeleitung*; du kennst sie ein wenig, wenn du mal ein Stück Draht in eine Flamme gehalten hast. Der Draht leitete die Wärme schnell an deine Finger, und du mußtest den Draht loslassen. Luft und Holz beispielsweise leiten die Wärme schlecht. Die Eiprobe kann nur so erklärt werden, denn das Ei hat natürlich überall die gleiche Temperatur, und meine Lippen haben ihre Temperatur während der Probe auch nicht verändert. Die Großmutter der Kundin hat



schon recht gehabt. Ob sie auch gewußt hat, warum das so ist? Vielleicht probiert deine Mutter es genauer aus; sie darf sich nicht stören lassen, wenn andere dabei lächeln; es sieht etwas komisch aus, so als wollte man dem Ei Küßchen geben. Vielleicht schreibst du mir, wie die Versuche ausgegangen sind?

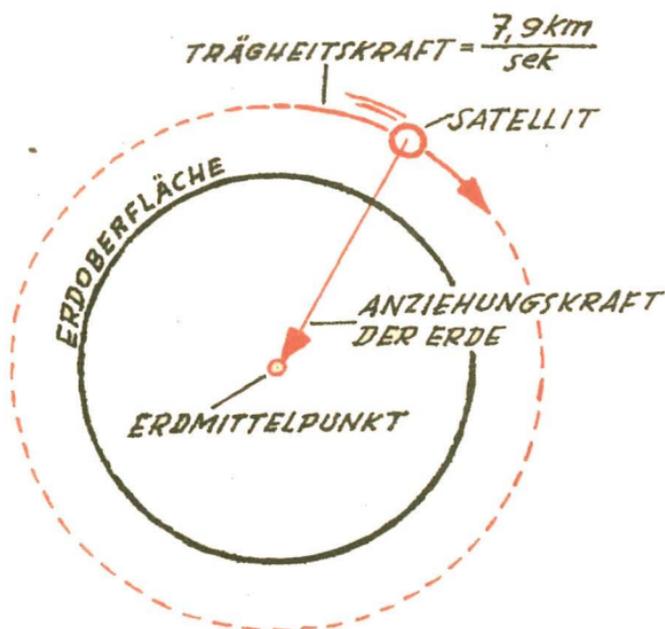
Nach dieser kleinen Abschweifung sind wir am Ende der Trägheitsexperimente angelangt.

Achtung! Kurve!

Der Mensch will nicht nur geradeaus, sondern auch Kurven laufen und fahren! Da geschieht es dann, was Herbert beim Wettlauf selbst erlebt hat: Er sauste aus der Kurve heraus, wie du weißt.
WARUM?

Die Trägheitskraft will einen bewegten Körper immer weiter geradeaus, in derselben Richtung weitertreiben; das ist uns klargeworden. Ein Ball, den wir waagrecht werfen, würde daher immer weiter waagrecht fliegen – was wir so waagrecht nennen! Sagen wir lieber, er würde immer im gleichen Abstand vom Erdmittelpunkt weiterfliegen, also dauernd die Erde umkreisen – wenn nicht die Erdanziehung ihn zur Erde zöge.

In Wirklichkeit fällt er ja bald in einem schönen Bogen hinunter. Wenn er die Erdanziehung überwinden soll,



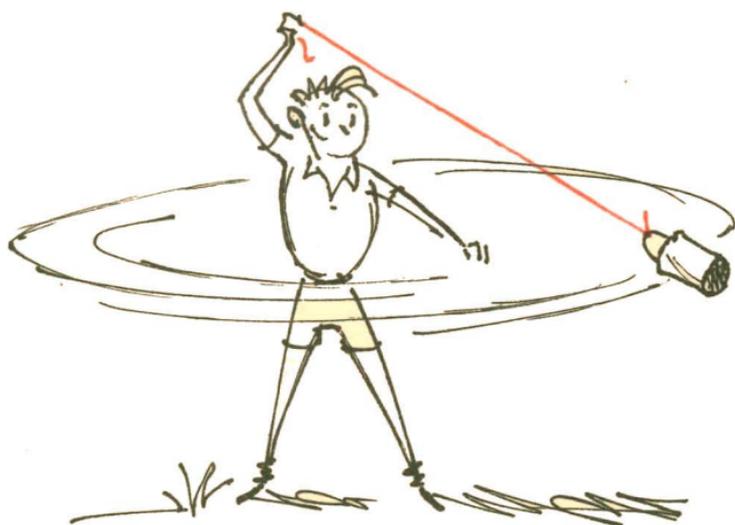
dann muß die Trägheit des Balles viel, viel stärker werden; die erdumkreisenden Satelliten schaffen das durch die gewaltige Geschwindigkeit von 7,9 km je Sekunde. Da sind Trägheitskraft und Schwerkraft im Gleichgewicht – wie übrigens beim Mond auch, wenn er seine Bahn um die Erde zieht. Weißt du noch, wie schnell ein Körper fliegen muß, wenn er der Erdanziehung entgehen und sich ganz von der Erde lösen soll? Blättere zurück, wir haben schon davon gesprochen!

Die Trägheitskraft, die in der Kurve einen Körper zum Fliehen – heraus aus der Kurve – bringen will, kennst du als *Fliehkraft*. Der Mensch hat mehrere Mittel, um sie zu bezwingen. Läufer und Radfahrer legen sich in die Kurve, um die Schwerkraft gegen die Fliehkraft wirken zu las-

sen; der Kraftwagenfahrer achtet auf gute Reibungskraft zwischen Straße und Reifen und fährt im übrigen langsamer; auf dem Karussell, beim Kosmosrotor und in der Achterbahn hat man starke Schienen, Ketten und Seile, mit denen man die Sitze ebenso stark nach der Mitte zieht, wie die Fliehkraft sie nach außen drückt. So benutzt man auf dem Jahrmarkt die Fliehkraft in mancherlei Form nur zum Spaß, damit die Leute vor Angst tüchtig quieken. Dafür bezahlen sie sogar noch Eintrittsgeld!

Vernünftige Dinge tut die Fliehkraft auf Befehl der listigen Menschen dagegen in der Wäscheschleuder, wo sie das Wasser aus der Wäsche drückt, in der Honigschleuder, in der sie den flüssigen Honig von den Wachswaben trennt, und in der Milchschleuder, wo sie die schwerere Magermilch von der leichteren Sahne scheidet. Solche Trennschleudern werden noch für viele andere Flüssigkeiten gebraucht.

Nimm einmal eine leere Konservendose, befestige in zwei Löchern einen starken Drahtenkel an der Öffnung und binde mitten am Henkel einen kräftigen Bindfaden sehr fest an. Die Dose füllst du zu zwei Dritteln mit Wasser. Wenn du draußen die Dose im Kreise schwenkst, dann merkst du, wie sie immer höher steigt, bis fast zur Waagerechten, je schneller du sie kreisen läßt. *Je größer die Geschwindigkeit, desto stärker wird also die Fliehkraft.* Du mußt auch entsprechend mehr am Faden ziehen, das heißt eine stärkere *Ziehkraft* ausüben, damit Fliehkraft und Ziehkraft im Gleichgewicht bleiben und die Dose nicht plötzlich geradeaus fortfliegt. Das Wasser in der Dose will ebenfalls fliehen; aber die Dose hindert es daran –



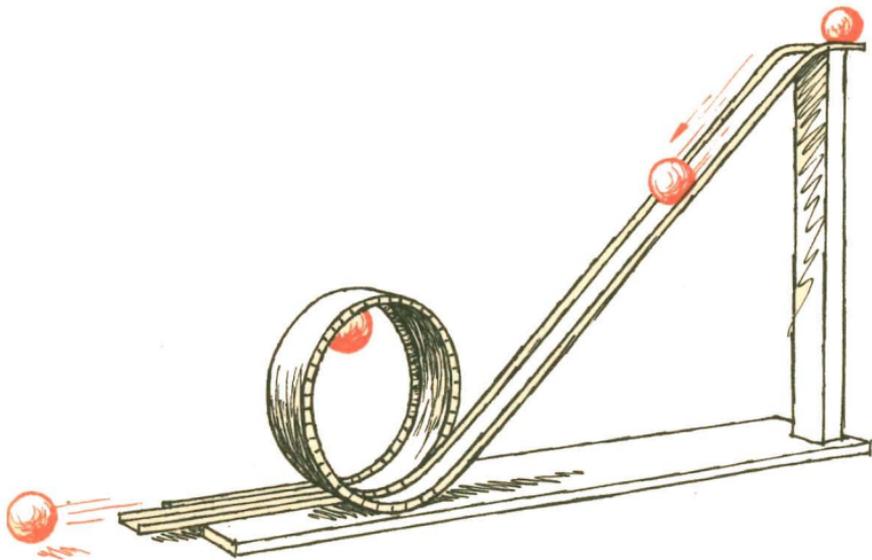
selbst wenn du sie nicht waagrecht, sondern senkrecht kreisen läßt. Geschickte Kellner sausen manchmal mit schräg gehaltenem Tablett um die Ecke, daß einem angst und bange um die guten Dinge werden kann, die man bestellt hat; aber das Tablett liegt schräg, und die Schwerkraft hilft.

Der „Todesfahrer“ auf unserem Tisch

Über den Todesfahrer, der mit seinem Motorrad fast waagrecht an einer beinahe senkrechten Wand entlangrast, haben wir uns schon unterhalten. Ein anderer Artist saust eine senkrechte Schleife entlang, so daß er ganz oben zu hängen scheint. Etwas für starke Nerven! Du hast sie, denn du kennst das Naturgesetz. Das Motorrad muß so

schnell fahren, daß seine Trägheitskraft beim Überschlagen immer noch etwas größer als die Schwerkraft, die Gewichtskraft, ist. Sie wird nicht viel größer sein; aber das genügt schon.

Den Todesfahrer wollen wir im Experiment auf unseren Tisch bringen. Einen 1 bis 2.m langen und etwa 5 cm breiten Streifen aus Karton oder dünnem Blech biegst du an beiden Rändern etwa 1 cm senkrecht nach oben, so daß eine Rinne entsteht. In der Mitte, wo die Bahn zu einer Kreisschleife gebogen werden soll, schneidest du – bei Blech mit der Blechschere, nicht mit Mutters NähscHere! – in die beiden senkrechten Ränder viele Einschnitte nebeneinander. Den Kreis aus der Mitte zu biegen ist nicht ganz leicht; aber du schaffst das schon. Bei Karton kleben wir die übereinanderliegenden Ecken des Randes mit Alleskleber zusammen; das Blech wird von selbst die Form behalten.



Die Anlaufstrecke steht schräg, vielleicht von einigen Büchern gehalten; die Auslaufstrecke liegt waagrecht. Jetzt kannst du genau sehen, was die Geschwindigkeit ausmacht: Nur wenn die Kugel von hoch oben anläuft, hat sie genügend Geschwindigkeit, um auch oben in der Schleife nicht herabzufallen. *Je größer die Geschwindigkeit ist, um so größer ist auch die Fliehkraft.* Merkst du, wie auch das Fallgesetz hier auf der geneigten Bahn wirkt? Und die Reibung dazu; die Kugel muß höher abfahren, als der höchste Punkt der Schleife ist! Das gibt die Geschwindigkeitsreserve, die den Kraftverlust durch die Reibung ausgleicht. Laß die Kugel von verschiedenen Höhen aus nacheinander abrollen; dann wird alles deutlich.

Als nächstes merkst du dir die Stelle, von der aus deine große Metallkugel die Schleife gut durchfahren hat. Du läßt aber diesmal eine kleinere, leichtere Kugel laufen, etwa eine Glaskugel oder nur eine Murmel. Schon ist's geschehen: Die kleinere Kugel hat es nicht geschafft; sie ist heruntergefallen. Daraus lernen wir, daß die Größe der Fliehkraft auch vom Gewicht des bewegten Körpers, hier der Kugel, abhängt. *Je schwerer der Körper, um so größer die Fliehkraft.*

Vielleicht gelingt es dir, die kleinere Kugel so viel schneller fahren zu lassen, daß auch sie ganz durch die Schleife fährt; dann hast du den Mangel an Größe des Körpers durch größere Geschwindigkeit ausgeglichen. Umgekehrt kannst du dir nun leicht denken, daß ein großes Auto oder Motorrad gar nicht so schnell zu fahren braucht, um schon aus der Kurve zu rutschen.

Ein ganz einfaches Experiment bringt noch etwas Neues dazu. Du befestigst an einem Ende eines etwa 50 cm langen Fadens einen kleinen Körper zum Schleudern und bindest das andere Ende an deinem Zeigefinger fest. Wenn du nun schleuderst, dann wickelt sich der Faden auf deinem Finger auf. Mache diesen Versuch mehrmals und achte genau darauf, ob du folgendes merkst: *Je größer der Kreis ist, in dem sich der geschleuderte Körper bewegt, um so größer ist seine Fliehkraft!* Du spürst deutlich, wie sie immer kleiner wird, je näher der Körper zum Finger kommt.

Freud und Leid mit dem Schwungrad

Weißt du, was ein Schwungrad ist? Ein eisernes Rad, das möglichst groß und schwer ist und Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren in Schwung halten soll. Diese Maschinen haben nämlich etwas, was eigentlich gar nicht mehr in unsere Zeit hineinpaßt: einen Kolben, der in einem Zylinder hin- und hergeht. Jedesmal, wenn der Kolben im sogenannten toten Punkt seine Richtung ändert – wie ein Pendel –, dann muß er einen Augenblick stehenbleiben. Damit er nicht dauernd stehenbleibt, ist er mit einem Schwungrad gekoppelt; das hat durch seine Größe und Schwere genug Trägheitskraft, um den Kolben jedesmal aus der gefährlichen Umkehrstelle in die nächste Bewegung zu reißen. Hier liebt der Konstrukteur die Trägheitskraft sehr.

Leider tritt die Trägheit im Schwungrad bei einer Dreh-

bewegung auf, das heißt in einem Körper, der überhaupt nur Kurven fährt. Da gilt es denn, ein solches Schwungrad haargenau im Schwerpunkt zu lagern – auszuwuchten, wie man das nennt. Jedes Stück des Rades will beim Drehen ja durch die Fliehkraft davonfliegen; dann muß genau gegenüber, auf der anderen Seite der Achse, ein ebenso großes Stück nach der entgegengesetzten Seite fliegen wollen. Auf solche Weise heben sich alle Fliehkräfte im Schwungrad und überhaupt in jedem Rad gegenseitig auf.

Das gilt auch für die zeitgemäßen Antriebsmaschinen, die Turbinen und die elektrischen Motore und Stromerzeuger. Die Läufer, die sich in ihnen sehr schnell drehen, sind ebenfalls der Fliehkraft stark ausgesetzt. Wehe, wenn ein Läufer nicht genau rund gebaut und gewickelt ist oder während des Betriebes ein Stück Turbinenschaufel oder Läuferwicklung verliert! Dann reißt die riesengroß gewordene Fliehkraft den schweren Läufer aus seinen Lagern und jagt ihn wie ein großes Geschöß, alles zerstörend, durch den Raum.

Daß die Trägheitskraft hier als Fliehkraft auftritt, liebt der Konstrukteur durchaus nicht.

Er benutzt sie hauptsächlich, um eine Umdrehungsgeschwindigkeit zu messen und zu regeln; bei Dampfmaschinen regelt er die Zufuhr des Dampfes durch einen Fliehkraftregler. Hier wird also nicht die Fliehkraft geregelt, sondern diese regelt selber. Zwei bewegliche Arme steigen bei wachsender Umdrehungszahl in die Höhe – wie deine Konservendose mit Wasser; diese Bewegung benutzt man, um den Dampf zu drosseln.

Ende unseres Zeitlupenfilms

Damit sind wir am Ende unserer Zeitlupenbetrachtungen des Rollschuh-Wettlaufes. Schon an der Seitenzahl kannst du sehen, daß dabei allerlei zu sehen, zu bedenken und zu experimentieren war: die *Kräfte* vor allem, wo sie stecken, wie sie wirken und wie sie miteinander zusammenhängen.

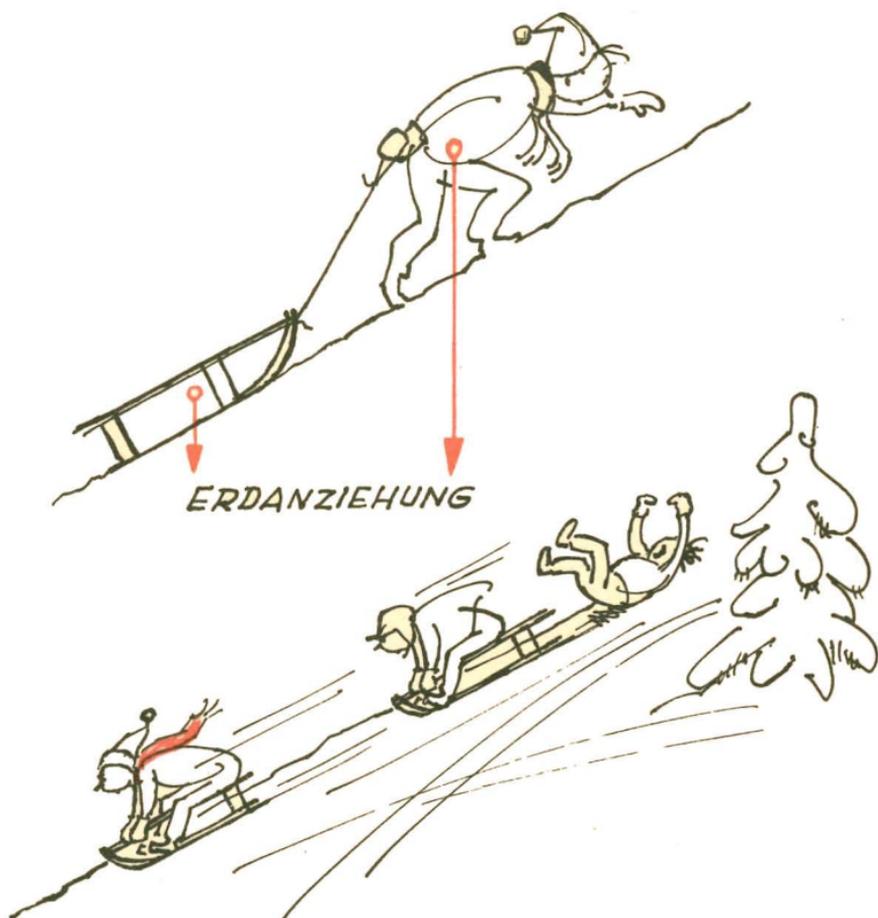
Für den Fall, daß du dieses Buch im Winter, etwa zu Weihnachten, bekommen hast und draußen Schnee liegt, wollen wir ganz kurz noch ein passendes Gegenstück zum Rollschuhlauf betrachten.

Im Winter wird gerodelt

Rodeln ist Spiel und Sport. Wenn du dir aber vornimmst, beim Rodeln auch darauf zu achten, wie sich allerlei Naturgesetze bemerkbar machen, dann ist solch eine Fahrt zugleich ein Experiment.

Es geht eigentlich damit los, daß du zum Startplatz hinaufkraxelst. Das ist eine *Arbeit*, dich und den Schlitten auf die nötige Höhe zu bringen. Man hat allerlei erfunden, um dem Menschen diese Arbeit abzunehmen: Sessellift und besondere Zugfahrzeuge. Jedenfalls bist du oben angekommen und mit *Energie* geladen wie ein loser Dachziegel, der auf dem Dach darauf wartet, einem Vorübergehenden auf den Kopf zu fallen.

Nein, senkrecht fallen und so die Energie wieder loswer-



den willst du nicht; das machst du ein andermal beim Springen im Schwimmbad. Mit dem Schlitten nehmen wir die langsame Art des *Fallens*, das Hinabgleiten auf der geneigten Ebene. Die entsprechenden Experimente hast du ja mit der Kugel auf der Fallrinne gemacht; nun bist du mit deinem Schlitten gewissermaßen selbst die Kugel und erlebst das Naturgesetz in dir selbst.

Der Start ist anders als beim Rollschuhlauf. Wir lassen den Schlitten von selbst anfahren und freuen uns, wie er von Sekunde zu Sekunde schneller gleitet! So, wie wir auf

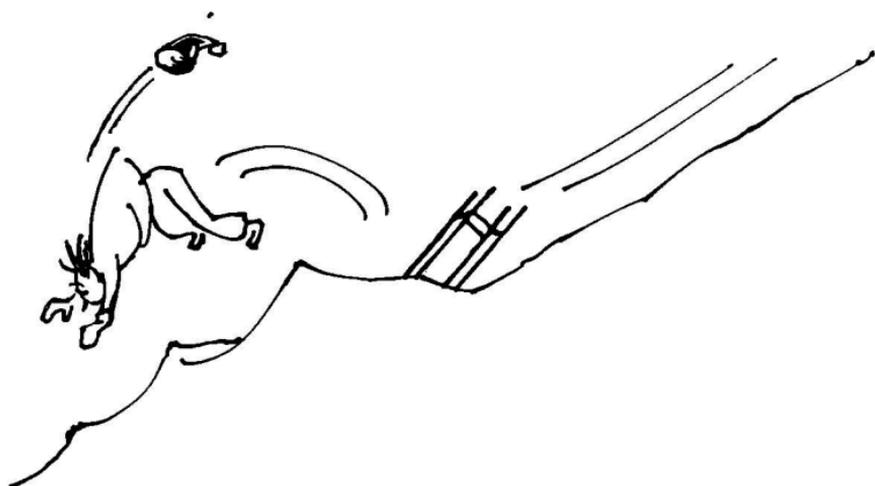
der ebenen Spielstraße beim Rollschuhlauf später die Zeit und die Entfernungen gemessen haben, so können wir das selbstverständlich auch hier tun. Theoretisch müssen wir auf einer geraden Rodelbahn dabei Zahlenfolgen wie bei den Experimenten mit der rollenden Kugel erhalten; in Wirklichkeit bremst uns die *Reibung* mit der Luft recht erheblich. Das ist auch ganz gut, denn sonst würde unsere *Schwungkraft*, unsere Bewegungsenergie, womöglich gefährlich werden.

So, wie Fritz beim Rollschuhlauf auf Rolf gestoßen ist, könnte es hier auch geschehen. Nur darf Fritz nicht zu schnell auf Rolfs Schlitten auffahren, sonst wird dessen *Trägheitskraft* zu groß, und beide Schlitten gehen entzwei.

In den Kurven zeigt sich die *Fliehkraft* im Schlitten und in seinem Fahrer genau wie beim Rollschuhläufer. Damit sich nicht nur der Fahrer, sondern auch der Schlitten in die Kurve beugen kann, überhöht man die Außenseite der Rodelbahnkurve. Das ist der Anfang vom Trick des Todesfahrers an der senkrechten Wand! Bobbahnen sind so gebaut.

Was gab es noch beim Rollschuhlauf? Rolf ist über ein Schlagloch gestolpert. Ähnliches könnte jetzt durch einen Ast geschehen oder dadurch, daß ein Stück der Bahn mit Sand bestreut ist. Dann kann der Schlitten so scharf gebremst werden, daß sein Fahrer infolge der *Trägheitskraft* über den Schlitten hinausfliegt. Auch in einer Schneewehe kann dir das passieren; aber da landest du dann schön weich.

Wie lenkst du eigentlich deinen Schlitten mit den Hacken?



Mit dem linken Fuß bremsen – dann läuft der Schlitten nach links. Die linke Seite des Schlittens wird beim Bremsen etwas zurückgehalten, die rechte kommt mit dem alten Schwung mehr voran, und der Schlitten stellt sich schräg nach links. Mit dem rechten Fuß lenkst du nach rechts.

Wie ist es, wenn ihr zu zweit auf einem Schlitten sitzt? Die Reibung zwischen den eisernen Schlittenkufen und der Schneebahn wird größer, die Luftreibung dagegen kaum, weil dein Freund hinter dir in deinem Windschatten sitzt. Eure Schwungkraft wird also zwar nicht verdoppelt, aber immerhin erheblich größer, fahr daher noch vorsichtiger!

Du siehst: Ob Sommer oder Winter, ob Rollschuh oder Schlitten oder sonstwas – die Naturgesetze wirken immer und überall. Wir können alle Maschinen und Fahrzeuge danach einrichten und unsere Fahrweise auch.



Fräulein Ziegenbein

Das hätten wir nun fast vergessen: Das alte Fräulein Ziegenbein war über euer Rufen beim Wettlauf sehr erbost und schimpfte mächtig. Freilich – es war hin und wieder ein rechtes Geschrei und nicht sonderlich schön anzuhören; das müssen wir zugeben. Wir können aber die Gelegenheit benutzen und uns fragen: **WARUM** ist unser Krach bis zu Fräulein Ziegenbein gelangt, die doch etwa 85 m von der Straße entfernt wohnt?

Das wäre die Sache mit dem Schall; die wollten wir so-wieso noch untersuchen.

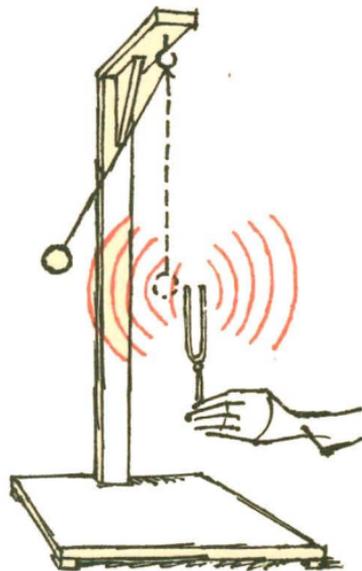
Allerlei vom Schall

Wie der Schall entsteht, das weißt du sicherlich: als Geräusch, wenn sich zwei Körper aneinander reiben; als Knall, wenn du beispielsweise mit dem Hammer gegen einen festen Körper schlägst; als Klappern oder Rasseln; als Ton beim Singen, Sprechen und Rufen, beim Spielen mancher Musikinstrumente.

Wir wollen mehr vom Ton wissen und machen einige kleine Experimente.

Eine Stricknadel aus Stahl wird an einem Ende fest eingespannt, beispielsweise in einen Schraubstock. Das freie Ende biegen wir etwas zurück und lassen es los. Die Nadel *schwingt* schnell hin und her und erzeugt dabei einen Ton. Da hast du sie wieder, die *Schwingungen!* Je länger der schwingende Teil der Stricknadel ist, um so tiefer ist der Ton; je stärker du sie schwingen läßt, je größer also ihre Schwingungen sind, um so lauter ist der Ton.

Binde ein Kügelchen aus Holundermark oder Seidenpapier oder Kork an einen Seidenfaden. Laß das Kügelchen eine Stimmgabel, eine Glocke oder ein Weinglas mit Glockenform leicht berühren und schlage Gabel, Glocke oder das Glas an, so daß du den Ton gut hörst. Im selben

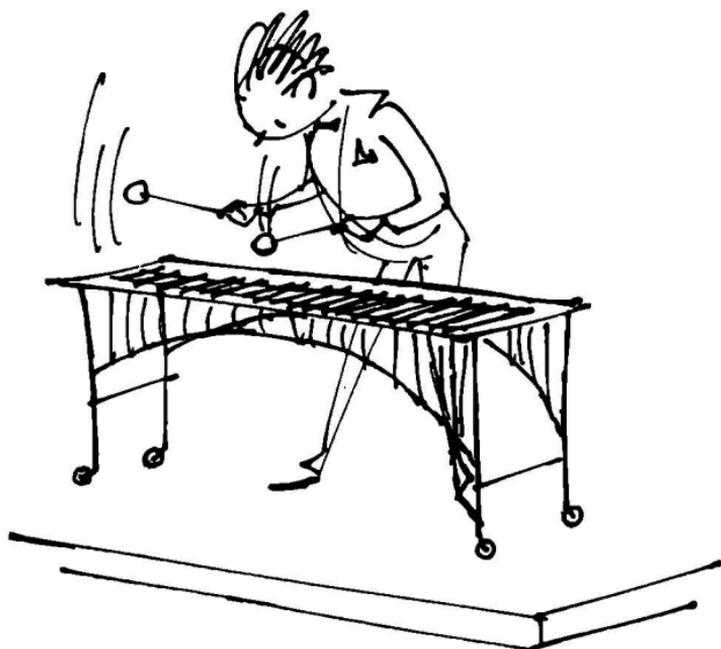


Augenblick springt das Kügelchen fort, fällt zurück und wird wieder abgestoßen – das alles so lange, bis der Ton verklungen ist. Auch hier schwingt alles, wenn wir es diesmal auch nicht so deutlich sehen. Die Saiten eines Musikinstrumentes kannst du durch Zupfen zum sichtbaren Schwingen bringen.

Wir machen Musik

Eine ganze Tonleiter und kleine Melodien kannst du auf acht Trinkgläsern spielen. Die Gläser füllst du verschieden hoch mit Wasser: mit ganz wenig beginnend, in jedem folgenden Glas etwas mehr Wasser, das letzte Glas ziemlich gefüllt. Die richtigen Wassermengen mußt du nach dem Gehör ausprobieren. Den Ton erzeugst du durch Anschlagen an das Glas. Die Höhe des Tones hängt von der Größe und Form des schwingenden Körpers ab. Das Wasser vergrößert den Körper und damit die Schwingungen; je mehr Wasser im Glas ist, um so tiefer ist der Ton.

Diesen Zusammenhang finden wir auch in manchen Musikinstrumenten. Beim Klavier gibt die kürzeste und dünnste Saite den höchsten und die längste und dickste Saite den tiefsten Ton. Bei den beweglichen Saiteninstrumenten, wie Geige, Cello, Gitarre, Laute und so weiter, verkürzt der Spieler seine Saite mit dem Finger, wenn er einen höheren Ton haben will, als ihn die ganze Saite gibt. Das Xylophon hat verschieden lange Stäbe aus Hartholz; sie liegen auf einer weichen Strohhunterlage und tönen, wenn sie mit Holzklöppeln angeschlagen werden. Xylo-



phon ist ein griechisches Wort und bedeutet Holzklinger. Vielleicht kennst du das ähnliche Spielzeug: verschieden lange Metallstreifen auf weicher Unterlage werden angeschlagen. Auch das Marimbaphon ist ein Musikinstrument dieser Art.

Das singende Weinglas

Hast du schon einmal ein Weinglas singen lassen? Das ist nicht schwer und macht großen Eindruck. Du wäschst dir die Hände, damit dein einer Mittelfinger ganz frei von Fett ist; daß die anderen Finger bei der Gelegenheit ebenfalls sauber werden, ist nur erfreulich. Du nimmst ein dünnwandiges Weinglas mit Stiel, feuchtest deine Finger-

spitze mit Wasser, nicht mit Spucke, an und fährst nun mit leichtem Druck auf dem Glasrande herum. Sobald der ganze Rand benetzt ist, fängt das Glas an zu schwingen – und zu singen!

Du mußt deinen Finger zwischendurch wieder frisch anfeuchten. Ist das Glas sozusagen auf deinen Finger eingespielt, so singt es schon, wenn du nur ganz zart darüber streichst. Nun kannst du wieder, wie bei den Wassergläsern, mit acht Weingläsern und verschiedenen Wassermengen darin Tonleitern und Melodien spielen; du hast eine Glasharmonika. Auch hier ist der Ton um so tiefer, je mehr Wasser im Glase ist. Durch die Reibung zwischen Finger und Glasrand wird das Glas zum Schwingen und Tönen gebracht.

Auf ähnliche Weise spielt man Geige oder ein anderes Saiteninstrument. Hier ist die Reibung zwischen Saite und Bogen nötig, die beide fettfrei sein müssen. Man trägt sogar ein Harz auf den Bogen auf, um die Reibung zu vergrößern.

Unser Glas überträgt seine Schwingungen nicht nur auf die Luft, wo man sie hören kann, sondern auch auf das Wasser. Wenn du beim Spielen – etwa auf einem tiefen Ton – genau auf das Wasser schaust, dann kannst du viele winzige Wellen sehen. Sie sind am stärksten dort, wo dein Finger gerade ist; von hier läuft ein Wellenstreifen zur gegenüberliegenden Seite des Glases. Vielleicht kannst du noch mehr beobachten? Schau nur genau hin! Das Spielen auf einer Glasharmonika war mehrere Jahrhunderte hindurch eine beliebte Unterhaltung; reisende Künstler übten sie auf Festen aus.



Es ist auch schon vorgekommen, daß ein Glas zersprang, weil seine Schwingungen zu stark wurden. Dieses Glas hatte dann einen Fehler; es war beim Herstellen nicht richtig abgekühlt worden und hatte dadurch innere Spannungen erhalten.

Stelle einmal dicht neben dein Glas ein genau gleiches, ebenfalls leer oder mit gleicher Wassermenge – genau wie das erste; lege einen kurzen, dünnen Draht auf das zweite Glas. Sobald das erste Glas tönt, schwingt auch das zweite im gleichen Ton mit; der Draht wird vom Glas angestoßen und schwingt ebenfalls. Das ist leicht zu erklären: Die Schwingungen des ersten Glases sind durch die Schallwellen der Luft auf das zweite Glas übertragen worden, und dieses tönt nun mit. Vielleicht versuchst du es noch mit mehreren, genau gleichen Gläsern? Dann hast du eine ganze Musikkapelle; leider spielt sie von Fall zu Fall immer nur einen einzigen Ton.

Wie schnell läuft der Schall?

Der tönende Körper schwingt und stößt dabei die benachbarten Körper an: feste, flüssige und gasförmige wie die Luft. Es schwingen immer nur wenige Teilchen dieser Körper; aber die stoßen wieder die nächstliegenden Teilchen an, und so wandert die Schwingung immer weiter. Der Schall bringt es dabei zu ganz schönen Geschwindigkeiten: in Eisen und Tannenholz 5200 m je Sekunde, in Wasser 1450 m je Sekunde und in der Luft, wie du schon weißt, etwa 330 m in der Sekunde. Je fester, je dichter ein Körper ist, um so besser leitet er den Schall.

Es ließ sich also nicht verhindern, daß Fräulein Ziegenbein von unseren Schallwellen in einer Viertelsekunde erreicht wurde; $4 \text{ mal } 85 \text{ m} = 340 \text{ m}$, also der Weg, den der Schall in der Luft in einer ganzen Sekunde zurücklegt. Sie war dann klug genug, sich etwas in die Ohren zu stopfen, was den Schall nur sehr schlecht leitet, ihn sogar verschluckt: zwei Stückchen Watte nämlich. Alles Weiche schluckt den Schall. In Kinos und anderen Sälen versieht man die Wände und Decken oft mit einer weichen Schicht von Kork oder künstlichem Schaumstoff, die kein Echo entstehen läßt.

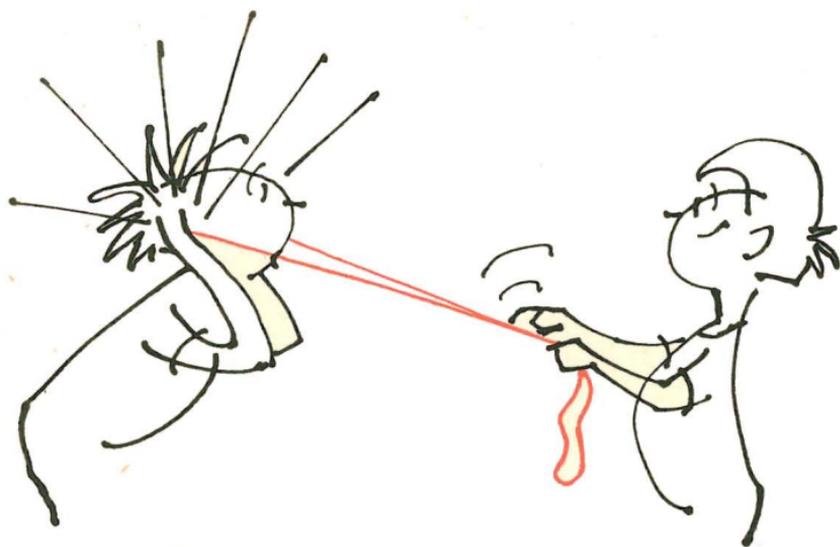
Die wundersamen Glockentöne

Der Luftschall breitet sich übrigens nach allen Seiten gleichmäßig aus – wie eine schnell größer werdende Kugel. Dadurch wird er schnell schwächer; er verteilt sich zu sehr.



Wir wollen ihm einmal eine bestimmte Bahn vorschreiben, und zwar durch einen Bindfaden! Du nimmst etwa 2 m davon und knotest genau in der Mitte eine Ofenzange, einen großen Metallöffel oder ähnliches fest. Die beiden Enden des Fadens steckst du in deine Ohren und läßt das Metallding frei baumeln. Wenn du es jetzt irgendwo anstoßen läßt, dann hörst du tiefe, volle Glockentöne, bei leichten Schlägen aus der Ferne, bei stärkeren aus der Nähe. Sind die Töne nicht großartig? Da merkst du erst, wieviel vom Schall bei der Übertragung durch die Luft verlorengeht!

Jetzt holst du eine 2 m lange Schnur und knotest sie an den Enden zusammen. Dein Freund legt dir die Schlinge über den Kopf, genau über beide Ohren, und nimmt den Knoten in eine Hand. Du drückst den Faden mit beiden Händen fest an deine Ohren; dein Freund zieht ihn straff



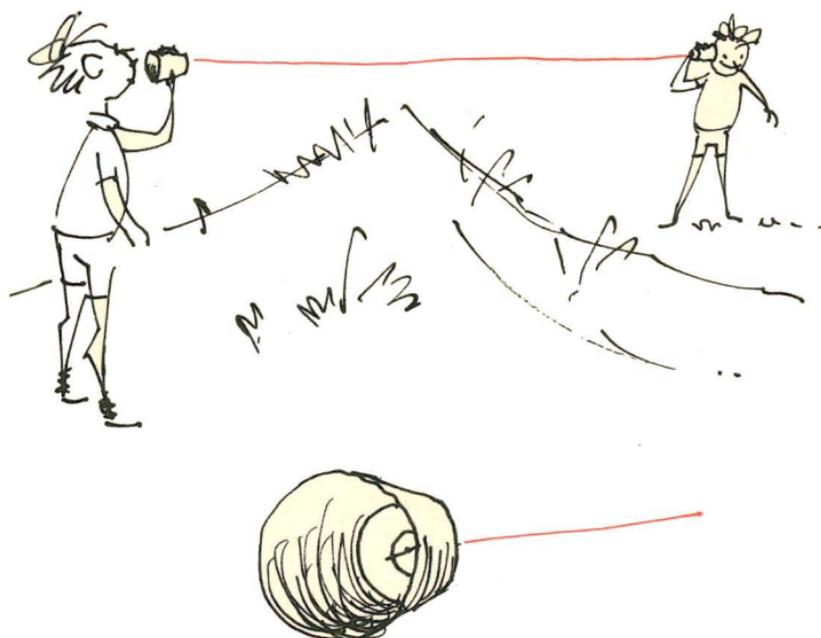
an und zupft daran. Und du denkst, da sei eine Kanone abgeschossen worden! Macht einmal eine Reihe von Knoten in die Schnur und stellt euch dann wieder so wie vorher auf. Wenn dein Freund mit dem Finger über die Knoten streicht, dann hörst du ein Geräusch wie Donner. „Donnerwetter!“ kannst du da sagen.

Wir telefonieren ohne elektrischen Strom

Wollt ihr beide einmal ohne elektrischen Strom telefonieren? Das ist auf 20 m Entfernung und mehr ganz leicht mit einem festen, dünnen Bindfaden oder einer Angelschnur aus Plast möglich. Jede Fernsprechstelle ist ein Becher aus Blech, Holz oder starker Pappe mit einem Bodendurchmesser von etwa 6 cm; er wird abwechselnd zum Sprechen und zum Hören benutzt. Den alten Boden

schneidest du aus dem Becher heraus und klebst statt dessen mit Alleskleber ein rundes Stück fester Plastfolie straff über die Bodenöffnung. Das bildet dann eine sogenannte Membran; so nennt man schwingende dünne Scheiben. Der elektrische Fernsprecher hat sie auch. In der Mitte der Innenseite kleben wir auf jede Membran ein Stückchen Pappe, so groß wie ein Pfennig; mitten durch dieses Pappstückchen bohren wir ein kleines Loch für unsere Fernleitung, den langen Faden.

Jedes Fadenende wird durch das Loch in der Membran von außen in den Becher hineingeführt. Drinnen bekommt es einen dicken Knoten oder einen kleinen Knopf oder ein kleines Querstäbchen, damit der Faden nicht wieder herausrutscht; mit Alleskleber wird das so gesicherte Fadenende auf dem Pappstückchen aufgeklebt. Ihr beide, du



und dein Freund, geht voneinander weg, bis der Faden straff gespannt ist. Dann wirkt er als fester Körper und du sagst. Zum Antworten spricht er dann in seinen Becher, deutlich hinein, dann überträgt die Membran die Luftschwingungen, die du beim Sprechen erzeugt hast, auf den Faden. Sie laufen den Faden – jetzt als Fadenschwingungen – schnell entlang und versetzen die Membran im Becher deines Freundes in gleich schnelle, nur etwas schwächere Schwingungen. Die Membran stößt die Luft im Becher an, und dein Freund, mit dem Becher am Ohr, hört genau, was du sagst. Zum Antworten spricht er dann in seinen Becher, und du hörst mit deinem. Das ist leichter, als du denkst; bei den ersten elektrischen Fernsprechern mußte man es ebenso machen. Ich wünsche eine gute Unterhaltung! Denkt daran, daß eure Fernleitung nirgends anstoßen darf, sonst verschwinden die Schwingungen unterwegs. Die Prärie-Indianer wußten schon, daß die feste Erde den Schall galoppierender feuriger Mustangs besser als die Luft leitet; sie legten ihr Ohr dicht an die Erde, um den herannahenden Feind oder Freund rechtzeitig zu entdecken. In einem Hause mit Zentralheizung ist an allen Heizkörpern zu hören, wenn unten am Kessel gearbeitet wird. Wasserleitungen übertragen das Rauschen von Wasser weiter, als es den Hausbewohnern lieb ist. Wenn du irgendwo ein langes, eisernes Gitter findest, dann lege dein Ohr an das eine Ende und lasse deinen Freund mit einem Stück Eisen auf das andere Ende schlagen. Du hörst schnell hintereinander zwei Schläge: den ersten durch das Eisen, den zweiten durch die Luft. Wie kannst du feststellen, wie weit von dir ein Blitz nie-

dergeht oder eine Feuerwerksrakete explodiert? Vom Augenblick, an dem du das Licht siehst, zählst du die Sekunden bis zum Donner und Krach. Die Zahl der Sekunden dividierst du durch 3; dann hast du die Entfernung in Kilometern. Der Luftschall legt $\frac{1}{3}$ km je Sekunde zurück, nämlich etwa 330 m; deshalb dividieren wir. Prallt er an eine feste Wand, beispielsweise ein großes Haus oder einen Felsen, so wird er zurückgeworfen und kommt als Echo, als Widerhall, zu uns zurück.

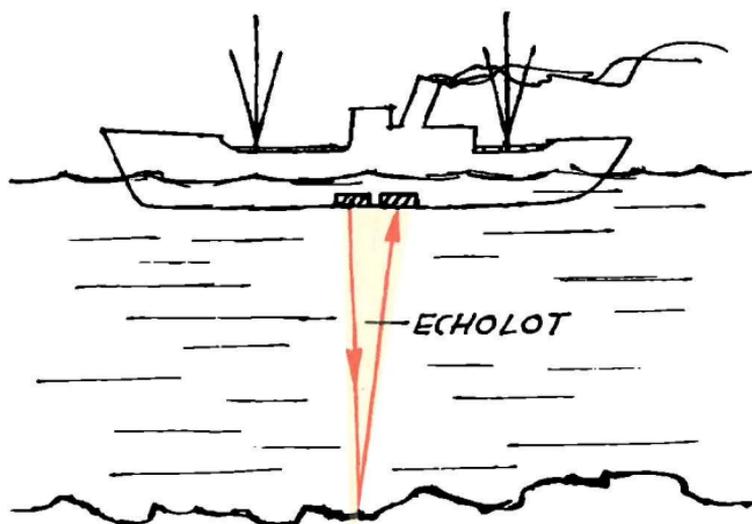
Vom Echo - cho - cho - cho

Im Gebirge gibt es manchmal ein mehrfaches Echo; es wird immer leiser. Du rufst: „Wo gibt es keinen Schall?“, und das Echo antwortet: „All!“ Das stimmt; im Weltall ist keine Luft, die den Schall leiten könnte. Solche Rufscherze kannst du dir selber ausdenken, wenn du ein gutes Echo hast; zum Beispiel: „Wer fährt durch Europa?“ – „Opa!“, „Wer trinkt aus Karaffen?“ – „Affen!“, „Wie ist der Wald?“ – „Alt!“, „War das 'ne Schau?“ – „Au!“

Du kannst mit einer Stoppuhr leicht die Entfernung zwischen dir und der Wand messen, die den Schall zurückwirft. Da der Schall einmal hin- und einmal zurückläuft, bis du das Echo hörst, nimmst du die Hälfte der Zeit, die vom Rufen bis zum Echo vergeht. Die so gefundene Sekundenzahl multiplizierst du mit 330 und hast damit die Entfernung in Metern.

Im Wasser gibt es ebenfalls ein Echo, wenn man Schall-

wellen senkrecht ins Wasser gegen den Meeresboden schickt. Der Kapitän muß immer wissen, wieviel Wasser sein Schiff unter sich hat, sonst läuft er Gefahr, plötzlich festzusitzen. Früher ließ man ein schweres Metallstück an einer langen, dünnen Leine ins Wasser. Wurde die Leine locker, dann hatte das Metall den Meeresboden erreicht, und man konnte die Wassertiefe an der Länge der Leine ablesen; diese Einrichtung nannte man ein Lot. Heutzutage ist am Boden der Schiffe ein Gerät mit einer starken Membran angebracht, die kräftige Schallwellen in das Wasser leitet. Daneben ist eine zweite Membran für die zurückkehrenden Schallwellen. Aus der halben Zeitdauer zwischen Senden und Empfangen läßt sich die Wassertiefe unter dem Schiff schnell berechnen. Bei insgesamt 2 Sekunden Zeitunterschied dauert jeder Weg 1 Sekunde; er ist demnach 1450 m lang. Weil hier mit dem Echo gelotet wird, nennt man diese Anlage ein Echolot. Man benutzt es auch, um die Höhe festzustellen, in der ein Flugzeug fliegt.

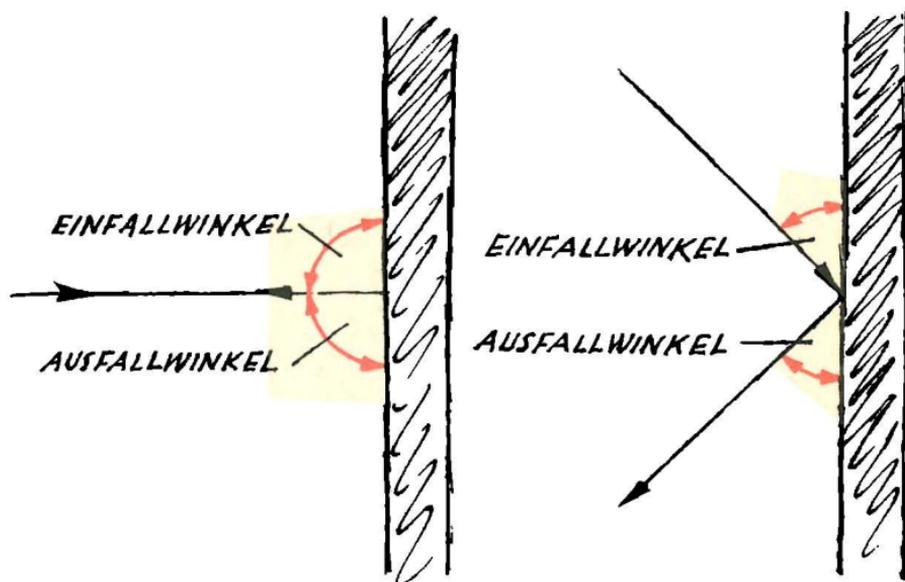


Ball, Schall und die Reflexion

Bei dem Echo trifft der Schall senkrecht auf die Wand und wird ebenso senkrecht wieder zurückgeworfen – wir sagen auch reflektiert; das Fremdwort kommt aus dem Lateinischen und bedeutet: zurückgebogen. Es ist wie beim Ballspiel; ein senkrecht gegen die Wand geworfener Ball kommt auch senkrecht wieder zu uns zurück.

Wie ist es aber, wenn du den Ball nicht senkrecht, sondern schräg von der Seite an die Wand wirfst? Dann fliegt er nicht wieder zu dir zurück, sondern unter dem gleichen Winkel, wie er angekommen ist, wieder von der Wand fort – aber nach der *anderen* Seite!

Unter dem gleichen Winkel, wie er eingefallen ist, fliegt der abprallende Ball wieder weiter, das ist wichtig. Den ersten Winkel nennt man den Einfallswinkel und den zweiten den Ausfallwinkel. Das ist wieder ein Naturgesetz: das Gesetz vom Zurückwerfen, das *Reflexions-*



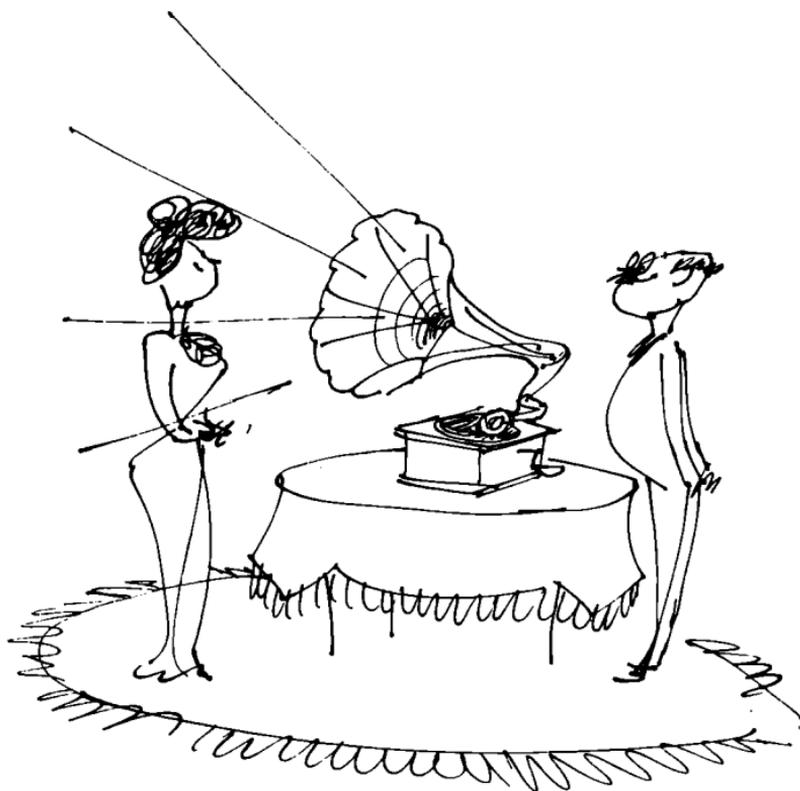
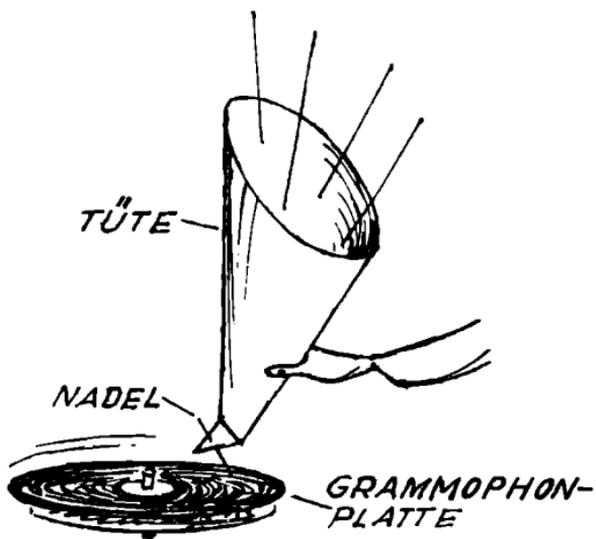
gesetz; es heißt: *Der Einfallswinkel ist ebenso groß wie der Ausfallwinkel.*

Beim Schall ist es genauso; das Reflexionsgesetz wirkt hier ebenfalls.

Schon seit langer Zeit hat man das ausgenutzt, um die Schallwellen, die beim Sprechen entstehen, in eine einzige Richtung zu schicken; wenn sie so zusammengehalten werden und nicht nach allen Seiten verlaufen können, reichen sie natürlich viel weiter. So ist das *Sprachrohr* entstanden, das heute noch in der Schifffahrt benutzt wird, um auf größere Entfernungen zu rufen. Auch bei Filmaufnahmen wird es viel benutzt; Leute, die gern Spaß machen, nennen es die Flüstertüte. Du kannst dir ein Sprachrohr leicht aus starkem Papier kleben. Hast du übrigens beim Rufen nicht schon gelegentlich beide Hände wie ein Sprachrohr an den Mund gelegt? Das hilft auch schon.

Schallplatten mit Tüte

Die alten Grammophone – wir sagen heute Plattenspieler – hatten einen mächtigen Trichter, aus dem Musik und Sprache tönten. Das kannst du leicht nachmachen: Du klebst eine Tüte aus starkem Papier, biegest das spitze Ende kurz um und steckst dort eine Grammophonnadel oder eine mittelstarke Nähnadel hindurch. Dann läßt du eine alte Platte, an der nicht mehr viel zu verderben ist, laufen und hältst vorsichtig die Nadelspitze schräg in der Drehrichtung in die Tonrille der Platte. In welche, fragst du? Denke einmal scharf nach: Es gibt nur eine einzige,



und die läuft als sehr lange Spirale von außen nach innen! Aus deiner Tüte, die Membran und Sprachrohr, Tonabnehmer und Läutsprecher zugleich ist, hörst du deutlich, was die Schallplatte zu bieten hat. Die Platte hat ja den gleichen Schall in Form winziger Eindrücke in der Tonrille aufgenommen und aufbewahrt; du verwandelst diese feinen Unebenheiten der Rille wieder in Schall.

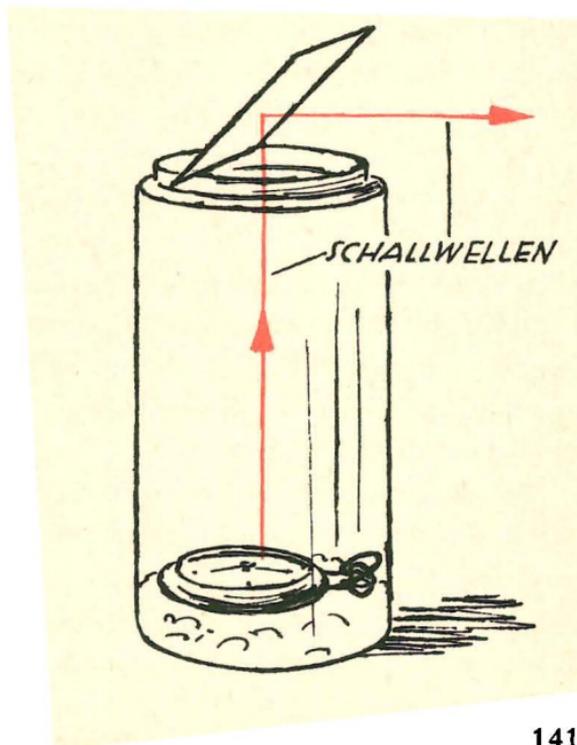
Wenn du ganz besonders schnell und einfach hören willst, dann steckst du deine Nadel in eine Ecke einer steifen Postkarte oder einer leeren Streichholzschachtel. Bei ganz alten Platten, die noch tiefe Rillen haben, hörst du schon deutlich, wenn du nur eine Ecke einer Postkarte in die laufende Rille hältst! Einfacher geht es nicht. Am besten eignen sich Platten mit 78 Umdrehungen je Minute für diese Versuche. Die Schwingungen merkst du schon, wenn du einen spitzen Fingernagel in die Rille bringst.

■ Noch ein Versuch zur Reflexion

Dazu gehört eine recht große und laut tickende Taschenuhr oder eine kleine Weckeruhr. Du hörst sie ticken, wenn du nahe genug dran bist. Hältst du ein großes Stück Pappe zwischen dein Ohr und die Uhr, so hörst du nichts mehr; die Pappe läßt die Schallwellen nicht durch, sondern wirft sie zurück oder verschluckt sie. Und nun wollen wir den Schall einmal schräg auffallen lassen und beobachten, wie er weitergeleitet wird.

Du legst die Uhr mit einer weichen Unterlage, etwa Watte, auf den Boden einer Flasche mit weitem Hals; ein

schmales, hohes Einkochglas ist gut geeignet. Hast du kein solches Glas, so nimmst du ein 20 bis 30 cm langes Papprohr; sein Durchmesser muß so groß sein, daß die Uhr hineinpaßt. Hältst du dein Ohr oben an die Öffnung der Flasche oder des Rohres, so hörst du die Uhr deutlich ticken; weil die Uhr weich gebettet ist, kommt der Schall nur durch die Luft senkrecht nach oben. Etwas entfernt von der Öffnung hörst du das Ticken schon nicht mehr. Du bringst nun über der Öffnung eine feste, glatte Fläche – Blech, Glas oder Karton – in einem Winkel von 45 Grad an, also unter einem halben rechten Winkel. Nach dem Gesetz von der Reflexion ist der Einfallswinkel gleich dem

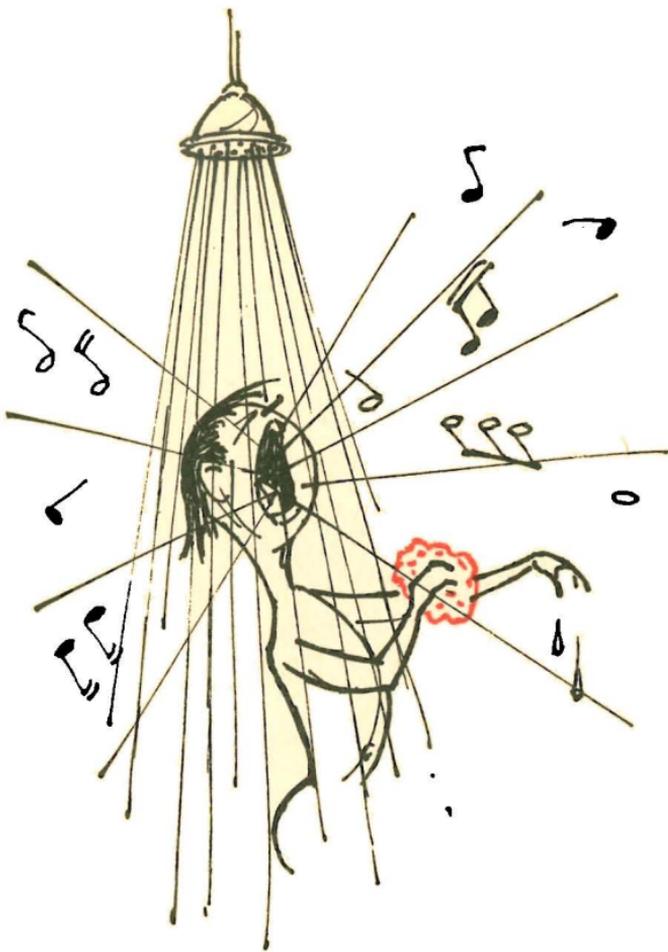


Ausfallwinkel. Die Schallwellen fallen unter einem halben rechten Winkel ein und auch wieder aus; sie werden daher um $45 \text{ Grad} + 45 \text{ Grad} = 90 \text{ Grad}$, das heißt um einen ganzen rechten Winkel abgelenkt. Der Weg der Schallwellen war zuerst – in der Flasche – senkrecht nach oben; von der Platte wird er zu einem waagerechten Weg abgelenkt. Lausche also aus einer kleinen Entfernung unter die schräge Platte – und du hörst das Ticken wieder! Vielleicht mußt du mit dem Ohr erst ein wenig nach dem Schallwellenstrahl suchen. Verändere den Winkel, unter dem die Platte zur senkrechten Flasche liegt, so mußt du auch dein Ohr höher oder tiefer halten. Genau so wird auch ein Lichtstrahl in einem Spiegel reflektiert; das kennst du sicherlich längst.

Singst du gern unter der Brause?

Viele Leute tun das gern – aber nur, wenn die Brause in einem Raum mit glatten, etwa gekachelten Wänden angebracht ist. Warum? Die glatte Wand wirft die Töne zurück auf die Wand gegenüber; diese, nicht faul, reflektiert nun ihrerseits – und so geht der mehr oder weniger schöne Gesang einige Male hin und her. Ehe ein Ton verklingt, kommen aber vom Sänger neue hinzu, und der Gesang wird zwar nicht schöner, aber immer lauter! Das ist es, was Spaß macht. Der Naturforscher nennt diese Erscheinung Hall; die Töne hallen nach.

Im Rundfunk, auf Schallplatten und Tonbändern wird das gelegentlich mit elektrischen Mitteln gemacht, um be-



sondere Wirkungen in der Musik zu bekommen. Bei Konzerten in Kirchen kannst du den Hall beobachten; da wirkt er gut. Für das gesprochene Wort ist der Hall schlecht; die Sprache wird undeutlich. Man muß dann Wände und Decken mit einer weichen Schicht bedecken, die den Schall schluckt, also vernichtet; das weißt du schon. Der Fachmann für den Schall – den gibt es! – verlangt, daß ein Klang ungefähr eine Sekunde nach seinem

Entstehen wieder verschwinden muß; dann wirkt der Raum nicht tot, und das Echo stört nicht.

Du fragst jetzt vermutlich: „Wo bleibt denn der Schall, wenn er verschwindet?“ Die Antwort führt zu etwas, was du schon kennst: zu den *Kräften*.

Kraft ist nötig, um den Schall zu erzeugen. Bei der schwingenden Bewegung der Luft reiben sich die Teilchen der Luft aneinander; diese Reibungskraft bremst die Luftbewegung und läßt sie aufhören. Oft helfen schallschluckende Decken und Wände mit; hier ist die Reibung besonders groß. Und so merkwürdig das auch erscheint: Auch in diesen Fällen wird die *Reibungskraft* – wie überall – zu *Wärme*! Freilich ist die Erwärmung, selbst bei einem mächtigen Orgelkonzert, so gering, daß niemand sie spürt; sie wird ja zudem schnell abgeleitet und verteilt.

Willst du erleben, wie sich der Schall im Wasser ausbreitet? Dann soll dein Freund ein oben offenes Metallgefäß möglichst tief ins Wasser drücken, ohne daß es vollläuft, und mit dem Hammer innen an die Wandung schlagen. Du tauchst zur selben Zeit unter und hörst. Im Schwimmbad kannst du das in verschiedenen Entfernungen versuchen und feststellen, wie die Stärke des Schalles abnimmt.

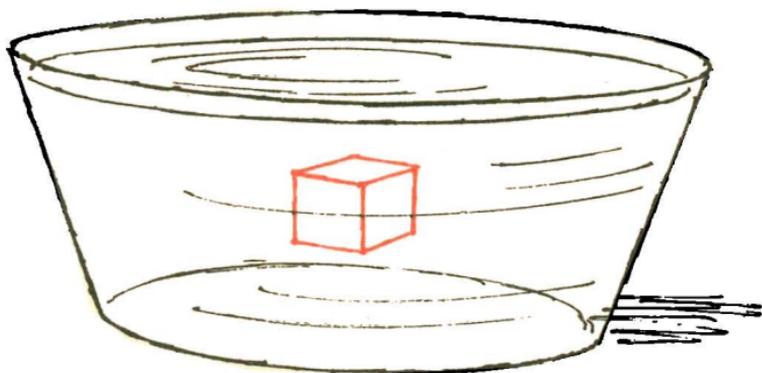
Du kannst doch schwimmen?

Warum schwimmt ein Körper?

Du sagst vielleicht: „Na, ich habe Schwimmunterricht gehabt!“ Das ist nur die eine Voraussetzung; mancher lernt Schwimmen sogar ohne Lehrer. Die andere Voraussetzung ist die Natur mit ihren Kräften, die auch den Schwimmunterricht erst möglich machen.

Eines ist dir längst bekannt: Dein Gewicht wird viel kleiner, wenn du ins Wasser steigst. Der griechische Naturforscher *Archimedes*, der im dritten Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung lebte, hat außer den Gesetzen des Schwerpunktes und des Hebels und manchen anderen Erkenntnissen auch herausgefunden, um wieviel denn genau ein Körper im Wasser leichter wird. *Er wird genauso viel leichter, wie die Wassermenge wiegt, die der Körper verdrängt hat!* Dieses Naturgesetz nennt man das *Archimedische Prinzip*; auf deutsch: Archimedischer Grundsatz.

Wir wollen ein Experiment in Gedanken machen: In einer großen Wanne voll Wasser denken wir uns einen Würfel



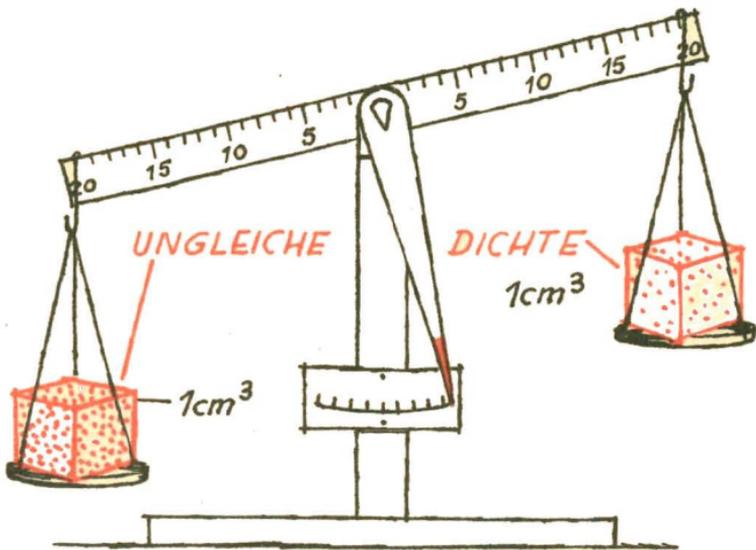
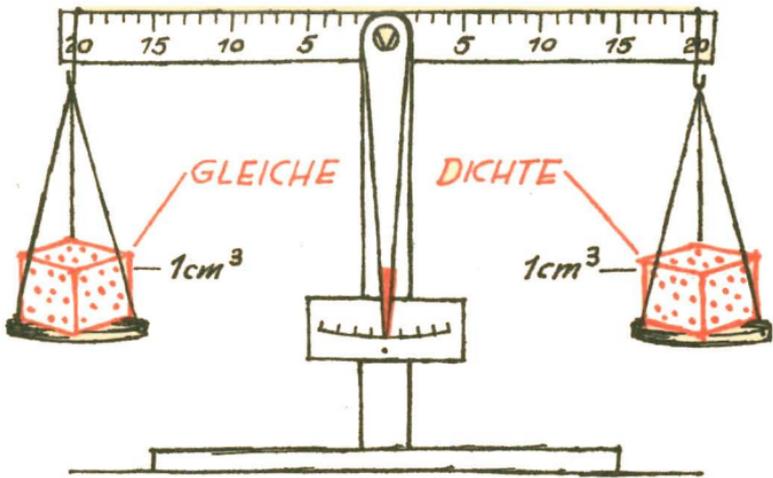
aus Wasser mit einer Kantenlänge von 10 cm mal 10 cm. Das sind 1000 cm^3 oder 1 dm^3 , also genau 1 Liter oder 1 kg Wasser. Dieser Wasserwürfel sitzt in dem übrigen Wasser schön im Gleichgewicht, will weder nach oben noch nach unten. Er hat sein Gewicht, mit dem er auf die Wasserteile darunter drückt; aber die, nicht faul, treiben ihn genauso stark wieder aufwärts. Auftrieb nennt man daher diese Gegenkraft, die von unten gegen unseren Würfel drückt.

Auf die Dichte kommt es an

Jetzt stelle dir vor, du nimmst diesen Wasserwürfel heraus und legst dafür einen neuen Würfel aus einem anderen Stoff hinein, der genauso groß und genauso schwer ist! Was geschieht? Nichts, denn alle Größen und Kräfte sind gleich geblieben.

Beide Würfel sind im Gleichgewicht, wenn man sie an eine Balkenwaage hängt, jeder ergibt in der Wägung 1 kg; beide haben die Raumeinheit $1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ Liter}$, das heißt, sie nehmen einen Raum von einem Liter ein. Beide Körper sind, wie man sagt, gleich dicht gebaut; sie haben die gleiche *Dichte*.

Je dichter ein Körper ist, um so schwerer ist er; man vergleicht dabei immer die Raumeinheit von 1 dm^3 , also 1 Liter, oder von 1 cm^3 , falls 1 dm^3 zu groß ist. Da gibt es die alte Scherzfrage: Was wiegt mehr, 1 kg Eisen oder 1 kg Watte? Du fällst nicht darauf herein, weil du nachdenkst. Beide wiegen gleich viel, aber die Watte nimmt



einen viel, viel größeren Raum ein! So kann man zwei Stoffe eben nicht vergleichen.

Es kommt also darauf an, wieviel Stoff in kg auf die Raumeinheit 1 cm^3 – oder auch, wieviel g auf 1 cm^3 kommt. Und weil bei reinem Wasser gerade 1 kg in 1 dm^3 und 1 g in 1 cm^3 hineinpaßt, vergleicht man alle anderen Stoffe damit. Eisen ist fast achtmal so schwer; man sagt, es hat die Dichte 7,8 je cm^3 . Hier sind noch einige weitere Dichten in g/cm^3 : Eichenholz 0,7; Aluminium 2,7; Blei 11,3; Glas 2,5; Silber 10,5; Zink 7,1; Gold 19,3. Das schwere Platin hat die größte Dichte mit 21,4 g/cm^3 .

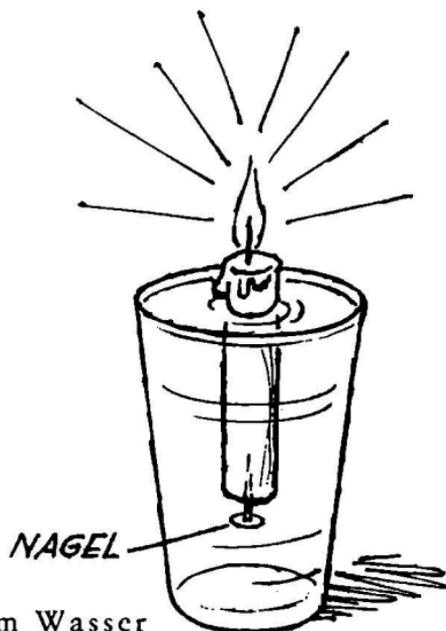
Fett schwimmt oben

Das ist dir nun klar: Körper mit größerer Dichte als Wasser müssen in Wasser untersinken; sie drücken das Wasser neben und unter sich fort. Körper mit gleicher Dichte wie Wasser, nämlich $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, schweben im Wasser, und Körper mit kleinerer Dichte als Wasser schwimmen darauf. Und warum schwimmen eiserne Schiffe, obgleich Eisen doch untergeht? Weil Schiffe zum größten Teil aus Luft bestehen; nur der hohle Schiffskörper mit seinen Versteifungen, Decks, Treppen und so weiter ist aus Metall. Ein Schiff hat mehr als achtmal soviel Rauminhalt wie Metallteile; dadurch wird die Dichte des ganzen Schiffes kleiner als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, und das Schiff schwimmt.

Wie steht es mit dem menschlichen Körper? Seine Dichte ist im Durchschnitt fast so groß wie die von Wasser. Bei einem dünnen Knochenmenschen ist sie höher als bei einem

speckgepolsterten Dicken – Fett schwimmt oben. Wer Luft einatmet, vergrößert seinen Rauminhalt, sein Volumen, ohne sein Gewicht zu vergrößern; seine Dichte wird daher geringer, und er schwimmt mit Luft besser. Mancher nimmt zur Sicherheit noch einen Rettungsring oder ein Gummitier mit, die alle durch Kork oder Luft eine ganz geringe Dichte haben und daher gut schwimmen. Das, siehst du, ist die naturwissenschaftliche Voraussetzung dafür, daß du schwimmen kannst.

Wir wollen noch ein wenig wirklich experimentieren – nicht nur in Gedanken.



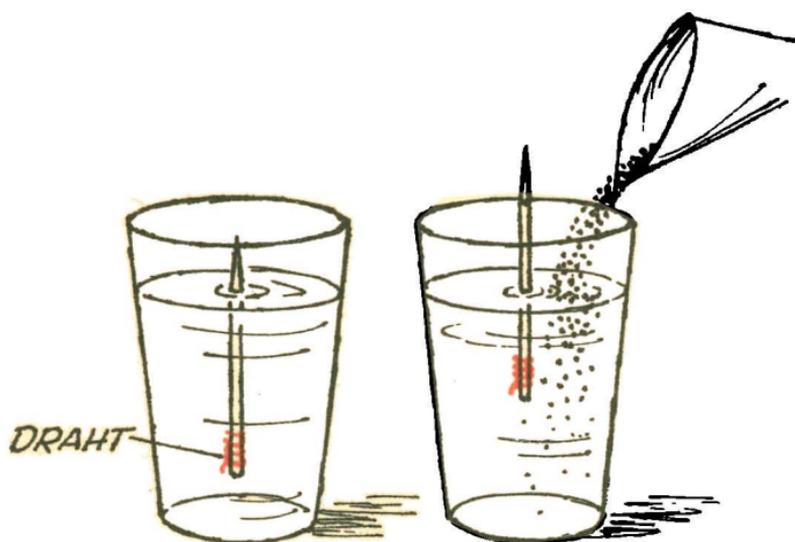
Eine Kerze brennt im Wasser

Ein seltsamer Leuchter ist das: ein Glas mit Wasser! Darin schwimmt aufrecht eine brennende Kerze. Ein Nagel unten in der Kerze sorgt dafür, daß sie senkrecht schwimmt

und oben noch ein Stückchen aus dem Wasser herausragt, so daß kein Wasser an den Docht kommt. Diese Kerze schiebt sich beim Abbrennen immer höher aus dem Wasser und verbrennt fast ganz. WARUM? Weil ihr Gewicht immer kleiner wird. Stearin, aus dem die Kerze gemacht ist, hat eine wesentlich kleinere Dichte als Wasser, schwimmt also gut.

Wasser ist nicht gleich Wasser

Statt der Kerze lassen wir nun einen Bleistift, den wir unten mit einigen Drahtwindungen beschwert haben, senkrecht im Glase Wasser schwimmen – so daß er seine Spitze gerade aus dem Wasser heraussteckt. Das Gewicht des Drahtes muß entsprechend ausprobiert werden. Jetzt

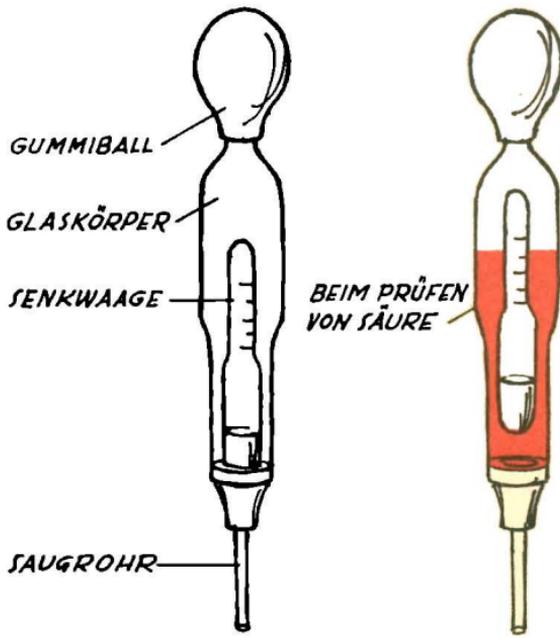


kommt die Hauptsache; du schüttest Kochsalz in das Wasser, erst wenig, dann mehr und mehr, und rührst dabei ständig um, bis sich nichts mehr im Wasser auflöst, das Wasser also gesättigt ist. Und nach jeder Salzladung hebt sich der Bleistift ein wenig mehr aus dem Wasser heraus! Du kannst messen, wieviel Salz du jeweils hineinschüttetest, und dazu immer eine Marke in den Bleistift ritzen – da, wo er just aus dem Wasser ragt. Wenn dir jetzt jemand eine Salzlösung bringt, bei der du nicht weißt, wieviel Salz im Verhältnis zum Wasser drin ist, dann steckst du nur deinen geeichten Bleistift hinein und kennst den Gehalt an Salz auch schon!

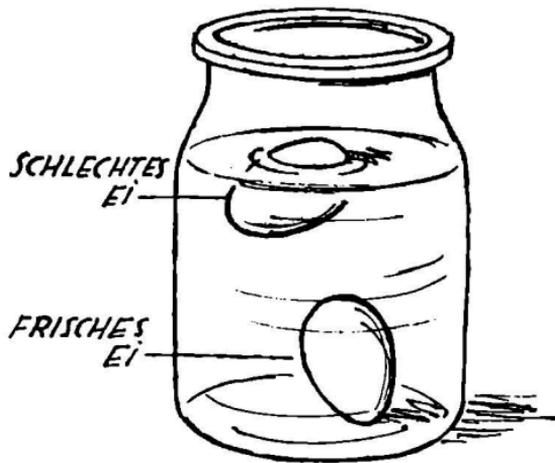
Archimedes und die Senkwaage

Nach dieser Wirkung baut man die *Senkwaagen*, auch *Aräometer* genannt. Vielleicht hast du gesehen, wie jemand damit die Schwefelsäure seiner Autobatterie geprüft hat? Da spielt die Dichte eine große Rolle; und sie wird dabei geprüft. Je mehr Salz oder Schwefelsäure im Wasser ist, um so größer ist die Dichte dieser Lösung. Der Bleistift in unserem Experiment behielt seine alte Dichte. Die Wassermenge, die er verdrängte, wurde durch das Kochsalz schwerer; nach dem Prinzip des Archimedes verlor der Bleistift mehr Gewicht als vorher und stieg höher! Auf ganz ähnliche Weise werden Senkwaagen gebaut, mit denen man den Alkoholgehalt in Wein und Spirituosen und den Fettgehalt in Milch mißt.

Man kann also gut schwimmen – einmal dadurch, daß



SENKWAAGE



man selber leicht ist, eine kleine Dichte hat, und zum anderen dadurch, daß man sich auf stark salzhaltiges Wasser legt. Das Tote Meer, ein See zwischen Israel und Jordanien, enthält so viel Salz, daß kein Mensch darin untergehen kann. Wenn du genau darauf achtest, kannst du beim Schwimmen den Unterschied zwischen salzfreiem Flußwasser und der salzhaltigen See merken.

Noch einmal etwas zu den Eiern in der Küche: In reinem Wasser sinken frische Eier unter. Schlechte Eier entwickeln Gase; die riechen nicht nur sehr häßlich, sondern sie verringern auch die Dichte des Eies und lassen es oben schwimmen.

Wir bauen ein lenkbares Luftschiff

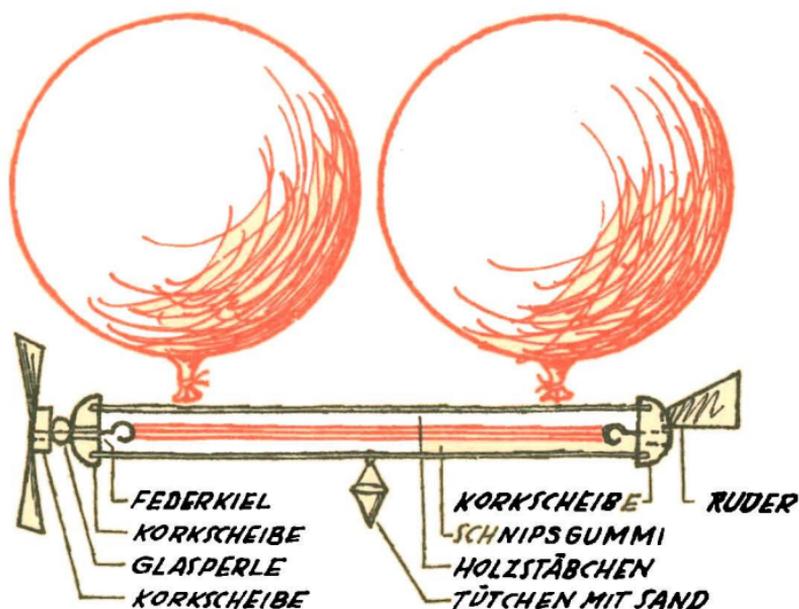
Das letzte Experiment soll etwas ganz Besonderes sein; ich fand die Beschreibung in einem alten Spielbuch. Ein Luftballon schwimmt in der Luft nach genau demselben Gesetz wie ein Körper im Wasser! Wenn er mit einem Gas gefüllt ist, zum Beispiel Wasserstoff, das wesentlich leichter ist als Luft, dann ist seine Dichte kleiner als die der Luft; also fliegt er aufwärts. Weiter oben wird die Luft freilich immer dünner, weniger dicht; ihre Dichte wird kleiner; in der Höhe, wo beide Dichten, die des Ballons und die der Luft, gleich groß sind, bleibt er schweben.

Wenn du keinen Ballon mit Gasfüllung kaufen kannst, die ihn aufsteigen läßt, so besorge dir einige leere Hüllen; dann bittest du jemanden, der mit Wasserstoffgas zu tun hat, zum Beispiel den Chemielehrer deiner Schule,

deine Ballonhüllen damit zu füllen. Er wird es gern tun. Das Stadtgas in der Wohnung ist dazu *nicht* zu gebrauchen; es hat einen viel zu kleinen Druck, und außerdem ist es gefährlich und daher streng verboten, Leuchtgas für solche Zwecke zu entnehmen.

Aus dem Bilde siehst du schon, daß wir kaum mehr als zwei der gasgefüllten Luftballons anbauen können; wir müssen daher die Gondel so leicht wie irgend möglich machen. Das Gerüst – die Gondel – besteht aus zwei leichten Holzstäbchen, die an den Enden in je einem flachen Korkscheibchen festgeleimt werden. Zwischen ihnen ist Platz für den Gummibandmotor, wie du ihn vielleicht von einfachen Flugzeugmodellen her schon kennst. Am hinteren Ende, dem Heck, bringen wir einen Haken aus Aluminiumdraht so an, daß er sich nicht drehen kann; er wird im Kork verankert. Das vordere Korkscheibchen – am Bug – durchbohren wir mit einer glühenden Stricknadel. In die Bohrung kommt ein Federkiel als Lager für den zweiten Drahhaken, der zugleich Propellerachse ist.

Der Propeller besteht aus einem leichten Kartonstreifen von etwa 1 cm Breite und 5 cm Länge; er wird in der Mitte mit Alleskleber auf ein Korkstückchen geleimt und an den Enden etwas verdreht – verschieden herum, wie die Flügel einer Windmühle. Damit der Propeller, die Luftschraube, sich leicht dreht, fügen wir zwischen den beiden Korkstückchen am Bug der Gondel eine Glasperle ein. Die Reibung ist hier sehr unerwünscht. Zwischen die beiden Drahhaken spannen wir – nicht zu straff – vier oder fünf Schnipsgummis. Kleiner Probelauf des Mo-



tors: Du faßt die Gondel vorsichtig mit zwei Fingern in der Mitte und drehst mit dem Zeigefinger der anderen Hand den Propeller herum, bis kleine Knoten an den Gummibändern entstehen. Losgelassen, muß sich der Propeller gleichmäßig und recht lange drehen.

Jetzt bindest du zwei gasgefüllte, recht große und pralle Luftballons am oberen Stab der Gondel an. Damit das Luftschiff nicht an die Zimmerdecke aufsteigt, muß es so belastet werden, daß es in der gewünschten Höhe schweben bleibt. Dazu hängst du ein Papiertütchen an den unteren Stab, das du hin und her schieben kannst; als Ballast tust du – wie die alten Ballonluftschiffer – vorsichtig feinen Sand hinein. Tue so viel hinein, daß das Luftschiff eine leichte Neigung zum Sinken hat, und schiebe

den Ballast ein wenig nach hinten. Wenn du jetzt das Luftschiff mit aufgezo- genem Motor abfliegen läßt, dann wird der Propeller es in die Höhe ziehen; ist der Motor abgelaufen, dann kehrt das Luftschiff brav zu dir zurück. Ein kleines, im Heck schräg eingeleimtes Seitensteuer läßt das Luftschiff im Kreise fliegen. Gute Fahrt!

Ein kleines Schlußwort

Wir sind, lieber Leser, liebe Leserin, damit am Schluß unseres Buches angelangt. Ich hoffe herzlich, daß du viel Freude und Spaß an den Experimenten gehabt und viel gelernt hast, was du sicherlich noch gut wirst gebrauchen können! Wenn du beim ersten Durchlesen und Durcharbeiten noch nicht alles verstanden hast, so ist das nicht weiter schlimm; im Laufe der Zeit versuchst du es immer wieder, bis du auch das letzte mitbekommen hast. Es müssen halt auch einige schwierige Aufgaben dabeisein, sonst wird es leicht langweilig.

Du hast einen schon recht tiefen Blick in die Natur getan, hast sie befragt und mancherlei Antwort erhalten. Vielleicht hast du auch längst bemerkt, daß wir beide hier mit Spaß und Ernst *Physik* getrieben haben – obwohl ich das Wort immer vermieden habe. Physik ist die Art, wie man die Natur betrachtet, erklärt und ordnet; sie ist eine

ungemein wichtige Wissenschaft in der Reihe aller Wissenschaften, denn ihre Erkenntnisse stecken überall drin in unserem Leben, in der Natur und in der Technik.

Einen kleinen, aber sehr wichtigen Teil der Physik hast du hier kennengelernt; es wird dir nun besonders leicht fallen, in der Schule noch mehr hinzuzulernen. Vielleicht willst du gar später einmal Physiker werden? Das sind sehr gesuchte Leute.

Du wirst sicherlich auch noch mehr von solchen Experimenten machen wollen; du findest sie in meinem Buch *Physik selbst erlebt*, das im Urania-Verlag erschienen ist.

Der Kinderbuchverlag nennt dir auf den letzten Seiten ebenfalls Bücher, die von der Physik erzählen.

Abschied nehmen wollen wir beide nicht voneinander, uns lieber ein *frohes Wiedersehen* zurufen; denn ich hoffe, du wirst mir bei Gelegenheit einmal schreiben, was dir an diesem Buch gefallen hat und wo du Verbesserungen vorschlägst. Wir beide wollen es ja immer besser machen, und der Kinderbuchverlag freut sich darüber.

Dein Hans Backe

Inhalt

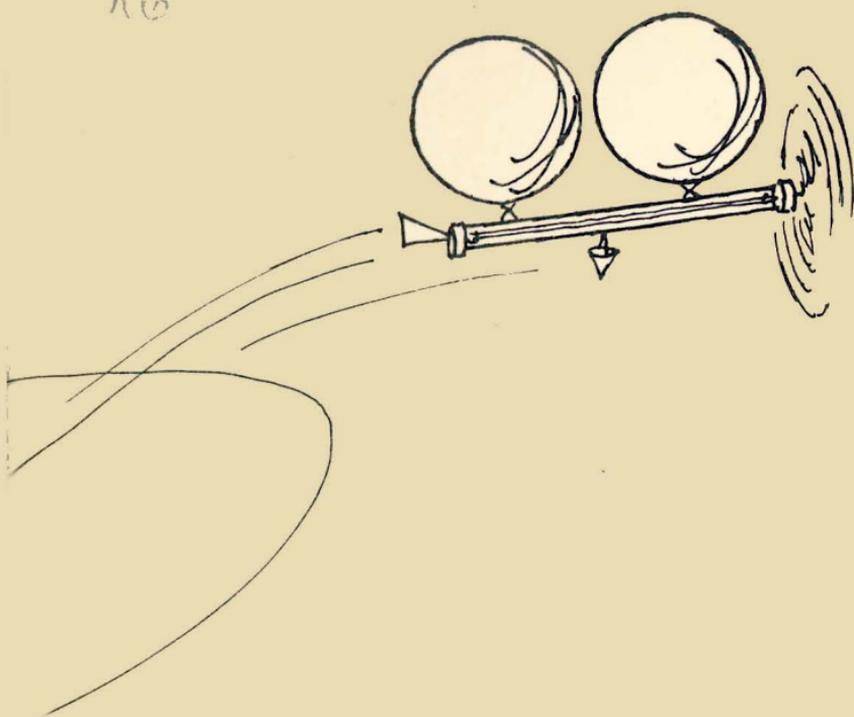
Warum eigentlich immer wieder?	7
Das Rollschuh-Wettrennen	9
Ein Zeitlupenfilm	12
Fritz verliert das Gleichgewicht	13
Vom Schwerpunkt und vom Gleichgewicht	13
Kipp-Experimente	17
Sehr merkwürdige Pendel	19
Warum fällt denn alles nach unten?	26
Über die Erdanziehung	26
Jedes Ding ist träge	29
Von der Trägheitskraft	30
Arbeit und Energie	32
Kräfte im Pendel	34
Die Reibung bremst	36
Der Fluchtversuch	37
Fliehkraft gegen Schwerkraft	38
Wie sich Kräfte zusammensetzen	41
Ein Blick in den Weltraum	44
Angelika war die schnellste	47
Die Reibung wird besiegt	48
Nützliche Reibung	51
Was ist eigentlich Geschwindigkeit?	52
Nun rechne mit!	55
Noch zwei Anmerkungen	57
Große Erholungspause!	58
Wunder gibt es nicht	59

Und nun experimentieren wir weiter	61
Was ist ein Experiment?	61
Stafettenlauf mit Energie	65
Wo ein Körper ist, kann kein anderer sein	66
Versuche mit dem Pendel	71
Auf Galileis Spuren	71
Pendel, Zahlen und Sekunden	74
Eine Wippe auf dem Spielplatz	77
Wir finden das Gesetz vom Hebel	80
Wir bauen einen Hebel . . .	82
. . . und experimentieren damit	85
Aus dem Hebel wird eine Balkenwaage	87
Die Dezimalwaage	90
Die einfachste Waage der Welt	91
Abwärts geht es immer schneller	93
Murmelberg und Fallrinne	94
Die Kugel verrät ihr Geheimnis	96
Wieder auf den Spuren von Galilei	98
Die vielseitige Achterbahn	101
Versuche mit der Trägheitskraft	103
Taler, Taler, du mußt wandern	103
Naturgesetze in der Küche	109
Achtung! Kurve!	112
Der „Todesfahrer“ auf unserem Tisch	115
Freud und Leid mit dem Schwungrad	118
Ende unseres Zeitlupenfilms	120
Im Winter wird gerodelt	120
Fräulein Ziegenbein	124
Allerlei vom Schall	124
Wir machen Musik	126

Das singende Weinglas	127
Wie schnell läuft der Schall?	130
Die wundersamen Glockentöne	130
Wir telefonieren ohne elektrischen Strom	
Vom Echo – cho – cho – cho	135
Ball, Schall und die Reflexion	137
Schallplatten mit Tüte	138
Noch ein Versuch zur Reflexion	140
Singst du gern unter der Brause?	142
Warum schwimmt ein Körper?	145
Auf die Dichte kommt es an!	146
Fett schwimmt oben	148
Eine Kerze brennt im Wasser	149
Wasser ist nicht gleich Wasser	150
Archimedes und die Senkwaage	151
Wir bauen ein lenkbares Luftschiff	153
Ein kleines Schlußwort	156



R6



„HALT DICH SENKRECHT!“ so rufen dir die Freunde zu; aber halte dich mal senkrecht, wenn dir die Rollschuhe mitsamt deinen Füßen davonrollen! Du zappelst – und dann sitzt du da und fragst dich:

Warum fällt eigentlich alles nach unten?

Warum fällt zum Beispiel nichts nach oben?

Es gibt tausend solcher Fragen.

Warum wippt die Wippe? Warum pendelt das Pendel?

Warum rollt der Rollschuh? Warum schallt der Schall?

Es gibt tausend Gelegenheiten zum Beobachten und zum Ausprobieren, tausend Gelegenheiten, auf lustige, spannende und kluge Weise die Natur selbst zu befragen – so dringlich, daß sie nicht anders kann: sie muß dir antworten.

Wie du die Natur zur Antwort zwingst, erzählt dir HANS BÄCKE. Es ist sein Beruf, der Natur die Geheimnisse abzuverlangen. Er ist Professor, Doktor und Diplomingenieur in Dresden. Er hat viele bewährte Experimentier- und Lehrbücher geschrieben.

„HALT DICH SENKRECHT!“

ist für Leser
zwischen 10
und 99 Jahren
bestimmt.

